

MB15 镁合金上机匣的等温精锻工艺^①

薛克敏 郝南海 徐福昌 王 真 吕 炎

(哈尔滨工业大学材料科学与工程学院, 哈尔滨 150001)

摘 要 上机匣为直升机传动系统中的关键零件, 几何形状复杂, 性能指标要求高, 成形难度大。采用纯铅为模拟材料, 对上机匣成形方案进行了试验研究, 确定了上机匣等温精锻成形分制坯、终锻、精整三个工步。通过对 MB15 镁合金塑性图的分析, 确定其变形温度范围为 350~ 380 ℃。制坯、终锻时的变形温度取 380 ℃, 以便金属充填模膛; 精整时的变形温度取 350 ℃, 以提高锻件力学性能。为保证锻件几何精度, 采用锻后直接人工时效的热处理方案(164 ℃时效 24 h)。利用等温精锻工艺成功地锻制出上机匣锻件, 锻件的力学性能、显微组织和尺寸精度均符合要求。

关键词 MB15 镁合金 等温精锻 上机匣

中图法分类号 TG319

MB15 镁合金上机匣为某型号直升机传动系统中的关键部件, 在飞机整个飞行过程中始终承受着巨大的负荷, 其锻件形状如图 1 所示。该件几何形状复杂, 沿周向有不均匀的体积分布, 径向加强筋窄而高, 最大高宽比达 9.2。组织性能方面, 要求晶粒细小均匀, 锻件各部分的力学性能达到规定的指标。此外, 由于使用时零件四个凸耳起传递扭矩及拉力的作用, 要求凸耳处金属流线沿其外形分布, 不得在该处设置分模面, 因此锻件的成形十分困难。若采用普通模锻工艺锻造该件, 由于模具预热温度低, 薄筋处金属降温较快, 金属流动应力增大, 充填模腔的阻力随之增大, 型腔难以充满, 且不均匀的变形易导致锻后粗大的再结晶组织。等温精锻是近年来得以广泛应用的塑性成形新工艺, 该工艺由于减少或消除了模具激冷和材料应变硬化, 可减小变形抗力, 简化成形过程, 提高锻件精度及性能^[1-3]。为保证上机匣顺利成形及晶粒组织细小均匀, 本文采用等温精锻的方法, 并在模具结构设计、工艺方案制定等方面采取了相应的措施, 成功地锻制出合格的锻件。

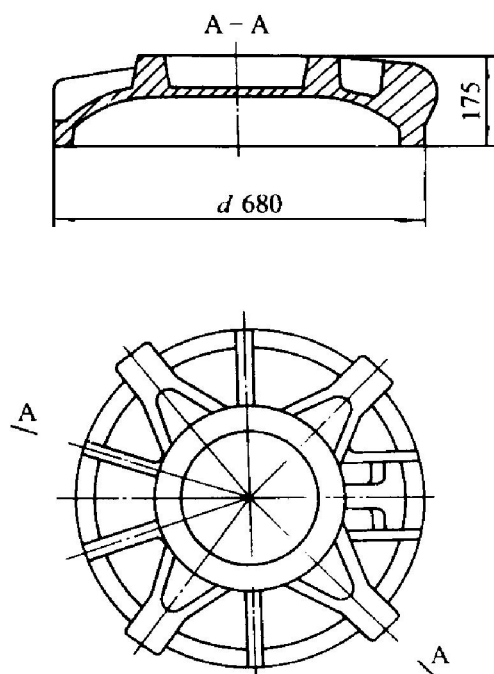


图 1 上机匣锻件图

Fig. 1 Geometry of upper casing forging

1 坯料加热

在等温模锻工艺中, 坯料的加热温度是影

① 收稿日期: 1996- 11- 12; 修回日期: 1997- 03- 10 薛克敏, 男, 34 岁, 副教授, 博士

响锻件成形和质量的重要因素。如果锻前坯料的加热温度过高,则坯料会因过热或局部过热而形成粗晶组织。相反,如果锻造温度过低,则坯料的变形抗力增大,而且锻后会产生不完全的再结晶组织,使锻件在固溶处理后出现粗晶组织,这些都是不允许的。因此,为了保证锻件质量,必须正确地选择坯料的加热温度。MB15是一种 Mg-Zr-Zr 系高强度镁合金,图2是其塑性图^[4],该图表明:MB15 静态变形时(在液压机上)的高塑性温度范围在 200~450 °C之间,而在 350~450 °C之间塑性更佳。但是考虑到该合金在低温时的塑性低、变形抗力大,高温时的过热倾向较大,本文将坯料的加热上限温度定为 380 °C。

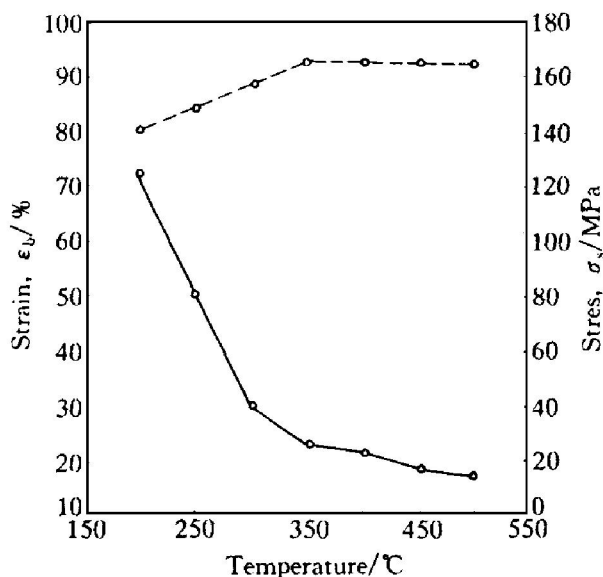


图2 MB15 镁合金塑性图^[4]

Fig. 2 Plasticity diagram of MB15 magnesium alloy^[4]

由于坯料几何尺寸较大($d 680 \text{ mm} \times 90 \text{ mm}$),为使坯料各部分温度均匀,在箱式电炉内设置一铁罩,将其扣在坯料上一同加热,并合理地控制加热时间,炉温通过控温仪表来实现自动控制,控制精度为 $\pm 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

2 模具结构设计

上机匣等温精锻模具采用了镶块结构,如

图3所示,分模面沿锻件底面设置。为脱模需要,四个凸耳处设置四个镶块,镶块与下模为滑动配合。实际锻造时,为防止多余金属流向飞边导致镶块向上错移,在镶块上设置塑性垫并借助上模将其压紧在原位上。

等温精锻时,除了坯料应按规定要求加热外,还应对模具预热。本文使模具预热温度与锻造温度相同并采用电阻加热,沿模具内部设置贯通的加热孔(如图3中3所示),其内设置电阻丝并套以瓷管绝缘,模具外表面包裹硅酸铝纤维毡以防止散热。

模具加热功率按下式计算:

$$W = (W_1 + W_2 + W_3) \times 1.1$$

式中 W_1 为模具本身升温所消耗的热功率, W_2 为模具外表面散失的热功率, W_3 为上下模开口缝隙处散失的热功率。

经过计算,上机匣模具的加热功率取 50 kW。

模具加热温度的测量是通过插在上、下模测温孔内的热电偶进行的,测得的温度通过数字显示仪显示,并由温控器自动控温。

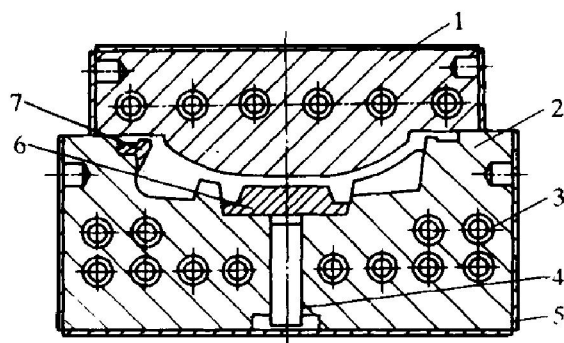


图3 模具结构图

Fig. 3 Die Structure

- 1—Upper die; 2—Lower die; 3—Heater;
4—Eject pin; 5—Heat insulator; 6—Eject block;
7—Insert block

3 工艺方案确定

利用模拟材料进行物理模拟是了解塑性变形时金属流动规律的有效方法^[5-8], MB15 在

380 ℃下的变形抗力与纯铅在室温下的相近,因此在等温精锻上机匣的研制过程中,利用纯铅进行了多种方案的试验,现介绍两种:

(1) 利用原始坯料直接模锻成形

图 4 为直接模锻成形方案简图。此时金属变形的流动大致分为两个阶段:

第一阶段: 由上模冲头下端与坯料接触开始至坯料下端与下模模膛接触止(图 4 中右半图)。这个阶段坯料处于弯曲变形状态,相当于简单的预制坯变形,仅有极少量金属充填模膛。

第二阶段: 由第一阶段结束(坯料下端与下模模膛接触)开始至飞边形成、模压力达到设备额定压力止(图 4 中左半图)。这个阶段是模压变形过程,在模压变形初期有少量金属充填四个凸耳、高筋及底面法兰部分。由于金属不断充填模膛使模膛中未充满部分的截面积不断减少,使金属继续充填所遇到的阻力急剧增大,使得较多的金属向流动阻力小的模膛外部流动,形成飞边。这些飞边一方面阻止了金属继续向模膛外部流动,使金属易于充填模膛,另一方面随着上模的不断压下,坯料与上模端面的接触面积不断增大,消耗在飞边部分的模压力越来越大,于是作用于冲头下端的力就越来越小,因此,凸耳、高筋及底面法兰部分的变形将更加困难,未充满的部分将更加难以充满。尽管采取了许多措施,如切除多余飞边、局部加载变形等,仍无法保证凸耳部分充满。同时,由于大量的金属涌入凸耳部分,使得工件凸耳相应处产生折叠(图 4 中 ii 处),可见此方案并不可取。

(2) 利用预制坯后的坯料模锻成形

通过方案(1)的试验、分析可知,应在模锻成形之前增加一预制坯工序,目的是分配金属,保证模锻时四个凸耳处有足够的金属充填,预制坯坯料形状见图 5。此方案经过多次试验,结果表明切实可行,因此所确定的上机匣的实际加工过程分为预制坯、终锻、精整三个工步,各工步之间进行酸洗修伤。精整的目的是修复因修伤造成的尺寸不足,保证锻件的

精度。

预制坯及终锻时的变形温度为 380 ℃,选取较高的锻造温度是为了提高材料的流动性,降低变形抗力,便于金属顺利充填模腔。精整时的变形温度取 350 ℃,选取较低的变形温度是为了提高锻后锻件的力学性能。锻造时,采用水基石墨作润滑剂。图 6 是采用该方案生产的锻件照片。

为获得较高的综合性能,需对上机匣进行锻后强化热处理,由于上机匣几何尺寸较大、形状复杂,如采用淬火+人工时效热处理规范,淬火后易变形,影响锻件几何精度。同时,由于 MB15 合金加工温度在 340~ 380 ℃之间,在此温度下合金中强化相已大部溶入基体,空冷后已能达到相当的过饱和程度^[9],因此本文

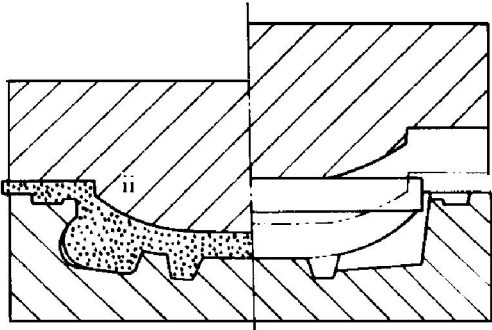


图 4 直接模锻成形方案简图

Fig. 4 Schematic diagram of direct forging

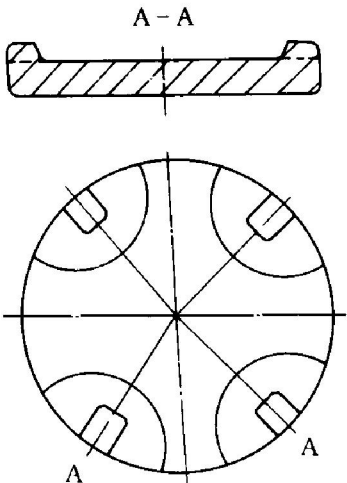


图 5 预制坯形状

Fig. 5 Geometry of pre-forming

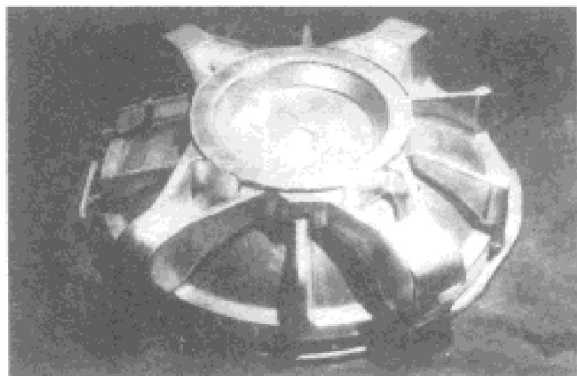


图6 上机匣锻件照片

Fig. 6 Photo of upper casing forging

采用了模锻后直接进行人工时效的热处理规范, 经过试验, 确定直接人工时效规范为: 164℃时效 24 h。

REFERENCES

1 Kudo H. Journal of Materials Processing Technology,

1990, 22: 307– 312.

2 Lange K. Journal of Materials Processing Technology, 1992, 35: 245– 257.

3 Kopp R. Journal of Materials Processing Technology, 1996, 60: 1– 10.

4 Su Zuwu(苏祖武) and Zhang Zhiwen(张志文). Forging Technology for Non-ferrous Metals(有色金属锻造). Beijing: Defence Industry Press, 1979: 86.

5 Harnes J and Wanhein T. Journal of Mechanical Working Technology, 1985, 12: 165– 171.

6 Anulf B, Lindqvist D and Lundin C. Journal of Mechanical Working Technology, 1985, 12: 149– 152.

7 Erman E, Medei N M, Rosech A R and Shan D C. Journal of Mechanical Working Technology, 1989, 19: 165– 174.

8 So H, Lin Y F and Huang K W. Journal of Materials Processing Technology, 1997, 66: 39– 48.

9 Lu Yan(吕炎). Control of Forging's Structure and Property(锻件组织性能控制). Beijing: Defence Industry Press, 1988: 306– 323.

ISOTHERMAL PRECISION FORGING OF MB15 MAGNESIUM ALLOY UPPER CASING

Xue Kemin, Hao Nanhai, Xu Fuchang, Wang Zhen and LuYan

School of Materials Science & Engineering,

Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, P. R. China

ABSTRACT Upper casing, as a key part in the driving system of helicopter, is difficult to be formed owing to its complex geometry and high demand for property. In order to design the forming process properly, the forming process of upper casing was investigated by the aid of physical modelling using pure lead. As a result, isothermal precision forging was adopted to form the upper casing and the forming process consists of three steps, pre-forming, final forging and ironing. Through the analysis of plasticity diagram of MB15 magnesium alloy, the forming temperature range was decided to be 350~ 380℃. The temperature for pre-forming and final forging was 380℃, which was helpful for the metal to fulfill the die cavity. The ironing temperature was 350℃, which raised the mechanical property of forging. For keeping the geometry precision of the forging, artificial aging was conducted directly after forming and the temperature and time were 164℃ and 24 h respectively. The upper casing was forged successfully with isothermal forging technique. Both the mechanical properties, microstructure and accuracy of forging can satisfy the requirements of the user.

Key words MB15 magnesium alloy isothermal forging upper casing

(编辑 彭超群)