

脉冲激光射线强化金属材料几个问题

李儒苟

(机械系)

摘要 本文讨论了激光脉冲射线强化金属材料几个问题：强化图形，材料性能，加工用量及表面涂层对被强化表面性能的影响。

主题词 脉冲激光；强化图形；强化用量；强化层参数

用激光射线对机器零件、模具、切削刀具进行表面强化处理，改变材料的金相组织，提高其硬度、耐磨性和抗腐蚀性能，改变其表层残留应力的大小、性质和分布规律，是激光加工技术中很有发展前途的领域之一。笔者曾在苏联基辅工学院激光工艺实验室研究了这个问题，下面根据该实验室以及我们的研究结果，对用波长1.06微米的固体激光器所发射的脉冲激光射线，在不导致表层熔化的规范下强化金属材料几个重要的问题作扼要的总结。所用的主要设备及采用的基本研究方法见文献〔2〕、〔4〕、〔5〕。

1 提高被加工表面对激光能量的吸收能力

激光强化的效果，在很大程度上决定于被强化表面对激光能量的吸收能力。金属材料对激光能量的吸收能力决定于射线的波长及能量参数，被强化表面的状态、材料的热物理及电物理性能、射线的投射角度等。其中最主要的是激光波长、工件表面粗糙度、表面涂层种类、周围介质的性能以及送进同一脉冲作用区的激光脉冲数量。从图1可以看出，表面粗糙

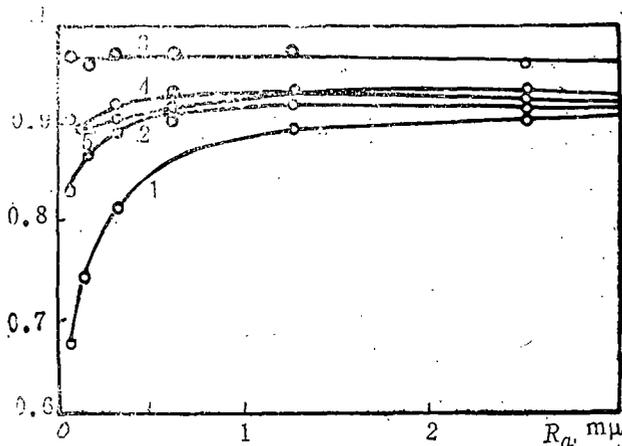


图1 表面粗糙度、涂层种类对材料能力的影响

1——没有涂层($n=1$)；2——化学腐蚀($n=1$)；3——石墨($n=1$)；
4——没有涂层($n=2$)；5——化学腐蚀($n=2$)

度小($R_a < 0.5$ 微米)及没有涂层的表面,其吸收能力 A 小(曲线1),随着表面粗糙度的增加,吸收能力 A 也增大。这是由于投影到表面峰谷中的射线,从相邻表面多次反射,从而增加了吸收效果。但表面粗糙度进一步增加,对吸收能力的影响也减弱。

用苦味酸的溶液化学加工被加工表面,能提高 A ,特别在表面粗糙度小时($R_a < 0.5$ 微米),提高得更为明显(曲线2)。

增加吸收能力最有效的方法是用石墨的胶体溶液涂覆在被加工表面上,形成不超过 0.01 微米的薄膜(曲线3),但在这种情况下要注意聚焦透镜的污染问题。在激光脉冲强化时,也有采用水粉画颜料、墨汁(绘图墨水),炭黑作为涂层的。

重复辐照被加工表面(即同一激光脉冲作用区受2个脉冲的作用),也能增加吸收能力 A ,特别在强化没有任何涂层的钢件时, A 的增加更为明显(曲线4)。

从以上的分析可知,在决定激光强化用量时,必须考虑到被加工表面的吸收能力和调整相应的激光射线的能量参数。比较先进的办法是把射线能量的控制和调节射线反射程度的传感器联系起来,建立自适应控制系统。

2 强化图形的选择

激光强化时,单个脉冲作用区在工件表面排列的顺序与规律,即强化(加工)图形,对强化质量和生产率都有很大的影响。

用激光脉冲强化时,有两类强化图形:激光脉冲沿直线或某一曲线扫描,称为线加工;激光脉冲按某种规律沿整个工件表面(平面或曲面)扫描,称为面加工。

为了用激光射线进行扫描,必须首先把激光射线聚焦到工件表面上,形成具有一定形状的光斑。聚焦光斑的形状可用各种方法控制:赋予激光工作物质(激光棒)相应的几何形状(圆柱形、正方体、平行六面体等);特殊调制谐振器;采用各种聚焦系统(球面的、柱面的、锥面的、光栅的以及它们的某种组合)。利用这些方法可把激光射线聚焦成圆形的、椭圆的、环形的、矩形的、两端带圆角的矩形以及正方形的光斑等。而实践中应用最为广泛的是采用球面光学元件(球面透镜)和柱面光学元件聚焦,下面分别讨论这两种情况。

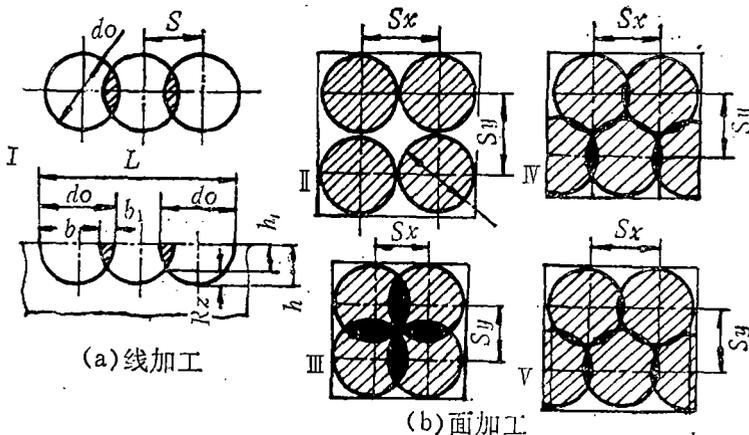


图2 球面透镜聚焦图形

2.1 用球面透镜聚焦

用球面透镜聚焦时, 单个激光脉冲作用区理论上是直径 d_0 的圆, 而整个激光加工(扫描)区是这些圆按一定规律的组合(图2)。

2.1.1 线加工 图2中(a)。相邻两单元激光作用区相距一个步长 S 。线加工时的主要特征参数是重叠系数 $hn = s/d_0$ 。线加工的加工速度为

$$U = \frac{L}{t} = \frac{nd_0h_n}{t} = d_0 \cdot f \cdot h_n = (d_0fs)/d_0 = s \cdot f \quad (1)$$

式中

- t ——加工时间(ms)
- L ——加工路程(cm)
- n ——激光脉冲数量
- f ——脉冲跟踪频率(Hz)

假设单个激光脉冲作用区内温度场等温线以半球面波的形式向材料深处传递, 则相邻两激光作用区最大, 最小强化深度之差 R_z (图2)为:

$$R_z = 0.5d_0 - 0.5\sqrt{d_0^2 - s^2} = 0.5d_0(1 - \sqrt{1 - h_n^2}) \quad (2)$$

加工步长 S 还同时反映在强化宽度方向的不均匀性, 而 R_z 反映强化深度方向的不均匀性。当然也可用最小和最大强化宽度之比(b_1/b)以及回火弱化的非强化区所占的比例(h_1/h)来表示强化的不均匀性。

从式(1)、式(2)看出: 在线加工时, 随着步长的增加, 加工速度提高, 但强化的不均匀性也增大。所以从生产率来考虑, 步长应尽取大些, 但同时必须保证强化的不均匀性(包括宽度和深度方向)不要超过允许数值。

2.1.2 面加工 其特点是激光射线相对于被加工表面在 x, y 两方向移动(图2(b))。它的主要特征参数有4个: x 方向的步长 S_x , y 方向步长 S_y , 面积充填系数 h_c 和脉冲利用系数 h_l 。

$$h_c = F'/F$$

式中

$$h_l = F' \left/ \sum_{i=1}^n F_i = 4F' \right/ (n\pi d_0^2) \quad (3)$$

F' ——被激光辐照到的(扫描到)的实际面积(cm^2)

F ——工件上应加工的面积(cm^2)

F_i ——单元激光脉冲的辐照面积(cm^2)

h_c 反映了被加工表面被激光辐照到的程度, h_l 说明了激光作用区重叠而造成激光能量非生产性损耗的程度, 即激光脉冲被有效利用的程度。

面加工有4种基本强化图形:

(i) 图 II $S_x = S_y = d_0, h_c = 0.8, h_l = 1$

这种图形的特点是: 两方向的步长相等, 并等于聚焦光斑直径; 小的面积充填系数; 高的脉冲利用系数。这种图形有高的加工速度, 加工区没有重叠, 但工件表面存在较大的非加工区。按这种图形强化后, 工件表面存在的是按加工图形分布的一些硬斑点, 表面及深度方向的强化程度都很不均衡。

(2)图Ⅲ 此时 $S_x = S_y = 0.7d_0$, $h_c = 0.96$, $h_1 = 0.46$ 。这种图形有很高的面积充填系数和低的脉冲利用系数。它的重叠区面积大, 脉冲能量的非生产损耗大, 生产率也低。使上下相邻两排激光作用区的中心, 相对错开 $S/2$, 可在一定程度上弥补上述缺点(图Ⅳ、Ⅴ)。

(3)图Ⅵ 此时 $S_x = 0.86d_0$, $S_y = 0.74d_0$, $h_c = 0.95$, $h_e = 0.74$ 。这是根据使重叠区的尺寸最小而且均匀相等的条件求出的。这种加工图形的充填系数和脉冲利用系数都较高, 但由于两方向的步长不相等, 实现起来比较麻烦。

(4)图Ⅶ 这种图形 $S_x = S_y = 0.8d_0$, $h_c = 0.94$, $h_1 = 0.72$ 。因此充填系数和脉冲利用系数都高, 重叠区有不相等的面积, 但相差不大。由于两方向的步长相同, 实现起来比较方便, 因而这种强化图形是比较受欢迎的。

按图Ⅳ、图Ⅴ的图形强化时, 上下两行激光作用区的中心也应相对移动 $S_x/2$ 。

面积强化过程的生产率可看作是单位时间内被扫描到的面积

$$P = \frac{F'}{t} = h_1 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n F_i}{t} = \frac{F_i \cdot n \cdot h_1}{t} F_i \cdot h_1 \cdot f = \frac{\pi d_0^2 h_1 f}{4} \quad (4)$$

2.2 用柱面透镜聚焦

在聚焦系统中, 采用柱面透镜, 可把光斑聚焦成长 l , 宽 b , 两端带圆弧(半径为 $r = b/2$)的矩形(图3)。此时的加工步长为 $S_x = l_1 + bh_n$, 重叠系数 $h_n = s/b$, S 是相邻两激光作用区圆弧中心的距离。由于 $l_1 = l - b$, 所以 $S_x = l + b(h_n - 1)$ 。沿 y 方向的步长为 $S_y = b \cdot h_n$ 。

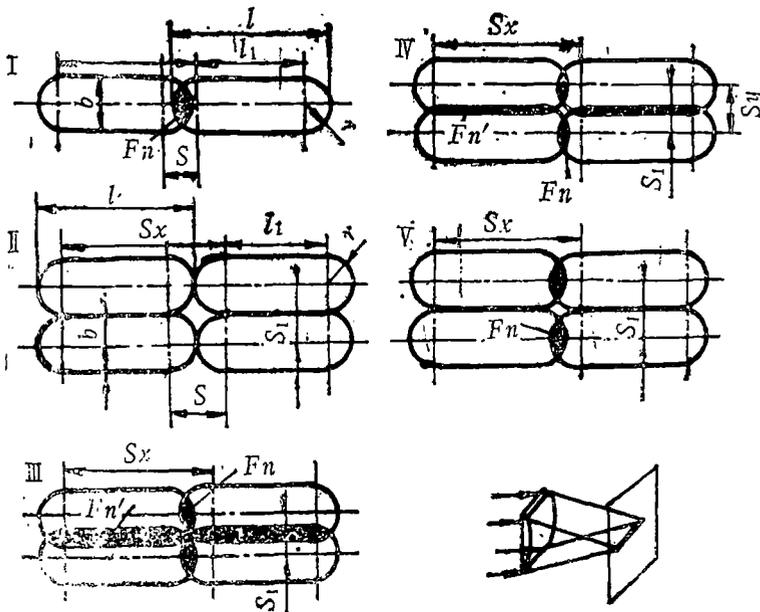


图3 柱面透镜聚焦图形

线加工的加工速度为

$$U = S_x \times f = f[l + b(h_n - 1)] \quad (5)$$

利用柱面透镜聚焦进行面加工时, 也有4种基本加工图形(图3)。

(1)图Ⅰ $S_x = l$, $S_y = b$, $h_n = 1$ 。其特点是激光作用区没有重叠, 但存在没有被扫描到

的面积。这种图形的生产率最高 $P = (lb - 0.21b^2) \cdot f$ 。

(2)图Ⅲ $S_x = l - 0.3b$, $S_y = 0.7b$, $h_n = 0.7$ 。这种图形的特点是不存在被没有辐照到的区域,但重叠区面积大,生产率比图Ⅱ的低,其值为 $P = (0.48lb - 0.69b^2)f$ 。

(3)图Ⅳ $S_x = l - b(1 - h_n)$, $S_y = b \cdot h_n$, 而 $0.7 \leq h_n \leq 1$ 。这种图形的特点是 x , y 两方向的重叠系数相等,重叠区的面积比图Ⅲ稍小。其生产率为 $P \approx (lb - 0.24b - 0.9F_n - 1.7F_n') \cdot f$, 其中 F_n 、 F_n' 分别为两方向重叠区的面积。

(4)图Ⅴ $S_x = l - b(1 - h_n)$, $S_y = b$, x 方向 $0.7 < h_n < 1$, y 方向 $h_n' = 1$ 。这种图形与图Ⅵ的区别在于两方向的重叠系数不相等。这种图形的重叠区最小。其生产率为 $P = (lb - 0.21b^2 - 1.74F_n)f$ 。

利用前述各种加工图形的特点,可根据所要求的加工生产率、具体零件、刀具、模具的使用条件来正确地选择其强化图形。

在绝大多数情况下,强化加工都是在激光射线与工件相对移动的条件下进行的,并且移动可以是不连续的。连续移动的速度应该小于强化过程(发热、材料金相组织及性能改变等)进行的速度。如果相对移动速度与强化过程进行的速度是可比拟的,甚至大于过程进行的速度,那么激光强化就类似于连续激光射线强化了。

分析研究指出,利用柱面透镜聚焦时,除生产率高于用球面透镜聚焦外,在强化性质方面并没有带来重大的特点。

3 激光强化的条件及材料表层组织变化的特征

激光强化只有在一定范围内的激光能量参数,特别是能量密度作用下才能实现。有强化效果的能量密度区间决定于激光脉冲持续时间、聚焦条件、被加工材料的化学成分及原始状态(表面金相组织、粗糙度、残留应力的性质和大小等)以及周围介质、防护气体等。

保证实现强化的能量密度区间受上、下限临界能量密度的限制,能量密度的上限值 W_E^B 应对应于材料开始熔化过程时的能量密度,也就是被加工材料原始表面粗糙度开始破坏时的能量密度。下限值 W_E^H 对应于回火过程的能量密度或被加工材料表层无任何变化的能量密度。

各种材料强化的上、下限临界值能量密度及在该条件下强化层的组织结构及特征见表1和表2。

为了获得最大的强化层深度,同时也不允许材料表层熔化,即保持表面粗糙度不变,在激光强化时应力求在接近 W_E^B 的用量下强化也取得最高的加热温度和最大的强化深度与强化程度。

4 激光强化用量与强化层参数的关系

激光强化用量主要指激光强化的主要参数:激光脉冲能量 E (焦耳);激光脉冲持续时间(毫秒);聚焦光斑直径 d_0 (毫米)。对于一般的激光强化设备, E 为几个焦耳至数百焦耳, τ 为0.1到10毫秒, d_0 为(2~10)毫米。有时也采用其它参数,例如激光脉冲功率 $P = E/\tau$ (瓦)和激光器平均功率 $P_0 = P\tau f = Ef$ (瓦),脉冲跟踪频率 f (赫兹)。如果认为光斑内的能量分布均匀,则以上参数存在下列关系。

表1 上限临界能量密度强化层的组织结构特征

被加工材料	W_{E^H} (J/mm ²)	W_{E^B} (J/mm ²)	H_{μ} MPa	H_{μ_0} MPa	表层组织特征
20号钢	1.5/1.8	3.1/4.3	1800	7200	热影响区由两层不同的组织组成：第一层是低碳马氏体；过渡层(占热影响区深度的5%)是低碳马氏体+铁素体
普通45号钢	2.4/1.7	4.6/4.0	2000	7500~8000	热影响区由两层组成：第一层的组织是细针状的马氏体和少量残留奥氏体；第二层是马氏体和残留的铁素体颗粒
45号淬火钢	1.4/1.7	3.6/4.1	5200~5600	7500~8000	热影响区由两层组成：第一层——低碳马氏体和残留奥氏体；第二层——回火马氏体($H_{\mu} = 3000 \sim 3500$ MPa)
γ_8 钢	2.3/1.6	4.4/3.8	2200	10000	表层是马氏体—奥氏体组织，并且残余奥氏体的数量接近70%，下面是马氏体和珠光体组成的过渡区
淬火 γ_8 钢	1.3/1.6	3.5/4.0	7000	10000	热影响区的组织结构与普通 γ_8 钢没多大区别，在热影响区与基体材料的边界上存在具有回火马氏体的回火区($H_{\mu} = 4000$ MPa)
普通 γ_{12} 钢	2.5/1.5	4.2/3.6	2800	11000~12000	第一层是在珠光体颗粒处形成的马氏体并且珠光体颗粒的边界形状仍然未变，在这一层组织中还包含一些残余奥氏体薄片，第二层是过渡区
淬火 γ_{12} 钢	1.2/1.55	3.6/3.95	7000	12000	其组织与普通 γ_{12} 钢没有多大的区别，只是在热影响区与原始组织的边界上存在回火区($H_{\mu} = 4500 \sim 5000$ MPa)，厚度约占热影响区的10%
普通9xc钢	2.2/1.55	4.3/3.7	2500	11000~12000	热影响区有两层：上层是马氏体+残余奥氏体+碳化物；下面是过渡层，其硬度均匀下降至原始材料
淬火9xc钢	1.25/1.6	3.5/4.0	7000	9500~10000	在表层沿深度方向，硬度分布不均匀，最上一层9500~10000MPa，在深40~50 μ m处硬度增加到12000MPa，在热影响区边界上存在回火区
普通3X15钢	2.1/1.45	4.2/3.6	2500~2800	10000~11000	热影响区由两层组成：第一层——马氏体奥氏体和均匀分布的碳化物；第二层——过渡区，这种钢的特点是最表层显微硬度降低了1000~1500MPa

续表1

被加工材料	W_E^H (J/mm ²)	W_E^B (J/mm ²)	H_μ MPa	$H_{\mu.c}$ MPa	表层组织特征
淬火X15钢	1.2/1.55	3.5/3.9	6800~7000	10000~11000	除了具有马氏体—奥氏体—碳化物组织的第一层外, 还具有回火区, 在热影响区和回火区之间存在一段硬度约13000 MPa的区域, 它是碳化物的聚集物
普通XBГ钢	2.05/1.4	4.1/3.5	2400	9500~10000	显微硬度沿深度分布不均匀, 决定于加工用量, 其组织是: 马氏体—残余奥氏体+碳化物
淬火XBГ钢	1.1/1.5	2.4/3.9	7000	9500~10000	显微硬度沿深度分布不均匀, 在很薄的一层表层硬度降低1000~2000 MPa (10~15 μ m这一层下面其硬度 $H_\mu \approx 11000$ MPa, 再下面是回火区 $H_\mu = 5000$ MPa)
P6M5退火钢	1.8/1.2	3.5/2.6	2800	9500	这种钢对加工用量要求严格, 当 $1.2 < W_E < 2$ J/mm ² 时在表层形成马氏体—奥氏体—碳化物组织, 而达到最大硬度。在其它情况下, 表层硬度降低到 $H_\mu = 7000$ MPa, 其组织是马氏体和大量残余奥氏体
淬火P6M5钢	1.0/1.2	3.3/3.8	7000	10500~11000	这种钢其硬度达到最大值的能量密度范围同样位于 W_E^H 区, 对应的组织是马氏体—奥氏体—碳化物。当表面采用涂层时能量密度在 $W_E < 1$ J/mm ² 范围内
X12M退火钢	1.5/1.0	3.2/2.6	2500	9300	表面深10~15 μ m的一层其硬度 $H_\mu = 7500 \sim 8000$ MPa, 下一层 $H_\mu = 9300$ MPa两层的组织都是马氏体+残余奥氏体和初生碳化物, 表面的残余奥氏体较多。当 $1 < W_E < 2$ J/mm ² 时能保证最大硬度
淬火X12M钢	0.9/1.3	3.1/3.75	6000	10500	表面具有很薄(10~15 μ m)的其硬度 $H_\mu = 7500$ MPa的组织, 表面上层的硬度为 $H_\mu = 10500$ MPa

注: (1)所有钢的牌号都是苏联标准

(2)表中分子的数值对应激光脉冲持续时间 $\tau = 2$ 毫秒; 分母值对应 $\tau = 8$ 毫秒

(3) H_μ ——材料原始硬度; $H_{\mu.c}$ ——强化后硬度

表 2 下限临界能量密度强化层的组织结构特征

被加工材料	W_E (J/mm ²)	τ (ms)	H_μ (MPa)	$H_{\mu.c}$ (MPa)	表面状况	强化层显微组织特征
灰铸铁 CЧ18—36	4.8	6	2620	6700	熔化	细针状马氏体, 残余奥氏体, 渗碳体
高强度铸铁 BЧ50—15	7.2	4	2100	5300	熔化	在表面熔化处形成细分散的莱氏体
高强度球墨 铸铁 σh75-50-03	2.5	6	7300	8390~ 9160	没变化	表面有一层光亮的没腐蚀的马氏体—奥氏体组织, 并扩散有石墨。下面是过渡层、硬度 $H_{\mu}=5900\text{MPa}$, 再下面是基体材料
钛合金BT—9	3	6	220	6190	没变化	
铝合金AЛ125	3.6~3.8	1	100~110	2000~ 2100	没变化	在强化层形成了合金元素在铝中过饱和固溶体, 这是因为事先产生了金属间相的溶解

注: 1.表中牌号为苏联标准

2. H_μ , $H_{\mu.c}$ 的意义同表1

$$W_p = \frac{E}{F_i \cdot \tau} = \frac{P}{F_i} \quad (6)$$

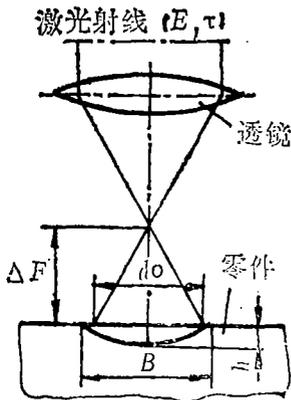


图4 聚焦透镜与加工材料的距离

式中

F_i ——激光光斑的面积(cm²)

W_p ——功率密度(w/cm²)

在激光强化时, 如果被加工材料的吸收系数为 A , 则所吸收的功率密度为 $Q = AW_p$, 一般在强化时, 都采用发散的激光束, 即被强化表面位于聚焦透镜焦距平面之外 ΔF 距离(图4)。这样能保证较好的强化质量。在这种情况下, 聚焦光斑的直径 d_0 决定于聚焦透镜焦距 F 及散焦程度 ΔF 。由于激光的模式不同及能量空间分布特征各异的影响, d_0 与 F 、 ΔF 的函数关系(这是在拟定激光强化用量时必须确定的参数)最好依靠试验求出。例如我们曾采用3²型全因素试验法建立了计算 d_0 的数学模型。

$$d_0 = 6.41 - 0.121F + 0.266\Delta F + 0.000676F^2 - 0.0015F\Delta F \quad (7)$$

公式(7)适用于聚焦透镜焦距 $F = 70 \sim 120$ 毫米, 散焦程度 $\Delta F = 15 \sim 35$ 毫米的情况。

为了增加聚焦光斑内能量分配的均匀性, 强化时最好在最大抽运能量(靠抽运电压来调节)下工作。功率(能量)密度靠改变 d_0 和 E 来实现, 但要注意的是当 E 改变时, 脉冲持续时间 τ 也可能发生了变化, 而要调节 τ 是比较复杂的, 所以一般的激光加工设备, τ 都是不可调的。

强化层的基本参数是: 强化层的几何尺寸(深度和宽度), 显微硬度和表面粗糙度。单脉冲作用区横截面具弓形形状(图4), 其深度为 h , 宽度为 b , 而 b 并不等于光斑直径 d_0 。

为了确定以上强化用量与强化层参数之间的关系,采用 2^3 型的全因素试验法,建立了相应的数学模型。例如加工钢时,强化层深度 h ,强化层显微硬度 $H\mu$ 与激光脉冲能量 E (编码 x_1)脉冲持续时间 τ (编码 x_2),聚焦光斑直径 d_0 (编码 x_3)之间的关系如下:

$$h = 82 + 38x_1 - 5x_2 - 7x_3 - 34x_1x_2 - 5x_1x_3 - 20x_1^2 + 30x_2^2 \text{ (对y8钢)}$$

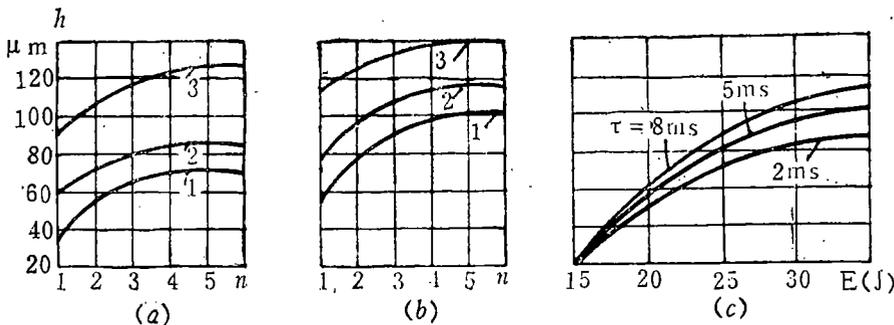
$$h = 74 + 46x_1 - 59x_2 - 25x_1x_2 + 10x_1x_3 - 3x_2x_3 + 6x_1^2 + 41x_2^2 - 4x_3^2 \text{ (P6M5)}$$

$$h = 84 + 39x_1 - 47x_2 - 3x_3 - 19x_1x_2 + 5x_2x_3 + 26x_2^2 \text{ (X12M)}$$

$$H\mu = 999 + 25x_1 - 58x_3 + 16x_1x_2 + 16x_1x_3 - 41x_2x_3 + 59x_1^2 - 76x_3 \text{ (y8)}$$

$$H\mu = 838 - 42y_1 - 10y_3 + 31x_1x_2 + 26x_1x_3 - 63x_1^2 + 52x_2^2 - 37x_3^2 \text{ (P6M5)}$$

$$H\mu = 946 - 42x_1 + 27x_3 + 165x_1x_2 + 73x_1x_3 - 23x_2x_3 - 45x_1^2 - 120x_2^2 - 96x_3^2 \text{ (X12M)}$$



1— $W_E = 3\text{J/mm}^2$; $\tau = 2\text{ms}$; 2— $W_E = 4\text{J/mm}^2$; $\tau = 3\text{ms}$; 3— $W_E = 5\text{J/mm}^2$; $\tau = 4\text{ms}$

图5 脉冲能量与时间关系

分析以上公式和相应资料,可得如下规律:在一般情况下,激光脉冲能量 E 及脉冲持续时间 τ 增加,强化层的深度和宽度都增加(图5)。因此,为了增加强化区的几何尺寸,在规定(或选择)的能量密度下应尽可能选用大的脉冲持续时间。在激光脉冲能量 E 及脉冲持续时间 τ 不变的条件下,聚焦光斑直径 d_0 增加会引起强化深度的减小和强化宽度的增加到某一极限值。

由于一般的激光强化设备的脉冲持续时间是不可调的。因而以功率(或能量)密度来研究强化的规律最为方便。分析前面实验资料可以看出,随着功率密度 W_p 的增加,强化层的深度和宽度都增加(图6),并且对于所有被研究的材料,强化层几何参数的变化规律是大致相同的。图6中虚线表示功率密度超过上界临界值 W_p^B 的情况(对于y8钢, $W_p^B = 240$ 千瓦/厘米 2 ,对于P $_6$ M $_5$ 钢, $W_p^B = 220$ 千瓦/厘米 2),此时材料表层被熔化而形成凹坑。

试验发现,激光强化淬火钢比强化退火钢,其强化层深度增多20~30%(决定于钢的化学成分)(图5)。在防护气体(例如氮、氩、氦等)以及在真空中强化比在空气中强化,其强化层深度大约降低10%。往同一个激光作用区送进几个激光脉冲时发现(图5),在3个脉冲之前,强化层深度将随脉冲数量的增加而增加,但3个脉冲以后,强化层深度就稳定在某一水平上不再增加,而只决定于功率密度与脉冲宽度。

强化层的显微硬度同样决定于激光射线的能量密度、被加工材料的化学成分及表层原始热处理状态以及激光脉冲持续时间。在表1、表2中列出了保证提高显微硬度的对应不同脉

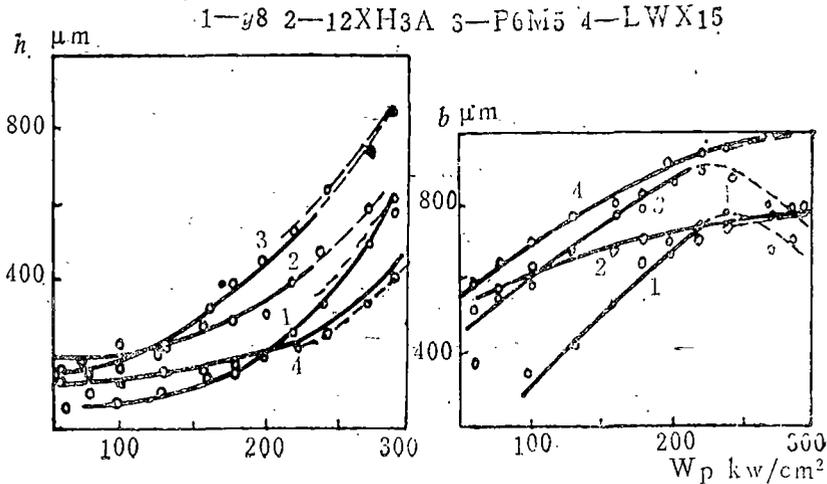


图6 功率密度与强化层深度和宽度关系

冲持续时间的能量密度范围。另外从表1、2中还可以看出，材料表层的原始状态对硬度提高的水平没有重大影响，而只影响硬度提高的程度。所以在某些情况下可把激光强化作为最后的热处理工序。

工件表面粗糙度只有当能量密度超过上限临界值 W_{eB} ，激光作用区局部熔化时才发生变化。但这种用量较少采用，而且这种用量强化后必须有后序加工。一般所采用的激光强化用量以表层不熔化、表面粗糙度不变化为好。

根据前面的分析结果以及所建立的数学模型，可采用各种方法，按所要求的强化层参数来优化确定强化用量；或解决逆问题，根据所规定的加工用量和加工设备的结构特点来确定所能达到的强化层参数。详细内容见文献[2]、[4]。

参 考 文 献

- 1 Б.С.Коваленко Прогрессивные методы лазерной обработки материалов 1985
- 2 В.С.Коваленкой Лл Ж усинь(李儒荀) Оптимизация параметров размерной лазерной обработки, технология и организация производства 1988; 1
- 3 Н.Н.Рыкалин, А.А.углов, И.В.Зуев А.Н.К.кокора Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов, 1985
- 4 李儒荀.陶瓷的激光打孔及加工参数的化优.无锡轻工业学院学报, 1988; 4
- 5 李儒荀.精微孔的激光加工.机械工艺师, 1988; 8
- 6 В.С.Коваленко, Ли Жусинь(李儒荀)В.П.Котляров Н.И.Анякин Выбор режимов лазерной обработки отверстий в керамике"Электронная Обработка материалов, 1988; 6

Some problems of Surface hardening Metal Material by Pulsed Laser Beam

Li Ruxun

Abstract: Some problems of surface hardening metal material by pulsed laser beam are dealt with in this paper. The influence of surfacel coat, various types of laser beam pattere characteristics of hardened surface are also studied
Subjectwords: Pulsed laser; Strengthening Laserpattern arrangement; Surfacoat; Working parameters; Material properties

衣康酸扩试获得成功

衣康酸又名甲叉琥珀酸、亚甲基丁二酸,是一种在发达国家广泛应用而国内尚无生产的有机酸。它作为化纤、塑料、合成橡胶、合成树脂、涂料、高强度碳素纤维、优质玻璃钢、人造宝石、特种透镜等方面的好原料而被大量采用。

衣康酸也是一种发酵产品。美国北部地区研究所1945年分离选育出衣康酸高产菌株土曲霉NRRL 1930, 1952年开始工业生产。日本采用美国菌种,从50年代开始研究直到1975年才工业化生产。苏联选育出菌种也花费15年时间到70年代初才投入工业生产的。目前,只有美、日、苏进行工业生产,而苏联与东欧诸国每年还要进口。

衣康酸是腈纶的第三单体。我国每年向美、日进口500吨。由于国内不生产,外商将价格逐年抬高。国内不少科研单位,从1958年以来先后进行过研究,因为最终未能获得高产菌种而中止,衣康酸研究陷入困境。

作者于1984年从土壤中分离出1株衣康酸产生菌。1985年我院承担了江苏省科委下达的衣康酸500升罐发酵扩试任务,并在西安光华制药厂的密切合作下,扩试获得成功。摇瓶试验平均衣康酸产酸率52~59g/l,对糖转化率超过50%。500升罐发酵扩试连续5罐试验得率33g/l,对糖转化率超过47%,生产出10多千克白色结晶产品。

1989年9月11日在无锡召开了衣康酸发酵扩试技术鉴定会。与会的有上海交通大学、江苏省食品发酵研究所、江苏省微生物研究所、镇江食品发酵研究所、常州味精厂、无锡第三制药厂和我院的专家、教授、高级工程师。代表们一致认为:衣康酸扩试成功为衣康酸国产化打下了基础,并希望我们继续努力,早日正式投入工业化生产。

(发酵工程系 金其荣)