

# 脉冲强磁场用于金属成形的初步试验

叶茂福 吴成 李银安 张宝珍

(中国科学院物理研究所)

金属的磁成形,与通常的机械成形方法不同,是一种利用脉冲强磁场产生的强大电力对金属工件做功而致成形的新技术。它对工件的作用时间短、能量大、成形速率快,是一种高能高速的成形技术<sup>[1]</sup>。作为一种颇具特色的新技术,近年来已在各类工业部门中得到了广泛的应用<sup>[2]</sup>。我们利用快脉冲放电实验室的方便条件<sup>[3]</sup>,研制了一台磁成形设备,对金属圆管的磁成形作了初步的试验,得到了比较满意的结果。下面我们简略介绍一下磁成形的基本原理和初步的试验结果,并作若干讨论。

## 一、基本原理

金属的磁成形原理是比较简单的。以金属圆管的箍缩成形为例简述如下。图1表示,在一磁场线圈内放一金属圆管工件,圆管内放一芯模。高压电容器经由火花隙开关或引燃管对线圈放电时,在线圈内产生一瞬变磁场,并在金属圆管壁上感生一电流,由麦克斯韦方程(高斯单位制),其电流密度为

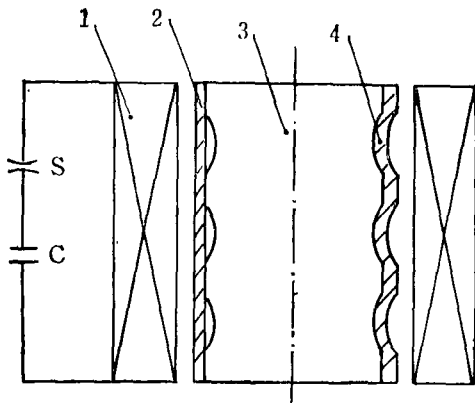


图1 磁成形的基本原理

1. 磁场线圈; 2. 待成形的金属圆管; 3. 芯模;  
4. 箍缩成形的金属圆管;  
S 为火花隙或引燃管; C 为脉冲电容器

$$j = \frac{1}{4\pi} \nabla \times B. \quad (1)$$

在外磁场作用下,圆管受力

$$F = j \times B. \quad (2)$$

在图1的情况下,圆管只有径向受力。现取柱坐标,将(1)式代入(2)式得

$$F_r = -\frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{B_z^2}{8\pi} \right), \quad (3)$$

式中负号表示径向的会聚力,  $B_z^2/8\pi$  即为线圈所产生的磁压强。如果磁场足够强,以致所产生的磁压强超过了成形金属工件的屈服强度,工件就将发生塑性形变,按照芯模的形状箍缩成形。显然,如果我们把线圈放在工件里面,模具放在工件外面;或线圈不动,把模具放在线圈与工件之间,通过调节磁场随时间变化的进程,均可使工件受到向外的磁压强而膨胀,按照工件外模具的形状扩管成形。同理,如果线圈为平面形状,则可将金属平板按照紧靠着平板的模具形状成形。这里,平面状的磁场线圈犹似一把均匀冲压的“磁锤”。

必须注意的是,为了使工件得到足够的磁压强,应避免线圈产生的外磁场渗漏入金属圆管内。换言之,在此外磁场的变化速率下,金属工件的趋肤厚度应小于工件的壁厚。否则,将使磁压强减小,甚至在外磁场减弱时,管壁反弹(“磁垫”效应)。

## 二、试验结果

已使用的磁成形设备的电容器储能为7.5kJ,最高工作电压为20kV,空载下最高磁场强度为21kG,对于工件的作用时间不大于200 $\mu$ s。磁场强度和作用时间随不同的磁场线圈(线圈的匝数、大小和面积)而有所变化。

工件为 $\phi 60 \times 64\text{mm}^2$ 的金属圆筒,壁厚1—1.5mm。材料为铝、铜和黄铜。圆筒内不放芯模,而代之以 $\phi(57-58) \times (3-5)\text{mm}^2$ 的垫片,或相同厚度和外直径的六边梅花形垫片。垫片材料为铝、铜、黄铜、不锈钢、陶瓷、玻璃、有机玻璃和尼龙。除玻璃和陶瓷外,其余材料均有圆形和六边梅花形两种。垫片分别放在靠近圆筒上下端部处,集中试验圆筒与垫片之间的接合情况。

1) 本文的部分内容已在1984年10月《第一届全国强磁场学术讨论会》上报告过。

试验表明,对于大多数不同材料的垫片,不管是圆形或六边梅花形,均能与三种金属圆筒良好接合,不漏水。当改善磁场位形和垫片形状后,有的可以抽真空。但普通玻璃易碎,不能作垫片。在小心控制磁场能量后,陶瓷片可与圆筒接合。有机玻璃垫片在中心开了 $\phi 20\text{mm}$ 孔后,易碎裂。图2为磁成形工件的实物照片,其中左起第一个工件是美国麦克斯韦实验室的磁成形制品。

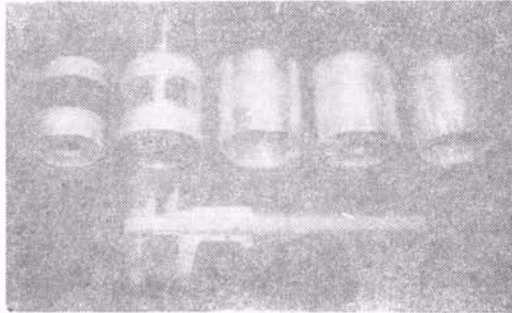


图2 磁成形制品实物照片  
左起第二个是黄铜管-铜垫片,第三个是铝-有机玻璃,第四个是铝-铝,第五个是铝管破坏试验

### 三、讨 论

金属的电磁成形过程和爆炸成形、液电成形,都是一种高能高速的成形过程<sup>[1]</sup>。但与后者相比,它不需要水、油一类物质作为传递力的媒介,也不像通常的机

(上接第121页)

械方法那样需与工件作机械接触,所以不会弄脏和损伤工件。这个特点对于那些需要在特殊环境下成形的工件是相当有利的。例如,在真空或干净的环境中从外部对工件成形,以及在工件业经表面处理的情况下成形等等。我们曾经在一个黄铜工件表面上事先喷涂银漆,然后作磁成形。结果银漆依旧,未有剥落(参见图2左起第二件,工件上接头用于抽真空试验)。

磁成形过程也是一个电过程,操作简单,可以通过精确地控制磁场能量来控制电动力的大小。在试验过程中,当一次成形能量不够时,可逐渐加大,进行二次或三次成形而不损坏工件,直至符合要求为止。

磁成形只对那些电导率高的金属有效。它们在外磁场作用下发生塑性形变时,可近似地看作是一个磁流体。在圆筒箍缩成形过程中,与核聚变研究中 $\theta$ 箍缩等离子体在初期爆聚阶段的磁流体行为有某些类似之处,例如发生磁流体不稳定性<sup>[4]</sup>。这需要通过改善磁场的空间位形来加以抑制。为了把磁场能量或磁压强集中于成形区,需要在线圈和工件之间,根据工件的要求按置不同的场成形器。

感谢刘赤子同志在机加方面的协作。

### 参 考 文 献

- [1] Tooling, Dec. (1979), 3.
- [2] В. А. Глушечков. Кузнечно-Штамп. Прозв., No. 7, (1984), 2.
- [3] 叶茂福等,物理,15-8(1986),503.
- [4] A. Hasegawa, Plasma Instabilities and Nonlinear Effects, Springer-Uerlag, (1975).

### 参 考 文 献

- [1] 苏民生、李铁芳,陆地卫星图象数字处理原理,武汉地院北京研究生部翻印(1980).
- [2] 赛祖烈、冈萨雷茨,模式识别原理,上海交通大学,(1982).
- [3] 福永圭之介著,陶笃纯译,统计图形识别导论,科学出版社(1978).