

文章编号: 1003-7837(2006)04-0261-06

旋压技术在复杂形状零件成形中的应用^{*}

尚 越, 夏琴香, 谢世伟

(华南理工大学, 广东 广州 510641)

摘 要: 主要阐述了非轴对称、椭圆和非圆截面空心件的旋压成形机理和近年来的研究现状.

关键词: 旋压; 非轴对称件; 椭圆形件; 非圆截面空心件

中图分类号: O657.31 文献标识码: A

随着旋压可加工零件朝几何形状复杂化方向的发展, 旋压成形技术已经突破传统的用于加工薄壁空心回转体零件的局限. 已有不少学者对非轴对称类零件和非圆截面空心件的旋压成形技术进行了初步的探索研究, 部分研究成果已经投入到生产实践中. 日本 Spindle 公司于 1999 年研制出世界上第一台可生产偏心及倾斜类零件的数控旋压机床, 主要用于生产汽车的排气歧管和消音器^[1]. 2004 年在增量金属成形方法的会议上报道了德国 THATE GmbH 公司正在开发一种针对旋压成形非圆形件的数控技术, 并且首次尝试用数控旋压技术来生产椭圆形零件. 美国板材制造公司“对非圆形的形状也可以旋压成形”^[2]; 美国 MJC 工程技术有限公司已经开发了第一台全数控旋压机床, 可加工从 4570 mm 到 150 mm 变径差的非圆形截面零件^[3]. 采用华南理工大学夏琴香研制的非轴对称零件旋压成形技术及设备, 可完整地加工各部分轴线相互平行或成一定夹角的偏心、倾斜类三维非轴对称薄壁空心零件^[4].

1 非轴对称零件旋压成形原理及应用

普通的旋压成形是将毛坯固定在机床主轴上, 毛坯与主轴同步旋转, 所加工的零件是轴对称(回转

体)零件. 若在加工过程中, 将旋轮安装在机床主轴上, 随机床的主轴一起旋转, 则可利用旋压技术直接加工出偏心、倾斜类三维非轴对称零件, 如图 1 和图 2 所示^[5].

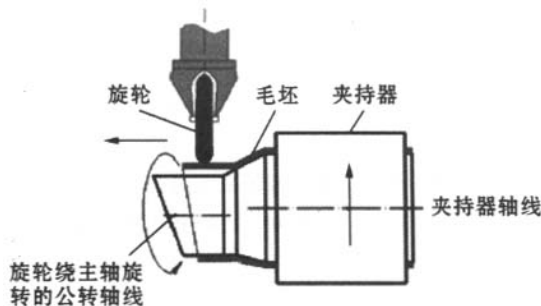


图 1 偏心件旋压成形工艺示意图

Fig. 1 Schematic diagram of offset spinning

1.1 偏心类零件旋压成形

在成形零件的偏心部分时, 每道次旋压成形时工件的轴线均保持平行. 每道次成形前先将工件沿旋轮公转轴线的垂直方向在水平面上平移, 然后在成形时将工件沿着旋轮公转轴线的方向进给, 直至各道次成形后轴线的偏移总量达到所需要的数值为止, 如图 3(a)所示.

收稿日期: 2006-04-19

^{*} 基金项目: 国家自然科学基金项目(50275054); 广东省自然科学基金项目(020923); 广东省工业科技攻关计划项目(2003C102013)

作者简介: 尚越(1984-), 男, 山西大同人, 硕士研究生.

万方数据

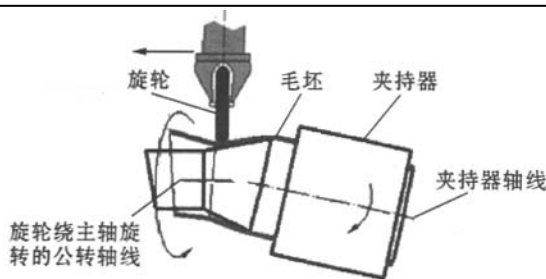


图2 倾斜件旋压成形工艺示意图

Fig.2 Schematic diagram of oblique spinning

在每道次旋压成形之前,由于工件的平移方向垂直于旋轮的公转轴线,所以工件在旋轮公转平面上的截面形状为圆形,但圆心 O_1 与旋轮公转轴线 O 存在一定的偏移量。在成形时,工件的变形情况是对称于 x 轴,而不对称于 y 轴,如图 3(b)所示。

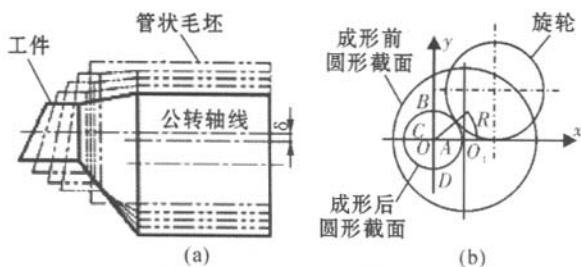


图3 偏心类工件旋压成形过程示意图

Fig.3 Movement trace of roller during 3D non-axisymmetric offset parts spinning

1.2 倾斜类零件旋压成形

在成形零件的倾斜部分时,每道次成形前先要将工件轴线相对于旋轮公转轴线在水平面上偏转一定角度,如图 4(a)所示。然后使装卡在机床工作台上的毛坯沿着旋轮公转轴线方向进给。这样每道次旋压后,毛坯已变形部分相对于未变形部分便倾斜了一定的角度。经过多道次旋压成形,便可获得所需要的倾斜角度 α 。

在每道次旋压成形之前,由于工件首先在水平面上相对于旋轮公转轴线作一角度偏转,因此工件在旋轮公转平面上的截面形状为椭圆,长轴在水平面上,短轴垂直于水平面,如图 4(b)所示。而每道次旋压成形后,这一截面形状就变为圆心在旋轮公转轴线 O 上的圆。一般情况下,成形前椭圆截面的圆心 O_1 与公转轴线 O 处于同一平面,但不会与旋轮公转轴线 O 重合。因此,成形时工件的变形情况以

万方数据

椭圆长轴为上下对称,而在短轴左右两侧的变形情况则是不对称的。

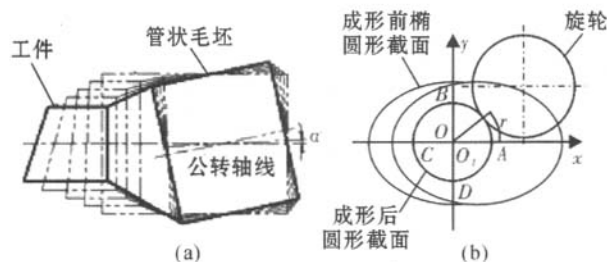


图4 倾斜类工件旋压成形过程示意图

Fig.4 Movement trace of roller during 3D non-axisymmetric oblique parts spinning

1.3 非轴对称类零件旋压成形技术的应用

偏心、倾斜类三维非轴对称零件的旋压技术可用于生产具有一定曲率、一定角度和形状复杂的三维非回转体薄壁空心零件,如各类排气歧管、消音器等。图 5 为华南理工大学在自行研制的具有自主知识产权的 HGPX-WSM 型数控旋压机床(图 6)上生产的非轴对称偏心及倾斜类汽车排气歧管样品。

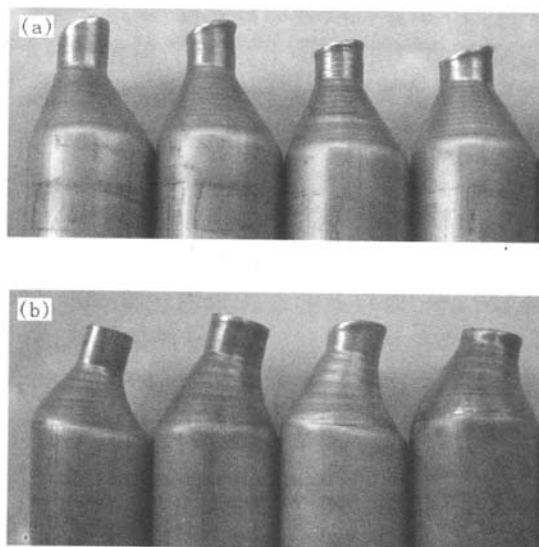


图5 典型的三维非轴对称旋压零件

Fig.5 Typical 3D non-axisymmetric spinning parts

2 椭球类零件旋压成形技术的研究

椭圆是介于圆和特殊形状曲面之间的过渡曲线,椭球形工件有较广泛的应用。国内外学者对椭球

类零件旋压成形技术做了理论和实验研究^[6-8]。

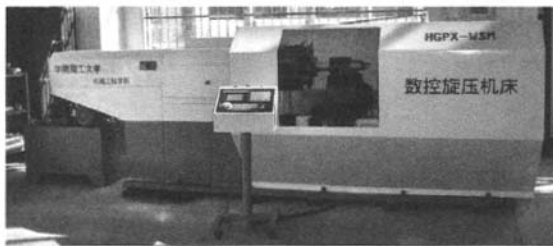


图6 HGPX-WSM型数控旋压机床

Fig.6 HGPX-WSM CNC spinning machine

2.1 椭球类零件旋压设备

椭球类工件的旋压设备主要由图7所示的九部分组成。传动轴的一端安装于机床的卡盘上,另一端的端部为一滑块,机座固定在机床的导轨上,两个滑

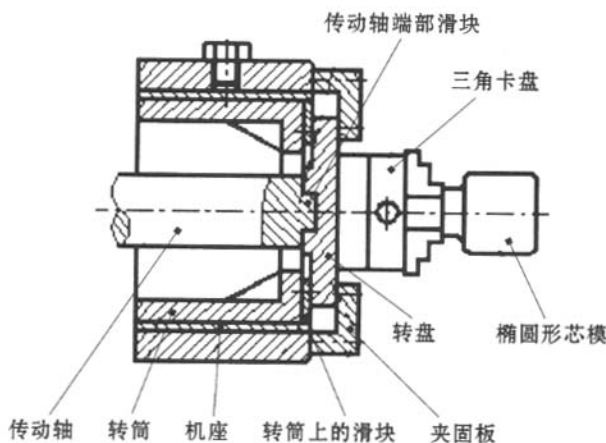


图7 椭圆类零件旋压设备

Fig.7 Spinning device for elliptic parts

块装于转筒上,三角卡盘固定于转盘上,转盘上开有两个相互垂直的滑槽,传动轴端部的滑块及转筒上的滑块可沿转盘上的滑槽滑动,这样,转盘和转筒可由传动轴带动进行转动,椭圆形芯模安装于三角卡盘上,其工作原理如图8所示。在芯模末端的外表面上有一固定的笛卡尔坐标系 xOy 。坐标系的原点 O 设在传动轴杆的中心, x 轴平行于水平面且指向右, y 轴朝上。点 A 为理论成形点,当旋轮的半径为零时旋轮与毛坯的初始接触位置。点 E 是转筒的旋转中心。移动坐标系 $x'O'y'$ 派生于坐标系 xOy 。坐标轴 x' 和 y' 分别是转筒上两滑槽的中心线在 xOy 平面上的投影,移动坐标系 $x'O'y'$ 是随着转筒的运动而不断变化的。事实上,移动坐标系所指的是在实际旋压

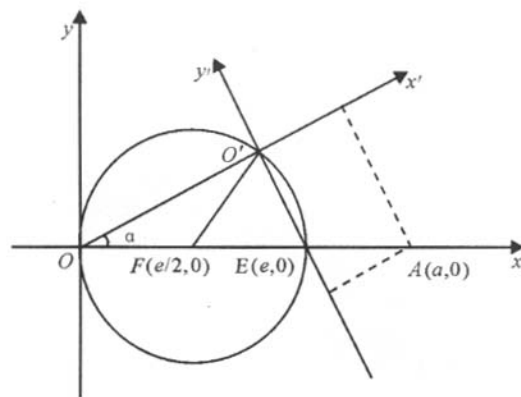


图8 设备的工作原理图

Fig.8 Coordinates of simplified device

过程中固定毛坯的芯模工作端面。在移动坐标系中,点 A 可由式(1)表示。

$$\begin{cases} x' = (a-e)\cos\alpha \\ y' = a\sin\alpha \end{cases} \quad (1)$$

因此:

$$[x'/(a-e)]^2 + (y'/a)^2 = 1, \quad (2)$$

式(1)中, α 是 x' 轴与 x 轴的夹角; e 是原点 O 与机座中心 E 之间的距离; a 是点 A 在 x 轴上的值(a 为常数)。

通过式(2)可看出,点 A 在坐标系 $x'O'y'$ 中的轨迹为一椭圆,椭圆的长轴和短轴的长度分别取决于 a 和 e 。这意味着由式(2)所描述的椭圆上的每一点都会随着坐标系 $x'O'y'$ 的旋转相继地经过点 A ,如图9所示。

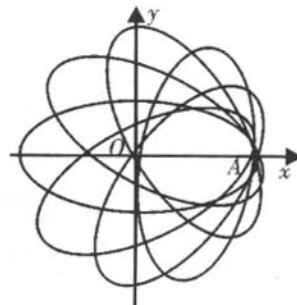


图9 椭圆的运动轨迹

Fig.9 Moving trace of ellipse

依据以上分析,椭球形工件的旋压可通过转盘的转动实现。将一薄板材固定于芯模末端的外表面,旋轮固定于点 A ,旋轮由传动轴驱动旋转,通过旋轮沿坐标系 $x'O'y'$ 平面的法线方向移动就可实现椭圆形工

件的浅拉深旋压. 如果将旋轮的轨迹在水平面上变为一倾斜线段, 则可实现无芯模的椭圆剪切旋压.

2.2 椭球类旋压件及壁厚分析

将芯模和旋轮之间的间隙调整到 1 mm 进行椭圆形工件的浅拉深旋压试验, 结果如图 10 所示.



图 10 通过简单拉深旋压成形的椭球形工件
Fig. 10 The elliptical workpiece of simple drawing spinning

通过浅拉深旋压成形的椭圆工件, 在长度方向上厚度缩减量与回转工件的特性相似. 从底部到最高点沿长度方向的壁厚, 开始时迅速减小, 然后缓慢地增加, 厚度变化的范围比较窄. 横向壁厚的变化范围比较大且不均匀. 壁厚的变化趋势与正弦曲线相似, 与回转产品的变化有很大的不同. 产生这种不同的原因可能是旋压力方向的变化和旋轮与芯模之间的间隙变化所致, 因为薄板毛坯成形点的相对运动方向和相对轨迹的曲率半径均是连续变化的. 在同一设备上还进行了椭球形工件的剪切旋压试验, 该椭球形工件的半锥角是 45° , 试样如图 11 所示. 试

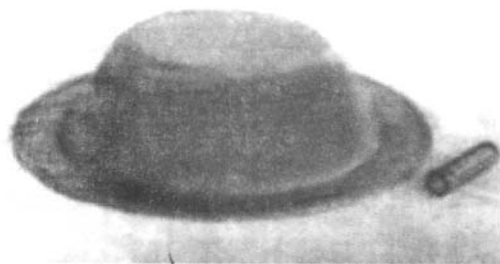


图 11 剪切旋压成形的椭球形工件
Fig. 11 The elliptical workpiece by shear spinning

验结果表明, 通过剪切旋压成形的椭球形工件在长度方向上的壁厚变化分布状况和正弦规律 $t = t_0 \sin \alpha$ (t —工件的最终壁厚; t_0 —毛坯壁厚; α —芯模的万方数据

半锥角)一致, 经剪切旋压成形的椭圆件存在一个临界椭圆. 将毛坯的变形分为稳固阶段和最终阶段两部分: 在剪切旋压的稳固阶段, 壁厚保持不变; 在旋压的最终阶段, 随着法兰区域的不断收缩减小, 壁厚迅速增大. 这与回转工件壁厚的变化相似. 由椭圆件半锥角的变化所引起的毛坯变形程度的变化规律也与回转工件相似.

3 非圆横截面零件旋压成形技术的研究

最近, 有学者对非圆横截面空心零件的旋压成形方法进行了研究. 加工非圆形工件, 要使用类似于普通旋压所用的有一个或几个旋轮的旋压机床. 旋轮分布在待旋压加工工件的整个圆周上, 并沿径向朝着工件进给, 每个旋轮的运动都相互独立. 如果芯模轴线与待加工工件的外轮廓表面的夹角保持不变或变化可以忽略, 则旋轮不需要旋转. 如果夹角变化较大, 加工时若能随时调整旋轮与芯模的夹角, 则更有利于旋压过程的进行.

在数控旋压机床上进行非圆横截面空心零件的旋压成形, 可以精确地控制芯模的旋转角度, 而通过芯模的旋转角度可控制旋轮的径向进给和旋轮与芯模的夹角. 在单道次旋压成形时, 通过旋压芯模获得每个旋轮的进给量和角度变化等信息, 将这些数据存储在类似于“旋压 CAM”之类的程序中, 通过这些数据可控制旋轮的运动轨迹.

在对芯模进行修正时, 必须考虑到金属回弹因素的影响. 为了获得产品的外轮廓模型, 在芯模的每一点都必须加上在此处垂直于芯模表面的工件壁厚^[9-10].

3.1 非圆横截面空心零件的旋压设备

德国的达姆施塔特工业大学对非圆横截面空心零件的旋压成形进行了实验, 实验设备如图 12 所示. 由于实验所采用的机床没有数控系统, 既不能对旋轮实行数控, 也不能精确地控制芯模的旋转角(尽管这是加工非圆横截面空心零件所必备的条件), 故需采取一些措施使旋轮对金属施加恒定的压力使之变形.

安装在单个旋轮臂上的两个旋轮就像老虎钳似的从两边朝着旋压芯模进给. 预定的径向力由施加预压力的弹簧所施加, 从而保证了变形力在两个旋轮之间的分布是均匀的. 该装置所用的弹簧可使两个旋轮所能施加的最大径向力达到 5800 N, 可用于

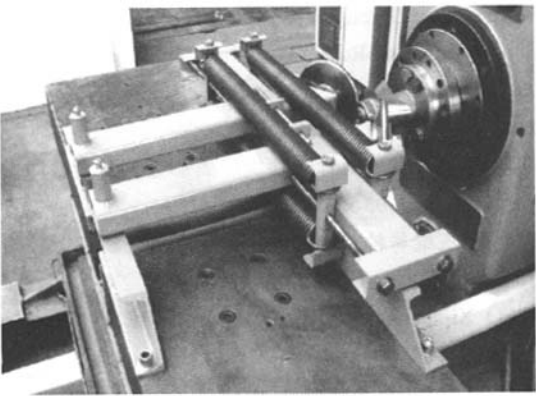


图 12 恒径向力旋压机床

Fig. 12 Spinning machine with constant radial forces caused by spring tension

2 mm 厚钢板的成形. 非圆横截面空心零件具有锥角形状的特征,这就要求旋轮的径向进给量必须随着这些特征而变化. 旋轮的径向进给量每变化 1 mm, 径向旋压压力就会产生 5 N 的变化.

3.2 非圆横截面空心旋压件及壁厚分析

为了验证非圆横截面空心件的旋压可行性,试验采用两个具有非圆横截面的芯模. 其中一个为类似锥形的 Reuleaux 三角形状芯模,如图 13 所示. 在

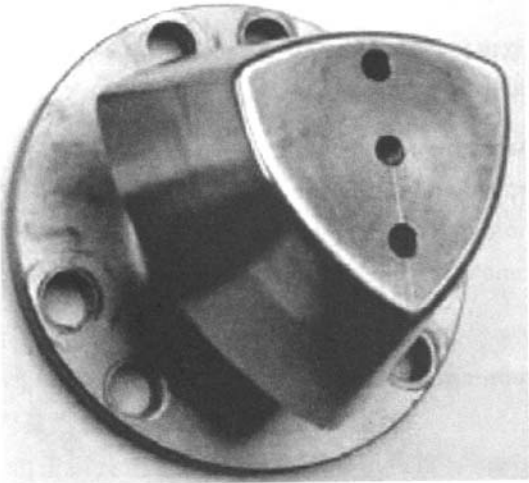


图 13 Reuleaux 状芯模

Fig. 13 Reuleaux shaped mandrel

其横截面上的所有半径根据 Reuleaux 三角形都可协调地相互并入. 试验所采用的另一个芯模类似于三角架,其外轮廓为凹凸剖面相间,且这些凹凸剖面

之间可协调地相互并入,如图 14 所示. 在芯模轴线的轴向剖面上,芯模的外轮廓线通常是直线,且其坡度角随剖面与轴的夹角的改变而变化.

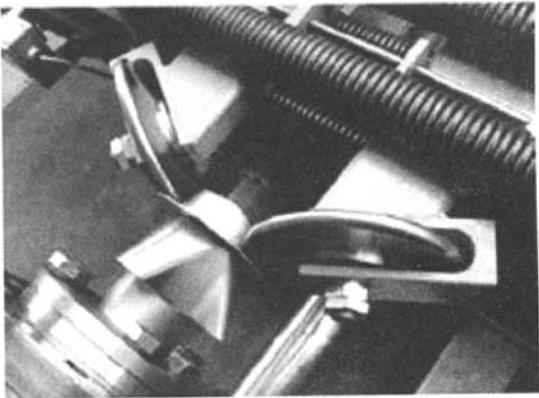


图 14 三角架状芯模

Fig. 14 Tripod-shaped mandrel

将芯模和旋轮之间的间隙调整到 1.5 mm, 分别进行 Reuleaux 状工件和三角架状工件的旋压成形试验,结果如图 15 所示.

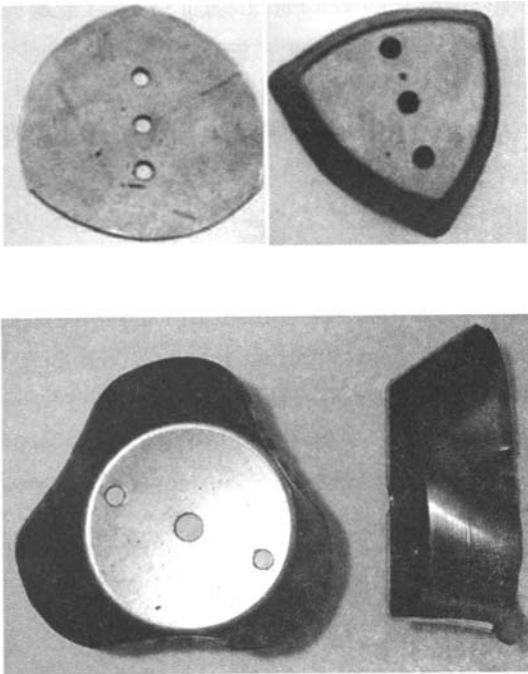


图 15 非圆形空心件旋压样品

Fig. 15 Non-circular hollow specimen part of spinning

对上述工件壁厚的测试结果表明,工件的底部保持毛坯的原始壁厚 1.25 mm,但是在底部与表面

的边界周围,材料减薄率达到40%。

到目前为止,该研究所做的工作主要是证明了非圆截面形状零件的旋压成形是可行的。进一步的研究应致力于解决生产恒定壁厚的工件时参数的优化和突破该技术的局限性。

4 结 语

旋压技术在复杂形状零件成形中的应用还处于初步探索研究阶段,且国内的研究与国外相比还有较大的差距。目前,非轴对称零件旋压成形的研究相对比较成熟,该项技术已经用于生产汽车的排气歧管和消音器。椭球形零件的旋压成形技术主要用于生产椭球形封头。对于非圆形截面空心件旋压成形技术的相关报道较少。

参考文献:

- [1] 高田佳昭. 日本における最新回車云成形技術[J]. 塑性与加工(日本塑性加工学会志), 2002, 43(11): 8-12.
- [2] 佚名. SHEETS Manufacturing Company Homepage-Applications-Flexibility in Part Design[EB/OL]. [2005-03-31] <http://www.sheetsmfg.com/applications.html>.
- [3] 佚名. MJC Engineering and Technology Inc Homepage-

What's new-December 2002- Flying over Our Competition with Out-of-Round CNC Spinning[EB/OL]. [2005-03-31] <http://www.mjceengineering.com/whatsnew/index.htm>.

- [4] 夏琴香. 三维非轴对称零件旋压成形工艺及设备[J]. 新技术新工艺, 2003(12): 33-35.
- [5] 夏琴香. 三维非轴对称零件旋压成形机理研究[J]. 机械工程学报, 2004, 40(2): 153-156.
- [6] GAO Xi-cheng, KANG Da-chang, MENG Xiao-feng. Experimental research on a new technology of ellipse spinning[J]. Journal of Materials Processing Technology, 1999, 94: 197-200.
- [7] 万晋, 林悦. 旋压成形近似椭圆封头有限元分析[J]. 福州大学学报: 自然科学版, 2000, 28(2): 94-98.
- [8] 刘兴家. 承压椭球封头旋压旋轮座三目标优化的研究[J]. 塑性工程学报, 2001, 8(3): 80-84.
- [9] AWISZUS B, MEYER F. Metal spinning of non-circular hollow parts[C]//Proceedings of the 8th International Conference on Technology of Plasticity. Verona: Edizioni Progetto Padova, 2005: 353-355.
- [10] KLEINER M, GÖBEL R, KANTZ H, et al. Combined methods for the prediction of dynamic instabilities in sheet metal spinning[J]. Annals of the CIRP, 2002, 51(1): 209-214.

Application of spinning technology on complex parts forming

SHANG Yue, XIA Qin-xiang, XIE Shi-wei

(South China University of Technology, Guangdong 510641, China)

Abstract: With the development of the industrial product towards the more complex shape and higher quality demand, the new spinning forming technologies appear continuously, the limitation of only thin-walled and hollow symmetric parts can be produced by spinning technology have been broken through rapidly. The paper mainly focuses on the spin-forming mechanism and current researches of non-axisymmetric parts, ellipse parts and non-circular parts appeared in recent years.

Key words: spinning; non-axisymmetric parts; ellipse parts; non-circular parts