

胶接圆锯片设计与仿真分析

刘晓雯^a, 金鑫^a, 刘玥^b

(唐山学院 a. 河北省智能装备数字化设计及过程仿真重点实验室; b. 教务处, 河北 唐山 063000)

摘要:在常规夹层圆锯片基体结构的基础上,设计了一种胶接圆锯片基体结构。通过性能参数对比,选取 JL-6103 型胶黏剂用于圆锯片的胶接。采用专用合金工具钢 65 Mn 为基体材料,基于有限单元法,分别对常规夹层圆锯片基体及新型胶接圆锯片基体进行模态分析和谐响应分析,发现胶接圆锯片固有频率、最大变形量和等效应力值均远远小于常规夹层圆锯片,故胶接圆锯片具有更好的吸能减振效果。

关键词:圆锯片;有限单元法;胶接

中图分类号:TG49 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-349X(2023)06-0033-05

DOI:10.16160/j.cnki.tsxyxb.2023.06.007

Design and Simulation Analysis of Glued Circular Saw Blade

LIU Xiao-wen^a, JIN Xin^a, LIU Yue^b

(a. Hebei Key Lab of Intelligent Equipment Digital Design and Process Simulation,

b. Academic Affairs Office, Tangshan University, Tangshan 063000, China)

Abstract: Based on the base structure of the conventional sandwich circular saw blade, a glued circular saw blade matrix structure is designed. Through the comparison of performance parameters, JL-6103 adhesive is selected for the bonding of circular saw blades. With the special alloy tool steel 65Mn as the base material, based on the finite element method, the modal analysis and harmonious response analysis are conducted on the conventional sandwich circular saw blade base and the new glued circular saw blade base respectively. It is found that the natural frequency, maximum deformation and equivalent stress value of the glued circular saw blade are much smaller than those of the conventional sandwich circular saw blade, which indicates that the glued circular saw blade have better energy absorption and vibration damping effect.

Key Words: circular saw blade; finite element method; gluing

0 引言

金刚石圆锯片是石材切割的主要工具^[1]。改良圆锯片结构可有效提高锯切效率、降低成本、提升工作可靠性^[2]。袁哲等^[3]提出了一种全新的超薄圆锯片设计方案,并采用先进的材

料,实现了高效锯切。赵民等^[1]通过改变锯片的几何参数提高其刚度,从而延长了锯片的使用寿命、改善了锯切质量。目前,圆锯片的优化设计主要集中在齿形参数、开槽及材料等方面的改善^[4-5]。相较于胶接技术的不断发展,相

基金项目:唐山市市级科技计划项目(22130207G);河北省高层次人才资助项目(C20231130)

作者简介:刘晓雯(1983—),女,河北唐山人,副教授,硕士,研究方向为动力仿真与优化设计;
金鑫(1986—),男,辽宁朝阳人,讲师,博士,研究方向为高品质钢轧制技术。

关应用研究则较少。本文设计了一种新型胶接圆锯片,通过模态分析和谐响应分析,研究其动态性能。

1 胶接圆锯片基体结构的设计

常规夹层圆锯片基体是由两层表面基体及基体焊接用金属铜芯组成,结构如图 1 所示。在原有常规圆锯片基体结构的基础上,将芯部金属铜替换为胶层,即两层 65 Mn 表面基体之间通过胶黏剂固连成包含胶接剂在内的三层胶接结构,组成的胶接圆锯片基体结构如图 2 所示。

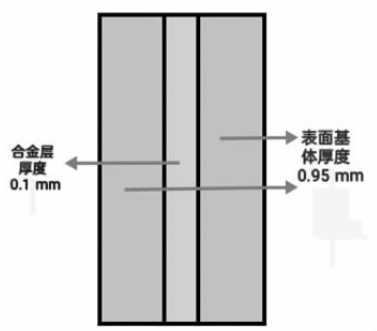


图 1 常规夹层圆锯片基体结构

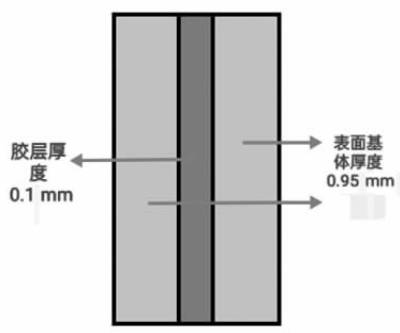


图 2 胶接圆锯片基体的胶接结构

2 胶黏剂选择

几种常用胶黏剂性能参数如表 1 所示。

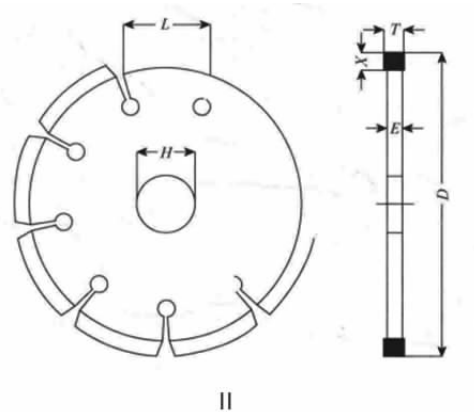
表 1 胶黏剂性能参数表

品牌型号	固化时间/h	硬度/HD	黏度/cps
3MTMDP420 Black	48	186	1 270
3MTM 560	6	40	750
JL-109 金属焊接 AB 胶	24	201	1 709
乐泰 326	12	268	2 436
JL-6103	2	75	4 000

由表 1 可知,品牌为 JL-6103 的胶黏剂固化时间最短,黏度最强。JL-6103 是东莞市聚力胶黏制品有限公司生产的单组分加热型环氧树脂胶黏剂,主要成分为环氧树脂 A,具有绝缘能力强、抗震性能好的特点,长时间可耐高温 200~250 ℃,瞬间可耐高温 400 ℃。固化物耐酸碱性能好,防潮防水、防油防尘性能佳,专用于结构钢的胶接^[6]。故选择品牌为 JL-6103 的胶接剂作为胶接圆锯片基体的胶接层。

3 圆锯片模型的建立

圆锯片结构及几何参数如图 3 和表 2 所示。



H —金刚石圆锯片的孔径; L —节块的长度; X —镶嵌有金刚石颗粒的节块的高度; D —金刚石圆锯片的直径; T —金刚石锯齿的厚度; E —基体的厚度

图 3 圆锯片结构图

表 2 圆锯片结构的基本参数

圆锯片的基本参数	数值
金刚石圆锯片的直径 D/mm	300
金刚石圆锯片的孔径 H/mm	40
基体的厚度 E/mm	$2 \times 0.95 + 0.1 = 2$
金刚石锯齿的厚度 T/mm	2.48
节块的个数 $Z/\text{个}$	30
节块的长度 L/mm	13
镶嵌有金刚石颗粒的节块的高度 X/mm	6

使用 solid works 三维软件进行建模,圆锯片基体三维几何模型如图 4 所示。

4 模态分析

将常规夹层圆锯片基体和胶接圆锯片基体三维模型导入 ANSYS Workbench 软件进行模态分析。



图 4 圆锯片基体三维几何模型

4.1 有限元模型的建立

圆锯片材料性能参数如下:基体表面材料为 65 Mn 合金钢,其密度 $\rho=7\,850\text{ kg/m}^3$,杨氏模量 $2.11\text{E}+11\text{ Pa}$,泊松比 0.288;常规圆锯片基体夹层材料为铜,其密度 $\rho=8\,900\text{ kg/m}^3$,杨氏模量 $2\text{E}+11\text{ Pa}$,泊松比 0.34;胶接圆锯片基体夹层材料为胶黏剂 JL-6103,主要成分环氧树脂 A,其密度 $\rho=1\,160\text{ kg/m}^3$,杨氏模量 $3.78\text{E}+9\text{ Pa}$,泊松比 0.35,材料阻尼 0.4。

4.2 网格划分及边界条件

网格的质量会直接影响分析结果。根据圆锯片基体的结构特点对网格进行分割,在径向槽位置对网格进行细化,以提高求解速度并保证有限元分析数据的可靠性。设置最小单元边缘尺寸为 0.5 mm。

三层圆锯片基体相邻片体间采用固定连接,对锯片基体内孔全部表面节点施加固定约束。

4.3 固有频率及振型分析

圆锯片属于低阶振动^[7],故只对其前 10 阶模态进行分析。常规夹层圆锯片和胶接圆锯片固有频率如表 3 所示。

由表 3 可知,随着振型阶次的递增,相对应的固有频率随之增大,固有频率越高对应的临界转速也越高^[8],故胶接圆锯片临界转速高于常规夹层圆锯片;相邻阶次之间的固有频率基本一致;胶接圆锯片固有频率远远低于常规夹层圆锯片,这是由于胶接圆锯片芯部胶黏剂的阻尼大于芯部为铜的常规夹层圆锯片,故胶接圆锯片具有工作表面硬、芯部韧的优点,吸能减振效果更好。

表 3 圆锯片基体的前 10 阶固有频率(Hz)对比

阶次	常规夹层圆锯片	胶接圆锯片
1	893.51	202.21
2	1 268.6	238.58
3	1 269.2	238.73
4	1 463.8	346.53
5	1 930.2	346.56
6	1 931.6	503.04
7	2 581.7	503.08
8	2 584.9	685.00
9	3 187.5	685.02
10	3 190.6	882.86

圆锯片基体的 3 种振型分别为节圆型、节径型和节圆节径混合型。常规夹层圆锯片和胶接圆锯片振型个数与阶次的关系如表 4,表 5 所示。

表 4 常规夹层圆锯片振型种类关系

振型	阶次	个数
节径型	2,3,5,6,7,8,9,10, 12,13,16,17,20	13
节圆型	1,4,11	3
节圆节径混合型	14,15,18,19	4

表 5 胶接圆锯片振型种类关系

振型	阶次	个数
节径型	2,3,4,5,6,7,8,9, 10,11,15,16,19,20	14
节圆型	1,12	2
节圆节径混合型	13,14,17,18	4

由表 4,表 5 可知,节径型、节圆节径混合型的模态振型都为相邻两阶成对出现。常规夹层圆锯片节圆型的阶次仅出现了 3 次,胶接圆锯片节圆型的阶次仅出现了 2 次,且节圆型的阶次并未相邻两阶成对出现。常规夹层圆锯片和胶接圆锯片主要模态振型均为节径型,故径向振动是锯片主要振动形式,设计及安装时应尽量减小径向载荷引起的振动。

5 谐响应分析

5.1 谐响应分析通用方程

由经典力学理论可知,物体的动力学通用方程为^[8]:

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = F(t). \quad (1)$$

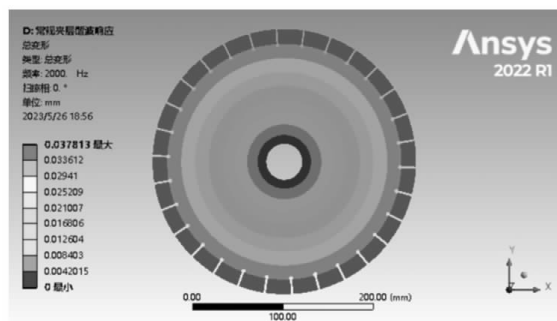
式中,通常用 M 代表质量方程, C 代表阻尼矩阵, K 代表刚度矩阵;使用位移矢量 x , 力矢量 $F(t)$, 速度矢量 $\dot{x}$ 和加速度矢量 $\ddot{x}$ 来描述系统的运动状态。

在谐响应分析中,施加的稳态载荷为:

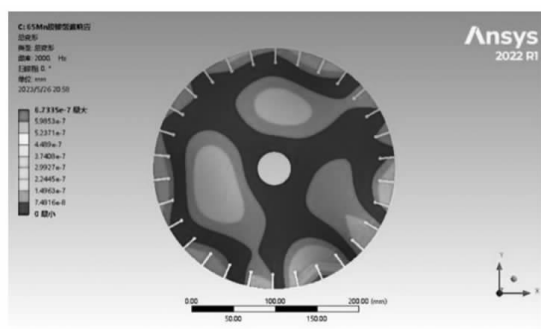
$$F = F_0 \cos(\omega t)。(2)$$

5.2 谐响应分析

分别对常规夹层圆锯片和胶接圆锯片进行谐响应分析,总变形云图、等效应力云图如图 5, 图 6 所示。



(a) 常规夹层圆锯片

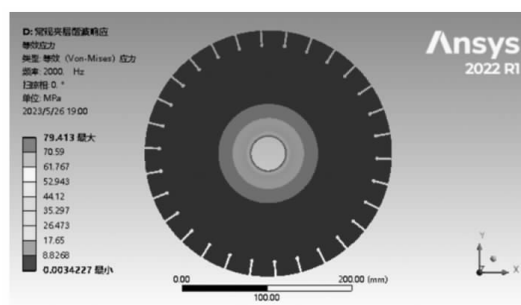


(b) 胶接圆锯片

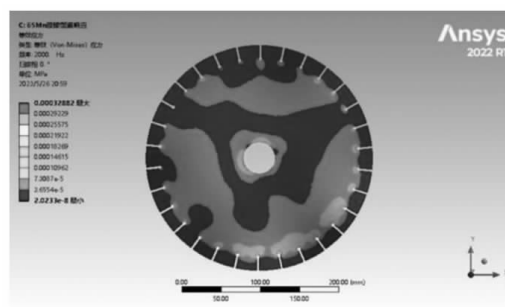
图 5 谐响应总变形云图

由图 5 可知,常规夹层圆锯片和胶接圆锯片谐响应总变形最小值均位于轴心处,几乎无变形,常规夹层圆锯片总变形最大发生在基体外圈,最大变形量为 3.7813×10^{-2} mm。胶接圆锯片变形位置均布在基体上,最大变形发生在基体外圈受力处,变形量为 6.7335×10^{-7} mm,相比常规夹层圆锯片有大幅下降。

由图 6(a)可知,常规夹层圆锯片等效应力的最小值 $\sigma_{\min}$ 位于基体外圈, $\sigma_{\min} = 0.3423 \times 10^{-2}$ MPa,最大值 $\sigma_{\max}$ 发生在基体轴心处, $\sigma_{\max} = 79.413$ MPa。



(a) 常规夹层圆锯片



(b) 胶接圆锯片

图 6 谐响应等效应力云图

由图 6(b)可知,胶接圆锯片等效应力的最小值 $\sigma'_{\min}$ 位于基体外圈和基体中部,为 2.0233×10^{-8} MPa,最大值 $\sigma'_{\max}$ 位于孔隙和结构缝隙处, $\sigma'_{\max} = 3.2882 \times 10^{-4}$ MPa。

由此可知,虽然常规夹层圆锯片基体的最大变形发生在基体边缘,基体在外侧受力,但其等效应力较大位置主要集中在基体轴心处;胶接圆锯片基体的最大变形发生在基体边缘和中部受力处,但其等效应力较大位置分布于孔隙和结构缝隙处,且应力并不集中;胶接圆锯片基体的最大和最小等效应力均远小于常规夹层圆锯片基体。

6 结论

本文设计了一种胶接圆锯片基体结构。通过性能参数对比,选取 JL-6103 型胶黏剂用于圆锯片的胶接。采用专用合金工具钢 65 Mn 为基体材料,基于有限单元法,分别对常规夹层圆锯片基体及新型胶接圆锯片基体进行模态分析和谐响应分析,发现胶接圆锯片固有频率、最大变形量和等效应力值均远远小于常规夹层圆锯片,故胶接圆锯片具有更好的吸能减振效果。

参考文献:

- [1] 赵民,唐雨晴,曹喆,等. 金刚石圆锯片振动噪声实验分析[J]. 石材,2023(7):10-12.
- [2] 吴齐,刘文俊. 高性能 75Cr1 锯片材料热处理及防锈工艺研究[J]. 三峡大学学报(自然科学版),2023,45(3):96-100.
- [3] 袁哲,曹瑞元,赵民. 金刚石圆锯片模态分析[J]. 制造业自动化,2013,35(17):147-149.
- [4] 姚涛,段国林,蔡瑾. 圆锯片噪声与振动特性及降噪技术研究综述[J]. 振动与冲击,2008(6):162-166.
- [5] 吴雪松,张健,张秀伟. 金刚石圆锯片应力计算模型建立及求解[J]. 大连理工大学学报,2001(4):477-480.
- [6] 常涛涛,刘志刚,裴承慧,等. 沙柳平茬圆锯片瞬态响应分析及结构优化[J]. 内蒙古工业大学学报(自然科学版),2023,42(1):38-44.
- [7] 李阳,王砚军,秦可. 基于 ANSYS Workbench 金刚石圆锯片的力学分析[J]. 金刚石与磨料磨具工程,2017,37(2):41-45.
- [8] 赵磊,胡欢,孙爽. 基于有限元理论分析掏孔对金刚石圆锯片刚度的影响[J]. 石材,2020(7):22-24.

(责任编辑:白丽娟)

(上接第 21 页)

表 4 成对样本 T 检验结果

年龄段	不同时段检验结果							
	60~75 min		75~90 min		90~105 min		105~120 min	
	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
青年	1.313	0.235	2.622	0.065	3.142	0.061	4.924	0.016
中年	1.387	0.211	1.945	0.106	2.331	0.105	3.155	0.046
老年	2.675	0.103	4.081	0.033	4.306	0.012	8.867	0.001

表 5 最优驾驶状态脑电指标 $R_{(a+\theta)/\beta}$ 阈值

年龄段	$R_{(a+\theta)/\beta}$ 阈值
青年	≤ 3.06
中年	≤ 3.25
老年	≤ 2.71

时间:青年驾驶员为 105~120 min,中年驾驶员为 105~120 min,老年驾驶员为 75~90 min。

参考文献:

- [1] 公安部交通管理局. 全国机动车达 4.3 亿 辆 驾驶人达 5.2 亿人 新能源汽车保有量达 1821 万辆[EB/OL]. (2023-10-10). <https://www.mps.gov.cn/n2254314/n6409334/c9244746/content.html>.
- [2] 张弯. 基于脑电与眼电融合的便携式疲劳驾驶检测方法优化[D]. 西安:西安理工大学,2023.
- [3] 付强. 基于脑电信号的高速公路驾驶疲劳检测研究[J]. 辽宁省交通高等专科学校学报,2016,18(3):15-17.
- [4] 裴玉龙,金英群,陈贺飞. 基于脑电信号分析的不同年龄驾驶人疲劳特性[J]. 中国公路学报,2018,31(4):59-65.
- [5] 徐任倩. 基于脑电信号的驾驶疲劳研究[D]. 马鞍山:安徽工业大学,2022.

(责任编辑:冯兆娜)

3 结论

根据实车及模拟驾驶城市道路行车过程,分析不同年龄段驾驶员脑电指标与驾驶时间的变化规律,得出以下结论。

(1)通过将驾驶员脑电指标变化规律与主观调查相结合,可以推导出用脑电指标来评判驾驶员的疲劳状态是可行的,其中脑电指标 $R_{(a+\theta)/\beta}$ 对驾驶员的疲劳反应最为显著。

(2)在实验中观察到,青年、中年及老年驾驶员的脑电指标分别于 70 min,55 min 及 45 min 时出现第一个峰值。结合主观调查的结果,可以推断驾驶员在城市道路上连续驾驶 60 min 后便会出现不同程度的疲劳状态。

(3)通过对不同年龄段驾驶员脑电指标 $R_{(a+\theta)/\beta}$ 与实验未开始时所采集的清醒脑电指标进行成对样本 T 检验,可以得出以下最优驾驶