

实验优化激光淬火工艺参数研究

徐宏伟, 刘耀, 闻德刚, 黄玉美
(西安理工大学 印刷包装工程学院 西安 710048)

摘要 激光淬火工艺是一种新型的热处理加工工艺。为了提高激光淬火质量, 本研究对轴承钢 GCr15 试件进行激光淬火实验。在实验中分别改变激光淬火主要工艺参数——光斑大小以及激光束扫描速度等, 测量淬火后淬火区域表面硬度, 以分析激光淬火工艺参数对试件表面硬度的影响。在此基础上采用正交试验的方法对激光淬火工艺参数进行优化。结果表明, 采用优化后的工艺参数可以得到较高的淬火硬度。本研究为实验确定较佳激光淬火工艺参数提供了指导。

关键词 激光淬火; 工艺参数; 优化; 正交试验

中图分类号 TG17 文献标识码 A 文章编号 1674-5752(2013)01-44-05

Experimental Optimization of Laser Quenching Process Parameters

XU Hong-wei, LIU Yao, WEN De-gang, HUANG Yu-mei

(The Faculty of Printing and Packaging Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract In order to improve laser quenching quality, a method was presented to optimize the operational parameters used in the laser quenching process. The GCr15 specimens were used for laser quenching experiments, and the surface hardness measurement and orthogonal experiments were conducted with changing the main parameters of laser quenching. Based on the test results, the parameters including the laser scanning velocity and its spot size were optimized and would improve the quenching hardness. This study will provide guidance for the laser quenching process in practical work.

Key words Laser quenching; Operational parameter; Optimization; Orthogonal experiment

0 引言

激光淬火工艺是将一束高能量的激光光束照射在待淬火的金属表面, 瞬间使其表面被照射区域温度升至相变温度, 并通过空气冷却使得表面产生高硬度淬火组织的热处理工艺。当前, 激光淬火工艺作为一种新型的热处理加工工艺, 逐渐被应用到生产实践中。相对于传统淬火来说, 激光淬火可以精确控制热处理区域而且激光淬火后的工件热变形小。但是其缺点也很显著, 激光淬火的温度无法直接测量, 所以实际操作中大多是通过大

量的实验确定合适的激光淬火参数。

在激光淬火工艺的研究与应用中, 淬火后材料的表面硬度是激光淬火最重要的性能指标, 也是衡量激光淬火质量的主要因素。激光淬火后所产生的表面硬度受到激光束功率、扫描速度、光斑大小、材料表面对激光的吸收率以及材料的热物性能(材料的导热性和比热等)的影响。在加工时其他因素都已确定, 主要考虑激光束功率、扫描速度以及离焦量(确定光斑大小)的设置。本研究主要分析光斑大小和激光束扫描速度对 GCr15 钢表面硬度的影响, 在此基础上通过实验优化参数, 以提高激光淬火质量。

收稿日期: 2012-11-22 修回日期: 2013-01-09

项目来源: 陕西省教育厅科技研究计划项目——考虑接触面热阻效应的激光淬火温度场分析(No. 11JK0854)

陕西省自然科学基金研究计划——圆柱圆周表面激光环向扫描淬火温度场形成研究(No. 2012JM7006)

1 主要参数对激光淬火质量的影响分析

激光淬火质量主要是由激光淬火温度决定。然而，决定激光淬火温度的因素很多，包括材料性能参数，如材料的导热系数 k 、材料的热扩散系数 α 等；与激光淬火工艺过程有关的控制参数，如激光淬火光斑的能量分布密度以及激光束的扫描速度。还有材料对激光的吸收率，这与材料表面的黑化预处理有关^[1]。

在实际激光淬火时，材料和其他一些条件都已确定，这时淬火质量主要是由激光淬火的工艺参数——激光束的功率、激光光斑大小以及激光束扫描速度决定^[2]，很多研究和试验都证明了这一点^[3-4]。Katsamas 和 Haidemenopoulos^[5]研究了低合金钢 15CrNi6 的激光淬火相变硬化，着重观察了激光束功率、激光光斑大小以及扫描速度对金相组织的影响，发现这些工艺参数对淬火后材料的表面硬度和淬硬深度都有影响。

从控制的角度上看，在待激光淬火材料一定的情况下，激光淬火过程中，可以控制的主要工艺参数是激光束的功率、激光光斑的大小（由离焦量决定）以及激光束扫描速度，这些参数可以在激光淬火过程中进行改变。所以，分析这些参数对激光淬火质量的影响对保证实际的激光淬火加工质量有很大的益处。本研究针对轴承钢 GCr15 进行激光淬火正交试验，以优化激光淬火相应的工艺参数。

2 工艺参数对试件淬火质量的影响实验

GCr15 钢是滚动轴承、精密量具、冷冲模具以及机床丝杠等零件的常用材料。一般用于要求硬度高、耐磨性好、高强度和高韧性零件的加工生产。大量的实验验证激光淬火可以较好地提高 GCr15 钢的表面耐磨性，而且不降低其韧性^[6]。

实验中，将 GCr15 钢加工为 $15\text{mm} \times 15\text{mm} \times 120\text{mm}$ 的矩形棒工件。并对表面进行磨削加工，用黑色快干漆对待激光淬火试件表面进行黑化预处理。

多功能激光加工机床采用陕西省机械装备重点实验室黄玉美教授所带领的团队研发的可用于激光切割、激光焊接以及激光淬火的 5 自由度激光加工机床。激光淬火枪头凹面反射镜的焦距 f 为 300mm 。激光器采用 HJ -

4000 型横流 CO_2 激光发生器（上海华中雷欧激光设备有限公司），额定多模激光束的最大输出功率为 4kW 。

2.1 激光光斑大小对试件淬火硬度的影响分析

由图 1 可看出，激光照射在工件表面所产生激光光斑大小由离焦量（指金属工件表面与凹面反射镜焦点之间的间距）决定。本实验通过改变凹面反射镜光轴中心到工件表面距离 d 来改变工件表面激光光斑面积。

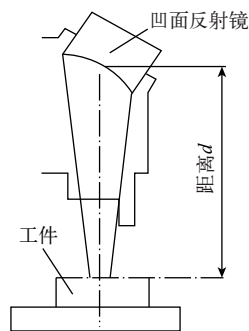


图 1 激光光斑大小
Fig.1 Size of laser spot

实验中，设定激光束功率恒定为 1190W ，激光束扫描速度恒定为 0.7m/min 。改变距离 d ($220 \sim 290\text{mm}$ ，以步长 5mm 逐渐增加)，即相应改变离焦量（离焦量 $= f - d$ ），进行激光淬火实验。

激光淬火后，利用洛氏硬度计测量激光淬火光道上的表面硬度，得到表 1 数据。

表 1 不同距离 d 下的淬火结果
Tab.1 Quenching results under different d

实验号	距离 d (mm)	离焦量 (mm)	表面硬度 (HRC)
1	220	80	22
2	225	75	44
3	230	70	52
4	235	65	61
5	240	60	61
6	245	55	61
7	250	50	60
8	255	45	59
9	260	40	58
10	265	35	57.5
11	270	30	58.5
12	275	25	58
13	280	20	57
14	285	15	55
15	290	10	55
16	295	5	51

利用 Origin 8.0 软件将表 1 中的数据绘制成曲线如图 2 所示。通过表 1 和图 2 可以看出在其他工艺参数一定时,离焦量的大小对淬火质量产生一定影响。因为离焦量决定着照射在金属表面激光光斑的大小,从而影响着照射在金属表面能量密度的大小。而金属表面的能量密度决定着金属表面的温升,进而影响着淬火质量。

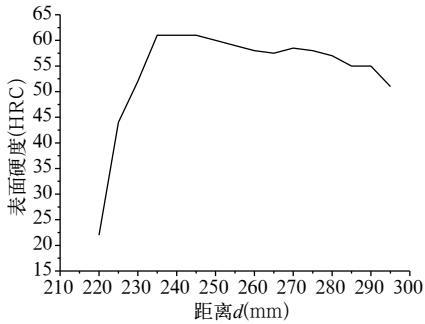


图 2 距离 d 变化对表面硬度的影响
Fig. 2 Effect of distance d on surface hardness

2.2 激光束扫描速度对试件淬火硬度的影响分析

实验中,设定激光束的功率恒定为 1160W,距离 d 恒定为 240mm。改变扫描速度 (0.4~1.0m/min,按 0.05 m/min 的步长逐渐增加),进行激光淬火加工。检测激光淬火光道上的表面硬度,得到如表 2 和图 3 所示结果。

表 2 不同扫描速度下的淬火结果

Tab. 2 Quenching results under different scanning velocities

序号	扫描速度(m/min)	表面硬度(HRC)
1	0.4	57
2	0.45	59
3	0.5	60
4	0.55	60.5
5	0.6	61.5
6	0.65	61
7	0.7	62
8	0.75	58
9	0.8	59
10	0.85	55
11	0.9	38
12	0.95	34
13	1.0	27

由表 2 和图 3 可以看出扫描速度的变化影响淬火质量。当速度低时,淬火区域吸收能量时间长,则试件温

升高;而当速度高时,淬火区域吸收能量时间短,则试件温降低,其淬火后表面硬度小。因此激光束扫描速度影响着金属表面的温升,从而影响着淬火质量。

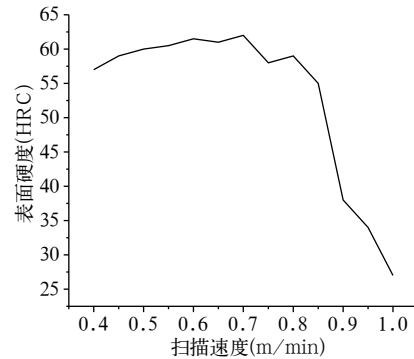


图 3 扫描速度对表面硬度的影响
Fig. 3 Effect of scanning velocities on surface hardness

3 正交试验优化工艺参数

由表 1 和表 2 可以看出,在激光束功率为 1190W 左右,距离约为 240mm,扫描速度约为 0.7m/min 等工艺参数下,淬火后工件表面硬度较高,所以在这些数值相邻范围内选择适当条件进行正交试验,以优化激光淬火工艺参数。本实验以激光束功率、距离 d 以及扫描速度为实验因素,根据 3 因素分别设置 3 水平,因素水平见表 3。

表 3 激光淬火正交试验因素与水平表

Tab. 3 Factors and levels table of orthogonal experiment of laser quenching

因素	A 激光功率(W)	B 距离 d (mm)	C 扫描速度(m/min)
水平			
1	1100	220	0.5
2	1150	240	0.7
3	1200	260	0.9

按以上数据进行分配并按分配的激光淬火工艺参数值进行激光淬火实验,对实验结果进行检测,得到结果见表 4。

表 4 实验结果

Tab. 4 Experiment results

正交分配	激光功率(W)	距离 d (mm)	扫描速度(m/min)	淬火硬度(HRC)
$A_1B_1C_1$	1100	220	0.5	20
$A_1B_1C_2$	1100	220	0.7	9
$A_1B_1C_3$	1100	220	0.9	5

续表 4

正交分配	激光功率 (W)	距离 d (mm)	扫描速度 (m/min)	淬火硬度 (HRC)
A ₁ B ₂ C ₁	1100	240	0.5	44
A ₁ B ₂ C ₂	1100	240	0.7	22
A ₁ B ₂ C ₃	1100	240	0.9	8
A ₁ B ₃ C ₁	1100	260	0.5	52
A ₁ B ₃ C ₂	1100	260	0.7	34
A ₁ B ₃ C ₃	1100	260	0.9	15
A ₂ B ₁ C ₁	1150	220	0.5	55
A ₂ B ₁ C ₂	1150	220	0.7	22
A ₂ B ₁ C ₃	1150	220	0.9	10
A ₂ B ₂ C ₁	1150	240	0.5	59
A ₂ B ₂ C ₂	1150	240	0.7	62.5
A ₂ B ₂ C ₃	1150	240	0.9	37
A ₂ B ₃ C ₁	1150	260	0.5	54
A ₂ B ₃ C ₂	1150	260	0.7	60
A ₂ B ₃ C ₃	1150	260	0.9	48
A ₃ B ₁ C ₁	1200	220	0.5	56
A ₃ B ₁ C ₂	1200	220	0.7	22
A ₃ B ₁ C ₃	1200	220	0.9	10
A ₃ B ₂ C ₁	1200	240	0.5	54
A ₃ B ₂ C ₂	1200	240	0.7	61
A ₃ B ₂ C ₃	1200	240	0.9	56
A ₃ B ₃ C ₁	1200	260	0.5	53
A ₃ B ₃ C ₂	1200	260	0.7	58
A ₃ B ₃ C ₃	1200	260	0.9	60

由以上实验结果可以看出, 对于试件 GCr15 来说, 激光束功率为 1150W, 距离 d 为 240mm (焦距为 300mm, 离焦量为 60mm), 扫描速度为 0.7m/min 时, 淬火后工件的表面硬度最高为 62.5HRC。

4 结论

通过以上实验可以看出, 激光淬火工艺参数——激光束功率、离焦量以及激光扫描速度都影响着激光淬火温度场的形成进而影响着淬火质量——淬火后试件的表面硬度。经过正交试验, 可以有效地确定较佳的激光淬火工艺参数。

对于本实验对应的多功能激光加工机床以及相应的 GCr15 材料来说, 激光束功率为 1150W, 离焦量为 60mm 以及扫描速度为 0.7m/min 时, 试件可以达到较好的淬

火质量。

对胶印机来说, 高速化是其发展的一个主要方向。高速化的同时也对相应的传动零件提出了更高的性能要求。尤其是对单张纸胶印机来说, 三大滚筒上的传动斜齿轮是保证印刷质量的一个关键零件。斜齿轮的磨损直接会导致印刷质量问题。长期以来, 斜齿轮的淬火主要是通过高频淬火来实现, 其缺点是阳极圈制作较为烦琐而且寿命短, 成本高, 且易造成温升不均、淬火质量不均等现象。如果采用激光淬火可以有效地控制淬火区域, 在保证齿面硬度的同时, 还确保了齿轮内部的韧性。本研究为实验确定较佳激光淬火工艺参数提供了指导, 也为激光淬火工艺应用于印刷设备零件的加工工艺提供了帮助。

参考文献

- [1] SHUJA S Z, YILBAS B S, KHAN S M A. Laser Heating of Semi - Infinite Solid with Consecutive Pulses: Influence of Material Properties on Temperature Field [J]. Optics & Laser Technology, 2008, 40(3): 472 - 480.
 - [2] YILBAS Bekir S, SAMI M. Heat Transfer Analysis of a Semi - Infinite Solid Heated by a Laser Beam [J]. Heat and Mass Transfer, 1997, 32(4): 245 - 253.
 - [3] SHIN Ho Jun, YOO Young Tae. Microstructural and Hardness Investigation of Hot - Work Tool Steels by Laser Surface Treatment [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2008, 26(3): 342 - 347.
 - [4] TOBAR M J, ALVAREZ C, AMADO J M, et al. Laser Transformation Hardening of a Tool Steel: Simulation - Based Parameter Optimization and Experimental Results [J]. Surface & Coatings Technology, 2006, 200(22 - 23): 6362 - 6367.
 - [5] KATSAMAS A I, HAIDEMENOPOULOS G N. Surface Hardening of Low - Alloy 15CrNi6 Steel by CO₂ Laser Beam [J]. Surface & Coatings Technology, 1999, 115(2): 249 - 255.
 - [6] 邹湘军, 娄燕, 欧阳八生, 等. GCr15 钢激光淬火及其应用[J]. 金属热处理, 2004, 29(5): 15 - 17.
- ZOU Xiang-jun, LOU Yan, OUYANG Ba-sheng, et al. Laser - beam Hardening of Steel GCr15 and its Application [J]. Heat Treatment of Metals, 2004, 29(5): 15 - 17.

主要作者



徐宏伟(1968年-), 博士, 副教授, 硕士生导师, 西安交通大学能源与动力工程学院博士后; 主要研究方向为激光淬火温度场分析、印刷设备制造及其自动化。

Associate Professor XU Hong-wei, born in 1968. He got the PH. D. degree and now is the master supervisor of Xi'an University of Technology and the post doctor of School of Energy and Power Engineering of Xi'an Jiaotong University. His main research directions include analysis of temperature of laser quenching, printing equipment manufacture and automation.
E-mail: xuhongwei@xaut.edu.cn



闻德刚(1986年-), 硕士研究生; 主要研究方向为有限元分析仿真。

WEN De-gang, born in 1986. He is a graduated student and his main research direction is FEM analysis and simulation.



黄玉美(1940年-), 教授, 博士生导师; 主要研究方向为机械制造及自动化。

Professor HUANG Yu-mei, born in 1940. She is the doctor supervisor and her main research directions include mechanical manufacture and automation.



刘耀(1983年-), 博士研究生; 主要研究方向为机械零件的有限元分析。

LIU Yao, born in 1983. He is a doctor student and his main research direction is FEM analysis of mechanical parts.

书讯

色彩管理实用手册

本书旨在帮助企业学会实施系统的色彩管理及实现企业印刷认证与标准化的实际方法。以颜色常识、印刷色彩基础引出如何在软件中进行色彩设置、色彩转换,从而介绍到印刷厂进行色彩管理应用及印厂取得相应认证的方法。本书根据企业实际生产的流程讲解并设置案例,图文并茂,用语简练,适合印前技术人员和色彩管理培训使用。

著者: 陈啸谷, 黎阳晖, 高晶

出版日期: 2013年1月

出版单位: 印刷工业出版社

ISBN: 9787514207538

定价: 58元

购书热线: 010-88275811