

滚边关键工艺参数有限元模拟分析

■ 王洪杰, 贾艳辉

滚边压合工艺作为一种新型车身连接工艺, 已得到越来越广泛的应用, 目前主要用于车门、轮罩、翼子板等外覆盖件的内外板连接。基于对外表面件的高品质要求, 在产品早期开发阶段就需要对滚边压合工艺进行可行性设计, 依赖经验与尝试的方法已无法满足滚边压合技术的要求。本文对滚边关键工艺参数加以介绍, 并用有限元分析的方法对不

同圆柱形滚轮直径、圆锥状滚轮等情况下的滚边成形进行模拟分析, 对今后滚边工艺的应用提供技术参考。

1. 滚边压合关键工艺参数介绍

滚边压合是一种复杂的多工步单点连续加载工艺, 对滚边工艺参数进行研究非常重要, 在钢板材料的机器人滚边过程中,

TCP-RTP值、滚轮压入角、滚轮速度、滚轮形状、滚轮直径、滚边压力等对钢板滚边成形件的质量——表面波浪起皱和板件缩进及胀出是有影响的, 下面将对滚边工艺关键参数等进行介绍。

(1) TCP-RTP值 机器人滚边工具的轨迹取决于胎模边缘的几何形状, 胎模边缘线上的各点就是滚轮的目标点, 称作机器人目标点RTP (Robot Target

(3) 零件加工余量大, 导致加工变形, 尺寸精度难保证。

(4) 零件毛坯为棒料, 操作劳动强度大, 装夹零件困难。

为提高零件加工效率, 对零件加工坯料, 采用热模锻造毛坯如图4所示。

根据零件成件尺寸结合库存棒料直径, 得出该零件锻制毛坯下料长度尺寸, 在锻造温度470℃, 锻造形成力6600kN, 收缩率0.8%的条件下, 进行毛坯锻制, 锻后进行两次均化应力的循环时效, 固溶处理+时效的热处理, 改善零件可加工性, 在加工中进行(160±10)℃、3h左右的冷热循环处理, 均化加工应力, 为防止零件的加工变形, 稳定加工尺寸, 进行两个冷热循环

处理。通过锻造毛坯的加工, 缩短加工周期, 减少加工余量, 降低毛坯重量, 降低加工成本, 其效果对比见附表。



图4 锻造毛坯

效率提升对比

零件名称	材料	锻前重量/kg	锻前壁厚/mm	锻后重量/kg	锻后壁厚/mm	提高加工效率(%)	工序优化数(原/现)
壳体	2A12	22	95	7	10	40	20/11

4. 结语

采用热锻毛坯可以提高零件的组织强度, 使零件组织晶粒细化, 减少零件加工余量, 锻后的去应力热处理可使零件获得好的工艺加工性, 并且消除了零件部

分加工应力, 为保证后续零件的尺寸加工精度要求, 进一步控制和消除零件变形奠定了基础。另外, 该项工艺创新技术可以推广到其他本体、壳体类零件的毛坯加工中。

作者简介: 申伟、张利军, 西安北方光电科技防务有限公司。

MW 20161026

Point)。机器人目标点应与滚轮母线上的一点匹配,这一点称为机器人工具中心点TCP (Tool Center Point)。TCP和RTP之间的距离在机器人滚边过程中是一个非常重要的工艺参数(见图1),定义了滚边开始之前翻边的初始变形量。在每一次滚边开始之前都要定义TCP-RTP值,而在滚边过程中这个值应保持不变。预滚边的TCP-RTP值应根据工程要求设置,而终滚边的TCP-RTP为固定值: $2 \times \text{外板厚} + \text{内板厚} + \text{涂胶厚度}$ 。

(2) 滚轮压入角 这个角度是每道次滚边翻边所变化的角度,如图2所示,决定了机器人滚边所需的道次数。标准的机器人滚边为三道次滚边,翻边开角的变化为 $90^\circ \sim 60^\circ \sim 30^\circ \sim 0^\circ$,即各道次压入角均为 30° ;同时两道次滚边也不断得到了应用,翻边开角变化为 $90^\circ \sim 45^\circ \sim 0^\circ$,即各道次压入角均为 45° 。滚轮压入角对板件的成形质量有显著的影响,值得去深入研究。值得注意的是,两道次和三道次滚边都具有这样一个特点,为防止滚边过程中出现累积误差,应将上一道次的滚边终点作为下一道次的滚边起点。

(3) 滚边速度 此速度是滚轮沿着胎模边缘行进的速度,它不仅关系着滚边的生产节拍,更关系着板件滚边成形后的质量。根据实际工程经验,直边滚边由于形状简单,板件在滚边过程中的应力容易得到释放,不易产生质量缺陷。

(4) 滚轮形状和直径 滚轮直接与要滚边的外板接触,也是压力直接传输的部件,用以保证外板的包边轮廓形状精度,

待包边零件的形状不同,滚边过程一般分为两道或者三道顺序完成,所用滚轮形状通常有 45° 和 90° 滚轮。对于零件角部的处理技术在整个零件压合工艺中是一个难点,可采用手指状滚轮进行点压,从而保证零件外观美观性和车身匹配精度。同时,滚压包边过程中,一方面随着产量的增加,滚轮较容易磨损,另一方面滚压过程中产生的钣金碎屑黏附在胎模上也会影响滚轮,从而导致零件表面质量出现问题。因此,滚轮形状对滚压零件质量影响较大。

滚轮的直径对预滚边结束后的成形质量有影响,根据工程实践,一般滚轮直径越大,板件的成形质量越好,但直径过大又会影响滚边工具的装配和机器人的负载;对于拐角滚边,由于板件的形状变化大,空间小,需要选用小直径滚轮完成滚边。因此,应根据工程的具体情况谨慎选择滚轮直径的大小和形状。

(5) 滚边压力 为保证板件成形的质量,应根据板件的材料、外形、厚度等参数适当地调整滚边压力。若滚边压力过小,则会导致外板不能紧固地包裹住内板;若滚边压力过大,则会导致终滚边后外板表面出现压痕等缺陷。

由于影响滚压成形关键因素较多,本文将对滚轮形状及滚轮直径进行模拟分析,研究滚轮形状和滚轮直径对结果的影响。

2. 不同形状滚轮及不同直径滚轮滚边有限元模型

采用有限元分析软件Abaqus6.13,用Dynamic, Explicit即动力显示算法对滚压翻

边过程进行有限元分析,翻边高度为10mm,板料厚为0.8mm,采用壳单元模拟,单元类型为S4R缩减积分单元,单元总数为90 000个,板料下部除弯曲变形的曲面部分外的所有节点六自由度被完全约束,相当于被固定板完全压牢,滚轮设置为刚体,其X方向自由度和Y、Z方向的转动自由度被全部约束。

板料密度为 7800kg/m^3 ,弹性模量为210GPa,泊松比为0.3,塑性应力应变数值见附表。滚轮密度为 7800kg/m^3 ,弹性模量为210GPa,泊松比为0.3。

建立如图3所示的圆柱形滚轮滚边模型及图4所示的圆锥形滚轮滚边模型,其中滚轮直径为60mm,圆锥大小圆直径分别为

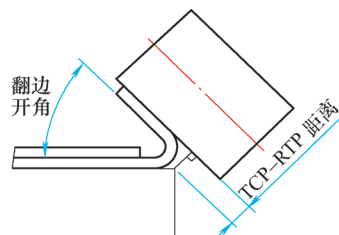


图1 TCP-RTP示意

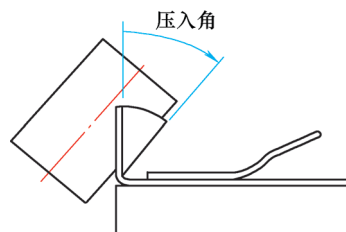


图2 压入角示意

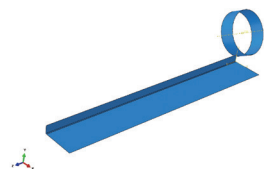


图3 圆柱形滚轮滚边模型

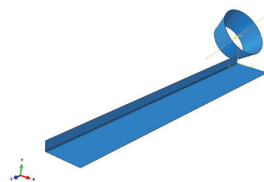


图4 圆锥形滚轮滚边模型

60mm和46mm。另外，建立圆柱形滚轮直径30mm的滚轮模型进行分析。

建立滚轮和板料的接触类型为面接触，设定滚轮为主接触面，板料为从接触面，设定切向接触摩擦因数为0.1，法向为默认的硬接触方式。设定滚轮进给速度为3500mm/s。

3. 不同形状滚轮滚边应力结果分析

提取圆锥状滚轮和圆柱状滚

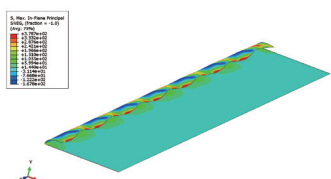


图6 圆锥形滚轮滚边最大主应力云图

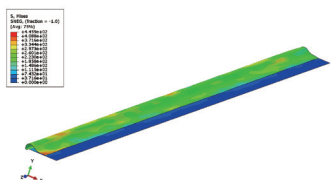


图8 圆柱形滚轮滚边有效应力云图

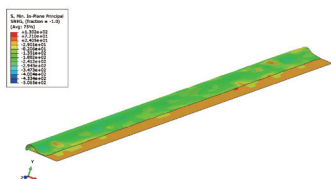


图10 圆柱形滚轮滚边最小主应力云图

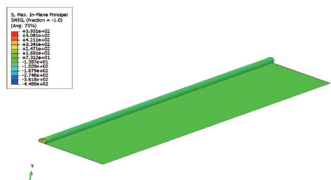


图12 圆柱形滚轮滚边最大主应力云图

轮滚边结果进行分析，图5~图7分别为圆锥状滚轮的等效应力云图、最大主应力云图、最小主应力云图。可以看出，最大主应力为385MPa，圆锥形滚轮容易形成波浪形起皱边，整个翻边过程中大部分区域的第一主应力大于

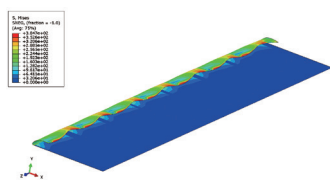


图5 圆锥形滚轮滚边有效应力云图

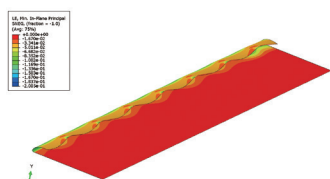


图7 圆锥形滚轮滚边最小主应力云图

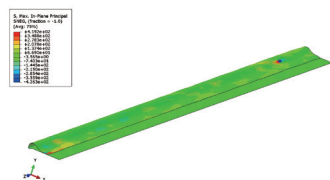


图9 圆柱形滚轮滚边最大主应力云图

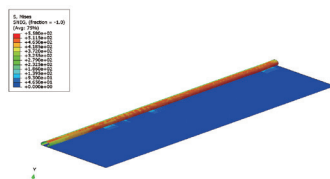


图11 圆柱形滚轮滚边最大主应力云图

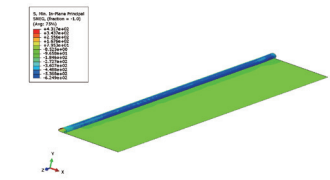


图13 圆柱形滚轮滚边最大主应力云图

板料应力应变数值表

应变	0	0.0198	0.0296	0.0392	0.0488	0.0583	0.0677	0.077	0.0862
应力	178	227	247	263	278	291	303	313	323
应变	0.0953	0.1044	0.1133	0.1222	0.131	0.1398	0.1484	0.157	0.1655
应力	331	338	344	350	355	361	365	370	374
应变	0.174	0.1823	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
应力	378	382	390	427	455	478	498	516	531

0为拉应力，第三主应力小于0为压应力，说明在翻边过程中，板料上大部分区域都是在两个方向受拉一个方向受压的应力状态。另外，第一主应力的最大值都出现在翻边棱线的附近，说明翻边边界线附近是受拉区域，应力集中，容易造成拉裂。

图8~图10分别为大直径圆柱的等效应力云图、最大主应力云图、最小主应力云图，最大主应力为446MPa，圆柱滚边则效果要好的多，滚边后没有形成明显波浪起皱，说明在该工况下圆柱滚边效果优于圆锥形滚边效果。

图11~图13分别为小直径圆柱滚轮的等效应力云图、最大主应力云图、最小主应力云图，可以看出当直径过小时，板料滚边后容易被卷起来，最大等效应力为558MPa，因此，在实际滚边过程中选择合适直径具有非常重要的意义。

4. 结语

本文介绍了滚边关键工艺参数，TCP-RTP值、滚轮压入角、滚轮速度、滚轮形状、滚轮直径、滚边压力等对钢板滚边成形件质量的影响进行了相关说明，之后对不同圆柱形滚轮直径，圆锥形滚轮形状进行了仿真模拟。

模拟表明，滚轮直径和滚轮形状对滚边成形质量具有非常重要的作用，圆柱滚轮效果优于圆锥滚轮效果，圆锥滚轮容易形成波浪形起皱，小直径滚轮容易造成滚边弯曲。

作者简介：王洪杰，在一汽解放汽车有限公司卡车厂从事焊装工艺设计的工作。贾艳辉，一汽解放汽车有限公司卡车厂工艺技术室焊装工艺员。