

GH3030 高温合金壁厚渐变锥形回转件强力旋压成形仿真及机理分析

束学道^{1,2}, 岑泽伟¹, 王雨¹, 李子轩¹, 朱颖¹

(1. 宁波大学 机械工程与力学学院, 浙江 宁波 315211; 2. 西北大学 机械工程系, 美国 伊利诺伊州 埃文斯顿 60208)

摘要: 为了有效控制壁厚渐变锥形旋压件的变形, 实现该类钣金机匣零件的精确成形, 通过实验方法建立了 GH3030 高温合金常温下真应力-真应变曲线方程。在此基础上, 建立了 GH3030 高温合金壁厚渐变锥形回转件强力旋压有限元模型, 采用有限元模拟和实验相结合的研究方法, 对其强力旋压成形进行仿真, 详细分析成形中的等效应力场、应变场的分布特征, 获得其分布规律, 阐明了 GH3030 高温合金壁厚渐变锥形回转件强力旋压成形机理; 并通过锥筒凸缘平面度实验测试对仿真结果进行了验证。研究结果为控制壁厚渐变锥形回转件成形质量提供理论依据。

关键词: GH3030 高温合金; 壁厚渐变; 锥形回转件; 强力旋压; 成形机理

中图分类号: TG306 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-2758(2019)04-0785-09

壁厚渐变锥形回转件作为航空发动机钣金机匣零件的一种, 多以高温合金为材料, 具有形状复杂、壁薄, 成形后的脱模会引起工件残余应力释放, 导致工件变形难以精确控制, 成形质量难以保证等问题。强力旋压通过调整旋轮与芯模之间的间隙便可实现工件壁厚的连续变化, 具有变形条件好、材料利用率高、制品范围广等优点^[1]。因此, 开展强力旋压成形壁厚渐变锥形回转件机理研究具有较大的工程意义。关于回转件强力旋压成形机理研究的研究, 近年来国内外学者主要采用有限元仿真技术开展研究。Mohebbi 和 Akbarzadeh 采用仿真与实验相结合的方法, 研究了筒形件流动旋压过程中残余应变的变化^[2]。Shan 等研究了 Ti-6Al-2Zr-Mo-1V 合金筒形件强力热反旋成形过程中微观组织结构和变形的均匀性问题^[3]。Chen 等研究了 TA15 钛合金筒形件热强旋过程中的微观组织演变规律, 探讨了壁厚减薄率对 TA15 钛合金微观组织演变的影响^[4]。杨国平等研究了强旋工艺中钛合金材料变形组织和组织演化过程, 得到了组织均匀性的分布规律^[5]。李超玲通过 ANSYS 软件对筒形件强力旋压过程的分析,

获得了强力旋压稳定状态下应力应变的分布规律^[6]。李虎等利用 ABAQUS 软件, 分析了 TA15 钛合金薄壁壳体热旋过程中温度场、应力场、应变场和壁厚的分布^[7]。詹梅等以 ABAQUS 仿真软件为平台, 分析了 2 种模型在贴膜性、径向应力应变等方面的差异^[8]。杨合等采用数值模拟和实验相结合的方法, 建立了复杂薄壁壳体复合旋压全过程仿真平台与模型, 对不同条件下其复合旋压及其特征结构旋压过程中的塑性变形行为和成形缺陷的产生机理进行了深入研究^[9]。王大力等采用错距旋压法加工 GH4169 镍基高温合金筒形件, 探索了错距流动旋压的工艺参数对工件尺寸精度的影响^[10]。

综上所述, 高温合金 GH3030 属于难变形材料, 成形时金属材料极易产生硬化现象, 对加工设备和加工工艺要求较高; 壁厚渐变锥形回转件壁薄, 壁厚在渐变过程中金属流动约束不均而造成不均匀变形, 成形中材料流动情况更加复杂, 难以实现精确成形。为了控制高温合金壁厚渐变薄壁锥形机匣零件在强力旋压过程中的变形, 提高其成形质量, 本文采用通过在一定范围内减小旋轮进给速度的方法, 以

收稿日期: 2018-07-17 **基金项目:** 宁波大学王宽诚教育基金、浙江省自然科学基金(LZ17E050001)与国家自然科学基金(51475247)资助。

作者简介: 束学道(1968—), 宁波大学教授、博士生导师, 主要从事零件轧制成形技术与装备研究。

减小旋轮作用处金属的等效力,减小成形区产生破裂的可能性,对 GH3030 高温合金壁厚渐变锥形回转件强力旋压成形机理进行研究;实验中在原有机床上增加辅助电机从而增加机床功率以解决材料硬化导致的机床旋压力不足的难题,研究结果为控制壁厚渐变锥形回转件成形质量提供理论依据。

1 真应力-真应变曲线方程的确立

真应力-真应变曲线是材料应力与应变关系的真正反映,是材料成形过程中应变硬化行为的直观反映,对于材料的有限元仿真来说是不可或缺的重要数据。本文通过万能试验机,对常温下的 GH3030 高温合金试样进行拉伸试验,得到了载荷-位移曲线,如图 1 所示。

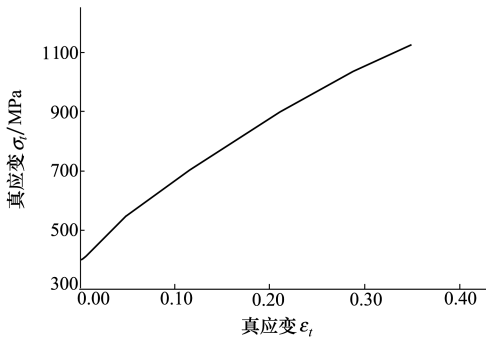


图 1 GH3030 高温合金常温下的真应力-真应变曲线

表 1 GH3030 高温合金各化学成分质量分数

C	S	Si	Mn	P	Cr	Fe	Al	Ti	Ni
0.057	0.002	0.368	0.392	0.010	19.890	0.441	0.040	0.194	余量

将上述信息导入 SIMUFACT.FORMING 有限元软件前处理中,得到 GH3030 高温合金壁厚渐变锥形回转件强力旋压成形的有限元模型如图 2 所示。

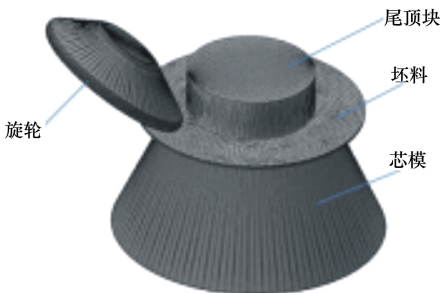


图 2 GH3030 高温合金壁厚渐变锥形回转件强力旋压成形有限元模型

根据已提出的材料真应力-真应变曲线方程^[11]

$$\sigma_t = B(\epsilon_0 + \epsilon_t)^n \tag{1}$$

式中, B 及 ϵ_0 是待定的材料系数。

利用 ORIGIN 软件中的拟合工具,按公式(1)拟合,得到 GH3030 高温合金常温下的真应力-真应变曲线方程为

$$\sigma_t = 1\ 863.133\ 4(0.066\ 5 + \epsilon_t)^{0.569\ 8} \tag{2}$$

GH3030 常温下真应力-真应变曲线在 SIMUFACT 中建立冷旋成形的材料本构方程,通过所建立的仿真模型可对产品的成形质量及缺陷进行分析研究和预测。

2 有限元模型的建立

本旋压模型由旋轮、尾顶块、坯料、芯模四部分组成,建模时旋轮、芯模、尾顶块视为刚体,旋轮与坯料之间的摩擦视为剪切摩擦,摩擦因数设置为 0.12^[12]。坯料、模具和环境之间没有考虑热交换,模具温度、坯料温度以及环境温度均设置为 25℃。GH3030 高温合金材料的杨氏模量为 191 GPa、泊松比为 0.3,密度为 8 400 kg/m³,材料的化学成分由红外碳硫分析仪、等离子体光谱仪、滴定管等仪器测定,结果如表 1 所示。模拟参数为芯模转速 n 为 300 r/min,旋轮进给量 f 为 0.6 mm/r,旋轮圆角半径 R_n 为 6 mm,旋轮安装角 ϕ 为 42°。

3 成形过程仿真

为便于分析,将工件划分为 5 个区域,如图 3 所示。I 区为工件顶部平板区,II 区为小端过渡圆角区,III 区为锥筒区,IV 区为大端过渡圆角区,V 区为凸缘区。

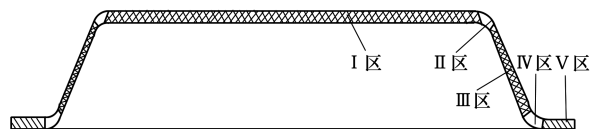


图 3 零件分区示意图

图4反映各成形阶段工件内、外表面等效弹性应变分布,随着旋轮按照设定轨迹的运行,工件不断被旋压成形,当旋轮到达轨迹的终点,工件内表面与芯模贴合,完成工件的旋压成形。工件上的等效弹

性应变沿轴向分层分布,沿周向分布较为均匀;越靠近旋轮作用区,等效弹性应变越大,最大等效弹性应变位于与旋轮直接接触的位置;最小等效弹性应变位于尾顶块作用区。

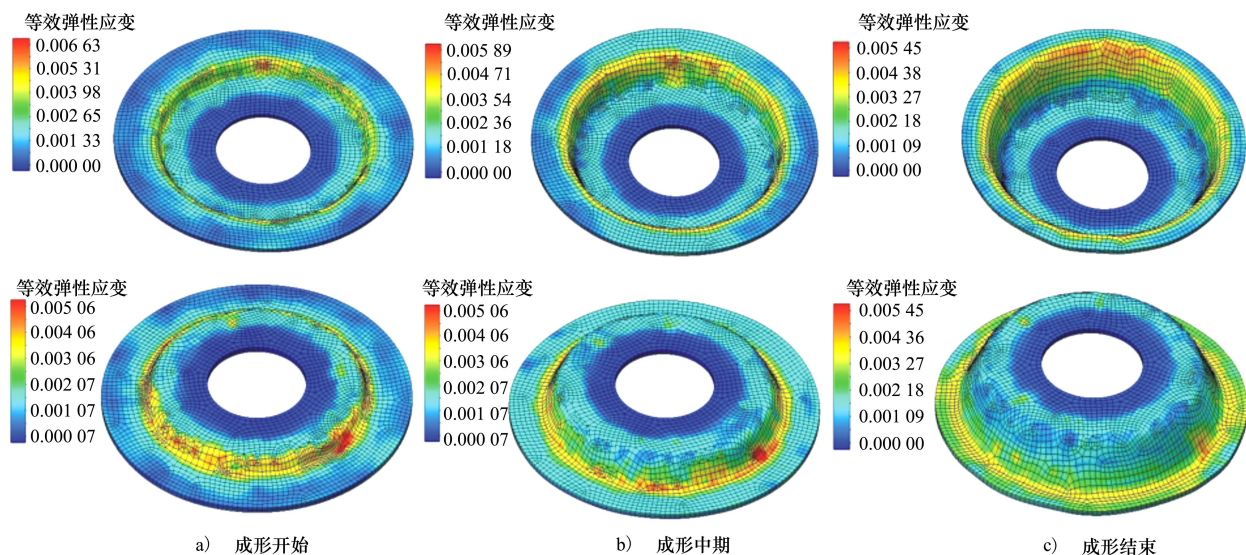


图4 各成形阶段工件内、外表面等效弹性应变分布

I区尾顶块作用区的内、外表面等效弹性应变在整个成形过程中过程中几乎为零,I区中非尾顶块作用区内、外表面的等效弹性应变均较小,分布较为均匀,整个成形过程中的变化量也较小。在成形初期,II区上的等效弹性应变较大,在成形中后期,等效弹性应变值有减小的趋势,成形结束时其等效弹性应变值很小。III区上锥筒内、外壁等效弹性应变沿轴向从小端到大端基本呈上升趋势,沿旋轮进给方向,锥筒内、外壁承受旋轮的压力越来越大,因而其产生的弹性变形也逐渐增大。IV区内、外表面的等效弹性应变在成形过程中变化不大,与旋轮直接接触部位的等效弹性应变最大,而且最大等效弹性应变在成形过程中有减小趋势,在成形结束时,最大等效弹性应变与其他位置的等效弹性应变相差较小。V区内、外表面的等效弹性应变在成形过程中有逐渐增大的趋势,在成形初期,凸缘上远离旋轮的区域,其等效弹性应变较小,凸缘上靠近旋轮的区域,其等效弹性应变相对较大,在成形结束时,凸缘表面积较小,旋轮对其影响作用较大,因而该区各处等效弹性应变均较大。

4 成形机理分析

4.1 等效应力分布特征

图5为成形中期与结束阶段工件内、外表面的等效应力分布图,工件内、外表面的等效应力沿零件轴向分层分布,沿周向分布较为均匀;越靠近旋轮作用区,等效应力越大,最大等效应力位于与旋轮直接接触的位置;越靠近尾顶块作用区,等效应力越小,最小等效应力位于尾顶块作用区。

在整个成形过程中,I区上尾顶块作用部位的等效应力几乎为零,这说明旋压成形过程中该区域没有发生变形;非尾顶块作用部位的等效应力变化较小。II区的等效应力呈逐渐减小趋势,到成形结束时,等效应力值处于较低水平。

III区等效应力沿周向分布较为均匀,沿轴向分布情况不易判断,为此采取如下方法:在锥形筒身处沿轴向等距指定15个垂直于工件轴向的截面,每个截面与锥形筒身的内、外壁各相交于一圆,分别称为内壁圆和外壁圆。在内壁圆和外壁圆上分别均匀选取36个采样点,求出36个采样点的等效应力平均

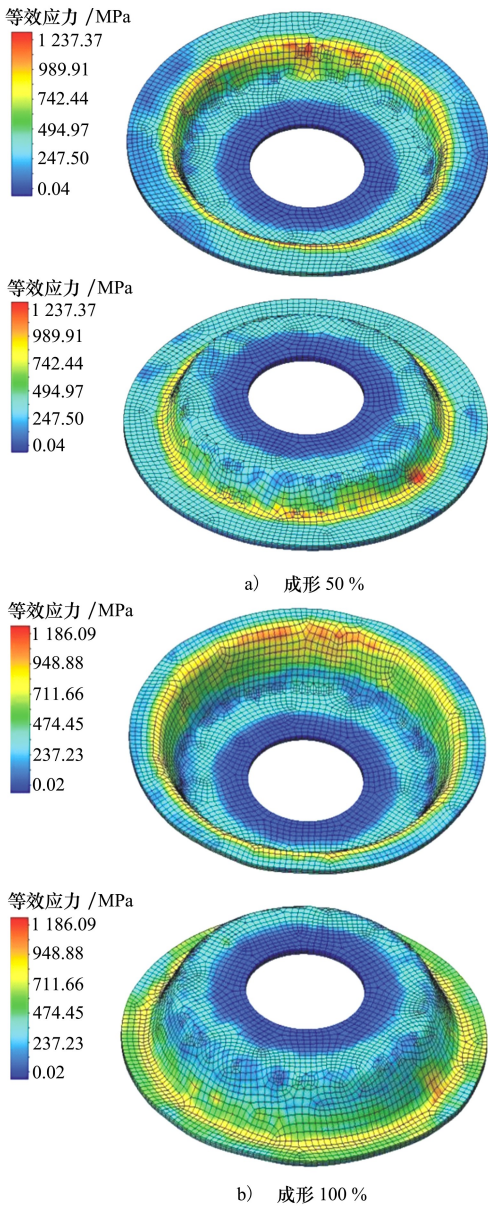


图 5 各成形阶段工件内、外表面等效应力分布

值,然后通过 15 个(内)外壁圆上的等效应力平均值的分布规律判断锥筒(内)外壁等效应力沿轴向的分布特征。

按上述方法得到了 15 个(内)外壁圆上的平均等效应力分布规律,如图 6 所示。可知,锥筒内、外壁的等效应力沿零件轴向从小端到大端总体上呈上升趋势,小端与大端之间的等效应力差较大。锥筒小端靠近尾顶块作用区远离旋轮作用区,尾顶块对其所起的影响作用是主要的,所以其等效应力值较小;锥形大端远离尾顶块作用区靠近旋轮作用区,旋轮对其所起的影响作用是主要的,所以其等效应力

较大。此外,在锥筒小端附近区域,外壁等效应力大于内壁等效应力;在锥筒其他区域,外壁等效应力小于内壁等效应力。这是因为锥形小端附近区域的壁厚减薄率过大,导致该部位的外表面受到较大的拉应力,而锥筒其他区域的壁厚减薄量相对减小,其外表面所受的拉应力相应减小。

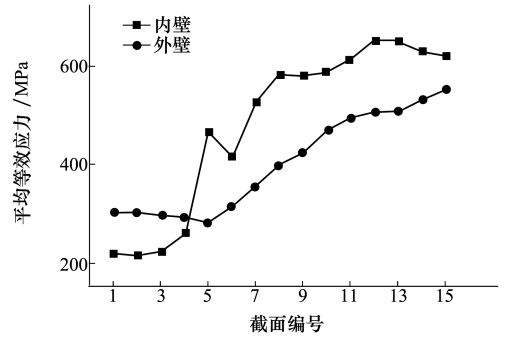


图 6 成形结束时内、外壁平均等效应力沿轴向的分布

IV区属于旋轮作用区。该区的等效应力在整个成形过程中都维持在较高水平,尤其是与旋轮直接接触的部位,等效应力最大。当工件成形到 100 % 时,与旋轮直接接触部位的等效应力和非旋轮接触部位相差很小。V区中远离旋轮作用区部位的等效应力很小,而靠近旋轮作用区部位的等效应力较大,随着成形的进行,凸缘各处等效应力逐渐增大。

综上所述,应力在渐变的壁厚中流动是有梯度的,主要是由于壁厚在渐变过程中金属流动约束不均而造成不均匀,在各成形阶段中,工件内、外表面的等效应力沿零件轴向分层分布;越靠近旋轮作用区,等效应力越大,最大等效应力位于与旋轮直接接触的位置;越靠近尾顶块作用区,等效应力越小,最小等效应力位于尾顶块作用区。即应力在渐变壁厚工件中呈梯度分布是由工件受到尾顶块、旋轮和芯模的共同作用所决定,过大的应力最容易使工件壁厚减薄量最大的部位产生破裂。

4.2 等效塑性应变分布特征

工件成形中间阶段和结束阶段的等效塑性应变分布如图 7 所示,工件内、外表面的等效塑性应变沿轴向分层分布,沿周向均匀分布;最小等效塑性应变位于工件的顶部平板区和凸缘区;最大等效塑性应变位于锥筒小端的外表面。

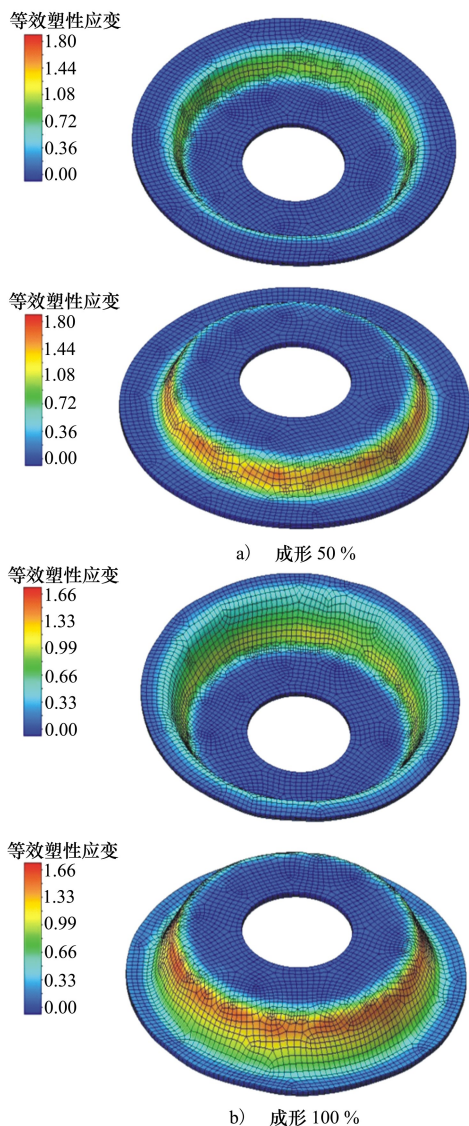


图 7 各成形阶段工件内、外表面等效塑性应变分布

在各成形阶段中,在整个成形过程中,Ⅰ区的等效塑性应变几乎为零,因为在成形过程中,Ⅰ区被尾顶块顶紧,该区的材料没有随旋轮的作用而产生塑性流动。Ⅱ区是毛坯上最早产生变形的区域。在过渡圆角成形完成开始到整个工件成形结束期间,该区内、外表面的等效塑性应变基本保持不变,这说明过渡圆角成形完成以后,该区域的材料没有发生塑性流动。

为了准确判断Ⅲ区的等效塑性应变分布特征,沿用探究Ⅲ区等效应力沿轴向分布规律所采用的方法。成形结束时锥筒等效塑性应变沿零件轴向的分布规律如图 8 所示。可见,锥筒内、外壁等效塑性应

变沿轴向从小端到大端均呈现先增大后递减的规律。锥筒小端头部偏下位置属于壁厚减薄较大的区域,最大等效塑性应变位于该区域。从壁厚减薄较大区域到锥筒大端,壁厚减薄量逐渐减少,沿旋轮进给方向流动的金属体积逐渐减少,所以其等效塑性应变逐渐减小。

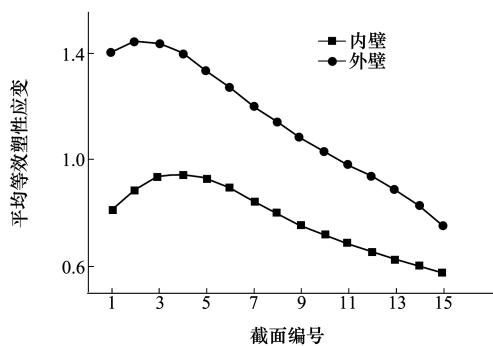


图 8 成形结束时内、外壁平均等效塑性应变沿轴向的分布

Ⅲ区外壁与内壁等效塑性应变的差值沿工件轴向从小端到大端逐渐减小,如图 9 所示。这是因为沿工件轴向从小端到大端,工件的壁厚逐渐增大,即壁厚减薄量逐渐减少,而壁厚减薄量越小,则外壁金属沿旋轮进给方向的流动速度减慢,导致外壁金属与内壁金属的流动速度差越来越小。

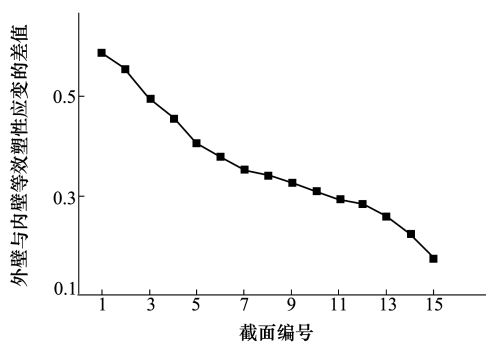


图 9 外壁与内壁等效塑性应变之差沿轴向的分布

在成形中后期,Ⅳ区的位置逐渐远离壁厚最大减薄区,该区内、外表面各个位置的等效塑性应变值变化较小。Ⅴ区是一个动态变化区,在整个成形过程中,凸缘区域各个位置的等效塑性应变均很小,说明凸缘区的塑性变形量很小,这是因为凸缘一直处于自由状态,不受模具的约束作用。

4.3 材料的塑性流动规律

为探究成形过程中毛坯金属材料的流动规律,采用如下研究方案:过坯料中心轴做一个平面与坯料正反面分别相交于线段 L_1, L'_1, L_2 和 L'_2 ;然后在每条线段上等距选取 30 个采样点,从内到外分别标记为 1~30,如图 10 所示;对已标记好采样点的平板坯料进行仿真成形,并分析成形过程中各采样点空间位置的变化情况。

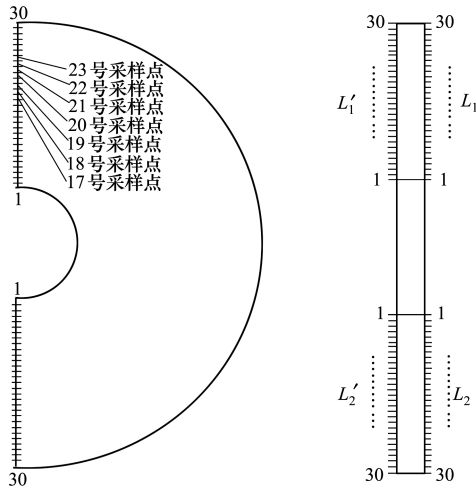


图 10 研究材料流动规律的采样点布局方案

成形结束后,工件上的采样点分布情况如图 11 所示。由图可知,原先在毛坯上标记的 4 条线段均变为工件的截面轮廓曲线。

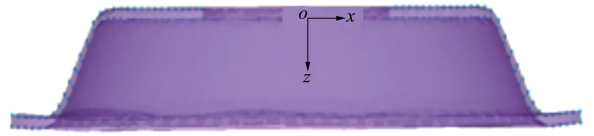


图 11 成形结束时工件各采样点分布

在整个成形过程中,Ⅲ区最能反映整个毛坯的塑性流动特征,因此本文仅对Ⅲ区的金属塑性流动性规律进行阐述。工件成形结束时,Ⅲ区包含了编号为 17~23 之间的采样点。Ⅲ区内、外表面的采样点在整个成形过程中的空间位置变化情况如图 12 所示。

由图 12a)、12c)可知,锥筒内、外壁上的各个部位在成形过程中经历 3 个阶段:第 1 阶段为待成形阶段,处于该阶段的金属还没有进入旋轮作用区,仍处于凸缘区,该阶段与图中的近似斜直线相对应;第 2 阶段为成形阶段,处于该阶段的金属进入旋轮作用区参与剧烈变形,该阶段与图中的弧线相对应;第 3 阶段为已成形阶段,处于该阶段的金属脱离旋轮的作用,该阶段与图中的水平线相对应。图中的曲线存在锯齿形波动特征,这是因为工件在成形过程中时刻存在弹性变形行为,从而导致采样点沿工件轴向的位置产生微小波动。

由图 12b)、12d)可知,处于待成形阶段的金属,其径向距离几乎不发生变化;处于成形阶段的金属,其径向距离会逐渐减小;处于已成形阶段的金属,其径向距离没有发生变化。

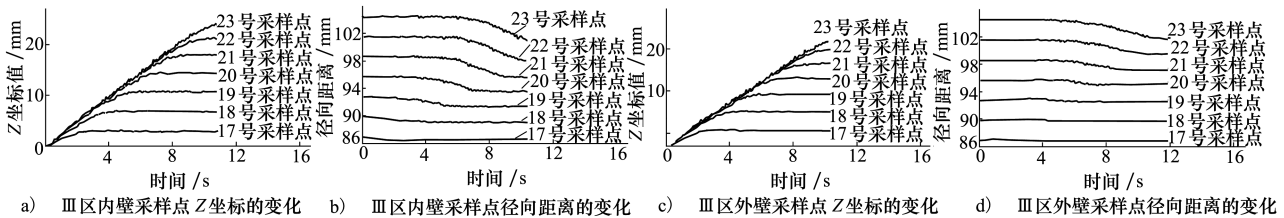


图 12 Ⅲ区内、外壁采样点在成形过程中的位置变化

5 实验与仿真的对比分析

上述关于 GH3030 高温合金壁厚渐变锥形回转件强力旋压成形机理的分析仅停留在有限元仿真分析,还需要实验进行验证。由于难以采用旋压实验完全、直接验证成形机理分析的正确性,因此本文仅

通过容易分析观察的工件凸缘平面度误差指标对其进行部分、间接的验证。图 13 所示为旋压实验过程。为了尽可能降低实验成本,减少旋压实验的组数,本文仅对优化试验方案进行旋压实验(4 组),这不仅可以对分析仿真结果和实验结果,以验证仿真结果的可靠性,而且可以对 4 组旋压实验进行相互对比分析,以验证优化试验方案的可靠性。实验

件的编号同实验编号保持一致,具体实验方案如表 2 所示。

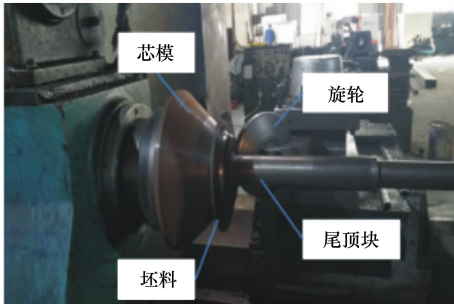


图 13 旋压实验过程

表 2 旋压实验方案

实验 编号	工艺参数			
	$n/(r \cdot \text{min}^{-1})$	$f/(\text{mm} \cdot \text{r}^{-1})$	$\phi/(\text{°})$	R_n/mm
1	395	0.4	42	4
2	300	0.55	40	12
3	180	0.6	42	4
4	180	0.2	42	12

NO.1、NO.4 实验件及其对应的仿真模拟件如图 14 所示,通过观察可以得到定性的结论:NO.4 实验件的凸缘平直度明显优于 NO.1 实验件,NO.4 仿真模拟件的凸缘平直度也明显优于 NO.1 仿真模拟件,即实验结果与仿真结果相符。

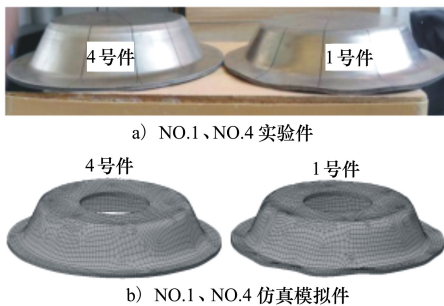


图 14 凸缘平直度的实验结果与仿真结果

为了得到定量的结论,需对成形零件的凸缘进行打点标记,并通过三坐标测量仪获得标记点的坐标值,然后将其代入平面度误差公式以获得工件凸缘的平面度误差,如图 15 所示为工件凸缘处标记点分布及其三坐标测量过程。

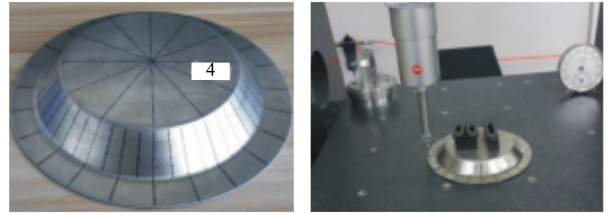


图 15 工件凸缘标记点分布及其三坐标测量

凸缘平面度误差的实验结果和仿真结果如图 16 所示,当芯模转数为 180 r/min,旋轮进给量为 0.2 mm/r,旋轮安装角为 42°,旋轮圆角半径为 12 mm 时,工件凸缘度误差实验结果和仿真结果最小。凸缘平面度误差的实验结果与仿真最大相对偏差约为 19%,其原因在于凸缘平面度误差值本身较小,而且测量误差以及仿真与实验之间的误差对其影响较大。但其变化趋势较为接近,仿真结果与实验结果较为吻合。

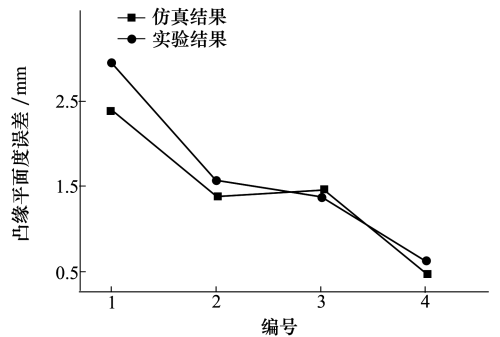


图 16 凸缘平面度误差实验结果与仿真结果的对比

6 结 论

1) 在成形过程中,工件上越靠近尾顶块的区域,其等效应力越小,越靠近旋轮的区域,其等效应力越大;锥筒小端区域附近,其外壁等效应力大于内壁等效应力,锥筒上远离小端区域的部位,其外壁等效应力小于内壁等效应力。

2) 工件上的等效塑性应变沿轴向分层分布,沿周向分布较为均匀;工件上与尾顶块接触的部位,其等效塑性应变为零;锥筒上壁厚减薄量越大的部位,其等效塑性应变越大;锥筒外壁等效塑性应变大于内壁等效塑性应变,而且两者的差值沿工件轴向从小端到大端逐渐减小;凸缘区域的等效塑性应变

很小。

3) 在整个成形过程中,工件上已成形区域的金属不再产生塑性流动;待成形区域的金属沿工件轴向匀速移动;成形区域的金属沿工件径向的塑性流动呈收缩趋势,沿工件轴向的塑性流动速度随成形的进行逐渐减小。

4) 凸缘平面度误差测量值与仿真变化趋势一

致,误差在 20% 以内,进一步验证了本文模型是可靠性的。本文研究结果为优化工艺参数减少成形过程中应力分布不均、保证工件成形变形均匀性、合理设计与控制旋轮轨迹减小回弹、实现变壁厚件旋压精确成形、提高高温合金 GH3030 冷旋成形质量提供技术参考。

参考文献:

- [1] 王成和,刘克璋,周路. 旋压技术[M]. 福州: 福建科学技术出版社, 2017
WANG Chenghe, LIU Kezhang, ZHOU Lu. Spinning Technology[M]. Fuzhou, Fujian Science and Technology Press, 2017 (in Chinese)
- [2] MOBEBBI M S, AKBARZADEH A. Experimental Study and FEM Analysis of Redundant Strains in Flow Forming of Tubes[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2010, 210(2): 389-395
- [3] SHAN D, YANG G, XU W. Deformation History and the Resultant Microstructure and Texture in Backward Tube Spinning of Ti-6Al-2Zr-1Mo-1V[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2009, 209(17): 5713-5719
- [4] CHEN Y, XU W, SHAN D, et al. Microstructure Evolution of TA15 Titanium Alloy during Hot Power Spinning[J]. Trans of Nonferrous Metals Society of China, 2011, 21: 323-328
- [5] 杨国平, 徐文臣, 陈宇, 等. BT20 钛合金筒形件旋压组织和择优取向研究[J]. 材料科学与工艺, 2009, 17(4): 467-473
YANG Guoping, XU Wenchen, CHEN Yu, et al. Study of the Spinning Structure and Selection of Superior Orientation of BT20 Titanium Alloy Tubular Parts[J]. Materials Science and Technology, 2009, 17(4): 467-473 (in Chinese)
- [6] 李超玲. 筒形件强力旋压过程的有限元数值模拟[D]. 西安: 西北工业大学, 2004
LI Chaoling. Finite Element Numerical Simulation of the Strong Spinning Process of Cylindrical Parts[D]. Xi'an, Northwestern Polytechnical University, 2004 (in Chinese)
- [7] 李虎, 詹梅, 杨合, 等. 钛合金薄壁壳体强旋热力耦合有限云分析[J]. 机械工程学报, 2008, 44(6): 187-193
LI Hu, ZHAN Mei, YANG He, et al. Finite Cloud Analysis of Strong Rotational Thermodynamic Coupling of Titanium Alloy Thin-Walled Shells[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2008, 44(6): 187-193 (in Chinese)
- [8] 詹梅, 马上官. 筒形件旋压有限元分析中芯模和旋轮相对运动的处理方法[J]. 精密成形工程, 2011, 3(6): 107-111
ZHAN Mei, MA Shanguan. Processing Method of Relative Motion of Core Mould and Rotating Wheel in Finite Element Analysis of Rotary Pressure of Cylindrical Parts[J]. Precision Forming Engineering, 2011, 3(6): 107-111 (in Chinese)
- [9] 杨合, 詹梅, 李甜, 等. 铝合金大型复杂薄壁壳体旋压研究进展[J]. 中国有色金属学报, 2011, 21(10): 2534-2550
YANG He, ZHAN Mei, LI Tian, et al. Research Progress in Spin Pressure of Large Complex Thin-Walled Aluminum Alloy Shells[J]. China Journal of Nonferrous Metals, 2011, 21(10): 2534-2550 (in Chinese)
- [10] 王大力, 郭亚明, 王宇, 等. 镍基高温合金筒形件毛坯错距旋压工艺研究[J]. 新技术新工艺, 2016(2): 12-15
WANG Dali, GUO Yaming, WANG Yu, et al. Study of Staggered Spinning Technology of Nickel Base High Temperature Alloy Tubular Parts[J]. New Technology and New Techniques, 2016(2): 12-15 (in Chinese)
- [11] 李玉兰. 真应力-应变的定义及其力学特征[J]. 重庆大学学报, 2001, 24(3): 58-60
LI Yulan. Definition of True Stress-Strain and Its Mechanical Characteristics[J]. Journal of Chongqing University, 2001, 24(3): 58-60 (in Chinese)
- [12] 詹梅, 石丰, 邓强, 等. 铝合金波纹管无芯模缩径旋压成形机理与规律[J]. 塑性工程学报, 2014, 21(2): 108-115
ZHAN Mei, SHI Feng, DENG Qiang, et al. Mechanism and Rule of Aluminum Alloy Corrugated Pipe with no Core Die Shrinkage[J]. Journal of Plastic Engineering, 2014, 21(2): 108-115 (in Chinese)

Exploring Strong Spinning Formation Mechanisms of GH3030 Superalloy Tapered Rotary Part with Wall Thickness Gradient

SHU Xuedao^{1,2}, CEN Zewei¹, WANG Yu¹, LI Zixuan¹, ZHU Ying¹

(1.School of Mechanical Engineering and Mechanics, Ningbo University, Ningbo 315211, China;)
(2.Department of Mechanical Engineering, Northwestern University, Evanston, Illinois 60208, USA)

Abstract: In order to effectively control the deformation of tapered spinning parts with gradually changing wall thickness, the precise forming of such sheet metal casing parts can be realized. This paper uses experiments to establish the true stress-strain curve equations of GH3030 superalloy at normal temperature. Based on the equations, it establishes the finite element model of the strong spinning forming of a GH3030 superalloy tapered rotary part with wall thickness gradient. The equivalent stress field for the strong spinning forming is used to combine the finite element simulation with experiments. The strong spinning forming is simulated, and the distribution characteristics of the equivalent stress field and the equivalent strain field for the strong spinning forming are analyzed in some detail, and their distribution law is obtained. The strong spinning forming mechanisms for the GH3030 superalloy tapered rotary part with wall thickness gradient is clarified. The experimental and simulation results are verified with the conical flange plane degree.

Keywords: GH3030 superalloy; wall thickness gradient; tapered rotary part; strong spinning forming mechanism