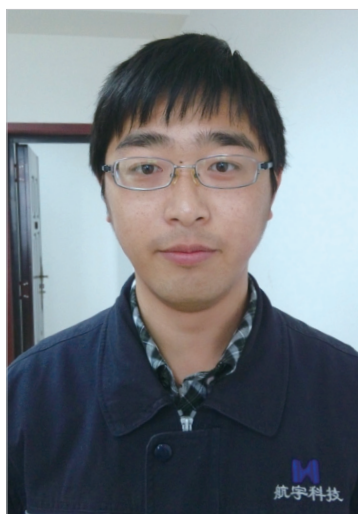


GH4169合金超大异形环件 制造工艺研究

Manufacturing Technology for Large Contour Ring of GH4169 Alloy

贵州航宇科技发展股份有限公司 罗鸿飞 刘有云 宋捷 杨家典 孙传华 吴永安



罗鸿飞

贵州航宇科技发展股份有限公司
技术主管,从事环形锻件制造及研究工作。

GH4169合金是以体心四方的 γ'' 和面心立方的 γ' 相沉淀强化的镍基高温合金,在 $-253\sim 700\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内具有良好的综合性能,650 $^{\circ}\text{C}$ 以下的屈服强度居变形高温合金之首,并具有良好的抗疲劳、抗辐射、抗氧化、耐腐蚀性能,以及良好的加工、焊接性能和长期组织稳定性,能够制造各种形状复杂的零部件,可制成盘、环、叶片、轴、紧固件和弹性元件、板材结构件、机匣等零部件在航空上长期使用。该合金的另一特点是合金的组

此次研制的机匣锻件采用异形整体轧制技术,直接将整个机匣进行整体成型,不仅节约大量材料,降低加工成本,最重要是不用分段生产再进行焊接,提高了机匣的均匀性及整体性能水平。

织对热加工工艺特别敏感^[1]。不同的加工工艺可获得不同性能的合金制件,这为获得不同要求的零件提供了可能,也给成形工艺提出了较高的要求^[2]。

飞机发动机机匣类锻件,所用材料一般为GH4169等难变形合金材料,且锻件较大、高度较高,受工艺水平和设备能力的限制,传统的生产方法是将整个机匣分段制造后再焊接组装,不仅浪费大量珍贵材料,增加机加工时,还破坏了锻件的完整性,面临焊接变形和焊接处的性能下降等系列问题,影响航空发动机的研制和生产。为摆脱上述不利情况,此次研制的机匣锻件采用异形整体轧制技术,直接将整个机匣进行整体成型,不仅节约大量材料,降低加工成本,最重要是不用分段生产再进行焊接,提高了机匣的均匀性及整体性能

水平。

锻件情况

锻件材料为GH4169合金,该合金变形抗力大,流动性较差,给锻件成形带来困难。另外,该合金对变形程度和变形温度较敏感,控制不当容易造成锻件组织及性能不达标。

粗加工锻件外形尺寸见图1,锻件重量为4675kg。在此之前,国内还未生产过重量接近5t的GH4169合金异形环件。

成形工艺分析

1 技术难点

(1)该锻件需用棒材规格为 $\phi 750\text{mm}$,在国内是首次使用如此大规格的棒材生产锻件。大规格棒材的组织很难做到细小均匀,需要后期的锻造给予充分的变形,使锻件的组

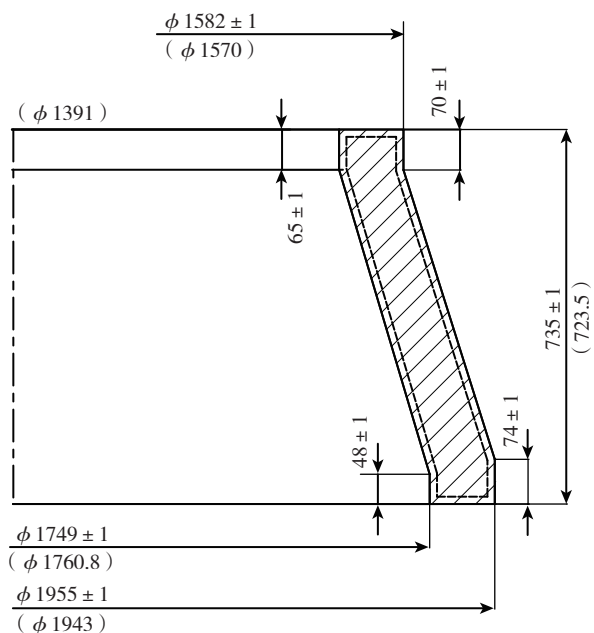


图1 粗加工锻件图

织趋于均匀细小。

(2) 锻件为碗状异形环件, 锻件斜度较大, 其大头和小头尺寸相差较大, 内径大小头相差 370mm, 外径大小头相差 350mm, 高度达 765mm, 成形困难。

(3) 经研究分析, 轧制碗状异形锻件, 需要制备带锥度的异形毛坯。异形毛坯的锻造难度较大, 锻造时毛坯尺寸不易控制, 造成异形毛坯斜度与要求不符、圆角过大、壁厚差较大等问题, 而这些问题会对后期的轧制成形产生影响, 导致锻件尺寸不合

格。所以, 能否制出形状规整, 壁厚均匀的异形毛坯是一个关键。

(4) 为保证锻件组织性能满足要求, 需保证锻件轧制时有足够变形量, 要准确计算异形毛坯的形状和尺寸, 防止轧制时变形不均或变形不足。

2 成形方法分析

该机匣锻件为碗状异形环件, 为保证锻件变形均匀一致, 提高锻件的综合性能, 选择采用异形制坯加整体异形轧制成形技术。使用整体异形轧制技术,

不仅提高产品的尺寸精度, 还能提高锻件各部位变形的一致性, 降低各部位间变形、温度、应力等的差异。为了更准确地把握锻件在成形过程中温度及变形的情况, 采用计算机数值模拟技术对锻件成形过程进行分析, 根据模拟结果对工艺方案进行修正。

该锻件材料为 GH4169 合金, 材料变形抗力大, 对轧制设备吨位要求较大。通过计算机数值模拟计算得出锻件制坯所需最大压力约为 5950t, 轧制所需最大压力约为 685t。根据计算模拟结果, 选

择在 6300t 液压机上进行制坯, 在 DK53K-700/600-4500/1000 环轧机上进行整体异形轧制。

为保证轧制出理想的锻件形状及尺寸, 其中一项关键因素是异形毛坯的形状和尺寸设计是否合理。设计时, 首先按一定变形量反算异形毛坯的形状和尺寸, 再用数值模拟验证所计算出的异形毛坯是否满足轧制需要, 根据模拟结果和实际生产能力修正异形毛坯设计结果。

在制备异形毛坯时, 坯料冲孔后进行马架扩孔, 制出带一定角度的毛坯, 再用冲头进行胀形, 使毛坯斜度接近锻件斜度, 并圆整毛坯。制坯过程中需控制好毛坯的椭圆度及壁厚差, 在生产操作时加强过程控制。

锻件锻粗、冲孔的数值模拟结果见图 2 和图 3。

从图 2 中可以看出, 锻粗完成后鼓肚较小, 心部温度最高, 锻件上下表面因与锤砧接触而迅速降温。因此, 在生产前工装需预热至 250~300℃, 锻造过程中应尽可能减少转移时间, 锻粗过程中上下端面垫保温棉, 减少锻件与砧面的接触, 减少上下端面的温降。从图 3 中可以看出, 冲孔后心部的温度有所降低, 上下表面的温度有所回升, 仅在端面因与冲头接触导致在内径位置温度偏低, 因此制坯前应对冲头进行充分

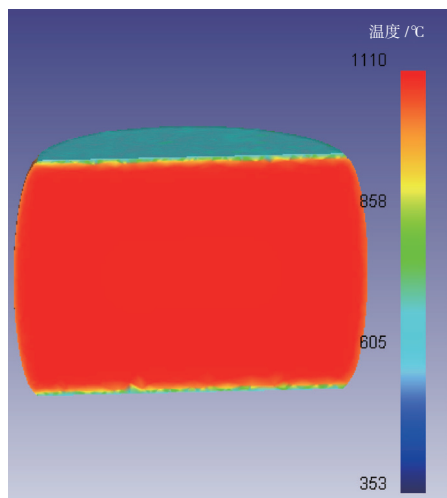


图2 锻件锻粗后温度分布情况

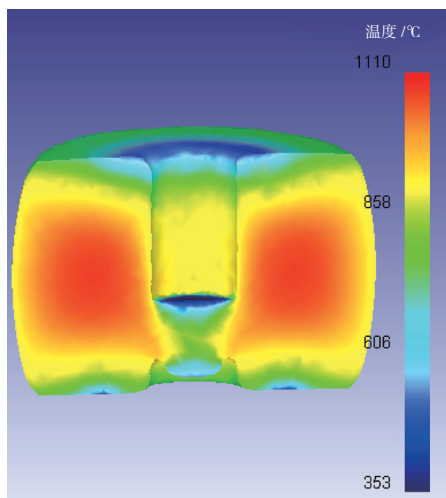


图3 锻件冲孔后温度分布情况

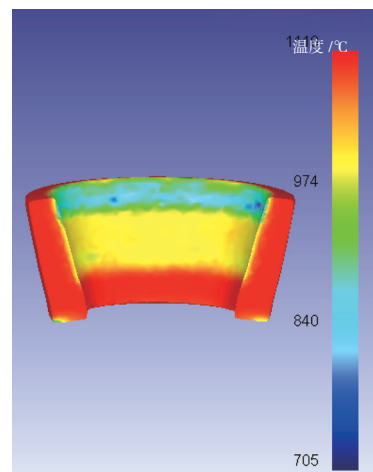


图4 锻件马架扩孔并使用冲头胀形后温度分布情况

预热,减小端面内径处的温降。

锻件马架扩孔并使用冲头胀形后的数值模拟结果见图4。

锻件马架扩孔并使用冲头胀形后,锻件内径表面的温度因与冲头接触而下降,因此制坯前应对胀形冲头进行充分预热,减小内径表面的温降。从图中4还可以看出,锻件大头因内外径变大,导致壁厚减薄,且锻件高度会因与冲头的摩擦力被拉低。所以在胀形时要考虑到此因素,保证制备的异形毛坯满足轧制要求。

锻件异形整体轧制成形后的数值模拟结果见图5。

从图5中可以看出,锻件轧制完成后,锻件的温度在900℃左右,除小头外径转角处温度较高外,其余温度场的分布都较为均匀;模拟结果显示使用异形毛坯进行异形整体轧制的锻件,充填效果较好,外形尺寸满足锻件要求。

3 锻件工艺方案设计

锻件成型的主要工艺路线为:下料→加热→锻粗→冲孔→加热→

马架扩孔→加热→冲头胀形→加热→异形轧制。工序示意图见图6。

第一步:锻粗、冲孔。锻件锻粗时,需控制锻粗的变形速度,避免变形过快导致锻件心部变形热累积而使温度升高,造成过热或过烧。锻粗时保证坯料两头鼓肚基本一致。锻件冲孔时,需注意对中,防止冲偏造成锻件壁厚不均。

第二步:马架扩孔。马架扩孔时,要利用坯料的鼓肚,将鼓肚大的一端作为锻件大头。马架过程中,需控制压下量和锻件转动量,避免出现锻件壁厚差较大、形状不规则问题。

第三步:冲头胀形。采用马架制

出的异形毛坯,坯料斜度较小,还需使用冲头进一步进行胀形,使异形毛坯角度接近锻件角度。

第四步:异形整体轧制成形。为保证锻件性能,锻件终轧时需有一定变形量,设定锻件终轧的变形量为30%。

锻件试制

1 试制主要设备

根据数值模拟计算结果,选择6300t液压机进行制坯,选择DK53K-700/600-4500/1000环轧机($\phi 4500\text{mm}$ 环轧机,最大轧制高度1000m,径轴双向轧制力700t)进行

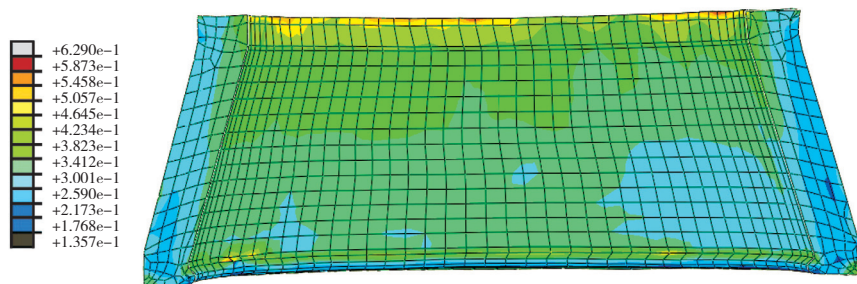


图5 锻件异形整体轧制后情况

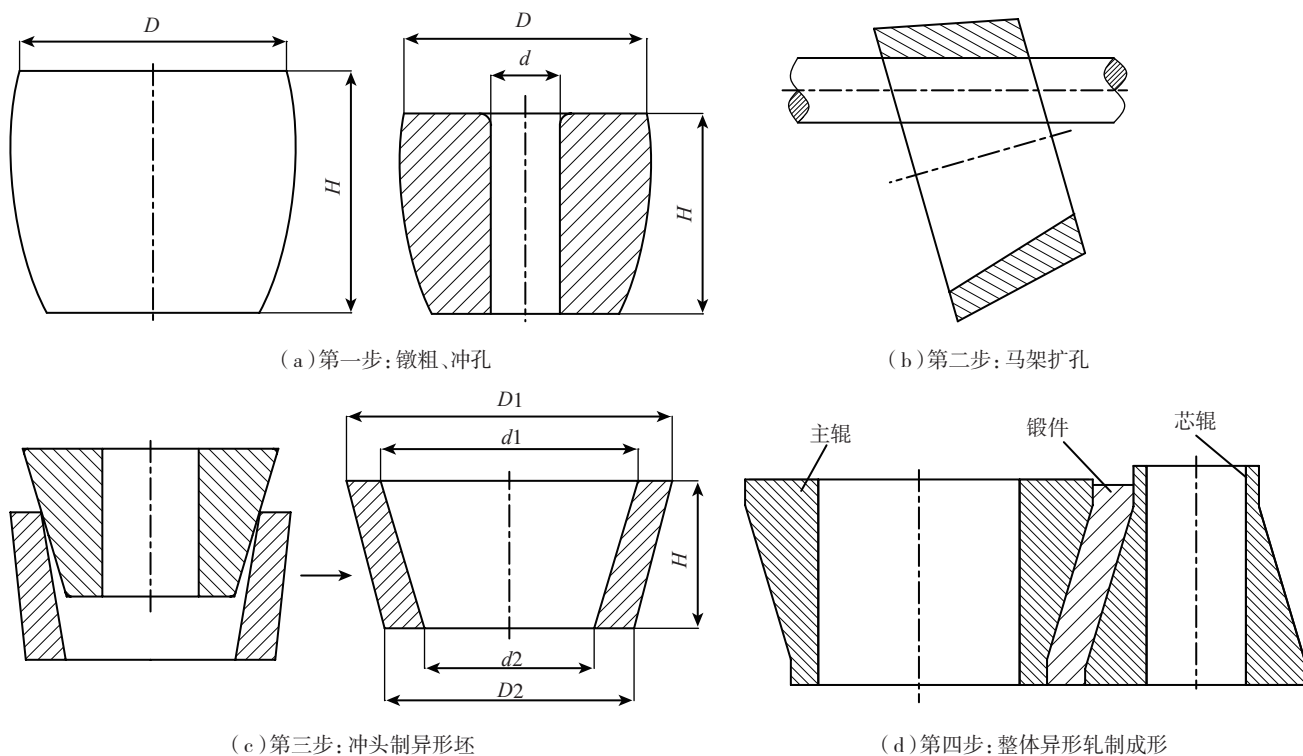


图6 GH4169合金超大异形环件锻造工艺方案

异形整体轧制。

2 试制工艺参数

锻造加热参数见表1,锻件热处理参数见表2,试制锻件热态照片见图7。

表1 锻造加热参数

锻造加热温度 /℃	保温时间	终锻温度 /℃
1100~1140	5~8min/10mm	≥ 930

表2 锻件热处理参数

热处理方式	加热温度 /℃	冷却方式
固溶	960	18% 淬火液冷却

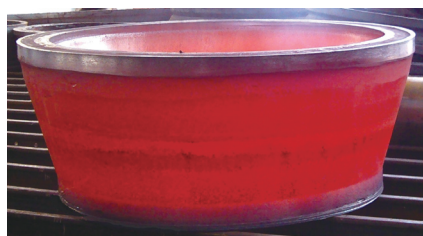
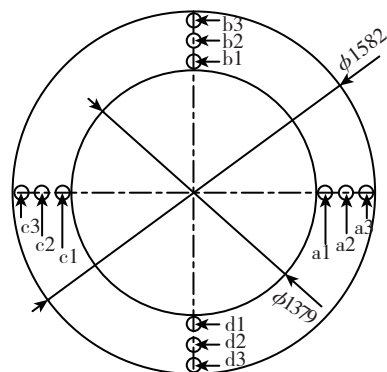
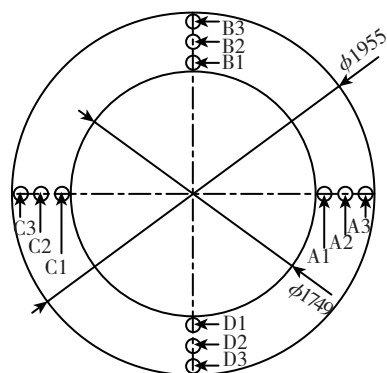


图7 GH4169合金超大异形环件(热态)



(a) 锻件小头端面



(b) 锻件大头端面

图8 锻件本体晶粒度检查位置示意图

试制结果分析

按上述工艺方案试制出的锻件,其外形良好,锻件各部位均能够填充模具型腔,锻件的尺寸能够满足加工

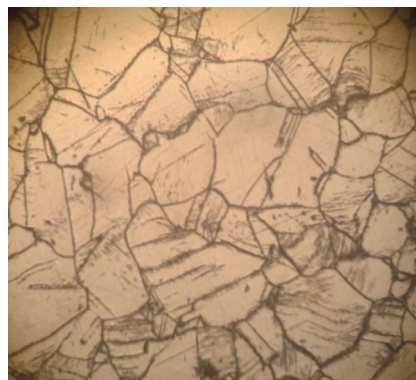
要求。为检查锻件的均匀性,按图8所示在锻件大、小头端面各检查12点晶粒度,检查结果见表3。检查结果显示,锻件典型晶粒照片见图9,锻件大、小头端面各个位置的晶粒度在3.5~5级之间,较为均匀。

表3 锻件本体晶粒度检查结果

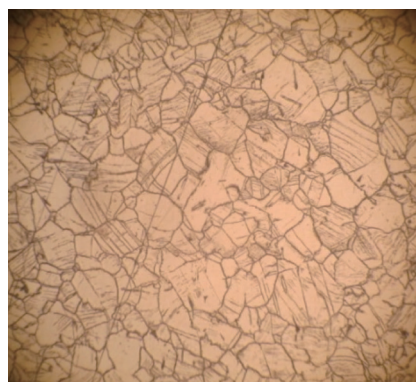
锻件小头		锻件大头	
位置	晶粒度等级	位置	晶粒度等级
a1	4	A1	4.5
a2	4	A2	4
a3	4	A3	4
b1	3.5	B1	5
b2	3.5	B2	5
b3	3.5	B3	5.5
c1	4	C1	5
c2	3.5	C2	5
c3	4	C3	5.5
d1	4	D1	4.5
d2	3.5	D2	4.5
d3	4	D3	3.5

结论

(1)采用异形制坯加异形整体轧制技术生产的GH4169合金超大异形环件,尺寸满足零件加工要求,锻件组织均匀良好。此次生产的GH4169合金超大异形环件填补了国



(a) d3 (4级)



(b) B3 (5.5级)

图9 锻件本体晶粒度典型照片(×100)

内大型机匣类锻件不能整体轧制生产的空白,为此类锻件的生产开创了新的工艺途径。

(2)GH4169合金超大异形环件锻造过程中的关键在于异形坯料的制备,异形坯料的斜度、壁厚差、圆角大小都将直接影响后续整体轧制的效果。

(3)与分段焊接的机匣锻件相比,采用整体轧制不仅减少了原材料投入和机加工时,降低了成本,而且保持了锻件的整体性,锻件纤维连续,不需焊接,从而使整个机匣产品质量得到了提高。

参考文献

[1] 《中国航空材料手册》编辑委员会编. 中国航空材料手册(第2卷). 北京: 中国标准出版社, 2001.

[2] 蔡伯成, 杨玉容. GH4169合金异形环件研究 // 北京航空材料研究院. GH4169合金应用研究文集. 北京: 北京航空材料研究院, 1996: 123-127. (责编 良辰)