

文章编号:1000-582X(2004)08-0031-04

非均匀壁厚锻件成形工艺分析*

王梦寒,周杰,艾百胜

(重庆大学机械工程学院,重庆 400030)

摘要:非均匀壁厚产品在工程中应用广泛,但采用传统的成形方式有较多的局限性。以转向油泵定子为例,对典型非均匀壁厚产品的成形工艺进行了研究,提出了定子温挤成形的工艺方法。首先,对挤压成形过程进行了理论分析。然后,建立了定子挤压成形过程的刚粘塑性有限元模型,利用模拟软件对挤压工艺过程进行三维有限元仿真模拟。在此基础上,优化了成形工艺参数,分析了锻件在成形过程中的金属流动规律,提供了锻件成形过程中的应力场、速度场的分布,为指导其他非均匀壁厚锻件的生产提供依据。

关键词:数值模拟;非均匀壁厚锻件;成形工艺;金属流动分析

中图分类号:TG302;TG386

文献标识码:A

1 成形方法

非均匀壁厚制件在工程上应用比较广泛,其传统的成形方法主要有两种,一是直接采用线切割或数控机床加工的机加工方法成形,二是采用粉末冶金工艺成形。但两种方法都有其自身的局限性。主要表现在机加工的加工效率也比较低,而且加工成本也非常昂贵。而粉末冶金成形的零件只能用于对机械性能和力学性能要求较低的情况。

转向油泵定子是电机精密传动上所用的重要零件,基本外形尺寸如图1所示。由图可见其内形尺寸不规则,每个角度的半径都不相同,造成其壁厚不均匀,是一个典型的非对称零件。为降低成本,曾采用粉末冶金技术代替传统的机加工方法成形制件。但由于油泵定子作为传动部件使用,采用粉末冶金工艺成形出来的零件的组织致密性和机械性能不能满足设计及应用要求^[1],使用过程中易造成零件过早失效。为了适应产品高机械性能和高使用寿命的要求,拟将油泵定子零件开发为锻件,采用温挤成形工艺成形该零件,材料为40Cr。

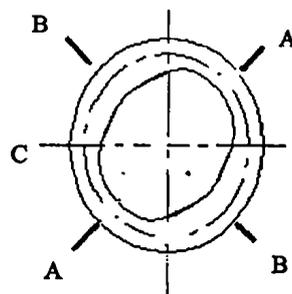


图1 零件截面形状及剖切位置

温挤压成形工艺是在冷挤压基础上发展起来的一种少无切削成形新工艺。总的加工费用比较便宜,特别是在制造非轴对称的异形部件时,温挤压尤可发挥它的作用。

2 理论分析

坯料在反挤压成形过程中,金属流动状态一般分为两个阶段,即稳态变形和非稳态变形阶段。杯形件反挤压不同阶段时网格的变化情况如图2所示。图2(a)为成形初始状态的坯料网格。图2(b)表示毛坯进入稳态变形时的情况,Ⅰ区为金属死区,它紧贴金属端面,呈倒锥形,这部分金属基本不发生塑性变形而只

* 收稿日期:2004-04-08

作者简介:王梦寒(1975-),女,吉林农安人,重庆大学博士研究生,主要从事金属塑性成形数值模拟、模具技术及模具CAD/CAM/CAE。

是随凸模的下压作刚性平移。Ⅱ区为剧烈变形区,Ⅲ区中的金属沿挤压方向的反方向作刚性移动。图2(c)为非稳定变形阶段,当凸模继续下压,Ⅰ区、Ⅱ区也随凸模不断下行,这时Ⅳ区金属逐步参与塑性变形,当凸模下压到一定程度,即毛坯的剩余厚度较小时,在剩余厚度内的全部或几乎全部金属均参与塑性变形。

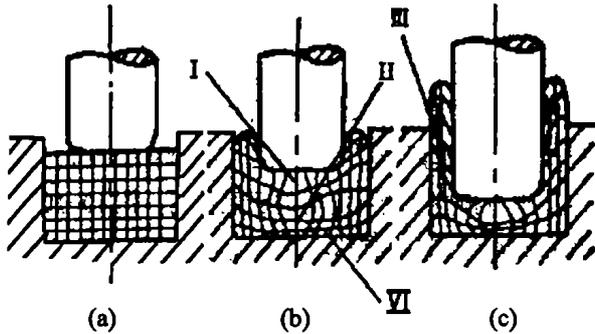


图2 反挤压成形金属流动区域示意

上述只是对杯形件反挤压过程中金属流动的理论定性分析,而转向油泵定子的内形复杂,零件壁厚分布不均,成形过程中金属流动具体难以用理论预测。同时下料方式的差异对于材料利用率及加工效益的影响也较大。为此,利用数值模拟软件对成形过程进行仿真分析。

3 有限元模型的建立^[2-4]

定子温挤成形过程的分析采用刚粘塑性有限元理论,采用摄动法来线性化非线性方程组,在刚粘塑性有限元法中求解非线性方程时,首先采用简单迭代法,然后利用 Newton-Raphson 迭代法进行求解。

材料的流动应力模型为 Rosserd 模型,即: $\bar{\sigma} = k(\bar{\epsilon})^n(\dot{\bar{\epsilon}})^m$,式中 m, n, k 均为材料常数,这种模型适用于室温及低于再结晶温度下的成形工艺分析。

摩擦模型采用反正切摩擦模型: $f = -\frac{2}{\pi} m k \arctg$

$\left(\frac{v_s}{A}\right)$, A 为比模具速度小几个数量级的正常数,一般取 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ 。 v_s 为模具速度。

4 成形过程有限元模拟仿真与实验比较

对称的杯形件反挤压成形过程二维模拟国内外已见报道^[5-6],但针对非对称件的反挤压成形过程模拟分析,目前还较少见报道。尤其是对在成形过程中金属流动规律、多区域的变形特点等的分析均尚未见报道。

根据零件特点,现设计其基本的下料方案为采用一模一件进行反挤压成形。坯料的下料尺寸为 $\Phi 38 \times 43$ mm,其基本工步为:下料-镦粗-反挤压-切(冲)

连皮。为此,采用成形工艺分析软件 Deform 对其成形过程进行模拟分析。

4.1 一模一件成形过程有限元模拟仿真

采用一模一件的方案成形时,主要对镦粗和反挤压两道工序进行模拟分析。镦粗成形结束时坯料的速度场等值线如图3所示,镦粗成形过程的载荷-行程曲线如图4所示。

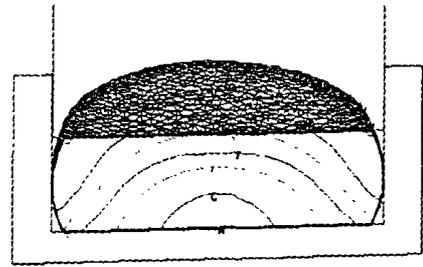


图3 镦粗结束时坯料的速度场等值线

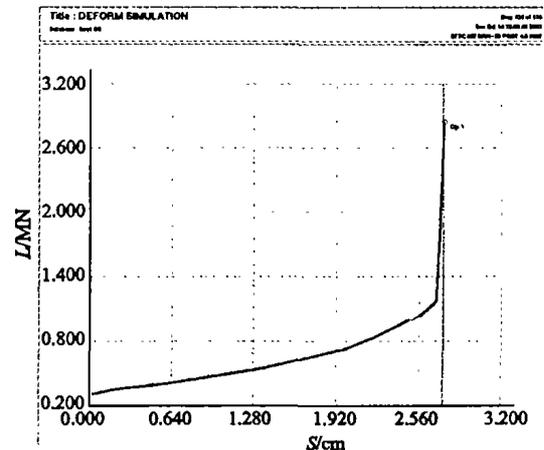
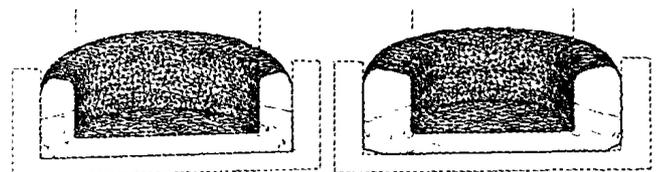


图4 镦粗过程的载荷-行程曲线

在镦粗成形过程中,载荷与凸模行程之间呈线性增加,随着上模不断向下运动,坯料的变形量增加,坯料的变形抗力增大,设备载荷也随之增大。

金属在反挤压成形过程中,由于零件壁厚分布不均,为此金属在不同壁厚处的流动情况也不同。根据图5所示的零件剖切位置,针对各个截面金属的流动做具体分析。图5是坯料在凸模行程为 9.6 mm 时不同截面的等效应变场的等值线图,此时坯料底部剩余厚度内的全部或几乎全部金属均参与塑性变形,即此时金属进入非稳定变形阶段,此时金属的塑性区逐渐扩大,数值模拟结果与理论分析一致。



A-A 截面

B-B 截面

图5 凸模行程为 9.6 mm 时的等效应变场的等值线图

图 6 是坯料在凸模行程为 11 mm 时的等效应变场的等值线图。由于坯料在 B - B 截面处的壁厚比 A - A 截面处厚,根据最小阻力定律可知,凸、凹模间隙大、壁厚较厚处的金属流动阻力小,金属流动加速。凸、凹模间隙小的金属流动阻力大,这样就会引起金属在 B - B 截面所示壁厚部位金属流动较快,造成金属流动不均匀,即出现了图 6 中所示的同一反挤压行程下金属等效应变不一致,同样也证实了理论分析结果与模拟结果的一致,金属流动符合最小阻力定律及塑性变形规律。同时,由于在 A - A 截面所示的小厚区域的金属流动阻力大,金属在挤压过程中填充了在镟粗工艺鼓形坯料下部留下的缺料区域。但是,在 B - B 截面所示的大壁厚区域内金属流动阻力小,挤压过程中金属还没有将缺料区域填满就流入了侧壁。所以在挤压过程中还存在图 6 中 B - B 截面 D 处的缺料现象。且缺料现象会随挤压行程的进行而加剧。

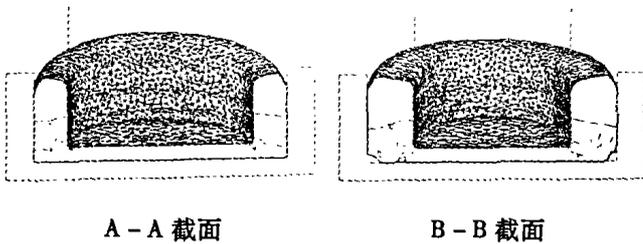


图 6 凸模行程为 11 mm 时的等效应变场的等值线图

通过模拟结果的分析,要求成形过程中应控制好凸模的行程,并保证坯料底部的连皮有足够的厚度,以避免由于压机行程过大造成坯料外侧严重缺料。图 7 为利用三维有限元模拟得到的转向油泵定子在不同角度的成形零件的形状图。

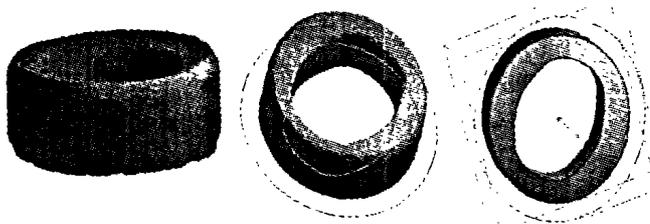


图 7 模拟结束时坯料的形状及切除底部连皮后的形状图

4.2 一模一件成形实验比较

本课题中坯料所用的实验材料为 40Cr,属于黑色金属,此类材料采用温挤成形的温度范围为 200 ~ 850 ℃,在本课题中该材料在镟粗时的加热温度为 850 ℃,在挤压时其成形温度为 800 ℃。

图 8 为生产实验所得到转向油泵定子成形锻件实物照片。由图 7 与图 8 所示的锻件图表明,采用有限元模拟所得的结果与生产实验所得的转向油泵定子实物的内外形轮廓一致。

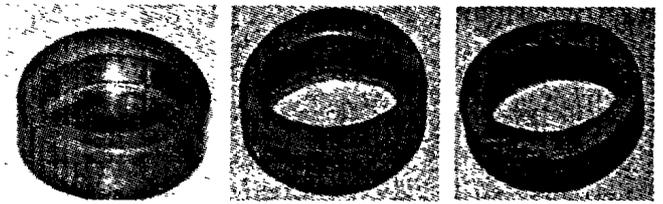
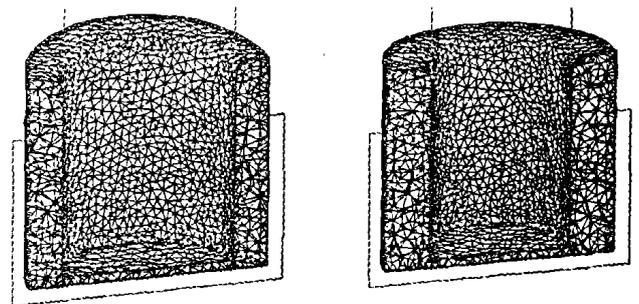


图 8 生产试验中坯料的成形形状及切除底部连皮后的形状图

4.3 优化后的成形工艺有限元模拟

通过对上述方案中金属在成形过程的流动趋势的分析可知,采用一模一件成形非均匀壁厚定子时,坯料的变形基本处于非稳态变形阶段,这就使得变形抗力较大。同时,由于金属在流动过程中各方向所受变形阻力不均匀,易造成底部局部缺料及上端部不平整的现象。因此,将上述方案中的坯料高度尺寸加大,采用一模出二件的温挤压工艺成形定子,同时对凸模结构及其端面圆角进行相应修整,可以使金属的稳态变形时间增长,控制金属在挤压成形中的流速,改善由于金属流动的最小阻力定律造成的金属流速差异大的现象,解决金属在成形过程中存在的问题。

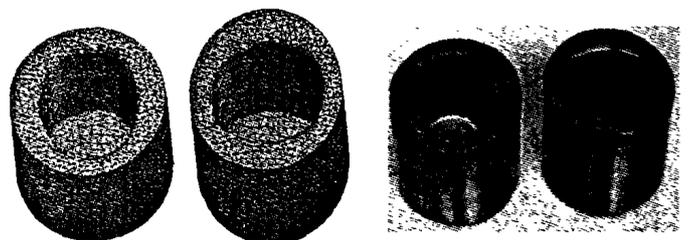
采用一模二件工艺进行有限元模拟分析,模拟结束时坯料在不同截面处的网格图如图 9 所示。由图 9 所示的不同截面图可知,通过增加坯料高度和修整凸模圆角,改善了金属在反挤压成形过程中的流动场分布,解决了一模一件工艺中存在的底部缺料和上端部不平整的现象。



A - A 截面网格变形图 B - B 截面的网格变形

图 9 挤压成形后坯料的截面

一模二件的模拟分析结果与生产实验所得的实物如图 10 所示。



(a) 模拟分析结构

(b) 生产实验

图 10 模拟分析结果与生产实验结果

5 结 论

1) 提出并采用温挤压工艺成形非均匀壁厚零件。
2) 通过有限元模拟仿真,研究了非均匀壁厚锻件成形工艺中金属变形流动的特点。

3) 生产实验表明,采用一模二件或一模多件的温挤成形工艺成形非均匀壁厚零件,有效地改善了金属的速度场分布,挤压出的零件其内部形状尺寸能直接达到质量要求。而且采用该工艺进行成形,达到了提高材料利用率、降低了成本以及缩短生产周期得目的。

由于非均匀壁厚零件的壁厚不均匀性,为此,模具的寿命以及凸模圆角的修整等均需要进一步研究,这些都需要由非均匀壁厚零件在挤压成形过程中金属流动规律提供理论依据。

参考文献:

- [1] 周大雋. 锻压技术数据手册[M]. 北京:机械工业出版社,1998.
- [2] 周永强,周杰,王梦寒. 万向节叉热成形过程模拟研究[J]. 锻压技术,2002,27(2):6-8.
- [3] 王梦寒. F738 壳体成形工艺数值模拟仿真及优化[D]. 重庆:重庆大学,2002.
- [4] KOBAYASHI S, OH S I, ALTAN T. Metal forming and finite element method [M]. New York : Oxford University Press, 1988.
- [5] HWANG S M, KOBAYASHI S. Preform design in disk forging[J]. Int J Mach Tool Des Res, 1986, 26: 231-233.
- [6] 王嘉,张治民. 杯形件温挤成形凸模润滑方式的研究[J]. 锻压技术,2003,28(5):65-67.

Forming process of asymmetric wall forging

WANG Meng-han, ZHOU Jie, AI Bai-sheng

(College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: Asymmetric wall products are widely used in the engineering. However, there are many limitations in the traditional forming processes employed to produce them. Oil pump stator has been studied as an instance to present the forming process of asymmetric wall products. First, a theoretical analysis of the forging's forming process has been made. Second, a rigid-visco-plastic finite element model of oil pump stator has been constructed and three dimensions FEM simulation and analyzing of extruding process have been taken by employing the simulation software. At last, parameters of the forming process have been optimized, the rule of forging's metal flow in the forming process has been analyzed and some distributions of stress and strain have been offered. These data can be use to direct the production of the other asymmetric wall forgings.

Key words: numerical simulation; asymmetric wall forging; forming process; metal flow analysis

(编辑 张小强)