

干喷工艺对高速钢 M42-弹簧钢 D6A 双金属带锯条性能的影响

李栋梁¹ 匡旭光¹ 邓群洲¹ 李 荐²

(1 湖南泰嘉新材料科技股份有限公司,长沙 410200;2 中南大学材料科学与工程学院,长沙 410083)

摘 要 通过二元影像测量仪观察锯条干喷处理后的表面压应力、覆盖率、齿尖状况,不磨合锯切 GCr15 棒材的齿尖崩刃情况和锯切 45° 钢和空转疲劳寿命试验研究表面处理干喷砂工艺参数(压缩空气压力 0.1~0.4 MPa,运行速度 4~1 m/min)对 M42(1.08C, 1.5W, 9.4Mo, 3.8Cr, 1.2V, 8.0Co)-D6A(0.48C, 1.0Mo, 1.1Cr, 0.1V, 0.6Ni)双金属带锯条性能的影响。结果表明,锯条经合适的参数-压缩空气压力 0.3 MPa 和运行速度 3 m/min,背部表面覆盖率达到 100%,干喷后,齿尖形成稳定的圆角,承受切割和振动的冲击力,以提高锯条齿尖的耐磨性,齿部的平均使用寿命提高 66%,背部疲劳试验寿命提高 45%~70%。

关键词 高速钢 M42-弹簧钢 D6A 双金属带锯条 干喷 表面处理 齿尖形貌 疲劳寿命

Influence of Shot Peening Process on Performance of High Speed Steel M42-Spring Steel D6A Bi-Metal Band-Saw Blade

Li Dongliang¹, Kuang Xuguang¹, Deng Qunzhou¹ and Li Jian²

(1 Hunan Bichamp New Materials Science and Technology Co Ltd, Changsha 410200;
2 School of Materials Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083)

Abstract The influence of parameters of shot peening process for surface treatment (compressed air pressure 0.1~0.4 MPa, running speed 4~1 m/min) on performance of M42 (1.08C, 1.5W, 9.4Mo, 3.8Cr, 1.2V, 8.0Co)-D6A (0.48C, 1.0Mo, 1.1Cr, 0.1V, 0.6Ni) bi-metal band-saw blade has been studied by binary image measuring instrument to observe surface compression stress, blade back shot peening coverage rate and tooth tip condition, and tooth tip fracture condition as non-fitting cutting steel GCr15 bar products and fatigue life of blade back with cutting steel 0.45C and idling fatigue test after shot peening treatment of blade. The results show that with suitable shot peening process-compressed air pressure 0.3 MPa, running speed 3 mm/min and blade back shot peening coverage rate reach 100%, after shot peening the stable rounded corner of tooth tip is formed to bear the impact force produced by cutting and vibrating and improve the wear resistance of band-saw blade tooth tip, the average service life of teeth increases by 66% and the tested fatigue life of band-saw blade back increases by 45%~70%.

Material Index High Speed Steel M42-Spring Steel D6A Bi-Metal Band-Saw Blade, Shot Peening, Surface Treatment, Tooth Tip Morphology, Fatigue Life

双金属带锯条^[1]是高速钢 M42(齿部)和弹簧钢钢带 D6A(背部)通过电子束或者激光焊焊接后,再经过热处理、塑性变形、冷加工和表面处理等工序加工而成,具有高效、节能、节材的特点,在机械行业应用广泛。1985 年湖南机床厂开发出我国第一条双金属锯条生产线^[2]。

以 Sarwar 为代表的国外学者研究了不同材料锯切过程中且应力的变化及锯条失效机理^[3-6]。国内外学者对双金属带锯条制造工艺研究,如焊接工艺^[7-9]、铣齿工艺^[10]、热处理工艺^[11-13]等。针对不同材料的锯切特点,学者们开发出多种齿形带锯条,如针对大规格难切材料的高低齿形^[14]和针对薄壁件的加强齿形^[15-16]。

双金属带锯条在锯切过程中,受到周期性的拉应力、间断冲击力及扭转力等共同作用,主要失效形式为背部疲劳断裂和齿部的磨损,因此背部的疲劳

强度和齿部的强韧性是锯条综合性能的重要指标。目前锯条行业提高综合性能主要通过热处理的途径来实现,而通过表面处理来提升性能的研究非常少,因此研究合理的表面处理方式提高背部疲劳性能与齿部的强韧性,具有重要的理论与现实意义。本文对干喷工艺进行了细化研究,通过对锯条进行锯切实验和空转疲劳试验,并进一步分析了性能提升的原因。

1 实验材料及方法

1.1 实验材料

实验采用本公司双金属带锯条产品,带锯条齿部材料为 M42 高速钢,锯条背部材料为 D6A 弹簧钢,经过激光焊接、退火、焊缝扎平、调平校直、铣齿、分齿、淬火、回火等工艺制成。样品的截面为 27 mm×0.9 mm,其技术参数见表 1, M42 钢和 D6A 钢

表 1 M42-D6A 双金属带锯条技术参数

Table 1 Technical Parameters of M42-D6A Bi-Metal Band-Saw Blade

基本截面(宽×厚)/ mm×mm	双金属材料			
	锯齿		锯条体	
	材料	HV 值	材料	HV 值
27×0.9	M42	950	D6A	490

表 2 M42 钢和 D6A 钢化学成分 / %

Table 2 Chemical composition of steel M42 and steel D6A / %

钢种	C	W	Mo	Cr	V	Co	Ni
M42	1.08	1.5	9.4	3.8	1.2	8.0	-
D6A	0.48	-	1.0	1.1	0.1	-	0.6

的化学成分见表 2。

1.2 实验过程

干喷工艺是砂粒在压缩空气的作用力下,直接击打在锯条的齿部和背部;通过调节压缩空气的大小来调节砂粒击打锯条的力度,通过调节锯条运行的速度来调节砂粒击打锯条的时间;干喷所用沙粒为 46 目(粒度)的棕刚玉(材料);设备为苏州恒全昌机械有限公司制造的四线式干喷机,齿部 1 杆喷枪,背部一面 3 杆喷枪,两面共 6 杆喷枪,示意图见图 1。

1.3 实验检测

用 Almen 试片进行表面压应力的测量实验,根据干喷处理后 Almen 试片变形的弧度值,来核算表面压应力值的大小,采用二元影像仪进行精确检测弧的高度,最终确定气压的大小;采用科迪 VMS-1510 型号二元影像仪对齿尖形貌进行检测。

采用 Amada HA250 型剪式带锯床上进行锯切实验,长度为 3 505 mm。切 GCr15 棒材,速度为 40 m/min,进给速度和进给压力均为 2.0;切 45# 钢,速度为 70 m/min,进给速度和进给压力均为 2.0;当出现如下 3 种情况之一判定产品失效:(1)锯切偏斜量超过 2 mm;(2)单刀锯切时间超过前期平均时间的 50% (切不动);(3)带体断裂;采用 Everising FT260 型空转疲劳测试机上进行背部疲劳试验,张

紧力 300 MPa,空转速度为 300 m/min,直至带体断裂时测试终止,样品数量为干喷前后样品两种工艺各 10 根锯条,数值去掉最大值和最小值,取平均值。

2 结果

2.1 齿部状况及试切数据

表 3 为未喷砂和干喷后样品的锯切结果,被切材料为 HRC 硬度值 38 ~ 40、直径 Φ150 mm 的 GCr15 棒材,通过不磨合直接试切硬度较高材料来验证齿部状况对性能的影响。从表 3 数据得到,未喷砂的平均刀数为 108 刀,干喷后的平均刀数为 179 刀,提升幅度约 66%。

2.2 背部状况及疲劳寿命

表 4 为通过调节压缩空气压力的大小和锯条的运行速度等参数,得到 Almen 试片的弧度值和覆盖率。因干喷只对 Almen 试片单面进行干喷,就会存在单面的变形,采用二元影像仪进行精确检测弧的高度,来核算表面压应力值的大小;表面覆盖率达到 100%,并且越大说明表面处理越均匀。从数据来看,随着压缩空气压力的增加,Almen 试片的弧度值增加,表明表面压应力值增大,当气压达到 0.3 MPa 后,弧度值不再增大。图 2 为不同速度干喷后锯条

表 3 未喷和干喷 M42-D6A 带锯条锯切 GCr15 钢结果

Table 3 Results of non-shot peening and shot peening M42-D6A band-saw saw-cutting steel GCr15

项目	未喷		干喷	
	刀数/刀	失效形式	刀数/刀	失效形式
1 组	110	切斜 2.1 mm	184	切不动
2 组	117	切斜 2.3 mm	167	切斜 2.4 mm
3 组	100	切斜 2.3 mm	188	切不动
4 组	105	切斜 2.2 mm	178	切斜 2.1 mm

表 4 M42-D6A 带锯条不同喷砂工艺参数和背部覆盖率

Table 4 Different shot peening process for M42-D6A band-saw blade and blade back coverage percentage

样品	压缩空气压力/ MPa	Almen 弧度值/ mm	运行速度/ (m·min ⁻¹)	覆盖率/ %
1	0.1	0.30~0.35	4	<100
2	0.2	0.45~0.50	3	100
3	0.3	0.55~0.60	2	100
4	0.4	0.55~0.60	1	100

背部表面的覆盖率状况,图 2 (a)为未喷砂的形貌,图 2 (b, c, d)分别为 4、3、1 m/min 速度喷砂后的背材覆盖率。从图 2 中可以看出,当速度为 4 m/min 时,背部基体的亮白色较多,表面覆盖率较低;随着运

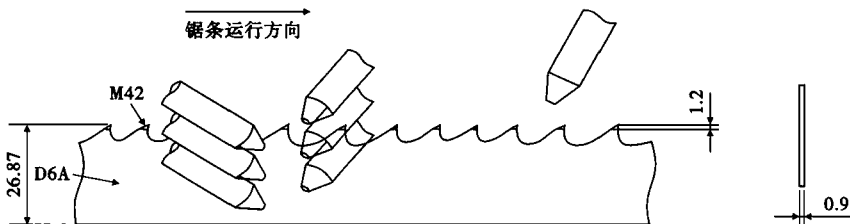


图 1 带锯条和喷枪相对位置示意图

Fig. 1 Schematics of relative position between band-saw blade and shot gun

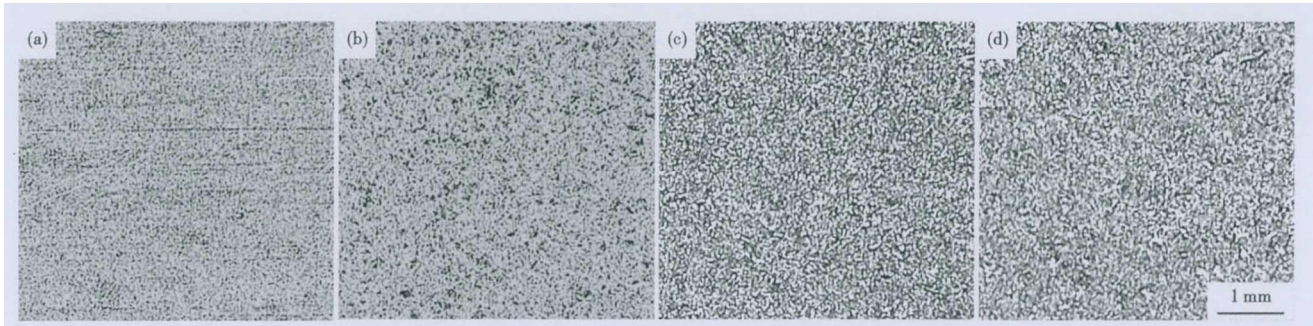


图 2 M42-D6A 带锯条未喷砂和干喷后背部的覆盖率:未喷砂(a),喷砂运行速度 4 m/min,100% (b);3 m/min,100% (c);1 m/min,100% (d)

Fig. 2 Blade back coverage rate of non-shot peening and shot peening M42-D6A band-saw blade: non-shot peening (a); shot peening with speed 4 m/min, 100% (b), 3 m/min, 100% (c) and 1 m/min, 100% (d)

行速度的降低,锯条被击打的时间变长,覆盖率增加,速度为 3 m/min 时,覆盖率较高;再随着喷砂时间的增加,当速度降低到 1 m/min 时,锯条背部的覆盖率几乎没有变化,说明覆盖率在 3 m/min 时,已经达到 100%。使用干喷设备生产时,最合适的工艺参数为:压缩空气的压力值 0.3 MPa,运行速度为 3 m/min。

表 5 为未喷砂样品和喷砂处理后空转疲劳数据和切削 45# 钢的试切数据,从数据来看:经过干喷处理后,空转疲劳寿命提升约 70%;切削 45# 钢来验证背部疲劳,提升幅度约 46.5%。

3 讨论

3.1 干喷对齿尖的影响

在锯切 GCr15 棒材过程中,6 根样品以切斜失效,2 根样品以切不动失效,都属于齿部失效,因此作者重点对喷砂前后的齿尖状况进行了检测。图 3 (a) 为未喷砂的齿尖,齿尖尖锐并且有毛刺,图 3 (b) 为喷砂后齿尖状况,齿尖明显出现圆角,有钝化现象。双金属带锯条齿部材质为高速钢 M42,经过淬火回火后,齿部 HV 硬度值为 950,冲击韧性较低。在锯切的过程中,齿尖的尖角和毛刺在和工件的碰撞过程中,容易发生早期脆断,从而造成齿尖的崩刃现象,影响齿部在切削过程中的寿命,导致切斜和切不动。通过干喷后,齿部消除了尖角和毛刺,并且出现 0.034 mm 左右的圆角,达到钝化效果,极大降低了崩刃的风险,从而增加了齿部的切削寿命。

3.2 干喷对锯条背材的影响

零件的表面粗糙度对疲劳

表 5 M42-D6A 带锯条空转疲劳和试切数据

Table 5 Data of idle fatigue life and saw-cutting dimension of M42-D6A band-saw blade

工艺	空转疲劳/h	试切面积/m ²
未干喷	8.2	12.8
干喷	14	18.8

寿命影响很大,降低表面粗糙度可以增加工件的疲劳寿命,干喷后的表面痕迹不同于切削加工表面,痕迹没有方向性,有利于增加工件的疲劳强度,喷砂的表面粗糙度和砂粒的粒径、速度和压力有关。喷砂过程中,如果锯条运行速度太快,背材表面覆盖率低,就会在喷过的位置产生压应力,未喷的位置应力为零,于是在临界处就会产生拉应力,导致在临界处开裂,降低背材的疲劳性能,所以干喷时保证表面覆盖率也是一项很重要的指标。

双金属带锯条背材采用的材料为弹簧钢,在锯条的使用过程中,受到周期性的循环拉应力,如图 4 中显示的 a-b-c-d。干喷后,砂粒撞击工件的表面,使表面产生弹、塑性变形,并呈现出残余压应力。通过在表面引入残余压应力后,所受的周期性的循环拉应力下降到图 4 中显示的 a'-b'-c'-d',这有利于背

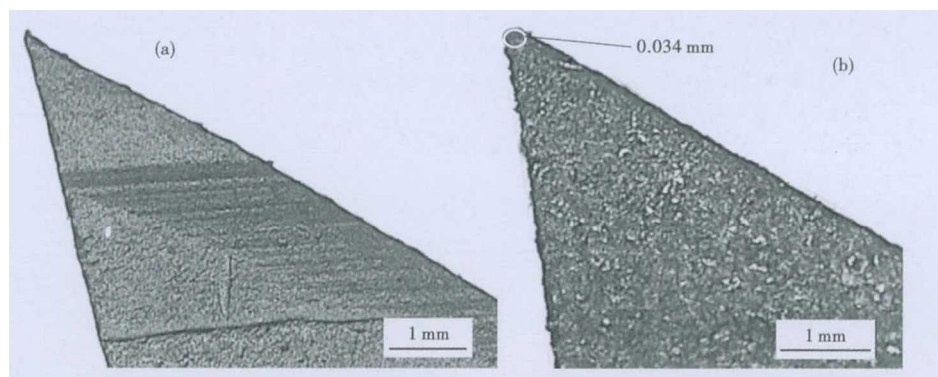


图 3 干喷前(a)后(b)M42 钢齿尖的形貌

Fig. 3 Morphology of tooth tip of steel M42 before (a) and after (b) of shot peening

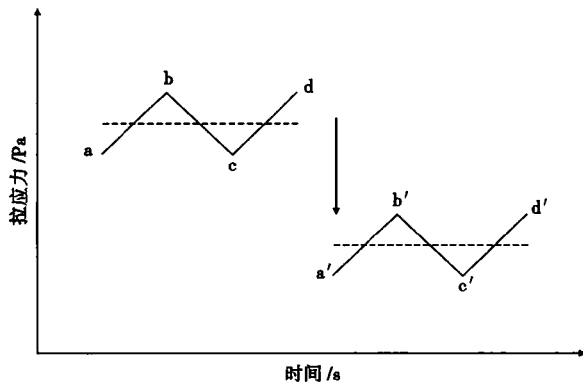


图 4 残余压应力使循环拉应力下降

Fig. 4 Cyclic tensile stress decreasing by residual compressive stress

材的疲劳寿命。

疲劳裂纹总是起源于表面,所以为了提高疲劳性能,除了改善工件光洁度外,常常采用各种方法在工件表面引入残余压应力,以达到提高疲劳寿命的目的。通过空转疲劳和锯切 45# 钢进行验证,干喷

后提升幅度为 45% ~ 70%。

4 结论

(1) 通过干喷工艺实验, 0.3 MPa 的气压, 3 m/min 的运行速度为合理的生产工艺参数,既能保证背部覆盖率,也能保证残余应力的大小。

(2) 通过干喷处理后,齿尖出现圆滑的齿尖,锯切过程中不需要磨合,并且降低齿部的崩齿概率,能够承受切割和振动的冲击力,保证切割工具受力均匀,并提高其齿部的切削寿命。通过锯切 GCr15 棒材,齿部的使用寿命平均提升幅度达 66%。

(3) 干喷后,通过在背材表面引入残余压应力,降低了背材在切削过程中周期性的循环拉应力,从而提升了背材的疲劳性能。通过空转疲劳和锯切 45# 钢验证,提升幅度为 45% ~ 70%。

湖南省重点研发计划项目(2015GK3067),长沙市重点科技计划项目(K1508161-11)资助

参考文献

- [1] Dion P A and Dion G A. Composite Metal Article and Method of Making; US, US7373857 B2 [P]. 2008-05-20.
- [2] 刘年红. 中国双金属带锯条行业研究[J]. 企业技术开发, 2010, 29(12): 125-127.
- [3] Nawaz K F, Sarwar M and Persson M. Cutting Energy and Wear in Bandsawing Operation When Cutting Ti-6Al-4V Alloy[C]//International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing. Newcastle: Northumbria University, 2009: 865-872.
- [4] Sarwar M, Persson M and Hellbergh, et al. Measurement of Specific Cutting Energy for Evaluating the Efficiency of Bandsawing Different Workpiece Materials[J]. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2009, 49(12): 958-965.
- [5] Sarwar M, Persson M and Hellbergh H. Wear and Failure Modes in the Bandsawing Operation When Cutting Ball-Bearing Steel [J]. Wear, 2005, 259(7): 1144-1150.
- [6] Sarwar M, Persson M and Hellbergh H. Wear of the Cutting Edge in the Bandsawing Operation When Cutting Austenitic 17-7 Stainless Steel [J]. Wear, 2007, 263(7): 1438-1441.
- [7] Anderson R A. Method of Making Band Saw Blade; US, 3315548 [P]. 1967-04-25.
- [8] 陈刚, 杨全毅, 周明哲, 等. M42/X32 异种金属 CO₂ 激光焊接接头组织和性能的研究[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2013, 40(11): 89-95.
- [9] 杨全毅, 王娟, 刘发安, 等. 异种钢焊接接头退火工艺研究-焊
- 缝性能与保温时间[J]. 电焊机, 2015, 45(8): 26-31.
- [10] Sarwar M and Haider J. Aspects of Burr Formation in Bandsaw Teeth Manufactured by Milling Operation [J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2010, 26(6): 596-601.
- [11] 韩季初, 李辉, 李栋梁, 等. 双金属锯带的单炉多次循环回火热处理方法: 中国, 200810031785.3 [P]. 2009-11-18.
- [12] 卢斌, 易丹青, 刘沙, 等. 超高强度钢 TRm80 的深冷处理 [J]. 钢铁研究学报, 2000, 12(4): 31-35.
- [13] 陈刚, 王琼霜, 韩季初, 等. 深冷及回火处理对高速钢 M42 组织和力学性能影响[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2012, 39(4): 53-58.
- [14] Haydenr C. Saw Blade; US, 5603252 [P]. 1997-02-18.
- [15] Cranna M T. Structural Saw Blade; US, US6601495 B2 [P]. 2003-08-05.
- [16] Tsujimoto S. Band Saw Blade; US, US D438549S [P]. 2001-03-06.

李栋梁(1981-), 男, 工程师, 2003 年湖南科技大学(本科)毕业, 机械设计, 工艺和设备研发。
E-mail: Lidongliang8165@163.com

收稿日期: 2017-08-01