

内高压成形工艺及设备概述

车身轻量化是国家节能减排战略的紧迫需要,更是汽车企业和全行业提高核心竞争力的现实需求。轻量化技术对传统汽车或新能源汽车,都是一项基础的共性技术。车身轻量化主要可以从结构和材料两方面来实现,车身采用空心结构整体构件是实现车身轻量化的有效途径之一。

内高压成形是一种制造空心整体构件的先进制造技术,本文通过解析汽车行业发展与车企的核心竞争力,从而引入车身轻量化与内高压成形工艺,并对内高压成形工艺流程、特点及设备进行了详细阐述。基于新、旧工艺优缺点的对比分析,指出内高压成形工艺提高了工件加工质量与生产效率,必将在汽车车身制造中得到广泛应用。

内高压成形技术原理及特点

1. 内高压成形原理及过程

内高压成形是一种以管材为坯料,以油液为传压介质,在管材内部施加超高压的同时,对管坯的两端施加轴向推力进行补料。因两种外力的合力作用,管坯产生塑性变形,最终与模腔内壁贴合,使管坯成为具有三维形状零件的现代塑性加工技术。

按管坯成形特点,零件分为成形区和送料区。成形区是管坯发生塑性变形直径变化的部分;送料区是向成形区补料的部分。内高压成形时管端密封是由冲头和模具挤压形成刚性密封,因此该处模具容易磨损,通常在模具密封段采用耐磨镶块,来提高模具寿命。在零件成形后,依靠模具内的辅助液压缸完成开槽、冲孔等后续工序。然后油液卸压,轴向冲头回

程,液压机滑块上行,即可取出零件。

内高压成形工艺过程(见图1)主要分为三个阶段:

(1) 初始充填阶段 将管坯放入模腔并合模,两端的轴向冲头水平推进,形成密封。通过预充液体将管内空气排出。

(2) 成形阶段 在管坯加压胀形的同时,冲头按设定的加载曲线向内推进补料,在内压和轴向补料的联合作用下使管坯基本贴靠模具。此阶段除过渡 R 角外的大部分区域已经成形。

(3) 整形阶段 提高内压使过渡 R 角完全贴合模腔,工件完成成形。

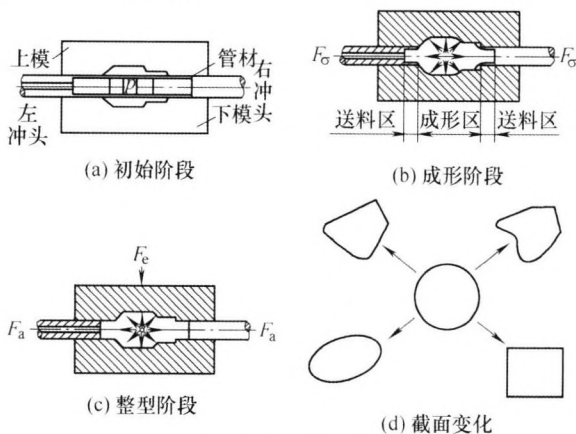


图1 内高压成形工艺过程

2. 内高压成形工艺技术参数

内高压成形的主要技术参数有初始屈服压力、开裂压力、成形压力、轴向进给力、合模力和补料量。

(1) 初始屈服压力 管坯产生塑性变形所需的压力。

- (2) 开裂压力 管坯发生开裂时的压力。
- (3) 整形压力 在后期整形阶段，为保证零件完全成形所需要的压力。
- (4) 轴向进给力 轴向推进缸选型的依据，具体由保证管坯塑性变形的力、冲头高压反力和摩擦力等三部分决定。
- (5) 合模力 在成形过程中使模具闭合所需要的力，是液压机选型的主要依据。
- (6) 补料量 确定水平缸行程的重要参数。由于加载路径与摩擦力的影响，补料量无法完全送到成形区，成形区壁厚要减薄，实际补料量通常为理想补料量的60%~80%。

3.内高压成形工艺特点

相对于传统的薄板冲压与焊接工艺，内高压成形以管材为加工对象，具有以下特点：

- 1) 内高压成形工艺可减少开发与制造成本，降低车身重量，提高材料利用率。内高压成形件通常只需一副模具，而薄板冲压往往需要三道及以上的工序，工装开发及后续的制造成本将会大大提高。工序减少了，其工艺废料也会相应减少。在满足零件使用要求的情况下，内高压成形的空心零件较冲压焊接

组合件可实现减重20%~30%，材料利用率提高30%~50%。

- 2) 内高压成形工艺可提高零件加工精度与车身安全性能。针对形状复杂的零件，内高压成形可实现一次成形，避免了零件在多序加工过程中产生的累积误差，从而提高零件精度。内高压成形属于冷加工工艺，通过变形过程中的加工硬化可大大提高零件强度，且原始管坯的整体性较好，其整体刚度也能得到保证，因此应用于汽车车身的承载结构件中可提升车身的安全性能。

- 3) 由于内高压成形所需压力较高，所以合模压力机所需吨位也较大，通常在3500t以上，其高压生成源及电气控制系统相对复杂，设备制造成本也高。另外，因零件成形质量和壁厚分布与加载路径密切相关，其研发与试制费用较高。这些因素在一定程度上限制了内高压成形工艺的发展与普及。

内高压成形生产线

基于内高压成形工艺过程，内高压成形生产线主要可分为四大模块：合模压力机、成形模具、高压生成系统及电气控制系统，如图2所示。

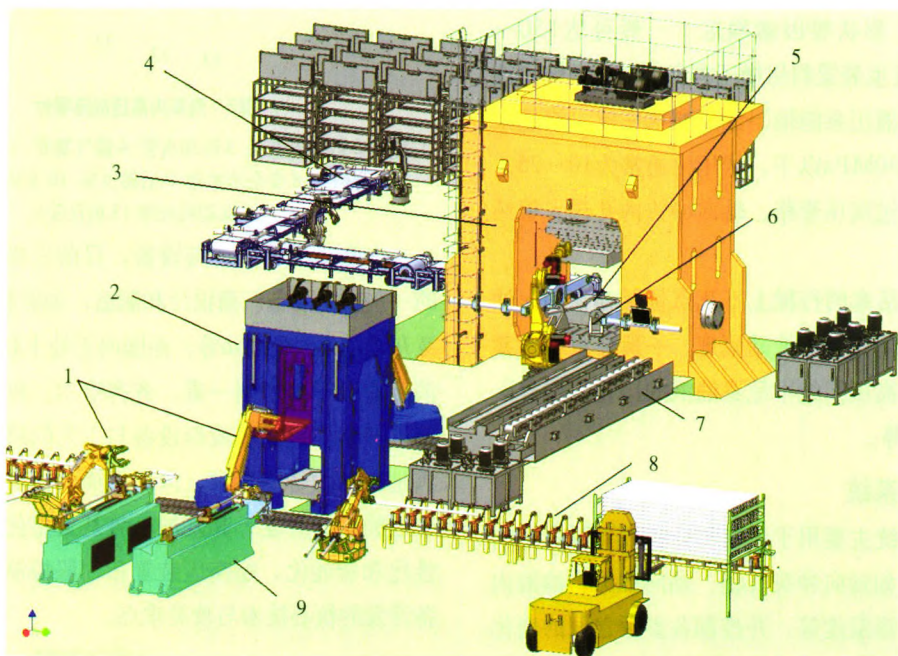


图2 内高压成形生产线

- 1.机械手 2.预成形液压机 3.内高压成形合模机 4.运输设备 5.模具
- 6.水平进给 7.管口精整 8.运料 9.弯管机

1. 合模压力机

合模压力机通常采用液压机，主要由本体和泵站组成，用于安装模具和轴向推进缸。液压机活动横梁驱动模具开合，并在成形过程中提供成形合模力，最大合模力由内压合工件的最大表面积决定，工作台则根据模具尺寸进行设计。因工件成形所需的合模力较大，为保证设备刚度，液压机机身通常采用组合框架式结构，四面开挡，方便模具的安装。

2. 成形模具

模具是工件成形的关键性部件，由本体与轴向缸组成。模具基于零件数模进行设计，其沿零件的分型面分为上模和下模，分别安装在滑块与工作台上，模具闭合后形成封闭的模腔。

管坯成形过程中补料进给时所需的轴向推力和位移则由轴向缸提供。轴向缸通常安装在专用模架上，根据产品种类变更随时可切换模块，更换便捷，具有一定的柔性；也可直接安装在模具上，连接可靠，但调整或更换相对困难。轴向缸具有一定的通用性，适合多品种生产的需要，加工不同的零件时，只需更换配套的冲头即可。

3. 高压生成系统

高压发生装置是内高压成形系统的核心模块，直接影响到设备的加工能力。最大内压力由零件的材料、壁厚、形状等因素确定，一般可达150~400MPa。高压发生装置利用增压器产生高压，输出液体的压力取决于液压泵的輸出油压和增压比。液压泵输出油压一般在30MPa以下，增压比通常为10~25。输出的高压油通过高压管路、轴向冲头内孔进入管坯内腔。

由于增压器活塞的行程上下死点位置存在换向冲击，为了减小液体压力的波动幅度，一般要求设置蓄能器。此外，在高压系统中配置油液的净化、搅拌、加热与冷却装置等。

4. 电气控制系统

电气控制系统主要用于采集与分析成形过程中的各项技术参数，如轴向冲头行程、轴向推力、油液内压、合模力及成形温度等，并控制各参数之间的变化关系，以提高管坯的成形能力，通常通过相应的传感器进行测量。系统控制方式一般可分为开环和闭环两

类，目前应用较多的是闭环控制，其对油液内压、行程的控制精度极高。

为提高内高压成形的工艺性，保障工件质量，内高压成形生产线往往还需一些辅助设备，如管坯分拣装置、弯管机、预成形机、成品堆放装置等。此外，为了降低工人操作的强度，一般在生产线各上下料位置配有机器人及输送带。

现状与趋势

近几年来，由于管类零件内高压成形技术具备的工艺和成本优势，在汽车工业中得到了迅速推广。为了进一步推动汽车轻量化设计，将会在车身上开发更多的空心部件。随着内高压成形零件逐步应用于车身各个位置后，可能会颠覆人们对汽车造型与车身的认识。

目前内高压成形工艺在汽车零部件上的应用如图3所示。

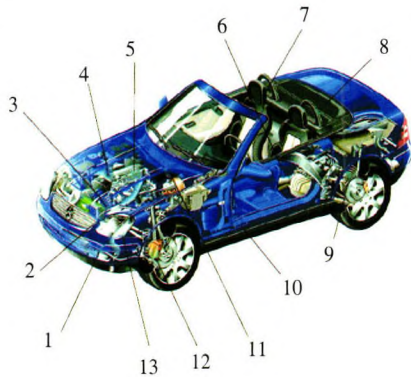


图3 汽车内高压成形零件

- 1.前梁 2.散热器支架 3.冷却水管 4.排气集管 5.凸轮轴 6.传动轴
7.座椅构架 8.安全防护架 9.后桥支架 10.车体构架 11.横梁
12.发动机托架 13.前保险杠

内高压成形工艺与设备，目前主要由欧洲与日本的一些大型设备厂商设计和制造，如舒勒、SPS、APT及川崎油工、Opton等，而国内正处于起步阶段，哈尔滨工业大学、中国一重、齐齐哈尔二机床及合肥锻压等已开始了内高压成形设备与工艺的研究和设计。为满足工艺的特殊要求，内高压成形生产线通常需进行专业的设计开发，其发展趋势是大型化、自动化、柔性化和智能化，超高压装置和伺服控制系统将成为设备开发的核心技术与攻关难点。

关键词：

内高压成形 工艺 轻量化 设备

(收稿日期20130509)