

高速钢刀具激光硬化的研究

孙 堃 王 秀 胡秉文 王克勤

(吉林工业大学)

提要: 提出激光硬化时的激光强度分布特性和主要参数。用多因素试验分析得到了激光硬化的最佳参数。切削性能试验表明,激光硬化的刀具寿命可以大大提高。

Investigation on laser hardening of high speed steel tools

Sun Kun, Wang Xiu, Hu Bingwen, Wang Kegin

(Jilin University of Technology)

Abstract: In this paper characteristics of field pattern distribution by laser hardening and the important parameters are presented. Through analysis on multi-factor tests, the optimum parameters are determined. Test of cutting performance shows that its lifetime can be increased greatly.

一、引言

采用较好的刀具材料,选用合适的刀具几何参数及切削用量,是提高刀具寿命的一般方法。近年来,激光硬化提高材料的硬度及耐磨性等方面都已取得了较好的效果。无论是较便宜材料(如碳素工具钢)的刀具还是较贵重材料(如高速钢)的刀具,硬化后如果寿命能大大提高,就将大大地降低刀具的成本。可以预见,切削刀具经过激光硬化后的经济效益将是十分显著的。

二、激光硬化对场图

分布特性的要求

我们知道,切削刀具的激光硬化是具有

很强的针对性,例如在刀具的后刀面或前刀面的磨损区上进行硬化。由于刀具激光硬化是微区受热处理过程,故可以采用固体脉冲激光器,如钕玻璃激光器。

激光强度的分布特性是激光硬化工艺很重要的因素。实际上大多数激光器输出的光束是非均匀的。不均匀会给材料表面受热造成很大的温度梯度。可以想象,在多模振荡时情况还要严重。因此,激光硬化后的表面性能也很难会均匀一致。

采用虚共心谐振腔或对激光脉冲进行超声调制等都有改善激光强度分布均匀性的效果,但更加简便的方法是采用“乱相屏”^[2]。

乱相屏实际上是一块玻璃板,其中一面

收稿日期:1985年7月8日。

表1 光强分布比较

距光束中心的距离(mm)		0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
光强	不加乱相屏	46	37	37	30	30	26	17	5	1	0	—	—	—
	加乱相屏	20	19	18	19	14	16	13	9	6	2	2	1	0

注: 光强为检流计格数

表2 输出能量、转换效率及发散角比较

工作电压 (kV)	加乱相屏			不加乱相屏		
	输出能量 (J)	转换效率 (%)	发散角 (rad)	输出能量 (J)	转换效率 (%)	发散角 (rad)
1.2	3.0	0.36	58×10^{-3}	4.0	0.50	0.5×10^{-3}
1.4	7.3	0.66	69×10^{-3}	9.5	1.80	1.3×10^{-3}
1.6	13.0	0.94	75×10^{-3}	15.0	1.00	1.4×10^{-3}
1.8	18.0	1.00	87×10^{-3}	21.0	1.20	1.6×10^{-3}

注: 工作物质: 钎玻璃 $\phi 8 \times 180$ mm
储能电容: $1120 \mu F$

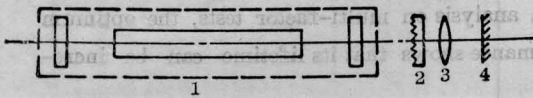


图 1

1—激光器; 2—乱相屏; 3—透镜; 4—工件



图 2

用浓度为 40% 的氢氟酸水溶液进行 20 分钟的化学腐蚀或用其它机械方法把该面打毛, 把制好的乱相屏置于聚焦透镜之前即可(图 1)。

图 2(a) 为直接接受到的光斑; 图 2(b) 为通过乱相屏后接收到的光斑。可以看出, 采用乱相屏后改善了光强分布特性, 使它更加均匀。

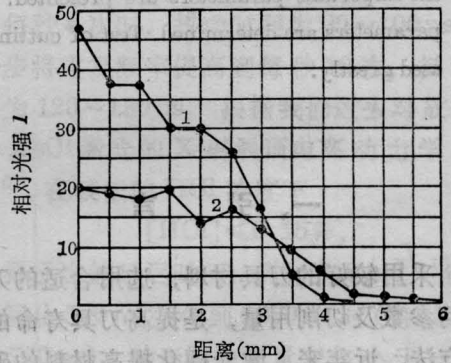


图 3

1—不加乱相屏; 2—加乱相屏

用能量计检测了光束光强分布, 将 $\phi 0.67$ mm 的光阑置于炭斗的中心, 从光束中心向外测量。每测量一个点向外移动 0.5 mm。表 1 及图 3 为试验结果。

加乱相屏后激光器输出能量、转换效率及发散角与不加乱相屏时的比较见表 2。从表 2 可以看出, 加乱相屏之后输出能量要大致减少 1~3 J, 但发散角要增大几十倍到 100 倍。

三、激光硬化处理主要

参数的确定

根据材料表面要达到的温度 T_0 ，即可用下式确定所需要的激光功率密度 q_0 ^[1]

$$q_0 = \frac{kT_0}{2(1-R)} \sqrt{\frac{\pi}{\alpha\tau}} \quad (1)$$

式中 k ——材料的导热率； R ——材料表面的反射率； α ——材料的导温系数； τ ——激光脉冲宽度。

当激光束横截面上的辐射强度分布均匀化时，可按式(1)对 q_0 进行修正：

$$q = \frac{E_0}{E} q_0 = K q_0 \quad (2)$$

式中 K ——修正系数； E_0 ——不加乱相屏时的输出能量； E ——加乱相屏时的输出能量。试验表明 $K=1.1\sim 1.3$ 。

这样，根据式(2)便可求出总的功率密度 q ，进而求出激光器的输出能量 E ：

$$E = q\pi r_0^2 \tau \quad (3)$$

式中 r_0 ——焦斑半径； $r_0 = (f + \Delta f)r_{\min}/f$ ； f ——透镜的焦距； Δf ——离焦量(为扩大激光硬化时焦斑处受热体积，宜采用发散光束，即焦点应置于材料表面之上某一点)； r_{\min} ——焦平面上最小焦斑半径。

根据 E 就可以转化成储能电容的工作电压 V ：

$$V = \sqrt{\frac{2E}{C\eta}} \quad (4)$$

式中 C ——储能电容器容量； η ——激光器的转换效率。

现对 W18Cr4V 高速钢刀具材料进行激光硬化时的主要参数进行估算如下：

取 $k=80 \times 10^{-3} \text{ cal/cm}\cdot\text{C}\cdot\text{s}$ ，表面熔化温度

$$T_0 = 1600^\circ\text{C}, \quad R = 40\%$$

$$\alpha = 0.061 \text{ cm}^2/\text{s}, \quad \tau = 0.5 \times 10^{-8} \text{ s},$$

$$K = 1.3, \quad f = 5.1745 \text{ cm},$$

$$\Delta f = 0.4 \text{ cm}, \quad r_{\min} = 0.2 \text{ cm},$$

$$C = 1120 \mu\text{F}, \quad \eta = 0.94\%.$$

按上述有关公式计算可得：

$$q_0 = 1.4 \times 10^5 \text{ W/cm}^2,$$

$$q = 1.8 \times 10^5 \text{ W/cm}^2,$$

$$r_0 = 0.215 \text{ cm},$$

$$E = 14 \text{ J}, \quad V = 1.6 \text{ kV}.$$

以上计算所得数据是熔化-冷凝硬化时的情况，这时 T_0 应高于材料的熔点而低于沸点；如果按固体相变硬化， T_0 应低于材料的熔化温度而取淬火温度上限。

实际上，影响激光硬化的因素是很多的。这里主要考虑重要而又易于变化的那些影响因素，如工作电压、光点的排布(可用两个光点间的距离来表示)及光点大小(可用离焦量来表示)。上述三个因素各取两个值(见表3)。选择 $L_8(2^7)$ 正交表作8次试验结果(硬化后的硬度)表明，最好的条件是 $V_2 I_2 \Delta f_2$ 。作方差分析表明离焦量对硬化效果有较显著影响。在最佳条件下的试验结果见表4。可以看出：W18Cr4V(原始组织为回火马氏体， $HR_A=80$)表面经激光硬化后硬度可由原来的 $HR_A=80$ 提高到 $HR_A=87.4$ 。边缘处的硬度要比交叉处及中心处的硬度高，而中心处的硬度又低于基体的硬度。文献[3]也指出了这种情况。在各点处的硬度差别，归根结底还是激光强度分布的问题。这里尽管采

表3 因素水平

因素水平	工作电压 V (V)	光点排布 l (mm)	离焦量 Δf (mm)
1	1900	1.5	5
2	1700	1.0	4

表4 硬化处各点硬度

硬度测试点	中 心	交 叉	边 缘
硬度 HR_A	78	84	87.4

表 5 切削性能试验

试验号	切 削 用 量				耐 用 度		
	切削速度 (m/min)	转 速 (转/min)	进 给 量 (mm/转)	切 深 (mm)	未 硬 化 TQ(min)	硬 化 TH(min)	TH/TQ
1	44.5	160	0.12	0.3	14.6	18.3	1.25
2	44.5	160	0.08	0.1	16.4	32.8	2.00
3	27.9	100	0.12	0.1	11.7	17.5	1.50
4	27.9	100	0.08	0.3	26.3	70.4	2.67

用了乱相屏使光强分布特性有所改善,但毕竟还不是理想的矩形分布。因此,中心处的强烈的高温过热使奥氏体长大并获得高度的稳定性,致使硬度有所下降。如果不采用乱相屏,中心处的过热甚至会气化打出凹坑。

W18Cr4V 经激光硬化后的金相组织如图 4 所示。在放大 600 倍的表面断层上可以看到三个区域:表面白亮层为隐晶马氏体,是一个厚度为 40 μm 左右的熔化区。中间一层是淬火马氏体的相变区,这一层厚度亦有 40 μm 左右。可见,硬化层还是较深的。第三层为基体回火马氏体组织。

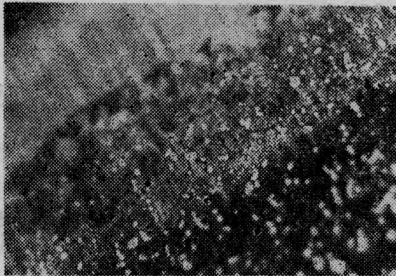


图 4

四、车刀激光硬化后 切削性能试验

由于熔化-冷凝硬化层较深,硬度提高较

大,故 W18Cr4V 高速钢车刀的后刀面的磨损区采用了熔化-冷凝硬化处理工艺。处理区的熔包可用油石打平。切削性能试验是在 CA 6140 车床上进行的。工件材料为 45 号钢,刀具的几何角度:前角 $\gamma=15^\circ$,后角 $\alpha=8^\circ$,主偏角 $\varphi=75^\circ$,刃倾角 $\lambda=0^\circ$ 。不加冷却液。车刀后面磨损标准为 0.3 mm。切削试验结果见表 5。

从表 5 可以看出,在试验的条件下,激光硬化后的耐用度 TH 为硬化前耐用度 TQ 的 1.25~2.67 倍。由此可见,用激光硬化处理工艺来提高高速钢车刀的耐用度效果是显著的,这就给提高复杂的高速钢刀具(如铣刀、拉刀等)耐用度提出了一种有光明前景的新的工艺方法。

参 考 文 献

- [1] Ф. Ф. 沃道瓦托夫等;“激光在工艺中的应用”,机械工业出版社,1980年。
- [2] Д. М. Гуреев и др.; Кван. электр., 1982, 9, No, 4, 815~817.
- [3] А. А. Углов и др.; Физика и химия обработки материалов, 1984, No. 5, 12~18.