

圆筒件拉深变形过程中应力分布的数值模拟

沈阳机床（集团）有限责任公司 （辽宁 110132） 吴小蓉

沈阳理工大学装备工程学院 （辽宁 110159） 韩继龙

拉深工艺在现代工业冷冲压生产中得到广泛应用。以拉深为主要成形工序的工件，经过一次或多次的拉深能够加工出各种形状复杂的拉深零件。

拉深类零件通常具有较好的表面质量、较高的尺寸精度和较均匀的壁厚，但变薄拉深又是非常复杂的弹塑性变形过程，由于凹模锥角、拉深系数、摩擦因数及变形速度等参数的影响，使得拉深过程中易发生起皱、拉毛等现象。因此，分析拉深变形过程中材料的应力状态分布及其对变形的影响具有重要的意义。

随着计算机辅助设计的发展，数值模拟越来越多地应用于金属塑性成形加工领域。预测工件在成形过程中的应力应变分布、厚度的变化以及起皱破

裂等，为工艺分析以及优化设计提供有效的参考数据。本文应用 ANSYS13.0 有限元软件，对圆筒件的变薄拉深进行数值模拟，分析其在弹塑性大变形过程的应力分布状态。

1. 圆筒的变薄拉深

圆筒件的变薄拉深是拉深类零件的一个基本成形工序。图1为典型拉深成形过程中的受力状态，其中1、2所示分别对应为变形区域和传力部分。在变形区，材料处于轴向受拉、切向受压、径向受压的三向应力状态。而在传力区域部分，各部分材料受力是在轴向、切向两向受拉，径向受压。拉深成形后，底部略有变薄，基本保持原平板厚度，各部位的硬度

度详细情况如图5和图6所示。实践发现，卧式双面对镗加工中心两镗杆的同轴度，调整后比调整前减小了0.09 mm。

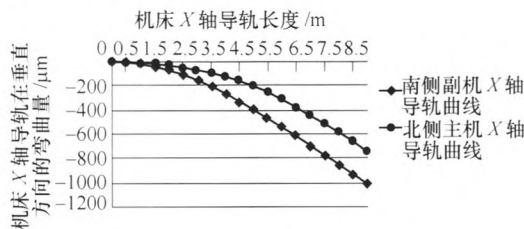


图5 补偿之前的机床导轨曲线

3. 结语

本文介绍了卧式双面对置式镗铣加工中心的两根镗杆间同轴度误差的补偿方法以及 RENISHAW

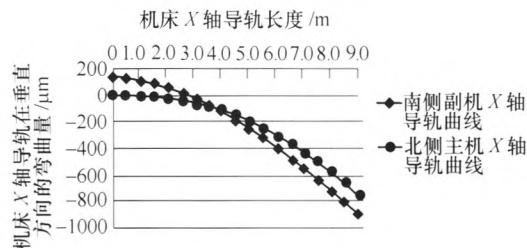


图6 补偿之后的机床导轨曲线

RMP60 探测系统的安装调试、测头标定及同轴度误差检测的过程。实践证明，该方法具有合理性和有效性。此项研究对于提高 RENISHAW 探测系统及 SIEMENS 840DE 数控系统的应用水平具有重要价值，有助于用户掌握相关的机床在线检测技术。**MW**

（收稿日期：20140414）

分布为愈接近圆筒口部硬度愈高,表明圆筒件拉深时,变形的不均匀分布,变形量从口部到底部依次减小。

2. 有限元模拟

模拟拉深件材料为紫铜板, 厚度 2 mm。其抗拉强度为 196 MPa, 屈服强度为 69 MPa, 模具

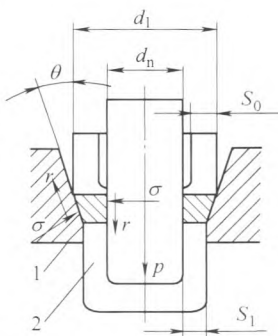


图1 拉深变形过程中的
受力状态

在拉深过程中处于凸模底部的材料几乎不发生变形,因此变形主要集中在处于凹模端面上的凸缘部分。图2为拉深变形初始阶段应力分布状态,凸缘部分应力已经大于紫铜材料屈服强度 69 MPa 而进入屈服状态。材料在拉应力和压应力的作用下,产生塑性变形,逐渐进入凹模。拉深时材料主要是由切向向径向转移,也有部分材料向厚度方向流动,使厚度增厚。接近凸模外缘的材料,因切向挤出的材料最多,变形程度最大。

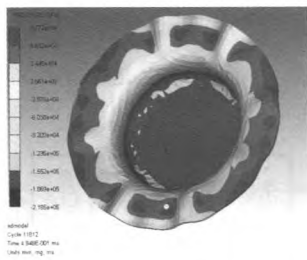


图2 拉深变形稳定阶段应力分布

图3为拉深变形最后阶段的应力分布状态。可以看到,凹模圆角到筒壁的过渡区域的材料变形比较复杂,除有上述区域相同的特点外,还有由于承受凹模圆角的压力和弯曲作用而产生的压应力。此处是应力集中区,也是危险截面。其部分应力达到150 MPa以上,已非常接近材料的抗拉强度。因此,在生产中要通过合理设计凸模圆角,从而减小此处的应力值。此时,筒壁部分材料已成形为筒形,将不再继续有大变形量产生。但筒壁是将凸模施加的拉深力传递到坯料主要变形区的传力区,其主要承受单向拉应力作用,产生少量的拉深和厚度减薄的变形。由图中可见,此部分材料应力值不大,但也维持在 10^7 Pa量级。

当凸缘部分材料承受的切向压应力达到一定程

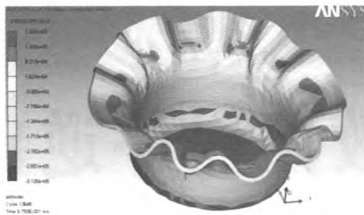


图3 拉深变形稳定最后阶段应力分布

度时,且此时对应凸缘的相对厚度较小,凸缘部分的材料将失稳而形成褶皱,可明显看到如图3所示。而当已起皱的部分被拉入凹模时,由于起皱部分材料厚度增厚,将使拉深力剧增,有可能导致材料破裂。为了防止材料起皱,应采用压边圈,采用压边圈后的仿真结果如图4所示。但压边力需恰当选择,过小时不能防止凸缘起皱,过大则会因拉深力增大而可能使材料破裂。从图4中可见,加压边圈后材料边缘受到很大的压应力作用,筒件边缘没有明显的褶皱。相比较而言,图3所示的筒形件边缘起皱严重,筒形件不可用于后续加工。



图4 采用压边装置后筒形件

而凸模施加的拉深力 P 需通过筒壁传递到凸缘内缘, 将变形区材料拉入凹模。作用于筒壁的拉应力是下列几部分应力的总和:

- (1) 凸缘变形区的最大拉应力，一般来讲取决于材料性质及坯料直径对筒件直径之比。
- (2) 由压边力引起的、作用在凸缘上下表面的摩擦力。
- (3) 凸缘材料绕过凹模圆角部分时与凹模圆角部分间的摩擦力以及由于凹模圆角对材料的弯曲引起作用于筒壁的拉应力。凹模圆角半径愈小，所引起的拉应力愈大。

3. 结语

拉深变形过程中变形主要集中在处于凹模端面上的凸缘部分。但凸缘到筒壁的过渡区域, 此处材料的变形比较复杂, 易发生应力集中现象而导致材料被拉断。采用一定的压边措施, 可有效防止材料的拉深起皱。MW (收稿日期: 20140417)