

基于 modeFRONTIER 的硼钢热冲压工艺参数优化

Optimization of boron steel hot stamping process parameters based on modeFRONTIER

邢伟鑫 唐炳涛 刘纪源

齐鲁工业大学（山东省科学院）机械与汽车工程学院，济南 250353

摘 要：为了提高热冲压成形工艺的生成效率、提供工艺参数选取的依据，从而保障热成形零件的质量，选用 Ls-dyna 软件对热冲压过程进行模拟，并借助 modeFRONTIER 软件实现冲压工艺参数的优化设计。选取硼钢板奥氏体化温度、模具温度、淬火保压时间等为优化变量，模具间隙等为约束条件，硼钢热成形极限、最小减薄量和最大增厚量等作为目标函数，以 S 梁为例，借助有限元仿真技术并联合 modeFRONTIER 软件进行优化设计。利用优化后的热冲压工艺参数进行数值模拟，发现仿真结果令人满意

关键词：modeFRONTIER Ls-dyna 热成形 冷却

Abstract: In order to improve the production efficiency of hot stamping process and provide the basis for selecting process parameters so as to guarantee the quality of hot stamping parts, Ls-dyna software was used to simulate the hot stamping process, and modeFRONTIER software was used to realize the optimization design of stamping process parameters. Austenization temperature of boron steel, die temperature, quenching and maintenance time are selected as the optimization variables, and the die clearance et al as the constraint conditions, and the forming limit diagram, the minimum thickness reduction and the maximum thickness increase of boron steel as the objective functions. The S-shaped beam is simulated as an example using the finite element simulation technology and modeFRONTIER software is selected as an optimization tool. The simulation results with the optimized parameters are satisfactory.

Keywords: modeFRONTIER Ls-dyna hot stamping quenching

0 引言

近些年，汽车轻量化越来越成为一个热门话题。因为汽车轻量化与节省能源，有效降低环境污染息息相关，世界上许多国家就是通过减轻车身重量从而达到节能减排的目的^[1]。然而汽车轻量化的一个关键技术就是通过对硼钢进行热冲压成形，通过冷却得到满足条件的高强度钢，从而提高车身的强度硬度而减轻钢板的应用数量，在保证车主安全的前提下，从而达到轻量化的目的。本文采用多目标优化软件 modeFRONTIER 来进行优化标定，该软件是意大利 ESTECO 公司开发并在全球推广的多目标优化软件，很好的实现了 CAE 相关软件工作流程的设计自动化、集成化和最优化操作，有 CAE 软件的直接接口，非常方便于建模^[2]。本文针对热冲压工艺，选取 S 形梁为研究对象，借助有限元仿真软件 Ls-dyna 对硼钢热冲压过程的成形、保压、淬火过程进行仿真，然后使用 modeFRONTIER 进行优化来获取最佳的奥氏体化温度、保压时间等热冲压工艺参数^[3]。

1 设计目的

在整个热冲压工艺过程中，由于现如今国内外学者给出的热冲压工艺参数范围较广，但是对于复杂的热冲压件会由于压边、模具间隙等因素影响零件的稳定性。比如强度硬度不均匀、回弹翘曲等现象^[4]。modeFRONTIER 优化软件，能够对现有的热冲压工艺参数进行优化，进一步提高零件的强度硬度分布的稳定性，减小其回弹或翘曲，使冲压件的质量性能更加优异^[5]。

2 设计要求

2.1 设计变量

从整个热冲压的过程来看，温度是使板料奥氏体化的一关键因素，所以在优化过程中分别设定了板料温度 TBLANK、工具温度 TTOOLS 两个温度变量。还有两个时间变量时间间隔 DT、淬火结束时间 ENDTIM。由于尚无一个确定的温度值或时间值，所以设置温度变量和时间变量是一个区间范围，有包括最大值和最小值，优化的目的就是通过对温度变量和时间变量的优化，选取最优结果。表 1 是温度变量和时间变量的数值范围

表 1 温度、时间变量的数值范围

变量名称	单位	上限	下限
TBLANK	℃	900	750
TTOOLS	℃	100	25
DT	s	ENDTIM/5	
ENDTIM	s	3	20

2.2 目标函数

根据在热冲压成形过程中参数的设定，在整个优化过程中设计了 5 个目标函数分别是：板料的最大厚度 Max_minimum_thickness，板料的最小厚度 Min_maximum_thickness，模具与板料接触的最大间隙 Max_crack，成形件的最大起皱 Max_wrinkle，以及板料的冷却后的最小温度 Min_temp_max。

2.3 约束条件

在整个优化过程中不仅包括目标函数，还需要设定两个约束，一个是模具最小间隙 Min_gap_d 的约束设定，另一个是压边圈最小间隙 Min_gap_b 的约束设定。

2.4 设计要求

间隙要求：为了保证成形件精度要求，防止起皱破裂等质量问题，需要选择一个最佳的模具间隙。

温度要求：在保证得到理想的热成形件的前提下，同时满足降低能耗的需求，选择一个最佳温度。

成形质量：满足材料的成形极限要求

3 设计步骤

在热成形过程中，毛坯件冲压成形需要在高温下奥氏体化，然后快速冷却至马氏体，整个优化设计的流程中，首先要将温度范围设置好，可以在 modeFRONTIER 中将板料温度、模具温度作为输入变量。

创建整个热成形及淬火过程的数据文件，生成 s-blank.dyn 文件，在 modeFRONTIER 中建立一个 Input File，在 Input File 中导入 s-blank.dyn，并定义每个输入变量参数的范围。调用求解器求解 dyn 文件。

调用后处理软件 Ls-prepost，处理计算结果 d3plot 文件。然后根据不同的目标函数或约

束条件，在 JAVA 程序中编写相应的子程序。比如最大厚度和最小厚度的目标函数的子程序代码：

```
Nelem=zeros(1)
Nelem[0]=Thickness.length
Nelem[1]=El_ID.length
NN=max(Nelem)
Thickness_Rep=Thickness
minimum_thickness=min(Thickness)
maximum_thickness=max(Thickness)
```

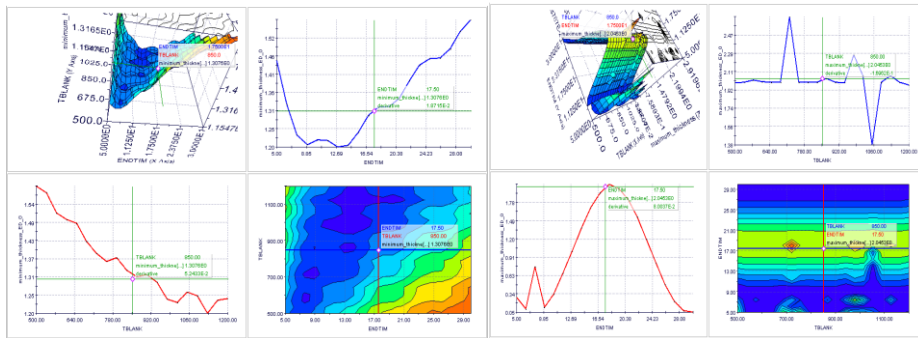
选择在 DOE 中的 Uniform Latin Hypercube 拉丁超立方方法，以及 MOGA-II 多目标遗传算法作为优化策略^[6]。

4 结果分析

图 1 是计算出来的 RSM 响应曲面图，结合每一幅 RSM 图像分析得到：当板料温度达到 850 度热冲压结束时间在 17.5 秒时，满足板料最小厚度边界成型的安全极限，同时也满足板料最大厚度边界的成形极限。当板料温度达到 850 度热冲压结束时间在 17.5 秒时，可以得到最大的冷却温度，冷却结果比较理想，同时能获得最小的模具间隙。对板料温度和成形结束时间的优化结果符合成形件的质量标准。

Minimum_thickness(ENDTIM, TBLANK)

Maximum_thickness(TBLANK, ENDTIM)



Temp_max(TBLANK, ENDTIM)

Minimum_distance_FLC_crack(TBLANK, ENDTIM)

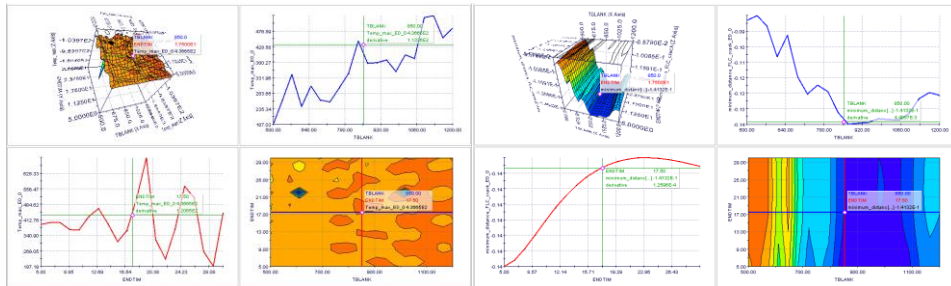


图 1 RSM 响应曲面图

图 2 是关于最小厚度的分布直方图，在图中，厚度减少了 20% 以上，这是保证高质量和在紧急情况下保持安全的极限，所以在选择最佳设计时必须注意这个输出。图 3 是关于最大厚度范围的分布直方图，在图中，最大厚度完全在规定的质量范围内，所以，只要设计输入

在规定的范围内, 这个变量就可以被忽略。图 4 是关于起皱的分布直方图, 图象显示, 所有的设计都低于 0 因此没有起皱的风险, 但限制的值非常小, 调整压边圈可以避免起皱现象, 因此我们可以忽略这个目标。图 5 是关于最终温度分布直方图, 通过图像可以看出温度范围非常大, 但我们需要的是当整个过程结束时温度要尽可能低, 所以这个位置要选取低温度的相关参数。图 6 是关于间隙的分布直方图, 在图中我们可以看到优化的间隙数值范围较广, 尽可能选取可能性最大的数值。

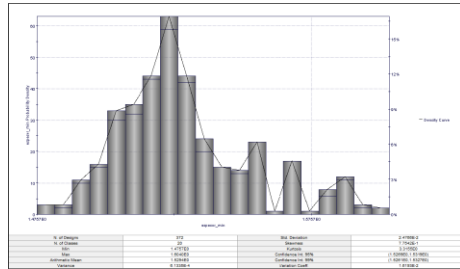


图 2 最小厚度分布直方图

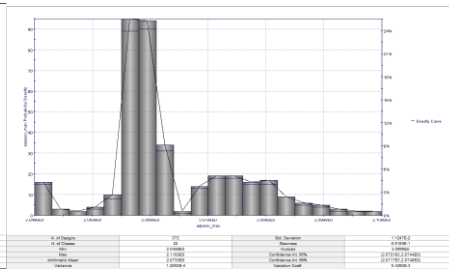


图 3 最大厚度分布直方图

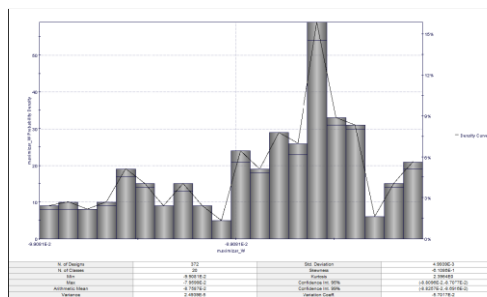


图 4 起皱分布直方图

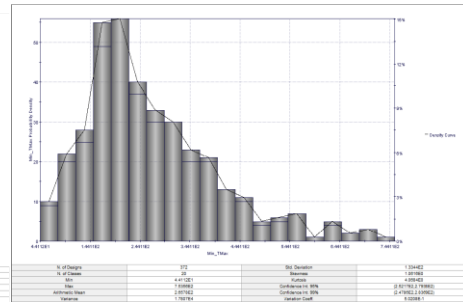


图 5 温度分布直方图

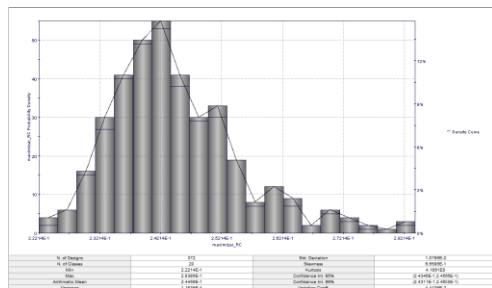


图 6 间隙分布直方图

图 7 是输入变量与目标函数关系图, 显示各个输入参数对目标函数的影响, 从各个饼状图中可以看出 TBLANK、ENDTIM 在每个图中都占的比重较大, 可以看出初始温度直接影响所有输出, 冷却时间也直接影响最终温度。

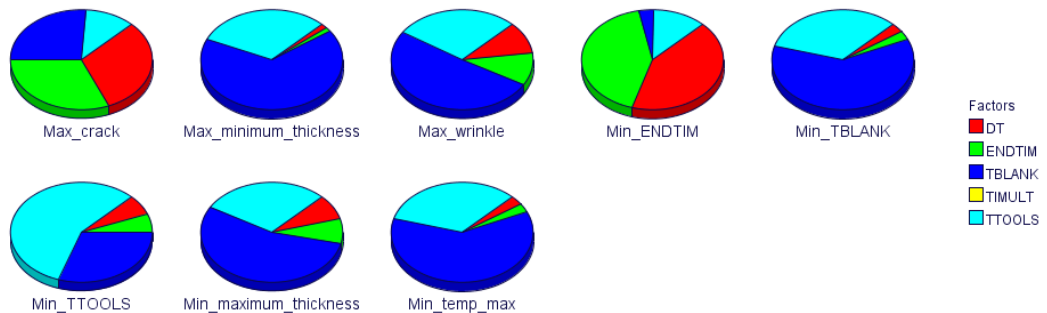


图 7 输入变量与目标函数关系图

表 2 是最终选取的优化结果。

表 2 优化后数据

名称	板料温度	工具温度	环境温度	时间间隔	结束时间
原始数据	835.7	25	25	3.0	18
优化数据	850	62.5	25	3.5	17.5

4 小结:

整个热冲压优化过程运用了有限元仿真软件、Ls-dyna 和优化设计软件 modeFRONTIER, 得到了合理可行的热冲压工艺参数, 在保证强度刚度稳定性的前提下, 节约成本, 达到节能降耗的目的, 更缩短整个热冲压工艺的时间, 提高生产效率。

5 参考文献

- [1] 钱丁超, 基于 GT-POWER 和 modeFRONTIER 联合仿真的汽油机进排气管路优化[D], 中国第一汽车股份有限公司研发总院, 2017
- [2] 刘欢, 韩思远, 崔健, 基于 modeFRONTIER 软件的 Ahem 模形空气动力学多目标智能优化研究[D], 华晨汽车工程研究院, 2017
- [3] 白鹭, 赵峥, 伊士旺, 基于 modeFRONTIER 的排气后处理器进口管路优化 Applications of modeFRONTIER in Exhaust After treatment Inlet Pipe Optimization[D], 长城汽车股份有限公司技术中心, 2014
- [4] 穆建华, 夏志豪, 卢兆强, 梁源飞, 基于多目标优化的发动机性能模形标定[J], 上海通用五菱汽车股份有限公司, 2014
- [5] 潘金坤, 基于 modeFRONTIER 的离合器碟形弹簧多目标优化设计, 南京工程学院, 2011
- [6] 杜子学, 申震, 基于遗传算法的跨座式单轨车辆曲线通过性能研究, 重庆交通大学轨道交通研究院, 2014