

LF3 铝合金管自由电磁胀形工艺及其形状控制

吕宏军 王 琪

(航天材料及工艺研究所 北京 100076)

文 摘 研究了 LF3 铝合金管无模电磁胀形工艺及不同工艺参数对胀形形状的影响规律。结果表明, 放电能量、不同材料的保护管、放电频率及管坯成形长度对胀形形状有着显著影响, 通过调整 and 选择上述工艺参数, 可以控制圆管的胀形形状。成形管的中部形状为圆筒状, 随着变形能量和频率增大, 成形管径向变形也随之增大, 而管坯端口处则随着保护管材料电阻的增大, 口部由锥形向喇叭形变化。管坯成形长度对制件形状的影响表现为成形长度增加, 制件中部圆筒状长度也增加, 而端口部均呈尺寸大致相同的锥形或喇叭形。当管坯成形长度大于 40 mm 时, 在成形能量相同的条件下, 制件在管坯端口和固定器附近的变形几乎一致, 而与成形长度无关。

关键词 电磁胀形, 铝合金, 形状

Processing Technology and Profile Controlling of Free Electromagnetic Bulging for LF3 Al Alloy Tube

Lu Hongjun Wang Qi

(Aerospace Research Institute of Materials and Processing Technology Beijing 100076)

Abstract In this paper, processing technology for free electromagnetic bulging of LF3 Al alloy tube and effects of major parameters on final profile of the tube are investigated. It is indicated that the final tube profiles are influenced greatly by charged energy, various material protecting tubes, discharge frequency and the tube length to be formed. Final profiles of the tubes can be controlled by adjusting those parameters. The middle profile of the tube is cylindrical, and with increase of charged energy and discharge frequency, the radial deformation of the tube is also increased. The edge profile of the tube can be changed from cone to bell shape when protecting tube material resistance becomes higher. The cylindrical length of middle tube becomes increased with formed length, but the edge profile of the tube almost keep the same cone or bell shape. When the formed length is longer than 40 mm, the deformation at tube edge and near fixer is almost the same and has no relations to the length to be formed if the same energy is provided.

Key words Electromagnetic bulging, Al alloy, Profile

1 前言

在航空航天及其它工业领域, 为了满足设计要求常需要对圆管进行二次加工, 其中管端扩口胀形应用很广, 用于制造不同产品, 通常采用的成形方法有锥形模压入扩孔、软模胀形、液压胀形、旋压等, 但

都存在着对模具要求高、设备及工装复杂等缺点。90 年代电磁成形技术被用于扩管加工中^[1,2]。电磁成形是一种高能率成形技术, 它是利用电容器对工作线圈放电产生脉冲磁场力使坯料成形, 具有工装简单、成本低、生产准备周期短、产品精度高, 适合于

收稿日期: 1999 - 10 - 08

吕宏军, 1966 年出生, 博士研究生, 主要从事金属材料塑性加工的研究工作
宇航材料工艺 2000 年 第 3 期

— 49 —

小批量生产及生产复杂形状的大型零件,尤其对试制产品更为优越,易于实现机械化、自动化,生产效率高。本文探索了无模情况下,采用螺线管线圈进行自由胀形,通过对不同工艺参数的调整,对胀形形状进行控制的可能性。

2 实验条件

2.1 电磁成形设备及实验工装

实验所用设备为:(1)充电能量为 30 kJ、放电频率为 $f = 21$ kHz 的电磁成形机;(2)充电能量为 20 kJ、放电频率为 $f = 100$ kHz 的电磁成形机;(3)充电能量为 80 kJ、放电频率为 $f = 17$ kHz 的电磁成形机。

管件自由胀形的工装如图 1 所示。

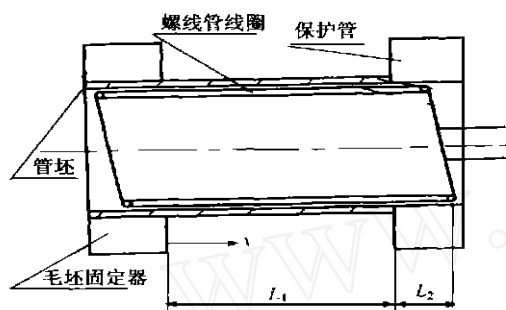


图 1 工装示意图

Fig. 1 Apparatus used for electromagnetic bulging

被胀形的管坯一端夹持在毛坯固定器里,管子的另一端被保护管固定,可以防止毛坯飞出及损坏成形线圈。线圈为螺线管形,有效长度为 150 mm,直径为 56 mm,由 14 匝截面尺寸为 4 mm × 9 mm 的铜导线沿扁向缠绕而成,线圈内芯用酚醛布棒制作。

胀形成形时,制件的形状取决于管坯的端部与线圈之间的相对位置,即图 1 中 L_1 和 L_2 的值, L_1 为管坯胀形变形部分长度, L_2 为线圈外端至管坯右端面的距离。

2.2 实验材料

实验用毛坯材料为 LF3M 铝合金管,外径 60 mm,壁厚 1.0 mm,其化学成分及力学性能满足技术条件 GB4437—84 的要求。

图 2 所示参数用来定量分析管子的扩口形状,从毛坯固定器边缘轴向距离为 x 处的径向位移为 H ,毛坯外半径为 R ,制件的无量纲位移用扩展率 H/R 来定义。

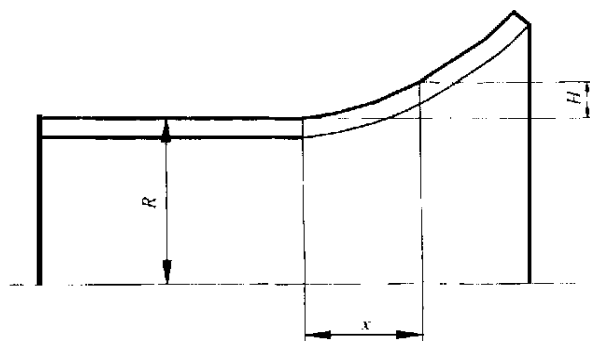


图 2 变形分析图

Fig. 2 Schematic diagram for deformation analysis

3 实验结果及讨论

3.1 放电能量的影响

图 3 表示了能量与任意点管子形状的变化关系。其中 x 是从固定器端面开始的位移(图 1)。从图中可以看出随着变形能量的增大,成形件径向变形也随之增大,在管坯端口处,由于保护管的影响,磁通密度降低,导致管端受力减少,均呈现出倒锥形。成形后的制件照片见图 4。

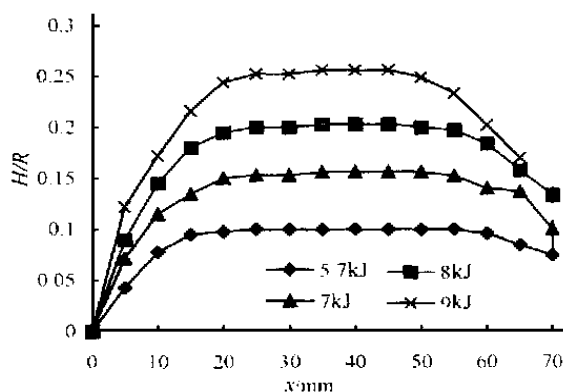


图 3 能量与任意点管子形状的变化关系

Fig. 3 Relationships between energy and profile of tube
保护管为 H62; $L_1/R = 2.3$; $L_2/R = 1.0$; $f = 100$ kHz。



图 4 制件照片

Fig. 4 Typical deformed tube

3.2 保护管的影响

实验采用四种材料的保护管(黄铜 H62 、硬铝 LY12 、碳钢 45[#]、酚醛布棒), 用来研究具有不同电阻率材料的保护管对扩口形状的影响, 如图 5 所示。

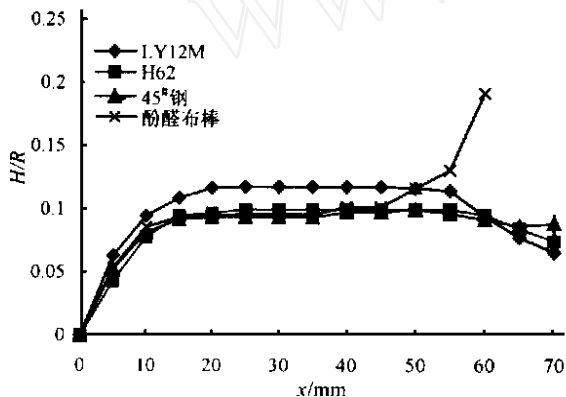


图 5 不同电阻率材料的保护管对制件的影响

Fig. 5 Effects of protecting tube materials with different resistance on profile of tube

$E = 5.7 \text{ kJ}$; $L_1/R = 2.3$; $L_2/R = 1.0$; $f = 100 \text{ kHz}$.

LY12 的 ρ 为 $4.4 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$;

H62 的 ρ 为 $7.2 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$;

45[#] 钢的 ρ 为 $1.32 \times 10^{-7} \Omega \cdot \text{m}$;

酚醛布棒为电绝缘体。

在 x 为 20 mm 至 50 mm 范围内, 变形后管材

宇航材料工艺 2000 年 第 3 期

的外形基本为圆柱形, 当 $x > 55 \text{ mm}$ 时, 则随着保护管材料的不同有很大差异, 铝、铜、钢质保护管的成形件口部呈现倒锥形, 这是由于 LY12、H62、45[#] 钢等金属材料电阻率小, 保护管的电阻也较小, 减小了毛坯端口部位的磁通密度; 而酚醛材料为绝缘材料, 保护管电阻很大, 大大加强了端口部位的磁通密度, 而导致端口受力增大, 呈现喇叭口形。从图 5 中还可以看出, 其基本趋势为: 随着保护管材料的电阻率增大, 亦即保护管电阻增大, 制件端口部位直径也随之增大。成形后的制件照片见图 6。

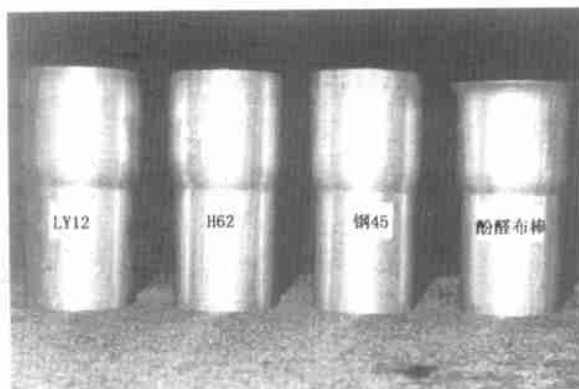


图 6 制件照片

Fig. 6 Typical deformed tube

3.3 放电频率对制件形状的影响

对于电磁成形, 放电能量可用下式表示:

$$E = \frac{1}{2} CU^2$$

可见, 在放电能量一定的情况下, 可以改变电容与电压的组配, 电容的变化将导致成形时放电频率的改变, 引起坯料受力和运动的变化, 从而对制件形状产生影响。实验在放电能量 5.7 kJ 为定值的条件下, 采用 3 种不同的放电频率进行实验, 实验参数与结果如图 7 所示, 成形后的制件照片见图 8。通过试验得出, 在放电能量一定的条件下, 改变放电频率, 就可以得到不同形状的胀形零件。

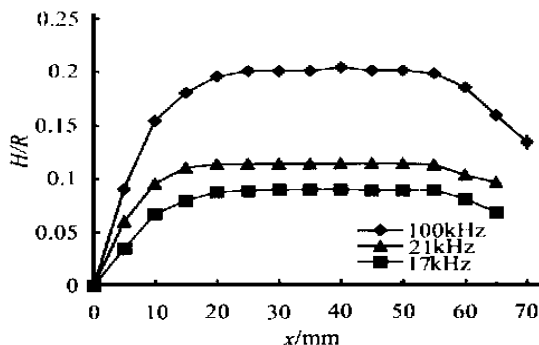


图 7 放电频率对制件形状的影响

Fig. 7 Effects of discharge frequency on tube profile
能量为 5.7 kJ; 保护管为 H62; $L_1/R = 2.3$; $L_2/R = 1.0$ 。



图 8 制件照片

Fig. 8 Typical deformed tube

3.4 成形长度的影响

采用 5 种具有不同成形长度的管坯进行实验, $L_1 = 15 \text{ mm}$ 、 30 mm 、 45 mm 、 60 mm 、 70 mm 。图 9 是通过实验得到的管坯成形后的形状与成形长度 L_1 的关系曲线。成形后的制件照片见图 10。

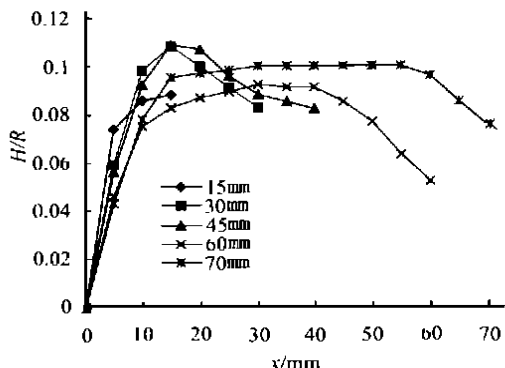


图 9 成形长度对制件形状的影响

Fig. 9 Effects of deformed length on tube profile
保护管为 H62; $L_2/R = 1.0$; $E = 5.7 \text{ kJ}$; $f = 100 \text{ kHz}$ 。

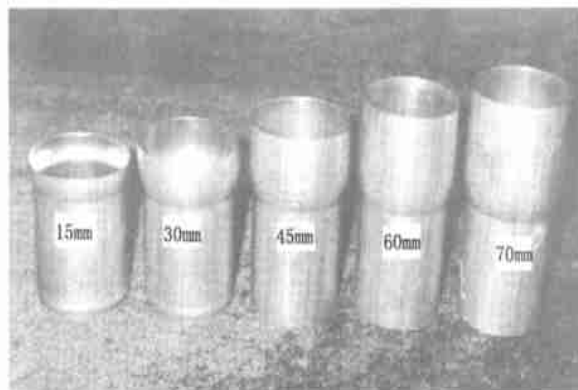


图 10 制件照片

Fig. 10 Typical deformed tube

由图 9、图 10 可知, L_1 值较小时(如 15 mm), 制件有翻边的趋势, 而 L_1 增加到 30 mm 时, 口部呈现出倒锥形, 而中部为平直圆筒状, 继续增大 L_1 , 中部平直的圆筒状长度也越来越长, 而口部均呈尺寸大致相同倒锥形。当成形长度大于 40 mm 时在相同成形能量条件下, 制件在管坯端口和固定器附近的变形几乎一致, 而与成形长度无关。

4 结论

- (1) 随着能量的增加, 磁力增大, 管坯的变形程度也增大;
- (2) 随着保护管的电阻率增大(即对于相同尺寸的保护管而言电阻增加), 管端磁通密度增加, 制件的端口由倒锥形向喇叭口形转变;
- (3) 在成形能量相同的情况下, 随着放电频率的增大, 毛坯所受到脉冲磁场力增大, 变形长度也增加;
- (4) 管坯成形长度对管端和管固定器附近部分变形没有影响, 随着成形长度增大, 制件中部平直圆筒段长度也增大;
- (5) 无模情况下, 通过调整 and 选择电能、频率、保护管的电特性及成形长度等参数, 可以控制圆管胀形形状。

参考文献

- 1 Suzuki H, Murata M, Negishi H. The effect of a field shaper in electromagnetic tube bulging. Journal of Mechanical Working Technology, 1987; 15: 229 ~ 240
- 2 Murata M, Suzuki H. Profile control in tube flaring by electromagnetic forming. Journal of Materials Processing Technology, 1990; 22: 75 ~ 90