

■ 北京航空航天大学/郎利辉 杨希英 刘康宁 孙志莹

汽车轻量化

成形技术及其进展

进入21世纪以来,由于燃料和原材料的价格上涨以及环保法规对尾气排放的限制日趋严格,使得汽车工业轻量化进程的必要性和紧迫性受到广泛关注。汽车车身约占汽车总质量的40%,空载情况下,约70%的油耗用在车身质量上。汽车整体质量降低10%,燃油效率可提高6%~8%。因此,车身的轻量化对减少汽车自重、提高整体燃油经济性至关重要。

汽车轻量化技术是通过优化设计(如先进的框架结构车身设计),采用高强度的结构材料(如高强度铝合金),以及先进的制造技术(如板材/管材液压成形技术)来实现的,这就需要车身设计、材料开发、先进制造技术和制造装备等方面齐头并进。

液压成形是一种柔性成形技术,根据成形对象的不同,可以分为板材液压成形、管件液压成形和壳体液压成形三类。液压成形作为一种先进的加工工艺,具有模具成本低、模具制造周期短、成形极限高等特点。与传统工艺相比,液压成形既节约了能源,降低了成本,又适应了当今产品的小批量、多品种的柔性发展方向,受到世界各国学者的一致关注。

板材液压成形技术

1. 板材液压成形原理及优点

板材液压成形分为弹性介质、橡皮囊中介和直接充液成形三种类型。其中利用橡皮成形方法出现较早,而充液成形方法近年来得到了较好的发展。充液成

形分为主动式(液压胀形)和被动式(充液拉深成形)两种。板材充液成形技术现在主要应用于多品种少批量产品的生产中,可以成形复杂结构薄壁零件。经过改造后,该技术也可以应用于大批量的产品生产中。

板材液压成形的多种不同成形方式具有如下优点:

- 1) 模具加工费用低,模具不易损坏,模具寿命提高。
- 2) 充液成形可以获得壁厚均匀的成形零件,材料成形极限高。
- 3) 成形零件表面质量好,回弹小,成形精度高。
- 4) 可以成形复杂零件和复合结构零件,如拼焊板零件和表面预处理的板材。
- 5) 充液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,而且还能成形复合材料。

2. 国外研究进展

充液拉深成形技术由日本学者春日保男于1958年首次提出,他指出凹模圆角处板料垂直拉深力是决定溢流压力的主要因素,利用数学解析的方法解释了摩擦保持效果和溢流润滑效果,并推导出生成溢流压力的理论公式,并在其后用铜、铝和软钢等材料进行了实验验证。

欧、美、日本等国家较早地开展了工艺试验研究及设备的开发工作,随后虽有一些工业应用的实例,但应用范围仍不广。20世纪70年代中期以后,日本学者对这项工艺进行了较为细致的试验研究,提出了一些抑制破裂等成形缺陷的措施,使液压拉深工艺进入了实用阶

段,广泛用于反光罩和雷达罩、航空部件及汽车覆盖件的生产。

液压成对成形是德国20世纪90年代后期提出的一种板料成形新工艺。因成形液压力较高,又称为板材内高压成形,简称HBU。板件成对液压成形时,首先将叠放的两块平板毛坯放置在上凹模中间,压边后充液预成形,边缘切割,对边缘采用激光焊接技术焊接。然后,在两板间充入高压液体,使其贴模成形。这种成形属于内高压成形,适于成形腔体零件。

2004年,斯图加特大学的Jager等进行了板材充液热拉深和液压机械热拉深研究,指出流体温度在220~250℃时,流体温度对等效应变的影响较小,随着凸模温度的增加,凸模接触区域的等效应变也随之增加。

3. 国内研究进展

在我国,自从江阴拖拉机厂采用这种方法生产出第一件产品——油底壳后,这种新工艺在国内也逐渐得到推广和应用。

笔者与哈尔滨工业大学康达昌等人在充液拉深的基础上提出了充液变薄拉深新工艺,并进行工艺试验研究,得出了一系列有价值的工艺参数。另外还成功研制了基于通用压力机的充液拉深装备,在丹麦被称为康氏方法。该机采用计算机控制的通用模架加超高压增压器方式的充液拉深装备,解决了实际应用中的超高压问题,并根据工艺需要设计了高效节能的压边缸,液室压力和压边力可以根据设定曲线自动跟踪调节,具有很高的自动化程度,为充液拉深设备的国产化走出了一条新路。通过工艺试验与数值模拟,对筒形件、方盒形件、抛物线形件的成形进行了系统的研究,在避免成形缺陷、提高成形极限方面积累了许多实际经验,得到具有重要价值的工艺参数,为充液拉深技术在我国生产实际中的应用奠定扎实基础。

北京航空航天大学联合佛山康思达液压机械有限公司建立了基于通用单动液压机的模块化上压式液力成形技术平台(见图1)。主缸公称压力达到3500kN,液室最高工作压力高达120MPa,可实现变压边力控制。系统采用PLC控制,可实现整个板材充液成形过程中的自动操作。此设备已成功用于沈飞、上飞等的飞机复杂零件成形(见图2),取得了重大进展,显示了取代落锤成形的良好前景,为充液拉深设备的国产化走出了一条新路。



图1 北京航空航天大学研制的充液拉深设备

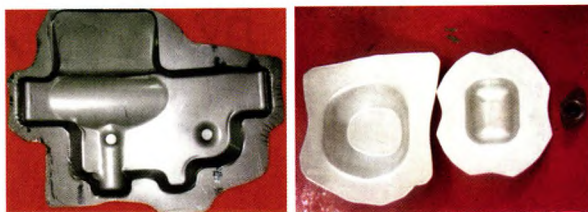


图2 液压成形复杂零件

笔者带领团队于2008年成功开发出6300kN热介质成形设备(见图3)并调试成功。板材温热介质充液成形装备分为三部分:通用双动液压机机架,加热冷却系统和板材充液成形装置。加热是由加热室、底部加热板、以及模具上加热块来实现,主缸横梁、压边横梁和下底板,以及增压缸部分均装有冷却装置。模具和液室安装在加热室内,液体压力靠连接加热室外的增压器来提供。



图3 调试成功的热介质成形装置

装置显著功能有:

- 1) 液室压力和压边力能够实现实时控制。
- 2) 液室压力可在0~100MPa连续变化。
- 3) 主液压缸能够在板料破裂时立刻停止。
- 4) 非充液状态温度达1000℃,充液拉深温度达450℃。

另外,笔者所在团队于2013年联合北京比亚迪模具有限公司成功改造一台1600kN双动压力机为板材充液成形机,并试制出比亚迪S6车型后备门内板件(见图4)。



图4 比亚迪S6车型后备门内板件

管材液压成形技术

1. 管材液压成形原理及优点

管材液压成形是以管材作坯料，通过管材内部施加高压液体和轴向补料把管材压入到模具型腔使其成形为所需形状的工件，传力介质通常使用乳化液（在水中添加少量的防腐剂等组成）。按成形零件的种类，管材液压成形分为变径管液压成形、弯曲管件液压成形和多通管液压成形三类。

管材液压成形的多种不同成形方式具有如下的共同优点：

- 1) 节省原材料，提高材料利用率，减轻零件重量。
- 2) 加工道次少，产品精度高。
- 3) 模具数量少，生产成本低。
- 4) 加工零件强度高，刚度好。

2. 国外研究进展

德国于20世纪70年代末开始对高内压力力成形基础进行研究，并于90年代初率先在工业生产中采用管材液压成形技术制造汽车轻体构件。德国奔驰汽车公司于1993年建立其内高压成形车间，宝马公司已在其几个车型上应用了内高压成形的零件。目前在汽车上应用的零件有：排气系统异型管件，副车架总成，底盘构件、车身框架、座椅框架及散热器支架，前轴、后轴及驱动轴，安全构件等。

根据美国钢铁研究院汽车应用委员会的调查结果，在北美制造的典型轿车中，空心轻体构件在轿车总量的比例已从15年前的10%上升到16%，而在中型面包车、越野车和轻型载货汽车的比例还要高。因此美国有关大学、研究机构和公司十分重视高内压力力成形技术，已于几年前开始着手研究开发，近年来不断加大研究开发的力度。如美国三大汽车公司和十大钢铁公司成立“汽车与钢铁合作液压成形工业资源组织，美国克莱斯勒汽车公司于1990首先引进管材液压成形技术生产了

仪表盘支架。目前美国通用汽车公司已用管材液压成形技术制造了发动机托架、散热器支架、下梁、棚顶托梁和内支架等空心轻体件。

3. 国内研究进展

管材液压成形工艺主要源于欧美等工业发达国家，但近年来国内在该工艺的理论及应用方面也都进行了较为广泛的研究，并取得部分有价值的研究成果。在实验工艺方面，笔者就大变形量台阶轴和方截面空心轻体件的内高压成形进行实验研究，并利用管材液压成形工艺为国内汽车厂家生产零件。

在设备研发方面，哈尔滨工业大学研制出国内首台管材液压成形机，内压100MPa，水平侧推力1500kN，已加工出一些简单样件，现在正结合典型件进行应用研究。笔者团队已先后为国内院校及企业设计研制的管材液压成形机如图5所示。



(a) 管材液压成形机（5000kN）



(b) 管材液压成形试验机（2000kN）



(c) 大型管材液压成形机（100 000kN）

图 5

结语

液压成形技术近年来发展迅猛，在国外已经迅速从实验阶段步入生产阶段。可以预见，未来几年将是其快速增长的重要时期，而我国液压成形工艺起步较晚，虽然已取得可喜的研究成果，但目前尚处于起步阶段。

以铝、镁、钛为加工对象的管/板热介质成形及成形工艺的数字化将是液压成形技术发展的重要内容，如果能把握这一发展机遇，多快好省地完成一批高水平的科研成果，将有可能迅速确立我国在液压成形领域中的影响和地位。

关键词：

轻量化 液压成形 板材 管材

(收稿日期20131115)