

金属板材渐进成型过程分析及成型技术研究

张晨恺¹ 毛海军² 毛建辉¹

1. 衢州职业技术学院 浙江衢州 324000; 2. 浙江管卫建设有限公司 浙江衢州 324000

DOI: 10.12238/ems.v6i6.8051

[摘要] 本文阐述金属板料渐进成形技术, 这种技术允许制造商直接从 CAD 模型转换到实际的物理部件。由于省去了模具制造的步骤, 它特别适用于样件试制和单件或小批量生产。首先介绍渐进成形技术的基本原理和工艺流程, 包括负成形和正成形两种类型。随后, 探讨近年来在该领域出现的新型渐进成形技术, 如激光辅助成形、双面成形、电磁辅助成形、电热辅助成形、水射流成形以及超声辅助成形等, 并对未来的发展趋势进行了展望。

[关键词] 金属加工; 渐进成型; 加工工艺; 成型技术

Analysis of Progressive Forming Process of Metal Sheet and Research on Forming Technology

Zhang Chenkai¹, Mao Haijun², Mao Jianhui¹

1. Quzhou Vocational and Technical College, 324000, Quzhou, Zhejiang;

2. Zhejiang Guanwei Construction Co., Ltd., Quzhou, Zhejiang, 324000;

[Abstract] This article elaborates on the progressive forming technology of metal sheets, which allows manufacturers to directly convert from CAD models to actual physical components. Due to the elimination of mold manufacturing steps, it is particularly suitable for sample trial production and single or small batch production. Firstly, introduce the basic principles and process flow of progressive forming technology, including two types: negative forming and positive forming. Subsequently, new progressive forming technologies that have emerged in this field in recent years, such as laser assisted forming, double-sided forming, electromagnetic assisted forming, electrothermal assisted forming, water jet forming, and ultrasonic assisted forming, were discussed, and future development trends were discussed.

[Keywords] metal processing; Progressive molding; Processing technology; Forming technology

1 引言

金属板材成形在制造业中有着广泛的应用, 在传统金属板材成形方法中, 模具必不可少, 模具成形方法生产效率高、加工件的精度高、适合大批量生产, 然而, 传统的金属板材加工方法均需依赖模具。此类模具在设计及生产上的周期往往较长, 成本较高, 且缺乏必要的灵活性。在现代社会, 产品更新迭代速度加快, 客户对个性化需求日益增长, 模具的频繁更换无疑增加了新产品开发的时间长度。20 世纪 90 年代初, 日本学者松原茂夫提出了一项创新的金属板材数字化渐进成形技术, 为快速开发新产品提供了先进的解决方案。该技术无需使用专用模具, 具有良好的重复性, 并能够精确控制金属材料的流动, 从而加工出形状复杂的零部件。特别是对于飞机等小批量生产产品、家用电器以及新型汽车样车的试制等, 该技术展现出巨大的经济价值, 并拥有广阔的发展潜力。本文旨在阐述金属板材渐进成形的原理, 概述其基本工艺流程, 并重点对近年来金属板材渐进成形技术的研究

成果及所面临的挑战进行归纳、总结与分析。

2 渐进成形技术

金属板料渐进成形是引入快速原型制造技术中的“分层制造”思想, 将复杂的三维钣金件整体成形分解成为一系列二维局部塑性成形, 实现手段一般是在数控铣床上利用成形工具头逐层挤压板料成形。板料零件数控渐进成形的加工过程如图 1 所示。数控成形系统主要由工具头(成形工具)、导向装置、芯模和机床本体组成。工具头在数控系统的控制下进行运动, 芯模起支撑板料的作用, 对于形状复杂的零件, 该芯模可以制成简单的模具, 有利于板料的成形。成形时, 首先将被加工的板料置于一个通用芯模上, 在托板四周用压板夹紧板料, 该托板可沿导柱上下滑动。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, 并对板料压下设定压下量, 然后根据控制系统的指令, 按照第一层轮廓的要求, 以走等高线的方式, 对板料进行单点渐进塑性加工, 如图 1b 所示。

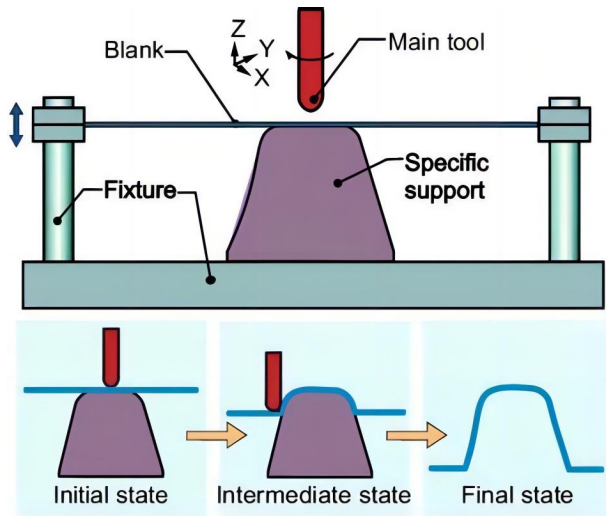


图1 渐进成形的加工过程

渐进成形工艺可以分为2种类型,即负成形(无支撑)与正成形(有支撑)。负成形如图2所示,不需要模具,加工过程中板料边缘固定不动。由于未采用支撑模型,所以负成形一般只能成形一些形状简单、规则的零件。正成形如图1所示,板料的边缘随着工具头的下降而下降。由于采用支撑模型可以用来加工复杂零件,除了与负成形需要同样的设备外,还需要一支撑模型,其形状与待加工零件类似。

在对目标零件实施渐进成形加工时,一般遵循一定的工艺流程。1)在计算机上用三维建模软件建立零件的三维模型;2)然后根据板料塑性成形和渐进成形的工艺知识,对零件进行工艺分析,分析其渐进成形的可行性,修改渐进成形难成形的几何特征,在以上基础上对零件进行工艺补充面的设计,得到适合渐进成形加工的工艺模型。3)利用三维建模软件相关的计算机辅助制造(CAM)模块生成加工代码,并结合渐进成形工艺做相应的修改。4)将加工代码输入数控系统,控制渐进成形机床,加工出目标零件。以上是负成形的工艺流程(图2),如果是正成形还需要加工支撑模型。

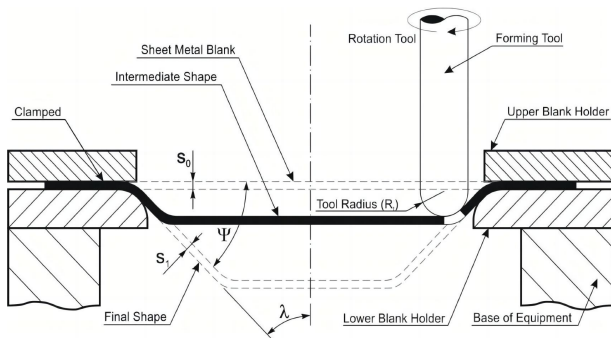


图2 金属板料渐进成形(负成形)图

3 新型板材渐进成形工艺

近些年,渐进成形技术得到快速发展,学者们提出了很多新型的渐进成形技术。比较有潜力的包括激光辅助渐进成形、双面渐进成形、电磁辅助渐进成形、电热辅助渐进成形、水射流渐进成形以及超声辅助渐进成形等。

3.1 激光辅助渐进成形

比利时 Dufloy 等使用2个工业机械臂以提高材料的塑

性,并实现了激光辅助加热渐进成形技术。激光辅助加热渐进成形技术是一种先进的金属成形工艺,它结合了激光加热和机械成形的优势,以提高材料的塑性并实现更高质量的成形效果。以下是这项技术的一些关键特点和优势:

(1)局部加热:通过激光束的动态控制,可以实现板材特定区域的局部加热,这有助于减少整体成形力,因为加热区域的材料变得更加柔软和易于变形。

(2)减少屈服应力和回弹:激光加热降低了材料的屈服应力,使得成形过程中所需的力量减少。同时,加热还可以减少材料在成形后的回弹,提高成形精度。

(3)提高成形极限:由于材料的塑性得到提高,激光辅助加热渐进成形技术能够实现更复杂的形状和更深的成形深度,扩大了成形的可能性。

(4)降低残余应力:激光加热有助于减少成形件在成形过程中产生的残余应力,这有助于保持成形件的尺寸稳定性,并减少后期变形的风险。

(5)成形精度保障:通过控制激光加热,可以更精确地控制材料的变形过程,从而在解除装夹后保持较高的成形精度。

然而,这项技术也存在一些局限性:

(1)设备和工艺复杂性:激光辅助加热渐进成形技术需要额外的激光加热设备,以及对工艺参数进行精确设置,这增加了工艺的复杂性和成本。

(2)适用性限制:该技术可能更适用于简单形状的单点渐进成形过程,对于复杂形状或多点成形可能存在一定的局限性。

(3)成本效益:虽然激光辅助加热可以提高成形质量,但增加的设备和工艺控制成本可能会影响其在大规模生产中的经济性。

3.2 双面渐进成形

双面渐进成形是一种金属板材成形技术,它通过在板材的两个表面同时施加成形力来实现更均匀的材料变形和更高的成形精度。这种技术能够有效地减少材料的回弹和厚度变化,提高成形件的表面质量。双面渐进成形技术的发展,为金属板材成形领域带来了新的解决方案,尤其对于航空航天、汽车制造等对零件精度和复杂度要求较高的行业,具有重要的应用价值。

3.3 电磁辅助渐进成形

华中科技大学莫健华团队开发的电磁辅助渐进成形技术,是一种创新的金属加工工艺。该技术通过结合电磁成形的高速特性与渐进成形的高精度优势,有效提升了成形件的质量和精度。电磁成形利用脉冲电流产生的磁场力来驱动金属板材的局部塑性变形,从而避免了传统冲压过程中可能出现的精度不足和表面缺陷。然而,电磁成形(图3)在设备能量和线圈寿命方面存在局限,限制了其应用范围。为了克服这些限制,莫健华团队引入了渐进成形技术,使用成本较低、易于获取的电磁线圈代替了传统的刚性工具头。这种电磁线圈可以灵活地适应不同尺寸和形状的零件,通过逐层逐点的加工方式,实现了大型复杂零件的柔性成形。电磁辅助渐进成形技术不仅扩大了电磁成形的应用范围,还降低了对

成形设备的要求, 为大型复杂形状零件的制造提供了一种经济有效的解决方案。

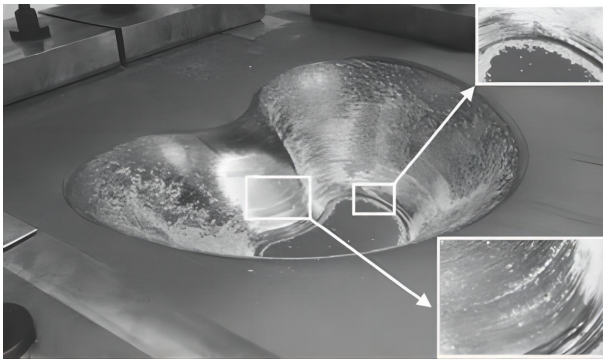


图3 渐进式激光辅助成形过程

3.4 电热辅助渐进成形

电热辅助渐进成形是一种结合了电热加热与机械成形的先进金属加工技术。在这一过程中, 金属板材通过电热元件进行局部加热, 使得材料的屈服强度降低, 从而在较低的成形力下实现更深层次的塑性变形。这种技术特别适用于那些在常温下难以成形的材料, 如镁合金和钛合金, 它们在航空航天领域有着广泛的应用。电热辅助渐进成形通过精确控制加热区域和温度, 能够显著提高成形精度, 减少材料的回弹现象, 同时避免了传统加热方式的复杂性和高成本。此外, 该技术还具有实时温度监控能力, 配合数值模拟技术, 可以进一步优化成形过程, 提高成形件的整体质量。

3.5 水射流渐进成形

水射流渐进成形(图4)是一种利用高压水流对金属板材进行局部冲击, 实现材料塑性变形的先进制造技术。在成形过程中, 一个高压水泵产生高速水流, 通过一个精密喷嘴形成细小的水射流, 直接作用于板材表面。当水射流的压力超过材料的屈服强度时, 板材在冲击点发生局部塑性变形。通过计算机数控系统控制喷嘴沿预定路径移动, 逐层累积变形, 最终形成所需的三维形状。这种技术的优势在于无需使用传统模具, 具有高度的灵活性和适应性, 特别适合形状复杂或小批量定制化产品的制造。同时, 水射流渐进成形还具有环境友好、能耗低、加工精度高等特点。不过, 这项技术也面临一些挑战, 如水流压力的精确控制、喷嘴与板材之间距离的精确调节, 以及如何提高成形效率等。随着技术的进步, 水射流渐进成形在金属板材成形领域展现出广阔的应用前景。

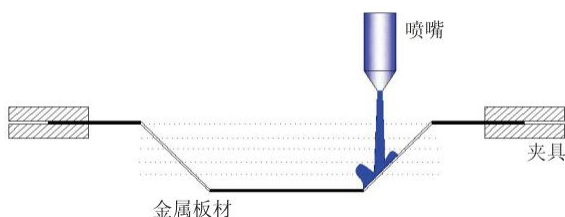


图4 高压水射流柔性渐进成形原理图

3.6 超声辅助渐进成形

近年来, 超声振动已被应用于管材拉拔、体积成形等多

种塑性加工工艺中(超声辅助波管成型如图5所示), 并起到了减小成形力、提高成形件质量等积极作用。山东大学的仲崇凯等综述了超声振动在铝/镁合金等轻合金塑性成形工艺中应用的研究现状, 指出超声振动能够有效降低设备成形力, 提高材料成形极限, 改善成形零件质量。目前, 板材渐进成形工艺中施加超声振动还鲜有报道。超声辅助渐进成形有望改善薄板渐进成形中材料塑性流变特征, 解决传统渐进成形中表面质量差、精度及成形能力不足等问题, 是一种有潜力的金属薄壁板材零件的柔性渐进成形制造手段。



图5 超声辅助波管成型

4 结束语

随着制造业对个性化和灵活性需求的不断增长, 金属板材渐进成形技术作为一种先进的制造工艺, 展现出了巨大的潜力和应用前景。本文通过分析和总结, 指出了该技术在提高成形精度、降低成本、扩大成形材料范围等方面的优势。同时, 也指出了在实际应用中需要克服的挑战, 如设备复杂性、成本效益和成形精度控制等。未来的研究应集中在优化工艺参数、提高设备性能和开发新的辅助成形技术, 以推动金属板材渐进成形技术的进一步发展和工业化应用。

参考文献

- [1] 尹佳, 胡彦华, 徐刚, 等. 喷丸成形压力对 7B50-T7 51 铝合金力学性能的影响[J]. 精密成形工程, 2023, 15(4): 74-82.
 - [2] 鲁世红, 付婧颐, 丁腾飞, 等. 金属板料数控渐进成形工艺的研究现状[J]. 锻压技术, 2022, 47(10): 1-11.
 - [3] ZHENG C, PAN C D, TIAN Z R, et al. Laser Shock Induced Incremental Forming of Pure Copper Foil and Its Deformation Behavior[J]. Optics Laser Technology, 2020, 121: 105785.
 - [4] 周建宇, 杨明顺, 李言, 等. 金属板料单点渐进成形自适应螺旋线轨迹生成研究[J]. 机械科学与技术, 2017, 36(10): 1562-1569.
 - [5] 路海龙. 金属板材高压水射流渐进成形工艺的研究[D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2014: 10-50.
- 衢职业技术学院校级科研项目(QZY2203)和衢州市指导性科技攻关项目(ZD2022166)资助。