

# 40Cr 调质钢外圆磨削淬硬试验研究

马占龙

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所应用光学国家重点实验室, 吉林 长春 130033)

**摘要:**采用外圆磨削方式对 40Cr 调质钢进行磨削淬硬试验,通过测量试样的金相组织和显微硬度对外圆磨削淬硬的可行性、磨削参数对淬硬效果的影响规律等进行研究。结果表明:40Cr 钢外圆磨削淬硬是可行的;试样的表层组织由完全淬硬层、过渡层和基体组成;表面硬度均在 690 HV 左右,淬硬层深度最高可达 1.10 mm;磨削深度对表面硬度无显著影响,但对淬硬层深度具有显著影响,工件速度和砂轮型号对表面硬度及淬硬层深度均无显著影响。

**关键词:**40Cr 钢 磨削淬硬 外圆磨削 淬硬效果

**中图分类号:**TG156.33;TG580.63+1 **文献标识码:**A

## Experimental research on external grind-hardening for quenched and tempered 40Cr steel

MA Zhanlong

(The State Key Laboratory of Applied Optics, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Science, Changchun 130033, CHN)

**Abstract:** The grind-hardening experiment of 40Cr steel had been carried out on the external grinder and the metallurgical structure and microhardness of the samples were measured and analyzed. The research results showed that the external grind-hardening of 40Cr steel is feasible, the surface layer of the samples consists of hardening layer, transition layer and body, the average surface hardness is 690 HV and the maximum hardness penetration depth reach up to 1.10 mm, the grinding depth has a great effect on the hardness penetration depth but not on the surface hardness, the feeding speed and the types of grinding wheel have no significant impact on the surface hardness and hardness penetration depth.

**Keywords:** 40Cr Steel; Grind-hardening; External Grinding; Hardening Effect

磨削淬硬<sup>[1-2]</sup>是利用磨削加工过程中产生的热量直接对工件进行表面淬火的绿色加工工艺,该工艺实现了磨削加工与表面淬火的相集成,缩短了生产周期,降低了生产成本,减少了能源浪费和环境污染。

目前为止,国内外学者在磨削淬硬的试验研究<sup>[4-7]</sup>方面做了许多工作并取得了一定的成果,但这些研究多数是通过单因素试验法来研究磨削参数对淬硬效果的影响,而由于其影响因素较多,仅分析单个因素的影响规律尚显不足。同时,多采用单程切入式平面磨削方式,对生产实际中应用较广的大表面、工件外圆及成形面的磨削淬硬研究涉及较少。

40Cr 是常用的合金钢,具有较高的抗拉强度、屈服强度及疲劳强度,综合力学性能较好。调质后,可改善其切削性能,是目前最常用的表面淬火材料。因此,本文将针对 40Cr 钢制定外圆磨削淬硬正交试验方案,

对外圆磨削过程中各个因素对淬硬效果的影响规律及各个因素的主次关系进行较为深入的研究,为制定合适的工艺参数提供理论基础。

### 1 试验方案

试验在 M1432B 型万能外圆磨床上进行,试样直径为  $\phi 50$  mm,砂轮线速度为 35 m/s,磨削方式为逆磨,冷却条件为空气自然冷却,制定如表 1 所示的试验因素水平表和表 2 所示的外圆磨削淬硬正交试验方案。

磨削完成后,将工件沿淬硬层深度方向进行线切割,取下一块尺寸为宽 8 mm×厚 3 mm 的材料试样,经镶嵌后研磨抛光,用 4% 硝酸酒精溶液腐蚀,制成金相试样。采用 S-3000N 型扫描电镜观测试样的金相组织,用 HXD-1000TM/LCD 数字式显微硬度计测量其

显微硬度,加载载荷为 4.904 N,保荷时间为 15 s。

表 1 试验因素水平

水平	因素		
	磨削深度 A /mm	工件速度 B /(m/s)	砂轮型号 C
1	0.20	0.02	WA46L8V
2	0.30	0.05	PA46L8V
3	0.40	0.08	PA60L8V

表 2 外圆磨削淬硬正交试验方案

试件号	因素		
	A/mm	B/(m/s)	C
1	0.20	0.02	WA46L8V
2	0.20	0.05	PA46L8V
3	0.20	0.08	PA60L8V
4	0.30	0.02	PA60L8V
5	0.30	0.05	WA46L8V
6	0.30	0.08	PA46L8V
7	0.40	0.02	PA46L8V
8	0.40	0.05	PA60L8V
9	0.40	0.08	WA46L8V

## 2 试验结果与分析

### 2.1 金相分析

图 1 为 6 号试件的表层金相组织。从图中可以看出,试件的表层组织由表及里可分为完全淬硬层、过渡层和基体 3 个部分。

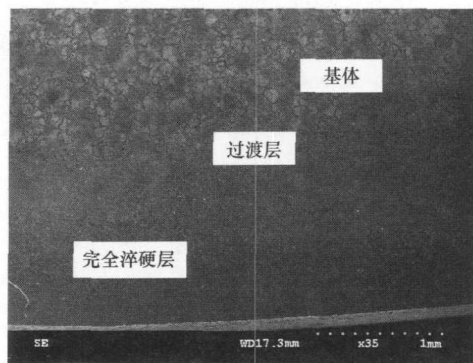


图 1 6号试件表层金相组织

完全淬硬层主要由针状马氏体和板条状马氏体组成。在磨削淬硬过程中,工件的表面与砂轮接触,受到磨削区域内热源的直接作用,温度迅速超过相变临界温度  $A_{c3}$ ,材料组织完全转化为奥氏体。随着砂轮的离开,热源迅速消失,依靠材料本身优良的导热性能以及空气的冷却效果,工件表面已经奥氏体化的部分又短时间内经历了一次快速冷却的过程,于是奥氏体组织发生马氏体转变,因此在工件表面最终获得了一定厚度的马氏体组织。

过渡层主要为珠光体和铁素体以及少量马氏体的混合物。由于磨削时间较短,热量来不及传到工件表层以下很深的位置,该区域由于没有达到足够的温度,奥氏体化不够彻底,从而在温度降低后得到珠光体和铁素体以及少量马氏体的混合组织结构,与工件表面的距离越远,过渡层中的马氏体含量越少,铁素体和珠光体含量越多。

基体由于没有发生金相转变,其金相组织为原始的铁素体和珠光体的混合物。

### 2.2 硬度分析

图 2 为各试件沿深度方向的显微硬度分布曲线,从图中可以看出,各个试件均取得了一定的淬硬效果,并且具有相似的硬度分布规律:完全淬硬层由于主要由马氏体组成,硬度平均在 690 HV(60 HRC)左右;过渡层随着马氏体含量的减少和铁素体含量的增加,硬度急剧下降;基体硬度集中在 200 HV(190 HRS)左右。40Cr 钢经表面淬火后硬度要求一般为 48 ~ 55 HRC,因此认为硬度高于 48 HRC(484 HV)时即为淬硬,由此可以得到各个试件的淬硬层深度。表 3 给出了外圆磨削淬硬试验硬度测试结果,从表中可以看出当磨削参数选择合适的情况下可以满足高频淬火工艺的要求。

表 3 硬度测试结果

试件号	表面硬度/HV	淬硬层深度/ $\mu\text{m}$
1	657.9	310
2	673.6	450
3	647.4	220
4	710.7	580
5	675.8	820
6	701.3	740
7	710.1	770
8	719.7	1 100
9	706.6	950

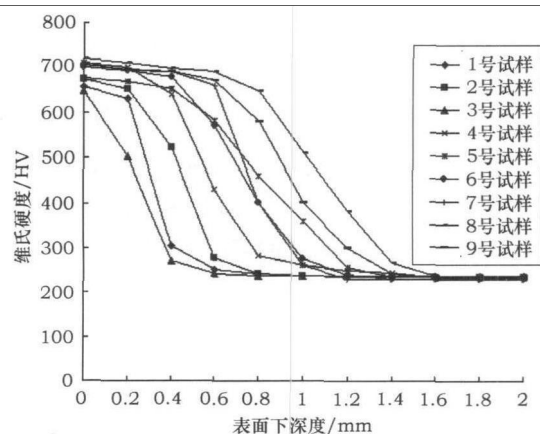


图 2 各试件显微硬度分布曲线

为了考察各个因素对试验结果是否具有显著作用以及影响规律,需要对试验结果进行直观分析和方差分析。通过对试验结果的计算可以得到如图3所示的各因素水平同淬硬效果间的关系图和表4、5所示的工件的表面硬度与淬硬层深度两项指标的方差分析表。从关系图中可以看出:

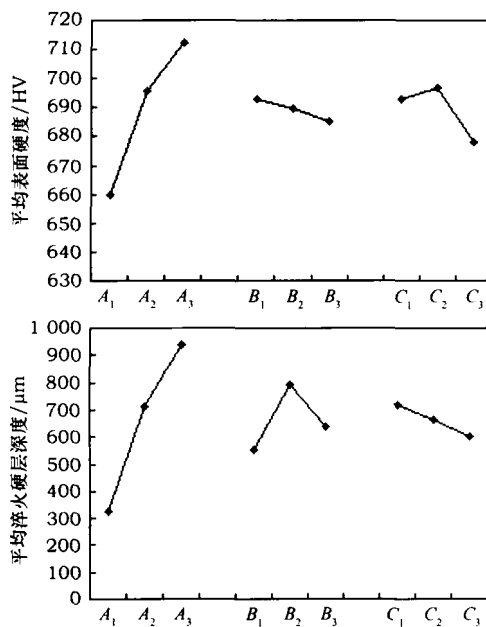


图3 因素水平与淬硬效果关系图

(1) 表面硬度随磨削深度的增大而提高,随工件速度的提高而降低,随砂轮型号的变化先提高后降低,效果为铬刚玉砂轮优于白刚玉砂轮,小粒度号砂轮优于大粒度号砂轮,其最优因素水平组合为  $A_3B_1C_2$ ,即磨削深度为 0.4 mm、工件速度为 0.02 m/s、砂轮型号选用 PA46L8V,可以得到最高的工件表面硬度。

(2) 淬硬层深度随磨削深度的增加而增大,随工件速度的提高先增大后减小,随砂轮型号的变化而减小,效果为白刚玉砂轮优于铬刚玉砂轮,小粒度号砂轮优于大粒度号砂轮。其最优因素水平组合为  $A_3B_2C_1$ ,即磨削深度为 0.4 mm、工件速度为 0.05 m/s、砂轮型号选用 WA46L8V,可以得到最大的淬硬层深度。

给定  $\alpha=5\%$ ,由文献[6]可知  $F_a(2,2)=19$ 。由表4、5可以看出对于表面硬度  $F_A < 19, F_B < 19, F_C < 19$ ,表明磨削深度、工件速度和砂轮型号对表面硬度均无显著影响;对于淬硬层深度  $F_A > 19, F_B < 19, F_C < 19$ ,表明磨削深度对淬硬层深度具有显著影响,而工件速度和砂轮型号对淬硬层深度均无显著影响。

### 3 结语

本文采用外圆磨削方式对40Cr钢进行了磨削淬

表4 表面硬度方差分析表

来源	离差	自由度	均方离差	F 值
A	4 336.38	2	2 168.19	11.29
B	92.24	2	46.12	0.24
C	615.68	2	307.84	1.60
误差	384.02	2	192.01	
总和	5 428.32	8		

表5 淬硬层深度方差分析表

来源	离差	自由度	均方离差	F 值
A	577 066.67	2	288 533.335	103.05
B	86 466.67	2	43 233.335	15.44
C	19 266.67	2	9 633.335	3.44
误差	5 600	2	2 800	
总和	688 400	8		

硬试验研究,通过对金相组织、表面硬度以及淬硬层深度等的测量和分析,得出以下主要结论:

(1) 试件的表层组织由表及里由完全淬硬层、过渡层和基体3个部分组成,各部分的组织分别为马氏体、珠光体和铁素体以及少量马氏体的混合物、铁素体和珠光体的混合物。

(2) 各试件显微硬度分布规律基本相似,均取得了一定的淬硬效果,当磨削参数选择合适时可以用来替代高频淬火工艺。

(3) 表面硬度随磨削深度的增加而提高;随工件速度的提高而降低;随砂轮型号的变化先提高后降低;效果为铬刚玉砂轮优于白刚玉砂轮,小粒度号砂轮优于大粒度号砂轮。

(4) 淬硬层深度随磨削深度的增加而增大;随工件速度的提高先增大后减小;随砂轮型号的变化而减小;效果为白刚玉砂轮优于铬刚玉砂轮,小粒度号砂轮优于大粒度号砂轮。

(5) 磨削深度、工件速度和砂轮型号对表面硬度均无显著影响;磨削深度对淬硬层深度具有显著影响,而工件速度和砂轮型号对淬硬层深度均无显著影响。

### 参考文献

- [1] Brockhoff T. Grind-hardening: a comprehensive view[J]. Annals of the CIRP, 1999,48(2): 255-260.
- [2] Zarudi I, Zhang L C. Mechanical property improvement of quenched steel by grinding[J]. Journal of Materials Science, 2002,37(18):3935-3943.
- [3] 韩正铜,张宁菊,高顶. 40Cr 调质钢磨削淬硬表面强化的实验研究[J]. 材料工程,2007(12):35-38.
- [4] 刘菊东,王贵成,陈康敏. 磨削用量对40Cr 钢磨削淬硬层的影响[J]. 中国机械工程,2006,17(17):1842-1845.
- [5] 刘菊东,侯达盘,王大镇. 40Cr 钢磨削淬硬层组织形成机理的研究[J]. 材料热处理学报,2007(28):41-45.

# 辅助粘接方法加工薄板类工件研究

刘本良 吴定柱 钱志强 陈金明

(中国工程物理研究院机械制造工艺研究所, 四川 绵阳 621900)

**摘要:**在生产实践过程中,如何能够稳定地保证薄板工件两大端面的加工精度,一直是个技术难题。提出了一种辅助粘接方法,利用该方法加工了薄板工件的两大端面,加工后工件的表面粗糙度、平面度、平行度达到了图纸和工艺要求。

**关键词:**辅助粘接 薄板类工件 恒线速车削

**中图分类号:**TH16 **文献标志码:**A

## Research on machining laminal workpieces using accessory agglutination method

LIU Benliang, WU Dingzhu, QIAN Zhiqiang, CHEN Jinming

(Institute of Mechanical Manufacturing Technology, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, CHN)

**Abstract:** In the courses of production, it is a technology challenge in how to guarantee the machining accuracy of the two big surfaces of laminal workpieces. This paper has proposed an accessory agglutination method for manufacturing laminal workpieces. A laminal workpiece was made by this method, the machining accuracy of which met the design and technological requirements, such as the roughness, planeness and depth of parallelism.

**Keywords:** A Accessory Agglutination; Laminal Workpieces; Constant Linear Speed Cutting

在生产实践过程中,经常会遇到安装板、定位板等薄板类工件。在以往的生产过程中,通常采用加垫块夹紧或真空吸具吸附的方法来加工,这些方法通常只能保证厚度,但不能控制工件的变形,对尺寸较大的工件其加工精度无法达到设计和工艺要求。

笔者通过在生产实践过程中的不断摸索,现已经总结出了一种新的加工工艺方法——辅助粘接法,该方法可以有效地保证产品的加工质量。图1所示为一个薄板类工件的典型例子,现基于它的加工制造过程,对新工艺方法予以描述。

### 1 加工难点分析

由工件图分析可知:

(1) 工件材料为 2A12, 材料强度低, 粘度大, 切削过程中易变形;

(2) 工件薄, 形位公差要求高, 因此要求刀具锋利, 刀具刃磨技术要求高;

(3) 平面度要求在  $\phi 362$  mm 内不超过 0.04 mm;

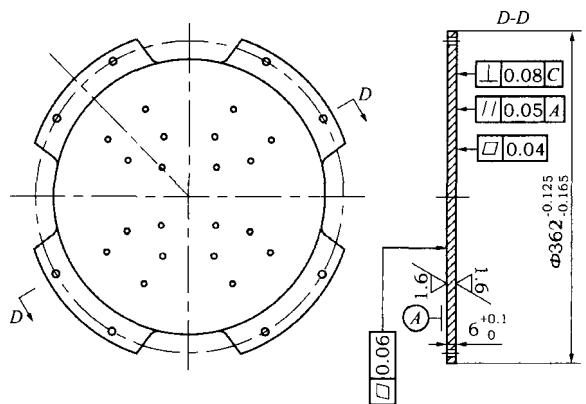


图1 薄板类工件典型实例——安装板

[6]张磊. 单程平面磨削淬硬技术的理论分析与试验研究[D]. 济南: 山东大学, 2006.

第一作者: 马占龙, 男, 1983年生, 研究实习员, 主要从事超精密加工技术和超光滑表面加工工艺的研究, 已发表论文4篇。

(编辑 谭弘颖)

(收稿日期: 2010-12-06)

文章编号: 111131

如果您想发表对本文的看法, 请将文章编号填入读者意见调查表中的相应位置。