

# 板材液压成形关键技术问题探讨

广东工业大学材料与能源学院(广东广州 510640) 刘杰 陈超 阳 林

**【摘要】** 液压成形是当前塑性成形技术领域的一项崭新技术,把先进的计算机软件技术和控制技术应用于这一领域,提出了软硬件设计思路,为国内液压成形专用设备的开发提供了参考。

**关键词:** 板材液压成形;数值模拟;控制系统;液压系统

## Discussion on Key Technical Problems of Hydraulic Pressure Forming for the Sheet Metal

**【Abstract】** Hydraulic pressure forming is new technology in plastic forming technology field at present, applying advanced computer software technology and control technology into this field, software and hardware design idea are given out, which can be referenced by the development of professional equipment of hydraulic pressure forming.

**Key words:** hydraulic pressure forming of sheet metal; numerical value simulation; control system; hydraulic pressure system

### 1 引言

近年来,随着成形设备和相关控制技术的发展,以流体为传力介质的板材液压成形技术在国外迅速发展起来,广泛应用于汽车制造业,并且开始在许多其它工业领域引起人们的重视,应用前景十分广阔。

具体地说,液压成形技术具有以下特点及优点。

(1)液压成形仅仅需要一个凸模或凹模,另一半被液体介质所代替,减少了模具成本。另一方面液压成形的模具可以用便宜的材料来加工,不同厚度和不同材料的零件可以在一个模具上生产。因采用液压加

载,模具不易损坏,寿命提高。

(2)液压成形能显著改善产品的质量和性能。液压成形零件有高的尺寸精度,好的表面质量,少的回弹和显著降低的残余应力。

(3)液压成形可以成形一些形状非常复杂的零件,能大量减少成形工序和焊接零件的数量。尤其适用于尺寸多变、批量不大的大型板料零件的生产。

(4)液压成形特别适合于成形性能差或高强度的材料成形,如铝合金、镁合金、钛合金、不锈钢和高强度的低合金钢,它还能成形复合材料,这对于减轻零

(4)线切割后工件表面一般有 0.01mm 左右的变质层,对模具寿命不利必须去除。用化学清洗的方法方便可靠。

(5)刃磨模具时,从模座上整体卸下成形子模(精度相对要求较低),卸下卸料弹簧,将导板压下即可刃磨凸模。刃磨凹模,用工具取出凸模挡块 51,卸下各导料柱、导料板,拆下各导柱,即可刃磨。成形子模上模垫板磨去冲裁子模的凸模刃磨量,下模垫板磨去凹模的刃磨量即可时成形子模合模高度达到要求。

降低模具制造精度,使模具的关键零件均由加工中心和慢走丝线切割完成加工,降低了模具制造周期。

(2)用整体模具刃磨的形式后,模具刃磨后的精度几乎不受影响,为模具实现 500 万次的冲压,模具的刃磨只需半个工时即可完成。

(3)采用多零件多工位级进模生产,零件的排样更灵活,材料的综合利用率更高。

### 参 考 文 献

1 冲模设计手册编写组. 冲模设计手册[M]. 北京:机械工业出版社,2000.



### 5 结束语

(1)模具标准化元件使用程度高;采用合理设计

件重量是非常有帮助的<sup>[1]</sup>。

按照加工对象的不同,液压成形技术可以分为管材液压成形、板材液压成形以及液压胀球。板材液压成形按照液压取代形式的不同又可分为两大类型:液体代替凹模(见图1)和液体代替凸模(见图2)。液体代替凹模时,刚性凸模将板材压入液压室,板材在液压的作用下紧贴凸模而成形;液体代替凸模时,则是板材在液压的作用下直接被压入凹模,并紧贴凹模而成形<sup>[2]</sup>。

近年来,国内外研究者又在图2软凸模技术基础上提出了成对液压成形,其原理如图3所示。在板材液压成形技术中,成对液压成形具有更好的柔性,一次成形可生产一对产品,减少了模具数量。使复杂形状板材零件的生产简单化。与常规板材成形工艺相比,模具费用可降低30%以上。尤其对于由上下壳体构成的零件,这种成形方法的意义更为明显。

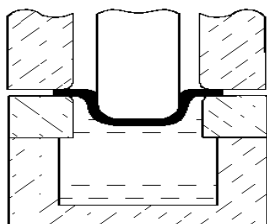


图1 液体代替凹模

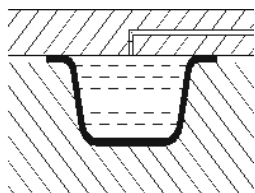


图2 液体代替凸模

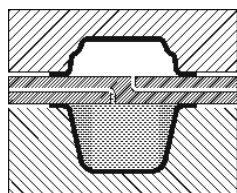


图3 板材成对液压成形

## 2 关键技术分析

近年来,随着实验手段的加强和研究的不断深入,液压成形作为一门崭新的技术,其成形机理和变形规律已被人们所认识。现在的研究热点集中于材料参数和工艺参数的量化研究(已超越了定性分析)、优化成形力、变压边力和生产过程自动化、高效化与智能化。而计算机软件技术和控制技术为解决上述问题提供了强有力的工具。

### 2.1 板料成形数值模拟技术的应用

目前国际上很多发达国家的企业都已将计算机模拟技术运用到冲压设计和生产中,对其生产和提高企业竞争力已经起到了明显的促进作用。

首先根据由实验和理论方法所得到的材料本构关系、摩擦条件以及有关的力学原理和简化假设,建立利用计算机求解成形过程的数学模型。通过计算机有限元软件模拟,给出工件成形过程中各瞬间的位移、应变和应力分布,预测工件的回弹、起皱和模具的受力情况。与成形极限理论结合还可预测出工件的破裂。通过模拟还能得到毛坯尺寸与拉伸筋位置。

#### (1) 材料参数和工艺参数的影响。

在液压成形工艺中,材料参数和工艺参数对板料成形的影响较大,而且各参数之间有很多组合,因此对于一种零件的板料成形,其材料参数和工艺参数很难确定。目前为得到一种具体零件的液压成形工艺所需的材料参数和工艺参数,大都采用反复试验的方法,既繁琐,又不经济。现在采用有限元进行模拟板料的液压成形过程,分析一些主要的参数对板料成形性能的影响,并且计算各部分板料在液压成形过程中的应力和应变情况,从而判断板料在给定的工艺参数下能否成形,以达到减少或避免用反复试验来获得所需的参数<sup>[3]</sup>。

例如:通过 LS-DYNA 模拟,用半球形件来研究材料屈服强度  $\sigma_s$  对零件成形性能的影响。

取板料厚度  $t=0.8\text{mm}$ ,摩擦系数  $f=0.1$ ,应变强化指数  $n=0.23$ ,厚向异性系数  $r=1.8$  时,从 150MPa 到 250MPa 变化  $\sigma_s$  的值,分别计算出屈服强度  $\sigma_s$  对板料成形厚度减薄量的影响、成形油压和拉伸方向最大应力的影响,分别如图4、图5、图6所示。

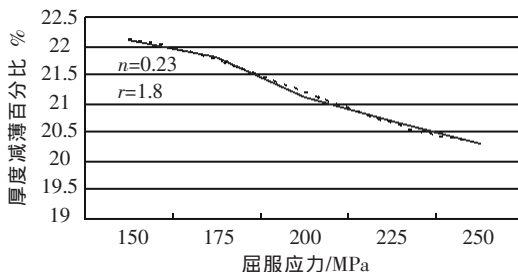


图4 屈服强度  $\sigma_s$  对板料成形厚度减薄量的影响

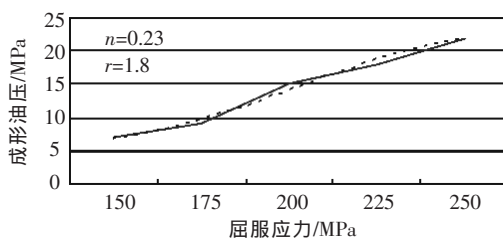


图5 屈服强度  $\sigma_s$  对板料成形油压的影响

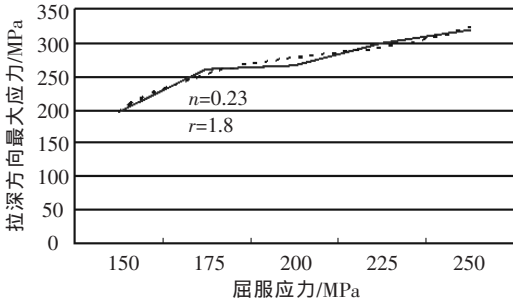


图6 屈服强度 $\sigma_s$ 对拉伸方向最大应力影响

曲线中虚线为实际数据所作曲线的三次拟合曲线。从所作出的材料参数与成形性能结果的变化关系可以得到以下结论：随着屈服强度 $\sigma_s$ 的增大，板料变形厚度的减薄量减小，板料的成形油压以及拉伸方向的最大应力也都随之增大。从数值上来看，屈服强度 $\sigma_s$ 对板料液压成形所需的油压影响较大，对材料的成形性能影响较小。与此类似，还可模拟出摩擦润滑条件和毛坯尺寸对零件成形结果的影响，分别如图7和图8所示。其它材料参数和工艺参数对板料成形的影响可做类似模拟计算处理。同样可得到一些非常有价值的数据和结论，在此不再赘述。

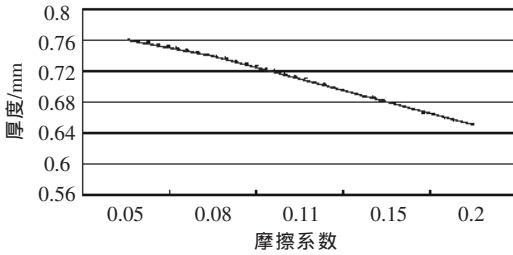


图7 摩擦系数对板料厚度的影响

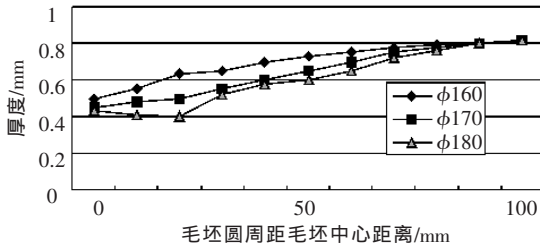


图8 毛坯直径对板料厚度分布的影响

### (2) 变压边力。

变压边力是指在薄板成形过程中，随时间或凸模行程改变变压边力大小。随着对板料拉伸工艺及金属塑性变形规律的深入研究，现在我们已经认识到采用变压边力拉伸更符合金属塑性变形的规律。采用变压边力，可以提高制品质量，减小缺陷。但是在目前所采用

的拉伸工艺中，拉伸过程中的压边力是不随拉伸行程而变化的，或者与成形要求正好相反。

根据板料成形的特点，在板料最初的成形阶段，压边力应该不断下降，以保持压边压强不会有较大变化；在成形末期，由于板料流动的不均匀，使得板料相当一部分地方变厚，从而引起起皱，因此在此阶段需增加压边力。那么如何获得一条最佳的压边力加载曲线呢？数值模拟技术带给我们极大的方便，省却了反复现场实验耗时、耗资、不准确的弊端。图9便是经过多次的模拟而得出的摩托车油箱液压成形压边力变化的曲线图，图10是加载此压边力所成形的结果图。从图中可以看出，用此变压边力加载能够很好地改善板料变薄的情况，提高成形质量。

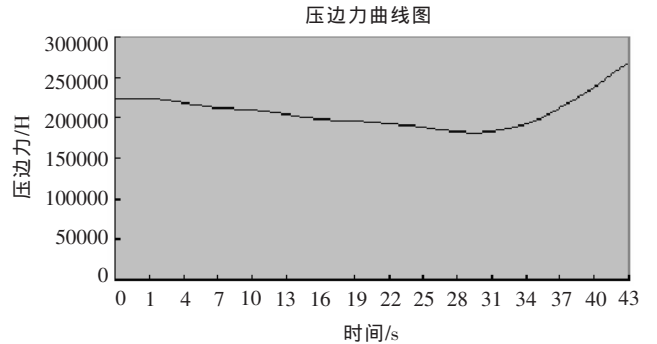


图9 变压边力曲线

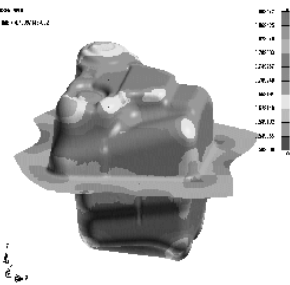


图10 油箱厚度分布云图(变压边力)

## 2.2 液压成形设备的开发

液压成形工艺仍是一项处于探索阶段的技术，虽然在成形理论方面有了越来越多的研究和著述。但任何一种先进的思想都要有实践领域的支持和验证。这是一个相得益彰的过程。所以国内外的专家学者正在逐步加强液压成形工艺的实验条件和生产条件。而达到这一目的的途径通常只有2个：对传统液压设备的改造和开发新的专用设备。说到底，对已有液压设备改造以适应液压成形新工艺也是将来开发出液压成形专用设备的一种有益的探索和尝试，这是必须也是

必要的。尤其是在研究的初始阶段,更具有实际意义。下面将从设备的液压系统和控制系统两方面来分析。

### (1) 液压系统。

关于成形所需液压力大致是一个逐渐增大的过程。具体的加载曲线可参照已比较成熟的刚性凸模拉伸力加载曲线类推出一个液压成形加载曲线。当然还需经过数值模拟和实验修正后以达到最佳。值得一提的是在成形后期即板料大部已贴合凹模后,为了成形小圆角需提供一个短时高压,这一压力的增加是相当显著的。根据我们的实验,摩托车油箱用 08AL 钢板液压力达到 25MPa 时,板料已与凹模大部贴合,但最终成形所需液压力接近了 60MPa。由于这个压力是成形后期短暂时间需要,若通过提升整套液压系统包括液压泵、液压管路和液压阀的规格来实现,势必是不经济的。为解决这个问题,可以设计如图 11 所示液压系统。其中的关键部分是增压缸 10,可以通过适时切换电磁铁 1DT 和 2DT 来使增压缸在成形后期工作。在不提高原来液压系统规格的条件下解决了高压问题。

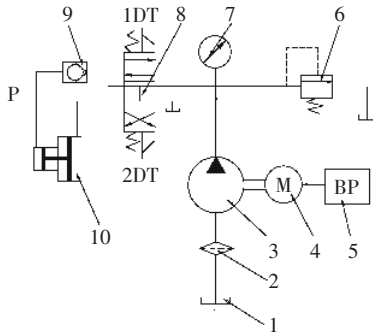


图 11 成形力液压系统原理图

1. 油箱 2. 过滤器 3. 油泵 4. 电机 5. 变频器 6. 溢流阀  
7. 压力表 8. 换向阀 9. 单向阀 10. 增压缸

另外,为了实现液压力的变化,有研究者采用比例溢流阀来实现,但成本攀升。本方案是采用变频器 5,变频器通过改变电机转速,进而改变液压泵的流量,最后改变液压力,得到了所需的变化的成形力,而更大的意义还在于节约能量、节约成本,是一种非常值得研究的方案。不过,由于中间环节增加,这种设计的实时性和有效性还需进一步验证,根据我们的实验研究,用这一方案已成形出摩托车油箱的初级产品。

变压边力的实现同成形力。在此不再论述。

### (2) 控制系统。

如果说液压系统是设备的执行者,那么控制系统就是设备的指挥者,是整台设备的神经系统。工艺策

略都是在这里实现和完成的。下面将从组成系统的硬件和软件两方面论述。

硬件设计:一种方案是采用微机作上位机和 PLC 作下位机的上、下位机系统,如图 12 所示。该方案是目前广泛应用于工业控制集散系统的典型结构,它具有“分散控制,集中管理”的优点,充分利用了 PLC 抗干扰能力强,适用于工业现场的特点,即使上位计算机出现故障也不会带来严重的后果,仍然可以继续工作。同时这种方案利用了计算机数据处理和图形显示功能强的优势,从而可以大大提高系统的可靠性及管理水平,提高生产效率。对于控制不太复杂的小规模工业现场和研究的探索阶段,PLC 与计算机结合,是一种性价比比较好的解决方案<sup>[4]</sup>。

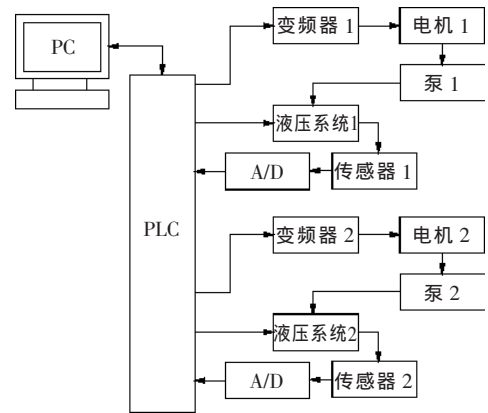


图 12 控制系统方案 I

这一方案中,PLC 是核心部件,起到上传下达的作用并完成大部分的控制任务,即液压成形的工艺策略大部在 PLC 内完成。PC 机起到过程监视和数据管理的功能,其潜力未充分发挥,人的意图需要通过 PLC 传达。这个中间环节使整套设备在功能的扩充上受到影响。

另一种替代方案是削弱 PLC 的作用,即 PLC 只完成液压机的逻辑顺序动作。控制策略、监控、管理全部在上位计算机中完成,甚至可以把 PLC 完全去掉,把液压机的逻辑顺序动作控制也集成到上位机里来。当然,这种方案无论有无 PLC,都不能采用一般的个人计算机了,需用工控机替代之,如图 13 所示。

软件设计:在实时工业控制中,高质量的硬件体系固然十分重要,但控制任务的实现,最终还是要靠程序的执行来完成,因此,应用软件的性能优劣就与整个系统关系极大,并在很大程度上决定了整个控制系统的运行效率和各项性能指标的最终实现。以方案

I 为例, 软件设计包括两大部分, PLC 程序和上位计算机程序。

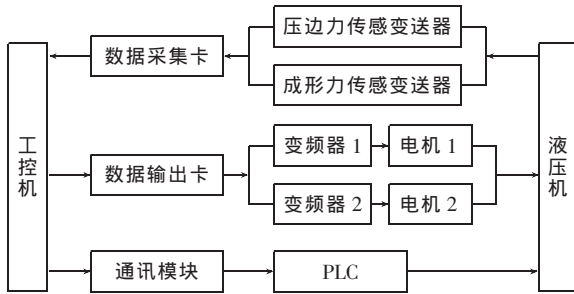


图13 控制系统方案II

PLC 程序包括液压机逻辑动作编程、成形力和压边力控制程序。上位计算机程序包括监控和管理两大部分。主要完成数据采集、数据存档、数据处理、过程监测和过程控制。在上位机上可方便地对生产工艺参数设定和调整, 实时监控 PLC 及 PLC 所控制的信号的工作状态, 根据现场工艺的要求, 使用动态的显示方式形象显示实际工艺过程中不同设备监视点的实时状态或实时测量值, 从而为现场操作人员对系统更精确地实施控制提供良好的依据; 必要时能实时干预 PLC 或者某个具体信号, 可以把有限元模拟出的压边力、成形力曲线导入系统, 经程序分析和运算后, 更新 PLC 程序并进一步指挥液压机按给定曲线加载。

用户加工的材料品种、厚度、大小、形状、工作环境、模具经常是发生变化的, 因此相应的控制动作就

要做改变。为此, 还要开发一个用户数据库系统。该系统可以记录每次成形速度、压力的变化, 并存入计算机里, 然后形成一个针对不同工件产生不同成形工艺的控制动作数据库, 供用户以后调用, 并可以根据环境变化, 自动匹配和推荐合适的成形工艺。

### 3 结束语

液压成形是当前塑性成形技术领域的一项崭新技术。国内外对这种成形方法的工艺和设备正展开积极的研究。我们把最新的计算机软件技术和控制技术运用到这个领域并开发此种成形工艺的计算机监控系统, 使理论上的压边力和成形力的变化规律在计算机监测和控制下精确实时地实现, 为液压成形过程的研究提供了强有力的技术支持和保障。无论是对工艺本身的认识还是对国内该种成形设备的研制都有借鉴意义。

### 参 考 文 献

- 1 吴有生, 夏巨谏, 胡国安. 板料液压成形技术的发展动态及应用[J]. 金属成形工艺, 2002, (4)
- 2 李明亮. 基于普通液压机改造的板材成对液压成形控制系统研究. 广东工业大学硕士学位论文, 2005.
- 3 直妍. 板材液压成形数值模拟及成形性能预报模型研究. 广东工业大学硕士学位论文, 2005.
- 4 张新薇, 陈旭东等. 集散系统及系统开放[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.

## 行业信息

### “英国路径公司 2005~2006 年度 EdgeCAM 产品中国经销商年会”圆满落幕

2005 年 11 月 18~20 日, “英国路径公司 2005~2006 年度 EdgeCAM 产品中国经销商年会”在北京九华山庄举行。来自各地区和各行业的 EdgeCAM 产品经销商参加了此次会议。路径公司英国总部的全球销售总监 Simon Lee 先生、产品研发总监 David Plater 博士以及销售支持经理 Lee Fowkes 先生专程从英国赶来参加会议。同时, EdgeCAM 在全球和国内的各战略合作伙伴以及合作媒体也应邀出席。

在为期两天的会议中, EdgeCAM 产品全球销售总监 Simon Lee 先生介绍了 EdgeCAM 在全球持续快速增长的销售状况以及不断增加的全球战略合作伙伴, 并对中国市场的发展抱有极大的信心。产品研发总监 David Plater 博士以及销售支持经理 Lee Fowkes 先生分别介绍了 EdgeCAM 产品的发展思路, 并着重介绍

了全面支持五轴联动铣切加工的 EdgeCAM V10 版本。路径公司北京代表处首席代表祖文全先生和技术经理李名雪先生分别向大家通报了 EdgeCAM 产品在中国的发展情况, 并针对 EdgeCAM 产品中国市场分析、市场宣传、销售渠道管理以及产品技术支持做了不同专题的介绍。

此次会议给 EdgeCAM 中国经销商团队提供了一个相互交流、相互学习的平台。来自全国各地的 EdgeCAM 产品经销商代表互相交流讨论了 EdgeCAM 产品在国内的推广、应用、服务中的经验及不足, 提出了市场发展方向的建议和意见, 以便今后共同协作, 不断扩大 EdgeCAM 产品在中国的市场, 更好地为 EdgeCAM 产品的中国用户服务。