

# 薄金属板胀形性能研究

张 军<sup>1</sup> 董湘怀<sup>2</sup>

(1. 华中科技大学 塑性成形模拟及模具技术国家重点实验室, 湖北 武汉 430074;

2. 上海交通大学 塑性成形工程系, 上海 200030)

**摘 要:** 研究厚度小于 0.3 mm 的薄金属板的微胀形性能, 为了得到胀形过程中薄板的成形性能规律, 分别采用三种厚度的铜板和四种厚度的铝板进行胀形实验. 结果表明: 不同厚度的金属板的胀形深度不同, 随着板厚的降低, 铜板及铝板变形后的最大应变及极限胀形高度有增高的趋势.

**关键词:** 微胀形; 极限胀形高度; 塑性成形

**中图分类号:** TG386.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7037(2005)02-0045-03

现在已开发的微型机械加工技术和工艺主要依赖于微细机加工技术、光刻和蚀刻等技术, 不仅难度大工艺复杂, 设备投资大而且专用性强, 在某种程度上限制了微型机电产品的发展. 塑性成形技术经过长期的发展已经相当成熟, 但微细塑性成形技术尚处于试验研究阶段, 它不仅具有较强的加工潜力, 可制作各种高深比的微机械结构, 并可高效率低成本地进行批量生产, 生产的零件强度高且质量好.

作者研究的目的是阐明厚度小于 0.3 mm 的薄铜板和铝板在微细塑性成形过程中的微成形特性. Nagasaka, Ikeda 和 Komatsu 曾详细描述了用 28~64 mm 直径的冲头对薄金属板的深冲压特性所作的研究实验, 用的是直径 8 mm 的冲头, 并通过改变铜板的厚度来找到其微胀形特性. Ku<sup>[2]</sup>和 Saotome<sup>[3]</sup>的研究表明, 微细冲压成形的主要特点在于其板厚与模具圆角之比较大, 以及其材料微小所带来的性能变化, 因此板材成形性能与常规冲压不同.

## 1 试验步骤

### 1.1 实验设备

实验用的万能冲床, 公称压力为 500 kg, 滑块最大行程为 40 mm, 封闭高度为 140 mm. 模具如图 1, 冲头直径为 8 mm, 凸凹模圆角半径为 1 mm, 凸模直径为 8 mm, 凹模直径为 8.63 mm.

### 1.2 检测设备

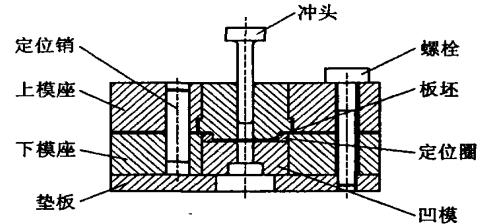


图 1 实验模具示意图

采用华中科技大学研制的 HR I- I 三维激光扫描系统进行点距测量, 该系统采用美国 JAC 的 CCD 摄像机 1296 × 1026 P IX<sup>2</sup>, 日本的 Computar 镜头, 测量精度可达到 0.02 mm.

### 1.3 试验材料

实验采用三种不同厚度的 H65 黄铜板, 其厚度分别为 0.3 mm, 0.23 mm, 0.18 mm, 表 1 中,  $\sigma_b$  为抗拉强度 ( $N/mm^2$ ),  $\delta$  为延伸率 (%).

表 1 H65 黄铜板的化学成分和力学性能

根源 /mm	元素						$\sigma_b$	$\delta$
	Cu	Fe	Pb	Zn	Sb	Bi		
0.18	65.54	0.028	0.006	余量	0.0004	0.0003	355	50.3
0.23	65.81	0.029	0.007	余量	0.0004	0.0003	420	30
0.3	65.77	0.028	0.007	余量	0.0004	0.0003	470	24

### 1.4 实验方法

首先将不同厚度的薄铜板表面涂上一层黑色碳素墨水, 干后放置在激光打标机下, 利用激光扫描在铜板表面打上直径均为 1 mm 且两两相切的圆形, 其深度为 0.003 mm, 线宽为 0.02 mm, 然后将薄铜板剪成半径为 1 cm 的圆形毛坯, 并胀形为圆筒形, 实验中施加足够大的压边力, 使法兰部分

收稿日期: 2004-10-29

作者简介: 张 军(1977-), 男, 硕士研究生; 武汉, 华中科技大学塑性成形模拟及模具技术国家重点实验室(430074).

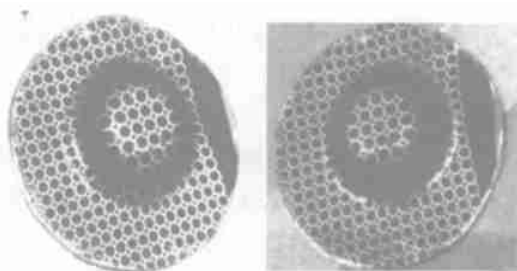
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50005008; 50275059).

的材料不发生流动和变形 凸模向下冲压,直到即将发生破裂 通过胀形试验,铜板表面圆形网格产生变形 再将塑性变形的金属铜板放到 HR I- I 三维激光扫描系统下,读取两个摄像头在不同角度拍出的铜板上每一点的二维坐标位置,将其经过匹配得到每一个点的三维坐标值 最后通过曲面整合技术,求出变形后椭圆网格的长短轴,进而找出试件应变的变化规律,并求出不同厚度的薄铜板变形的最大应变

## 2 实验结果

通过试验测出了不同厚度的薄铜板可胀形的最大深度,以及铜板各部分的应变值,据此评价不同厚度铜板微胀形性能 该方法可用于不同金属薄板的冲压实验,检验其冲压性能

图 2 为两摄像头拍摄的铜板变形后的照片,测出每种厚度铜板胀形极限的深度,同时沿纵向在网格中取点(两圆相交点),并测出圆形网格轴向伸长距离 本实验取 3 组数据,将取点数据进行左右对应匹配,可得到相应的三维坐标的点值,通过相邻两个点的三维坐标值可以求得相邻点的距离值,进而进行曲面整合



(a) 左相机 (b) 右相机

图 2 摄像头拍摄的试件照片

## 3 实验结果分析

圆形网格系统是用来测量成形应变的基本工具,它主要依赖于印制或蚀刻技术(照相的或化学的)和特定的网格形式,试验的应变分布如图 3

应变 =  $100 \times (l_f - l_0) / l_0 \times 100\%$ ,  $l_f$  为轴向伸长距离,  $l_0$  为原始圆周直径<sup>[4]</sup> 图 3 中,曲线最高点在凸模圆角处,即将断裂处

### 3.1 胀形性能分析

成形所需要的变形量称为“成形应变”,这一应变值沿冲压件的各点很少保持常数 实际上,从一点到另一点,应变值可能有剧烈的变化,如果某

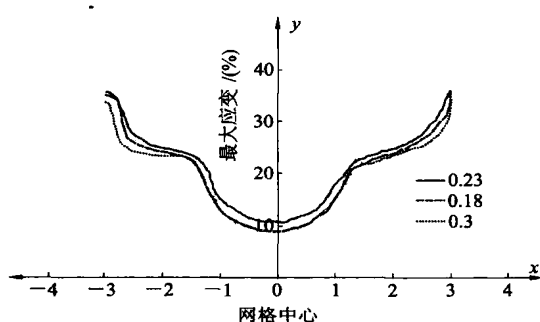


图 3 试件中部沿径向的最大主应变的分布值

一点的成形应变等于金属的最大可加工应变量,那么,就达到了金属的“成形极限”,超过了这一极限金属就会破裂

胀形部分的应变分布虽然整个来讲全是伸长变形,但因摩擦力的影响在某一位置会出现最激烈的变形状态,这一位置首先产生最大的伸长和最小的材料厚度 如图 3 三种板厚的铜板最大伸长均出现在凸模圆角处 由于在凸模端部受凸模圆角部分摩擦力的影响,防碍了材料由凸模端部向侧壁的流动,所以凸模端部的材料基本伸长较小 从凸模圆角稍移向侧壁处的材料,因在凸模圆角处经历了弯曲,使这部分材料受到了严重变形而产生了很大的伸长和材料厚度的减薄,凸模圆角这部分也成为材料变形最大处

### 3.2 应变性能分析

利用 HR I- I 三维激光扫描系统对金属网格进行拍照求,得金属表面变形的的方法 本实验中,当铜板厚度为 0.3mm 时,金属网格最大变形长度为 1.33845 mm,其最大应变为 33.845%;当板厚为 0.23mm 时,金属网格最大变形长度为 1.36052mm,其最大应变为 36.052%;当板厚为 0.18mm 时,金属网格最大变形长度为 1.3534mm,其最大应变为 35.34%. 由成形性能分析理论,金属的成形极限与其成形应变成正比关系,通过成形应变,对于薄铜板(厚度小于 0.3mm),随着板厚的减小,其最大成形应变有变大的趋势,即成形极限也有变大趋势

### 3.3 极限胀形高度分析

图 4 中,铝板为 A1235 合金,各种杂质含量如下: Si 为 0.129%, Fe 为 0.412%, Cu 为 0.012%, Mn 为 0.002%, Mg 为 0.002%, Cr 为 0.001%, Zn 为 0.004%, Ti 为 0.013%, 其它总量 0.029%, Al 为 99.397%. 0.3mm 厚度铝板的  $\delta$  为 2%, 0.25mm 厚度铝板的  $\delta$  为 2.8%, 0.2mm 厚度铝板的  $\delta$  为 3%, 0.165mm 厚度铝板的  $\delta$  为 3.4%.

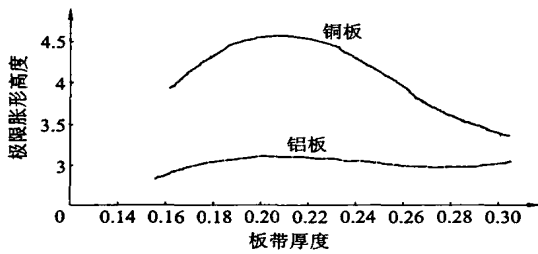


图 4 板带厚度与极限胀形高度的关系/mm

在普通胀形实验中, 材料厚度的影响是最重要的。由于材料厚度增加, 破裂极限也增大, 另外, 当板厚增大时, 破裂部分附近的颈缩区域(变形非常大的区域)在整个毛坯上所占比例变大, 因而成形极限深度增加, 这意味着较厚的材料从颈缩到破裂有个较长的过程。表 2 为本次实验金属板的极限胀形高度。由中野等人推出的成形极限经验公式如下<sup>[5]</sup>

$$h = \rho_d \{ -0.6(\rho_p/\rho_d)^2 + [0.57(r_p/\rho_p)^{0.5} + 0.42](\rho_p/\rho_d) + 0.059k(r_p/\rho_p)^{0.5} + 0.057 \} + (0.002\rho_d - 0.0014\rho_p + 0.068)(El - YP) + 0.55r_d(\rho_p/\rho_d)^2 + 0.396$$

式中,  $k$  为润滑指数(低粘度  $k=1$ , 高粘度  $k=2$ );  $El$  为延伸率(%);  $YP$  为屈服点( $\text{kg}/\text{mm}^2$ ) (图 5)。对于成分相同但厚度不同的铜板及铝板, 其延伸率不同, 由成形性能分析, 板厚变厚其成形极限变大, 而对于薄金属板, 由于板带的变厚材料的延伸率变低, 降低幅度相对较大, 在一定范围内导致微胀形成形极限下降。将实验参数带入公式, 所得结果与实验基本吻合。延伸率对微胀形成形极限影响很大, 这也是微细塑性变形的特点之一。

表 2 实验金属板极限胀形高度 mm

铜板厚度			铝板厚度			
0.3	0.23	0.18	0.3	0.25	0.2	0.165
3.46	4.46	4.30	2.99	3.04	3.08	2.82

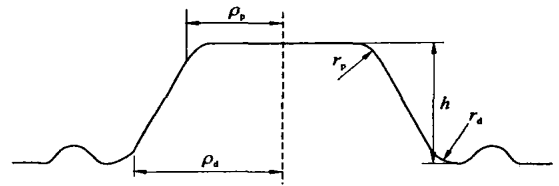


图 5 经验公式中的符号说明

## 4 结 论

a 对薄金属板(厚度小于 0.3mm)进行微胀形实验处理时, 薄板的极限胀形高度随着板厚的变化不断变化, 在微细塑性成形中, 对于一定厚度范围内的薄板材极限胀形高度不是随着板厚的增加而一直上升, 有呈图 4 的曲线变化的趋势。

b 利用 HR I- I 系统对网格进行扫描可以作为解决实际测量微小尺寸的一种方法, 精度要求也完全符合本试验, 对以后微细塑性成形研究有重要的辅助作用。

## 参 考 文 献

- [1] 孙大勇. 先进制造技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [2] Ku TW, Hwang SM, Kang BS. Mill-component forming of rectangular cup drawing[J]. J. of Mater. Processing Tech., 2001, 113: 749-753.
- [3] Saitome Y, Yasuda K, Kaga H. Microdeep drawability of very thin sheet steels[J]. J. of Mater. Processing Tech., 2001, 113: 641-647.
- [4] 吕雪山, 王先进, 苗延达. 薄板成形与制造[M]. 北京: 中国物资出版社, 1992.
- [5] 中川威雄, 阿部帮雄. 板料冲压加工[M]. 天津: 天津科学技术出版社, 1982.

## Research on the Bulging Capability of Thin Sheet Metals

ZHANG Jun<sup>1</sup> DONG Xiang-huai<sup>2</sup>

(1. State Key Lab. of Plastic Forming Simulation & Die Tech., HUST, Wuhan 430074, China;

2. Dept. of Plasticity Tech., Shanghai Jiaotong Univ., Shanghai 200030, China)

**Abstract:** The micro-bulging capability of thin sheet metals below 0.3 mm thickness is studied. The thickness of sheet metal is chosen to be an important experimental parameter. In order to obtain the formability laws of sheet metals during the bulging process, sheet coppers and sheet aluminum with different thickness are used. After the bulging, there are different depths for sheet metal of different thickness. The result shows that with the decreasing of the sheet metal thickness, the largest stress and limit bulging height of the metals after deformation tends to increase.

**Key words:** micro-bulging; limit bulging height; plastic forming