综 述

铝合金液态模锻的应用及发展

洪慎章
（上海交通大学 塑性成形工程系，上海 200030）

摘要：叙述了铝合金液态模锻成形的工艺实质、方法及其特点。阐述了铝合金液态模锻工艺的优点。介绍了液态模锻成形轿车零件的应用实例，指出了铸造技术和模锻技术有机结合成先进的液态模锻成形工艺是一种行之有效的新技术。

关键词：液态模锻；铝合金；工艺方法；优点；应用实例；发展
中图分类号：TG316.3 **文献标识码**：A
文章编号：1674-6457(2012)03-0064-03

Application and Development of Liquid Die Forging for the Aluminium Alloy

HONG Shen-zhang
(Department of Plastic Technology, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)

Abstract: The technological essence, method and its characteristics of the liquid die forging forming for the aluminium alloy were narrated. The advantages of the liquid die forging for the aluminium alloy were represented. The application examples of the car parts for the liquid die forging were introduced. In the end the form of the liquid die forging forming process of the organic combination between the casting technique and the die forging technique indicated an effective new technique.

Key words: liquid die forging; aluminium alloy; technological method; advantage; application examples; development

近年来，随着科技的迅速发展，机械工业尤其是与能源息息相关的轿车工业，为适应现代工业的需要，轿车正向着轻量化、高速、节能、低碳、环保及低成本等方向发展。

铝合金具有高比强度，耐锈蚀，热稳定性好，易成形，再生性好和结构简化等一系列优点，能满足轿车工业的特殊要求。目前轿车上铝合金零件主要有活塞、连杆、连杆盖、轮毂、转向节、拉臂及油泵阀体等。这些铝合金零件的生产方法多采用压力铸造、低压铸造及普通模锻等常规工艺，具有材料及燃料消耗高，设备投资大，劳动强度大及制作成本高等缺点。

在当今产品成本竞争激烈及能源短缺的情况下，液态模锻具有产品质量优良，节约能源，设备投资少，改善环境及成本低等优点而愈来愈受到世人的注目。

1 液态模锻的工艺方法[1-3]

零件成形的常规方法有2种：液态成形，即各种铸造工艺，如金属铸造，压力铸造，低压铸造等；固态成形，即用固体毛坯通过诸如模锻、压力加工、切削加工等工艺加工成所需形状的零件。液态模锻则是

收稿日期：2010-12-12
作者简介：洪慎章(1932—)，男，浙江鄞县人，教授，主要研究方向为塑性成形工艺和模具结构设计以及特种成形技术，曾获中国船舶工业总公司科技进步三等奖。

介于这 2 种工艺之间的一种崭新的工艺,集中了它们的优点。

液态模锻工艺其实质是把液态金属直接浇入模具模膛,然后在一定时间内以一定的压力作用于半熔融或半凝固的金属上,使之成形,并在此压力下结晶和塑性流动,从而获得毛坯或零件的一种金属加工方法。铝合金液态模锻工艺的应用范围,从国内外实际应用情况以及它的结晶特点来看,主要有如下特点。

1) 液态模锻工艺对材料选择范围较宽,它既适用于铸造合金,也适用于变形合金。

2) 纤维强化金属具有质量轻、强度高、耐磨、耐高温等特点。现在已经进行了包含碳、碳化硅、氧化铝等高强度长纤维铝合金的轿车零件研究开发工作,作为铝合金强化材料很有发展前途。

3) 液态模锻技术不仅适用于轴对称的实心零件、杯形件、通孔件以及长轴类等厚壁零件,也适用于非轴对称,壁厚不均匀,形状复杂的零件。

2　液态模锻工艺的优点[2,4-5]

液态模锻是一种借于铸造工艺和模锻工艺而发展起来的少无切削加工新工艺,它包含压力铸造及模锻技术的许多特点,综合了 2 种工艺的优点。

1) 力学性能高。由于半凝固状态的铝合金在充足的压力下凝固结晶,组织致密,晶粒细小,故所得制件的力学性能可接近或达到模锻件的水平,见表 1。

表 1　铝合金活塞的力学性能

Table 1　Mechanical properties of aluminium alloy piston

工艺方法	材料牌号	热处理状态	抗拉强度 σ_b/ MPa	伸长率 δ /%
铸造	ZL109	淬火+时效	≥250	
模锻	4A11	淬火+时效	310～330	1.3～3.8
液态模锻	ZL109	淬火+时效	300～360	0.5～2.4

2) 成形性高。液态铝合金的流动性比固态时高,金属流动时不受任何阻力,能均匀地充填模膛,故可生产形状复杂的薄壁零件。

3) 成品率高。液态模锻时,加工温度比铸造时低得多,制件在模内收缩小,并又受三向压应力的影响,故不会形成气孔与显微疏松等缺陷。

4) 材料利用率高。与模锻相比,由于没飞边及实心孔所损耗的金属材料,故材料利用率可达 95% 以上。若与压铸工艺相比,液态模锻工艺不需要设置浇口套、喷嘴、浇注系统等辅助消耗的金属材料(占制件的 20%～30%)。

5) 模具结构简单且费用低。与模锻相比,省去了切边模及冲孔模;与压铸工艺相比,由于没有浇口套、喷嘴、浇注系统等结构,使液态模锻的模具比压铸模大为简化、紧凑,故明显降低模具加工费用。

6) 设备投资小。模锻工艺要采用热模锻压力机或摩擦压力机等投资较高的设备。压力铸造需要专门的压铸机,设备投资昂贵,而液态模锻可用专用油压机,也可用通用油压机,设备投资较小。这对于推广和应用液态模锻工艺是一个极为有利的因素。

7) 产品成本低。由于大大提高了产品的材料利用率,显著降低了设备投资和模具费用,以及减少加热所消耗的热能,故产品成本比其他工艺降低 30%～40%。

3　液态模锻的应用实例[4-6]

用液态模锻代替压力铸造或普通模锻生产各种铝合金零件,具有成品率高,材料利用率高及成本低等特点。铝合金壳体用固态模锻、压力铸造、液态模锻等 3 种成形方法的工艺参数对比见表 2。ZL101 铝合金轿车轮毂用低压铸造、压力铸造、液态模锻等 3 种成形方法的力学性能比较见表 3。固态模锻、压力铸造及液态模锻等 3 种成形方法技术经济指标的比较见表 4。

表 2　固态模锻、压力铸造、液态模锻等 3 种成形方法的工艺参数对比

Table 2　Contrast of technological parameters of three forming methods for die forging of solid state, pressure casting and liquid die forging

工艺方法	毛坯供应状态	毛坯加热(或熔化)温度/℃	模具预热温度/℃	毛坯变形的状态	成形用的设备	成形压力/MPa
固态模锻	铝棒	450	250	塑性状态	热模锻压力机	100～120
压力铸造	铸造铝合金	700～740	250～300	液态	压铸机	200～500
液态模锻	铸造铝合金或变形铝合金	700～740	250～300	糊状(或半固态)	液压机	50～150

表 3 轿车轮毂 3 种成形方法的力学性能比较

Table 3 Contrast of mechanical properties for three forming methods of car hub

工艺方法	抗拉强度 σ_b/MPa	屈服强度 σ_s/MPa	伸长率 δ/%	F 标洛氏强度(HRF)
低压铸造淬火＋人工时效	155～251	126～212	2.4～2.8	60～92
压力铸造铸态	147	97	1.7	60～70
液态模锻淬火＋人工时效	303～338	237～268	6.0～15.8	84～90

表 4 固态模锻、压力铸造及液态模锻等 3 种成形方法技术经济指标的比较

Table 4 Contrast of technological economical quota for three forming methods of die forging of solid state, pressure casting and liquid die forging

工艺方法	制件材料	制件复杂程度	最小壁厚/mm	尺寸精度	表面粗糙度 Ra/μm	材料利用率/%	制件内部质量	平均生产率/(件·h^{-1})	设备费用	模具费用	模具寿命	对工人的技术要求
固态模锻	各种变形合金	简单	3	IT10～IT12	6.3～1.6	60～70	组织致密,晶粒细,力学性能高	300	高	高	低	中
压力铸造	部分变形合金	复杂	1.5	IT8～IT9	1.6～0.8	80	易产生气孔,疏松,力学性能高	200	中	略高	中	高
液态模锻	各种铸造合金及变形合金	较复杂	＞2	IT8～IT9	1.6～0.4	＞95	组织较致密,晶粒较细,力学性能接近锻件水平	60～100	低	中	高	低

4 结语

目前,各行业的零部件,尤其是轿车、摩托车等的零件向轻量化方向发展。世界各国逐渐用铝合金代替钢质材料的系统工程研究是今后长时间需要解决的问题。铸造技术和模锻技术有机结合成先进的液态模锻成形工艺,简化了生产工序,提高了产品质量和合格率,减少了设备投资,降低了产品成本,特别适合于形状复杂,带有多孔或台阶形状制件的成形,是一种适用性较广,推广价值较大的新工艺。

参考文献:

[1] 毛卫民. 半固态金属成形技术[M]. 北京:机械工业出版社, 2004:246－248.

[2] 罗守靖,陈炳光,齐丕骧. 液态模锻与挤压铸造技术[M]. 北京:化学工业出版社,2007:6－7, 370－372.

[3] 洪慎章. 特种成形实用技术[M]. 北京:机械工业出版社,2008:200－290.

[4] 赵祖德,罗守靖. 轻合金半固态成形技术[M]. 北京:化学工业出版社,2007:126－171.

[5] 洪慎章. 现代模具工业的发展趋势及企业特征[J]. 航空制造技术,2003(6):28－30.

[6] 洪慎章. 汽车铝合金零件液态模锻[J]. 锻造与冲压,2007(1):50－52.

(上接第 55 页)

随着模具相对间隙的减小而增大。

3) 工件的断面光亮带比例随着压边力和反顶力的增加而增加。

4) 要达到比较高的断面光亮带在剪切面中的比值,材料塑性越好、模具间隙越小,所需压边力和反顶力越大。

5) 平面压边精冲对工件的外周有很明显的加工硬化作用,而心部的强度不变,这对于以后的研究有积极的指导作用。

参考文献:

[1] 涂光祺. 精冲技术[M]. 北京:机械工业出版社,1990:337－339.

[2] 周志明,张驰. 材料成形原理[M]. 北京:北京大学出版社,2011:323－335.

[3] 杨立平. 常用金属材料手册[M]. 福建:福建科学技术出版社,2006:550－582.