

金属结构件等温成形过程金属流动规律 与充填性的物理模拟

Physical Simulation of Metal Flowing Laws and Filling Ability
in Isothermal Forming Process for Metal Structure

西北工业大学 张会 姚泽坤 戴亮 郭鸿镇

[摘要] 通过对具有不同高宽比,并有Z、H字形断面形状的钛合金高筋薄腹板框结构件的等温成形过程进行物理模拟,发现:无论成形件是何种截面、何种形状毛坯,其充填型槽的能力均随变形量的增大而增大;金属向凸弧方向、宽型腔处的流动速度快于向凹弧方向、窄型腔处;毛坯形状应符合各部位所需金属量与转移路程最短的原则设计;用铝合金模拟钛合金等温成形可较为真实地反映出钛合金等温成形时的流动和充填能力。

关键词: 高筋薄腹板 物理模拟 金属流动规律 充填性

[ABSTRACT] It has been performed the physical simulation of the isothermal forming process of Ti alloy frame structure with high rib and thin web and with Z, and H cross-section and with different height/width ratios. In this survey it is found that the ability of filling die space is increased with the increase of deformation in all cases, whether which section of the forming part is or which shape the blank is, the metal flowing speed to convex arc and broad cavity is faster than that to concave arc and narrow cavity. The blank shape should be designed in accordance with the principle to meet the needs for metal filling and the shortest transferring paths. The use of Al alloy to simulate Ti alloy isothermal forming process can truthfully reveal Ti alloy flowing and filling ability in isothermal forming process.

Keywords: High rib and thin web Physical simulation Metal flowing laws Filling ability

飞机机身结构件一般是由筋和腹板构成的,其断面有H、U、L、Z字形等形状以及由这些形状组合而成的各种形式,有些结构件不仅形状复杂,而且筋的高宽比大,在成形这类锻件时,变形抗力大,容易造成金属紊流。这一直是锻造成形的难题。由于减重和损伤容限

设计的需要,大量的大型高强钛合金结构件被采用,钛合金不仅价格昂贵,而且可锻性和流动性又比结构钢差得多,深入了解不同截面形状的高筋薄腹板钛合金结构锻件成形过程中的金属流动规律、充填性以及缺陷形成机理是十分必要的。金属成形规律的研究,通常采用物理模拟或数值模拟方法^[1-4],但由于结构类锻件形状复杂,合理、准确的数学模型难以建立,数值模拟往往得不出有用的结果,而且还需要大量的试验验证,耗时长、耗资大。为此,本课题利用铅、铝材料对超薄异型飞机框结构件等温成形过程进行了物理模拟,试图找出此类锻件成形时金属流动与充填型腔的规律,为计算机数值模拟、等温精锻模具设计及成形工艺的制定提供理论依据与试验数据。

1 试验材料及过程

1.1 试验材料

此次模拟的结构锻件简化图见图1。为了叙述方便,将框件内外侧的筋板细分为4个区域,即I区、II区、III区、IV区。该件外侧为离散坐标点给出的弧形,筋宽3mm,筋的高宽比局部达到20:1,内侧中部为直径200mm的圆弧,筋宽2mm,腹板宽82~158mm,厚度2.5mm,断面为Z字形。采用铅、铝作模拟材料,因为铅在常温下即可发生再结晶,变形抗力小,塑性及流动性

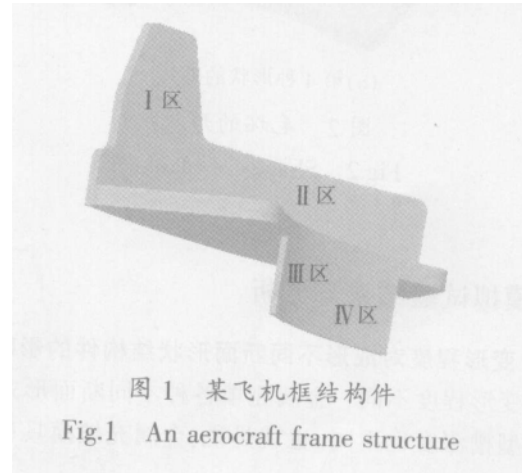


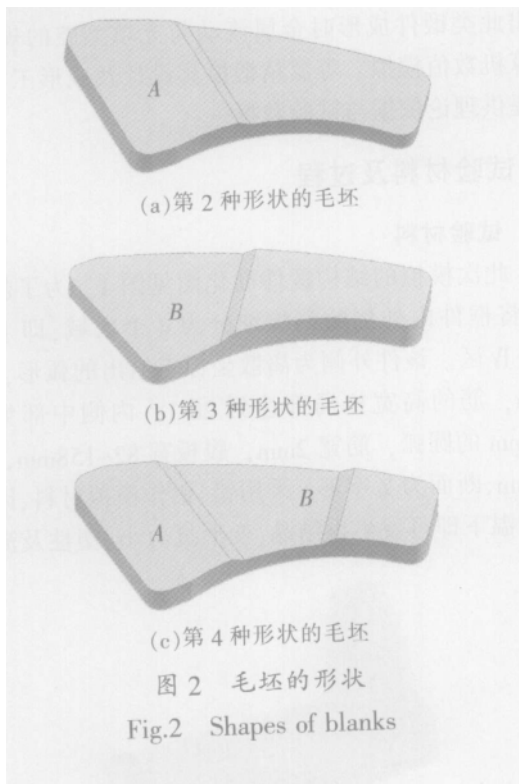
图1 某飞机框结构件
Fig.1 An aircraft frame structure

好,对应变速率敏感,而且本身又具有润滑性能,所以常用铅在室温下变形模拟钢或合金的热态成形。铝也是常用的模拟材料之一,铝的刚度、比强度、流动性、对应变速率的敏感性更接近钛合金,用铝模拟钛合金等温成形也较易实现。

1.2 试验过程

根据相似原理,将模拟件尺寸按比例缩小。考虑到成型件出模时可能有变形,同时还模拟了、H字形断面构件的成形。

模拟采用4种形状的毛坯(图2)。第1种形状型为平板毛坯,厚度6~8mm;第2种形状宽端厚(8~9mm),窄端薄(约6mm),见图2(a);第3种形状宽端薄,窄端厚,见图2(b);第4种形状的宽端和窄端均较厚而中间薄,见图2(c)。毛坯最大平面与模具型腔投影平面大小相等。为了观察锻件在充填成型过程中金属的流动规律,在试验之前,用画规在每个毛坯上刻画坐标网格。两纬线之间的距离分别为2mm和5mm,两经线之间的间隔分别为2和3°。



2 模拟试验结果与分析

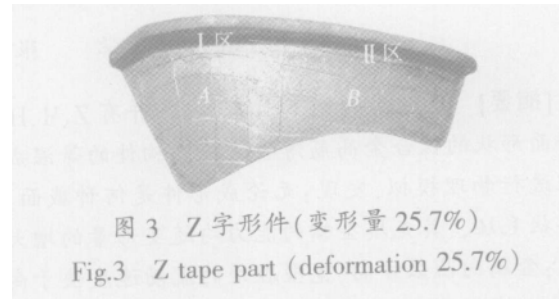
2.1 变形程度对成形不同断面形状结构件的影响

变形程度不同,金属充填各种不同断面形式结构件的型槽深度也不同。也就是说,金属充填模具型槽的

能力随变形程度增大而增强,但在相同压下量时,即使用同一种毛坯成形不同断面形式结构件时,其充填模具型槽的能力也各不相同。

2.1.1 Z字形断面成形时金属的流动规律与充填规律

压缩不同变形量后的Z字形断面构件筋的高度及网格变化情况见图3、4。



由图3可知,在变形较小时,金属充填模具型槽各处的阻力很小,基本上处于自由填充状态;网格形状也没有太大的变化,这说明小变形情况下,金属是均匀向内、外侧空腔流动的。

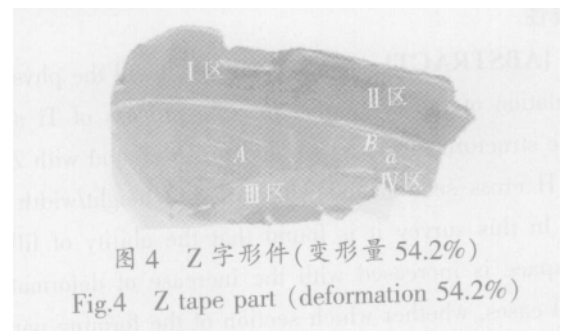


图4中,当变形增大至54.2%时,筋区的储料仓也已充满,局部高筋区却还没有达到需要的高度;从网格变化情况看,网格在纬向畸变大,A区向外凸,B区向里凹,且在B区出现尖角(a处),这是因为内圆弧型腔只存在于中部,因此,腹板A区金属只有一小部分流入内侧圆弧下模型腔中,而大部分要向外侧向上的空腔中转移,正如图4所显示的A区网格中纬线那样,向外凸。腹板B区,最右端金属只能向外侧流动,而在图中a点处左侧腹板上的金属同时向外侧和内侧流入上下模腔,但由于外侧筋型槽较宽又为凸弧,故金属很快充满储料仓;内侧筋型腔为凹弧,又较窄,金属流入困难,故内侧筋区处的高度比区处低。在a点处网格的变化明显,说明金属向凸弧、宽筋型槽处流动快、转移的金属量大,宽筋凸弧型槽比窄筋凹弧型槽容易充填。

2.1.2 H、字形断面结构件成形时金属的流动规律与充填规律

在不同变形程度压缩下,第2种毛坯模拟的H、字形断面形状结构件成形时金属的流动规律与充填规律如图5所示。



从图5(a)可知,用第2种形状的毛坯模拟,且在变形量较小时,H、字形断面结构件成形过程的刚开始阶段金属向筋部型腔内充填是刚性平移,网格形状畸变小。成形H字形断面结构件时毛坯外侧的两条纬线平移到外侧筋、上,成形I字形断面结构件,当变形40%时毛坯外侧的两条纬线已平移到外侧筋上一定高度处(图5b)。在变形量为50%左右时,I字形件的筋区最大高宽比达4.61(图5d),H字形件的筋区最大高宽比仅为3.01,从网格变化来看,I字形件A区网格中纬线向外向上拉开,距离较大,B区中纬线位移较小,但从A区到B区过渡较剧烈,而H字形件中纬线变化要平缓得多(图5c)。当变形增大到70%左右时,I字形件的内外侧筋均已充满(图5f),而H字形件的筋区仍未充满(图5e)。从网格变化来看,

由于H字形件外侧型槽需要更多的金属,成形时,腹板上的金属向外侧转移的比I字形件的多,故其网格纬线的变化明显大于I字形件,在H字形件腹板的右端中部,网格中的纬线呈现出明显的“S”形(图5e)。

从H字形件与I字形件的成形过程比较可知,在压缩量相近时,H字形件比I字形件需要更多的金属流到外侧筋型腔,H字形件腹板A区在网格畸变程度上比I字形件大,B区比I字形件小些。另外,发现H字形件的刚度比I字形件好,出模时不会发生翘曲变形,但出模较困难。

2.2 毛坯形状变化对成形不同断面形式结构件的影响

毛坯形状对金属在不同断面形式结构件中的充填性和流动性有着很大的影响,因为毛坯形状的改变可大大缩短金属转移的路程,使充填型槽变得容易。

第2、3、4种形状的毛坯充填Z字形断面件的结果如图6所示。



从图 6(a) 可以看出, 第 2 种形状的毛坯充填成形 Z 字型断面结构件时, 毛坯厚端(即腹板 A 区)金属主要向外侧凸弧方向流动填充外侧筋区型腔, 同时还有少量金属流向 B 区, 推动 B 区金属向筋、区型槽处流动, 因第 2 种形状的毛坯右端料薄, 金属向内侧筋处可转移的体积较少, 易造成区充不满, 甚至还会出现拉裂现象; 而第 3 种形状的毛坯的厚度分布与第 2 种毛坯刚好相反, 其筋高度成形情况与第 2 种形状毛坯也相反, 流向外侧筋区型槽处的料较少, 流向、区型槽处的料较充足易充满(图 6b); 第 4 种形状的毛坯两端金属较多些, 充填高筋型槽时, 金属转移的路程近, 又不需要向 B 区转移, 所以较平板毛坯和第 2 种形状的毛坯容易充满型槽最深部分(图 6c)。

2.3 模拟材料对成形不同断面形式结构件的影响

由于金属在高温下的流动情况不完全等同于室温, 并且铅的刚度较差, 流动性好, 变形抗力小, 不能全面真实地反映出钛合金等温锻造时金属流动情况和出模情况。因此, 有必要再用流动性不如铅但刚度比铅好的铝进行模拟试验。

不同变形的铝合金第 2 种形状的毛坯模拟 Z 字形断面件等温成形时的金属流动性和充填性变化情况见图 7。毛坯厚料端的变形量分别为 30.68%、48.86%和

62.5%。

从图 7(a) 可以看出, 变形较小时, 金属在充填筋部型腔的开始时不受阻碍, 处于自由填充阶段, 外侧筋、区充填高度几乎一致, 网格无畸变。

当毛坯厚端变形增至 48.86%(图 7b), 薄料端增至 35.7%时, 腹板上 A 区网格中的纬线呈凸弧状向外, 而在 B 区左侧, 有几条纬线向内侧凹陷, 说明充填内侧凹筋所需金属较少。

变形达 62.5%时, 网格畸变已相当严重(图 7c), 特别是 B 区, 但高宽比达 20:1 的筋处还未饱满成形, 说明铝合金作模拟材料时的流动性比铅要差一些, 这是因为在等温成形过程中大变形后的铝件易粘模, 造成摩擦阻力增大, 充填能力降低, 且出模困难。

3 铅、铝做模拟材料的优缺点

从铝、铅第 2 种形状的毛坯模拟成形 Z 字形断面结构件可知, 铅件变形 54.02%(图 8a) 时与铝件变形 58.43%时(图 8b), 筋的成形高度相当, 但要使铝合金充填型槽到同样的深度, 却需要几乎大一倍的压力, 并需要二次变形, 中间还需对中间环进行修整、重涂润滑剂, 否则粘模严重, 影响金属流动。

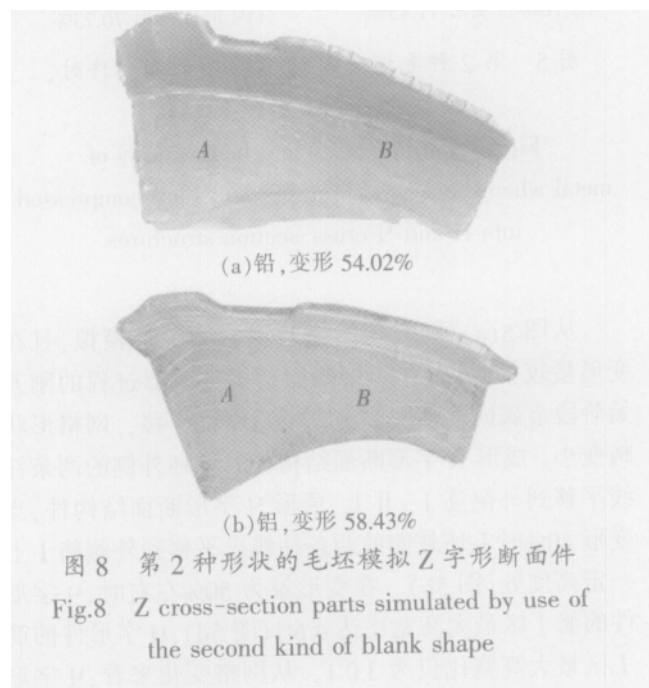


图 8 第 2 种形状的毛坯模拟 Z 字形断面件
Fig.8 Z cross-section parts simulated by use of the second kind of blank shape

4 结束语

(1) 用铅和铝进行超薄异形钛合金结构件的等温成形的金属流动规律及充填性的物理模拟是一种简便有效的方法。
(下转第 91 页)

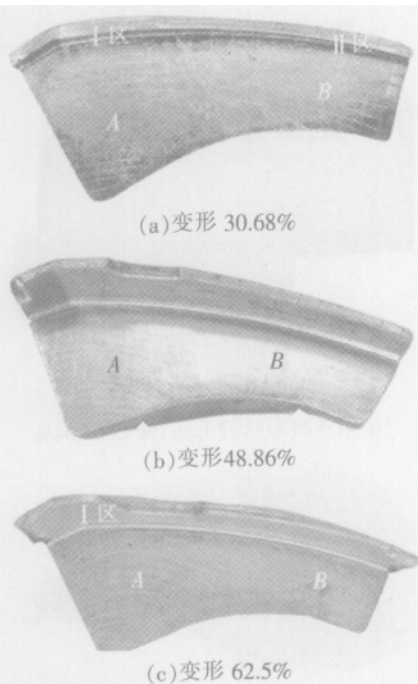


图 7 Z 字形断面铝件不同变形时的形状及网格变化情况

Fig.7 The shapes and meshes variation of Al alloy parts with Z cross-section after different deformations

贯穿整个过程和所有方面的神经系统, 战略管理是核心, 知识管理是支持战略管理的集成框架, 各个应用系统都集成在知识管理的框架下, 围绕着战略管理这个核心运行并为之服务。航空工业企业中各个业务应用系统与战略管理的关系见图 3。

航空工业企业战略管理是一个由战略的分析—制订—实施—控制—修订组成的不断循环的过程, 只有这个螺旋式上升过程的不断运行, 才能实现企业战略目标, 基于知识的战略管理系统和基于知识的业务管理系统才能顺利运行, 从而支持整个战略的维护过程。

5 基于 WEB 的航空工业企业知识管理系统的智能应用集成

如果将企业比喻为人体结构, 那么各种应用系统就如同人的功能器官, 每个员工像是各器官的细胞, 企业的信息和知识就是血液, 而知识管理系统就是血管系统, 它能将血液送到各个功能器官和细胞。这就是说, 知识管理系统是企业集成的框架, 只有将企业的各个应用系统集成到一个统一的平台之中, 才能使企业现有的信息系统从相对的静态管理上升到信息的协调和调度, 从各个业务活动和信息库中发现知识, 驱动业务活动更快、更好地执行, 从而支持企业战略管理中的战略分析、制订、实施、控制和维护全过程, 为企业战略服务。

在航空工业企业知识管理系统的集成中, 可以根据知识管理、信息管理应用和集成的深度把集成分为信息集成、过程集成和应用集成 3 个层次, 这 3 个层次集成的核心就是 PPR-Hub, 即围绕着航空工业企业战略发展中关键的产品 (Product)、过程 (Process)、资源 (Resource) 完成集成。第一个层次的集成为信息集成, 要求能从知识管理系统查询各类数据库中的数据和业务处理中的各类信息记录; 第二个层次的集成为过程集成, 要求知识管理系统紧密地融入业务过程中, 使知识管理平台为员工完成工作提供统一的用户界面, 以此为入口完成各个应用系统中的工作; 第三个层次的集成为智能应用集成, 要求知识管理系统能够从不同的业务应用中发掘出知识, 为企业各个层次的应用和决策提供直接的知识支持。

6 结束语

笔者认为, 未来的知识管理技术应当建立在上述知识管理技术平台以及知识管理系统智能应用集成的

基础上, 要有更便于浏览的视觉工具, 更强大的自动化“无声”知识监控手段, 添加信息库群体评价机制, 以及更高级的能从无法图形化的音像等信息源挖掘知识的工具。

尽管知识管理还很不成熟, 但它所带来的效益和利润已引起人们普遍关注。

参 考 文 献

- 1 左美云, 许珂, 陈禹. 企业知识管理的内容框架研究. 中国人民大学信息学院, www.KMCenter.org, 2004-02-05
- 2 周三多, 邹统钜. 战略管理思想史. 上海: 复旦大学出版社. 2003 (责编 依然)

+++++
(上接第 76 页)

(2) 局部筋的高宽比为 20:1 的复杂结构件的成形, 可根据各部位所需金属量与转移路程最短的规则来设计毛坯形状及厚度。

(3) 金属向凸弧方向和宽型腔处的流动速度快于向凹弧方向和窄筋型腔处的流动速度。

(4) 用铝作等温变形模拟材料时, 因易粘模, 需要的压力大, 并需多火次成形。

参 考 文 献

- 1 鹿守理编. 相似理论在金属塑性加工中的应用. 北京: 冶金出版社, 1995
- 2 姚泽坤, 兰芳, 冯鹏发, 等. 王字型变厚度筋钛合金结构件热模锻过程的物理模拟. 锻压技术, 1999, (6): 13-16
- 3 Yao Z K, Guo H Z, Wang M, et al. Physical modelling of isothermal die forging process of Ti-alloy structural air-frame part with E type cross-section and varying thickness rib. ACTA Metallurgica SINICA, 2000, 13(1): 401-405
- 4 Edited by Erman E, Semiatin S L. Physical modeling of Metalworking process. TMS Annual Meeting in Denver, Colorado, Metallurgical Society, 1987 (责编 根山)

第二届全国数控技能大赛落下帷幕

2006 年 11 月 27 日, 由劳动和社会保障部、教育部、科技部、国防科工委、中华全国总工会、中国机械工业联合会六部委联合主办的第二届全国数控技能大赛在人民大会堂成功落下帷幕。劳动和社会保障部副部长张小建、机械工业联合会副会长薛德林等部委领导及竞赛相关单位代表、获奖选手代表和各大媒体记者 600 余人出席了大赛闭幕式仪式。(本刊记者 翊舟)