

# 铝合金轮毂等温模锻的工艺特点\*

六二一所 崔健 刘建宇 王贤民 金建军  
三〇〇七厂 夏诚敬 卢旋玑 马振江 汪有生

## 摘 要

本文通过试验研究确定了合理的等温模锻工艺参数并研制成用于此工艺的IFA-86润滑剂,因而成功地锻成飞机机轮LD10铝合金轮毂,与铸镁轮毂相比,使用寿命增长数倍。

## 一、前 言

飞机轮毂的使用寿命关系到飞机的安全性能,为提高轮毂的使用寿命,国内外开展了大量的研究工作。但是因轮毂零件的形状复杂,加工性能不好,给制造工艺带来很大困难。目前使用的铸造轮毂,其使用寿命较短,仅数百个起落。而国外飞机已使用锻造轮毂,美国采用超塑性等温模锻工艺生产出大型钛合金轮毂<sup>[1]</sup>。国内试验表明,采用锻造工艺生产的飞机轮毂的试验寿命可达6000个起落以上。

用锻造的方法生产飞机轮毂在技术上难度很大,目前国外也只有少数几家公司具有这种能力。首先是形状复杂,用普通模锻的方法很难锻出形状尺寸接近于零件的锻件;其次是设备的能量、毛坯形状、润滑剂等技术问题。采用等温模锻工艺,难度也很大。尽管国内外对铝合金超塑性及等温模锻进行了大量的研究工作<sup>[2,3]</sup>,可是大多局限于板材的吹塑成形及小型锻件的研制,尚未使这项新兴的工艺在铝合金大型复杂锻件领域中发挥优势。应用等温模锻工艺锻制轮毂,其难度主要反映在锻件形状复杂、金属流动的分布不均、变形量大、成型和脱模困难、需要适合于等温模锻的新型润滑剂。当然,合理工艺参数的选择也是至关重要的。

我们通过对工艺参数的研究、新型润滑剂的试制及轮毂锻件成型工艺的研究,在国内首次成功地锻制出近 $4\phi 00\text{mm}$ 的轮毂等温锻件,

性能达到航标要求,并投入小批量生产。预计采用等温模锻工艺生产的飞机轮毂的使用寿命将达到1500个起落以上,经济效益非常显著。

## 二、试验方法

飞机轮毂所用材料为LD10铝合金,其等温模锻锻件示意图如图1所示,D面为非加工面。等温模锻试验在1000吨油压机上进行。为了降低锻件成本和缩短研制周期,我们采用了电阻丝加热装置。把毛坯放入H75型电炉中加热到所需锻造温度,然后放入已预热到锻造温度的模具中进行等温模锻,一火成型出轮毂锻件。

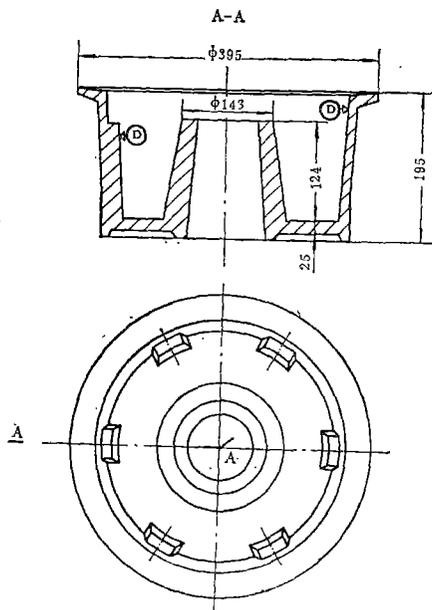


图 1

\*参加本项工作的还有关保山、徐淑文同志,特此致谢。

由于等温模锻工艺的特点,要求润滑剂在高温高压下仍能正常工作,在足够长的工作时间内不失效。普通模锻用润滑剂不能满足这些要求,会产生粘模、金属充不满型腔、锻件脱不了模等一系列问题。因此,能否锻制出轮毂锻件,润滑剂就成了工艺成败的关键。我们研制了新型润滑剂,选用了新型粘结剂和脱模剂,实际使用证明效果良好,使锻件非加工面的光洁度达到零件要求。

通过试验研究,逐步解决了技术关键,终于锻制出合格的LD10铝合金轮毂锻件,其性能达到锻件的航标要求,并开始投入小批量生产(图2)。

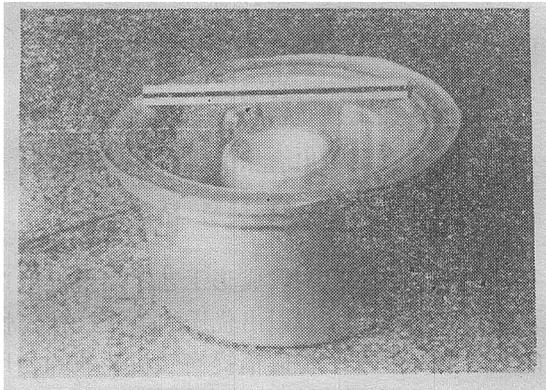


图2 轮毂等温模锻件外观

### 三、问题讨论

1.一般来说,等温模锻所需的变形抗力只有普通模锻的 $1/5 \sim 1/10$ ,但对于铝合金,情况就不是这样了。从LD10合金的塑性图可知,在 $460^{\circ}\text{C}$ 时,其 $\sigma_s$ 大约为 $58.8\text{MPa}$ ,这与我们锻制轮毂时的变形抗力大致相符。变形速度对于铝合金变形抗力的影响主要与其合金化有关,当从低变形速度过渡到高变形速度时,合金变形抗力增长 $0.5 \sim 2$ 倍<sup>[4]</sup>。此外,普通模锻锻制铝合金锻件时的工艺与等温模锻工艺相比,在锻造温度(包括模具温度和毛坯温度)方面差别不是很大,所以,采用等温模锻工艺,只能在一定条件之下减小锻件的变形抗力,但可以获得比普通模锻高得多的塑性。

2.锻造工艺参数主要是变形温度、变形程度、变形速度、应力状态等。等温模锻无温降,可慢速变形成型锻件。因此,等温模锻工艺的关键是选择一个合适的温度,充分发挥金属的塑性甚至超塑性,以达到工艺目的。LD10合金的锻造温度范围一般为 $380 \sim 480^{\circ}\text{C}$ 。一般理解在锻造范围内,从发挥塑性考虑,似乎应取变形温度的上限。可是,当取上限变形温度时,锻件内部组织容易粗大,等温模锻件一般形状复杂,金属在变形过程中流动剧烈,易产生变形热效应而发生过热。组织粗大或过热将影响锻件的性能,尤其影响疲劳性能。另外,从外摩擦的情况分析,铝合金在高温变形时容易粘模。在等温模锻工艺过程中,锻件在较长时间内处于高温高压状态,其内部晶粒是否会会长大,还有待于今后进一步的研究。总之,对于超塑性等温模锻来说,其变形温度的下限一般为<sup>[5]</sup>

$$T = 0.5T_m$$

其中  $T$ ——超塑性变形的下限温度;

$T_m$ ——合金熔点的绝对温度。

对于等温模锻来说,一般是在设备能量许可的前提下,以选择较低的锻造温度为好。

3.由于锻件形状复杂,选择什么样的毛坯形状是至关重要的。经验表明,毛坯的形状、尺寸直接关系到金属的流动和锻件各部位的充填状况。通过反复试验和优选,我们终于确定了毛坯的最后形状和尺寸。若毛坯的尺寸和形状不合适,则会在锻件内孔壁上产生折叠(图3a)或轮缘部分充不满(图3b),锻不出轮毂锻件。

4.轮毂类锻件由于其结构特点,要求设计人员在设计轮毂零件时考虑锻造工艺特点,某些结构参数可做适当的修改,这样有利于轮毂锻件的成形、降低所需的设备能量、改善变形中金属流动的分配。图4所示为轮毂结构参数对锻件造成的影响。从图中可以看出,轮毂法兰圈由于金属流动的不均匀已成为六边形,同时也因圆角小而产生折叠趋势。虽然等温模锻能够充分发挥金属的塑性,但遇到这种情况,

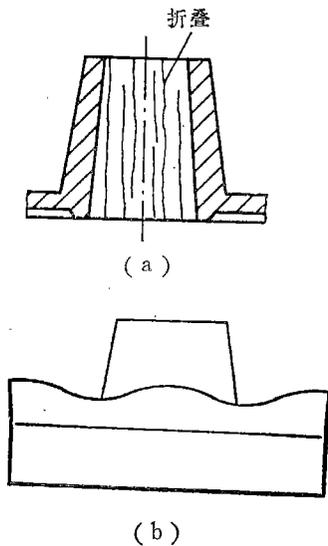


图3 毛坯对锻件充填的影响

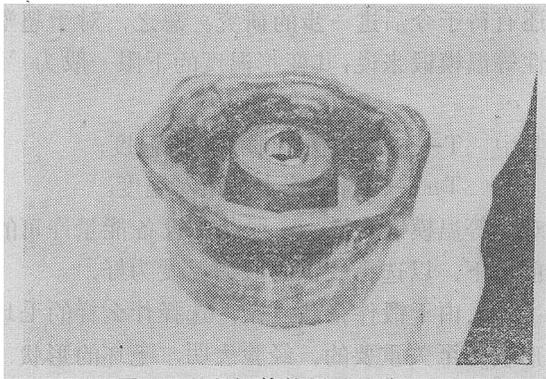


图4 轮毂锻件的折叠缺陷

也只好修改锻件图,以满足工艺上的要求。

5.从毛坯到整个锻件的成型,金属经过剧烈的流动。因此,需要适合于本工艺的新型润滑剂。否则,金属充不满型腔,同时出现锻件粘模,脱不了模,造成整个工艺失败。新型润滑剂与现有的热模锻润滑剂不同之处是增选了新型粘结剂,并增加了脱模剂。此外,石墨和二硫化钼的比例也非常重要。通常人们使用石墨或二硫化钼作为润滑剂时,总是单独使用二者之一。研究表明<sup>[6]</sup>,当石墨和二硫化钼的比例略低于3:2时,在400℃左右可获得非常低的摩擦系数,也就是说石墨和二硫化钼之间存在着交互作用。当往毛坯和模具上喷涂润滑剂时,由于新型粘结剂的作用,喷涂的润滑剂就在毛

坯和模具上均匀地形成了一层润滑薄膜,可提高润滑剂的润滑效果,避免普通模锻用润滑剂在使用时易脱落、不适用于大变形的缺陷。国外等温模锻用的润滑剂都属于技术保密项目,我们使用的这种配方属于新研制的产品。目前的石墨和二硫化钼润滑剂只能适用于小型铝合金等温锻件,而对形状复杂的大型轮毂锻件是不适用的。试验表明,我们新研制的IFA-86型润滑剂经受住了考验,达到了预期的效果。

6.等温模锻条件下金属变形的特点与普通模锻不同,金属在等温慢速变形的过程中,由于较长时间处在高温高压的条件下,因此,金属的变形过程为:

再结晶  
变形→加工硬化——→软化→  
再结晶  
变形→加工硬化——→软化→  
变形→直至锻出合格的锻件。

## 四、结 论

1.复杂大型的轮毂成形工艺采用等温锻造工艺是合理的,并能锻出优质的等温锻件,性能达到航标要求,将成倍提高飞机轮毂的使用寿命。

2. IFA-86型润滑剂能够满足铝合金等温模锻工艺的要求,解决了锻制轮毂锻件的关键问题。

### 参考文献

- [1] Altan, T, Metals and Ceramics Information Center, October 1973, P.224~226.
- [2] Kalpin, Kuznechno-Shtampov, 1979, 2, P.12~14.
- [3] Backofen, W., ASM, 57(4), December, 1964.
- [4] 科尔涅叶夫, 有色金属锻造与模锻手册, 国防工业出版社, 1981, P.10, 76~77.
- [5] 刘国勋, 金属学原理, 冶金工业出版社, 1980, 7, P.213~215.
- [6] Fisher, F.G., Cron, A.D. and Huber, R.G., NLGI Spokesman, 1982, 9, Vol. XLVI, No.6, P.190~193.