

[研究·设计]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2016.03.011

影响板材折弯回弹因素的研究

黎明, 钱怡, 平东良, 单佳莹

(江南大学机械工程学院, 江苏无锡 214122)

摘要:回弹是影响板材折弯精度的主要因素,文章根据实际生产建立了比较合理的自由折弯冲压加工简化模型,提出了基于 ANSYS Workbench 准静态模块的分析方法,对建立的简化模型进行了主要工艺参数的有限元模拟分析。通过控制变量法,分析板厚、下模开口大小和下压量对回弹的影响。研究表明回弹大小随着板材厚度的增加减小,随着下模开口的增大而增大,随着下压量的增加而减小。进行了相关折弯实验,实验结果表明有限元分析结果符合实际。研究板材折弯时应考虑成型角度、板材厚度以及下模开口大小等因素的影响。

关键词:板材折弯;回弹;有限元分析;ANSYS Workbench 准静态模块

中图分类号: TG386

文献标志码: A

文章编号: 1005-2895(2016)03-0049-03

Study on Factors Influencing Bending Springback of Sheet Metal

LI Ming, QIAN Yi, PING Dongliang, SHAN Jiaying

(School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

Abstract: Springback is the main factor which influences the bending accuracy of sheet metal. In this paper a reasonable simplified model of the freedom stamping bending was established on the basis of the actual production. Analytical method was proposed based on ANSYS Workbench quasi static, to analyze the main process parameters of the model by the FEM. Controlling variable method was adopted to research the influence of thickness of sheet metal, the amount of press and the size of die on bending springback of sheet metal. The result showed that the increase of thickness or the amount of press would lead to the decrease of springback; the more was the size of die, the bigger was the springback. Through experimental verification, the simulation results were demanded to fit into the reality. The factors of thickness, the amount of press and the size of die must be considered when studying on the sheet bending.

Key words: bending sheet metal; springback; Finite Element Analysis (FEA); ANSYS Workbench quasistatic model

板料冲压成形是一种重要的零件加工方法^[1],它是借助于模具使板料产生塑性变形而完成的,在工业领域得到了广泛地应用^[2]。折弯件形状较简单,其精度主要体现在直线度和角度^[3]¹⁸¹⁻¹⁸⁷。板料成型常见的3大缺陷是起皱、拉裂和回弹,其中回弹最难控制^[4]。因此对板材折弯回弹进行研究是十分有必要的。现在国内对回弹进行研究主要针对钣金材料进行下模开口大小和压边力等进行的研究^[5-7],并未针对板材成型角度以及板材厚度相关研究,本文通过有限元分析,结合前人的研究成果,讨论了板材自由弯曲成型的相关影响因素,进一步分析了板材折弯回弹的影响因素。

1 有限元模型的建立

一般冲压成形速度低于 6 m/s,对其变形分析可

以忽略惯性力的影响,简化为准静态模型,可以避免时间域的积分运算,提高模拟效率^[8]。由于本文分析的板材冲压折弯冲压速度为匀速 8 mm/s,因此采用准静态模型进行分析模拟计算。

材料特性的真实性直接影响有限元模拟的精度^[9],因此,使用恰当的材料模型和真实的材料力学特性参数,是确保回弹模拟准确性的重要因素。本文通过材料实验获取材料特性,准确反映材料的力学性能^[10]。本文选用的板材为 Q235A,采用标准试棒进行实验,经过材料性能拉伸试验得出数据如表 1 所示。

实体单元进行板料成形问题对于厚度较大的板料精度和效率都比较高^[3]⁶³⁻⁶⁹,本文研究 1.5~2.5 mm 板

收稿日期:2016-01-05;修回日期:2016-03-10

作者简介:黎明(1992),男,江西九江人,硕士研究生,主要研究方向为板材折弯精度分析。E-mail:lmwokeyi@163.com

材折弯过程中,回弹的大小以及相关的影响因素,为了更好地讨论板料折弯过程中其内部应力、变形,有限元分析时采用三维实体单元。

表1 材料性能

Table 1 Material properties

材质	密度 ρ / ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	屈服强度 σ_s /MPa	抗拉强度 σ_b /MPa	弹性模量 E /GPa	泊松比 μ
Q235A	7 860	295	428	212	0.288

尽管单元尺寸越小,模拟精度越高,但是计算时间越长^[11-13],因此在时间允许的条件下,采用较小的单元尺寸模拟精度较高。板料厚度为1.5~3.0 mm,故采用0.4 mm的三维实体单元进行模拟,以2.0 mm板材为例,单元数量为16 413个,节点数为78 462,通过软件网格检查项得知网格质量良好。板材与上下模之间的接触设置为摩擦接触,摩擦因数为0.1。

本文讨论的是自由折弯,即通过上模冲压板材,使板材发生永久塑性变形而形成需要形状的板材,鉴于折弯过程中上、下模的刚度远大于板料,所以在折弯过程中将上模与下模定义为刚体,以减少计算量,在精度允许情况下,采用板材的一半模型进行计算,将模型简化如图1所示。

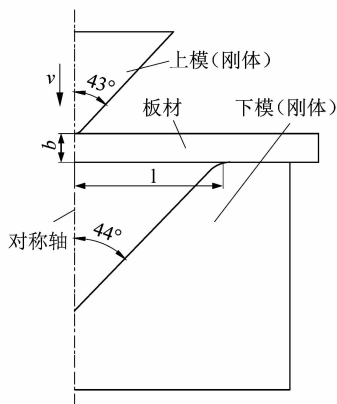


图1 简化模型

Figure 1 Diagram of simplified model

2 影响折弯回弹的因素分析

影响板材折弯回弹的因素有很多,本文着重讨论下压量、板厚、下模开口大小对板材折弯的影响。板材折弯有限元所得的等效应力分布情况如图2所示。

2.1 下压量对折弯回弹的影响

板材冲压折弯角度由下压量决定,上模下压量的大小变化即为冲压角的变化,研究板材冲压角度对回弹大小的影响也就是研究冲压过程中下压量大小对板材折弯回弹大小的影响。针对1.5,2.0 mm板材在下

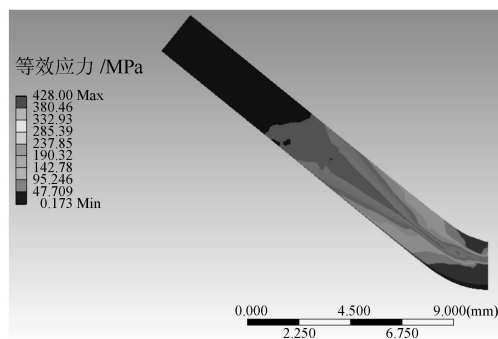


图2 等效应力分布

Figure 2 Distribution of equivalent stress

模开口大小为20 mm,下压量分别为5.0,5.7,6.4,7.1,7.8 mm时的回弹量进行研究,如图3所示。

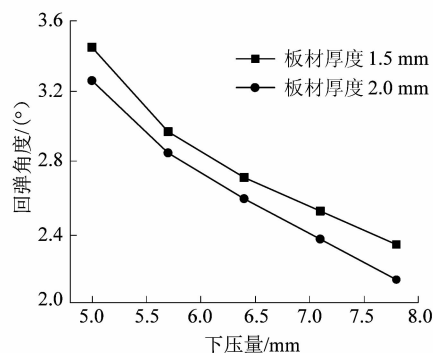


图3 回弹角度随下压量变化关系

Figure 3 Influence of amount of press

由图3可知,随着冲压角度的减小,即下压量的增大,板材回弹角度逐渐减小。随着变形量的增大,板料外层纤维发生塑性变形的程度越来越高,弹性变形成分越来越少;同时板材变形区域塑性变形范围越来越大,弹性变形区域随着下压量的增大不断减小,中心层附近的纯弹性区也会逐渐转而发生塑性变形,使得板材的总弹性变形成分随着变形量的增大而减少,造成卸载后由弹性变形引起的回弹量也会变小。

2.2 板材厚度对折弯回弹的影响

图4为1.5,2.0,2.5,3.0 mm的板材,在下压量为7.8 mm,下模开口槽宽分别为20和24 mm的情况下进行冲压模拟,所得的板料与回弹角度的关系。

由图4可以看出,随着板厚的增加回弹角度逐渐减小,主要原因是在下压量不变的情况下,随着板材厚度增加,板材的即时变形量增大,板中的塑性变形比例增大,因此导致回弹角度随着板材厚度增加而减小。

2.3 下模开口大小对折弯回弹的影响

冲压板材过程中,如果下模选择不一样得到的角度会不同,有时会相差很大。对于不同厚度板材而言,

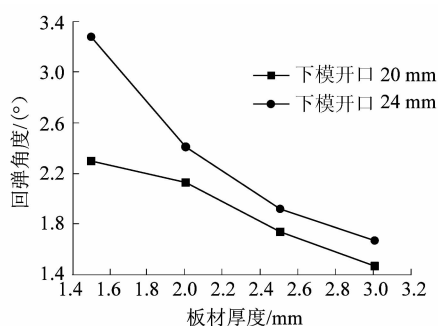


图4 回弹角度随板厚的变化关系

Figure 4 Influence of sheet thickness

选择太大或太小的下模开口都是没有意义的,并不能精确得到需要的角度。因此,在研究下模开口大小对板材折弯回弹的影响时,通过比较 1.5~3.0 mm 板材在下压量为 7.8 mm,下模开口槽宽为 20,24 mm,间接研究下模开口大小对回弹的影响。

由图4可以看出,24 mm的下模开口的回弹量大于20 mm时候的值。因为随着下模开口减小,对应的板材折弯变形的弹性变形部分减小,塑性变形成分增大,因此回弹会减小,回弹角度减小。

2.4 有限元模拟值与实验值的对比

实验与模拟值的对比采用 1.5 mm 厚的板材,在下模开口大小为 20 mm 情况下,下压量分别为 5.0, 5.7, 6.4, 7.1, 7.8 mm 时的下压实验值以及通过有限元模拟得到的最终成型角度的大小,并进行比较。

表2 实验值与模拟值比较

Table 2 Comparison of experimental and value of simulation

下压量/mm	实验值/(°)	模拟值/(°)	误差/%
5.0	121.0	125.04	3.33
5.7	113.5	117.39	3.42
6.4	106.0	110.90	4.05
7.1	100.2	104.60	4.39
7.8	93.4	99.00	5.99

由表2可看出模拟值稍大于实验值,但误差都在10%以内,模拟结果比较可靠。误差产生的原因主要有以下几点:①模拟过程中的摩擦因数设置导致,摩擦因数设置不一定能够完全符合实际情况,会导致模拟值相对于实际值集体偏大,摩擦因数设置过大,折弯过程中受到的阻力大,导致折弯角度集体偏大;②实验过

程中对于测量也会存在一定的误差,可能导致与模拟有一定差异;③材料实验所采用的材料与进行力学拉伸试验的材料可能不是一批次的材料,导致在模拟输入材料属性时与实际材料属性存在一定的差异。

3 结语

通过 Workbench 准静态模块进行有限元模拟以及实验验证分析可以得知,影响板材折弯回弹大小的因素很多,在文中分析了下压量,板材厚度以及下模开口槽宽对回弹大小的影响,并通过相关实验进行验证。在相同条件下,随着下压量增加,即随着冲压角度的减小,板材塑性变形区域越来越大,弹性变形区域越来越小,从而回弹角度会随着下压量的增大逐渐减小;随着板材厚度增加,载荷也会相应增大,从而引起塑性变形的增大,回弹角度减小;随着下模开口槽宽增大,回弹角度逐渐增大。这些影响因素的研究对于实际加工中相关工艺参数的控制具有一定的意义,可以用于指导实际加工生产。

参考文献:

- [1] 钟志华. 薄板件冲压成形郭成的计算机仿真[M]. 北京:北京理工大学出版社,1997.
- [2] 王飞,游有鹏. 基于材料参数检测的板料回弹预测方法[J]. 沈阳工业大学学报,2011(5):545-549.
- [3] 李亨. 提高大型数控折弯成形精度的关键技术研究[D]. 合肥工业大学,2012:20-69.
- [4] 余同希,张亮炽. 塑性弯曲理论及其应用[M]. 北京:科学出版社,1992:45-187.
- [5] 戚鹏. 板料成形过程的回弹控制与工艺参数优化研究[D]. 济南:山东大学,2006.
- [6] 陈磊,杨继昌,张立文. 板料弯曲回弹影响因素的有限元模拟研究[J]. 材料科学与工艺,2007,15(2):269-272.
- [7] 邵然. 基于正交试验的高强度板料回弹影响因素分析[J]. 热加工工艺,2014,43(7):142-146.
- [8] 许京荆. 薄板冲压成形的回弹预测研究[D]. 上海:上海大学,2002:21-24.
- [9] 刘艳,谢值州,肖华,等. 影响板料成形回弹数值模拟精度的因素分析[J]. 锻压装备与制造技术,2006,41(5):55-58.
- [10] 史艳莉,吴建平. 各向异性屈服准则的发展及应用[J]. 锻压技术,2006,31(1):99-103.
- [11] 江煌煌. 板料冲压成形及回弹有限元数值模拟分析[D]. 南京:南京理工大学,2007:17-20.
- [12] 张晓静,周贤宾. 板料成形回弹模拟[J]. 塑性工程学报,1999,6(3):56-62.
- [13] 臧顺来,丁日显,郭成,等. 单元尺寸和积分点个数对冲压回弹模拟精度的影响[J]. 塑性工程学报,2010,17(5):10-14.