

# 挤压铸造方式对 ZA43合金力学性能的影响

沈阳工业大学 于海朋\* 张尚洲 李荣德 于宝义 孙立涛

**摘要** 从合金液的流动和压力损失的角度,研究了两种挤压铸造方式对 ZA43合金力学性能的影响。结果表明:冲头式挤压铸造使合金液反向充型流动,改善了 ZA43合金的凝固条件,有利于补缩,且压力损失小。柱塞式挤压铸造虽然也加强合金液流动,但没有宏观的充型运动,且压力损失大。为获得高塑性 ZA43合金铸件,柱塞式挤压铸造所需的比压比冲头式挤压铸造的大得多。

**关键词:** 挤压铸造 ZA43合金 力学性能 比压

## Influence of the Patterns of Squeeze Casting on Mechanical Properties of ZA43 Alloy

Yu Haipeng Zhang Shangzhou Li Rongde Yu Baoyi Sun Litao  
(Shenyang University of Technology)

**ABSTRACT** The effects of two patterns of squeeze casting on mechanical properties of ZA43 alloy were investigated through the analysis of alloy liquid flow and pressure loss. The results show: punch squeeze casting results in converse flow of alloy liquid, which improves solidification condition of ZA43 alloy and avails to eliminate porosity, and makes less pressure loss during the process, while plunger squeeze casting also enhances flow of alloy liquid, but there is no macro-flow, and pressure loss is higher. To achieve ZA43 alloy castings with high plasticity, specific pressure of plunger squeeze casting is much higher than that of punch squeeze casting.

**Key Words** Squeeze Casting, ZA43 Alloy, Mechanical Properties, Specific Pressure

近年来,高铝锌合金发展很快,应用范围逐渐扩大。铝锌合金在一般铸造条件下易出现缩孔缩松等缺陷,其塑性低,韧性差,限制了其应用。挤压铸造是在机械压力的作用下,进行充型、凝固、补缩和塑性变形的过程,从而获得力学性能优良铸件的一种工艺方法。按挤压力对液态金属的作用形式,可将挤压铸造分为直接挤压铸造

和间接挤压铸造两大类<sup>[1]</sup>。高径比较小时,文献[2]推导了挤压铸造的临界比压公式。本文研究了直接挤压铸造中柱塞式挤压铸造和冲头式挤压铸造两种挤压铸造方式对 ZA43合金力学性能的影响,并从合金液流动和凝固补缩的角度探讨了两种挤压铸造方式的过程原理,分析了两种挤压铸造方式的临界比压。

\* 于海朋,男,1945年出生,教授,沈阳工业大学材料强度研究室,沈阳市铁西区兴华南街 58号(110023) 收稿日期:1999-09-05

金成形有明显影响。过低,合金极易凝固,所需单位压力大;过高,易产生缩孔。必须指出,挤压铸造合金的浇注温度要比砂型浇注温度高。一般希望把浇注温度控制在比较低的数值,因为挤压铸造时希望消除气孔、缩孔和疏松。在浇注温度低时,气体易于从合金熔液内部逸出,极少留在金属中,易于消除气孔。此外,也可减少缩孔形成机会,同时由于浇注温度较低,金属溢出较少,可减少毛刺。对本车轮挤压铸造的浇注温度选用 720~740℃为最合适。

(7) 润滑剂 润滑剂的作用是保护模具,提高铸件表面质量和便于从模具内取出铸件。采用机油石墨润滑剂,即 5% 的 200~300 目的石墨粉加入到 95% 机油中,搅拌均匀即可。用喷枪喷涂在模具型腔表面上,其厚度为 0.05~0.1 mm,过厚会影响铸件表面质量。

(8) 冷却 挤压铸造卸压后,一般应立即脱模,故

铸件的出模温度较高。为了防止高温的铸件空冷时在薄壁与厚壁交界处产生裂纹,应将出模后的铸件立即放入砂堆中,待冷却到 150℃以下时再取出空冷。

## 4 结 论

在汽车、摩托车及自行车等交通工具零件生产中,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。铸造技术和热锻技术有机结合,形成先进的挤压铸造成形工艺,在技术上和经济上明显优于压力铸造工艺。它特别适合于形状复杂、带有多孔或台阶形状类零件的成形,是一种具有较宽的适用性、较大推广价值及很有发展前途的工艺。

### 参 考 文 献

- 1 上海交通大学锻压教研室. 液态模锻. 北京: 国防工业出版社, 1981. 70~82
- 2 洪慎章. 国内外铝合金液态模锻的发展与展望. 机械制造, 1999(3): 12~13

(编辑: 袁振国)

# 1 试验条件及方法

在 1 000 kN 液压机上进行挤压铸造。柱塞式挤压铸造  $\phi 40 \text{ mm} \times 120 \text{ mm}$  的圆棒, 冲头式挤压铸造  $\phi 90 \text{ mm} \times \phi 60 \text{ mm} \times 120 \text{ mm}$  的筒形件。在石墨坩埚电阻炉内熔炼 ZA43 合金, 合金基本成分 (质量分数) 为: 43% 的 Al, 1.6% 的 Cu, 0.02% 的 Mg, 其余为 Zn。柱塞式挤压铸造工艺参数为: 比压 150~750 MPa, 模温 140~180°C, 浇温 620~640°C, 保压时间 35 s。冲头式挤压铸造工艺参数为: 比压 75~150 MPa, 保压时间 25 s, 其余参数同前。冲头式挤压铸造从铸件的本体截取长方形试块, 柱塞式挤压铸造出  $\phi 40 \text{ mm}$  圆棒, 二者均加工成直径 10 mm 标距 50 mm 的标准拉伸试样。

# 2 试验结果

柱塞式挤压铸造和冲头式挤压铸造 ZA43 合金力学性能如表 1 所示。从表 1 可知, 挤压铸造 ZA43 合金的力学性能较金属型铸造显著提高。在 150 MPa 比压下, 冲头式挤压铸造的力学性能明显优于柱塞式挤压铸造。柱塞式挤压铸造的比压为 250 MPa 时, 抗拉强度 440 MPa, 伸长率 8%。当比压增加到 500 MPa 时, 抗拉强度达到 450 MPa, 伸长率 16%。进一步增加比压, 强度、硬度略有增加, 伸长率却有所下降。冲头式挤压铸造的比压为 100 MPa 时, 伸长率为 16%; 比压为 150 MPa 时, 抗拉强度达 415 MPa, 伸长率提高到 19%。由此说明获得高塑性的 ZA43 合金铸件, 柱塞式挤压铸造需要的比压较冲头式挤压铸造大得多。

表 1 不同成型条件下 ZA43 合金的力学性能

Table 1 Mechanical properties of ZA43 alloy at various patterns of squeeze casting

成型方式	比压 /MPa	$\sigma_b$ /MPa	$W_5$ /%	HBS
金属型铸造	0	325	1.5	97
	150	360	5.5	98
柱塞式挤压铸造	250	440	8.0	112
	375	445	8.5	116
	500	450	16.0	116
	750	455	14.5	118
	75	345	4.5	98
冲头式挤压铸造	100	385	16.0	104
	125	400	17.0	105
	150	415	19.5	115

# 3 分析讨论

## 3.1 两种挤压铸造方式下合金液的充型及凝固过程

柱塞式挤压铸造合金液不发生宏观的充型运动, 但加强了合金液的流动, 其凝固过程可由图 1 表示。合金液浇入凹型后, 形成一薄的敞口凝固层 (图 1a), 冲头下

端面接触合金液后迅速形成一薄凝固层 (图 1b)。而后冲头开始加压 (图 1c), 合金液承受来自侧面凝固层塑性变形传递的压力, 凝固区域受到来自液相区和固相区的压力。凝固收缩时, 合金液在压力的作用下进行凝固补缩促进了枝晶间合金液的流动。同时凝固前沿向中心推移, 直到凝固结束 (图 1d)。ZA43 合金结晶温度范围宽, 枝晶间补缩较困难。

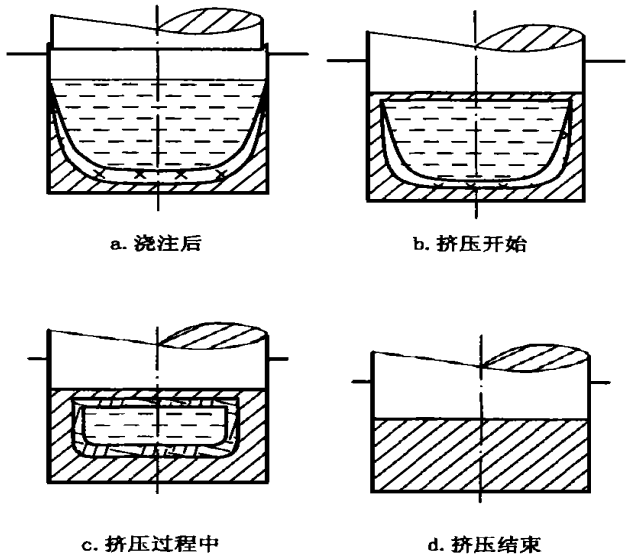


图 1 柱塞式挤压铸造合金液的凝固过程  
Fig. 1 Solidification process of alloy liquid in plunger squeeze casting

冲头式挤压铸造发生部分合金液的充型运动, 其充型及凝固过程可由图 2 表示。合金液浇入型腔后, 也迅

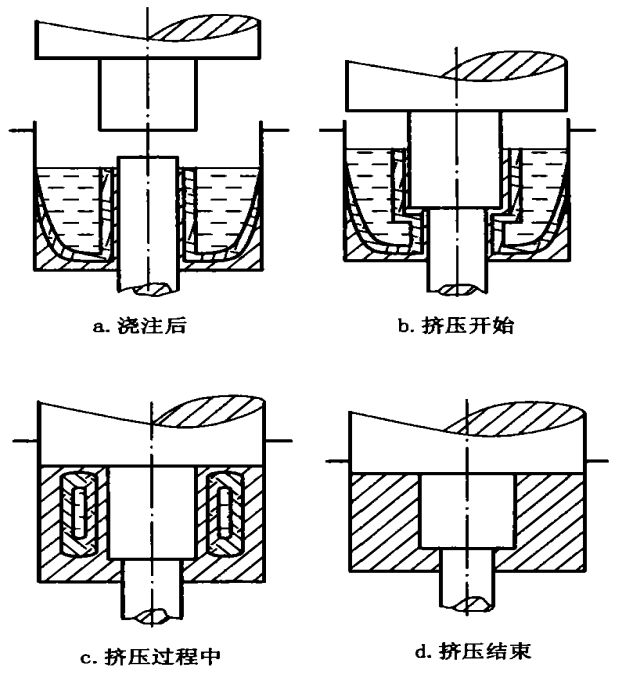


图 2 冲头式挤压铸造合金液的流动及凝固过程  
Fig. 2 Flow and solidification process of alloy liquid in punch squeeze casting

即形成一薄凝固层(图 2a)。冲头下端面接触合金液后开始充型运动(图 2b),冲头和型壁之间的型腔成为合金液流动的通道。合金液在冲头作用下,在通道内反向于加压方向产生强烈的流动。合金液上升到与上模壁接触后,被迫向下折转形成铸件的上端面。冲头一侧合金液流动的同时,凹型壁面凝固层前沿的合金液也在冲头的作用下反向流动,其速度慢,两股液流在高于原合金液自由表面对接而上。如果模温和浇温高,则熔合在一起,反之在铸件外周形成冷隔。充型过程中,由于合金液强烈流动的结果,使得浇注时形成的自由凝固层被冲刷,有利于枝晶熔断、脱落;同时由于 ZA43 合金凝固区域宽,加剧了这一过程的进行,从而改变了 ZA43 合金的凝固特性。合金液在冲头正压力和侧压力的作用下凝固(图 2c),合金液沿着型壁和冲头侧面相对向壁厚中心推移,合金液也在压力作用下进行凝固补缩,直至凝固结束(图 2d)。

### 3.2 两种挤压铸造方式的临界比压

挤压铸造的临界比压指实现完全补缩所需的比压。它主要包括挤压铸造过程中克服凝固壳层的塑性变形抗力及塑性变形使冲头和凹型与上、下凝固层接触表面、冲头位移使型芯壁与凝固层接触表面、型壁侧向压应力使型壁与凝固层接触表面等产生的摩擦阻力所造成的压力损失。经推导<sup>[3]</sup>得出两种挤压铸造方式的临界比压表达式

柱塞式挤压铸造圆柱形铸件,凝固层由型壁向中心推移,其临界比压( $P_{01}$ )为:

$$P_{01} = \epsilon_s \left[ 1 + \frac{2}{3m_1} + \frac{2(k_1^2 - 1)m_1}{k_1} \right] \exp(4 km_1) \quad (1)$$

柱塞式挤压铸造圆筒形铸件,凝固层分别由型壁向内和模芯表面向外相对向壁厚中心推移,忽略内外表面散热条件的差异,最后凝固部位在壁厚中心。则其临界比压( $P_{02}$ )为:

$$P_{02} = \epsilon_s \left[ 1 + \frac{1}{2m_2} + \frac{(k_1^2 - 1)m_2}{k_1} \right] \exp(2 km_2) \quad (2)$$

冲头式挤压铸造圆筒形铸件,内冲头与凝固层同时下移,且可从侧面传递压力,压力损失小。其临界比压( $P_{03}$ )为:

$$P_{03} = \epsilon_s \left[ 1 + \frac{1}{2m_2} + \frac{k_1^2 - 1}{k_1(1 + k_2)} \frac{m_2}{1 + k_2} \right] \exp \frac{2 km_2}{1 + k_2} \quad (3)$$

式中  $\epsilon_s$ ——合金材料高温屈服强度,除了合金本身外还与凝固壳层内平均温度有关

$m_1, m_2$ ——圆柱形和圆筒形铸件高度与壁厚之比(简称高厚比),其中  $m_1 = \frac{h}{D}, m_2 =$

$$\frac{2h}{D-d}$$

$k_1$ ——挤压铸件的密实密度  $d$  与合金液的密度

$d$  之比,  $k_1 = \frac{d}{d_1}$

$\mu$ ——铸型型壁与凝固壳层接触面的摩擦系数

$k$ ——型壁侧向压应力与正向压应力之比

$k_2$ ——圆筒形铸件内、外径之比,  $k_2 = \frac{d}{D}$

由式(1)、式(2)和式(3)可知,挤压铸造铸件的高厚比对临界比压的影响特别大,随着高厚比的增大,压力损失急剧增加,因而需要更大的比压。因此在  $0.25 \leq m_1$  (或  $m_2 \leq 0.5$ ) 时,可忽略压力损失的影响,但在  $m_1$  (或  $m_2$ )  $> 1$ , 压力损失的影响不能忽略。

比较式(1)和式(2)可知,高厚比( $m_1 = m_2$ )相同时,柱塞式挤压铸造圆柱形铸件的临界比压比圆筒形铸件大。比较式(2)和式(3)可知,冲头式挤压铸造的临界比压较柱塞式挤压铸造小。根据试验数据, $k$ 值的范围为  $0.1 \sim 0.3$ 。考虑到挤压铸造方式对凝固过程的影响,实际上柱塞式挤压铸造的临界比压比冲头式挤压铸造大得多。对于柱塞式挤压铸造圆柱形铸件  $k$  取上限值,冲头式挤压铸造圆筒形铸件  $k$  取下限值,柱塞式挤压铸造圆筒形铸件的  $k$  值介于两者之间。

## 4 结 论

(1) 冲头式挤压铸造在较低比压时即可获得高塑性的铸件,柱塞式挤压铸造则需很大的比压才可得到较好塑性的铸件。

(2) 冲头式挤压铸造形成合金液的强烈流动,有利于枝晶熔断、脱落,改善了凝固条件。柱塞式挤压铸造虽然也加强了合金液流动,但没有宏观的充型运动。因而对凝固温度范围宽的 ZA43 合金,要实现完全补缩,柱塞式挤压铸造需更大的比压进行凝固补缩。

(3) 从推导的两种挤压铸造方式的临界比压表达式可知,高厚比对临界比压的影响很大。在高厚比相同时,柱塞式挤压铸造的临界比压大于冲头式挤压铸造,圆柱形铸件的临界比压大于圆筒形铸件。

### 参 考 文 献

- 1 齐丕骥. 挤压铸造. 北京: 机械工业出版社, 1984.
- 2 罗守靖. 钢质液态模锻. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1990.
- 3 张尚洲. 挤压铸造 ZA43 合金的研究. [硕士学位论文]. 沈阳: 沈阳工业大学, 1999.

(编辑: 袁振国)