

汽车桥壳管坯推压缩径工艺研究

张宾宾, 李萍, 唐勇, 王成

(合肥工业大学材料科学与工程学院, 合肥 230009)

摘要: 基于动力显式有限元软件, 以汽车桥壳管坯为例, 分别开展了1道次和2道次推压缩径成形工艺的数值模拟, 并对缩径区典型截面的壁厚分布、端部翘曲、轴向失稳等影响成形质量的因素进行了分析。模拟结果表明: 采用2道次的缩径成形工艺明显要优于1道次直接成形。成形件不仅满足使用要求, 而且缩径过程中模具最大载荷为360 kN, 对模具的损耗尽可能地降低到最小程度, 有利于降低生产成本, 并对随后成形出合格的桥壳胀形件奠定了基础。

关键词: 汽车桥壳管坯; 推压缩径; 数值模拟; 成形质量

中图分类号: TG376.3 **文献标识码:** A

文章编号: 1674-6457(2010)03-0046-04

A Technical Study on the Multi-step Extruded Sinking Process of Automobile Axle Housing Tube

ZHANG Bin-bin, LI Ping, TANG Yong, WANG Cheng

(School of Materials Science and Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009)

Abstract: Taking an automobile axle housing tube as a typical example, one pass and two-pass numerical simulation of extruded sinking were carried out, and the effect factors of typical section thickness distribution, end warp, axial instability were analyzed. Simulation results show that, the technique of two-pass extruded sinking is better than that of one pass forming. Forming part not only meets use requirement, but also the maximum load of mould is 360 kN, and the wasting of mould is reduced as low as possible. It is good for reducing the production cost. And it lays foundation for the subsequent bulging of automobile axle housing.

Key words: automobile axle housing tube; extruded sinking; numerical simulation; forming quality

利用液压胀形技术成形的汽车桥壳由于其与传统的铸造和冲压、焊接工艺相比, 具有成本低, 柔性高, 成形产品强度高, 质量轻, 对环境危害小等优势, 近年来在国外汽车工业中得到了越来越广泛的研究与应用。它不仅可以满足汽车制造轻量化的要求, 而且符合汽车部件整体成形工艺的发展趋势^[1-3]。

目前桥壳的液压胀形通常采用缩径复合胀形工艺, 而桥壳管坯的推压缩径作为整个复合胀形工艺的重要部分, 由于成形工艺的复杂性, 单纯采用物理

实验或理论解析方法难以准确高效的解决实际问题。随着计算机和有限元技术的发展, 数值模拟已经成为研究桥壳初始管坯推压缩径成形的重要工具。目前关于推压缩径的工程应用不多, 相关的研究文献较少。现有的研究文献以分析缩径应力应变为多, 对缩径变形区的壁厚变化和缩径过程中的应变硬化情况研究较少^[4]。事实上推压缩径后管坯所产生的壁厚变化、残余应力及加工硬化等对此后的胀形结果影响重大, 缩径管坯在随后的桥壳整体液

收稿日期: 2010-03-08

作者简介: 张宾宾(1984—), 男, 河南洛阳人, 硕士研究生, 主要研究方向为精密塑性成形及仿真分析。

压胀形过程中,其壁厚变化情况、表面成形质量等对随后的胀形件的壁厚均匀度和表面褶皱等因素的产生有重要的影响。由此可见,缩径工艺的研究对汽车桥壳整个成形工序的研究和对成形工艺合理设计有着十分重要的指导意义。

文中以汽车桥壳管坯缩径成形工艺过程为例,基于 ABAQUS 软件研究了缩径成形工艺和工艺参数对缩径管成形质量的影响,对缩径后的壁厚变化和缩径管的成形过程进行了研究,为随后的桥壳整体液压胀形工艺的进行打下基础。

1 推压缩径成形工艺分析

汽车桥壳管坯推压缩径成形工艺的原理属于管坯缩径挤压成形,缩径挤压原理如图 1 所示,其成形

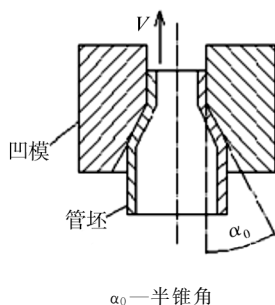


图 1 管坯缩径挤压成形原理

Fig. 1 The elements of tube extruded sinking

过程大致可以分为 4 个阶段:刚性滑入阶段、缩径变形阶段、反向弯曲阶段和最后的稳定流动阶段^[5]。

1.1 凹模锥角的确定

缩径凹模锥角对缩径结果有较大影响,适当的凹模锥角有利于改善成形结果。过大的锥角容易造成金属流动的死角加大,过小的锥角使金属在凹模中流动的时间加长,加大了摩擦损耗。根据最小能量原理,缩径时的最佳凹模锥角可由式(1)确定^[6]:

$$\alpha_0 = \sqrt{\frac{3}{2} m_k \ln \frac{r_1}{r_0}} \quad (1)$$

式中: m_k 为摩擦因子,通常取 0.1~0.2; r_1 为缩径前管径的平均半径,mm; r_0 为缩径后的平均半径,mm;

初始管坯的长度为 1400 mm,外径为 160 mm,根据汽车桥壳的形状尺寸,缩径后管坯长度变为 1560 mm,管坯端部直径为 110 mm。

经过计算 α_0 为 $13.6^\circ \sim 18^\circ$,在本次模拟中取 $\alpha_0 = 15^\circ$ 。

1.2 缩径次数的确定

在缩径过程中,随着缩径量的增加,硬化愈来愈严重,导致成形力急剧增加,当未变形区的变形抗力达到其屈服极限时,就会发生轴向塑性失稳而使零件报废。若将管坯在凹模出口处与入口处的直径之比称为缩径比,其值愈小,发生轴向塑性失稳的可能性愈大,将未变形区的变形抗力达到其屈服极限时的缩径比称为极限缩径比。当总缩径比大于极限变形比时,表明一次缩径不能达到所需尺寸,必须分多道工序进行。

大量的研究表明,大的缩径量会明显提高变形抗力,相应的提高了缩径成形力,从而使未变形区容易产生压缩失稳^[7]。

根据实际零件的尺寸,为了对比 1 个道次和 2 个道次的成形情况,同时验证理论分析结果。文中拟采用 1 个道次和 2 个道次的缩径工艺分别进行模拟。

2 有限元模型建立

文中采用有限元分析软件 ABAQUS 进行仿真分析。由于缩径模具和管坯都为轴对称结构,而且缩径过程中的载荷和约束也是轴对称的,因此对模型进行适当的简化处理,以提高模拟效率。管坯为变形体,缩径凹模为解析刚体。采用 C3D8R 单元类型对管坯进行六面体网格划分,管坯采用变形体设定接触摩擦系数为 0.1。在管坯模型最上端加对称约束,采用管坯固定,分别给模具施加位移载荷来模拟实际加载过程。考虑到缩径后管坯的长度有所增加,设定第 1 道次管坯的缩径部分长度为 360 mm,第 2 道次管坯的缩径部分长度为 400 mm。

管坯材料采用 20 号钢,材料的力学性能如下:屈服极限是 245 MPa,强度极限是 410 MPa,均匀延伸率是 25%,密度为 7.85 g/cm³,弹性模量 210 GPa,泊松比为 0.28。假定材料性能在模拟过程中不随温度变化。塑性变形时的应力-应变关系以及各点数值在式(2)中选取^[8]:

$$\sigma = 719.64 \epsilon^{0.2} \quad (2)$$

式中: σ 为真实应力, ϵ 为真实应变。

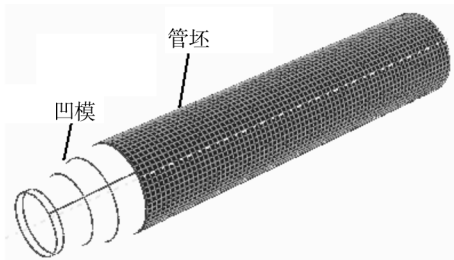


图2 推压缩径有限元模型

Fig. 2 Finite element model of extruded sinking

3 模拟结果及分析

3.1 一道次成形结果分析

1个道次下的管坯变形情况如图3所示。

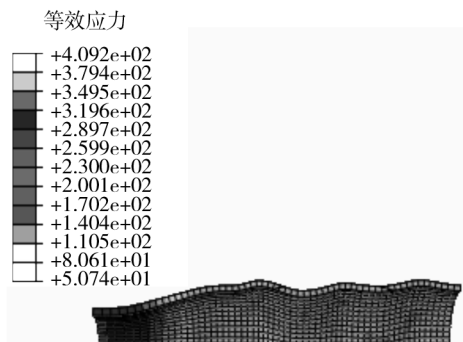


图3 一道次下管坯变形情况及应力分布

Fig. 3 Stress distributing of tube in one pass forming

由图3可以看出,采用一道次缩径成形工艺,在缩径过程未完成时,管坯的未变形区出现了轴向失稳,由管件的应力分布状态看出,在未变形区轴向失稳部分的应力值已经超过了材料的屈服应力,表明一次缩径量过大会提高未变形区的变形抗力,相应的提高了缩径成形力,使未变形区更容易出现塑性失稳。

缩径过程中,若一次缩径量过大时,未变形区金属应力状态达到其屈服条件时,就会发生轴向塑性失稳,甚至会使零件报废。

3.2 两道次成形结果分析

两道次缩径后管坯的几何形状变化的模拟结果如图4所示,两道次下缩径区域的变形情况如图5所示。

在每一道次缩径完成后,管坯缩径部分的轴向长

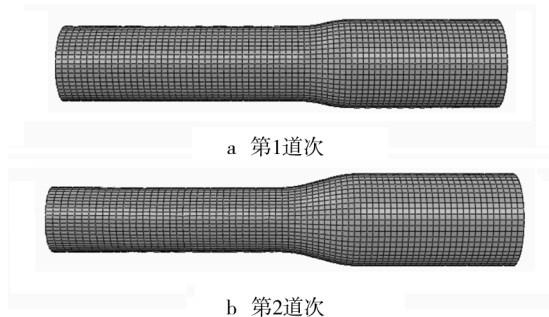


图4 两道次下管坯变形情况

Fig. 4 Forming instance of tube in two-pass forming

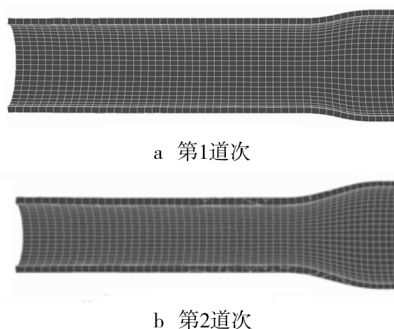


图5 两道次下缩径区变形情况

Fig. 5 Forming instance of sinking region in two-pass forming

度均有所伸长,而且缩径部分的长度与缩径后轴向增加的长度成一定的正比关系。经过分析,2次缩径结束时,缩径部分轴向长度分别增加36,40 mm。

由图5可以看出,缩径变形区域分为均匀变形部分和发生翘曲的部分,第1道次结束时只在端部很短的区域发生了不太明显的翘曲;第2道次结束时,缩径管端部的翘曲程度和长度均较前一道次明显。这种翘曲现象不仅是由弹性回弹造成的,更主要是当管坯进入凹模入口时,外壁金属因受凹模锥孔表面摩擦作用,管坯内壁金属处于自由状态,导致管坯变形区内外金属流动不均匀的结果^[9]。经过分析,2个道次下翘曲部分的直径分别为140 mm和114 mm,相对翘曲率分别为2.9%和3.6%。

由于管坯缩径变形主要集中在凹模的圆弧过渡区,随着管端沿凹模锥口进给量的加大,管端的厚度逐渐增加,而通过凹模出口后的管坯厚度基本上不变化。如图5所示,在模拟结果上显示管坯端部的壁厚增厚量大于经过缩径凹模时的壁厚增厚量。在缩径管的端部也出现了翘曲现象,如图5b所示。

具体的管坯几何参数变化情况的模拟结果见表1。

表1 管坯几何参数变化的模拟结果

Table 1 Simulation result of tube geometrical parameter change

缩径 道次	缩径前 管径	缩径后 管径	缩径区壁厚		翘曲部 分长度	轴向 增长量
			最厚	最薄		
1	160	136	8.6	8.3	20	36
2	136	110	9.0	8.5	52	40

经过分析,模拟值比较真实的反映了实际变形的情况,达到了预期的模拟效果。

随着缩径道次的增加,材料加工硬化现象越来越严重,变形抗力不断增加,导致模具所受载荷越来越大。模具载荷与缩径次数成一定的正比关系。过大的模具载荷会加速模具的损耗,导致生产成本的增加。

2次胀形结束后模具载荷与时间曲线如图6所

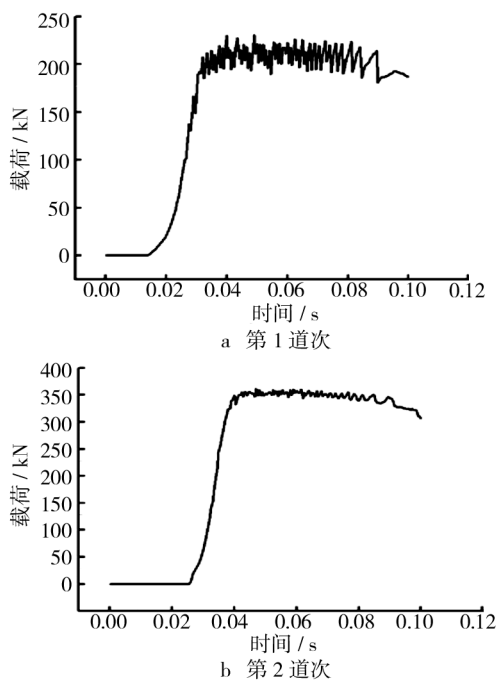


图6 模具载荷与时间曲线

Fig. 6 The curve of mould loading and time

示,可以看出,随着缩径道次的增多,模具载荷也逐渐增大,在实际生产中,对模具损耗也较大,成本较高。由图6可以看出,在缩径过程开始阶段,管坯挤入凹模,导致开始时模具载荷上升很快,当进入稳定变形阶段后,模具载荷在很小的范围内基本不发生变化,最大载荷量约为360 kN。

通过分析表明,采用2道次的缩径成形工艺明显要优于1道次直接成形,2个道次不仅能成形出合格

的缩径管,而且有利于提高模具寿命,降低成本。

4 结语

1) 通过最小能量原理确定了推压缩径凹模锥角,经过计算 α_0 的取值范围为 $13.6^\circ \sim 18^\circ$,在本次模拟中取 $\alpha_0 = 15^\circ$ 。

2) 通过模拟对比了2种工艺方案,采用2道次的工艺方案不仅能成形出合格的零件,而且模具所受载荷不大,最大为360 kN。

3) 模拟结果表明,缩径管壁厚分布合理,端部较厚,为9 mm,缩径变形区壁厚增厚较少,为8.5 mm,两个道次下端部翘曲率分别为2.9%和3.6%。几何参数的变化的模拟值符合理论分析值,此工艺下的缩径管坯适合作为桥壳整体液压成形的初始管坯。

4) 管坯的轴向失稳主要是由于一次缩径量过大,未变形区变形抗力达到材料的屈服应力。

参考文献:

- [1] DOHMANN F, HARTL C. Tube Hydroforming-research and Practical Application[J]. Journal of Materials Processing Technology, 1998, 71(1):171-186.
- [2] LEI L P, KIM J, KANG B S. Analysis and Design of Hydroforming Process for Automobile Rear Axle Housing by FEM[J]. Machine Tools Manuf, 2000, 40(12):1691-1708.
- [3] SIEGERT K, HAUSSENMAN M, LOSCH B, et al. Recent Developments in Hydroforming Technology [J]. Journal of Material Processing Technology, 2000, 98(2):251-258.
- [4] 高鹏飞. 汽车后桥壳液压胀形工艺的数值模拟[D]. 青岛:燕山大学,2005:1-10.
- [5] 姚华明. 车轴套管热挤压缩径成形数值模拟研究[D]. 上海:上海交通大学,2006:6-9.
- [6] 王连东. 回转壳体正负成形理论及汽车桥壳胀形工艺的研究[D]. 青岛:燕山大学,2001:43-50.
- [7] 丁永祥,夏巨谥. 薄壁管无芯推压缩径过程的应力应变分析[J]. 金属成形工艺, 1994, 12(5):225-228.
- [8] 汪大年. 金属塑性成形原理[M]. 北京:机械工业出版社, 1986:106-107, 120-122.
- [9] 夏巨谥,王英,胡国安,等. 薄壁管缩径挤压工艺的模拟分析与应用[J]. 石油机械, 1997, 25(3):18-21.