

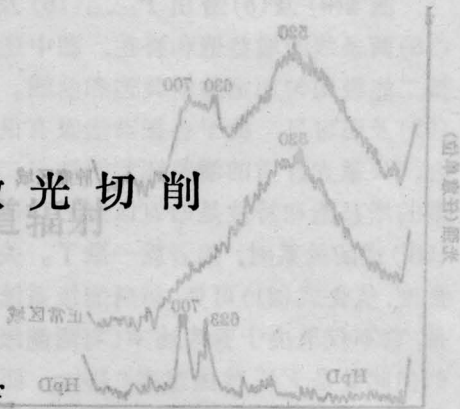
微区熔化法激光切削

李力钧

(湖南大学)

J. Mazumder

(University of Illinois at Urbana-Champaign)



提要: 提出一种应用激光切削加工的新途径: 将激光束会聚成光带, 用以加热、熔化余量和零件分界面的微区, 同时用工具剥离已分离的切屑, 分析和初步试验证明了这种激光切削方法的可行性。其切削力小, 刀具磨损小, 激光能量使用经济。

Laser stock-removing by localized melting

Li Lijun

J. Masumder

(Hunan University, Changsa)

(University of Illinois at Urbana-Champaign, USA)

Abstract: A new stock-removing process using a laser beam is proposed. In this process, a laser beam focused into a light strip is used to melt the localized area at the interface between the material to be removed and the workpiece. The scraps due to melting is removed by a stripping tool. The analysis and preliminary experiments proved the feasibility of the method. It has small cutting force and is free from wear and economic in laser energy usage.

一、引言

传统的切削加工方法有一定的局限性。它首先是一个机械过程, 整个切削过程存在着很大的切削力。即使切削普通炭素结构钢, 单位切削面积上的切削力也达 2000 N/mm²。在此切削力的作用下, 将导致工艺系统发生变形、颤震, 影响加工精度。切削力所做的功几乎全部变为热能, 导致切削区的局部高温。切削刀具在高温下受到大的切削力的作用而磨损、失效。

为了解决这个问题, 人们在探求新的加

工方法。其中, 激光技术是很有吸引力的。美国南加州大学激光研究中心的 S. M. Copley 教授和 M. Bass 教授研究了两种工艺: 激光辅助切削和激光切削。前者用聚焦激光束照射切削刀具前方的被切材料, 使它受热软化, 从而减少切削力; 后者以聚焦后的激光束直接加热、气化全部余量。这种工艺的主要问题在于能量利用不经济, 用激光加热或气化全部余量需要大量的激光能量。在激光辅助切削工艺中, 被切材料在低温下对激光的低吸收系数使得能量消耗问题变得更加突出。

为了探索有效地利用激光于切削加工的

收稿日期: 1985年12月7日。

途径, 作者在美国伊利诺衣州立大学激光实验室进行了微区熔化法激光切削的试验研究^[1]。

二、基本设想

切削加工的目的在于把毛坯上不需要的材料(余量)从有用的部分(零件)上分离、去除。为达此目的, 不一定要像传统切削加工方法那样使全部余量发生强烈的塑性变形, 也不一定需要像激光辅助切削和激光切削那样加热、熔化以至气化全部余量。如果能够加热余量和零件交界面的微区, 切削过程就会变得容易。如能熔化这个交界面的微区, 就易于把二者加以分离。激光能够实现这个要求。为了连续地进行切削, 还需随着工件的运动, 剥离已经分离了的切屑, 使余量和零件的分界面始终暴露在激光束的作用之下。为此, 一个可能的办法是采用一个用刀具材料做的剥离工具, 它远离余量和零件的分界面, 以剥离分离了的切屑, 激光束则通过它的下方加热交界面的微区, 如图 1 所示。

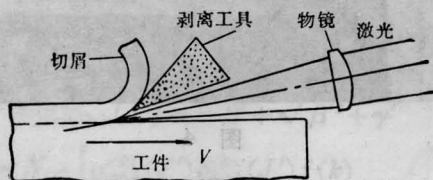


图 1 激光切削示意图

TEM₀₀基模激光束经无像差物镜聚焦后焦点上的光斑直径为 $D=1.22\lambda f/d^{2.2}$ 。d 为入射激光束直径, f 为聚焦物镜的焦距, λ 为光波波长。d/f 愈大, 则光带愈窄。但 d/f 近似于以弧度值表示的聚焦激光束的会聚角。此会聚角越小, 则为敞开光路所必须的切屑弯曲程度越小, 切削力越小, 光轴与切削运动方向间的夹角也愈小。故 d/f 应取一适中的值。在本试验中取 $d/f=1/3$, 会聚角约 19°, 则 $D\approx 3.8\lambda$ 。

对于光带的另一个重要要求是它的能量分布。对于直角自由切削, 沿着光带长度方向应有近似均匀的能量分布。

三、激光切削的模拟

考虑直角自由切削情况, 光带垂直于工件运动方向, 切屑下表面和零件已加工表面间的楔角应略大于光束会聚角, 取为 20°。会聚激光束的焦平面通过楔角尖点, 能量呈高斯分布的光带宽度的中心和尖点重合。

所述情况下的热传导可近似为两维问题, 在连续切削过程中达到准稳定状态。对运动着的工件和切屑, 可列出热传导方程:

$$V(\partial T/\partial x) - \alpha[(\partial^2 T/\partial x^2) + (\partial^2 T/\partial y^2)] = 0$$

式中 V 为切削速度, α 是工件材料的热扩散率, 直角坐标系 α 座标与速度 V 方向重合。

将上面的方程化为有限差分的形式, 用 Gauss-Seidel 法来解温度场。作为边界条件的切屑下表面和零件已加工表面温度梯度由傅里叶热传导定律确定, 表面的热通量等于单位时间单位面积吸收的激光能量。

一旦切削下表面和零件已加工表面交线处的温度达到被切材料的熔点, 激光切削过

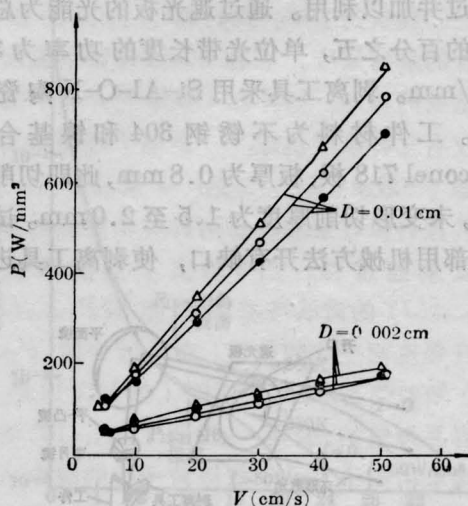


图 2

△—不锈钢 ○—Ti-6AL-4V
●—因科镍合金

程得以进行, 与此相应的激光功率即为激光切削所需激光功率。对不锈钢, Inconel 镍基合金和 Ti-6AL-4V 钛合金三种工件材料计算了主要参数间的相互关系。对不同的光带宽度 D 和工件材料, 激光切削所需单位光带长度的激光功率 P 与切削速度 V 的关系如图 2 所示, 它给出了在理想情况下激光切削所能达到的切削用量。激光切削这三种材料所需功率相近, 这是因为尽管它们的机械性能很不相同, 但热物理特性(热扩散率)相近, 而激光切削主要是一个热作用过程。激光切削所需功率与光带宽度关系极大。为有效地利用激光能量, 光带宽度应该尽量小。

四、试验结果和分析

实验用的激光器是 AVCO 10kW 连续波 CO₂ 激光器。聚焦物镜由两个 KCl 柱面镜组成, 分别在两个互相垂直的平面内会聚穿过遮光板的光束。采用这个简单的光学系统, 可以获得长 1.4mm、宽 0.25mm 的光带。光学系统如图 3 所示。

激光器的环形输出不可能被聚焦为一条窄细光带, 因而采用遮光板只让部分输出光返过并加以利用。通过遮光板的光能为总能量的百分之五, 单位光带长度的功率为 357 W/mm。剥离工具采用 Si-Al-O-N 陶瓷刀片。工件材料为不锈钢 304 和镍基合金 Inconel 718 板, 板厚为 0.8mm, 此即切削宽度, 未变形切削厚度为 1.5 至 2.0mm。试件端部用机械方法开有缺口, 使剥离工具进入

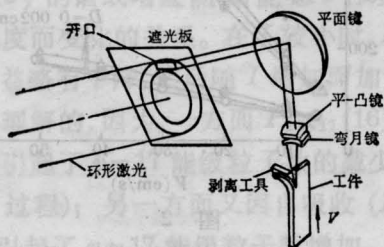


图 3

剥离切屑状态, 以便开始激光切削过程。

对于 304 不锈钢和 Inconel 718 镍基合金, 试验得到的切削速度分别为 25 mm/s 和 22 mm/s。根据单位光带长度激光功率为 357 W/mm、光带宽度为 0.25 mm 的条件, 激光切削不锈钢和 Inconel 的切削速度应分别为 74 mm/s 和 92 mm/s。造成理论值和实际切削速度之间的差别的主要原因是切屑的下表面与零件已加工表面的交点附近形成了熔池, 激光只能通过这个熔池来间接加热切屑和零件的分界面, 从而使热量散布到一个较大的区域, 降低了激光切削过程的效率。在激光切削过程中, 在此交点附近形成熔池可能是不可避免的。但计算表明, 熔池可随光带变窄而减小。在本试验中, 光带宽度大至 0.25 mm, 形成一个相当大的熔池, 对切削过程的影响就很显著。

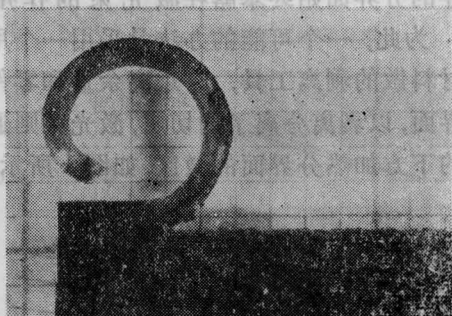


图 4

还进行了控制力激光切削试验。用垂锤牵引导轨和工件, 而不用马达驱动。在前述切削用量下(0.8mm 切削宽度、1.5 至 2.0 mm 未变形切削厚度), 切削力小于 180 N, 相对传统切削加工, 这个力小到可以忽略。图 4 为已加工试件的照片, 其精度、表面粗糙度和热影响区尺寸与光带宽度在同一数量级。

参 考 文 献

- [1] Lijun Li, J. Mazumder; "Proceeding of 84' International Congress on the Application of Lasers and Electro Optics", Nov. 1984.
- [2] 川澄博通; 《机械と工具》, 1981, 25, 6.