

基于数值模拟技术的盘毂锻造模具工艺设计与优化

赵显云

(济宁市兖州区新驿镇人民政府 山东 济宁 272116)

摘要：本文基于数值模拟技术，对盘毂锻造模具工艺进行了设计与优化，确定盘毂热冷复合成形工艺中的目标函数为降低成形峰值载荷、降低预锻件最大损伤值。在优化盘毂成形过程工艺参数的过程中，使用正交设计与有限元分析相结合的方式，按照金属流动规律划分成形过程，第一阶段为上下凸模挤压金属，同时产生流动反应；第二阶段为填充上下两端钢颈；第三阶段将在上端钢颈部分及中间材料发生径向流动填充齿腔。

关键词：模具；数值模拟；工艺设计；优化；有限元分析

0 引言

国内很多机构都已经开始深入研究冷热复合成形工艺的相关领域，且取得了丰硕的研究成果。现阶段，国内汽车制造行业发展态势一片大好，而在汽车离合器结构中，盘毂是不可或缺的重要构成，在生产过程中以机械加工为主的生产工艺，生产过程时间长、材料多，且无法有效提升产能，因此就需要优化该成形工艺。本文在设计优化盘毂锻造模具工艺的过程中，同时借助了数值模拟技术展开操作。

1 盘毂热锻有限元分析模型的构建

可假设材料弹性变形的影响为零，这是由于作为大型塑性变形的预锻成形过程，可构建软件自带刚粘塑性有限元模型。假设材料满足各向同性标准，且为匀质，坯料材料为 20CrMo。盘毂呈现出对称结构，预段毛坯选取 1/4 棒料，设置边界条件的方式避免运算时间过长，其温度保持在 1105℃，使用 80500 网格数的四面体网格模型。模型材料选择 AISI-H-13，分析凹模磨损，划分凸模、凹模网格共计 50500 个。使用软件自带 Archard 磨损模型分析模具磨损。坯料模具间表现出 10.5 的传热系数，选取刚性材料作为凸凹模，磨具材料的选取为 H13 钢，同时设置 0.75 热辐射系数和 250℃ 预热温度。

2 盘毂热锻成形工艺参数优化

2.1 工艺参数选择

在生产盘毂锻件的过程中，会通过预热处理热锻模

具的方式，提高锻件充型成功率，模具在热成形时，其不同部分的温度存在显著差异。在盘毂热锻模具预热过程中，将其温度控制在 150 ~ 400℃ 范围内，通过分别设置 205℃、255℃、305℃、355℃ 温度条件，判断坯料成形与温度的关系。要选取最佳的坯料始锻温度，当提高温度时，会降低材料的变形抗力，金属易充填型腔，对成形效果产生负面影响。选择低合金结构钢 20CrMo 作为盘毂材料，并根据 955℃、1005℃、1055℃、1105℃ 作为不同温度条件。选择适当的成形速度也非常重要。盘毂热锻成形最大应力低于 300t，分别选择成形挤压速度 245mm/s、275mm/s、305mm/s、335mm/s。润滑系数会对成形载荷产生直接影响，根据 20Cr 材料特性的情况，润滑系数分别取 0.14、0.18、0.22、0.26 进行模拟实验。

2.2 正交试验模拟结果分析

设计影响盘毂热锻成形性因子的正交试验，如表 1 所示。试验指标主要分为两部分内容，即最大成形载荷与最大损伤值。表 2 为正交试验安排及试验结果。

表 1 试验因素水平表

水平	坯料始锻温度 (A)/℃	模具预热温度 (B)/℃	挤压速度 (C)/(mm/s)	润滑系数 (D)/℃
1	955	205	245	0.14
2	1005	255	275	0.18
3	1055	305	305	0.22
4	1105	355	335	0.26

2.2.1 最大成形载荷分析

盘毂热锻的最大成形载荷如表 3 所示，其中不同工艺参数表现出明显的极差值，按照从小到大的顺序，影响盘毂热锻成形载荷的因素分别为挤压速度、模具预热温度、始锻温度。四个工艺参数影响最大成形载荷的程度为：A > B > D > C，本研究目的是分析成形过程中

的最小峰值载荷，因此，在预锻成形过程中，最佳工艺参数组合为 A4B4C1D2。

2.2.2 预锻模腔最大磨损量分析

盘毂热锻成形后，锻模型腔最大磨损量如表 4 所示，不同工艺参数影响盘毂热锻凹模型腔最大磨损量的差异比较显著，工艺参数排序为 B > A > D > C，其中始锻温度影响最大，挤压速度影响最小，所以 A4B4C3D4 为最佳工艺参数组合，此时磨损量处于最小值。

3 最优工艺参数组合及其模拟结果分析

3.1 最优方案模拟结果验证

本研究在验证试验正确性的过程中，使用了 DEFORM 模拟软件，参数设置分别为：坯料始锻温度 1105℃、挤压速度 255mm/s、模具预热温度 205℃、润滑系数 0.18。对比结果包括：在图 1(a) 锻件最大损伤值 0.417 分布在燕尾槽尖角处，对比表 4 中的 0.455，其降低水平达到 8.35%；在图 1(b) 中，锻模型腔出现 1.380 μm 的最大磨损量，对比表 4 中的 1.801 μm，其水平降低 23.38%。所以，优化后的参数组合能够对产品成形效果产生积极的影响作用。

3.2 成形过程分析

在盘毂热锻成形过程中，能够通过材料流动规律反映其速度场，图 2 所示为材料流动速度场在不同压下量所产生的不同反应。变形初期如图 2(a) 所示，坯料会出现镦粗变形的情况，且上、下凸模作用材料会向下流动；随着变形的继续发展，上、下端钢颈进一步填充完成，坯料出现径向流动现象，此时开始填充异形齿腔；材料的径向流动作用开始随不断增加的材料随压下量而出现，对齿腔进行填充，如图 2(c) 所示。

4 结语

本文基于数值模拟技术，对盘毂锻造模具工艺进行了设计与优化，得出如下结论：

(1) 确定盘毂热冷复合成形工艺中的目标函数为降低成形峰值载荷、降低预锻件最大损伤值；

(2) 在优化盘毂成形过程工艺参

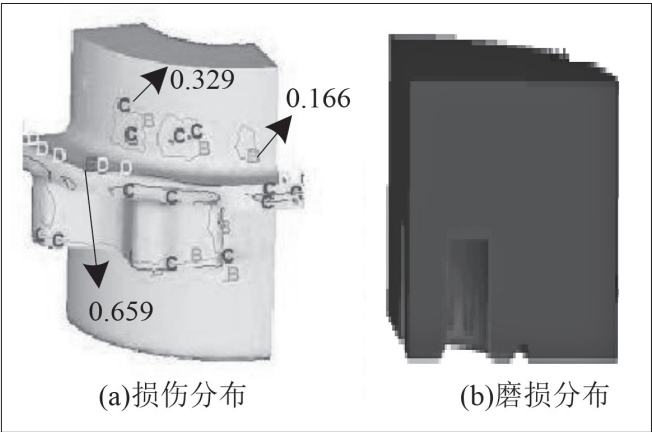


图 1 优化方案模拟结果

表 2 正交试验安排及试验结果

序号	A	B	C	D	损失值	成形载荷 /t
1	1	1	1	1	0.478	48.4
2	1	2	2	2	0.614	47.8
3	1	3	3	3	0.471	49.5
4	1	4	4	4	0.493	46.1
5	2	1	2	3	0.420	47.0
6	2	2	1	4	0.462	46.4
7	2	3	4	1	0.443	40.4
8	2	4	3	2	0.594	46.3
9	3	1	3	4	0.642	39.2
10	3	2	4	3	0.464	39.4
11	3	3	1	2	0.810	41.2
12	3	4	2	1	0.438	39.7
13	4	1	4	2	0.768	32.3
14	4	2	3	1	0.460	39.0
15	4	3	2	4	0.415	36.7
16	4	4	1	3	0.680	35.3

表 3 成形过程中最大成形载荷的分析表

	坯料始锻温度 (A)/℃	模具预热温度 (B)/℃	挤压速度 (C)/(mm/s)	润滑系数 (D)/℃
1 水平平均值 /t	48.014	42.936	41.986	42.814
2 水平平均值 /t	45.136	42.912	42.013	40.905
3 水平平均值 /t	40.010	43.736	42.911	42.184
4 水平平均值 /t	35.836	39.711	42.286	43.486
极差	11.186	3.036	0.936	1.686

表 4 凹模型腔表面最大磨损量的分析表

	坯料始锻温度 (A)/℃	模具预热温度 (B)/℃	挤压速度 (C)/(mm/s)	润滑系数 (D)/℃
1 水平平均值 /t	3.161	3.469	2.606	3.709
2 水平平均值 /t	3.541	2.879	3.334	2.564
3 水平平均值 /t	2.457	3.018	2.601	2.512
4 水平平均值 /t	2.079	1.801	2.607	2.354
极差	1.461	1.557	0.632	1.234

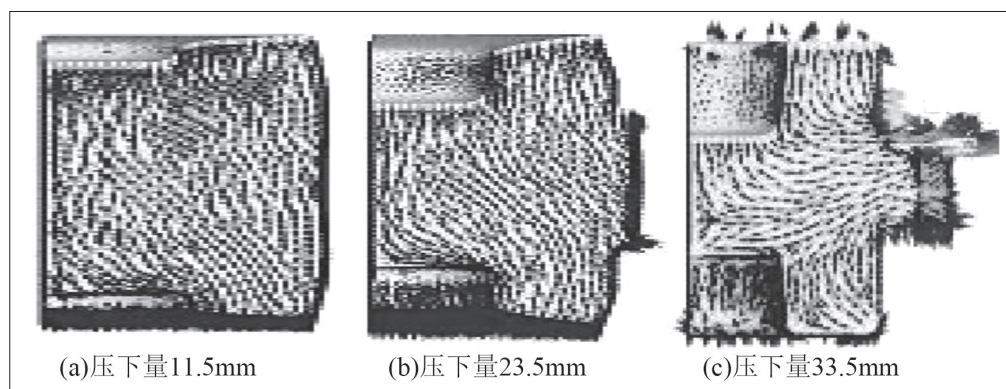


图2 盘毂热锻成形过程

数的过程中,使用正交设计与有限元分析相结合的方式,确定工艺参数组合为始锻温度 1105℃、挤压速度 255mm/s、模具预热温度 205℃、润滑系数 0.18,在验证参数设置时使用有限元模拟分析手段;

(3) 按照金属流动规律划分成形过程,第一阶段为上、下凸模挤压金属,同时产生流动反应;第二阶段为填充上、下两端钢颈;第三阶段将在上端钢颈部分及中间材料发生

径向流动填充齿腔。

参考文献:

- [1] 李锐,孟亮.基于 Deform 和正交试验的汽车轮毂盖板冲压工艺参数优化[J].制造技术与机床,2021(8):147-150.
- [2] 张东民,盛育东,张金玉,等.六角开槽螺母的冷锻工艺优化及数值模拟[J].机械设计与制

造,2018(3):191-194.

[3] 王玉红,马廷威,赵启蒙.基于 Deform 的盘毂锻造模具设计[J].锻压装备与制造技术,2021,56(6):101-104.

[4] 仇建桐,邓沛然,邵威,等.基于 Dynafbm 的铝合金筒形件拉深成形[J].锻压技术,2020,45(5):49-55.

(上接第 14 页)

表3 不同机械结构的加工切削深度测试结果/mm

轮次	时间	传统结构 1	传统结构 2	新结构
第 1 轮	9:30	3.76	3.46	4.00
	10:30	3.78	3.48	4.00
第 2 轮	9:30	3.78	3.52	3.99
	10:30	3.76	3.50	4.00
第 3 轮	9:30	3.78	3.50	4.00
	10:30	3.78	3.48	3.99
第 4 轮	9:30	3.80	3.48	3.99
	10:30	3.78	3.50	3.99
第 5 轮	9:30	3.78	3.52	4.00
	10:30	3.76	3.50	4.00

本文设计的机械结构进行机床加工,能够对刀具的切削性能进行控制,保证在较小的震颤频率下完成加工生产,且切削深度可以满足设计需求,具有实际推广意义。

3 结语

本文以精密数控机床的切削特性为研究基础,通过有限元模型的网格划分方法,以及自由边界的处理条件,对机床的切削耦合特性进行分析,完成了机床的上下抓取动作驱动匹配,重新设计了精密机床的切削特性耦合机械结构。

试验结果表明:以某工厂实际生产的工艺件为测试

条件,在本文设计的机械结构应用下,生产全过程的噪声均不超过 16dB,且加工过程中的切削深度与要求的基本一致,满足误差不超过 0.02 的前提设定,具有实际应用效果。

由于在研究过程中对测试环节的具体指标设定过于单一,得到的具体评测结果有一定偏向性,存在少许的不足。后续研究中会针对以上问题,对测试的项目展开设定,多角度分析精密数控机床的切削特性,为其机械结构的优化提供更可靠的理论支持。

参考文献:

- [1] 翟一欣,郇亮,李培楠.异形盾构全断面刀盘切削土体的流动特性仿真研究[J].中国市政工程,2021(02):62-66+126.
- [2] 张伟华,赛云祥,李佳,等.某型精密数控机床床身的优化设计及性能分析[J].机械设计,2020,37(S2):162-167.
- [3] 李焱.试述数控机床切削控制能力对机械加工精度的影响[J].中国设备工程,2020(18):179-180.

作者简介:宋启东(1964-),男,汉族,山东莱州人,本科,工程师,研究方向:数控机床与精密加工工艺。