

## 磨削淬火强化层与高频感应淬火强化层的对比研究

丛树林<sup>1</sup>, 时海芳<sup>2</sup>, 姜昕彤<sup>3</sup>, 李海玉<sup>2</sup>, 孙上茹<sup>4</sup>, 刘波<sup>2</sup>

(1. 辽宁科技学院, 本溪 117004; 2. 辽宁工程技术大学 材料科学与工程学院, 阜新 123000;  
3. 辽宁工程技术大学 建筑工程学院, 阜新 123000; 4. 辽宁工程技术大学 机械工程学院, 阜新 123000)

**[摘要]** 对 42CrMo 钢进行磨削淬火和感应淬火, 对比研究了两种强化层的显微组织、硬度和厚度。结果表明: 高频感应淬火强化层的厚度、组织及截面显微硬度分布都较为均匀, 组织为细针状马氏体组织; 磨削淬火强化层的厚度不均匀, 组织以板条状马氏体为主, 由表及里呈现“细→略粗→细”的变化规律, 显微硬度高于高频感应淬火强化层。

**[关键词]** 磨削淬火; 高频感应淬火; 组织; 厚度; 硬度

**[中图分类号]** TG156.33

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 1001-3660(2012)03-0071-02

## Study on Comparison of Grinding Hardened Layer with Induction Hardened Layer

CONG Shu-lin<sup>1</sup>, SHI Hai-fang<sup>2</sup>, JIANG Xin-tong<sup>3</sup>, LI Hai-yu<sup>2</sup>, SUN Shang-ru<sup>4</sup>, LIU Bo<sup>2</sup>

(1. Liaoning Institute of Science and Technology, Benxi 117004, China;  
2. College of Materials Science and Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China;  
3. College of Architecture and Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China;  
4. College of Mechanical Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China)

**[Abstract]** The 42CrMo was treated by grinding hardening and making induction hardening test and the microstructure, hardness and thickness of the two strengthened layers were compared and studied. The results show that the thickness of enhanced induction strengthened layer is uniformity, the structure of strengthened layer and microhardness of its cross section are homogeneous, the martensite organization is fine needle-like; And the thickness of grind-hardening strengthened layer is uneven, the main martensite organization of strengthened layer is lath-like, and the change rule of the organization is from fine to slightly coarse, then to fine. The change of microhardness is obvious in strengthened layer.

**[Key words]** grinding hardening; induction hardening; microstructure; thickness; hardness

磨削淬火是利用磨削加工中热、力的耦合作用直接对工件进行表面淬火处理, 从而达到强化目的, 满足使用要求<sup>[1-6]</sup>。砂轮是磨削加工的工具, 相当于感应淬火的感应圈, 通过砂轮与工件相接触, 把磨削加工产生的热、力传入工件加工表面。感应淬火是利用电磁感应原理, 通过感应圈产生感应电流, 发生电阻热, 从而对工件表面进行加热。文中对磨削淬火强化层与高频感应淬火强化层的组织和硬度进行对比研究<sup>[7-8]</sup>。

### 1 试验

采用调质处理 42CrMo 钢, 制作成尺寸为 24 mm × 24 mm × 50 mm 的试样。磨削淬火试验在 M7132A

精密卧式磨床上进行, 采用的砂轮是棕刚玉砂轮, 砂轮规格为 300 mm × 40 mm × 75 mm, 砂轮粒度为 46 目。高频感应淬火在 300 型感应加热设备上进行。

经过优化, 试验采用的磨削速度  $v_s = 23.55$  m/s, 磨削深度  $a_p = 0.3$  mm, 工件进给速度  $v_w = 1$  mm/s, 磨削方式为单程切入顺磨, 冷却条件为湿磨。以此获得的磨削淬火强化层, 其厚度与高频感应淬火强化层基本一致。

为了便于观察强化效果, 将试件沿强化层深度方向切取并进行研磨抛光, 用 4% (体积分数) 硝酸酒精溶液腐蚀, 制成金相试样。用 SSX-550 型扫描电镜观察强化层的显微组织, 用 D71 型数字显微硬度计测量强化层的显微硬度。

**[收稿日期]** 2012-01-13; **[修回日期]** 2012-03-17

**[作者简介]** 丛树林 (1956—), 男, 辽宁本溪人, 教授, 主要研究方向为机械加工。

## 2 结果与分析

### 2.1 强化层的组织

高频感应淬火是利用电磁感应原理进行加热的,能以极快的速度把一定厚度的表面层加热到淬火温度。在加热开始时,工件处于室温,电流透入深度小,加热仅在表面薄层进行。感应淬火加热时间短,表面氧化、脱碳轻微,淬火变形小。如图 1 所示,感应淬火强化层的组织均匀,都为细针状的马氏体组织<sup>[9]</sup>。

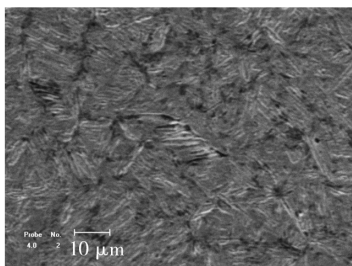
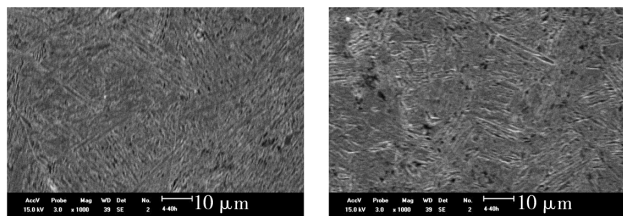


图 1 感应淬火强化层的组织

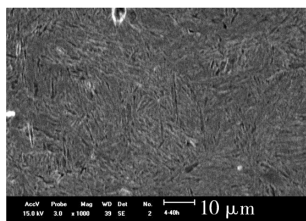
Fig. 1 The structure of induction hardening strengthened layer

在磨削加工中,产生的磨削热大部分集中于工件表面,使工件表面温度达到  $A_{c3}$  以上,达到淬火的要求。由于磨削淬火是磨削热和磨削力复合的结果,淬火变形大,因此表面氧化、脱碳严重。图 2 是磨削淬火强化区马氏体的组织形貌,如图 2 所示,强化层的组织为混合型马氏体组织,其中以板条状马氏体居多,并由表及里呈现“细→略粗→细”的变化规律。在磨削加工中,产生的磨削热比较多,传入工件中的温度比较高,原子扩散速率急剧加快,相变驱动力  $\Delta G_V$  迅速增加以及奥氏体中碳的浓度梯度显著增大,使得奥氏体的形



a 表层

b 次表层



c 深表层

图 2 磨削淬火强化区马氏体的组织形貌

Fig. 2 Morphology of microstructure in grinding hardening hardened zone

核率和长大速度大大增加。表层由于温度比较高,磨削力的作用比较显著,变形比较大,奥氏体晶粒碎化比较多,位错密度比较高,使得奥氏体晶粒细小,因而转化成的马氏体组织也比较细小;在次表层,由于变形比较小,奥氏体晶粒碎化比较少,因而转换成的马氏体组织略粗;在内表层,由于温度比较低,形成的奥氏体尺寸比较小,因而转换成的马氏体也比较细小<sup>[9-12]</sup>。

### 2.2 强化层的硬度

根据 42CrMo 钢的特性可知,当显微硬度达到 510HV 以上时,得到的组织为马氏体组织。图 3 是淬火强化层剖面的显微硬度分布曲线。如图 3 所示,感应淬火试样强化层的显微硬度变化不大,为 700HV;磨削淬火试样强化层的显微硬度变化显著,呈现逐渐下降的趋势,最高达到 770HV,明显高于感应淬火强化层。在磨削淬火过程中有磨削力的存在,这使试样受到挤压、变形,发生晶粒碎化,因此组织细小,显微硬度较高<sup>[11-13]</sup>。

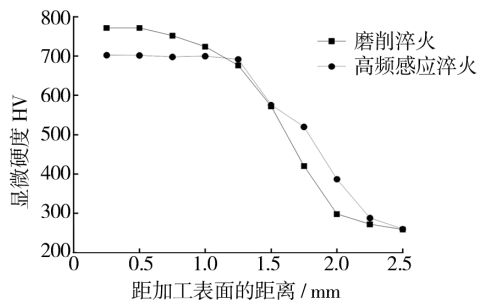


图 3 淬火强化层的显微硬度分布

Fig. 3 The distribution curve of microhardness of quenching strengthened layer

### 2.3 强化层的厚度

高频感应淬火强化层的厚度是均匀的,而磨削淬火强化层则不同,图 4 是磨削淬火强化层厚度的横向变化宏观图。由图 4 可知,在向左侧进刀时,强化层厚度有最小值  $t_1$ ,中间趋于平稳,在向右侧退刀时强化层厚度有最大值  $t_2$ 。但是在实际使用中,强化层厚度的有效尺寸为最小值  $t_1$ 。

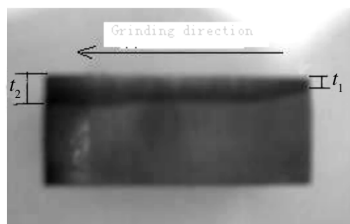


图 4 磨削淬火强化层的厚度

Fig. 4 Thickness of strengthened layer along horizontal direction

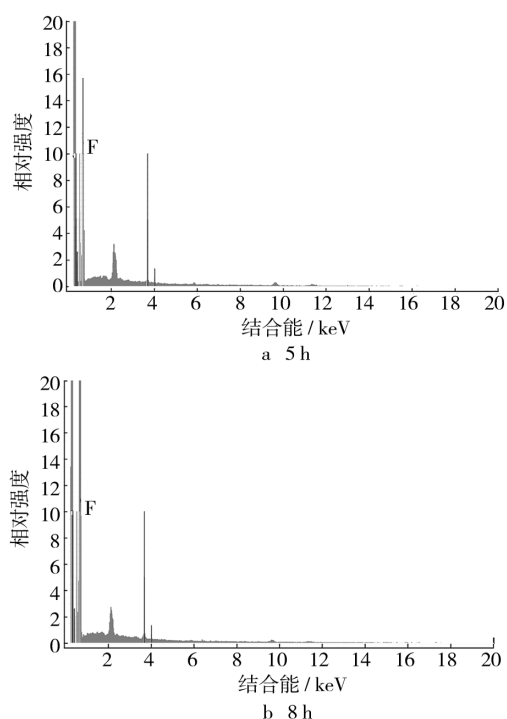


图5 氟化不同时间所得氟化层表面的 XPS 全谱图

Fig. 5 The XPS spectrogram of fluorinated layer under different fluorination time

### 3 结论

1) HDPE 氟化层越厚,其表面氟化层越不均匀,

氟化后的表面平滑性越差,而且随着反应的进行,形成的氟化层会抑制氟化反应。

2) HDPE 表面氟化层的氟含量随着温度、时间的增加,呈非线性增长。

#### [参 考 文 献]

- [1] BANK R E, SWART B E, TATLOW J C. Organofluorine Chemistry[M]. New York: Plenum Press, 1994.
- [2] 杨宏伟,费逸伟,李源,等. 高分子聚合物表面氟化处理技术研究[J]. 包装工程, 2010, 31(13): 140—142.
- [3] BANK R E. Fluorocarbons and Their Derivatives[M]. London: Macdonald, 1970.
- [4] 梁治齐,陈薄. 氟表面活化剂[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1998.
- [5] 周冰,张丽叶. 弹性聚四氟乙烯/聚氨酯复合薄膜性能的研究[J]. 中国塑料, 2007, 21(6): 67—70.
- [6] 董文丽. 阻隔性包装 HDPE 及生产技术的应用发展[J]. 包装工程, 2009, 30(10): 117—120.
- [7] 曾毅,吴伟,高建华. 扫描电镜和电子探针的基础及应用[M]. 上海: 科学技术出版社, 2009: 6—10.
- [8] 朱明华. 仪器分析[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 286—307.

(上接第 72 页)

### 3 结论

1) 高频感应淬火强化层的组织均匀,都为细针状的马氏体组织;磨削淬火强化层的组织由表及里呈现“细→略粗→细”的变化规律,为混合型马氏体组织,其中以板条状马氏体居多。

2) 高频感应淬火强化层的厚度均匀,显微硬度达到 700HV;磨削淬火强化层的厚度不均匀,显微硬度最高可达 770HV。由于磨削热、磨削力的耦合作用,导致磨削淬火强化层的显微硬度高于高频感应淬火强化层。

#### [参 考 文 献]

- [1] BRINKSMEIER E, BROCKHOFF T. Utilization of Grinding Heat as a New Heat Treatment Process[J]. Annals of the CIRP, 1996(1): 283—286.
- [2] BROCKHOFF T. Grind-hardening: a Comprehensive View[J]. Annals of the CIRP, 1999(1): 255—260.
- [3] 马占龙,韩正铜,杜长龙. 磨削淬火技术的应用展望[J]. 煤矿机械, 2008, 29(3): 6—7.

- [4] 张建华,葛培琪,张磊. 磨削淬火技术的研究现状与展望[J]. 工具技术, 2006, 40(11): 3—5.
- [5] 张金煜,王贵成,张春燕,等. 一种绿色的表面淬火工艺——磨削淬硬[J]. 机械设计与制造, 2007(7): 206—208.
- [6] 吴弘,梁东影,谢晓琼. 瓦楞辊失效分析及循环淬火表面强化[J]. 包装工程, 2007, 28(12): 158—160.
- [7] 时海芳,刘波,马壮,等. 砂轮粒度对 42CrMo 钢磨削强化层的影响[J]. 兵器材料科学与工程, 2011, 34(4): 27—29.
- [8] 张宁菊. 磨削加工与表面淬火集成技术[J]. 机械制造, 2005, 43(2): 53—54.
- [9] 孙希泰. 材料表面强化技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [10] 崔忠圻. 金属学与热处理[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2007.
- [11] 杨刚,韩正铜,杜长龙. 40Cr 钢的磨削淬硬层与磨削参数的关系[J]. 矿冶工程, 2008, 28(1): 84—87.
- [12] 刘菊东,王贵成,陈康敏,等. 原始组织对 40Cr 钢磨削硬化层的影响研究[J]. 金属热处理, 2004, 29(12): 61—65.
- [13] 刘志强. 单齿连续感应加热淬火工艺技术研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2006.