ICS 01.100.01
J 04

中华人民共和国国家标准

GB/T 39334.5—2020

机械产品制造过程数字化仿真
第5部分:典型工艺仿真要求

Digital simulation of mechanical products manufacturing process—
Part 5:Requirements of typical process simulation

2020-11-19 发布　　2021-03-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会　发布

目　　次

前言 …… Ⅲ
1　范围 …… 1
2　规范性引用文件 …… 1
3　术语和定义 …… 1
4　一般要求 …… 1
5　基本流程 …… 1
6　详细要求 …… 2
6.1　机加工工艺仿真 …… 2
6.2　装配工艺仿真 …… 2
6.3　钣金工艺仿真 …… 5
6.4　焊接工艺仿真 …… 6
6.5　铸造工艺仿真 …… 8
6.6　锻压工艺仿真 …… 10
6.7　增材制造工艺过程仿真 …… 12

库七七 www.kqqw.com 提供下载

前　言

GB/T 39334《机械产品制造过程数字化仿真》分为5个部分：

——第1部分：通用要求；

——第2部分：生产线规划和布局仿真要求；

——第3部分：装配车间物流仿真要求；

——第4部分：数控加工过程仿真要求；

——第5部分：典型工艺仿真要求。

本部分为GB/T 39334的第5部分。

本部分按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本部分由全国技术产品文件标准化技术委员会(SAC/TC 146)提出并归口。

本部分起草单位：上汽通用五菱汽车股份有限公司、中机生产力促进中心、中车唐山机车车辆有限公司、中国电子科技集团公司第三十八研究所、中车株洲电力机车有限公司、徐工集团工程机械股份有限公司、南京骐骏软件有限公司、重庆智能机器人研究院、佛山华数机器人有限公司、武汉开目信息技术股份有限公司、西安陕鼓动力股份有限公司。

本部分主要起草人：潘海涛、辛明哲、陈杰、费久利、周永杰、程五四、郭建祥、熊浩云、邵晓东、庹奎、杨林、陈万领、曾芬芳、穆骅、王航、郑君君。

库七七 www.kqqw.com 提供下载

机械产品制造过程数字化仿真
第5部分:典型工艺仿真要求

1 范围

GB/T 39334的本部分规定了机械产品制造过程中机加工、装配、钣金、焊接、铸造、锻压、增材制造等典型工艺仿真的一般要求、基本流程,以及仿真方案制定、仿真模型构建、仿真运行分析、结果评价与优化的详细要求。

本部分适用于机械产品制造过程中典型工艺仿真有关的应用、开发、服务和研究。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 4863—2008 机械制造工艺基本术语

GB/T 35022—2018 增材制造 主要特性和测试方法 零件和粉末原材料

GB/T 39334.1 机械产品制造过程数字化仿真 第1部分:通用要求

GB/T 39334.4 机械产品制造过程数字化仿真 第4部分:数控加工过程仿真要求

3 术语和定义

GB/T 4863—2008和GB/T 39334.1界定的术语和定义适用于本文件。

4 一般要求

4.1 仿真内容包括但不限于产品或零件制造工艺过程设计的可制造性、可装配性、有效性、准确性、制造质量等。

4.2 仿真模型应保留工艺设备、工艺装备工作特性信息。

4.3 设备、工装、工具应能适应工序/工步作业内容要求。

4.4 虚拟操作者在作业过程中应具备合理的视角。

4.5 应依据产品或零部件制造工艺过程确定仿真目标,可以为独立工序工艺目标,也可以为多工序相关联的工艺目标,依据各个工艺目标设计仿真算法,并使用工艺数据或生产数据驱动仿真分析。

4.6 仿真结果评价与优化工作可以反复迭代进行,直至获得合理的工艺过程设计结果。

5 基本流程

典型工艺仿真通常包括仿真方案制定、仿真模型构建、仿真运行分析、结果评价与优化4个阶段(见图1),具体如下:

a) 仿真方案制定。应依据工艺方案、工艺路线、仿真目标、标准规范以及资料收集情况,如产品信息、制造资源等信息制定验证工艺设计的工艺仿真方案。在仿真方案中,仿真平台搭建具体内

库七七 www.kqqw.com 提供下载

容包括但不限于：三维模型构建软件、三维模型渲染与处理软件、工艺仿真运行分析软件、数据管理软件、软件集成接口。

b） 仿真模型构建。依据产品或零部件制造工艺过程各工序内容构建仿真模型，可以通过建立仿真模型库缩短建模工作时间。

c） 仿真运行分析。围绕仿真目标设计仿真算法，可以组合算法构建仿真算法库应对复杂层次的仿真分析需求，按仿真需求输入工艺数据或生产数据，并构建仿真过程序列进行仿真分析，再根据仿真结果对仿真方案和仿真模型进行调整。

d） 结果评价与优化。应建立工艺过程仿真结果评价原则，对仿真结果进行评价，并依据评价结果开展多方案的工艺过程调整和优化。

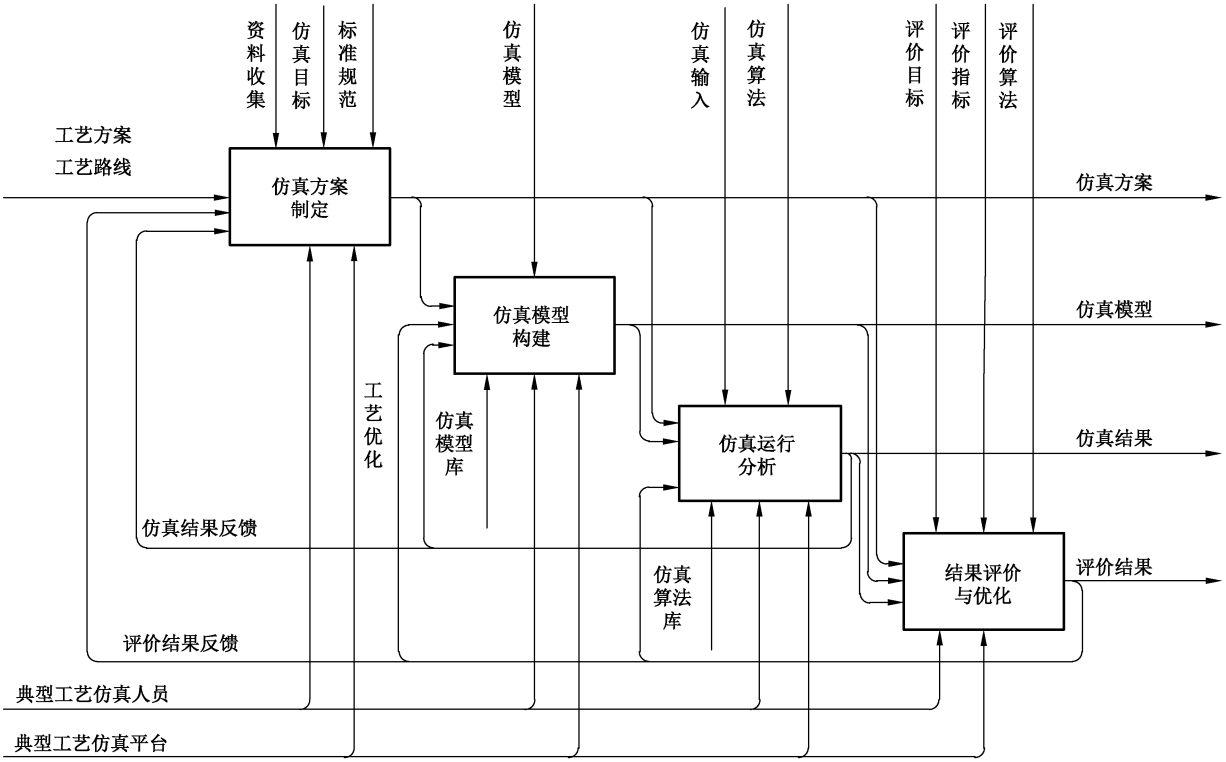

图 1 典型工艺仿真基本流程

6 详细要求

6.1 机加工工艺仿真

机加工工艺仿真应符合 GB/T 39334.4 的有关规定。

6.2 装配工艺仿真

6.2.1 仿真方案制定

6.2.1.1 仿真目标

开展装配工艺仿真前，应确定仿真目标，具体内容应包括但不限于：

a） 验证和改善产品的可装配性；

库七七 www.kqqw.com 提供下载

b) 完善产品的装配顺序和装配路径，优化装配工艺；
c) 进行装配干涉与碰撞检测及分析；
d) 对装配方案进行人机工效评估；
e) 生成可视化装配文件，指导实际装配过程；
f) 对装配线方案进行生产线平衡评价。

6.2.1.2 其他

装配工艺仿真输入对象通常包括装配模型、装配环境模型及装配流信息等。

装配工艺仿真可以是针对装配工艺全过程装配、单个装配操作或单个装配操作中的某次运动开展仿真活动。

6.2.2 仿真模型构建

6.2.2.1 模型组成

开展装配工艺仿真前，应按照产品的装配工序构建装配模型和装配环境模型，其中，装配环境模型应包括但不限于：

a) 装配工具模型——装配仿真环境下表达装配过程中所使用的刀具、量具、辅助工具、工装及相关设备信息的模型；
b) 装配空间模型——描述装配工具、装配操作者以及装配模型在进行装配仿真活动中所形成的包络空间的模型；
c) 操作者模型——包含完整的人体几何信息、标识信息、姿态信息及疲劳特性等的数字化模型。

6.2.2.2 建模要求

装配工艺仿真模型构建应符合以下要求：

a) 所有的装配单元应具有唯一性和稳定性，无数据冗余；
b) 应合理划分零部件的装配层级，每一个装配层级对应着装配现场的一道装配环节；
c) 装配有形变的零部件（例如弹簧、锁片、铆钉、开口销、橡胶密封件等）通常应以变形后的工作状态进行装配；
d) 模型装配前，应将装配单元内部的与装配无关的基准面、轴、点及不必要的修饰进行消隐处理，只保留装配单元在总装配时需要的参考基准；
e) 装配模型应包含产品完整的几何信息、约束信息和工作属性；
f) 应根据仿真内容，选择合适层级的仿真模型。

6.2.3 仿真运行分析

6.2.3.1 装配顺序生成

装配顺序生成的内容通常包括但不限于：

a) 确定合理的装配单元装配方向；
b) 装配单元装配顺序的几何可行性检查；
c) 产品重点装配协调部位的装配工艺性分析；
d) 装配单元装配的可操作性分析。

6.2.3.2 装配路径生成

装配路径生成的步骤通常包括但不限于：

库七七 www.kqqw.com 提供下载

a) 确定待装配的零部件；
b) 给定装配起点与终点；
c) 分析、判断与其他零部件之间的位置关系；
d) 利用相关技术求解出一条从装配起点到装配终点的无碰撞运动路径。

6.2.3.3 干涉与碰撞分析

干涉与碰撞分析的内容通常包括但不限于：
a) 零件外形尺寸不合理导致装配干涉；
b) 装配路径规划不合理导致装配干涉；
c) 装配顺序协调规划不合理导致装配干涉。

6.2.3.4 人机工效分析

人机工效分析的内容通常包括但不限于：
a) 可达性、可视性分析——通过对产品各个零部件装配顺序的仿真、装配路径对人体操作可达性的影响，利用对人体各种极限姿态的模拟，检查零部件是否处于极限姿势下的操作范围之内，哪些零部件处于操作范围之外。
b) 作业空间开敞性分析——检查装配操作空间是否能满足人体作业需要，相关设备布局是否合理，装配操作是否符合舒适性要求等。
c) 装配作业姿态分析——判断装配人员是否能够处于最舒适的作业姿势，运用最佳作业动作进行装配，并判断各种作业方式是否会引起装配人员工作效率下降和产生疲劳。
d) 标准化作业分析——判断装配人员取料路径和方式、运转路径、装配方法和工具等是否采用标准化作业，确保运用最佳的运动路径、装配方法和工具，从而提高装配人员工作效率。
e) 生产线平衡分析——对装配生产线的全部工序进行工作负荷分析，识别瓶颈工位，调整作业负荷，消除作业间不平衡的效率损失以及生产过剩。

6.2.3.5 仿真结果输出

装配工艺仿真完成后，生成相应的三维装配可视化文件和装配工艺仿真报告，装配工艺仿真报告的内容通常包括但不限于：
a) 仿真任务；
b) 仿真对象；
c) 仿真依据；
d) 仿真目的；
e) 仿真工具；
f) 装配操作过程仿真分析；
g) 装配顺序和装配路径分析；
h) 干涉和碰撞分析；
i) 人机工效分析；
j) 仿真评价结论；
k) 仿真结果优化意见。

6.2.4 结果评价与优化

装配工艺仿真结果评价与优化应符合以下要求：
a) 装配工艺仿真结果评价指标包括不仅限于技术指标、成本指标、生产指标等单个或多个内容；

库七七 www.kqqw.com 提供下载

b) 装配单元应具备良好的可装配性，如具备易于输送、便于抓取、定位防错等特性；
c) 装配工艺仿真报告可通过产品数据管理系统进行存储和管理，便于设计人员根据装配仿真报告优化设计，提高产品的可装配性。

6.3 钣金工艺仿真

6.3.1 仿真方案制定

6.3.1.1 仿真目标

开展钣金工艺仿真前，应确定仿真目标，具体内容应包括但不限于：
a) 零件材料钣金展开可行性；
b) 零件加工特征可制造性；
c) 钣金工艺过程工艺路线可执行性。

6.3.1.2 其他

钣金折弯输入相关的工艺参数包括但不限于最小弯曲半径、弯曲件孔边距离、弯曲件直边高度。
钣金工艺仿真预测成形过程中的缺陷，包括但不限于起皱、开裂、回弹等。

6.3.2 仿真模型构建

6.3.2.1 几何模型构建

钣金工艺仿真几何模型构建应符合以下要求：
a) 模型应与现场生产工艺一致，尤其不能忽略较小的圆角；
b) 几何模型在 CAD 软件中进行初步线性分割时应选取适合弦高度及角度控制参数自由生成；
c) 几何模型中不应有尖角、缝隙等；
d) 用已有模型生成仿真模型时，不应产生多余面、线等特征；
e) 在保证仿真精度的条件下，可对模型进行简化处理；
f) 几何模型创建完成后，应进行模型检查。

6.3.2.2 网格划分

网格划分应符合以下要求：
a) 最小网格应小于整个模具的最小圆角；
b) 生成体网格前需对面网格质量进行检查；
c) 关键模拟区域应采用较密集的网格，数据变化梯度较小且远离关键模拟区域可采用较稀疏的网格；
d) 网格应无自由节点、无重合节点；
e) 网格单元应无重合、无断裂、无干涉；
f) 面网格单元法线方向应一致；
g) 单元尺寸过渡应平滑，粗细网格之间应有单元进行过渡。

6.3.2.3 材料属性定义

材料属性定义应符合以下要求：
a) 材料属性应包含热学性能和力学性能；
b) 材料力学性能应包含材料流动应力应变、弹性模量、泊松比、屈服应力、应变硬化和成形极限曲线(FLC)等；

库七七 www.kqqw.com 提供下载

c) 材料各项异性参数应包含板材轧制 0°,45°和 90°方向的 n 值(加工硬化指数)和 r 值(塑性应变比)。

6.3.2.4 参数设置

参数设置应符合以下要求:

a) 按实际相对位置关系对模型进行定位;
b) 按实际工艺设置工件与模具、模具间相对关系及可能产生的接触关系,并定义基准模具;
c) 冷成形时,不考虑模具的温度变化与变形,可将模具定义成刚性体;
d) 热成形时,考虑模具的温度变化,应将模具上相应部分离散成单元,并定义成允许传热的刚性接触体;考虑模具的温度变化与变形时,应将模具离散成具有温度和位移自由度的有限单元,并定义成可变形接触体;
e) 按工艺选取设备及设备参数,定义模具的运动方向和速度;
f) 根据网格单元的尺度合理确定步长和步数;
g) 前处理完成后进行相应的检查。

6.3.3 仿真运行分析

6.3.3.1 数值仿真分析

数值仿真分析的一般步骤应包括但不限于:

a) 通常以变形体的节点速度为求解变量;
b) 考虑成形过程中的某一时刻、当变形体的速度场解出以后,通过积分可以得到变形体的位移场及变形体现时的各点坐标,据此由几何方程可进一步计算出变形体的应变率;
c) 用材料的本构方程由初始应变、应变率计算出应力;
d) 由边界的应力可以求得模具所受到的压力以及所需要的压机载荷。

6.3.3.2 仿真结果输出

钣金工艺仿真完成后,生成的仿真结果可以是图形形式,也可以是文字、数字的混编形式。其显示内容应包括但不限于:

a) 等效应力、等效应变以及破坏程度的等高线和等色图;
b) 速度场;
c) 温度场;
d) 压力行程曲线。

6.3.4 结果评价与优化

钣金工艺仿真结果评价与优化的内容通常包括但不限于:

a) 钣金工艺仿真结果评价内容包括但不限于成形载荷、成形缺陷、尺寸精度等;
b) 依据钣金工艺仿真结果,对材料参数、设备参数、模具以及其他边界条件进行优化,直至仿真结果满足产品技术要求,并编写仿真结果分析与优化报告。

6.4 焊接工艺仿真

6.4.1 仿真方案制定

6.4.1.1 仿真目标

开展焊接工艺仿真前,应确定仿真目标,具体内容应包括但不限于:

库七七 www.kqqw.com 提供下载

a) 焊接部件制造质量的改善；
b) 提高产品服役性能；
c) 优化焊接顺序。

6.4.1.2 其他

依据不同的焊接工艺仿真目标，焊接工艺仿真的内容应包括但不限于：变形仿真、应力仿真、结构碰撞仿真、冷裂仿真、产品寿命仿真。

焊接工艺仿真输入相关的工艺参数包括但不限于焊接参数、焊接工艺、焊接顺序、焊接位置、约束条件和材料。

6.4.2 仿真模型构建

6.4.2.1 几何模型构建

焊接工艺仿真几何模型构建应符合以下要求：

a) 几何模型构建时应准确地表达机械产品结构设计信息；
b) 在保证计算精度的前提下，尽量简化模型；
c) 几何模型创建完成后，进行模型检查；
d) 划分网格之前，需要对模型进行一些必要的修整，将没有用的或重复的表面删除，将不连续的面缝合在一起，相邻面的边也应连接在一起；
e) 焊缝及其周边影响区域应利用细致的网格，划分为体元素网格，以满足对物理现象的详细描述；网格划分完毕后应对网格质量及耦合性等进行详细检查；
f) 离焊缝较远的区域，特别是薄壁结构可划为壳元素网格，以简化模型，提高建模和计算效率。

6.4.2.2 系统设施

焊接工艺仿真系统设置的主要内容通常包括但不限于：

a) 创建焊接线——用于指定热源行走的轨迹及方向；
b) 创建热交换面——用于能量散失函数的加载；
c) 设置求解器——确定求解器参数用于进行矩阵方程计；
d) 项目描述——描述项目内容；
e) 设置全局参数——设定计算类型；
f) 组建属性——设置材料属性；
g) 设置焊接线——赋予热源行走轨迹；
h) 设置熔池参数——赋予熔池能量函数；
i) 设置焊接线能量——赋予热源能量密度；
j) 设置冷却条件——设置组件的散热条件；
k) 设置夹持/约束条件——设置组件位移边界条件；
l) 设置载荷；
m) 定义接触；
n) 设置求解参数——定义求解类型以及结果类。

6.4.2.3 材料属性定义

材料属性包含热学性能和力学性能。材料属性定义应符合以下要求：

a) 材料热学性能包含固相线温度、液相线温度、材料相的个数、热导率、比热、密度等；

库七七 www.kqqw.com 提供下载

b) 材料力学性能包含弹性模量、泊松比、屈服应力、应变强化和热应变；
c) 焊缝和母材材料属性分别设置，焊缝材料属性主要包括线膨胀系数和温度变化量等。

6.4.2.4 热源模型建立

热源模型建立应符合以下要求：
a) 为了在模拟中得到准确的应力场和温度场，针对不同的焊接方式建立合适的热源模型；
b) 焊接热源模型建立过程中要考虑热源加载型式、电弧有效半径、焊接速度、对流系数等因素对焊接模拟的影响；
c) 焊接热源能量的加载可采用“等效热源法”：首先计算熔池的形状，然后根据熔池的形状将实际供给的热能导入到焊接结构当中去，用来计算内应力与变形；
d) 热源参数设置时，要根据计算结果进行修改和调试，直至计算得到的焊缝形貌与实际焊缝基本一致；
e) 采用不同的热源模型来模拟不同的焊接方法，如双椭球形热源模型主要用来模拟 MIG 焊(Metal Inert Gas Welding，熔化极惰性气体保护焊)、MAG 焊(Metal Active Gas Welding，活性气体保护焊)、TIG 焊(Tungsten Inert Gas Welding，非熔化极惰性气体钨极保护焊)等焊接方法，3D 锥形高斯热源模型主要用来模拟电子束焊、激光焊等能量密度较大的焊接方法，2D 高斯热源模型用来模拟火焰焊等熔深较浅的焊接方法等。

6.4.3 仿真运行分析

6.4.3.1 数值仿真分析

数值仿真分析主要是根据仿真目标和前处理设置实施数值仿真计算，其工作内容通常包括但不限于：
a) 焊件的变形模拟；
b) 焊接过程的应力模拟；
c) 焊缝或焊点处的结构碰撞模拟；
d) 焊接产品的寿命模拟。

6.4.3.2 仿真结果输出

焊接工艺仿真完成后，生成的仿真结果应符合以下要求：
a) 数值仿真计算完成后，进行后处理，显示仿真结果；
b) 仿真结果以动画、云图或曲线等形式给出。

6.4.4 结果评价与优化

焊接工艺仿真结果评价与优化应符合以下要求：
a) 焊接工艺仿真结果评价内容包含不仅限于焊缝外观质量、接头尺寸、力学性能、弯曲性能、堆焊层的化学成分等；
b) 通过仿真结果对工艺数据进行修改，对焊接参数、焊接顺序或约束条件等进行优化，直至仿真结果满足产品技术要求，并编写仿真结果分析与优化报告。

6.5 铸造工艺仿真

6.5.1 仿真方案制定

6.5.1.1 仿真目标

开展铸造工艺仿真前，应确定仿真目标，具体内容应包括但不限于：

库七七 www.kqqw.com 提供下载

a) 铸件凝固过程质量问题解决；
b) 铸件微观组织生长预测；
c) 验证铸造工艺设计质量。

6.5.1.2 其他

依据不同的铸造工艺仿真目标，铸造工艺仿真的内容应包括但不限于：铸件凝固过程仿真、铸件充型过程仿真、铸件热应力仿真、铸件微观组织仿真。

铸造缺陷判据、温度和应力等物理量的测试方法应在仿真前明确。

6.5.2 仿真模型构建

6.5.2.1 几何模型构建

铸造工艺仿真几何模型构建时应满足以下要求：

a) 铸造仿真工艺模型与现场生产工艺一致；
b) 温度场、流动场模拟中，模型中较小的圆角(如 R1～R3)可省略；
c) 部分冷铁、发热冒口、保温冒口应在建模过程中生成，如遇到曲面或形状复杂的特征，可在体网格生成后建立；
d) 砂型铸造时，可在工艺图上直接做出砂箱，砂箱为面特征，砂箱尺寸应与实际砂箱大小相一致；
e) 模型建立过程中不应有尖角、缝隙等，若用已有模型生成仿真模型时，不应产生多余面、线等特征；
f) 使用装配模型时，应完全约束；
g) 在保证仿真精度的条件下，可对模型进行简化处理；
h) 几何模型创建完成后，进行模型检查。

6.5.2.2 网格划分

模型网格划分应满足以下要求：

a) 薄壁和特殊要求处网格应细化；
b) 面网格划分后，应进行节点和单元网格质量检查与修复，合格后再进行体网格划分；
c) 在面网格生成后，若存在错误且修复量大，宜返回 CAD 软件中进行几何修复；
d) 熔模铸造时，体网格划分后应增加型壳的层数及厚度；
e) 体网格划分完成后，应对网格的质量进行检查与修复。

6.5.3 仿真分析

6.5.3.1 前处理设置

前处理设置时应满足以下要求：

a) 无砂箱时应设置虚拟砂箱；
b) 采用对称模型时应设置镜像；
c) 材料热物性参数应包括热导率、密度、比热、结晶潜热、固相分数、固相线温度、液相线温度等；
d) 进行应力场计算时，材料力学性能参数应包括杨氏模量、泊松比、热膨胀系数等；
e) 界面换热系数应按不同材质之间的换热特性确定；
f) 边界条件中冷却方式、浇注速度、浇注温度等应根据工艺设置；
g) 重力加速度方向应与软件界面中坐标方向一致；
h) 初始条件中环境温度、铸型温度等应与工艺一致；

库七七 www.kqqw.com 提供下载

i) 运行参数应包括铸造方法、温度场、流动场、应力场等；
j) 计算之前应设置计算结果的可视化动态显示方式。

6.5.3.2 数值仿真分析

铸造工艺过程仿真分析时应满足以下要求：

a) 根据前处理设置实施数值仿真计算包括计算域内材料在宏观尺度上的动量传输、能量传输、质量传输、应力应变或者在微观尺度上的微观组织形貌变化等内容；
b) 在数值仿真计算过程中可在计算机屏幕上动态显示计算域内相关物理量场的变化状态，并按照设置存储数值仿真计算结果。

6.5.3.3 仿真结果输出

铸造工艺过程仿真完成后，应以二维或三维可视化形式显示数值仿真计算结果，显示内容应包括但不限于：

a) 充型过程液态金属自由表面、温度场、速度场和压力场随充型时间变化；
b) 铸件凝固过程金属温度场、固相分数场、凝固时间场、应力应变场、微观组织形貌随凝固时间变化；
c) 铸件充型凝固过程铸型的温度场变化；
d) 充型凝固过程中铸件/铸型内某点的温度随时间变化曲线；
e) 铸件冷隔、缩孔、缩松、热裂等缺陷大小和位置的预测结果。

6.5.4 仿真结果评价与优化

铸造工艺过程仿真结果评价与优化应满足以下要求：

a) 铸造工艺过程仿真结果评价包括不仅限于凝固控制可靠度、排气通道顺畅度、热量分布均匀等内容；
b) 工艺设计人员可以根据仿真结果优化工艺设计；
c) 模具设计人员可以根据仿真结果对铸造模具进行优化。

6.6 锻压工艺仿真

6.6.1 仿真方案制定

6.6.1.1 仿真目标

开展锻压工艺仿真前，应确定仿真目标，具体内容应包括但不限于：

a) 锻件变形体应变率预测；
b) 锻件微观组织演化预测；
c) 验证锻压工艺参数正确性。

6.6.1.2 其他

锻压工艺仿真中预测成形过程中的微观组织演变内容包括但不限于动态回复、再结晶、晶粒长大和相变等。

锻压工艺仿真中，应考虑在不同锻压工艺下，工件的成形载荷、金属流动、应力、应变、流线等的变化情况。

库七七 www.kqqw.com 提供下载

6.6.2 仿真模型构建

6.6.2.1 几何模型构建

锻压工艺仿真几何模型构建时应满足以下要求：

a) 模型应与现场生产工艺一致，模型中较小的圆角可省略；
b) 几何模型在CAD软件中进行初步线性分割时应选取适合弦高度及角度控制参数自由生成；
c) 几何模型中不应有尖角、缝隙等；
d) 用已有模型生成仿真模型时，不应产生多余面、线等特征；
e) 宜利用模型对称性，指定合理对称面；
f) 在保证仿真精度的条件下，可对模型进行简化处理；
g) 几何模型创建完成后，应进行模型检查。

6.6.2.2 网格划分

网格划分时应满足以下要求：

a) 最小网格应小于整个模具的最小圆角；
b) 生成体网格前需对面网格质量进行检查；
c) 关键模拟区域应采用较密集的网格，数据变化梯度较小且远离关键模拟区域可采用较稀疏的网格；
d) 网格应无自由节点、无重合节点；
e) 网格单元应无重合、无断裂、无干涉；
f) 面网格单元法线方向应一致；
g) 单元尺寸过渡应平滑，粗细网格之间应有单元进行过渡；
h) 网格划分时应设定体积补偿。

6.6.2.3 材料属性定义

材料属性定义时应满足以下要求：

a) 材料属性包含热学性能和力学性能；
b) 材料热学性能包含热膨胀系数、比热、热导率等；
c) 材料力学性能包含不同的温度和应变率下材料流动应力应变、弹性模量、泊松比、屈服应力、应变硬化和热应变等。

6.6.2.4 参数设置

参数设置时应满足以下要求：

a) 按实际相对位置关系对模型进行定位；
b) 按实际工艺设置锻件与模具、模具间相对关系及可能产生的接触关系，并定义基准模具；
c) 不考虑模具的温度变化与变形时，可将模具定义成刚性体；
d) 考虑模具的温度变化时，应将模具上相应部分离散成单元，并定义成允许传热的刚性接触体；考虑模具的温度变化与变形时，应将模具离散成具有温度和位移自由度的有限单元，并定义成可变形接触体；
e) 按工艺选取设备及设备参数，定义模具的运动方向和速度；
f) 根据网格单元的尺度合理确定步长和步数；
g) 前处理完成后应进行相应的检查。

库七七 www.kqqw.com 提供下载

6.6.3 仿真分析

6.6.3.1 数值仿真分析

数值仿真计算的步骤如下：

a) 通常以变形体的节点速度和温度为求解变量；
b) 考虑成形过程中的某一时刻、当变形体的速度场和温度场解出以后，通过积分可以得到变形体的位移场及变形体现时的各点坐标，据此由几何方程可进一步计算出变形体的应变率；
c) 用材料的本构方程由初始微观组织、温度、应变、应变率计算出应力；
d) 用微观组织的演化方程由初始微观组织、应变、应变率和应力计算出现时的微观组织变化；
e) 由边界的应力可以求得模具所受到的压力以及所需要的压机载荷。

6.6.3.2 仿真结果输出

锻压工艺过程仿真完成后，应以云图、动画、曲线等形式输出仿真结果，具体内容应包括但不限于：

a) 等效应力；
b) 等效应变；
c) 速度场；
d) 温度场；
e) 压力行程曲线；
f) 塑性变形破坏程度。

6.6.4 仿真结果评价与优化

锻压工艺过程仿真结果评价与优化应满足以下要求：

a) 工艺过程仿真结果评价包括不仅限于变形体应变率、变形体应力、模具受力、变形体组织等内容；
b) 应依据仿真结果预测不同条件下材料经过成形改性制成零件后的组织性能质量，找出易发生缺陷的成因及消除方式，调整仿真工艺参数，找出优化工艺方案。

6.7 增材制造工艺过程仿真

6.7.1 仿真方案制定

6.7.1.1 仿真目标

开展增材制造工艺仿真前，应确定仿真目标，具体内容应包括但不限于：

a) 优化材料配置；
b) 优化增材制造设备和部件的设置；
c) 预测失真、压力场和温度场，优化产品设计制造工艺方案。

6.7.1.2 其他

适用于增材制造的材料可分为非金属材料和金属材料两大类。

增材制造的材料可从形态上分，通常包括丝状材料、粉末材料、光敏感材料、薄材等。

6.7.2 仿真模型构建

6.7.2.1 几何模型构建

增材制造工艺仿真几何模型构建时应满足以下要求：

库七七 www.kqqw.com 提供下载

a) 模型厚度特征所有元素应符合增材设备最小可打印尺寸；
b) 模型应分层构建，且层间构建应满足模型水密性检查；
c) 模型曲面应采用非均匀性的线条呈现模型表面，确保打印质量。

6.7.2.2 网格划分

网格划分时应满足以下要求：
a) 应将模型转化为 STL(stereolithography，光固化立体造型术)格式文件；
b) 切片时应按需设定制造参数，如支撑、层厚、建造方向等。

6.7.2.3 材料属性定义

材料属性定义时应满足以下要求：
a) 通过增材制造工艺制备的零件及增材制造工艺用粉末原材料的主要特性应满足 GB/T 35022—2018 的相关要求；
b) 材料属性包含热学性能和力学性能。

6.7.2.4 参数设置

参数设置时应满足以下要求：
a) 依据不同的增材制造工艺建立热源模型；
b) 应建立成形路径与成形精度相对应的工艺数据。

6.7.3 仿真分析

6.7.3.1 数值仿真分析

数值仿真分析应包括但不限于：
a) 成形路径的可制造性；
b) 成形部件组织；
c) 成形精度；
d) 成形过程的温度场、压力场。

6.7.3.2 仿真结果分析

仿真结果宜以云图、动画、曲线等形式保存，具体内容应包括但不限于：
a) 温度场；
b) 增材制造设备成形行走路径；
c) 成形模型。

6.7.4 仿真结果评价与优化

增材制造工艺过程仿真结果评价与优化应满足以下要求：
a) 工艺过程仿真结果评价包括不仅限于成形失真度、成形应力、成形组织等内容；
b) 通过调整不同的工艺参数、成形路径，优化成形精度，满足工艺设计技术要求。

库七七 www.kqqw.com 提供下载