

基于 ABAQUS 的铆接机 C 型钳口轻量化设计

李之繁 倪聪

(苏州健雄职业技术学院 江苏 苏州 215400)

摘要: C 型钳口是人工手持式铆机的重要支撑部件,其质量过重会降低生产效率、增加制造成本,因此有必要对 C 型钳口进行轻量化设计,但是质量减少会导致 C 型钳口强度不够,在生产过程中产生微变形,从而影响铆接成形精度。本文以某企业的 C 型钳口为研究对象,在 SolidWorks 三维软件中建立 C 型钳口整体结构,利用 ABAQUS 软件对铆接过程进行分析,分析了在加载 20kN 的常态条件下 C 型钳口的应力应变分布规律。并在此基础上,以结构减重为目标设计整体结构尺寸的优化方案,并对优化后的结构与原始结构的仿真结果进行比较分析,发现 C 型钳口的应力应变仅增大了 6MPa,减重达到了 2.78kg。

关键词: C 型钳口; ABAQUS; 轻量化; 应力应变

0 引言

在当前“双碳”大背景下,在尽力保障汽车的安全性能和其他重要性能的同时,汽车轻量化设计也可实现节能减排目标^[1-3]。目前车身异种板材主要采用粘接和铆接的方式连接。合格的铆接需要满足 3 点要求:(1) 铆接接触处具有良好的静强度与疲劳强度;(2) 被连接件与铆钉的装配容差需要满足标准;(3) 壁板和铆钉连接处的外形和结构尺寸必须符合特定的规格和标准,从而满足气动性能要求^[4]。同时铆接工艺与铆接设备也会严重影响铆接质量,而检验铆接质量的常规标准一般涵盖铆头直径、激头高度、干涉量和铆头形状等^[5]。

尽管铆接具有许多优点,但实现铆接并非易事。铆接的实施工艺可以按照不同的方式进行分类,包括人工气动锤铆、电磁铆、机器人铆接及数控自动钻铆等。这些不同的实施工艺方式,可以根据实际需要选择使用,以达到更好的铆接效果。早期,铆接主要是通过手动方式完成的。在飞机制造过程中,通常采用手动冲击铆接。这种铆接方法的原理是利用铆枪产生瞬时的冲击力,并将其施加于铆钉上,同时在铆钉的另一侧给予支撑。在冲击力的作用下,铆钉受到挤压,产生永久变形,从而实现铆接^[6]。

当前,在国内飞机装配中,人工手持式铆枪铆接

仍是主要的实施工艺,这种方式的局限性在于高度依赖工人的操作熟练程度。手持式气动铆枪的铆接工艺参数难以精确控制,无法确保形成稳定、均匀的压铆力,铆钉钉杆非均匀膨胀成形,从而导致最终形成的墩头尺寸具有非一致性^[7]。这些问题使得铆接质量难以稳定控制,难以达到铆接质量标准。

本文以典型手动 C 型铆接钳口为对象,进行有限元分析、进行结构优化研究。为了大幅度提高产品的一致性与稳定性、提高生产效率等,需要降低手工操作对经验的依赖;为了大幅度提高设计效率与设计结果的实际应用性,计划对现有的 C 型钳口进行轻量化设计。

1 铆接机 C 型钳口的有限元模型

1.1 有限元模型的建立

在实际无铆钉铆接过程,主要有定位、变形、成形、保压、退模等步骤。本文主要对压铆过程中 C 型钳口的变形过程进行数值模拟,由于压铆过程是一个高度复杂的非线性过程,本文使用 ABAQUS 有限元仿真软件来实现 C 型钳口压铆过程的数值模拟。通过有限元模拟可以更加深入地了解 C 型钳口在压铆过程中的变形和应力分布情况,为铆接 C 型钳口的优化提供有价值的参考。

采用毫米单位制,将手持式铆接机在 SolidWorks

三维软件中进行建模，为了简少工作量，减少计算时间，忽略 C 型钳口的连接螺纹孔，将其设置为一个整体，然后将三维模型导入 ABAQUS 软件中。

在实际生产过程中，底部轴孔中心处受到铆接产生的冲击力，因此在底部轴孔中心处添加向下的集中力载荷，研究使用 20kN 的压力。同时固定顶部，把该面设为完全约束，具体如图 1 所示。C 型钳口采用 35CrMnSiA 低碳合金，材料属性如表 1 所示。

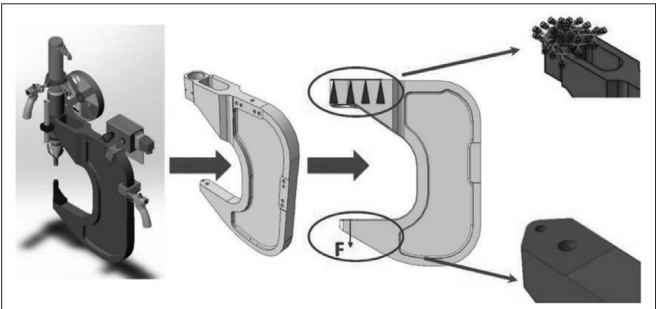


图 1 模型简化

表 1 材料属性

材料	密度 $\rho /$ (kg/m^3)	弹性模 量 E/GPa	泊松比	屈服强度 /MPa
35CrMnSiA	7900	207	0.25	1280

1.2 网格划分

ABAQUS 软件中自带网格划分，网格采用四面体型网格。由于 C 型钳口的尺寸较大，网格尺寸的大小会严重影响模拟的计算时间与计算精度，因此，首先采用不同的网格尺寸对模型进行网格划分。如

图 2 所示，分别采用 5mm、10mm 和 20mm 网格尺寸划分模型，不同网格尺寸对应的节点数和网格数量如表 2 所示。

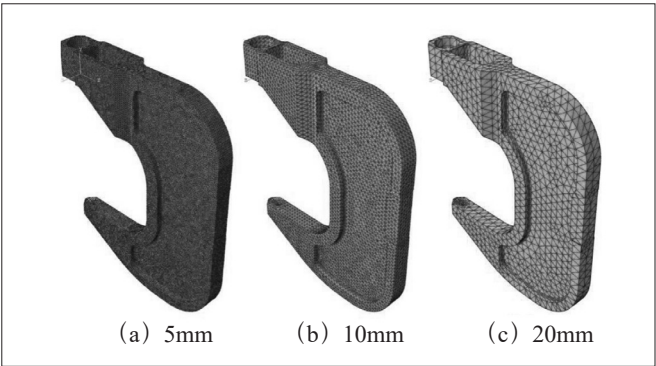


图 2 不同尺寸网格模型

表 2 不同网格尺寸所对应的节点和数量

网格尺寸 /mm	5	10	20
网格节点数	473941	84924	17995
网格数量	318542	53287	10156

2 数值模拟分析

图 3 所示为不同尺寸网格受力后的应力云图。由图可知，最大应力位于相同位置。随着网格尺寸的增大，C 型钳口的应力逐渐变小，网格尺寸为 5mm 的模型最大应力达到 126MPa，而网格尺寸为 20mm 的模型最大应力仅有 64MPa。由此可见，为了使计算结果更精确，可以减小网格尺寸。进行网格无关性分析可以帮助选择合适的网格尺寸，从而大幅度节约模型的计算时间。

图 4 为不同网格尺寸在 20kN 载荷作用下的位移

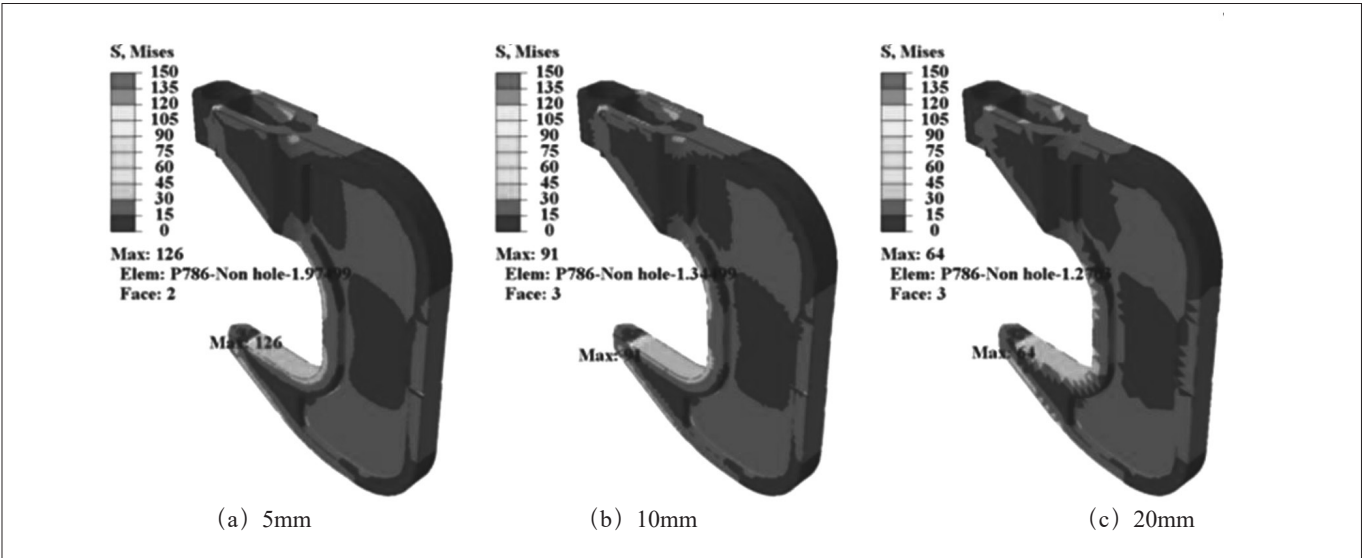


图 3 不同尺寸网格模型应力云图

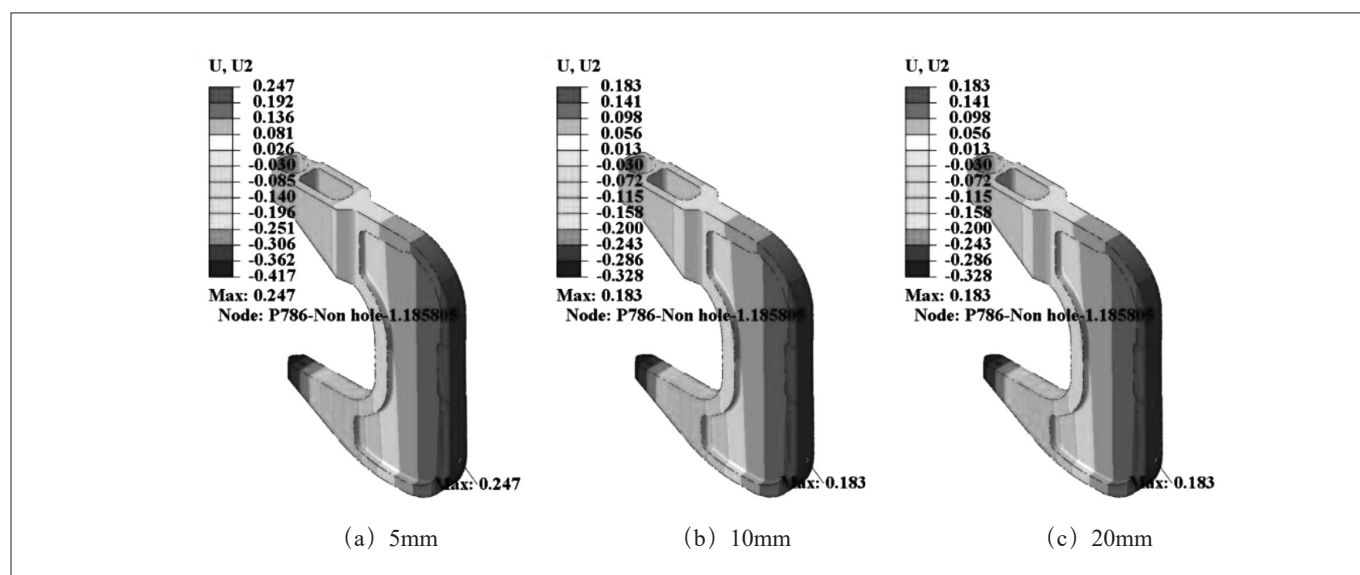


图 4 不同网格尺寸 C 型钳口承载 20kN 时的总位移云图 (mm)

云图, 由图可知, 最大位移均处于相同位置。10mm 与 20mm 网格尺寸模型的最大位移量均为 0.183mm, 而 5mm 网格尺寸模型的最大位移量是 0.247mm。

3 铆接机 C 型钳口轻量化优化分析

3.1 优化设计方案

根据委托企业的要求, 在不改变现有外观结构的前提下进行轻量化设计, 参考现有文献^[8-11]和其他 C 型钳口的外形结构后, 设计三种不同的轻量化方案, 如图 5 所示。

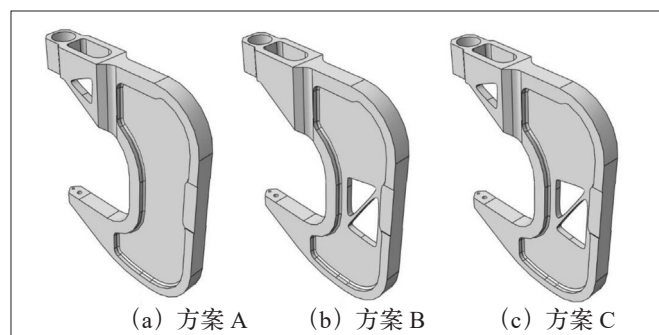


图 5 C 钳口轻量化方案

3.2 优化仿真结果

图 6 所示为不同减重方案的应力云图。由图可知, 在相同载荷作用下, 最大应力均处于相同位置, 方案 C 的最大应力达到 132.155MPa, 方案 A 和方案 B 的最大应力相近。不同减重方案的位移云图如图 7 所示, 方案 B 的位移最大, 达到 0.255mm; 方案 C

的位移次之, 为 0.25mm; 方案 A 的位移最小。将原始结构的模拟数据和三种减重方案进行对比, 结果见表 3。通过对比发现, 采用减重方案 C, 可以减重 2.78kg, 减重比例达到 6.56%, 且最大应力仅增大了 6MPa, 最大位移增加 0.03mm, 由此可见, 减重方案是合理的、满足使用要求的。

4 结语

本文以手动铆接机 C 型钳口的轻量化为研究目标, 提出了三种减重孔开孔设计方案, 并进行仿真模拟。首先, 通过详细对比不同网格尺寸的仿真结果, 进行网格无关性分析, 选择合适的网格尺寸大小。然后, 为验证方案的可行性, 进行了 CAE 强度分析。仿真结果显示, 减重方案 C 的最大应力为 132.155MPa, 小于材料的屈服强度 1280MPa, 因此该方案满足设计要求。此外, 该方案的减重效果显著, 减轻了 2.78kg, 大幅度提升了生产效率。

参考文献:

- [1] 冯玉涛, 胡志强, 刘铁, 等. 无铆钉铆接技术原理及优劣势分析 [J]. 锻压技术, 2023, 48 (8): 169-175.
- [2] 施宏达. 粘接剂固化对无铆钉粘铆接头成形与力学性能影响 [D]. 长春: 吉林大学, 2022.
- [3] 聂永增. 自动铆接机构及其控制系统的设计与研究 [D].

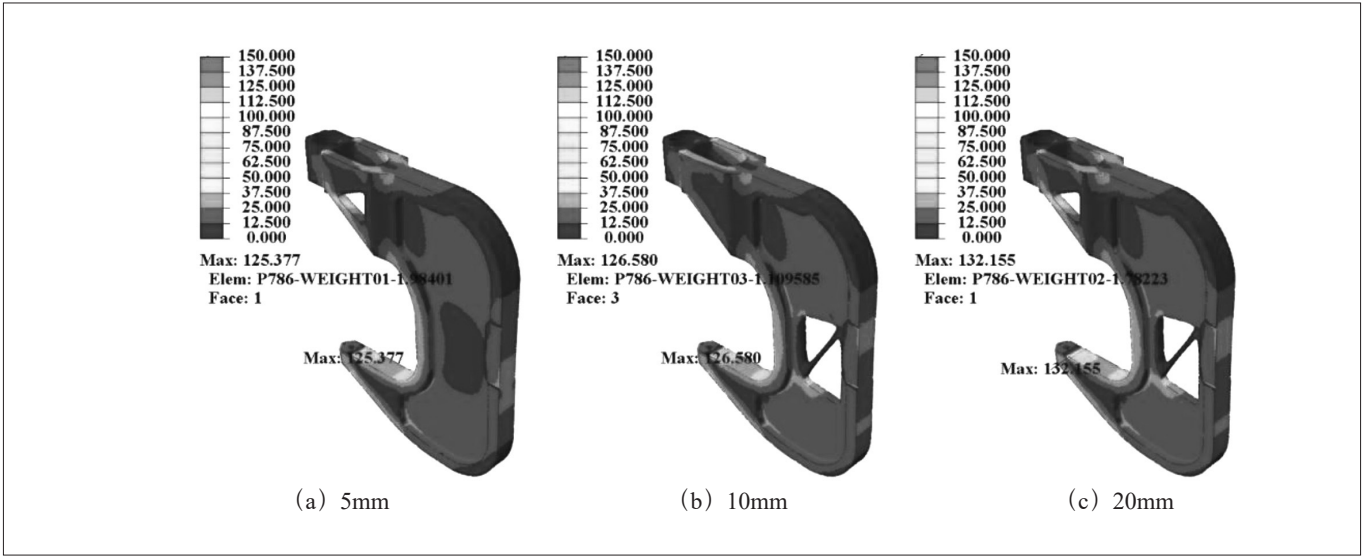


图 6 优化后结构的应力云图

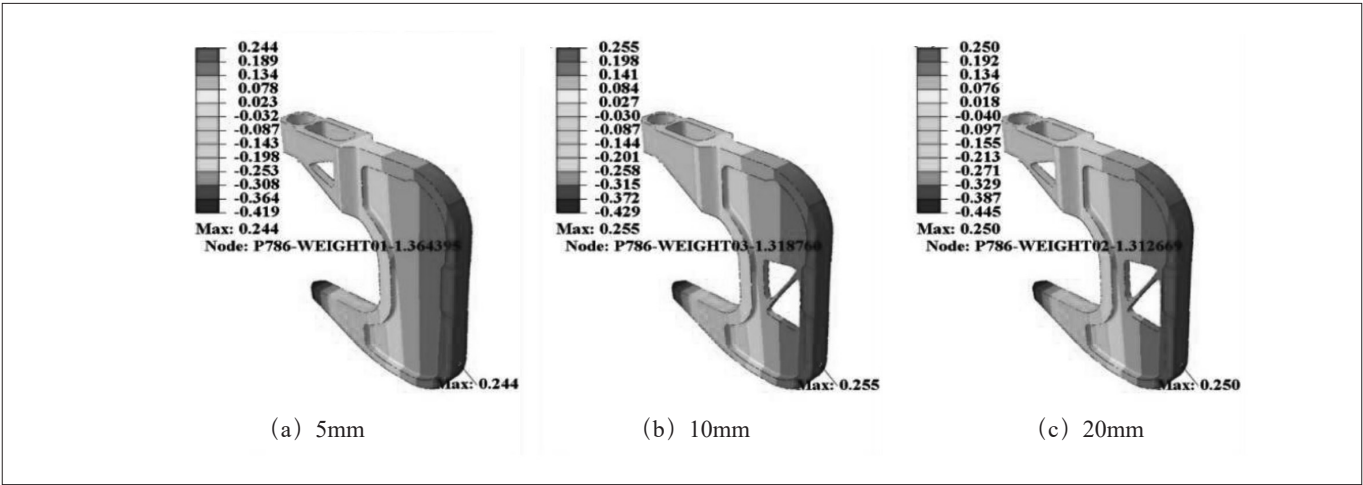


图 7 优化后结构的总位移云图

表 3 不同减重方案对比分析

名称	原始模型	方案 A	方案 B	方案 C
质量 /kg	42.38	41.4	40.6	39.6
减重比例 /%	0	2.31	4.20	6.56
最大应力 /MPa	126	125.377	126.580	132.155
Y 方向最大变形 /mm	0.247	0.244	0.255	0.25

广州：广东工业大学，2017.

[4] 董松. CFRP/ 铝合金叠层结构机器人旋转超声钻削机理研究 [D]. 南京：南京理工大学，2022.

[5] 赵文增. 车身高强钢 / 铝合金热自冲铆连接工艺及力学性能研究 [D]. 长春：吉林大学，2020.

[6] 杨迪. 飞机壁板自动钻铆中预连接工艺和铆接变形研究 [D]. 杭州：浙江大学，2019.

[7] 刘登伟. 自动钻铆：飞机制造的好帮手 [J]. 大飞机，2016 (4) :102-103.

[8] 王振东, 李德涓, 伍初东. 基于 ABAQUS/CAE 的某乘用车后下控制臂拓扑优化设计 [J]. 汽车实用技术, 2021, 46 (4) :47-49.

[9] 甘蕾. 基于 ABAQUS 的某轻卡车蓄电池支架轻量化 [J]. 汽车实用技术, 2022, 47 (11) :98-101.

[10] 陈龙宝. 基于静强度的增材制造鹅颈链 SIMP 结构拓扑优化减重设计研究 [D]. 哈尔滨：哈尔滨理工大学，2022.

[11] 何帆影. 基于 ABAQUS 的某商用车前门轻量化性能优化仿真研究 [J]. 汽车实用技术, 2021, 46 (2) :90-92.

作者简介: 李之繁 (1977.07-), 男, 汉族, 甘肃临夏人, 本科, 讲师 / 工程师, 研究方向: 高职机电类教学研究、机械设计。