

[新设备·新材料·新方法]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2015.02.018

基于 ANSYS 的热成型模具结构优化

陈远怀, 曹阳根, 杜雪林, 苏钰

(上海工程技术大学材料工程学院, 上海 201620)

摘要:基于冲压成型工艺试验分析系统,针对模具内材料受热膨胀将对模具导向装置及结构造成干涉的问题,利用有限元分析软件 ANSYS 对模内温度场进行热力耦合分析,得出各部分材料的热膨胀程度。为基于正向压边模架的模内加热装置提供可靠的实验参数和热力学设计依据,提高了模具结构设计的合理性,达到优化设计的目的。

关键词:冲压成型;模内加热;ANSYS 软件;温度场;热力耦合

中图分类号: TG386.1; TP391.9 文献标志码: A 文章编号: 1005-2895(2015)02-0073-04

Optimization of Hot Forming Die Structure Design Based on ANSYS

CHEN Yuanhuai, CAO Yanggen, DU Xuelin, SU Yu

(School of Materials Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

Abstract: Based on stamp forming process analysis system, by the problem of material thermal expansion inside the die causing interference to the mould guide and structure, the thermal mechanical coupling of temperature field inside the die was analyzed by ANSYS, and the thermal expansion degree of each material part was obtained. It provides reliable experimental parameters and thermal-mechanical design reference for heating device inside positive blank pressing die-set. It also enhances the rationality of die structure design, and achieves the purpose of optimization design.

Key words: stamp forming; heating inside die; ANSYS; temperature field; thermal mechanical coupling

近年来,热成型工艺在汽车领域的运用越来越广泛。热成型工艺是一种基于模内淬火的高温板料成型技术,热成型工艺可以有效消除传统工艺高强度钢成型时极易出现的断裂、回弹、变形抗力大等工艺问题。通过热成型制造实现更大程度的车身轻量化,从而减小汽车的油耗和尾气的排放,为保护人类生存环境做出了贡献^[1]。在此背景下,文章在热成型现有技术基础上,进一步深化研究热成型技术,使其能够直接在模内加热,提高生产效率。

1 热成型模内加热

热成型基本上采用的是冲压模外加热,如以钢板(初始强度为 500~600 MPa)为例,将其加热至奥氏体状态,然后快速转移到模具中高速冲压成型,在保证一定压力的情况下,制件在模具本体中以大于 $27\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$ 的冷却速度进行淬火处理,保压淬火一段时间,以

获得具有均匀马氏体组织的超高强度钢零件^[2]。冲压模内加热即在模具内进行加热后进行冲压,相对模外加热而言,模内加热提高了加热温度控制的准确性,改善了冲压加工工艺,保证了制件基本性能要求,大大提高了生产效率^[3]。

冲压模内的加热主要有以下 3 种方式:感应加热、低压大电流加热和电阻加热。本次试验基于已有的冲压成型工艺试验分析系统中的正向冲压成型通用模架,如图 1 所示,通过对各个加热方式进行分析对比,综合考虑选择加热效率较高、速度较快,且低耗环保的感应加热。

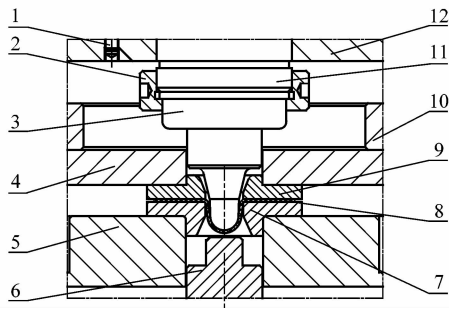
2 ANSYS 模拟

ANSYS 是目前世界顶端的有限元商业应用程序,是融结构、流体、电场、磁场、声场分析于一体的大型通用有限元分析软件^[4]。本实验运用 ANSYS Workbench

收稿日期:2014-08-20;修回日期:2014-10-10

基金项目:国家自然科学基金资助项目(051301105)

作者简介:陈远怀(1990),男,福建宁德人,硕士研究生,主要研究方向为板料成形工艺及模具设计。E-mail:chenyuanhuai@126.com



1—上模固定螺钉;2—凸模固定螺环;3—凸模;4—压边板;5—凹模座;6—液压顶块;7—凹模镶块;8—坯料;9—压边圈镶块;10—压边板支架;11—传感器座;12—上模板

图1 正向压边模架

Figure 1 Positive blank pressing die-set

对热冲压模内加热的温度分布及受热膨胀变形程度进行模拟,ANSYS Workbench 可以通过直接耦合或者载荷传递顺序耦合求解不同场的交互作用,用于分析诸如流体—结构耦合、热—结构耦合、热—力耦合的问题^[5]。

2.1 模具温度场分析

本实验模具设计对压边镶块进行感应加热,然后通过热传导给板料进行热成型,因此冲压过程中主要热量集中在压边镶块上,通过 ANSYS 模拟压边镶块及压边板在感应加热过程中的热膨胀,分析压边板膨胀变形程度是否对热冲压模具正常导向造成干涉与影响,对合理改善热成型模具结构设计有很好的指导意义。

本实验具有稳定的感应热源,如直接对压边板和压边镶块进行热膨胀度的模拟,由于不了解其各方面边界条件,模拟结果的准确性将很难把握。因此先对这套模具在感应加热过程中的温度分布进行分析,可以更加合理的确定压边板和压边镶块的温度区间,更准确的模拟压边板和压边镶块的热膨胀程度。

如图2所示,先对模具整体进行网格划分,中间被渲染的实体为凸模和下模的顶料机构,由于在加热过程中不与压边板和板料接触,因此忽略其在加热过程中受到的影响。模拟中,设置发热源为2 000 W,工作30 min,在X轴方向存在 $0.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的空气流动。模拟结果如图3所示,在对压边镶块感应加热30 min后,这套模具最高温度区域集中在压边镶块上,温度达到 $400 \text{ }^\circ\text{C}$,而压边板中间温度为 $240 \text{ }^\circ\text{C}$,边界温度为 $110 \text{ }^\circ\text{C}$ 。模具整体散热很快,再往外已趋于常温。

2.2 压边镶块受热变形分析

压边镶块尺寸如图4所示,镶块直径为154 mm,孔

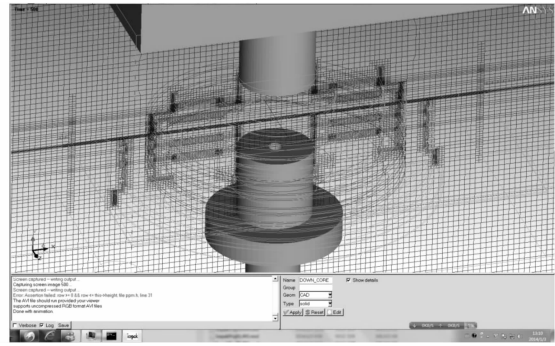


图2 网格划分模型
Figure 2 Mesh model

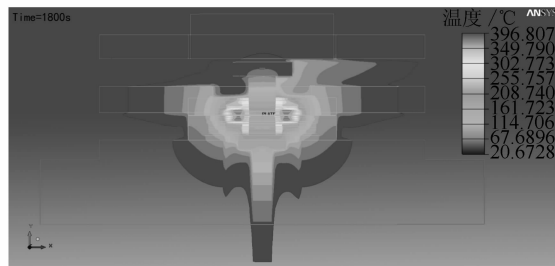


图3 模具温度场

Figure 3 Temperature field of die

径为55 mm,高为9 mm。在热冲压过程中,该镶块不仅要承受冲击载荷,还要承受感应加热产生的高温,因此选择瑞典 Uddeholm Tooling 特别开发的新型高性能合金钢材 Dievar 热作模具钢,其具有良好的抗热裂纹、开裂、热磨损和塑性变形能力,物理性能如表1所示。

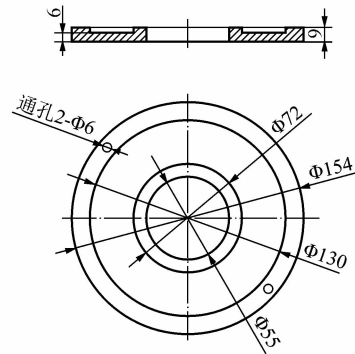


图4 压边镶块尺寸图

Figure 4 Size chart of tessera

表1 Dievar 物理性能参数

Table 1 Physical property parameter of Dievar

温度/ °C	密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	线热膨胀系数 $\times 10^6$ / ($\text{m} \cdot \text{K}^{-1}$)	热传导系数/ ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$)
20	7 800	-	-
400	7 7001	2.7	31

模拟过程首先建立架构,建立模拟分析的压边镶块参数特征树,其次,对镶块进行材料属性的设置,再进行中等精度网格划分,如图 5 所示。在分析过程中,压边镶块中心温度为 400 ℃,其他面运用 Stagnant Air-Simplified Case 自动设置空气对流系数,进行热学部分求解,然后将求解结果导入力学部分,求解出压边镶块变形量^[6-9]。如图 6 所示,压边镶块外圈的膨胀变形为 0.35 mm,内孔处的膨胀变形为 0.12 mm。

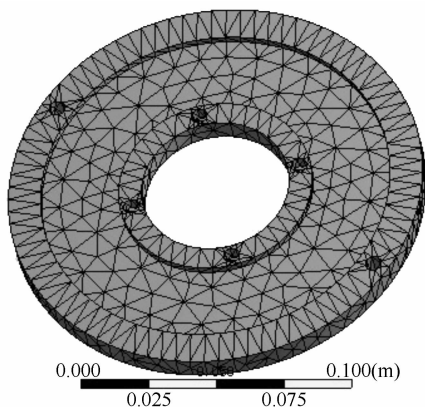


图 5 网格划分模型
Figure 5 Mesh model

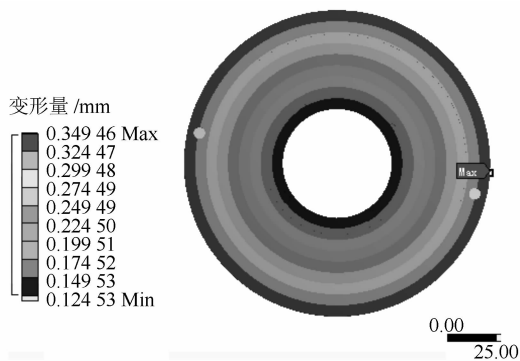


图 6 热力耦合分析
Figure 6 Thermal mechanical coupling

2.3 压边板受热变形分析

压边板如图 7 所示,长 290 mm,宽 290 mm,高 30 mm,采用 Dievar 热作模具钢加工制作而成。

如图 8 所示,在模拟时设置温度边界范围,压边板中心温度为 240 ℃,外圈温度为 110 ℃,其他面运用 Stagnant Air-Simplified Case 自动设置空气对流系数,进行热力耦合分析,求解出压边板变形量。如图 9 所示,最大变形区域为压边板的 4 个角,最大变形尺寸为 0.51 mm,最小变形区位于中心内孔处,仅为 0.08 mm,可忽略不计。

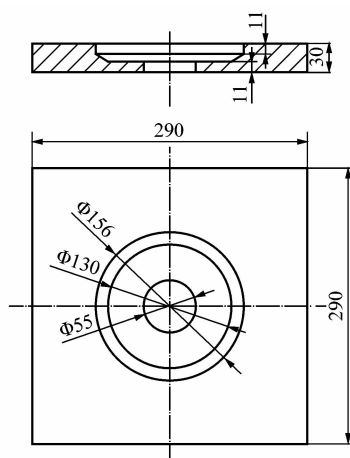


图 7 压边板尺寸图
Figure 7 Binder size chart

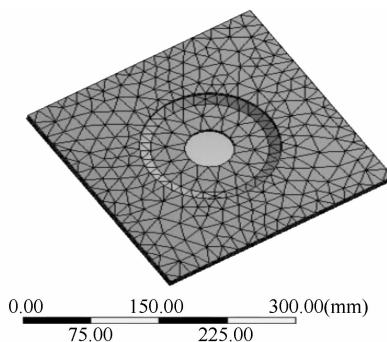


图 8 网格划分模型
Figure 8 Mesh model

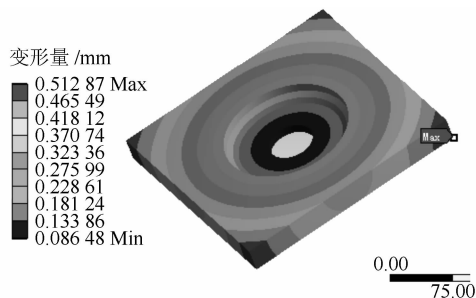
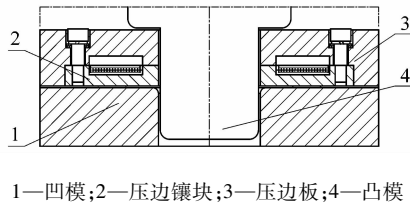


图 9 热力耦合分析
Figure 9 Thermal mechanical coupling

3 模具结构优化

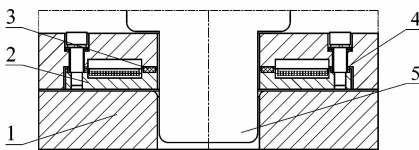
通过运用 ANSYS 模拟软件,模拟感应加热时整套模具的温度分布,发现高温区域集中在压边镶块和压边板上。而压边镶块和压边板由于温度和结构不同,造成了热膨胀变形程度有较大的差别。压边镶块外缘的变形达到了 0.35 mm,远大于压边板内圈 0.19 mm 的变形程度,因此不能按照原有的配合关系,原模具结构如图 10 所示。经改进,在压边镶块外缘与压边板内圈预留 1.00 mm 的间隙,优化后模具结构如图 11 所

示,可以消除变形程度不同带来的影响。



1—凹模;2—压边镶块;3—压边板;4—凸模
图 10 原模具结构

Figure 10 Primary structure of die



1—凹模;2—压边镶块;3—陶瓷垫柱;4—压边板;5—凸模
图 11 优化模具结构

Figure 11 Optimized structure of die

同时由于压边板上热量主要是由压边镶块传导所致,因此在压边板和压边镶块之间加入具有较好绝热性能的氧化铝陶瓷垫柱,避免压边板与压边镶块直接接触,大大降低两者之间的热传导^[10]。经实验测得,该方案下,压边板中心处温度仅为 95 ℃,膨胀程度大大减小,最大变形仅为 0.17 mm,如图 12 所示。因此压边板受热膨胀将不会影响到模具的正常导向,保证了冲压模内加热设计的可行性。

4 结语

在冲压模内加热设计过程中,由于现有的经验不足,因此在设计过程中往往存在着很多意想不到的缺陷,通过 ANSYS 数值模拟技术准确地模拟了加热过程中整套模具的温度场,同时得出各部件受热膨胀程度,进而指导与优化模具结构设计,为冲压模内加热试验探索了一套可行方案,同时为今后热成型模具设计积累了宝贵经验。

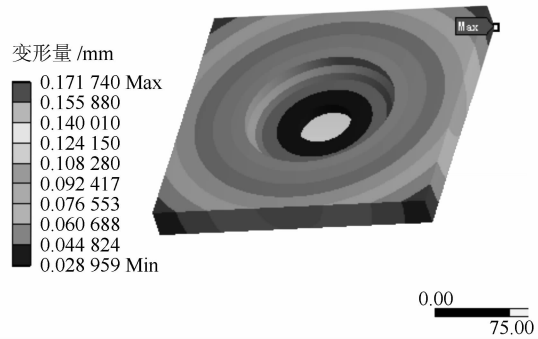


图 12 优化后压边板变形程度
Figure 12 Deformation extent of binder after optimization

参考文献:

[1] 马宁,申国哲,张宗华,等. 高强度钢板热冲压材料性能研究及在车身设计中的应用[J]. 机械工程学报,2011,47(8):60-65.

[2] 陈素平,田坤. 高强度钢热成型技术应用分析[J]. 现代零部件,2013(8):32-36.

[3] 蔡长生. 热冲压成型技术与应用[J]. 锻压技术,2013,38(3):51-53.

[4] 刘红生,包军,邢忠文,等. 高强度钢板热冲压成型热力耦合数值模拟[J]. 材料科学与工艺,2010,18(4):460-463.

[5] 张胜民. 基于有限元软件 ANSYS7.0 的结构分析[M]. 北京:清华大学出版社,2003.

[6] 张建峰,王翠玲,吴玉萍,等. ANSYS 有限元分析软件在热分析中的应用[J]. 冶金能源,2004,23(5):9-12.

[7] 夏江梅. 基于热力耦合的汽车前纵梁延伸件模拟分析[J]. 热加工工艺,2012,41(5):118-120.

[8] 印雄飞,阮雪榆. 板料成型过程的数值模拟技术[J]. 塑性工程报,1999,6(1):20.

[9] 卢沛,卢志明,杜斌康,等. 拉伸塑性变形对 304 不锈钢马氏体相变规律的影响[J]. 轻工机械,2013,31(5):88-91.

[10] 华瑛. 材料的热膨胀性能及其影响因素[J]. 上海钢研,2005(2):60-63.

(上接第 72 页)

[2] 杨汝清,高建华,胡洪国. 高速码垛关键技术研究[J]. 高技术通讯,2004,14(1):36-40.

[3] 左青,王贵. 全自动码垛机的应用[J]. 中国油脂,2010,35(2):29-31.

[4] 秦磊,禹鑫焱. 面向陶瓷行业的高速自动包装码垛生产线[J]. 自动化与信息工程,2010,31(4):11-15.

[5] 李立荣. 成品小袋产品实现自动码垛[J]. 纯碱工业,2011(4):37-38.

[6] 梁基照. 食品机械优化设计[M]. 北京:化学工业出版社,2009.

[7] 闻邦椿. 机械设计手册[M]. 5 版. 北京:机械工业出版社,2010.

[8] 方先其. 全自动包装、码垛生产线在钛白粉行业中的应用[C]//中国化工学会. 2012 年全国钛白粉行业年会论文集. 济南:国家化工行业生产力促进中心钛白粉中心,2012.

[9] 李亚莉,郝强,黑利生,等. 移动式普洱茶翻堆机的设计研究[J]. 包装与食品机械,2013,31(3):30-33.

[10] 赖信华,刘志浩. 多品种成品包装箱自动堆叠技术的研究与应用[J]. 价值工程,2010,29(15):91-93.

[11] 陈从贵,张国治. 食品机械与设备[M]. 南京:东南大学出版社,2009.