

文章编号: 1001-3806(2012)03-0364-04

## 模具半导体激光强韧化工艺研究

闵大勇<sup>1,2</sup> 王爱华<sup>1,2</sup> 熊志红<sup>2</sup> 卢飞星<sup>2</sup>

(1. 华中科技大学 材料科学与工程学院, 武汉 430074; 2. 华工激光工程有限责任公司, 武汉 430223)

**摘要:** 为了研究模具材料半导体激光表面强韧化工艺, 采用半导体激光表面淬火工艺, 进行了7CrSiMnMoV, Cr12MoV, CrMo 铸铁等典型模具材料半导体激光淬火的工艺研究, 得到了不同模具材料优化的激光工艺参量。结果表明, 激光表面淬火后的硬度满足模具材料的使用要求。这一结果为激光模具表面强韧化处理提供了可靠的保障。

**关键词:** 激光技术; 半导体激光; 模具; 激光淬火

中图分类号: TG156.33 文献标识码: A doi: 10.3969/j.issn.1001-3806.2012.03.020

### Process research of diode laser surface hardening for dies

MIN Da-yong<sup>1,2</sup>, WANG Ai-hua<sup>1,2</sup>, XIONG Zhi-hong<sup>2</sup>, LU Fei-xing<sup>2</sup>

(1. School of Materials Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China; 2. Huagong Laser Engineering Co. Ltd., Wuhan 430223, China)

**Abstract:** In order to improve the surface hardness and toughness of dies, several typical die materials, such as 7CrSiMnMoV, Cr12MoV, CrMo cast iron, were hardened with a high power diode laser and the optimal laser parameters were obtained. Results show that the optimal laser parameters can meet the requirement of the hardness of dies and provide a guarantee to the hardness and toughness of dies in future application.

**Key words:** laser technique; diode laser; die; laser quenching

### 引言

随着我国制造业的蓬勃发展, 模具用量与日俱增。模具形状复杂、材料特别、制造成本高, 模具激光淬火是多年来被广泛研究的技术<sup>[1-7]</sup>。我国开展模具激光表面强化/修复的系统工程研究始于20世纪90年代初, 主要是采用高功率CO<sub>2</sub>和传统机床组合来完成汽车覆盖件模具的表面强化<sup>[8-9]</sup>。此类成套设备的发展经历了由四轴联动到五轴联动的发展阶段。与传统高功率CO<sub>2</sub>激光不同, 高功率半导体激光器具有体积小、轻便灵活、电光转换效率高、能量分布均匀、与模具交互作用的吸收率高、能实现闭环控制等特点<sup>[10-13]</sup>。新型半导体激光能与六轴机器人进行有效联动, 由此组合的新型激光表面强化的装备用于模具表面强化时, 具有无污染、易操控、强化层硬度高、硬度均匀、晶粒超细、强韧性好、变形小、耐磨性高, 能处理其它热处理方法无法处理的大型复杂模具的小孔和窄槽内表面的高新技术。作者报道了该类激光表面强化装备和工艺。

作者简介: 闵大勇(1971-), 男, 硕士, 现主要从事激光加工装备及工艺的研究。

E-mail: mdy@hglaser.com

收稿日期: 2011-08-04; 收到修改稿日期: 2011-11-03

### 1 半导体激光模具强化装备介绍

图1是华工激光工程有限责任公司在国内率先开发的一套半导体激光模具强化系统, 根据汽车模具行业的需求专门开发而成。该系统由半导体激光器、六轴机器人系统、龙门机床及专业控制系统等组成。将机器人倒挂在龙门机床的顶部, 并且于机器人手臂前端固定半导体激光器。



Fig. 1 New equipment of diode laser surface hardening for dies

在龙门机床内可摆放一系列模具, 通过龙门机床的移动及六轴机器人实现高效、精确的加工, 可对任意复杂曲面的汽车模具表面进行强化。龙门机床尺寸可根据模具尺寸按需定制。通过加装温度传感装置, 可将工件作用区的温度通过控制系统反馈给半导体激光器, 再利用半导体激光器功率可控性好、控制滞后小的特点, 实现激光再制造中的作用区温度-功率的闭环控

制,从而实现精细激光表面强化及再制造的功能。

## 2 半导体激光模具强化工艺介绍

近年来,华工激光工程有限责任公司利用半导体激光模具强化系统对典型的模具材料的激光强化进行了大量的实验探索,获得了大量的实验数据。

### 2.1 碳钢的激光淬火

2.1.1 45# 钢激光淬火 45# 钢激光淬火工艺参量见表 1 和图 2。

Table 1 Laser hardening parameters of 45# steel

quenching speed/(mm·s <sup>-1</sup> )	power/kW	surface hardness/HRC	energy density/(J·mm <sup>-2</sup> )
4	1.3	52	21.66
6	1.6	57.8	19.04
8	1.9	58.3	15.83
10	2.2	59.4	14.67
12	2.4	58.8	13.33
14	2.8	59.4	13.33

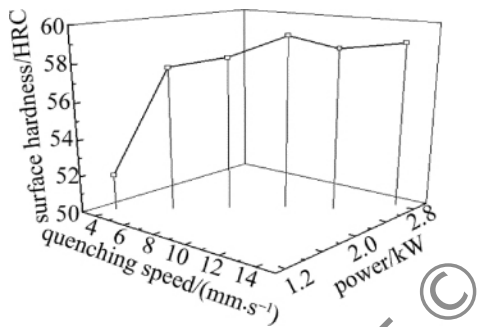


Fig. 2 Influence of process parameters on surface hardness of 45# steel

由表 1 和图 2 可以看到,45# 钢淬火速率较快时可以获得较高的硬度,具有良好的淬硬性。硬度随能量密度的升高而呈下降的趋势,这是因为随着能量密度的升高,峰值温度上升,且高温段维持时间延长,平均加热和冷却速率却同时降低,奥氏体化时的晶粒较粗大,对细晶强化作用的削弱程度较大,因此,表面硬度随能量密度的减小而升高。

2.1.2 T10 的激光淬火 T10 激光淬火工艺参量见表 2 和图 3。

Table 2 Laser hardening parameters of T10

quenching speed/(mm·s <sup>-1</sup> )	power/kW	surface hardness/HRC	energy density/(J·mm <sup>-2</sup> )
4	1.5	60.7	25
6	1.7	59.4	18.89
8	1.9	58.3	15.83
10	2.2	60.2	14.67
12	2.6	59	14.44
14	2.8	58.4	13.33

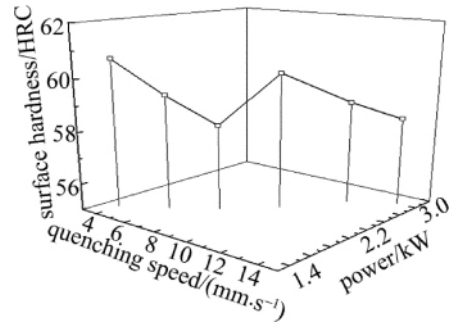


Fig. 3 Influence of process parameters on surface hardness of T10

T10 的激光淬硬性较好,在各个速率下的硬度都较高,硬度随能量密度变化规律性不明显,硬度差异也不明显。

### 2.2 合金钢激光淬火

2.2.1 SKT3 激光淬火 SKT3 激光淬火工艺参量见表 3 和图 4。

Table 3 Laser hardening parameters of SKT3

quenching speed/(mm·s <sup>-1</sup> )	power/kW	surface hardness/HRC	energy density/(J·mm <sup>-2</sup> )
4	1.5	58.9	25
6	1.7	59.4	18.89
8	2.1	59.3	17.5
10	2.3	60.1	15.33
12	2.5	60.2	13.88
14	2.8	59.3	13.33

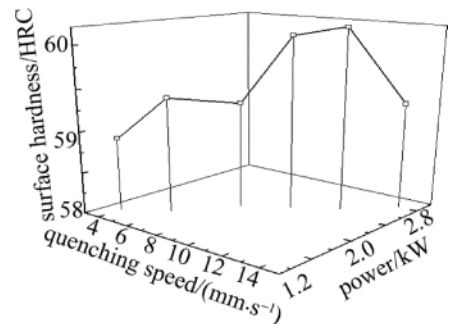


Fig. 4 Influence of process parameters on surface hardness of SKT3

由表 3 和图 4 可以看出,硬度随能量密度的升高呈下降的趋势,这是因为:随着能量密度的升高,峰值温度上升,且高温段维持时间延长,平均加热和冷却速率却同时降低,奥氏体化时的晶粒较粗大,对细晶强化作用的削弱程度较大,因此,表面硬度随能量密度的减小而升高。

2.2.2 7CrSiMnMoV 激光淬火 7CrSiMnMoV 激光淬火工艺参量见表 4 和图 5。

Table 4 Laser hardening parameters of 7CrSiMnMoV

quenching speed/(mm·s <sup>-1</sup> )	power/kW	surface hardness/HRC	energy density/(J·mm <sup>-2</sup> )
4	1.4	60.3	23.33
6	1.6	61	17.78
8	1.8	59.5	15
10	2.2	60.1	14.67
12	2.6	59.5	14.44
14	2.8	59.4	13.33

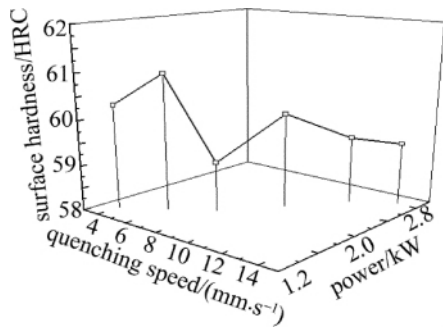


Fig. 5 Influence of process parameters on surface hardness of 7CrSiMnMoV

7CrSiMnMoV 的淬硬性能较好,在各个速率条件下的硬度都比较高。硬度随能量密度的增大而升高。

2.2.3 Cr12MoV 的激光淬火 Cr12MoV 激光淬火工艺参量见表 5 和图 6。

Table 5 Laser hardening parameters of Cr12MoV

quenching speed/(mm · s <sup>-1</sup> )	power/kW	surface hardness/HRC	energy density/(J · mm <sup>-2</sup> )
1	0.8	57.7	53.33
2	1	56.9	33.33
4	1.2	49	20
6	1.6	48.2	17.78
8	1.8	46	15
10	2.0	45.8	13.33
12	2.2	44.1	12.22
14	2.4	40.8	11.42

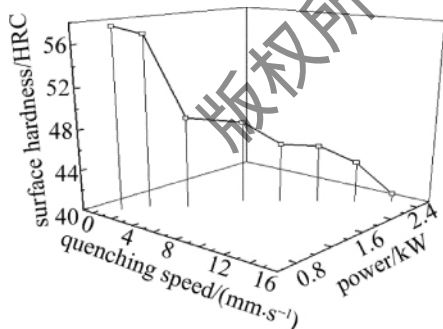


Fig. 6 Influence of process parameters on surface hardness of Cr12MoV

Cr12MoV 的硬度随能量密度的增加而升高。在能量密度较低时,硬度较低,这是因为 Cr12MoV 含有质量分数较高的 Cr(0.12)和 Mo(0.004~0.006),淬火时得到较大的碳化物颗粒,硬度较低。Cr 和 Mo 含量较高,回火时产生二次硬化(沉淀强化、析出强化、碳化物的溶解)的效果,因此 Cr12MoV 在淬火速率低、能量密度高的情况下能够得到较高的硬度。

2.3 铸铁的激光表面淬火

CrMo 铸铁的激光淬火工艺参量见表 6 和图 7。

Table 6 Laser hardening parameters of CrMo

quenching speed/(mm · s <sup>-1</sup> )	power/kW	surface hardness/HRC	energy density/(J · mm <sup>-2</sup> )
4	1.4	45.8	23.33
6	1.8	47.9	20
8	1.9	52	15.83
10	2.1	48.9	14
12	2.2	46.8	12.22
14	2.3	42.2	10.95

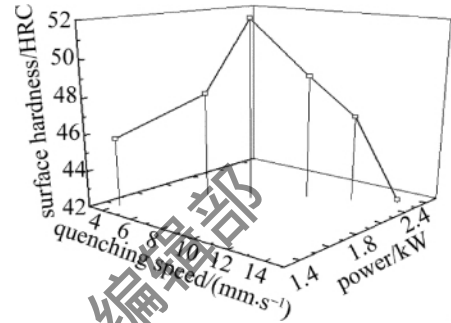


Fig. 7 Influence of process parameters on surface hardness of CrMo

由表 6 和图 7 可以看出,硬度随能量密度的升高后下降,这是因为:低速扫描情况下,随着能量密度的升高,平均加热时间延长,且高温段维持时间延长,冷却速率降低,奥氏体化时的晶粒较粗大,对细晶强化作用的削弱程度较大,因此,低扫描速率时表面硬度随能量密度的减小而升高;当扫描速率逐渐加快时,随着能量密度降低,不利于碳元素的扩散,使碳元素不能充分溶入奥氏体,强化效果减弱,因此 CrMo 铸铁采用 8mm/s 速率时获得较高的硬度。

2.4 激光淬火最佳工艺参量

通过不断的优化实验,得出了几种有代表性的模具材料激光淬火获得的硬度及最佳的工艺参量,如表 7 所示。

Table 7 Surface hardness and the laser hardening parameters of typical die materials

materials	surface hardness/HRC	power/kW	quenching speed/(mm · s <sup>-1</sup> )
45# steel	59.4	2.2	10
T10	60.7	1.5	4
SKT3	60.1	2.3	10
7CrSiMnMoV	61	1.8	6
Cr12MoV	57.7	0.8	1
CrMo cast	52	1.9	8

3 应用实例

近年来,华工激光工程有限责任公司不仅对模具材料的激光强化进行了大量的实验,而且进入了实际应用阶段,将激光强化这一技术成功地应用于汽

车模具的表面强化,取得了很好的效果。

### 3.1 汽车模具激光淬火

模具材料为 CrMo 铸铁。在采用激光淬火这一技术前,该类型模具表面以往采用传统的火焰淬火进行强化,但火焰淬火采用手动人工操作的方法,淬火后硬化层硬度和深度均匀性差,加工质量无法得到有效保证,且火焰淬火热影响区大,工件容易变形。

激光淬火后的表面形貌见图 8。后续机加工量非常小,大大节约加工时间和成本。激光淬火后硬度 HRC54~HRC60,淬火硬化层深度可达 1.2mm,满足模具使用要求。

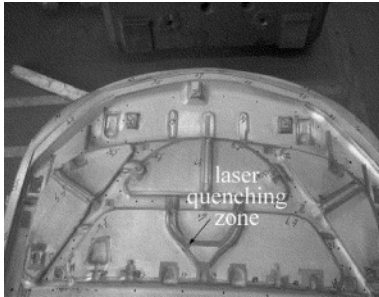


Fig. 8 Laser surface hardening for CrMo dies

### 3.2 镶块模激光淬火

模具材料为空冷钢 7CrSiMnMoV(见图 9)。加工后硬度可达 HRC60;实现了柔性加工,有温度反馈功能,实现闭环控制,加工时镶块模边角没有融化。

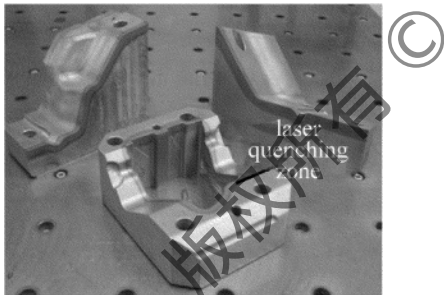


Fig. 9 Laser surface hardening for 7CrSiMnMoV dies

## 4 结论

(1) 碳钢、中低合金钢的激光淬火淬硬性较好,在大部分速率和功率范围内都能得到较高的硬度,可以根据需要选择不同的工艺参数。(2) 对于高合金钢,推荐使用慢的淬火速率配合低功率,使钢中的合金元

素和碳有充分的时间溶入奥氏体,发挥其强化作用;且冷却时冷却速率较慢,可使钢中的残余奥氏体量降低,有利于提高淬火硬度。(3) 对 CrMo 铸铁,推荐使用 8mm/s 的扫描速率淬火,使之既有较强的细晶强化效果,又有较好的固溶强化效果。

### 参考文献

- [1] ZHOU J, WEN Z Y, LI B L. Laser surface treatment of the automobile mould material CrMo casting iron[J]. Mining and Metallurgical Engineering 2007 27(1): 85-87( in Chinese).
- [2] GUAN Y H, FAN G, CHEN T L, et al. Numerical analysis of thermal residual stresses during laser quenching[J]. Laser Technology 1998, 22(5): 313-317( in Chinese).
- [3] MA K, YANG Y L, WANG Ch Sh, et al. Effect of laser hardening technical parameters on hardened depth of 40Cr steel[J]. Laser Technology 2002 26(4): 262-263( in Chinese).
- [4] CHOU M J, DU Y D, LIANG F J, et al. Investigation of laser surface hardening for mould-cutting roller[J]. Laser Technology 2003, 27(6): 500-502( in Chinese).
- [5] ZHANG W Zh, YAN J. Study on three kinds of mould steel hardened by laser surface heat treatment[J]. Laser Journal 2004 25(3): 74-75 ( in Chinese).
- [6] WU G, SONG G M, HUAN W J. Influence of laser processing parameters on the case-depth and the hardness[J]. Laser Technology, 2007 31(2): 163-165( in Chinese).
- [7] LI Y H, ZHOU D W, LIU J Sh. The application and development of the surface strengthening technology in die manufacturing field[J]. Chinese Materials Science Technology & Equipment 2006 3(5): 42-47( in Chinese).
- [8] CAI J, LIANG H F, LIU G L. The laser surface strengthening technology application of automobile large-scale cover mold[J]. Equipment Manufacturing Technology 2008(7): 25-29( in Chinese).
- [9] WANG J L, YU G. Measurement and path planning of ring zone on automobile covering dies for laser hardening[J]. Applied Laser, 2005 25(4): 227-229( in Chinese).
- [10] KENNEDY E, BYRNE G, COLLINS D N. A review of the use of high power diode lasers in surface hardening[J]. Journal of Materials Processing Technology 2004 155/156: 1855-1860.
- [11] DOBRZA' NSKI L A, BONELK M, HAJDUCZWK E, et al. Application of high power diode laser ( HPDL) for alloying of X40CrMoV5-1 steel surface layer by tungsten carbides[J]. Journal of Materials Processing Technology 2004 155/156: 1956-1963.
- [12] PANTSAR H, KUJANPÄÄ V. Diode laser beam absorption in laser transformation hardening of low alloy steel[J]. Journal of Laser Applications 2004 16(3): 147-153.
- [13] PASHBY I R, BARNES S, BRYDEN B G. Surface hardening of steel using a high power diode laser[J]. Journal of Materials Processing Technology 2003 139(1/3): 585-588.