

工艺参数对 Rene 95粉末高温合金盘件等温锻造过程影响的模拟分析

Application of FEM Simulation to the Effects of Working Parameters on Isothermal Forging of As-HIPed Rene 95 Alloy

李园春 崔建 (北京航空材料研究院)

Li Yuanchun Cui Jian (Institute of Aeronautical Materials, Beijing)

[摘要] 采用大变形刚粘塑性有限元法模拟 Rene 95 粉末高温合金盘件等温锻造过程, 分析了压机速度、摩擦对变形的影响。

关键词 工艺参数 Rene 95粉末高温合金 刚粘塑性有限元法

[Abstract] In the present paper, the process of isothermal forging of as-HIPed Rene 95 is simulated by using large deformation rigid-viscoplastic finite element method (FEM). The effects of the velocity of the press and the friction on the deformation are analyzed.

Keywords working parameters as-HIPed Rene 95 powder metallurgy alloy rigid-viscoplastic FEM

1 引言

高温合金盘件等温锻造过程涉及昂贵的坯料、模具材料和锻造费用, 以及较长的制造周期。完全依赖于传统的经验式设计方法将会造成人力和物力大量的损失。采用计算机模拟可以仿真整个锻造过程, 掌握材料的流变规律, 方便地分析各种工艺参数的影响, 优化工艺及模具设计, 从而达到合理利用材料、提高工件质量和生产效率的目的。

目前, 粉末高温合金在飞机发动机涡轮盘生产中获得了大量的应用。Rene 95粉末高温合金是一种高合金化的 相沉淀强化型粉末 Ni 基高温盘件合金, 在发动

机盘件用合金中, 它在650 范围内具有最高的抗拉强度, 获得了广泛的应用。本文采用有限元法模拟 Rene 95粉末高温合金盘件的等温锻造过程, 研究压机速度、摩擦等工艺参数对变形的影响, 为今后的生产实验提供理论参考。

2 材料

选用的材料为美国 Crucible 公司生产的- 150目 Rene 95高温合金粉末, 其主要化学成分如表1所示。粉末经脱气、装套, 1050 /3h/AC 预处理后, 再经 1120 /118Pa/3h 热等静压后获得致密锭坯。

表1 Rene 95粉末高温合金的化学成分 (wt%)

Table 1 The chemical composition of P/M Rene 95 alloy (wt%)

元素	Cr	Co	Al	Ti	Nb	W	Mo	Fe	Zr	C	O	S	N	Ni
含量	12.99	7.69	3.56	2.46	3.46	3.64	3.46	0.21	0.06	0.050	0.011	0.001	0.003	余量

3 有限元模型

变形中本构关系表示为

$$\bar{\sigma} = \frac{2}{3} \bar{\epsilon} \dot{\bar{\epsilon}} \quad (1)$$

其中 $\bar{\sigma}$ 为偏应力分量, $\bar{\epsilon} = \frac{1}{2} (V_{ij} + V_{ji})$ 为应变速率分量, V_i 为速度分量, $(,)$ 表示偏微分, $\bar{\sigma}$ 和 $\bar{\epsilon}$ 分别为等

效应力和等效应变速率。

对不同应变速率下的真应力-真应变曲线 (图1) 拟合, 流动应力 $\bar{\sigma}$ 可表示为^[1]

$$\bar{\sigma} = \bar{\sigma}_s + (\bar{\sigma}_0 - \bar{\sigma}_s) e^{-\bar{\epsilon}} - \bar{\sigma}_0 e^{-\bar{\epsilon}} \quad (2)$$

其中 $\bar{\sigma}_0 = 500^{0.19}$, $\bar{\sigma}_s = 233.33^{0.25}$, $\bar{\epsilon} = 0.78^{-0.19}$, $\bar{\epsilon} = 36$ 。

采用罚函数法处理体积不变条件, 刚粘塑性泛函数表示为

$$= \int_V \bar{\sigma} dV + K \int_V \dot{\epsilon} dV - \int_{S_F} F_i v_i dS = 0 \quad (3)$$

其中, K 为罚数, 是一个很大的正数, 本文取作 10^6 , $\dot{\epsilon}$ 为体积应变速率。

对上式采用摄动法进行线性化, 采用 Newton—Rapshon 法迭代求解。

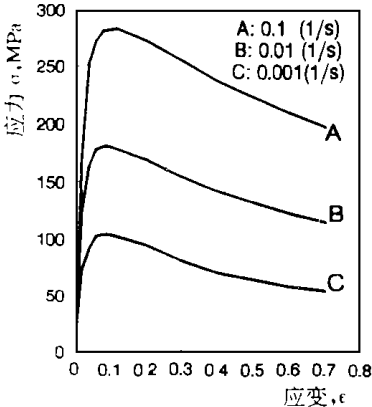


图1 As-HIPed Rene 95流动曲线

Fig. 1 True stress vs. true strain curve of As-HIPed Rene 95

动态边界条件的具体处理参见文献 [2], 接触摩擦处理选用反正切摩擦模型 [3]。

4 模拟分析与讨论

采用四边形四节点等参元, 在初始坯料 (190mm × 190mm) 子午面上划分共551个单元, 600个节点, 如图2所示 (由于对称性, 只取1/2作为分析对象)。等温锻造温度为1050℃, 限定压下量为78.95% (H= 40mm)。

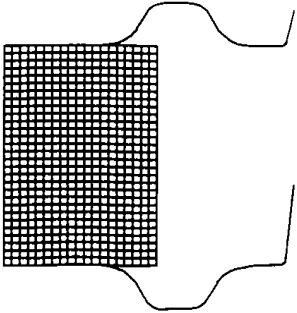


图2 初始网格及模具形状

Fig. 2 Initial FEM mesh and shape of die

为比较不同压机速度对变形的影响, 取摩擦因子 m 为0.1, 在其他条件不变的情况下, 分别取压机速度 $V_m = 1.5\text{mm/s}$, 1mm/s , 0.5mm/s 进行计算。

图3给出了摩擦因子为0.1时三种不同压下速率下的等效应变分布。可见, 在所选的压机速度范围内, 压机速度对变形的影响并不显著。

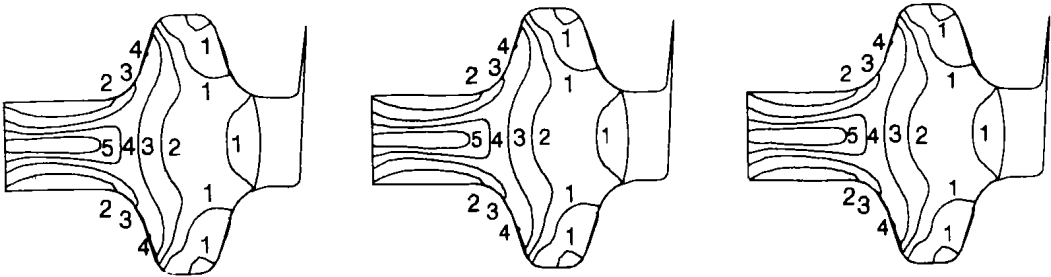


图3 不同压机速度下的等效应变分布 ($m = 0.1$)

Fig. 3 Effective strain distributions for different press velocities

- (a) $V_m = 0.5\text{mm/s}$, 1- 0.7590, 2- 1.0862, 3- 1.4135, 4- 1.7408, 5- 2.0680;
- (b) $V_m = 1.0\text{mm/s}$, 1- 0.7550, 2- 1.0770, 3- 1.3990, 4- 1.7210, 5- 2.0430;
- (c) $V_m = 1.5\text{mm/s}$, 1- 0.7570, 2- 1.0747, 3- 1.3924, 4- 1.7102, 5- 2.0279

图4为摩擦因子为0.1时四种不同压下速度下的载荷—行程曲线。可见, 压机速度越大, 所需的载荷吨位显

著增大, 这一点由图1的流动曲线也可推出。在变形开始后载荷增长迅速, 随后有一逐渐下降过程, 这是由

于材料在高温下的应变软化特性造成的,随着坯料的逐渐贴模载荷又增大,在变形后期载荷迅速增加。值得注意的是,在压下量为120~140 mm 之间有一下降,经对比变形网格图发现这是由于已贴模节点脱模造成的,取不同的坯料尺寸或不同模具形状尺寸计算表明,这一现象不一定出现。

为分析摩擦对变形的影响,选取压机速率为0.5 mm/s,在其他条件不变情况下,分别选取摩擦因子 $m = 0.13, 0.1, 0.0$ 进行计算。

图5为不同摩擦因子下的等效应变分布。由图可见,随着摩擦因子的减小,应变梯度减小,高应变值下降但高应变值的范围更广,变形更加均匀,尤其是模具转角处局部变形得以缓解,改善了变形状况,但应变分布的总体态势变化不显著。中间计算结果表明,摩擦的这种影响在变形初期即坯料与模具存在相对滑动较大时更为显著,因此,工艺上应尽可能改善润滑条件。

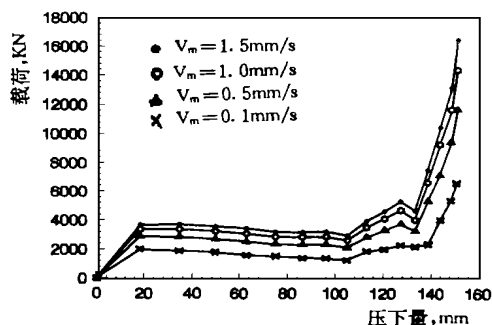


图4 不同压机速度下的载荷-行程曲线

Fig. 4 The load-displacement curve for different press velocities

压机速度、摩擦等工艺参数对应变分布的总体态势的影响并不显著表明应变分布主要取决于坯料尺寸、形状和模具构形。

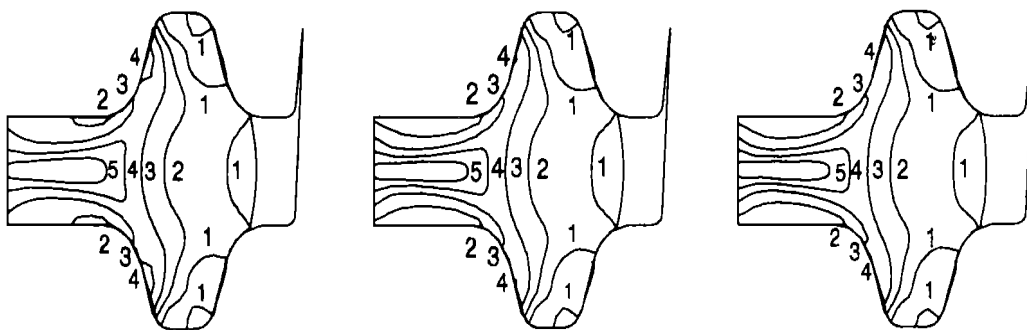


图5 不同摩擦因子下的等效应变分布 ($V_m = 0.5 \text{ mm/s}$)

Fig. 5 Effective strain distributions for different frictional factors

- (a) $m = 0.0$, 1- 0.7370, 2- 1.0340, 3- 1.3310, 4- 1.6280, 5- 1.9250;
 (b) $m = 0.1$, 1- 0.7590, 2- 1.0862, 3- 1.4135, 4- 1.7408, 5- 2.0680;
 (c) $m = 0.13$, 1- 0.7635, 2- 1.0990, 3- 1.4346, 4- 1.7701, 5- 2.1057

5 结论

在所选范围内,压机速度对 Rene 95 粉末高温合金盘件变形分布影响不大,但对载荷有很大的影响,因此在实际成形中可采用高、低变形速度组合的方法,即在变形初期坯料与模具接触面积不大时采用较高的速度,后期再采用较小的压机速度;摩擦的减小对变形的均匀性有益,工艺上应尽量改善润滑条件;计算机模拟可以方便地分析各种工艺参数对变形的影响。

参考文献

1 连建民. 粉末高温合金涡轮盘等温锻造的数值模拟和实验

研究. 北京航空材料研究所博士论文, 1989

- 2 李园春, 崔健等. TC11 钛合金盘件锻造过程的有限元模拟. 金属成形工艺, 1997, 15 (6): (已录用)
 3 S. Kobayashi, S I Oh and T Altan. Metal Forming and the Finite Element Method. Oxford University Press, Oxford, 1989

稿件收到日期: 1997. 6. 28.

李园春, 男, 1968年10月生, 博士后, 在北京航空材料研究院从事锻压工艺研究, 联系地址: 北京市81信箱20分箱(邮编100095)。