

表面喷砂工艺对高速钢 M42-弹簧钢 X32 双金属带锯性能的影响

匡旭光 李栋梁 陈廷勇 贾寓真

(湖南泰嘉新材料科技股份有限公司,长沙 410200)

摘要 通过二元影像测量仪和扫描电镜研究了湿喷、干喷和抛丸工艺对高速钢 M42-弹簧钢 X32 双金属带锯不磨合试切 GCr15 钢齿尖崩刃和空转背部疲劳寿命的影响。结果表明,干喷可以保证齿尖形成稳定圆滑的表面,承受切割和振动的冲击力和增加锯条背材表面残余压应力,提高疲劳寿命,是该双金属锯条最合适的表面处理方式。

关键词 高速钢 M42-弹簧钢 X32 双金属带锯条 表面处理 湿喷 干喷 抛丸 齿尖形貌 疲劳寿命

Effect of Sand Blasting Process on Performance of High-Speed Steel M42-Spring Steel X32 Bi-Metal Saw Blade

Kuang Xuguang, Li Dongliang, Chen Tingyong and Jia Yuzhen
(Bichamp Cutting Technology (Hunan) Co Ltd, Changsha 410200)

Abstract The effect of wet-mix sprays, dry spray and shot blasting process on teeth tip breaking by non-running-in cutting steel GCr15 and fatigue life of blade back material by idling fatigue test of high-speed steel M42-spring steel X32 Bi-metal saw blade has been studied by binary image measuring instrument and scanning electron microscope. Results show that the dry spray process may insure the teeth tips to form stable smooth surface and bear impact by cutting and vibrating, and increase the residual compressive stress at blade back material to increase the fatigue life, it is suitable surface treatment method of the bi-metal saw blade.

Material Index High-Speed Steel M42-Spring Steel X32 Bi-Metal Saw Blade, Surface Treatment, Wet-Mix Spray, Dry Spray, Shot Blasting, Morphology of Teeth Tips, Fatigue Life

双金属带锯条是高速钢 M42(齿部)和弹簧钢钢带 X32(背部)通过电子束或者激光焊焊接后,再经过一系列冷、热加工工艺制造的锯切工具,具有高效、节能、节材的特点,在机械行业应用广泛。

目前对双金属带锯条的研究主要集中在制造工艺、锯切理论和锯齿齿形。国内外学者对双金属带锯条制造工艺进行了研究,如焊接工艺^[1-3]、铣齿工艺^[4]、热处理工艺^[5-7]等。以 Sarwar 为代表的学者集中研究了不同材料锯切过程中切削力的变化及带锯条失效机理^[8-11],并开发出单齿锯切设备以模拟锯切过程^[12]。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^[13]和针对薄壁件的加强齿形^[14-15]。

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。为此,作者对于锯条背部表

面处理的方式进行了研究,通过对锯条进行锯切实验和空转疲劳试验,确定锯条最为合适的表现处理方式。

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 X32 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(宽×厚)为 27 mm×0.9 mm,示意图见图 1,基本参数如表 1, M42 和 X32 钢的基本成分如表 2。

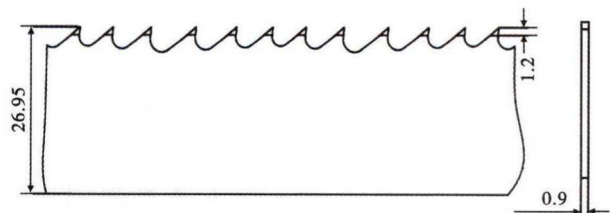


图 1 高速钢 M42(齿部)-弹簧钢 X32(背部)双金属锯条示意图

Fig. 1 Schematics of high-speed steel M42 (teeth)-spring steel X32 (back) bi-metal saw blade

表 1 双金属带锯条相关技术参数

Table 1 Relative technical parameters of bi-metal saw blade

项目	参数
基本截面(宽×厚)	27 mm×0.9 mm
齿距(每英寸齿数)	变齿距,3/4 TPI(Teeth per inch)
前角/后角	7°/35°
分齿序列/分齿量	左-右-左-右-中/0.35 mm±0.05 mm
锯齿材料/硬度	M42/950 HV
锯条体材料/硬度	X32/510 HV

表 2 高速钢 M42 和弹簧钢 X32 的化学成分/%

Table 2 Chemical composition of high-speed steel M42 and spring steel X32 / %

钢种	C	W	Mo	Cr	V	Co	Ni
M42	1.08	1.5	9.4	3.8	1.2	8.0	-
X32	0.32	-	1.0	4.0	0.3	-	0.5

1.2 实验过程

将带锯条分别用湿喷、干喷、抛丸等 3 种不同的方式进行表面处理,湿喷机为北京长空喷砂设备有限公司制造,干喷机为苏州恒全昌机械有限公司制造,抛丸机为山东开泰抛丸设备有限公司制造。湿喷工艺是水和砂粒的混合物在压缩空气的作用力下,击打在锯条的齿部和背部;干喷工艺是干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;抛丸工艺是砂粒在叶轮的离心力下,击打在锯条的齿部和背部。3 种表面处理所用沙粒均为 46 目(粒度)的棕刚玉(材料),锯条运行速度为 2 m/min。先用 almen 试片进行预实验,根据处理后 almen 试片变形的弧度值,来确定击打的力在合适范围内,防止击打力过大,造成带体波弯、扭曲,二元影像仪测量阿尔门试片弧高示意图为图 2。

1.3 实验检测

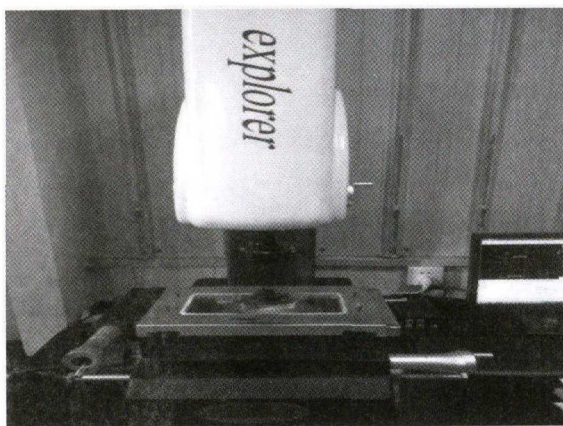


图 2 显微镜测量阿尔门试片弧高示意图

Fig. 2 Diagram of arc height of Almen piece measuring by microscope

采用二元影像仪进行精确检测弧的高度;采用科迪 VMS-1510 型号二元影像仪对齿尖形貌进行检测;采用 Sirion 200 型场发射扫描电子显微镜对表面处理后的背部形貌进行观察;采用 Amada HA250 型剪式带锯床上进行锯切实验,长度为 3 505 mm。

速度为 40 m/min,进给速度和进给压力均为 2.0,当出现如下 3 种情况之一判定测试终止:

(1) 锯切偏斜量超过 2 mm;

(2) 单刀锯切时间超过 5 min;

(3) 带体断裂,样品数量为 3 种工艺各 4 根锯条;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 3 种工艺各 10 根锯条。

2 结果讨论

2.1 齿尖状况及锯切数据

图 3 中(a₁)、(b₁)、(c₁)分别为湿喷、干喷、抛丸后的齿尖形貌,(a₂)、(b₂)、(c₂)分别为湿喷、干喷、抛丸处理锯条锯切失效后的齿尖形貌。

图 3 中表明,经湿喷处理,齿尖毛刺较少,无钝化圆角;经干喷处理,齿尖毛刺较少,并且成圆角状;经抛丸处理,齿尖呈尖角状,并且有崩齿损伤的现象。经过锯切后,湿喷工艺齿尖刃口存在微崩情况;干喷工艺齿尖刃口成规整的圆弧状,无崩齿现象;抛丸工艺齿尖刃口存在异常崩刃现象。双金属带锯条在锯切过程中,齿尖受到间断冲击力,如果齿尖过于锋利,反而容易在锯切早期发生崩齿。如抛丸工艺在加工过程中,因设备利用离心力把沙粒甩出击打在锯条表面,控制难度较大,容易发生微崩现象,锯条在后续的使用过程中崩齿现象会加剧,如图 3(c₁)。由于带锯条齿部材料为 M42 高速钢,其热处理后 HRC 硬度值达到 68,但冲击韧性仅约 10 J/cm²,韧性较低。在锯切过程中,由于尖角部位优先与工件产生冲击作用,其极易发生脆断,即表现为崩刃。目前使用锯条的大部分厂家为了工作效率,很少对新锯条进行磨合,从而容易导致锯条出现崩齿现象,导致锯条过早失效。

锯切调质态 GCr15 钢-Φ80 mm 棒料的测试结果如表 3 所示。湿喷工艺平均 110 刀/5 552 cm²,干喷工艺平均 146 刀/7 335 cm²,抛丸工艺平均 88 刀/4 434 cm²。干喷工艺锯切面积高出抛丸 65.9%,干喷工艺锯切面积高出湿喷 32.7%。从失效形式来看,湿喷、抛丸全部以切斜失效,显示齿尖崩齿后,导

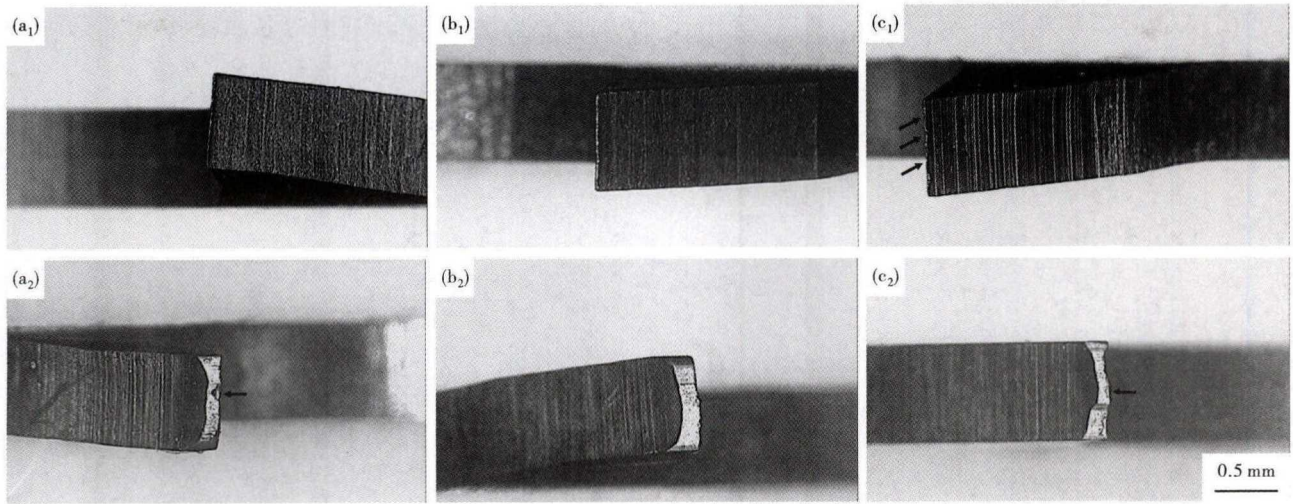


图 3 湿喷(a₁)、干喷(b₁)和抛丸(c₁)后齿光形貌;湿喷(a₂)、干喷(b₂)和抛丸(c₂)锯切失效后齿尖形貌

Fig.3 Morphology of tooth tip after wet-mix sprays (a₁), dry spray (b₁) and shot blasting (c₁); and morphology of tooth tip with wet-mix sprays (a₂), dry spray (b₂) and shot blasting (c₂) after saw cutting failure

致锯条在锯切过程中受力不均匀。因此,在表面处理过程中,保证各齿尖形成稳定圆滑的表面,从而能够承受切割和振动的冲击力,保证切割工具受力均匀,并延长其使用寿命。

2.2 背部形貌及疲劳寿命

图 4 中(a,b,c)分别为湿喷、干喷、抛丸后背部形貌:湿喷表面较平整,坑较浅,并且覆盖率较差;干喷和抛丸的区别不大,从取样部位来看,干喷的均匀性稍好。表面越平整,说明沙粒击打的覆盖率越低;击打的坑洞越深,表面残余压应力越大。湿喷过程中,因沙粒和水在气压作用下对锯条表面进行喷射,沙粒撞击在锯条的表面,水起到了缓冲的作用,降低了沙粒的击打力,从而导致背材的表面较为平整,坑较浅,因此覆

表 3 高速钢 M42-弹簧钢 X32 双金属锯条的锯切结果

Table 3 Results of sawing test of high-speed steel M42-spring steel X32 bi-metal saw blade

工艺	湿喷			干喷			抛丸		
	刀数	面积/ cm ²	失效形式/ mm	刀数	面积/ cm ²	失效形式/ mm	刀数	面积/ cm ²	失效形式/ mm
第 1 组	135	6 782	切斜 2.4	140	7 033	切斜 2.4	89	4 471	切斜 2.2
第 2 组	109	5 476	切斜 2.3	149	7 489	切不动	79	3 969	切斜 2.2
第 3 组	97	4 873	切斜 2.3	160	8 038	切不动	85	4 270	切斜 2.4
第 4 组	101	5 074	切斜 2.2	135	6 082	切斜 2.1	100	5 024	切斜 2.2

盖率低、表面压应力低,没有发挥出表面处理对产品性能的优化作用。

图 5 为双金属锯条的湿喷、干喷、抛丸处理后,在空转疲劳测试机上测试的数据。干喷和抛丸的空转疲劳寿命区别不大,干喷在湿喷的基础上提升了约 79%。

双金属带锯条在锯切过程中,背材受到周期性

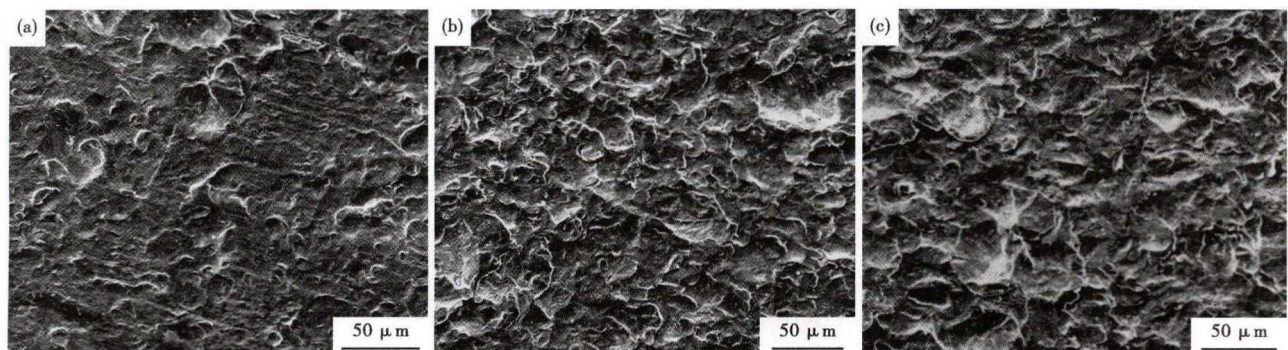


图 4 双金属锯条湿喷(a)、干喷(b)和抛丸(c)后背部(弹簧钢 X32)的表面形貌

Fig.4 Surface morphology of back (spring steel X32) of bi-metal saw blade after wet-mix sprays (a), dry spray (b) and shot blasting (c)

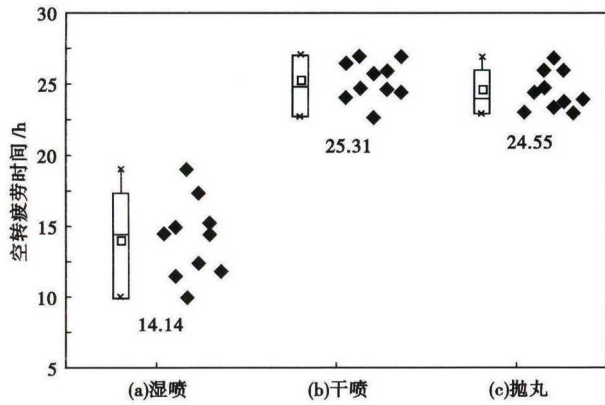


图 5 湿喷 (a)、干喷 (b) 和抛丸 (c) 对双金属锯条空转疲劳时间的影响

Fig. 5 Effect of wet-mix sprays (a), dry spray (b) and shot blasting (c) on idling fatigue life of bi-metal saw blade

的拉应力、扭转力等共同作用,疲劳破坏主要取决于作用应力的 大小、材料抵抗疲劳破坏的能力、锯条底边和齿沟的光洁度等因素,因此为了提高疲劳性能,除了改善热处理工艺和光洁度外,常常采用各种方法在工件表面引入压缩残余应力,以达到提高疲劳寿命的目的。由图 4 中表面形貌可知,干喷、抛丸后

表面覆盖率和残余压应力等参数较湿喷更优,因此双金属锯条背材的疲劳寿命明显更高。

3 结论

(1) 湿喷、干喷、抛丸 3 种表面处理工艺,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。

(2) 湿喷、干喷、抛丸 3 种表面处理工艺,干喷和抛丸处理都能保证背材的覆盖率和表面压应力,提高背材的疲劳寿命约 79%,极大发挥了锯条在切普通碳钢工况中背部的疲劳性能,延长锯条使用寿命。

(3) 湿喷、干喷、抛丸 3 种表面处理工艺,考虑齿部、背部的综合性能下,干喷是最合适的表面处理方式。

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)

参考文献

[1] Dion P A, Dion G A. Composite Metal Article and Method of Making; US, US7373857B2 [P]. 2008-05-20.

[2] 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.

[3] 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.

[4] Sarwar M, Haider J. Aspects of Burr Formation in Bandsaw Teeth Manufactured by Milling Operation[J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2010, 26(6): 596-601.

[5] 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.

[6] 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.

[7] 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.

[8] Nawaz K F, Sarwar M, Pesson 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.

[9] Sarwar M, Persson M, Hellbergh H, 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.

[10] Sarwar M, Persson M, Hellbergh H. Wear and Failure modes in the Bandsawing Operation When Cutting Ball-Bearing Steel [J]. Wear, 2005, 259(7): 1144-1150.

[11] Sarwar M, Persson M, 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.

[12] Sarwar M, Hellbergh H, Doraisingam A R, et al. Simulation of the Intermittent Cutting Action of a Bandsaw Blade [C]//12th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing. Newcastle; Northumbria University, 2003: 84-92.

[13] Haydenr C. Saw Blade; US, 5603252 [P]. 1997-02-18.

[14] Cranna M T. Structural Saw Blade; US, US6601495B2 [P]. 2003-08-05.

[15] Tsujimoto S. Band Saw Blade; US, US D438549S [P]. 2001-03-06.

匡旭光(1987-),男,硕士(2011年中南大学),工程师,2008年吉首大学(本科)毕业,双金属带锯条的热处理、喷砂工艺研究。E-mail:xuguangkuang@163.com

收稿日期:2017-04-06