

激光加热切削

李儒荀

(机械工程系)

摘要 分析了激光加热切削的机理与优越性,研究了激光参数与切削力和切削温度的关系。

主题词 激光加热;切削力;切削温度

中图分类号 TG665

切削加工时,往切削区供给激光能量以改善材料的加工性,是切削加工以及激光加工的发展进程中的发展动向之一,作者曾在乌克兰基辅工学院激光工艺实验室对这课题进行了研究。

用传统的切削加工方法加工高络钢、锰钢、镍合金,钴基合金,耐蚀钢、铬镍钼钢、高速钢及高强度铸铁等难加工材料时,遇到的主要难题是由于它们的强度高、硬度大而造成切削力大,刀具磨损迅速,切削速度难以提高,生产率低下,加工精度与表面质量也难以保证。用激光加热就可避免上述缺点。其最大优点就是热作用区以及热影响区都极小,理论上激光射线束能聚焦成的光斑尺寸可等于激光振荡波长。因而用激光束加热可直接作用,而且只加热切屑形成区(图1)。加之激光射线功率大,加热速度快,能很快地向切屑形成区提供大量的热能,使该区温度的提高速度及程度都相当大,可有效地弱化或微熔该区,从而改善该区材料的切削加工性,造成最有利的切屑形成(变形)条件,大大降低切削力,提高刀具耐用度和切削速度以及生产效率。同时,由于热影响区尺寸小,大大小于切削深度,故对非切削区的母体材料的性能和微观组织没有任何影响,更不会引起工件的热变形。激光射线束沿工件表面的移动速度快,加热及冷却的速度也快,这对工件已加工表面的形成和性能都会带来有利于零件使用价值的影响。

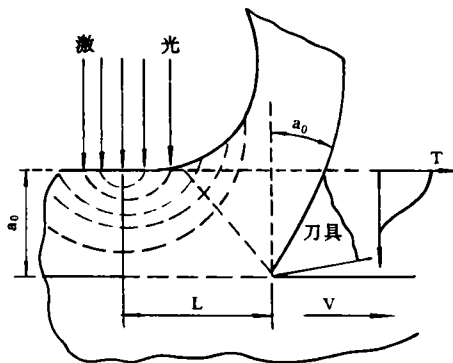


图1 激光加热切削原理图

收稿日期:1994-11-22

激光加热切削时由于激光加热工件材料而带来了一般切削所没有的特点,这就是刀具与工件材料接触区(主要指第一变形区)的温度 T_{Σ} (总的切削温度等于激光预热温度 T_i 与切削过程中材料变形所产生的温度 T_c 之和,即:

$$T_{\Sigma} = T_i + T_c \quad (1)$$

激光加热可大大弱化被切削层材料,并且弱化层的深度也比一般切削时的大,故可减小切削力和接触摩擦力,这些又会导致切削过程中切削功和切削热的减少。因此,激光加热切削存在两个矛盾的热作用:即一方面,激光加热,提高了切削区的温度;另一方面,减少了工件材料的变形功,因而减少了切削温度。总的切削温度是这两种相矛盾的热作用叠加的结果,加工参数选择得合理,还可能低于没有加热的一般切削的切削温度。这对减少刀具磨损是十分有利的。

激光加热切削能改善材料的加工性只在下列的条件下才有可能:即由于激光加热使单位切削功的降低,刀具耐用度的增加程度大于温度的升高而造成的刀具被“包容”现象的加剧和磨损强度的增加程度。在激光加热切削时,由于激光加热而增加了被加工材料硬度与刀具接触硬度之间的差异,也就是被加工材料的弱化程度压倒了刀具工作表面的弱化程度时,刀具耐用度才得以相对提高,激光加热切削才有意义。激光加热切削时,切削区温度的掌握是至关重要的,即存在一个最佳的切削温度,在此温度下的切削力最小,切削效果最佳,文献[1]认为,在加工高强度钢时,这个最佳温度约为 600℃,不过在研究中发现,这个“最佳”的切削温度是相对的,它决定于影响激光加热切削时的一系列因素。

与一般的切削加工不同,影响激光加热切削效果的因素很多,有的也难于控制。但研究分析可以看出,在一般的切削试验条件下,有些参数是相对固定的。研究分析指出,激光加热切削时对切削温度和切削力影响最大的是切削区激光功率密度 w_p , (或激光功率 p 与聚焦光斑直径 d_i), 切削用量(切削速度 v), 进给量 f 和切削深度 a_p) 以及聚焦光斑中心离刀尖基面的距离 L 。(图 1)

利用正交试验法(全因素试验法)可以建立上述参数之间的数学模型:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^K b_i x_i + \sum_{i=1}^K b_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^K b_{ii} X_i^2$$

式中

y ——目标函数(切削力 F 或切削温度 T)

X_i, X_j ——变参数(激光功率密度 w_p 或功率 p 与聚焦光斑直径 d_i , 切削速度 v , 进给量 f , 切削深度 a_p , 激光聚焦光斑中心距刀具刀尖基面的距离 L) 的编码形式。

采用文献[2]中所使用的方法,可以分析目标函数与影响因素之间的相互关系,以及找出 w_p (p 与 d_i), v , f , a_p , L 之间的最优组合,可取得最满意的加工效果。

激光加热切削试验原理如图 2 所示,激光器 2 为 CO₂ 激光器,最大输出功率 2kw(可调),激光束经过转向反射镜 3,4,5,6 后投射到聚焦透镜 7 上。激光束经过反射镜 3 后将沿着工件的轴线方向(x 向),经反射镜 4 后将沿工件轴线的

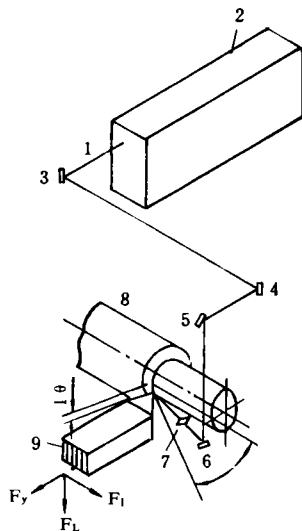


图 2 激光加热切削装置

垂线方向(y 向),经反射镜5后沿切削速度方向(z 向),投射到反射镜6上。反射镜4,5,6,7都固定在车床横拖板上,反射镜6和聚焦镜7位于毛坯附近,聚焦透镜7把激光束聚焦到工件切屑成区,(离前刀面切削刃刀尖处基面的距离为 L 处)(图1,2)。车削时,纵拖板沿工件轴线方向(x 向)移动,横拖板沿垂直于工件轴线的 y 方向移动(间隙运动)。当车削深度及反射镜位置调整好后,可保持车削时,聚焦光斑始终照射到切屑形成区。当激光束沿被照射面的法线方向时,被照射面对光能的吸收最好。故调整激光束沿切削平面的法线方向,即激光束与工件轴线的夹角为 $\theta = \pi/2 - K_r, K_r$ 为主偏角。

研究指出,当聚焦光斑大小保持不变的情况下,随着激光功率 p 的增加,三个切削分力(F_x, F_y, F_z)都减少,因而总的切削力下降(图3)。当激光输出功率 $P = 1200\text{w}$,距离 $L = 8\text{mm}$ 时,切削力下降最为厉害。

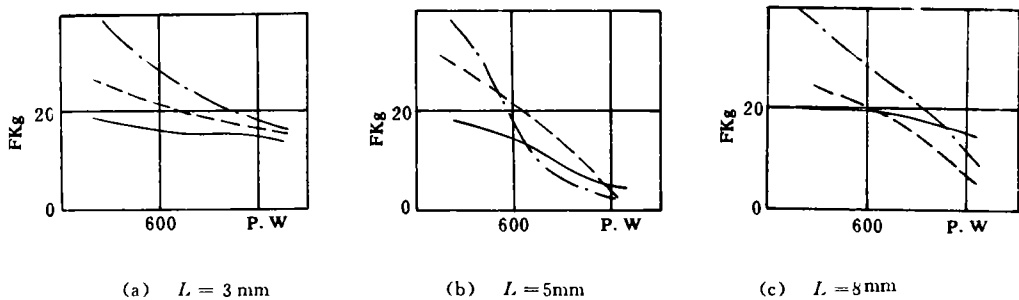


图3 在不同距离 L 下,切削力 F 与激光功率的关系
—— F_x - - - F_y - · - F_z

激光加热切削的效果,除与激光功率有关之外,还与聚焦光斑大小有密切关系,也就是说还决定于被加工材料单位面积上所吸收的激光能量(功率),即决定于功率密度。

图4表示了激光功率密度与切削力下降率的关系。从图上可以看出,随着激光功率密度

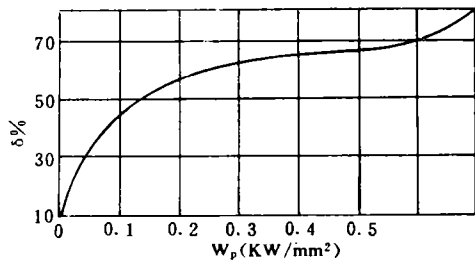


图4 激光功率密度 W_D 与切削力下降率 δ 的关系

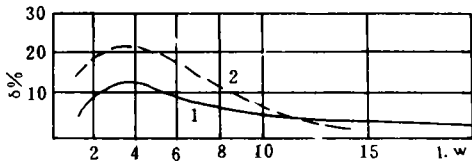


图5 切削力下降率 δ 与距离 L 的关系
1 $v = 6\text{m/min}$ 2 $v = 12\text{m/min}$

w_p 的增加,切削力的下降率 $\delta(\delta = (F_x - F'_x)/F_x \%)$ 增加,即切削力明显减小,例如当 $w_p = 7 \times 10^4 \text{w/cm}^2$ 时,主切削力下降了75%。

在激光加热切削时,为了提高切削区激光辐照的功率密度,可采取增加被加工表面对激光能量的吸收能力或根据具体情况采用以下三种方法:一是光斑大小不变,增大激光器输出功率;二是激光功率不变而减小光斑尺寸;三是同时增大激光功率和减小光斑尺寸。

激光加热切削还有与一般切削所不同的另一个特点,就是激光聚焦光斑中心到刀尖基

面的距离 L 对切削效果也有很大影响。(图 1, 图 2)、图 5 表示了距离 L 对主切削力(F_z)的影响情况。它是在下列条件下得出的:激光功率 $P = 600\text{w}$, 聚焦光斑直径 $d_f = 0.212\text{mm}$, 进给量 $f = 0.075\text{mm/r}$, 切削深度 $a_p = 0.5\text{mm}$, 切削速度 $v = 6\text{m/min}$ (曲线 1) 和 $v = 12\text{m/min}$ (曲线 2)。工件材料工具钢。从图上可以看出,在激光功率密度保持不变的情况下,无论对于哪一种切削用量(切削速度),都存在一个最佳的 L 值,在这个最佳距离下,切削力下降得最多。在这个最佳距离之前,随着 L 的增加,切削力减小;而在这最佳距离之后, L 增加,切削力增大。这可能是由于若 L 过大,则激光加热区离切削刃远,当切削刃切削时,被照射材料可能也变冷;另外,若 L 太小,则工件材料被激光加热的同时,刀具材料也受到激光加热的影响而过热,影响它的耐用度,磨损加大,切削力也增加。对于具体的加工条件,最佳距离 L 不一样,它主要决定于激光功率密度和切削用量(特别是切削速度)。但可用优化方法求出。例如在上述试验条件下,最佳距离为 $3 \sim 4\text{mm}$;而当激光功率 $p = 1.2\text{kw}$, 光斑直径 $d_f = 3\text{mm}$, 切削速度 $v = 30\text{m/min}$ 时,最佳距离 L 约为 8mm 。

另外激光加热切削还有利于减小振动,从而改善被加工表面质量。例如车合金钢 $Mo + 3\% Nb$, 切削用量 $v = 60\text{m/min}$, 进给量 $f = 0.5\text{mm/r}$, 切削深度 $a_p = 0.5 - 0.2\text{mm}$, 激光功率 1kw , 表面粗糙度为 $R_a = 15\mu\text{m}$ 。而一般车削的 $R_a = 30\mu\text{m}$, 表面粗糙度减少一半。同时刀具($B\text{kg}$)耐用度增加了三倍,切削时消耗的功率减少 $30\% \sim 40\%$, 硬化程度从一般车削的 30% 下降到 9% , 硬化层深度减小一倍^[3]。

致 谢

本课题在乌克兰科学院院士 Н. Р. РОДИН 和乌克兰科学院院士 В. С. КОВАЛЕНКО 教授共同指导下完成。还得到了基辅工学院激光工艺实验室副教授 В. П. КОТЛЯРОВ 的大力帮助,特此致谢。

参 考 文 献

- 1 Marinsek G, Canello G. Indagine sulla lavorazione di torniture assista dal laser. Machine, 1980, 35(1)
- 2 Коваленко В. С., Ляпу С. И. В. Оптимизация размеров Лазерной Обработки. Технологии и ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА, 1988, (1)
- 3 Либенсон М. И., Суслив Г. И., Кокора А. И. Лазерная Поверхностная обработка Металлов в слдургия, 1986

Heat Cutting by Laser Beam

Li Ruxun

(Dept. of Mech. Eng.)

Abstract The mechannism and superiority of heat cutting by laser beam is analysed. The effect of laser parameters on cutting force and cutting temperature have been investigated.

Subject-words Laser heating; Cutting temperture; Cutting force