

金属板材分层渐进成形机理的研究

刘 杰

(深圳职业技术学院, 广东 深圳 518055)

摘 要: 介绍一种采用快速原型制造原理的金属板材分层渐进成形技术, 研究金属板材分层渐进成形工艺的成形机理, 通过建立渐进成形的变形模型, 详细分析变形过程中受力的情况及成形过程, 为金属板材分层渐进成形工艺的实际应用提供了理论依据。

关键词: 分层渐进成形; 成形机理; 成形力

中图分类号: TG381

文献标识码: A

文章编号: 1673-9833(2007)03-0052-04

Study on Incremental Forming Principle of Sheet Metal

Liu Jie

(Shenzhen Polytechnic, Shenzhen Guangdong 518055, China)

Abstract: A new sheet metal incremental forming technology is introduced and the forming principle is also researched at the basis of manufacturing principle of fast mode. The research on the forming principle provides theoretical foundation for the practical application by establishing a distortion mode and analyzing the stress condition in its forming process.

Key words: incremental sheet metal forming; forming principle; deformation force

0 引言

金属板材成形在制造业中有着广泛的应用, 但传统的工艺必须使用模具, 周期长, 费用高, 难以适应小批量多品种和开发新产品样品试制的需要。金属板材分层渐进成形技术采用分层制造的原理, 不需要专用的模具而能实现金属板壳件的快速成形。

金属板材分层渐进成形引入快速原型制造技术 (Rapid Prototyping) 中“分层制造” (Layered Manufacturing) 的思想^[1], 将复杂的三维形状沿 Z 轴方向离散化, 即分解成一系列二维断面层, 并在这些二维断面层上进行局部塑性成形, 得到所需的形状, 实现了金属板壳件设计与制造一体化。首先, 将被加工板料置于一个通用模芯上, 在板料四周用压板在托板上夹紧材料, 托板可沿导柱自由上下滑动。然后将该装置固定在三轴联动的数控成形机上。加工时, 成形

工具先走到指定位置, 并对板料压下定量的压下量, 然后根据控制系统的指令, 按照第一层截面轮廓的要求, 以走等高线的方式, 对板料施行渐进塑性加工, 形成所需第一层截面轮廓后, 成形工具压下设定高度, 再按第二层截面轮廓要求运动, 并形成第二层轮廓。如此重复, 直到整个工件成形完毕。采用这种渐进成形的方法加工金属板料, 与一次拉伸成形的传统工艺相比, 能加工出曲面更复杂、延伸率更高的成形件, 加工精度和表面质量均较好, 不仅可加工一般的金属薄板成形件, 还可加工那些用传统工艺加工不出来的、具有复杂曲面的工件^[2,3]。

1 金属板材分层渐进成形机理分析

金属板材分层渐进成形技术采用分层加工的原理, 其成形过程如图 1 所示^[4,5]。

收稿日期: 2007-03-23

基金项目: 深圳职业技术学院科技发展基金项目 (07K020FA)

作者简介: 刘 杰 (1974-), 男, 湖北利川人, 深圳职业技术学院讲师, 博士, 主要从事 CAD/CAM 技术, 快速成形技术, 数控技术教学与研究。

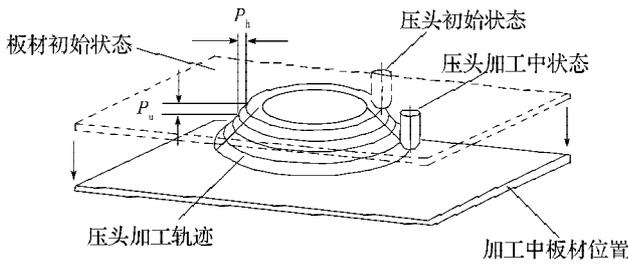


图1 金属板材分层渐进成形原理图

Fig. 1 The diagram of sheet metal incremental forming principle

金属板材分层渐进成形过程可视为一种拉弯变形, 在加工之前, 由于受支撑模的上顶和支撑板的重力下压作用, 板料内存在弹性张力 F_1 。加工第一层时, 成形压头对板料施加压力 F_2 , 使板料产生弹塑性拉伸变形, 同时板料沿刀具的半球面弯曲, 如图2所示^[6,7]。

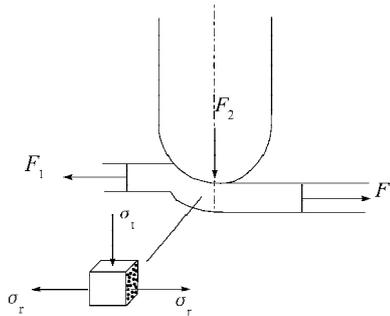


图2 板材渐进成形第一层加工的变形模型

Fig. 2 The deformation processing model of the first layer of Incremental forming

从加工第二层开始, 压头不仅使新的未成形板料产生拉弯变形, 而且使上层已成形板料发生反向拉弯, 如图3所示。

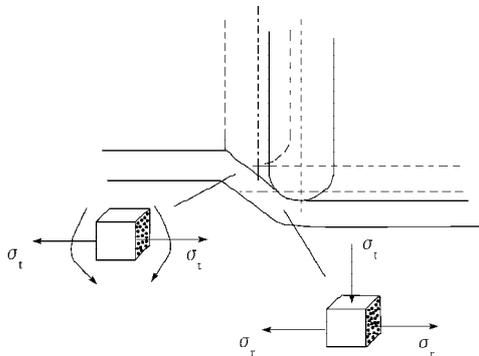


图3 板材渐进成形第二层加工的变形模型

Fig. 3 The deformation processing model of the second layer of Incremental forming

根据渐进成形层加工的特点, 从第二层以后的各层, 依次类推, 均按照第二层的变形模式变形。

如果着眼于板材产生拉伸减薄变形的过程来考察, 金属板材渐进成形的塑性变形过程可以分为5个阶段:

- 1) 弹性预拉伸;
- 2) 沿刀具半球面的弯曲;
- 3) 对前一弯曲的反向弯曲;
- 4) 加工过程结束卸载;
- 5) 产生回弹。

设第一层加工时板料沿刀具的半球面弯曲, 从第二层开始, 刀具使板料受到和上述弯曲性质相同但方向相反的弯曲, 同时又使一部分新的未成形板料发生弯曲。这是板料获得一定的拉伸, 随即又开始新的反向弯曲和弯曲。板料塑性变形的核心就是在弹性预拉伸下反复进行的弯曲和反向弯曲过程, 同时, 某一层加工时加工轨迹的某一点上产生的弯曲或反向弯曲局限于刀具的半球头面内, 因而每层加工发生的弯曲或反向弯曲具有局部成形的特点。

若将加工过程看作一个加载系统, 则刀具头沿着设定的加工路径和加工轨迹被加工完毕后可视为加载过程结束, 卸载过程开始, 随后在加载过程中积蓄的弹性能被释放, 工件发生一定程度的回弹。弹性预拉伸下的弯曲和反向弯曲过程是渐进成形的关键。

实验表明, 板材渐进成形是一个局部成形过程, 经过渐进成形后的毛坯件与成形前的板料相比, 板料外形尺寸没有发生任何变化, 成形局限在毛坯的几何形状内, 成形的过程是一个变薄拉延的过程^[8]。

2 金属板材分层渐进成形中变形力计算

板材渐进成形过程中, 变形力是这个过程的重要参数。设备和工艺装备的工作条件及其成形时所需要的功率等, 都与此有着密切的联系。

计算和实验表明, 变形力 P 是如下一些主要影响因素的函数^[9,10]:

$$P = f(t_0, \sigma_s, \psi_t, h, r, \alpha, \Delta), \quad (1)$$

式中: t_0 为毛坯的厚度;

σ_s 为材料的屈服极限;

ψ_t 为毛坯的减薄率;

h 为成形工具的进给量;

r 为成形工具的球头半径;

α 为芯模的半锥角;

Δ 为对正弦律的偏离程度。

工具头作用于板料 A 点的变形合力 P 可以分解为3个相互垂直的分力 P_x, P_y, P_z , P 的方向是变化的, 如图4所示^[11]。

因而, 变形力及其分力有如下关系式:

$$P = \sqrt{P_z^2 + P_x^2 + P_y^2}, \quad (2)$$

式中： P_x 为径向分力，其方向与工件壁面法向一致；
 P_y 为切向分力，其方向与工件周向相切；
 P_z 为沿壁向分力，其方向与工件壁面平行。

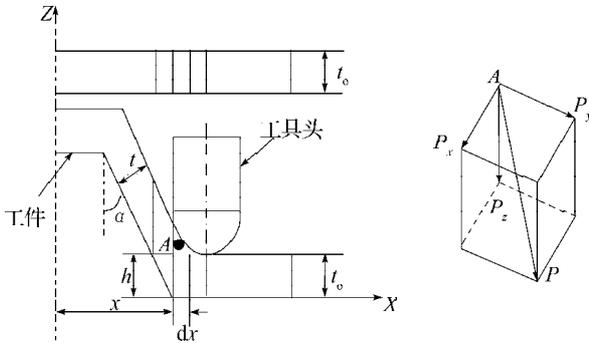


图4 工具头与板料接触力

Fig. 4 Contact force of tool and sheet metal

假设成形件半径为 R ，变形区宽度为 dR ，工具头半径为 r ，工具下降量为 h ，成形半锥角为 α ，板材变形过程中只存在沿 Z 轴作剪切变形，在变形中材料发生 ZX 平面上的切应变，如图 5 所示。

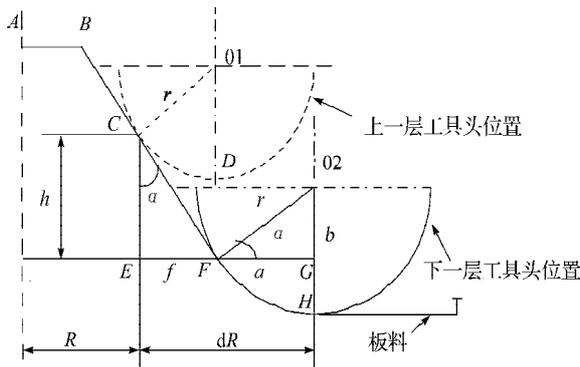


图5 变形分析示意图

Fig. 5 Map of deformation analysis

在渐进成形过程中，加工一层后变形区材料变形体积为^[12]：

$$V = dR \cdot t_0 \cdot 2\pi R = 2\pi R t_0 (h \tan \alpha + r \cos \alpha), \quad (3)$$

于是可求得加工一层后的体积变形能为：

$$W_1 = w \cdot V = 2\pi R t_0 (h \tan \alpha + r \cos \alpha) \int_0^\varepsilon \sigma d\varepsilon, \quad (4)$$

$$W_1 = P_y \times 2\pi R, \quad (5)$$

切向力为：

$$P_y = t_0 (h \tan \alpha + r \cos \alpha) \sigma_s \bar{\varepsilon}. \quad (6)$$

由此可推出径向力 P_x 和壁向力 P_z 分别为：

$$P_x = \frac{\pi t_0 (h \tan \alpha + r \cos \alpha) \sigma_s \bar{\varepsilon} r^2 \cos^3 \alpha}{\frac{90-\alpha}{360} \pi r^2 - \frac{1}{2} r^2 \sin \alpha \cos \alpha}, \quad (7)$$

$$P_z = \frac{\pi t_0 (h \tan \alpha + r \cos \alpha) \sigma_s \bar{\varepsilon} r^2 \cos^2 \alpha \sin \alpha}{\frac{90-\alpha}{360} \pi r^2 - \frac{1}{2} r^2 \sin \alpha \cos \alpha}. \quad (8)$$

实验验证：图 6 所示为实验所用板材数控成形机，图 7 所示为板材成形机所成形零件。工具头球半径 r 为 5 mm，板料厚度 $t_0 = 1.0$ mm，下降量 h 为 0.25 mm，成形半锥角 $\alpha = 45^\circ$ ，板料为 08AL，屈服应力 $\sigma_s = 165.79$ MPa，通过动态应变仪在成形机上检测加工时的实际应力应变。



图6 板材分层渐进成形机

Fig. 6 Incremental forming machine

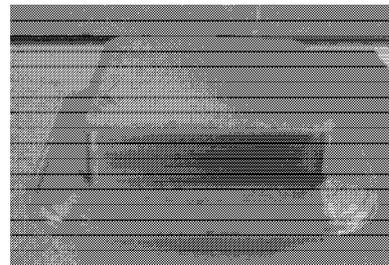


图7 成形零件

Fig. 7 Forming parts

将实验所用材料和数控成形机的相关参数代入式 (6) ~ (8) 可得：

$$\begin{aligned} P_y &= 362.3 \text{ (N)}, \\ P_x &= 705.18 \text{ (N)}, \\ P_z &= 705.18 \text{ (N)}, \\ \sqrt{P_z^2 + P_x^2} &= 997 \text{ (N)}, \end{aligned}$$

$$\text{总合力为: } P = \sqrt{P_z^2 + P_x^2 + P_y^2} = 1061 \text{ (N)}.$$

在板材成形实验中测得的实际测量变形力为 1180 N，实验测定值与计算值接近，表明渐进成形过程主要是剪切弯曲变形过程。图 8 为板材渐进成形机加工的汽车翼子板。

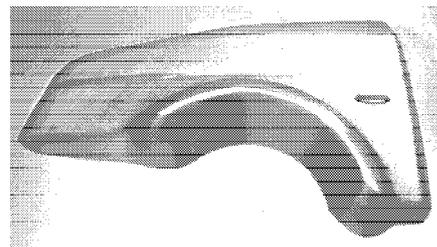


图8 汽车翼子板

Fig. 8 Car fender panels

3 结语

实验表明,金属板材渐进成形的过程主要是剪切变形过程,影响成形过程的主要工艺参数有工具头半径,成形半锥角,减薄率,进给量等。板材渐进成形过程中,成形工具对坯料逐点压下,近似点接触,因此,接触面积小,单位压力非常高,适合于加工高强度难变形材料,而且,所需总变形力较小,从而使功率消耗也大大降低。金属板材渐进成形的过程是一个局部变薄拉伸成形的过程,坯料的金属在两向变形力作用下产生变形,由于金属晶格结构中的应变,成形制品的强度提高,机械性能大大提高了,从而有利于成形其他成形工艺难以加工的、形状较复杂的工件。

参考文献:

- [1] Amino Hiroyuki, Lu Yan, Osawa S, Fukuda K. Dieless NC forming, prototype of automotive service parts [C]// [Anon]. Proceedings of the 2nd International Conference on Rapid Prototyping & Manufacturing. Beijing: [s.l.], 2002: 179-185.
- [2] Jeswiet, Hagan. Incremental single point forming with a tool post[J]. Metallurgy and petroleum, 2001 (8): 103-108.
- [3] Sawada T. Deformation analysis for stretch forming of sheet metal with CNC machine tools[J]. Advanced technology of plasticity, 6th ICTP, 1999 (11): 1924-1927.
- [4] 周六如,莫健华,肖祥芷. 板料零件数控渐进成形工艺研究[J]. 塑性工程学报, 2003 (4): 27-29.
- [5] 松原茂夫. 板材の逐次逆張出し・絞り成形[C]//[Anon]. 平成7年度塑性加工春季講演会論文集. 平成: [s.l.], 1995: 209-210.
- [6] 松原茂夫. 板材の重ねあわせ逐次成形[C]//[Anon]. 第47回塑性加工連合講演会論文集. [s.n.]: [s.l.], 1996: 145-146.
- [7] 松原茂夫. 板材の数值制御逐次成形における工程开发用ソフトエア[C]//[Anon]. 第49回塑性加工連合講演会論文集. [s.n.]: [s.l.], 1998: 135-136.
- [8] Jun Cha-Soo, Kim Dong-Soo. Exact polyhedral machining [M]. Machining Impossible Shapes: Kluwer Academic Publishers, 1998.
- [9] Kochan A. Dieless forming[J]. Assembly Automation, 2001, 21 (4): 321-322.
- [10] Iseki H, Shioura T, Sato K. Practical Development of Process-Molding Machine with Small Punching Tool[C]//[Anon]. Advanced Technology of Plasticity 1996, Proc. Of the 5th ICTP. Columbus: [s.l.], 1996: 935-938.
- [11] Du Z H, Chua C K, Chua Y S, et al. Rapid Sheet Metal Manufacturing (Part 1: Indirect Rapid Tooling) [J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2002(19): 411-417.
- [12] Cheah C M, Chua C K, Lee C W, et al. Rapid Sheet Metal Manufacturing (Part 2: Direct Rapid Tooling) [J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2002 (19): 510-515.

我校召开本科教学工作水平评估培训会

5月27日上午,我校本科教学工作水平评估培训会在体育馆召开。教育部本科教学工作水平评估组专家、江汉大学校长李进才教授应邀出席会议并就如何做好本科教学评估工作提出了建议,党委书记侯清麟致辞,校长王汉青主持会议,在校领导及全校1000多名教职员工参加了会议。

侯清麟书记在致辞中介绍说,李进才教授曾先后任武汉大学副校长、教育部高教司副司长,现任江汉大学校长,是教育部本科教学工作水平评估的资深专家,有着深厚的理论认识和丰富的实践经验,李进才教授的讲话对我校2008年本科教学工作水平评估必将产生积极的推动作用。

李进才教授从全员参与、如何归纳办学特色、评估材料如何整理、正确处理院校关系以及做好接待工作等方面对教学评估工作进行了系统的分析,提出了诚恳而宝贵的建议。他指出,整理材料要真实性与原始性并重;越是基础性的工作越要做得扎实,在抓硬指标建设时要更多地关注软指标。他的讲话具有启发性、指导性、操作性。

会上,彭小奇副校长针对我校前一阶段的教学评估工作做了介绍,并对下一阶段的工作提出了要求。

王汉青校长在总结讲话中指出,各学院、职能部门要进一步提高认识,明确责任;进一步改进方法,坚持硬件软件两手抓、两手都要硬;进一步对照评估标准,明确目标,扎实工作。他要求,各单位要高度重视本科教学评估工作,深刻理解指标内涵,把工作抓实。

(黄松剑,毛敏)