

文章编号:1000-5013(2013)05-0485-04

doi:10.11830/ISSN.1000-5013.2013.05.0485

基于遗传算法和仿真的冲压材料参数反求

刘华, 江开勇, 林俊义

(华侨大学 模具技术研究中心, 福建 厦门 361021)

摘要: 利用冲压成形后便于获取的板料厚度值作为响应构造遗传算法中的目标函数, 结合有限元法和遗传算法, 提出一种快速反求冲压成形中材料性能参数的方法. 在有限元模拟中, 使用反求后参数获取的板料厚度值和实际冲压中的板料厚度值吻合度非常理想, 验证了该方法应用于冲压成形的快速、准确和有效性.

关键词: 冲压成形; 反求技术; 板料厚度; 遗传算法; 数值模拟

中图分类号: TG 302

文献标志码: A

板料冲压生产中, 板料成分和特性存在不稳定性, 这直接导致出现产品性能不合格、生产效率降低等问题; 然而, 有关的设计手册中, 材料性能参数数据多是年代久远的, 不能满足当前生产需求. 获取材料力学特性参数的传统方法是采用标准试件拉伸, 并用解析法分析参数和测试量之间的关系来标定. 最近的研究表明, 多种材料的性能参数在不同塑性变形方式和条件下会有所不同^[1-2]. 因此, 冲压成形中如果采用标准拉伸试验所得到的力学性能参数, 其成形仿真所带来的误差可能使结果在某种程度上失去意义. 近年来, 通过优化算法和有限元仿真相结合的方法反求出准确的参数, 可以为薄板成形控制中获得精确的材料性能参数提供有效的解决方案^[1, 3-4]. 但这些研究主要集中在材料模型参数的反求方面^[5-6], 或从优化算法的对比和构造上展开反求研究以达到缩短反求时间目的^[7-8]. 本文经过对比选择编制了遗传算法的程序, 利用冲压成形后板料厚度这一物理量构造适应度函数来进行参数反求.

1 基于遗传算法的材料性能参数反求原理

1.1 材料参数反求原理

材料性能参数的反求实际上是用优化方法不断调整有限元模型的参数, 通过优化算法使有限元计算结果与试验结果到达最小二乘意义上的相等^[3]. 应用反求方法识别参数过程主要包括建立目标函数、构造优化算法及评价识别参数可靠性几部分, 其核心是优化算法的构造. 理论上只要能够用有限元技术精确地仿真实验过程, 就能够用优化方法反求得到较精确的材料性能参数.

1.2 参数反求中的优化算法

由前述可知, 材料参数反求方法中的优化技术是关键. 以前多采用传统的基于梯度的优化方法, 但该方法对目标函数的要求很高, 且对于复杂材料、多参数的情况难于处理. 目前, 人们对于简单的问题通常采用基于梯度的优化方法, 而对于复杂且局部最优点多的问题采用遗传算法^[4, 9]. 遗传算法直接以目标函数作为搜索信息, 无需指定参数初始值, 适合于非线性问题的全局搜索, 避免陷入局部最优. 薄板冲压成形过程复杂, 不仅包括材料非线性、接触非线性、非线性变形等复杂过程, 还包括了众多的材料参数, 所以冲压成形的参数反求中十分适合采用遗传算法.

遗传算法在运用过程中需要经历初始化种群、染色体编码、选择、交叉、变异、适应度计算等一系列复杂操作, 实现过程十分繁琐, 造成人为错误的可能性较大. 文中的遗传算法是在美国麻省理工学院

收稿日期: 2013-01-04

通信作者: 刘华(1977-), 男, 讲师, 主要从事金属塑性成形工艺及数值模拟的研究. E-mail: liuhua@hqu.edu.cn.

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2012BAF12B15); 中央高校基本科研业务费专项基金资助项目(10QZR10, JB-ZR1158, JB-ZR1101)

Matthew Wall 开发的遗传算法类库 GAlib 基础上进行的,由自定义的适应度函数作为衡量遗传个体生存适应能力的标准,用内置在基因组类中的算子(即成员函数,含初始化、交叉和变异操作)和遗传算法类中的选择和替换策略进行生成新个体的遗传操作.遗传算法求解参数反求的基本流程,如图 1 所示.

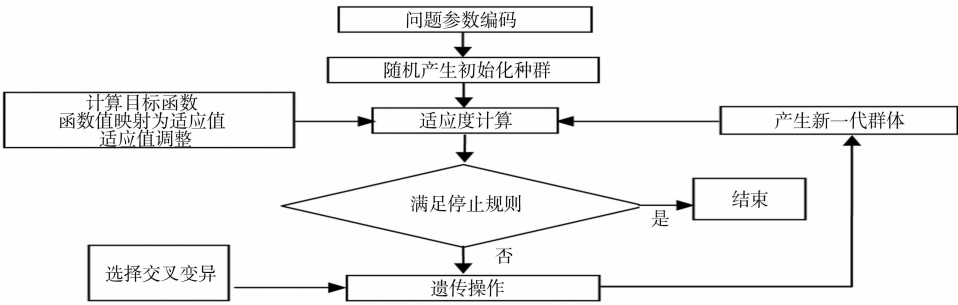


图 1 遗传算法流程图
Fig. 1 Genetic algorithm flow diagram

1.3 有限元模型的建立

有限元模型的模面、边界条件和约束等条件均应与实际冲压成形过程保持高度一致,方可使反求的材料性能参数更加真实.为了使冲压模具与原始数字几何模尽可能保持一致,对实际冲压模具采用逆向测量技术快速建立其精确数字模型,而后建立起有限元模型(图 2).

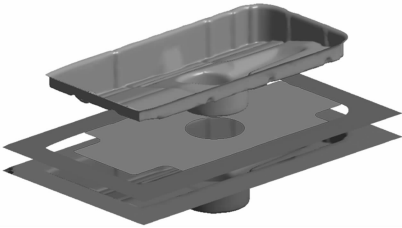


图 2 有限元模型
Fig. 2 Finite element model

2 冲压成形中材料性能参数反求方法

根据前述内容,对于薄板冲压成形中的材料性能参数反求,其流程如图 3 所示.

2.1 材料参数初始值的获取

为了对比拉伸试验获取的参数与反求获取参数的差别,文中材料参数初始值通过万能材料拉伸试验机,按照国家标准 GB/T 228—2002《金属材料室温拉伸试验防范》实验获得,同时获取的还有该材料的工程应力应变曲线.有限元仿真中,金属材料塑形硬化曲线需要采用真实应力应变,均匀塑性变形阶段的转换公式为

$$Y = \sigma(1 + \epsilon), \quad \omega = \ln(1 + \epsilon). \tag{1}$$

式(1)中:Y,ω 分别为真实的应力、应变;σ,ε 分别为工程的应力、应变.

2.2 冲压实验及数据获取

在进行冲压试验前,应对所使用模具的凸凹模圆角半径、间隙等重要几何尺寸进行精确测量,以保证有限元模拟结果的准确.试验时还需要记录活动横梁行程距离、行程速度、成型压力等设备的相关参数.试验结束后,需要对冲压件的主要尺寸和厚度值进行测量.采用逆向设备对模具表面进快速扫描,个别关键尺寸采用三坐标测量机进行精密测量获取,冲压后零件板料厚度值采用美国 DAKOTA PX-7 精密超声波测厚仪测取.

2.3 参数敏感性分析

在材料性能参数对冲压成形及回弹影响规律的研究工作中涉及的材料性能参数有数十种之多,为了提高参数反求的效率,必须要减少反求参数的个数.因此,结合有限元仿真技术并采用极差分析方法研究薄板材料性能参数对冲压成形板料厚度的影响水平.根据极差分析原理,极差大的因素对冲压成形厚度敏感,即可将其确定为所需反求的的材料性能参数.

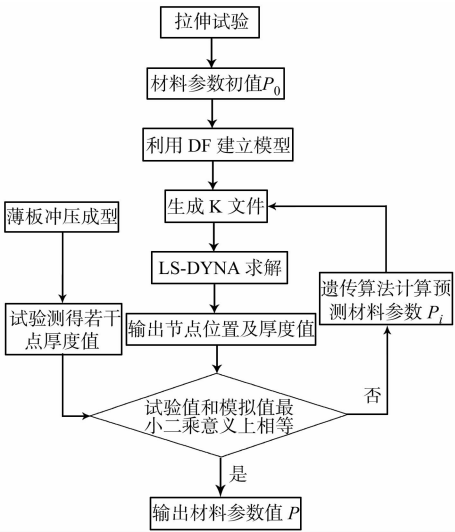


图 3 材料性能参数反求流程图
Fig. 3 Inversion flow diagram of material property parameters

3 实例验证及分析

以某型号汽车油箱内挡油板(图 4)为例进行实例验证,有如下 7 个主要步骤.

- 1) 选取工厂生产模具为对象,通过逆向工程建立起数字模型.
- 2) 材料性能参数用拉伸试验获得,并采用有限元软件建模模拟,通过后处理软件记录变形后冲压件上 4 个点的厚度值.
- 3) 通过有限元模拟,利用极差分析找出对零件冲压成形较为敏感的参数. 7 个对冲压成形厚度变化较为重要因素的极差,如表 1 所示;然后根据表 1 结果选取强化系数(K)、硬化指数(n)、弹性模量(E)和泊松比(ν)进行反求计算. 其中, R_{00} , R_{45} , R_{90} 分别为与轧制方向成 0° , 45° , 90° 时的各向异性指数.

表 1 敏感性分析
Tab. 1 Sensitivity analysis

参数	E /MPa	ν	K	n	R_{00}	R_{45}	R_{90}
均值 1	12. 859	13. 036	15. 730	12. 569	13. 664	14. 275	13. 559
均值 2	13. 497	13. 861	13. 339	13. 246	13. 928	13. 651	14. 112
均值 3	14. 725	14. 185	12. 013	15. 266	13. 490	13. 156	13. 411
极差 R	1. 866	1. 149	3. 717	2. 697	0. 438	1. 119	0. 701
排序	3	4	1	2	7	5	6

- 4) 采用美国 DAKOTA PX-7 精密超声波测厚仪测量上述 4 个点在实际冲压件相应位置厚度值.
- 5) 在自编反求软件中递交工作并执行参数反求计算. 为了便于薄板冲压成形中材料参数反求计算的操作,基于 Windows 风格,采用 Visual C++ 语言开发一套反求软件. 该软件包含 6 个主要模块:a) 有限元计算文件的输入模块;b) 材料参数反求置初值模块;c) 试验测试数据的输入模块;d) 拟反求材料参数设置模块;e) 材料参数反求模块;f) 其他辅助模块,主要是结果实时输出和最终结果的显示模块.

6) 将反求计算出的材料参数再次输入 dyn 文件进行有限元模拟,通过后处理软件记录变形后相同位置 4 个点的厚度值,如图 5 所示.

7) 分别将拉伸试验获得的材料性能参数进行有限元模拟,获取的 4 个点处的厚度值(编组 D1);对采用反求获得的材料性能参数进行有限元模拟获取的相同 4 个点处的厚度值(编组 D2)和实际零件直接测量获取厚度值(编组 D0)进行对比,结果如表 2 所示. 表 2 中: T 为厚度. 从表 2 可知:直接采用拉伸试验获取的参数进行模拟,其结果与冲压实测结果有较大偏差;而采用反求获取的材料参数进行模拟则可以很好地与冲压实测结果吻合,为进一步的模具设计分析提供较好技术支撑.

4 结论

针对冲压成形板料特性波动给企业带来生产不稳定的问题,编制一套适于冲压成形的材料参数反



图 4 油箱挡油板
Fig. 4 Oil tank weir

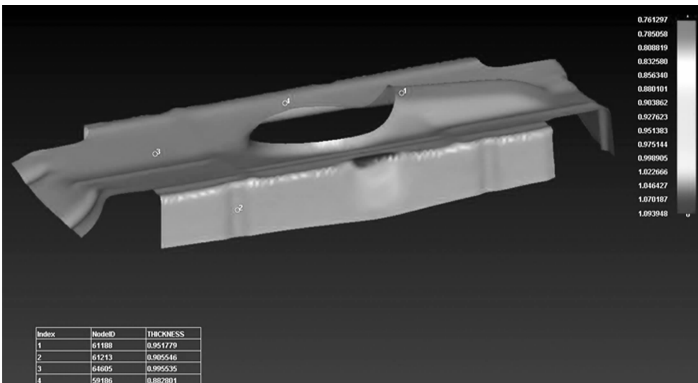


图 5 采用反求参数模拟获取的工件厚度云图
Fig. 5 Thickness nephogram of the workpiece simulated with inversion parameters

表 2 三组厚度值对比表
Tab. 2 Comparison table of three groups of thickness

编组	T_1	T_2	T_3	T_4
D0	0. 954	0. 908	0. 996	0. 886
D1	0. 946	0. 885	0. 995	0. 855
D2	0. 952	0. 906	0. 996	0. 883

求的软件. 该软件与有限元软件兼容性好, 基于 Glib 实现的遗传算法代码精简, 可读性良好. 实验结果显示, 算法对板料冲压成形这样高度非线性最小二乘问题具有良好的收敛性, 运行快速, 结果准确.

该方法不受零件形状限制, 可以应用于任何冲压件的生产, 这对于指导模具设计、缩短产品周期等方面具有重要意义. 试验数据选取了冲压成形后板料厚度作为试验对比数据, 不仅便于测量, 而且对检测设备要求不高. 此外, 反求试验直接使用实际生产用模具, 不需要另外制作试验模具, 节省昂贵试验模具费用及专业测量设备.

参考文献:

- [1] ZHONG Zhi-hua, LI Guang-yao. Principle and application of computer simulation technique in sheet forming[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 1998: 1-5.
- [2] KAJBERG J, LINDKVIST G. Characterisation of materials subjected to large strains by inverse modeling based on in-plane displacement fields[J]. International Journal of Solids and Structures, 2004, 41(13): 3439-3459.
- [3] GHOUATI O, GELIN J C. Identification of material parameters directly from metal forming processes[J]. Materials Processing Technology, 1998(80/81): 560-564.
- [4] HAN X, LIU G R, XI Z C, et al. Characteristics of waves in a functionally graded cylinder[J]. International Journal for Numerical Methods in Engineering, 2002, 53(3): 653-676.
- [5] GELIN J C, GHOUATI O. An inverse method for material parameters estimation in the inelastic[J]. Computational Mechanics, 1995, 16(3): 143-150.
- [6] MEUWISSEN M H H, OOMENS C W J, BAAIJENS F P T, et al. Determination of the elastic-plastic properties of aluminum using a mixed numerical-experimental method[J]. Journal of Materials Processing Technology, 1988, 75(1/2/3): 204-211.
- [7] ANTONELLI L, SALVINI P, VIVIO F, et al. Identification of elasto-plastic characteristics by means of air-bending test[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2007, 183(1): 127-139.
- [8] LIU Wei, YANG Yu-ying. Multi-objective optimization of sheet metal forming process using pareto-based genetic algorithm[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2008, 208(1/2/3): 499-506.
- [9] LIU G R, HAN X, LAM K Y. A combined genetic algorithm and nonlinear least squares method for material characterization using elastic waves[J]. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 2002, 191(17/18): 1909-1921.

Inverse Identification of Material Parameters in Stamping Based on Numerical Simulation and Genetic Algorithm

LIU Hua, JIANG Kai-yong, LIN Jun-yi

(Mold and Die Technology and Research Center, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

Abstract: The thickness value which is easily measured from the stamped parts is selected as a response to construct the objective function of genetic algorithm. Combined with the finite element method and the genetic algorithm, a method for rapid inverse identification of the material performance parameters in sheet metal forming is proposed. The sheet thickness value obtained through reverse parameter in the finite element simulation agrees well with the actual stamping result. It is proved that the inverse method is effective, reliable and accurate.

Keywords: forming; reverse technology; sheet thickness; genetic algorithm; numerical simulation

(责任编辑: 黄晓楠 英文审校: 杨建红)