DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2019.09.013

金刚石锯片锯齿径向槽优化设计研究*

郭喜平,张 波,程西送

(内蒙古科技大学 机械工程学院,内蒙古 包头 014010)

摘要:针对金刚石锯片锯齿径向槽部分在锯切力作用下出现变形及局部应力集中的问题,利用有限元软件 ANSYS Workbench,通过设计正交试验对径向槽各参数进行了仿真研究。分析了径向槽各参数对锯齿变形量以及等效应力、径向应力、切向应力的影响大小,得出了最优径向槽参数组合,并对结果进行了实验验证,以此对径向槽参数进行了优化设计。研究结果表明:径向槽参数中径向槽底孔半径对锯片变形影响最大,深度对锯片变形影响最小;径向槽宽度对锯片的各应力的影响最大,深度对各应力的影响最小;等效应力、最大切向应力、最大径向应力最优时,槽底孔半径 *R* 取 4 mm,径向槽宽度 *B* 取 3 mm,径向槽深度 *H* 取 17 mm。

关键词:有限元;正交试验;径向槽;优化设计 中图分类号:TH122;TG702 文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2019)09-0954-05

Radial groove optimization of diamond saw blade

GUO Xi-ping, ZHANG Bo, CHENG Xi-song

(Department of Mechanical Engineering, Inner Mongolia University of Science & Technology, Baotou 014010, China)

Abstract: Aiming at the problem of deformation and local stress concentration in the sawtooth radial groove of diamond saw blade under sawing force, the parameters of the radial groove were simulated by using ANSYS Workbench and orthogonal test. The influence of the parameters of the radial groove on the sawtooth deformation, equivalent stress, radial stress and tangential stress was analyzed, and the optimal parameters of the radial groove were obtained. Finally, the experimental results were verified to optimize the parameters of the radial groove. The results indicate that the radius of the bottom hole of the radial groove has the greatest effect on the deformation of the saw blade and the depth has the least effect on the deformation of the saw blade. The width of the radial groove has the greatest effect on the stress of the saw blade and the depth has the least effect on the stress. When the equivalent stress, the maximum tangential stress and the maximum radial stress are optimal, the radius of the bottom hole R is 4 mm, the width of the radial groove B is 3 mm, and the depth of the radial groove H is 17 mm.

Key words: finite element; orthogonal test; radial groove; optimal design

0 引 言

随着人造金刚石技术越来越成熟,金刚石高硬度 和高耐磨性的特性被充分利用,金刚石锯片就是非常 具有代表性的产品。在基建工程中,金刚石锯片多用 于花岗岩、大理石、混凝土等的切割,其实用性在工程 领域得到了验证。

为了不断提升金刚石锯片的性能,学者们对其进行了许多研究。李阳等^[1]利用有限元软件,研究了金 刚石锯片的直径、厚度、夹盘直径对锯片稳定性影响, 以及在干切和湿切工况下锯片的应力分布;黎治国 等^[2]研究了消音细缝对锯片降噪效果,以及对锯片强 度的影响;陈昌熊等^[3]研究了非等间距金刚石锯片的

收稿日期:2019-03-11

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61765012)

振动特性,对多孔锯片进行了结构优化;胡映宁等^[4] 对金刚石锯片进行了瞬态动力学分析,研究了锯片的 转速、进给速度对锯片应力和变形的影响;吴军涛 等^[5]建立了离心力作用下组合式金刚石锯片的数学 模型,并对组合式锯片进行了结构优化;朱永伟等^[6] 利用正交试验,研究了金刚石锯片各化学成分含量对 锯片使用寿命的影响;仇君等^[7]利用有限单元法,研 究了热应力和离心力对金刚石锯片应力和变形的 影响。

本文将通过正交试验针对金刚石锯片的锯齿参数 做出研究,分析其在锯切力作用下锯齿参数中径向槽 参数对锯片应力和变形的影响,在此基础上得出最佳 锯齿径向槽参数组合。

1 金刚石锯片的仿真模型

金刚石锯片的二维图如图1所示。



图1 金刚石锯片示意图

D₁—圆锯片外径;D₂—内孔直径;E—基体厚度; T—刀头厚度;X—刀头宽度;L—刀头长度;B—径向 槽宽度;H—径向槽深度;γ—径向槽倾角;R—径向槽 底孔半径

以此为标准,建立其三维模型。 金刚石锯片的尺寸参数如表1所示。

	表1	金刚石锯片的尺寸参数
--	----	------------

D_1/mm	D_2/mm	<i>E/</i> mm	T∕ mm	X/mm	L/mm	B∕mm	<i>H</i> /mm	γ/mm	<i>R</i> ∕mm
350	50	2	3	7	40	3	15	0	4
金刚石	5锯片的物3	理参数如表	2 所示。		锯切的目	目的。笔者自	主要考虑径	句槽部分相	关系数,即
表 2 金刚石锯片的物理参数						角γ、径向	曹宽度 B 、 谷	向槽深度 L	1、径向槽底

密度 p/(kg・m⁻³)弾性模量 E/(N・m⁻²)泊松比μ7 8202.1×10¹¹0.3

锯片在运转过程中由夹盘夹紧,中心轴孔处为固定 约束。在锯切过程中由于锯切力受多种因数影响,这里 针对锯切深度 20 mm 这一工况进行分析。

转速17 r/s,测得切向锯切力 252 N,载荷加载如图 2 所示。



由于本文主要针对的是锯齿部分,仿真过程中对 锯齿部分进行网格细化。

2 正交试验设计

金刚石锯片锯切过程中锯齿部分与材料直接接 触,即径向槽部分与各锯切石材发生高速碰撞,以达到 锯切的目的。笔者主要考虑径向槽部分相关系数,即 深度倾斜角γ、径向槽宽度B、径向槽深度H、径向槽底 孔半径R。径向槽倾斜角经验值为-15°~15°,为方 便锯片排除锯切的渣滓,此处倾斜角取0°。在现有锯 片尺寸基础上,改变径向槽尺寸,以研究径向槽各参数 对锯片应力和变形的影响。

根据经验公式,齿根圆半径为:

 $R = (0.15 \sim 0.18) \times (1.3 \sim 2.0) \times (H_{\text{max}})^{0.5}$ (1) $\exists \psi_{:}H_{\text{max}} - \exists \xi \forall H_{\text{max}} \forall \xi, \psi H_{\text{max}} \forall \xi \neq 0 \text{ mm}_{\circ}$

由式(1)可求得 R 的范围为 3.9 mm ~ 7.2 mm,可 取 R 为 4、5、6 这 3 个水平。径向槽深度不能太大,否 则锯齿部分强度下降。根据底孔半径,再结合最大锯 切深度 H_{max},取 15 mm、16 mm、17 mm。而径向槽宽根 据经验值不能超过底孔半径,故取 3 mm、4 mm、5 mm。

由此本研究建立3因素3水平正交试验^[8],正交 试验设计如表3所示。

表 3 正交试验设计

因数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>R</i> ∕mm	4	4	4	5	5	5	6	6	6
<i>H</i> ∕ mm	15	16	17	15	16	17	15	16	17
<i>B</i> /mm	3	4	5	4	5	3	5	3	4

3 试验结果分析

3.1 径向槽参数对金刚石锯片变形影响

本研究利用有限元软件 Ansys Workbench 对 9 次



图 3 锯切力作用下各分布云图

径向槽结构变化,在锯切力作用下锯齿部分最大

变形量统计结果,如表4所示。

表 4 径向槽参数对金刚石锯片最大变形量

试验号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
DMX/um	9.126 2	9.1821	9.237 6	9.5879	9.723 2	9.9689	10.244	10.461	10.589
由表4可	`知・				如径向应	力 切向应	力 等效应	力等 为防	止锯切过程

田表4 可知:

径向槽尺寸 R、H、B 对锯齿最大变形量影响不大, 最大变形量为 0.010 6 mm,占锯片半径的 0.006%。

笔者对锯片变形量进行极差分析,得出的结果如 表5所示。

表 5 径向槽槽参数对金刚石锯片最大变形极差分析

因数	K_1 /um	K_2 /um	<i>K</i> ₃ /um	极差/um
R	9. 181 9	9.760	10. 431	1.249
Н	9.6527	9.778 8	9.9318	0.279
В	9.5162	10.224 6	9.6324	0.708 4

由表5可得出各因素对锯片变形量影响大小为: 径向槽底孔半径 R > 径向槽宽度 B > 径向槽深度 H, 说明径向槽底孔半径对锯片变形影响最大,径向槽深 度对锯片变形影响最小。在设计的3个水平因数中, R取4 mm,H取15 mm,B取3 mm时,锯齿部分变形 最小。

3.2 径向槽参数对金刚石锯片应力影响

金刚石锯片锯齿部分受锯切作用产生相应应力,

如径向应力、切向应力、等效应力等,为防止锯切过程 中锯齿部分应力集中,需要提取各应力最大值进行分 析,以了解由径向槽改所带来的各项应力变化情况。

仿真试验中各组应力最大值如表6所示。

表6 锯片所受最大应力

	最大	径向	最大	切向	最大 Von Mises
试验号	应力	/MPa	应力/	/MPa	
	拉应力	压应力	拉应力	压应力	- <u>M</u> /J/MPa
1	14.91	5.927 3	9.254 6	20.149	21.527
2	13.933	5.8799	11.103	20.498	19.758
3	14.803	6.951 2	10.138	20.113	20.15
4	14.419	6.954 4	10.569	20.318	19.613
5	15.196	7.4899	11.649	20.687	20.778
6	14.937	7.004 9	12.689	22.96	23.342
7	15.39	7.083 1	12.439	24.084	23.599
8	16.093	7.416 1	12.993	24.64	24.656
9	15.279	5.877 5	9.444 1	20.208	19.516

径向槽参数 R、H、B,对锯片的应力影响和极差分 析结果如表 7 所示。

表7 锯片受到最大应力值极差分析结果

应力	因素	K_1	K_2	K_3	极差
具土仅白岩	R	14.5486	14.8507	15.202	0.6534
取人住内拉	H	14.906 3	15.074	15.006 3	0.1677
<u>)州</u> 月7 MPa	B	14.806	15.473 3	14.707 3	0.766
具十亿百匹	R	6.252 8	7.1497	6.7916	0.8969
取人住内压	H	6.6543	6.928 6	6.6105	0.318 1
<u> 州</u> 川/ MPa	В	7.131 8	7.168	5.8949	1.273 1
县土团向台	R	10.162 5	11.635	11.6254	1.472 5
取入切凹拉	H	10.754 2	11.915	10.756	1.160 8
应力/MPa	В	10.785 3	12.707	9.9339	2.773 1
具于初台正	R	20. 253 3	21.3217	22.977 3	2.724
取入切问压	H	21.517	21.9417	21.0937	0.848
应力/MPa	В	20.3727	23.8947	20.285	3.6097
島士 Von Misson	R	20.758	21.244 3	22.5903	1.8323
取八 von Mises	H	21.494	21.731	20.0027	1.728 33
<u>м</u> ./J/ MPa	В	20.1803	23.8657	20.267	3.5687

由表(6,7)可以看出:

受径向槽几何尺寸影响,最大径向拉应力的极差 大小为 *B* > *R* > *H*,说明径向槽宽度对锯齿部分径向拉 应力的大小影响最大,径向槽深度对锯齿部分径向拉 应力的大小影响最小。在设计的正交试验选择的3个 水平因素中,*R* 取值4 mm,*H* 取值16 mm,*B* 取值4 mm 时,锯齿部分受到的径向拉应力值最小。

最大径向压应力的极差大小为 B > R > H,说明径 向槽的宽度对锯齿最大径向压应力的大小影响最大, 径向槽的深度对锯齿部分的最大径向压应力的大小影 响最小。在设计的 3 个水平因数中, R 取值 6 mm, H 取值 17 mm, B 取值 4 mm 时,锯齿部分受到的径向压 应力值最小。

最大切向拉应力的极差大小为 B > R > H,说明径 向槽宽度对锯齿部分切向拉应力的影响最大,径向槽深 度对锯齿部分径向拉应力影响最小。在设计的正交试 验选择的 3 个水平因素中,R 取值 4 mm,H 取值 15 mm, B 取值 3 mm 时,锯齿部分受到的径向拉应力最小。

最大切向压应力的极差大小为 *B* > *R* > *H*,说明径 向槽的宽度对锯齿最大切向压应力的影响最大,径向 槽的深度对锯齿部分的最大切向压应力影响最小。在 设计的 3 个水平因数中,*R* 取值 4 mm,*H* 取值 17 mm, *B* 取值 5 mm 时,锯齿部分受到的径向压应力最小。

最大等效应力的极差大小为 B > R > H,说明径向 槽宽度对锯齿部分等效应力的影响最大,径向槽深度 对锯齿部分等效应力影响最小。在设计的 3 个水平因 数中,R 取值 6 mm,H 取值 17 mm,B 取值 4 mm 时,锯 齿部分受到的等效应力应力最小。

4 径向槽宽度对金刚石锯片锯齿应 力的影响

通过以上锯齿部分径向槽参数对锯片应力的影响 分析得出:径向槽宽度对锯片最大等效应力、最大切向 应力、最大径向应力的影响最大,这为锯片防止应力破 坏提供了理论依据。

而实际工程应用中,也是径向槽上部易遭到应力破坏。

故本文取径向槽宽度为主要研究对象, R 取值6 mm, H 取值 17 mm, B 取值 2 mm ~6 mm 共 5 组进行分析, 得 到的锯齿部分应力云图及应力曲线如图 4 所示。



由图4可看出:

在保持径向槽深和底孔半径不变的条件下,改变 径向槽宽度,随着径向槽尺寸的增大,锯齿部分的径向 应力和切向应力都有一定的起伏;槽宽为3 mm 时,锯 齿的径向应力的拉应力和压应力以及切向应力中的拉 应力和压应力都是最小的,等效应力同样如此。因此, 可以通过有效减小因锯齿部分应力集中而产生的疲劳 破坏,延长锯片使用寿命。

5 实验验证

通过以上正交试验,可以初步得出在现有锯片尺 寸结构基础上,径向槽底孔半径 R 取值 4 mm,径向槽 宽度 B 取值 3 mm,径向槽深度 H 取值 17 mm 时,锯片 • 958 •

的锯齿部分变形和应力都是最小的。

本文以得出的优化尺寸改造锯片,得到相应的实物锯片,再对锯齿部分加载与仿真相同的力载荷进行 应力测试。

为避免测量误差,各取5组测量值并将其与再次的仿真结果进行对比,结果如图5所示。



由图5可以看出:

实验测量得出的结果与仿真结果存在一定误差,但考虑实验复杂性,有一定的误差是不可避免的;此数值从侧面证明了仿真试验的正确性,实验数 值证明金刚石锯片受到的等效应力最优时,槽底孔 半径 R 取值 4 mm,径向槽宽度 B 取值 3 mm,径向槽 深度 H 取值 17 mm。

6 结束语

针对金刚石锯片锯齿径向槽部分在锯切力作用下 出现变形及局部应力集中问题,本文利用有限元软件 ANSYS Workbench,通过设计正交试验对径向槽各参 数进行了仿真研究,结论如下: (1)径向槽尺寸 R、H、B 对锯齿对锯片变形量影 响大小为:径向槽底孔半径 R > 径向槽宽度 B > 径向 槽深度 H,这3个因素中径向槽底孔半径对锯片变形 影响最大,径向槽深度对锯片变形影响最小;

(2) 槽底孔半径 R, 径向槽宽度 B, 径向槽深度 H 这三个因数中径向槽宽度对锯片的 Von mises 等效应 力、切向应力、径向应力的影响最大, 径向槽深度对各 应力的影响最小;

(3)金刚石锯片受到的等效应力、最大切向应力、 最大径向应力最优时,槽底孔半径 R 取值 4 mm,径向 槽宽度 B 取值 3 mm,径向槽深度 H 取值 17 mm。

参考文献(References):

- [1] 李 阳. 金刚石圆锯片的力学性能研究及工艺优化[D]. 济南:济南大学机械工程学院,2017.
- [2] 黎志国.特殊结构金刚石圆锯片的力学性能研究[D].南 宁:广西大学机械工程学院,2002.
- [3] 陈昌熊.特殊结构金刚石圆锯片性能研究[D].南宁:广 西大学机械工程学院,2006.
- [4] 胡映宁,陈成刚,胡珊珊.特殊结构金刚石圆锯片的瞬态 动力学分析[J].金刚石与磨料磨具工程,2009(4):1-9.
- [5] 吴军涛.组合结构金刚石圆锯片锯切性能及结构优化设 计研究[D].济南:山东大学机械工程学院,2007.
- [6] 朱永伟,张新明,谢光灼,等.金刚石锯片性的正交优化研 究[J].矿冶工程,2001,21(3):82-85.
- [7] 仇 君,何志坚,项 林.金刚石干切圆锯片热应力和离 心力耦合分析[J].石材,2007(6):8-12.
- [8] 张明松,朱普先,柯建军,等.齿形参数对圆锯片应力应变的影响分析[J].机床与液压,2014,42(11):90-92,131.

[编辑:周昱晨]

本文引用格式:

郭喜平,张 波,程西送.金刚石锯片锯齿径向槽优化设计研究[J].机电工程,2019,36(9):954-958.

GUO Xi-ping,ZHANG Bo,CHENG Xi-song. Radial groove optimization of diamond saw blade[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2019,36 (9):954-958. 《机电工程》杂志:http://www.meem.com.cn