基于汽车轻量化的铝合金液压成型技术研究

□ 安徽江淮汽车集团股份有限公司/朱梅云

基于汽车轻量化技术，对铝合金液压成型（Sheet hydroforming）技术进行了研究，研究了液压成型技术原理、液压成型工艺特点、液压成型模具结构设计以及铝合金液压成型生产线工艺，并对发动机盖板冲压件进行液压成型模拟试验及物理试验验证，试验结果一致，均得到质量合格的冲压件。铝合金液压成型技术的应用，实现了汽车节能减排，并且有效地促进汽车轻量化技术的快速发展。

基于低碳、绿色、节能、环保及安全等理念，汽车轻量化技术是现代汽车设计制造的一大主流，汽车轻量化技术可提高汽车燃油经济性，实现节能减排的目的。近年来大气中CO_2含量逐年增加，据统计，每燃烧1L汽油，将产生2.5kg的CO_2。由于我国汽车保有量日益增长，碳排放和温室气体排放迅速增加。据统计，我国大城市机动车尾气占城市污染总量的65%以上。所以，近年来汽车轻量化技术发展势头迅猛，可见汽车轻量化技术的应用显得尤其重要。其中，铝合金液压成型技术是实现汽车轻量化的主要途径之一，同时，铝合金液压成型技术是实现车体轻量化和节能减排的最好途径。

铝合金液压成型（Sheet hydroforming）是一种特殊的柔性塑形加工成型工艺，主要采用液体作为介质代替刚性凸模或凹模传递载荷，使坯料在传力介质压力作用下贴靠凸模或凹模以实现金属板材或管材零件的成型，其研究对象主要为筒形件、盒形件、复杂曲面零件和中空管件等，板料液压成型也可称为液力成型。液压成型技术主要用于汽车、航空航天、电器仪表等领域多品种复杂零件的生产，以满足使用条件的特殊性对零件质量的严格要求。

本文主要研究液压成型技术在汽车车身轻量化技术上的应用。图1所示为典型的铝合金液压成型技术零件。

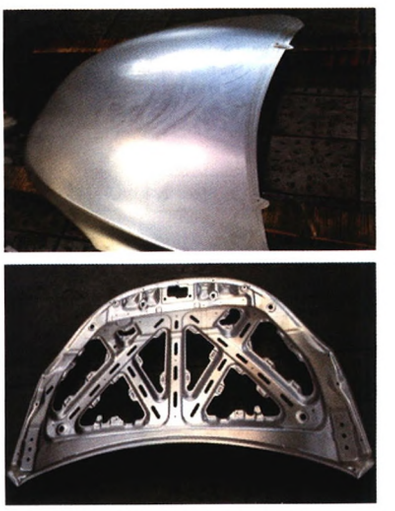


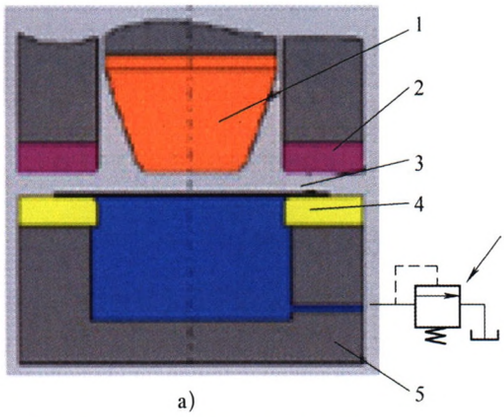
图1 铝合金液压成型技术冲压件

铝合金液压成型工艺原理

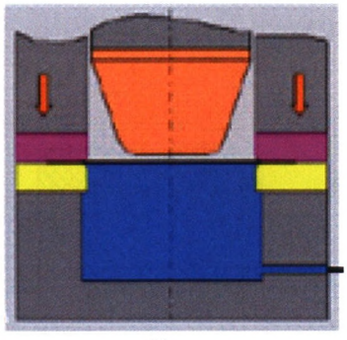
1.液压成型技术原理

铝合金液压成型主要是指依靠

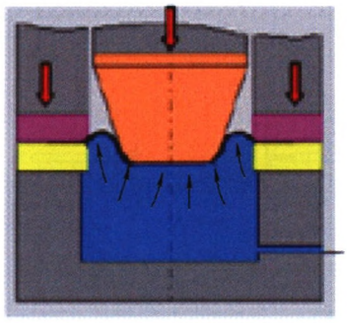
高压液体作为介质，代替刚性的凹模或凸模，使坯料在传力介质的压力作用下，贴合凸模或凹模成型的一种先进柔性制造工艺。该工艺技术在铝合金等轻金属板材成型方面具有独特的技术优势，也可生产形状复杂的变截面管状产品。其工艺原理如图2和图3所示。



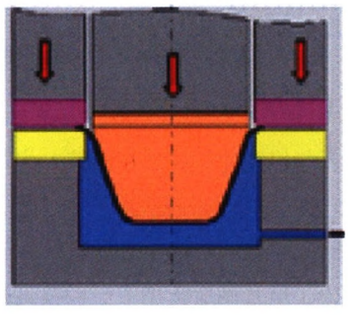
a)



b)



c)



d)

图2　液压成型工艺原理

a）放置板料 b）压边圈下行
c）凸模拉伸下行 d）板材成型结束
1—凸模 2—压边圈 3—材料 4—凹模 5—液压室

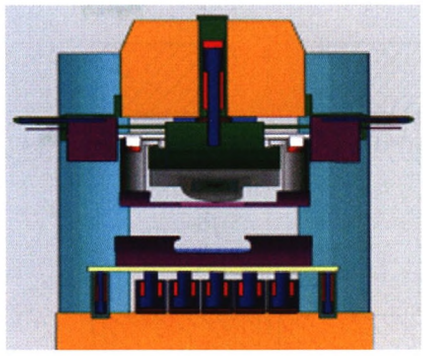


图3　液压成型动态

2.铝合金液压胀形工艺原理

流体介质充当凸模，在液体压力的作用下，板料贴靠模腔成型零件。液压胀形技术，其特点就是液体压力作用于板料在模具约束下成型，甚至可以无模约束成型，生产复杂的中空零件，如图4所示。

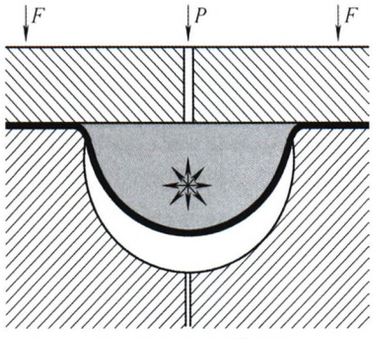


图4　液压胀形工艺原理

3.橡皮囊板材液压胀形工艺原理

在板材液压发展初期，应用的是橡皮囊液压成型技术，该技术利用橡皮囊作为弹性凹模或凸模，用液压油作为压力传力介质来实现板材零件的成型，即在成型过程中有一个橡皮隔膜将液体介质与板坯隔开，凹模被省略。由于橡皮在成型中始终紧贴零件，所以，零件表面无擦伤痕迹，并且，在高压和摩擦力作用下，材料的塑性可以得到充分发挥，零件的回弹小，贴膜效果好，厚度变化比较均匀，材料内部损伤率降低，可以明显地提高零件成型质量和结构的可靠性，适合复杂汽车覆盖件的冲压成型，如图5所示。

4.铝合金冲液拉深工艺原理

板材冲液拉深工艺主要包括径向拉深和径向冲液反拉深两种工艺，拉深工艺主要由压边圈、凹模、冲液室及凸模几部分组成，如图6所示。

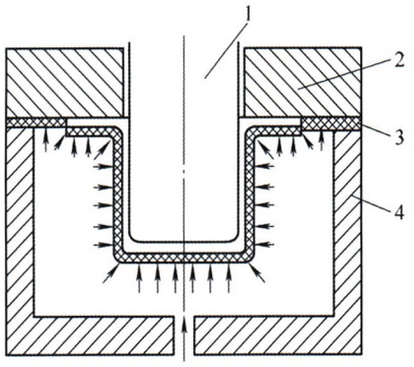


图5　橡皮囊板材液压胀形工艺原理

1—凸模 2—压边圈 3—橡皮囊 4—筒体

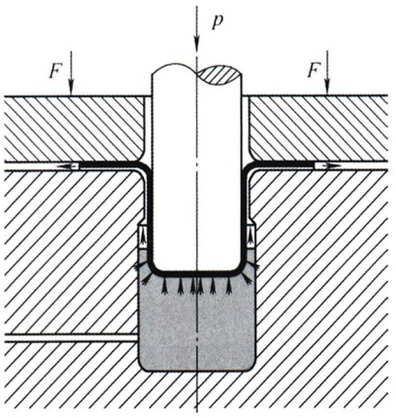


图6　板材冲液拉深工艺原理

5.可动凹模液压成型技术

可动凹模板材液压成型技术是采用固定部分和可动部分组成的组合凹模，实现拉深与胀形的复合成型。采用可动凹模板材液压成型技术，板材的减薄可明显减轻，成型极限得到显著提高。这种新技术适用于铝合金等复杂形状板料件盒低塑性轻材质材料如镁合金材质的冲压成型，如图7和图8所示。图7中，F_c为合模力，s为压边圈与油槽之间的间隙，f为可动凹模反向作用力，p为液压载荷，v为可动凹模速度，d为可动凹模与参考面o平面之间的距离。

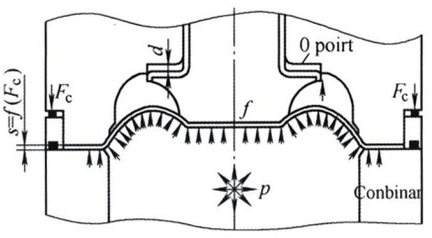


图7　可动凹模液压成型技术

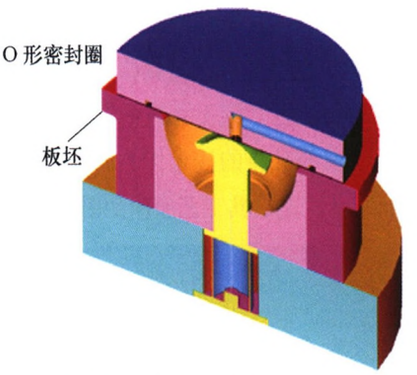


图8　可动凹模液压成型技术中可动凹模

6.温热液压成型技术

温热液压成型技术原理主要是利用热介质实现液压成型技术，温热液压成型冲压模具结构如图9所示，模具结构主要包括压边圈、凸模、凹模及电热管等。

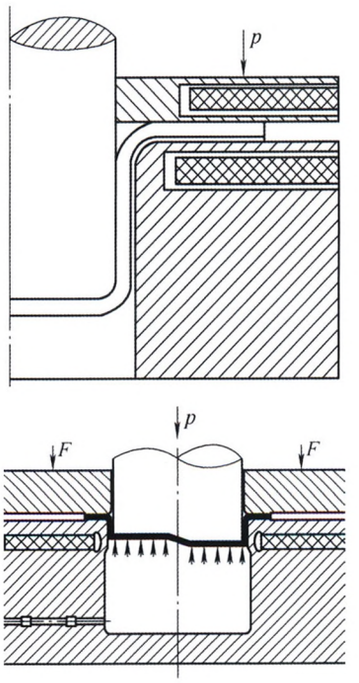


图9　温热液压成型技术工艺原理

铝合金液压成型工艺特点

液压成型工艺与传统冲压成型相比较，主要有如下特点：

1）板材液压成型仅需要凹模或凸模，另一半被液体介质所代替，减少了模具制造费用，一般模具费用可降低30%以上，降低零件的生产成本。同时，液压成型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同一套模具上生产。

2）板材液压成型能提高产品的质量，并能显著改善产品的性能，液压成型的零件有质量轻、强度高、硬度高和质量好的优点，而且材料利用率高，尺寸精度高，回弹小，残余应力低。

3）可以通过改变凹模或冲模的形状，来成型各种形状的零件，液压成型可以单道次成型一些形状复杂的零件，而传统的冲压成型则需要多道次才可实现，大大优化冲压工艺。

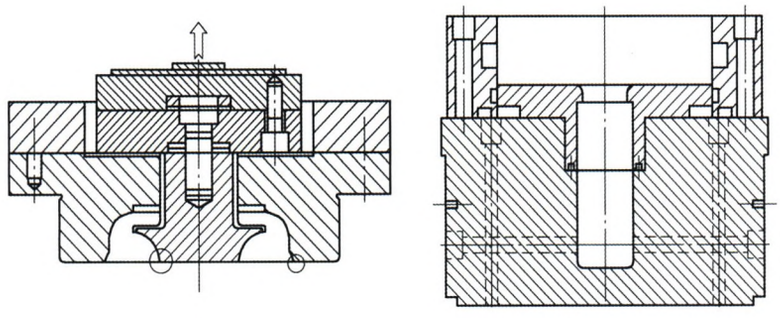
4）板材液压成型特别适合于成型性能差或高强度的材料，还能成型复合材料，这对于减轻零件质量是有帮助的，有利于汽车轻量化技术的发展。

5）更换模具和成型所需的时间相对较短，大大提高生产效率。

设计与工艺

1.液压成型工装模具结构设计

如图10所示，a为液压成型工装模具结构图，b为液压成型工装模具密封系统。



a)　　b)

图10　液压成型结构

a）液压成型工装模具结构　b）液压成型密封系统

2.液压成型生产线工艺

液压成型生产线工艺布局图如图11所示， 该生产线主要设备为液压成型压力机，性能为设备公称压力50 500kN，工作台面4 500mm×2 500mm，充液成型速度1 100L/min，高压源压力分级控制，建立柔性自动化生产线，全流程系统控制。

图11　液压成型自动化生产线

液压成型试验结果与分析

为了验证液压成型技术在冲压板料成型技术中的应用，对某款车型发动机盖板进行液压成型模拟试验与物理验证。该冲压件属于空间几何形状尺寸比较复杂的汽车覆盖件，用普通模具进行冲压成型，通常拉深成型后冲压件会出现圆角及侧壁破裂缺陷，型面起皱及叠料缺陷等，通过调节冲压工艺参数无法完全消除以上冲压成型缺陷。但是，通过液压成型技术的应用，以上破裂及起皱缺陷基本消除，产品主要落于绿色安全区域，产品表面无破裂、起皱和叠料缺陷。如图12所示为物理验证冲压件，从图中可以看出，产品质量完全符合技术要求，模拟试验和物理试验验证一致，液压成型技术得到合格冲压成型件。

图12　发动机盖板液压成型物理验证件

结语

1）液压成型技术研究结果表明，液压成型技术可以解决铝合金发动机盖板拉深破裂、起皱等成型缺陷，解决复杂冲压件成型质量问题。

2）液压成型技术的应用，可以大大优化冲压成型工艺，减少冲压成型工序。

3）铝合金液压成型技术的应用，实现了汽车节能减排，并且有效地促进汽车轻量化技术的快速发展。AUTO1950