

涡轮盘锻造工艺模拟与改进

东北大学材料与冶金学院 (沈阳 110004) 俞秋景

某涡轮盘现有模锻工艺生产的盘件组织不均匀,在盘件底部下凸部位出现粗晶区,对总体性能不利,为此须改进锻造工艺。

数值模拟可以大量节约工艺开发成本,故本文利用Simufact 10.0模拟软件对3种不同的锻压方案进行评估,比较不同方案对盘件组织均匀性的影响,从而找出能改善组织均匀性的因素,制订出更好的模锻工艺参数。

1. 模拟方案及参数设置

涡轮盘材质为GH4169合金,锻件尺寸约为 ϕ 700mm/ ϕ 400mm $\times$ 50mm,如图1所示。锻件坯料为环形柱状体 ϕ 550mm/ ϕ 300mm $\times$ 150mm。

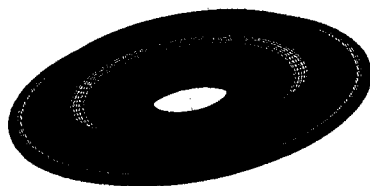
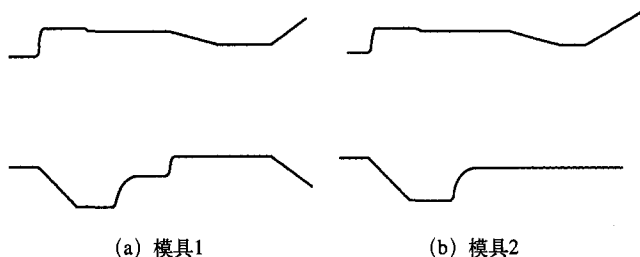


图1 涡轮盘

与其他模拟软件类似,Simufact模拟也分为3个过程:前处理、计算和后处理。模拟的各种参数均在前处理中设置。

(1) 模具模型 采用刚性模具模型,用CAD画出模具轮廓线,如图2所示。



(a) 模具1

(b) 模具2

图2 数值模拟所用模具轮廓线

(2) 分析类型及网格划分 因涡轮盘是轴对称部件,因此选择耦合轴对称分析类型。建立中轴线一侧的二维截面模型。因涡轮盘模锻坯料截面近似为矩形,因此选择矩形单元自动划分网格,如图3所示,网格的单元个数为591个。

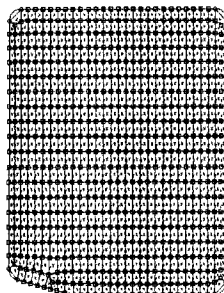


图3 涡轮盘截面模型网格划分

(3) 材质及接触体设置 材质设置选择GH4169合金。由于涡轮盘模锻为轴对称件,在工件和模具之外还须定义对称轴。因此,本次模拟需定义坯料、上下模、对称轴4个接触体。其中,坯料定义为“workpiece”类型;上下模为“rigid (velocity controlled)”,即速度控制的刚体类型;对称轴定义为“symmetry body”。若加工过程使用曲柄压力机、偏心轮压力机等行程控制设备,则在接触体定义时还须定义模具速度。但本次分析使用锻锤,属于能量控制设备,因此不用定义模具速度。

(4) 初始条件 定义坯料初始温度为1090℃,即GH4169合金的始锻温度。初始条件定义完毕后,如有需要还可定义边界条件。

涡轮盘锻造属于大应变变形问题,网格会在变形过程中产生严重畸变,对分析不利。因此,应事先定义网格重划分策略。本问题选择四边形单

有效消除粗晶区。在金属的热加工过程中，晶粒尺寸主要由动态再结晶过程控制，温度和应变是其中最重要的两个参数，因此沿这两个方向作两条直线作为考察路径，如图7所示。沿这两条路径依次计算温度和应变值，如图8所示。

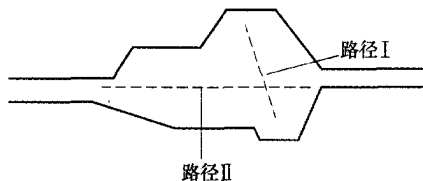
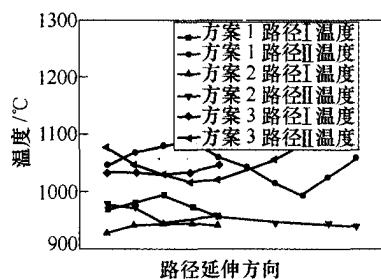
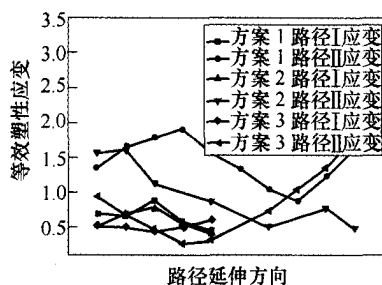


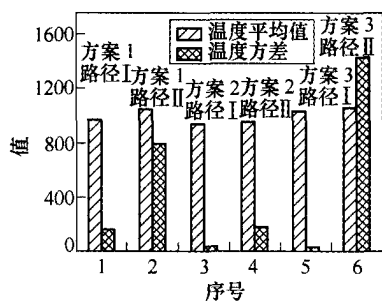
图7 线扫路径



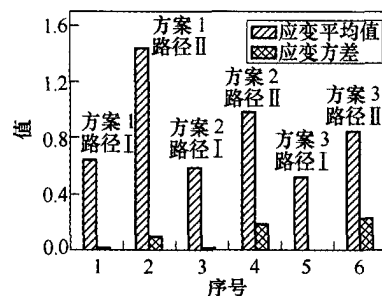
(a) 3种方案的温度线



(b) 3种方案的真正应变线



(c) 3种方案的温度平均值与方差比较



(d) 3种方案的应变平均值与方差比较

图8 3种方案的温度和真正应变的结果比较

可以看出，在路径I上，3种方案的等效塑性应变差不多，方案1的略高，方案3的略低，但是方案3的应变分布均匀性最好。在路径II上，方案1的平均应变最大，方案3的最小。从应变分布均匀性上看，也是方案1的最好，方案3的最差。

方案1中，由于模具形状的修改，使得下模原有的变形死区减小，但也增大了飞边，造成材料的浪费，且有可能使坯料充型不到位。方案2的结果显示，延长锻锤击打的时间间隔对盘件组织的影响是显著的，无论在路径I还是路径II上，方案2的温度均匀性都是最好的。

方案2在路径II上的应变方差虽然不是最小，但与方案1相比，相差并不多。而在路径I上，方案2的应变方差仅有0.01878。这种应变均匀性的改善可以归结为时间间隔延长使高低温部位的传热更充分地进行，从而有效降低了各部位的温差。

方案3在第4锤之前的翻料措施虽然很好地改善了路径I上的温度和应变分布均匀性，却显著增大了路径II上这两个变量的方差，而且翻料会带来很大的工艺控制复杂性，因此方案3并不适合用作改进方案。从以上分析可以看出，合理安排击打次数、变形量及时间间隔能有效改善组织均匀性，方案2显然是这三种方案里最佳的改进方案。

3. 结语

(1) 两次击打的时间间隔对最终组织的均匀性有不可忽视的影响。间隔击打比连续击打更有利于组织均匀。合理安排击打次数，每次的变形量及时间间隔能有效改善组织均匀性。但间隔时间太长则会使整个锻件的温度降低过多，增加变形抗力，影响再结晶，因此时间间隔不宜过长。

(2) 适当降低下模外侧开口高度可以减小下侧变形死区大小。但增大模具外侧开口会使外飞边增大，对坯料充型完整产生不利影响。

(3) 翻料措施能很好地改善盘件上下模凹槽部位的温度和应变分布均匀性，却又显著增大了盘件中部水平部位的温度和应变不均匀性。且翻料措施加大了工艺控制的复杂性，因此翻料措施不适合用作改进方案。MW

(20120920)