

基于 DEFORM-3D 的灌浆头冲压成形工艺分析

史火寿¹ 冯立峰² 童泽奇³ 陶惠敏³ 丁明明³ 方洁³

1. 宁波兴奉机械制造有限公司 315500;

2. 宁波可可磁业股份有限公司 315000; 3. 浙江水利水电学院 310018

DOI: 10.12238/ems.v7i4.12710

[摘要] 本文基于 Deform-3D 有限元分析软件, 对灌浆头的冲压成形工艺进行了系统的数值模拟与分析。针对灌浆头成形过程中存在的模具脱模困难、成形精度不足等问题, 提出了两种不同的成形方案: 方案 1 为内部无模具冲压, 方案 2 为机械胀形。通过有限元模拟, 分别在成形精度、填充质量和成形载荷对两种成形方案进行了对比。研究表明, 方案 2 (机械胀形) 在成形精度和填充质量上显著优于方案 1 (内部无模具冲压), 尤其是在顶部通孔尺寸精度和材料填充均匀性方面表现更为优异。此外, 方案 2 的成形载荷虽然较大, 但其材料流动充分, 能够有效避免填充不足和尺寸偏差等问题, 更符合实际生产需求。

[关键词] 灌浆头; 冲压成形; 机械胀形; 有限元模拟; 成形载荷

灌浆头是建筑或土木工程中常用的工具和设备。它主要用于将浆液有效地灌入如钢筋、孔洞、裂缝等预定的空间中, 同时它能确保浆液均匀、充分地填充被灌注区域, 以提高结构的强度和耐久性^[1]。然而, 由于灌浆头外形复杂, 容易出现模具脱模困难和成形精度低等问题, 如何实现易脱模和高质量成形已成为工程领域近年来研究的热点。

图 1 所示为工程领域常用的注浆零件, 头部为灌浆头, 底部为灌浆管道。从图中可以看出, 顶部灌浆头呈现椭圆形, 结构复杂, 且零件头部和侧面分别存在直径为 34mm 和 15mm 的开口。为了使灌浆头更易成形, 在实际成形时往往对侧面开口进行机加工处理, 只成形中间贯通口和侧面椭圆形薄壁, 如图 2 所示。Deform-3D 是一款强大的三维数值模拟软件, 可以用于工艺成形分析与预测, 帮助解决产品质量、模具结

构、工艺研发等问题^[2]。徐潇等^[3]针对 VL 型球笼筒形壳在传统模锻过程中无法脱模问题, 利用 Deform-3D 软件, 完成了多向模锻压机设计和坯料形状优化设计, 并对上述模拟结果进行了多向模锻实验验证, 解决了模锻过程中无法脱模的问题, 为难脱模零件的锻造生产提供了新途径。陈保山等^[4]针对齿轮坯铸造生产质量差、精度低, 而机加工生产材料利用率低、效率低的问题, 设计了齿轮坯的两种锻造成形工艺, 利用 Deform-3D 软件进行了模拟试验, 得出了最佳方案。为了解决传统灌浆头成形工艺存在的模具脱模困难、成形精度不足等问题, 本文将基于 DEFORM-3D 软件, 分析两种不同的灌浆头成形方案, 选择出最佳的成形方案, 提高其成形精度和生产效率。

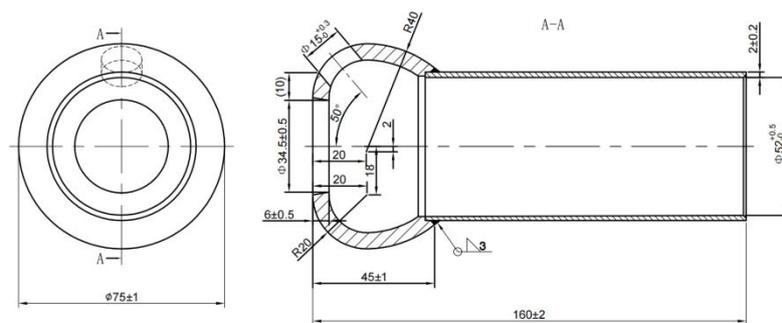


图 1 注浆零件锻件图

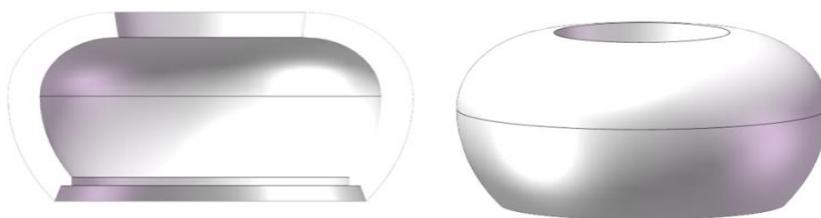


图 2 灌浆头成形件

1 灌浆头工艺分析

灌浆头的成形材料为 45 号钢，该材料为优质碳钢，其化学组成成分如表 1 所示。45 号钢的抗拉强度为 600MPa，屈服强度为 355MPa，具有良好的切削和加工性能，被广泛应用于制造各种机械零件^[5]。为了便于实际生产，根据体积不变原则，采用外径为 76mm，内径为 64mm，高为 44.35mm 的空心圆管作为毛坯。本文设计了两种成形方案，方案 1 为内部无模具冲压，如图 3 (a) 所示。从图中可以看出，顶部的凸模向下运动，完成与底部的凹模的完全闭合，内部的坯料因为模具的挤压，间接成形。方案 2 为机械胀形，如图 3 (b) 所示。

胀形是常见的成形方法，主要是用于平板毛坯的局部胀形(如起伏成形)和圆柱形空心毛坯或管类毛坯的胀形(如凸肚)等。从图中可以看出，当顶部的凸模向下挤压时，内部的刚性分块凸模向外扩张，使毛坯产生径向增大的凸肚变形，从而完成灌浆头的内部成形，当成形结束时分块凸模在下弹顶器和弹簧的作用下回复到初始位置，便可以取出零件。

表 1 45 号钢的化学成分

Table 1 Chemical compositions of 45 steel

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo
含量	0.46	0.34	0.80	0.012	0.001	0.17	0.01	0.02	0.05

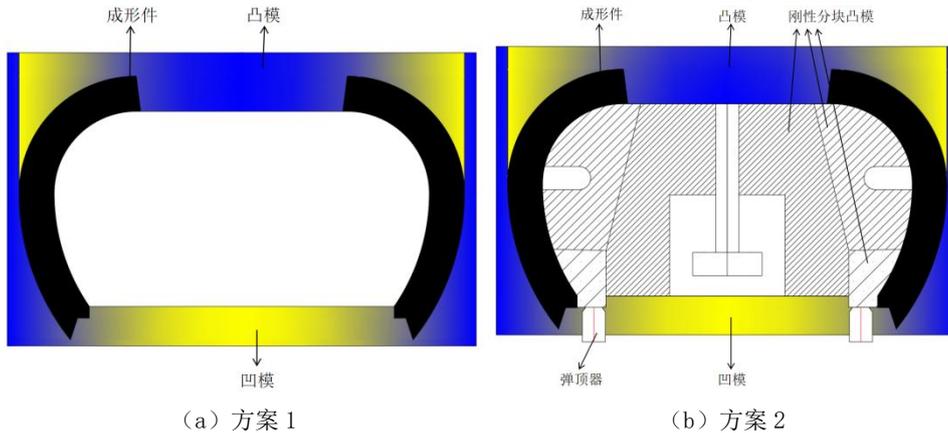


图 3 两种方案二维图

2 成形方案模拟及结果分析

2.1 模拟参数设置

利用 Deform-3D 软件对工艺方案进行模拟，对模拟参数进行设置。首先利用 Solidworks 软件对下料和各个工位的凸、凹模进行三维造型和定位装配，然后将装配完成的模具转换成 STL 格式后导入 Deform-3D 软件中。成形过程模拟参数设置如下：采用刚塑性有限元法，将凸、凹模定义为刚体，材料选择 H13 钢^[4]，坯料定义为塑性体，材料选择 45 号钢，坯料初始温度设置为 20℃，选用四面体网格，网格数量为 30000 个，通过体积补偿以保证模拟过程中零件体积不变，从而提高模拟结果的准确性；设置凸模运动，并对凸模进速度设定；定义坯料与凸、凹模之间的剪切接触摩擦系数为 0.12；在模拟控制模块中设置模拟停止条件，当凸模与凹模完全闭合运行停止。

2.2 有限元模拟结果分析

2.2.1 各方案外侧成形尺寸精度分析

在 Deform-3D 的仿真结果中，可以在后处理中通过测量标尺去测量成形件尺寸，测量数据可以反映真实成形时零件尺寸精度的大致情况。图 4 为两种成形方案的外侧最大尺寸，从图中可以看出，方案 1 外侧最大尺寸为 75.5283mm，方案 2 外侧最大尺寸为 75.3972mm，从图 1 可知外侧尺寸精度误差为 75±1mm，两种成形方案均在误差范围内，均满足成形精

度要求。图 5 为两种成形方案的顶部通孔尺寸，从图中可以看出，方案 1 顶部通孔尺寸为 38.7719mm，方案 2 顶部通孔尺寸为 34.5499mm，从图 1 可知顶部通孔尺寸精度误差为 34.5±0.5mm，方案 1 与实际尺寸存在较大误差，不满足尺寸精度要求，而方案 2 在误差范围内，满足尺寸精度要求。

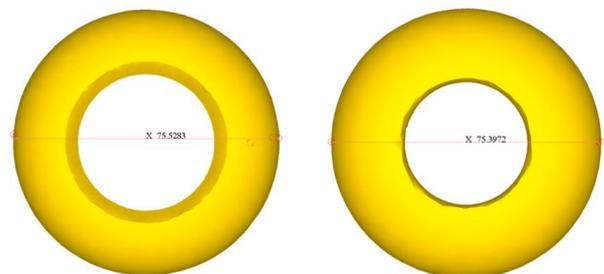


图 4 灌浆头不同方案外侧最大尺寸

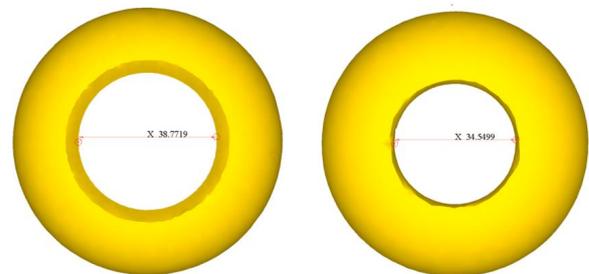
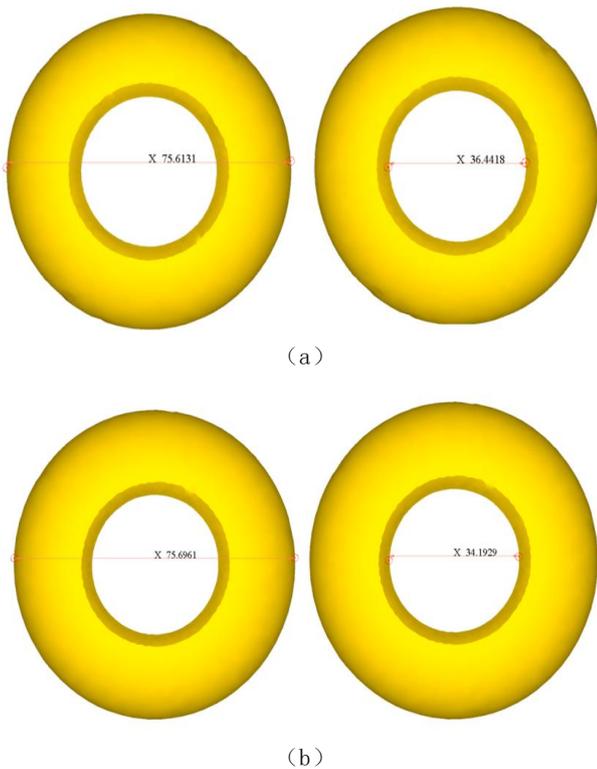


图 5 灌浆头不同方案顶部通孔尺寸

2.2.2 成形方案优化

为了进一步对比两种方案,对方案1进行优化。对方案1进行增加坯料处理,分别增加3%、5%的坯料,观察方案1的成形结果。如图6所示为方案1增加不同百分比坯料的成形结果。从图中(a)可以看出,当增加3%的坯料时成形件的外侧最大尺寸为75.6131mm,顶部通孔尺寸为36.4418mm,外侧最大尺寸满足尺寸精度要求,顶部通孔尺寸不满足尺寸精度要求。从图中(b)可以看出,当增加5%的坯料时成形件的外侧最大尺寸为75.6961mm,顶部通孔尺寸为34.1929mm,外侧最大尺寸和顶部通孔尺寸均满足尺寸精度要求,说明增加5%的坯料进行成形可以达到工艺要求。以增加5%的材料作为最终结果与方案2进行进一步对比,从而选出最佳成形方案。



(a) 方案1增加3%坯料成形尺寸 (b) 方案1增加5%坯料成形尺寸

图6 增加不同比例材料成形效果

2.2.3 各方案填充质量和材料流动过程分析

如图7(a)所示为两种方案的金属网格流线分布,从图中可以看出两种方案网格流线层次分明、不相交,并且无断裂,说明两种方案的成形过程金属流动合理,不会出现穿流、乱流的问题,因此锻件内部不会产生折叠、空穴等缺陷,内部质量较好^[6],两种方案均符合灌浆头零件的制造。在锻造工艺中,零件的尺寸精度靠模具的加工精度保证,因此可通过模具型腔的填充完整度来检验成形后的零件能否达到尺寸

要求。在Deform-3D的仿真结果中,可以将坯料与凸模、凹模模或者顶针接触部位的节点进行高亮显示,而如果某处不存在高亮节点,则表示该处与模具未发生接触,零件表面存在凹坑、填充不足等情况^[7],如图7(b)所示为锻件表面节点分布。从图中可以看出方案1顶部和中间部分节点缺失,方案2节点分布均匀,填充质量好,没有出现填充不足的情况。因此可以判断方案2的尺寸精度优于方案1,方案2更适合灌浆头零件的成形。

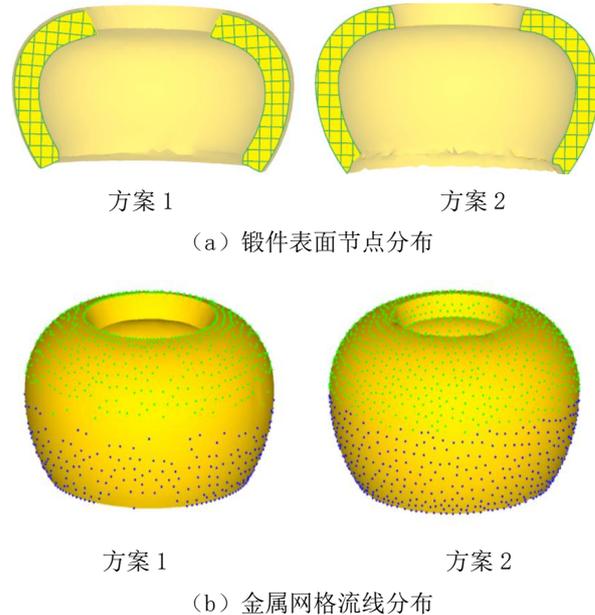


图7 不同方案下锻件成形结果

2.2.4 载荷分析

坯料的成形载荷往往与实际生产中锻造设备的吨位选取有关,更小的成形载荷意味着设备的选择性也更多。两种方案的成形载荷如图8所示。从图中可以看出,在成形前中期两种方案载荷接近,随着成形的进行,两种方案的载荷越来越大,这是因为随着零件的变形量不断增大,材料自身的变形抗力不断增大,与此同时,零件与模具之间接触面积也不断的增大,使零件与模具的摩擦阻力越来越大,金属流动难度变大从而造成载荷变大^[8]。在成形末期,方案1保持平稳,增大到989.56kN,而方案2的力突变到5392.68kN。这是因为方案1内部没有模具填充,在接近成形结束时,模腔中的空间依然开阔,而方案2内部存在模具,在接近成形结束时,模腔中的空间狭小,基本填充完全,金属流动更为困难,使载荷迅速增大到顶点。只考虑前中期载荷情况方案1、方案2均可达到灌浆头载荷要求。但结合实际生产,成形尺寸精度往往对产品更加重要,方案1在成形末期虽然载荷更小但流动不充分,多余材料没有流动到边角,而是往内部填充,造成坯料没有与模具充分贴合,方案2末期虽然载荷突变,但是材料流动充分,更符合实际生产。

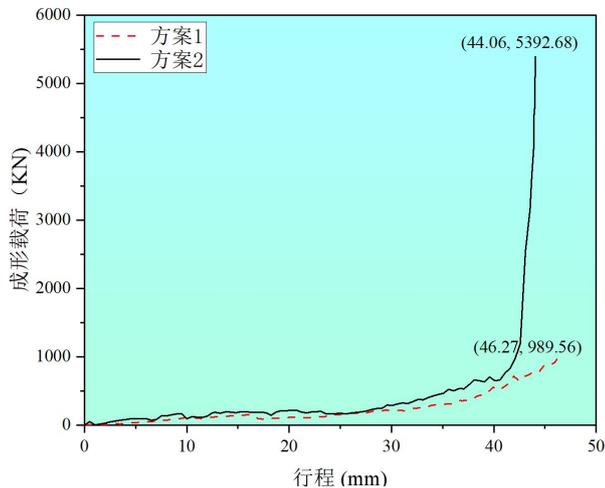


图8 灌浆头不同方案的成形载荷

3 工艺试验

通过上述仿真对比, 决定采用方案2进行灌浆头的工艺试制。将分块凸模和弹顶器和弹簧进行安装和固定, 将制作好的45号钢坯料放在冲压机下进行冲压成形。试制终锻成形件如图9所示。从图9可以看出, 试制结果与模拟结果一致, 得到的锻件成形良好、填充饱满、冲孔明显, 未出现裂纹和断裂情况, 无明显缺陷, 成品尺寸满足精度要求, 证明了该工艺的可行性。



图9 灌浆头试制成形件

4 结论

(1) 为了解决传统灌浆头成形工艺存在的模具脱模困难、成形精度不足等问题, 本文提出了两种冷锻成形方案, 依次通过Deform-3D软件进行了可行性仿真模拟和择优。

(2) 对两种不同方案成形的成形件进行尺寸精度分析、节点网格流线分析和载荷分析, 采用方案2, 锻件的成形尺寸精度更高, 锻件内部材料的流动更合理, 更利于锻件成形, 保证锻件的质量。

(3) 根据模拟试验结果, 采用方案2试制了灌浆头, 试制结果与模拟预测一致, 得到的成形件填充饱满, 成形尺寸

满足精度要求, 无明显锻造缺陷, 验证了方案2工艺的可行性。

[参考文献]

[1] 常群峰, 刘骅锐, 王希河, 等. 灌浆口封堵对套筒灌浆质量影响研究; 2021年全国土木工程施工技术交流会, 中国北京, F, 2021 [C].

[2] 李帆, 邢亚哲. 基于Deform-3D的汽车活塞轴套锻造过程分析及工艺改进 [J]. 锻压技术, 2024, 49(08): 13-20+8.

[3] 徐潇, 付奎奎, 龚攀, 等. VL型球笼筒形壳多向模锻工艺及坯料优化设计 [J]. 锻压技术, 2024, 49(04): 26-34.

[4] 陈保山, 逯云杰. 基于Deform-3D的齿轮坯精锻工艺分析与试验验证 [J]. 锻压技术, 2023, 48(12): 18-24.

[5] 贾琦, 杜东兴, 孔金星, 等. 超声滚压工艺参数对45钢表面完整性与冲击性能的影响 [J]. 机械工程材料, 2024, 48(10): 28-34.

[6] 田亚丁, 朱绘丽. 基于有限元分析的汽车法兰盘连接件精密锻造工艺 [J]. 锻压技术, 2023, 48(12): 9-17.

[7] 田亚丁, 刘德波. 基于数值模拟的变速箱轴套精锻工艺评估及试验研究 [J]. 精密成形工程, 2024, 16(01): 192-200.

[8] 田辙环, 薛克敏, 李萍. 新能源汽车4032铝合金轴承座闭式背压成形工艺数值模拟和实验研究 [J]. 精密成形工程, 2022, 14(02): 1-6.

作者简介: 史火寿(1969.01), 男, 安徽省宣城市, 汉, 学士学位, 工程师, 研究方向: 机械制造; 冯立峰(1979.10), 男, 浙江省宁波市, 汉, 硕士学位, 研究方向: 机械制造; 童泽奇(1989.07), 男, 浙江省杭州市, 汉, 博士学位, 讲师, 研究方向: 机械工程; 陶惠敏(1992.06), 女, 湖北省襄阳市, 汉, 博士学位, 讲师, 研究方向: 材料科学与工程;

丁明明(1964.11), 男, 浙江省杭州市, 汉, 硕士学位, 教授, 研究方向: 机械制造;

方洁(2001.08), 男, 安徽省六安市, 汉, 学士学位, 研究方向: 机械工程;

课题: 基金项目: 浙江省基础公益研究项目: 《提高热模锻机床瞬态动刚度的等效敏度-HCA方法研究》, (LGG22E050034)

基金项目: 浙江水利水电学院南浔青年学者项目: 《集成灶用电用不锈钢微结构调控机理与高强度耐腐蚀设计研究》, (RC2022021035)

浙江省尖兵领雁项目: 《新能源汽车高性能驱动电机研发及应用示范》, (2022C01070)