

一种钣金折弯过程抓取点轨迹计算方法的研究

许路佳,范立成,张凤明

(苏州大学 机电工程学院,江苏 苏州 215000)

摘要:提出一种钣金折弯过程中的机械臂末端抓取点空间轨迹的计算方法,利用钣金折弯过程中中性层长度不变特性,建立折弯过程的数学模型并计算得到抓取点空间位置坐标与钣金折弯参数之间的数学关系,通过 Matlab 计算得到其位置坐标与工进距离之间的函数图像,并通过 Ansys 对折弯过程进行仿真,对计算结果进行了对比与分析。验证了数学模型的正确性,为钣金折弯过程机械臂末端路径规划提供了理论依据。

关键词:钣金折弯;中性层;空间轨迹;Ansys 仿真

中图分类号:TP391.9 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2021)03-0099-02

Study on Method for Calculating the Trajectory of Grab Points in Sheet Metal Bending Process

XU Lujia, FAN Licheng, ZHANG Fengming

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Soochow University, Suzhou 215000, China)

Abstract: A method for calculating the spatial trajectory of the gripping point at the end of the manipulator during the bending process of sheet metal was proposed. The mathematical relationship between the spatial coordinates of the grab points and the bending parameters of the sheet metal was established. The function image between the position coordinates and the working distance was calculated by Matlab, and the bending process was simulated by Ansys. The calculation results were compared and analyzed. The verified correctness of the mathematical model provides theoretical basis for the path planning of the end of the robot arm during the sheet metal bending process.

Keywords: sheet metal bending; neutral layer; space trajectory; Ansys simulation

0 引言

在钣金折弯领域,国外如 ABB、西门子都有钣金折弯离线编程系统,已经实现了在实际生产中完全自动化加工^[1]。而国内钣金生产领域起步较晚,多数企业仍未实现自动化,机械臂配合钣金折弯过程多运用经验法,但此方法往往需要进行多次调试,其过程耗时、耗材。查健^[2]通过建立模型方法,计算得到抓取点在折弯过程中与初始点的位置关系,但未考虑折弯过程中钣金长度变形,在厚件钣金折弯中会出现较大误差。张如华等^[3]通过建立多种模型方法得到指定点轨迹与折弯角度之间的关系,但未与上模工进距离建立联系。本文建立了折弯过程的数学模型,对抓取点位置进行了计算与分析,并通过仿真进行了验证。

1 钣金折弯过程分析

钣金件展开长度的理论算法十分复杂,在实际生产中常采用近似的简化算法。钣金的折弯变形是在折弯机上、下模共同作用下完成。随着折弯角度的增大,中间变形区域变大的同时两边未变形区 L_1 、 L_2 的长度变短。在变形区,钣金内侧表面受到挤压而被缩短,钣金外侧表面受到拉伸而伸长,那么在内外层之间必定有一层材料的长度在

折弯过程中保持不变,这一层被称为中性层^[4],如图 1 虚线所示。当钣金材料的种类、厚度、弯曲半径不同时,中性层的位置会有所不同^[5]。假设钣金厚度为 s ,中性层与受压一侧的距离为 T ,在此引入关系系数 k ,使得 $k = \frac{T}{s}$,使其代表中性层相对于钣金厚度的位置,称为 k 因子,通常也叫做中性层位移系数^[6]。

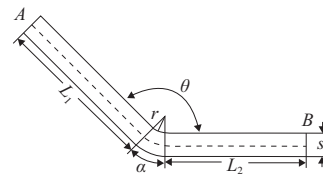


图 1 钣金折弯中性层

2 钣金折弯过程的抓取点空间轨迹公式推导

钣金折弯的数学模型如图 2 所示。钣金厚度 $|DD'|$ 为 s ,折弯机上模与待折弯钣金件接触于 E 点,下模的槽口边界分别为 F 、 I 点,间距为 $2l$ 。建立以 O 点为坐标原点

基金项目:国家重点研发计划“智能机器人”专项(2018YFB1309200)

第一作者简介:许路佳(1996—),男,河南鲁山人,硕士研究生,研究方向为机器人轨迹规划技术。

的坐标系, x, y 轴方向分别为 OF, OE, A_0 为机械臂末端吸盘与钣金的接触点, 在折弯过程中移动到位置 $A(x_A, y_A)$, 折弯过程中中性层 $A'B'C'D'$ 在折弯过程中长度不变。中性层系数取 k , 机械臂与钣金接触点 A_0 距离钣金折弯处长度为 b , 在折弯过程中折弯半径 $|KC''|$ 为 r 。钣金折上模工进深度 (即 EC'' 的长度) 为 a , 具体计算过程如下。

由数学关系可知, $\triangle OFG \cong \triangle BKG$, 设 $\angle OFG = \angle BKG = \theta$, 则:

$$\tan\theta = \frac{|OG|}{|OF|} = \frac{|OK| + |KG|}{l} = \frac{a-s-r}{\cos\theta} \quad (1)$$

其中 $\cos\theta = \frac{1}{\sqrt{1-\tan^2\theta}}$ 。为方便计算, 令 $m=r+s$, 化简得:

$$\tan\theta = \frac{l(a-m) + \sqrt{l^2(m-a)^2 - (l^2-m^2)(a^2-2ma)}}{l^2-m^2} \quad (2)$$

$$\theta = \arctan \frac{l(a-m) + \sqrt{l^2(m-a)^2 - (l^2-m^2)(a^2-2ma)}}{l^2-m^2} \quad (3)$$

曲线 $B'C'$ 的长度为 $(r+ks)\theta$, 可求得

$$|AB| = |A'B'| = b - (r+ks)\theta \quad (4)$$

由图 2 可知, $|KB| = r+s = m$, 坐标系中 $C''(0, s-a)$, $K(0, s-a+r)$, $B(x_B, y_B)$, 其中:

$$x_B = m\sin\theta, y_B = m-a-m\cos\theta \quad (5)$$

做辅助点 H , $\angle AHB = 90^\circ$, $\angle ABH = \angle OFG = \theta$, 可得

$$|AH| = |AB|\sin\theta, |BH| = |AB|\cos\theta \quad (6)$$

已知 $B(x_B, y_B)$, 可得 $A(x_A, y_A)$:

$$\begin{cases} x_A = m\sin\theta + [b - (r+bs)\theta]\cos\theta \\ y_A = m-a-m\cos\theta + [b - (r+bs)\theta]\sin\theta \end{cases} \quad (7)$$

通过以上计算得到了 $A(x_A, y_A)$ 和折弯机上模工进深度 a 的数学函数关系。

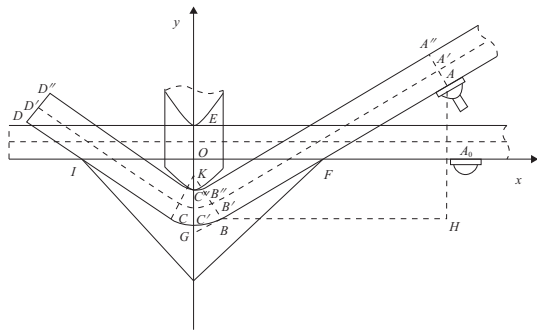


图 2 钣金折弯过程数学模型

3 仿真验证

为验证计算结果的正确性, 采用实践中常用数值, 设待折弯钣金材料为不锈钢, 上模尖点半径为 0.5 mm , $2l = 20 \text{ mm}$, $b = 180 \text{ mm}$, $s = 3 \text{ mm}$, 根据折弯经验, 6 mm 以下钣金折弯半径可取自身厚度, 即 $r = 3 \text{ mm}$ 。取不锈钢中性层系数 $k = 0.4$, 计算可得当折弯角度为 90° 时, $a = 7.5 \text{ mm}$, 取折弯机上模工进距离 a 为自变量, 得到函数关系曲线如图 3 所示。

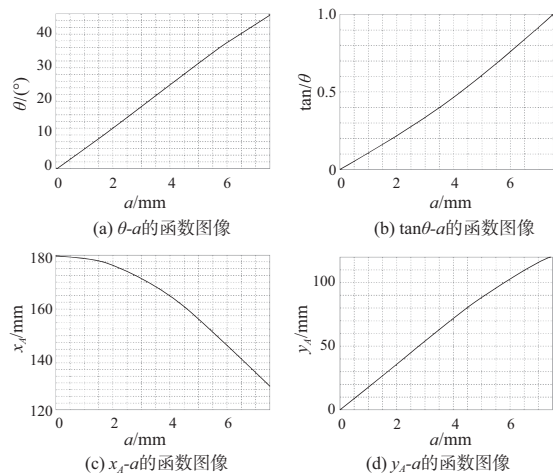


图 3 各项参数与工进距离函数关系

取相同的参数值在 Ansys 中进行仿真, 并将结果与仿真结果进行对比, 如图 4、图 5 所示。通过结果对比发现, 建立数学模型得到的计算结果与仿真结果有较好的契合性, 由于实际的钣金折弯过程中, 变形并非完全按照建立的数学模型进行, 同时折弯机下模存在较小圆角, 不可避免造成理论计算与仿真结果存在误差值, 但机械臂末端吸盘与钣金之间并非刚性接触, 允许一定误差的存在。通过与仿真结果的对比, 在折弯过程中 A 点的横、纵坐标随工进距离的结果误差值先增大后缩小, 整体误差在 1.5 mm 以内, 空间轨迹结果有较好的重叠性, 从而验证了数学模型与计算结果的正确性。

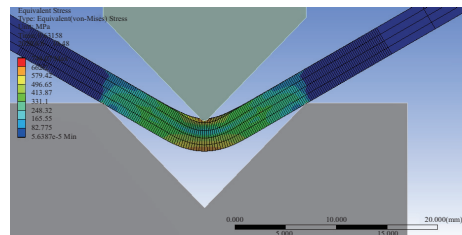


图 4 钣金折弯过程仿真

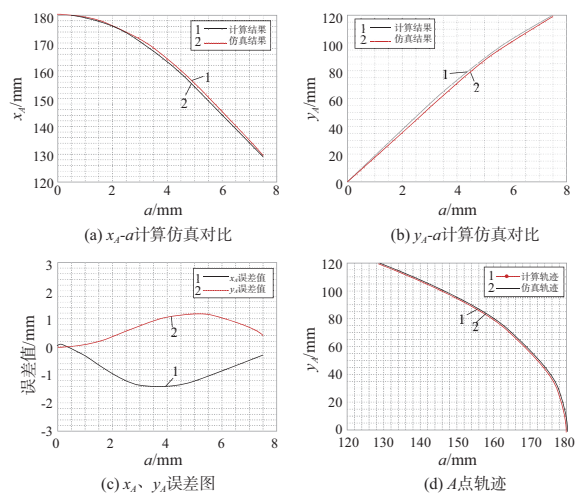


图 5 计算与仿真结果对比

(下转第 117 页)

- pedestrian[J]. IEEE Transactions on Intelligent Vehicles, 2016, 1(4):314-324.
- [8] SHIMIZU T, RAKSINCHAROENSAK P. Motion planning via optimization of risk quantified by collision velocity accompanied with AEB activation[C]//2017 IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety (ICVES), June 27-28, 2017, Vienna, Austria: IEEE, 2017:19-25.
- [9] DOI A, BUTSUEN T, NIIBE T, et al. Development of a rear-end collision avoidance system with automatic brake control[J]. JSAE Review, 1994, 15(4):335-340.
- [10] 陆建, 张文珺, 杨海飞, 等. 基于碰撞时间的追尾风险分析[J]. 交通信息与安全, 2014, 32(5):58-64, 76.

收稿日期:2020-10-14

(上接第98页)

4 结语

本文对 SiCp/2009Al 复合材料的静拉伸性能、循环力学性能进行了室温下的试验研究,分析材料的单轴拉伸曲线以及稳态循环滞回曲线,采用 Chaboche 以及 B-P 本构理论对其循环滞回响应进行了预测及对比分析,得到如下结论:

1) SiCp/2009Al 复合材料的强度较“2”系列铝合金有较大提升,但延展性下降,其静拉伸行为与基体相似在室温下加载速率 0.001~0.004/s 的范围内体现出“率无关”的特性;循环力学响应中的应力、应变对应较好,循环拉伸性能对称。

2) Chaboche 本构理论对 SiCp/2009Al 复合材料稳态滞回曲线预测结果的整体趋势与试验曲线更加一致,预测误差更小,可以更好地描述该材料循环力学行为。

3) B-P 本构理论对 SiCp/2009Al 复合材料稳态滞回曲线的预测存在明显的“偏方”现象,会对曲线整体预测结果带来较大的误差。

4) 采用遗传算法可以较好地解决本文所选用本构模型中多参数、多方程相互耦合的参数识别问题。本文所识别的模型参数可以很好地描述材料的循环力学行为,具有不错的实用效果。

5) 可以通过在两类本构理论中增加相关修正项,以降低所建立本构模型对 SiCp/2009Al 复合材料循环滞回行为的预测误差。

参考文献:

- [1] 田治宇. 颗粒增强金属基复合材料的研究及应用[J]. 金属材料

料与冶金工程, 2008, 36(1):3-7.

- [2] KANG G Z. A visco-plastic constitutive model for ratcheting of cyclically stable materials and its finite element implementation[J]. Mechanics of Materials, 2004, 36(4):299-312.
- [3] 秦亮, 耿小亮, 郭运强, 等. SiCp/Al 材料力学行为研究的进展[J]. 航空制造技术, 2010, 53(16):79-82.
- [4] FLEMING W J, TEMIS J M. Numerical simulation of cyclic plasticity and damage of an aluminium metal matrix composite with particulate SiC inclusions [J]. International Journal of Fatigue, 2002, 24(10):1079-1088.
- [5] PIERARD O, DOGHRI I. An enhanced affine formulation and the corresponding numerical algorithms for the mean-field homogenization of elasto-viscoplastic composites [J]. International Journal of Plasticity, 2006, 22(1):131-157.
- [6] 魏洪亮, 杨晓光, 于慧臣. GH4169 合金高温力学行为本构建模及参数识别[J]. 材料工程, 2005, 33(4):42-45.
- [7] 杜京. Ti2AlNb 材料高温低周疲劳力学行为与预测方法研究[D]. 南京:南京航空航天大学, 2016.
- [8] 胡绪腾, 宋迎东. Bodner-Partom 本构模型材料参数估计新方法[J]. 机械科学与技术, 2009, 28(2):196-199.
- [9] 张晶. 基于遗传算法的 Chaboche 模型参数的估计与优化[D]. 沈阳:东北大学, 2011.
- [10] 宋迎东, 高德平, 杨治国. 粉末高温合金黏塑性试验评定与本构模型参数估计[J]. 航空学报, 2002, 23(2):162-165.
- [11] 卢孔汉, 张宏建, 贾鹏超. GH4169 合金的循环本构模型研究[J]. 推进技术, 2019, 40(2):416-423.

收稿日期:2020-03-30

(上接第100页)

4 结语

本文利用钣金折弯过程中中性层长度不变的特性建立了钣金折弯数学模型,并对折弯过程进行仿真分析,仿真与计算结果的对比显示,两者表现出较好的契合性,验证了所建立的钣金折弯过程数学模型与计算结果的正确性,同时对出现的误差原因进行了分析,为钣金折弯过程机械臂末端路径规划提供了理论依据。

参考文献:

- [1] ZANELLA A, TONELLO S, PAGELLO E. A planning system to manipulate metal sheets within a workcell simulator[C]// IEEE International Symposium on Assembly & Manufacturing, IEEE,

2013.

- [2] 查健. 钣金折弯加工离线编程与仿真系统设计[D]. 镇江:江苏科技大学, 2019.
- [3] 张如华, 黄智松, 尹燕, 等. 板料 V 型弯曲工件端部摆动区域初步研究[J]. 锻压技术, 2016, 41(10):64-70.
- [4] 樊瑞峰, 韩涛. 钣金零件折弯展开长度的计算方法[J]. 郑州轻工业学院学报(自然科学版), 2013, 28(1):83-85.
- [5] HAN Z R, XU J, MENG X T. Research on algorithm of springback in sheet metal forming [J]. Advanced Materials Research, 2012, 472/473/474/475:2969-2974.
- [6] 葛辉, 秦显柱. SolidWorks 钣金折弯在生产中的应用[J]. 大众科技, 2009, 11(10):126-128.

收稿日期:2020-06-10