

文章编号: 1001-3806(2005)02-0142-03

激光冲击成形中冲击轨迹生成方法的研究

金 川, 殷苏民*, 蔡文泉

(江苏大学 机械工程学院, 镇江 212013)

摘要: 为适应现代制造业产品快速更新的市场竞争需要, 实现板料的快速高效、低成本的生产要求, 根据激光冲击成形的原理、特点, 在 STL 模型的分层处理技术的基础上, 提出了一种新的算法, 从而完成了激光冲击过程中激光头的运动轨迹的自动生成。这项技术解决了激光冲击成形的连续加工问题。计算机仿真结果表明, 对于一般简单形状的板料加工, 成形尺寸基本满足要求。用该方法进行冲击轨迹的获得尚在研究与开发阶段。

关键词: 激光冲击; STL 模型; 分层处理; 截面轮廓

中图分类号: TG 665 文献标识码: A

Research on the method of creation of shocked trace during laser shock

JIN Chuan, YIN Su-min, CAI Wen-quan

(College of Mechanical Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract In order to adapt to market competition needs of rapid product update of the modern manufacture and to achieve sheet metal production rapid, effective and low-cost requirements according to the theory and characteristic of the creation of laser concussion, a new arithmetic based on the slicing technology of STL model was brought forward to achieve the auto-generation of laser head movement trace in laser concussion. This technology can solve the problem of continuous process during laser concussion. The simulation result shows that the figuration dimensions of the cracked sheet metal basically satisfy requirements. This method is still in the phases of research and development.

Key words laser concussion; STL model; slicing; contour of section

引 言

随着激光加工技术的研究与发展, 利用激光冲击波使材料变形形成特定变形形状的研究不断深入, 其机理^[1]是以高功率脉冲激光辐照金属材料, 使材料表面(通常是表面涂层)迅速汽化, 形成高温、高压等离子体并膨胀爆炸, 产生高压冲击波。当冲击波的冲击压力高于被处理材料的动态屈服强度时, 金属材料产生塑性变形, 有效控制其冲击激光束参数和运动轨迹, 可以获得既定形状的工件, 这种成形方法在航空、航天、军工、造船等领域的应用前景十分广阔。因此, 越来越多的学者开始加入到激光冲击成形的研究中。

应用激光处理技术的一个关键问题就是如何生成激光冲击的轨迹, 本文中讨论以 STL 模型作为分析对象, 利用分层处理技术来获得冲击轨迹。

1 基于 STL 模型分层处理的过程及算法研究

STL (stereo lithography interface) 是 3D Systems 公司开发的, 它使用三角形面片来表示三维实体模型, 现已成为 CAD/CAM 系统接口文件格式的工业标准之一, 绝大多数造型系统都能支持并生成此种格式文件, 特别是在快速原型制造系统中, 得到了广泛使用。以 STL 文件传输的实体模型, 称为 STL 模型。在快速成型领域, 已有不少学者^[2]研究并应用该模型。下面依次来介绍 STL 的数据格式以及分层处理的过程及算法。

1.1 STL 的数据格式

STL 有两种格式, 一种是 ASCII 格式, 另一种是二进制格式。在 ASCII 格式的 STL 文件中, 有 7 个关键字, 它们用空格与其它项分开。它们是 solid, facet normal, outer loop, vertex, end loop, end facet, endsolid。

ASCII 格式的文件结构如下:

solid [零件名]

facet normal n_x , n_y , n_z (第 1 个三角形面片的法向量)

outer loop

基金项目: 国家八六三高技术研究发展计划资助项目 (2002AA336030)

作者简介: 金 川 (1979), 女, 硕士研究生, 现主要从事数控式开放系统的研究。

* 通讯联系人。E-mail: smyir@ujs.edu.cn

```

vertex p2x, p2y, p2z (顶点 p2 的坐标)
vertex p3x, p3y, p3z (顶点 p3 的坐标)
end bop
end facet (第 1 个三角面片结束)
facet..... (第 2 个三角面片开始)
.....
end facet..... (第 2 个三角面片结束)
.....
endsolid [零件名]

```

文件的首行用来说明一个零件的开始,最后一行声明该 ASCII 格式的零件文件结束,中间是以 STL 保存的零件模型的表面所有三角面片的信息。每一个三角面片信息都以 facet 开始, endfacet 结束。facet 与 endfacet 之间说明了该三角面片的法向量以及 3 个顶点坐标。一个三角面片声明完紧接着就开始下一个三角面片的声明,直至零件模型表面所有的三角面片都声明完。

在二进制的 STL 文件中,前 80 个字节存储零件名,接着的 4 个字节存储三角形面片的个数,然后存放每个三角形面片的信息。每个三角形面片的信息占用 50 个字节,它们依次是: (1) 占 12 个字节的面片法向量,每一坐标分量占 4 个字节 (fbat 类型); (2) 3 个顶点的坐标,共占 36 字节;每个顶点坐标占 12 字节,每一坐标分量占 4 个字节 (fbat 类型); (3) 属性项,占 2 个字节。

1.2 利用 STL 模型分层处理的基本过程

假设 z 轴轴向为第 1 次分层方向,分层的厚度为 Δz , STL 模型在 z 轴上的坐标最大值和最小值分别为 z_{max} , z_{min} 。分层处理的过程就是用一系列相等间距的分层平面与 STL 模型进行求交的过程。因此就先要分析 STL 模型中每一个三角形面片与分层平面的位置关系,然后再进行求交处理,最后将交线连接成截面的轮廓线。由于激光冲击的过程是从上往下一层一层地冲击材料的过程,所以第 1 次分层处理程序的基本

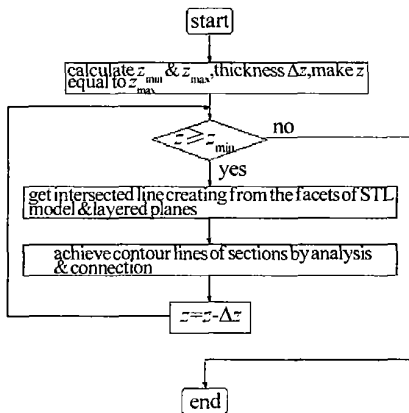


Fig 1 Basal flow chart of the first layered disposal

流程如图 1 所示。

1.3 STL 模型分层处理的基本算法

1.3.1 分层面与三角形面片的位置关系 当一个分层面与 STL 模型相交时,模型表面的三角形面片与分层面可能相交,也可能不相交,如图 2 中 (1)、(2) 两种情况所示;而相交的情况又分为一个顶点在分层面上,另外两个顶点均不在分层平面上,如 (3)、(4) 两种情况;或者是三角形面片的两个顶点位于分层平面上,而另一个不在分层平面上,如 (5)、(6) 两种情况;或者是相交的两点中一个是顶点,另一个交点是对边上的一点,如图中 (7) 所示;或者是相交于两点,但 3 个顶点均不在分层平面上,图中 (8)、(9) 所示。

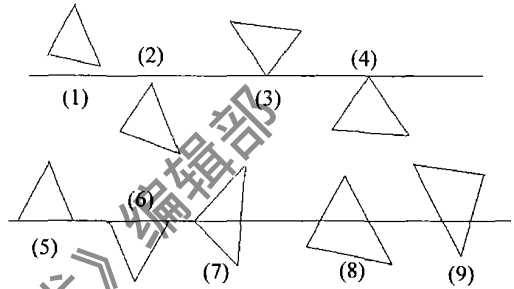


Fig 2 Intersect disposal

所以,首先就要判断切层面与哪些三角面片相交,对于相交的三角面片再进行求交计算。在此可以定义一个结构体来存放相交的三角面片的信息,以便下一步求交运算时使用。结构体和指针型数组如下所示:

```

struct facet
{
    fbat nw[3]; //存放三角面片法向量的 3 个分量
    fbat v[3][3]; //存放三角面片 3 个顶点坐标
    struct facet* next; //指针用来指向下一个同类型的结构体
};

```

1.3.2 分层平面与 STL 模型求交的基本算法 分层平面(即切层面)与 STL 模型求交的基本算法实际就是分层平面与 STL 模型中的三角形面片的求交基本算法。设一个三角形面片的 3 个顶点分别为 $p_1(x_1, y_1, z_1)$, $p_2(x_2, y_2, z_2)$, $p_3(x_3, y_3, z_3)$, 与该三角形面片相交的分层平面的高度为 z 与该片层相交的两点记为 $p(x_p, y_p, z)$, $q(x_q, y_q, z)$, 图 3 为三角形面片与分层

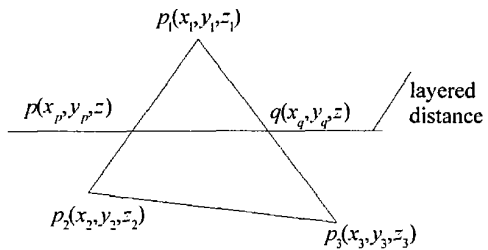


Fig 3 Calculation methods

平面的相交处理示意图。

下面先求交点 p : 令 $K = \frac{z - z_2}{z_1 - z_2}$, 则有

$$\begin{cases} x_p = x_2 + K(x_1 - x_2) \\ y_p = y_2 + K(y_1 - y_2) \end{cases}$$

据此得到 p 点的坐标 (x_p, y_p, z) ;
同理可得 q 点坐标 (x_q, y_q, z) 。

1.3.3 截面轮廓线的获得 利用上述方法得到交线的两个端点后, 需要把交点的坐标数据保留起来, 这样每求出一条交线, 就储存一次交点坐标数据, 进而把同一层的所有相交的点的坐标数据保存在一个链表中, 把这些点相连即得到该层截面的轮廓线。

重复上述步骤, 可以获得所有的分层平面与 STL 模型的交线。把交线排序后首尾相连, 即得到 STL 模型第 1 次分层后的轮廓线。

2 激光冲击轨迹的生成

在获得了截面轮廓线后, 可以通过下面方法生成激光冲击轨迹: 采用类似上述分层的方法, 进行第 2 次切片。先用沿 y 轴负方向且垂直轮廓线所在平面 (即 $x-y$ 平面) 的多个平行切片与第 1 层轮廓线所在平面依次相切 (切片间的距离可以设置), 得到切片与轮廓线的截线后, 把每段截线的数据保存于链表的节点中, 即链表中每一个节点中保存一条截线的两个端点坐标。切片与第 1 层轮廓线按照指定的间距切分完后, 再重复上面的步骤, 使切片与后面每一层轮廓线依次相切, 求交以后所有端点位于轮廓线上的截线的集合就被保存在了链表中。

然后进行第 3 次切片, 用沿 x 轴方向且垂直 $x-y$ 平面的多个平行切片与第 1 层轮廓线所在平面再依次相切 (切片间的距离可以设置), 这时得到的截交线与第 2 次切片得到的截交线相交, 如图 4 所示。

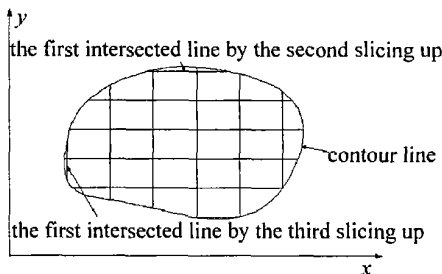


Fig 4 The intersected transversal

第 2 次切片所得的截交线与第 3 次切片所得的截交线相互垂直, 交点即为理论上的冲击点。把这些交点坐标数据保存在链表中。之后再按照上述方法依次求出后面每一层轮廓线所围成的区域内的冲击点坐标数据并保存在链表中。全部的轮廓线都遍历完后, 链表中就保存了所有要冲击的点的坐标。这些点按一定的顺

照这种方法冲击后得到的变形件尺寸并不完全符合尺寸要求。影响变形件尺寸的因素还有搭接点凸起、漏冲及边界问题等。

图 5 为上述方法的实验结果示意图。实验中^[3]采

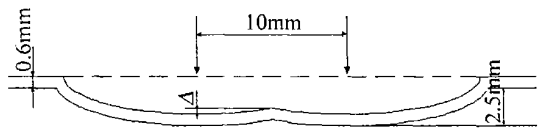


Fig 5 Sketch map of shocked sheet metal

用能量为 17.6J 光斑直径为 7mm 的脉冲激光, 对厚度为 0.6mm 的 304 钢板进行单次冲击, 测得变形区域的剖面形状类似圆锥, 最大塑性变形量 h_{max} 达到 2.5mm, 被冲击平面变形区域的最大径向尺寸为 10mm, 如果设置每个冲击点之间的距离为 18mm, 那么沿着冲击轨迹单次冲击时, 在各次冲击后的搭接处会出现局部凸起 Δ (大约 4mm), 图 5 中为表示方便, 仅描述了冲击轨迹中的 2 个冲击点。为了达到变形件的尺寸要求, 必须再对第 1 次冲击形成的局部凸起进行第 2 次冲击。这次冲击点的位置可以设置在形成局部凸起的前后两个冲击点中间, 其次还要求得到搭接面的空间法向矢量, 冲击头即沿着这个矢量的反方向冲击。而对于搭接面处的空间法矢量, 可以通过把搭接面前后两个冲击点的法矢量 (上图中的第 1 个冲击点的法矢量和第 2 个冲击点的法矢量) 合成后得到。

除了冲击后产生局部凸起外, 在冲击过程中, 如果光斑大小不变, 而设定的冲击点间距过大, 将出现漏冲的现象。如图 6 所示, 假设图中 1 为第 1 次冲击的 4 个点, 冲击后这 4 个冲击变形区域彼此相切, 则阴影部分为漏冲部分, 在完成第 1 次冲击后, 就必须再对漏冲部分进行第 2 次冲击。这次冲击点的位置可以设在漏冲区域的中心处, 如图 6 中 2 所示。

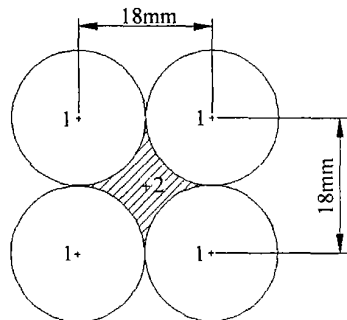


Fig 6 Sketch map of missed part

按照上述方法冲击后, 变形件内部区域基本满足要求, 但边界有可能出现过冲现象 (即激光束加工区域有可能超出成形件轮廓。为了避免这种情况, 可以设置判断条件, 把与轮廓线靠得太近的冲击点舍弃。

综合考虑以上几种因素得到的激光冲击轨迹比较

(下转第 204 页)

用时间过短,来不及发生氮化就被移到另一作用点。因此,理论结果与实验值之间存在一些偏差。

3 结 论

(1)激光功率密度和扫描速度是决定Ti表面能否实现氮化的主要因素。当激光功率密度小于 $6.5 \times 10^5 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$,扫描速度不超过 $600 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ 时,可实现大气气氛下Ti表面的激光氮化。(2)氮化物中以TiN为主,还有少量Ti₃N₄。(3)根据温度场模型计算出的激光氮化扫描速度理论阈值与实验值基本吻合。

参 考 文 献

- [1] 汪洪海,郑启光,陶星之 *etal* 大功率 CO₂ 激光原位直接反应合成 TiN/Ti 复合材料的研究 [J]. 复合材料学报, 1999, 16(1): 111~116
- [2] BOWDEN E P, TABOR D. The friction and lubrication of solids [M]. London: Oxford University Press, 1986: 399
- [3] WALLKER A. Laser melting treatment for metal surface [J]. Surf Engng, 1985, 1(1): 23~27.
- [4] LIU J L. Laser gas alloying of titanium alloy [J]. Surf Coat Technol, 1993, 57(2): 191~195.

- [5] XU D, ZHANG Z, LIU X *etal* Improvement of oxidation resistance of TiAl by ion-beam-enhanced deposition coatings [J]. Surf Coat Technol, 1994, 66: 486~492.
- [6] LAN KU ICHI S, SHIBATA T, TOSHID Y *etal* High temperature oxidation of TiAl improved by IBED Si₃N₄ coating [J]. ISIJ International, 1993, 33: 869~875.
- [7] GREDIC I, LATANORIC M, MUNZ W D. Plasma nitriding of Ti and TiAl coatings [J]. Surf Coat Technol, 1993, 61: 338~343.
- [8] THOMANN A L, SICARD E, BOUIMMER-LEBORGNE C *etal* Surface nitriding of titanium and aluminum by laser-induced plasma [J]. Surf Coat Technol, 1997, 97: 448~452.
- [9] WU J D, WU C Z, ZHONG X X *etal* Surface nitridation of transition metals by pulsed laser irradiation in gaseous nitrogen [J]. Surf Coat Technol, 1997, 96: 330~336.
- [10] KREUTZEW, KROSCHM, SUNG H *etal* Reactive TiN deposition on alloys using laser radiation [J]. Surf Coat Technol, 1992, 53: 57.
- [11] 吴嘉达,吴凌晖,宋宙模 *etal* 钛的 ns脉冲激光氮化 [J]. 中国激光, 1994, A21(9): 753~757.
- [12] 胡光立,谢希文. 钢的热处理(原理与工艺) [M]. 西安:西安工业大学出版社, 1993: 252.
- [13] 关振中. 激光加工工艺手册 [M]. 北京:中国计量出版社, 1998: 238.
- [14] 王家金. 激光加工技术 [M]. 北京:中国计量出版社, 1992: 110.

(上接第 144 页)

完善,按照这些冲击点冲击,能够得到满足尺寸要求的成形件。

3 结束语

为了获得激光冲击轨迹数据,在对 STL 模型进行分层处理前,即读入 STL 文件时,可以利用 OpenGL 来生成真实图形,在分层处理求交后,还可以利用它来显示切片图形,这样可以更直接观察程序执行的结果。另外,要获得满意的成形件,如果选择的工艺参数不理

想,可能两轮冲击也达不到要求。所以,在进行实际冲击成形前,一定要选择合适的激光参数,并根据加工对象的尺寸要求,进行合理的轨迹规划,如冲击点的疏密程度等,就能得到较理想的成形件尺寸。

参 考 文 献

- [1] 邵健升. 材料的激光冲击处理及其发展 [J]. 光电子技术与信息, 1997, 10(4): 19~21.
- [2] 胡德洲. 快速成型中 STL 和 STEP 模型中分层处理技术研究 [D]. 西安:西安交通大学, 1999: 10~16.
- [3] 周建忠,张永康,杨继昌 *etal* 基于激光冲击波的板材塑性成形新技术 [J]. 中国机械工程, 2002, 13(22): 1938~1940.