

矿用液压软管接头芯子径向锻造工艺的研究

张超¹, 赵升吨¹, 董渊哲¹, 杨建辉²

(1. 西安交通大学 机械工程学院, 西安 710049; 2. 中国第二重型机械集团公司, 四川 德阳 618000)

摘要: **目的** 随着我国煤炭、钢铁业的新发展, 矿用液压软管接头因更换快、使用量大, 迫切需要新的成形工艺。**方法** 针对 KJ-25 型液压软管接头芯子, 提出了一种采用径向锻造近净成形制造毛坯的工艺。通过三维有限元软件 FORGE 建立了工艺的三维有限元模型, 并对成形力、工件温度及应力状态进行了分析。**结果** 有限元模拟结果表明: 径向锻造生产的坯料较切削加工可节材 37%, 温锻时单个锤头锻造力仅为 37.3 t。**结论** 径向锻造工艺适用于同类型软管接头芯子的毛坯制造。

关键词: 径向锻造; 接头芯子; FORGE; 有限元模拟

DOI: 10.3969/j.issn.1674-6457.2015.02.005

中图分类号: TG316

文献标识码: A

文章编号: 1674-6457(2015)02-0030-05

Research of Radial Forging Process for Inner Sleeve of Hydraulic Hose Coupling Using in Mine Industrial

ZHANG Chao¹, ZHAO Sheng-dun¹, DONG Yuan-zhe¹, YANG Jian-hui²

(1. School of Mechanical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China;

2. China National Erzhong Group Co., Deyang 618000, China)

ABSTRACT: **Objective** With the development of the coal and iron mine industry, the forming process of hydraulic hose coupling, which is of great importance in these industries, has drawn much attention in recent years. **Methods** A radial forging process to manufacture the inner sleeve billet of the KJ-25 hydraulic hose coupling using in mine industrial is performed. A FE model of the process is established under the software environment of FORGE. And the forming force, the temperature field and the stress state of the workpiece is studied with the FE model. **Results** Comparing with traditional cutting process, the material utilization of the radial forging process is decreased by 37%. And the forming force of each die is measured to be only 37.3 tons under warm forging. **Conclusion** The radial forging process may be of general significance to form the billet of this kind of parts.

KEY WORDS: radial forging; inner sleeve of hydraulic hose coupling; FORGE; FE simulation

我国是煤炭、钢铁大国, 在矿井工业快速发展的同时, 对生产安全也更加重视。矿用液压软管接头主要用于矿井各类生产设备的液压系统中, 出于安全考虑, 软管接头类零件更换较快, 需求量大。

KJ 系列软管接头 (MT/T 986—2006) 是国内应用范围最为广泛的矿用快插式液压软管接头, 主要由芯子、外套两部分组成, 其中芯子为多台阶空心轴类零件。传统生产中, 管接头芯子由机械加工方式制造, 由

收稿日期: 2015-02-10

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (51335009)

作者简介: 张超 (1989—), 男, 河北人, 博士在读, 主要研究方向为塑性成形。

于芯子外径变化大、内孔径大,造成传统机加工存在耗材多、生产率较低等问题。近年来的研究中提出了一种由管型坯料冷挤压制造芯子毛坯,再进行机加工的工艺,具有耗材少、效率高等优点^[1-3]。然而,由于成形时的变形量较大,冷挤压工艺存在成形力大、能耗高、设备体积较大等问题。以 KJ-25 型软管接头芯子为例,其断面缩减率为 68.9%,可得单位挤压力约为 1800 MPa,安全系数取 1.2,可知成形用压力机的公称压力应达到约 175 t^[4]。此外,冷挤压后的工件存在较大的残余应力,易出现弯曲,组织缺陷和微裂纹较多。为成形不同型号的管接头,需安装不同模具,导致生产柔性较低。因此,有必要提出一种成形力小、效率高、柔性强、工件精度高且缺陷少的制坯新工艺。

径向锻造工艺是进行轴管类零件成形的专用工艺,这项工艺于 1946 年出现于奥地利,迄今已有 60 多年的历史^[5]。径向锻造工艺是在自由锻造的基础上提出的,通过高频次小进给量的锻打,能以较小成形力锻造出高性能的工件,具有成形精度高、缺陷少、生产效率高、原材料消耗低、通用性强等优点,近年来发展较快^[6-8]。文中针对 KJ-25 型软管接头芯子进行径向锻造制坯的研究,并介绍该工艺的成形机理和特点。

1 径向锻造原理

德国标准 DIN 将径向锻造表述为:一种减小金属棒料或管料的截面直径的自由成形方法,它以多个锤头环绕于要减小的截面,在其转动的同时进行径向的下压进给。径向锻造的工艺原理如图 1 所示,成形过程是由以下 4 个基本运动配合进行的。

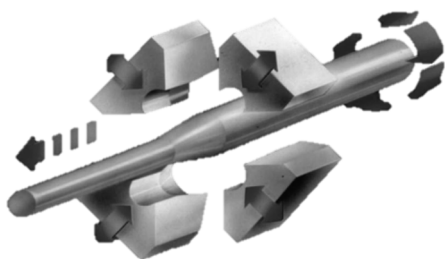


图 1 径向锻造原理

Fig. 1 The schematic diagram of radial forging

1) 多锤头(一般为 4 个)在垂直于坯料轴线的平面上往复运动,对坯料(轴、管件)同步打击,使坯料产生塑性变形。

2) 坯料在夹爪夹持下,绕自身轴线旋转。

3) 夹爪旋转的同时,作轴向运动。

4) 为了锻出不同直径的台阶、锥形轴管管件,锤头还必须作径向进给运动,以改变锤头的闭合直径。以上运动配合,使坯料在多头螺旋式延伸变形情况下拔长变细,并获得良好的锻造组织^[9-10]。

2 径向锻造工艺分析

2.1 毛坯设计

KJ 系列矿用软管接头的芯子具有相似的外形结构,文中选取其典型产品 KJ25 型接头的芯子为例进行研究,该零件如图 2 所示,材料为 45 钢。

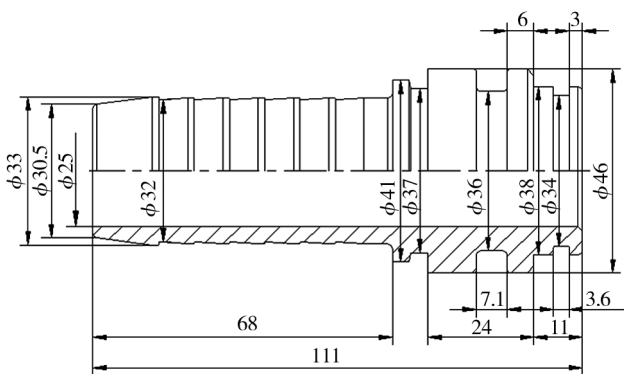


图 2 KJ25 型软管接头芯子

Fig. 2 Dimensions and structure of the inner sleeve of the KJ25 hydraulic hose coupling

由图 2 可知,该工件的特点为:总体呈管状,外表面呈台阶轴状,内表面为直孔,各台阶处壁厚变化较大。基于工件外形和径向锻造特点,制坯时忽略工件表面不易成形的微小特征和凹槽,可得理想的毛坯为具有台阶的三段式管坯,如图 3 所示。

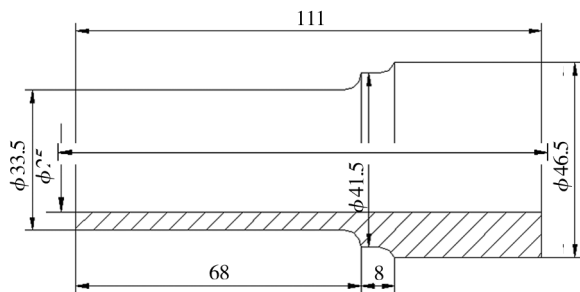


图 3 径向锻造成形的理想毛坯

Fig. 3 Dimensions and structure of the expected billet after radial forging

2.2 工艺流程设计

根据外形特点和高效节能生产的原则,所述毛坯

宜采用质量相等的管坯进行热锻生产,机械手夹持管坯一端,在另一端进行锻造。为保证内孔质量,锻造时应使用圆柱芯轴。对于热锻件,由于表面氧化、脱碳和锻后热处理造成的轴线弯曲,应留有一定的加工余量。管坯的外径略大于工件的最大直径,内孔直径略小于工件内孔,芯轴与管坯内孔为间隙配合,便于芯轴的插入和定位。

由于锻件直径、轴向长度和锻造长度较小,取锻件径向余量为 0.5 mm,大直径两侧的轴向余量为各 0.2 mm。为避免断裂,各台阶均由圆角过渡。考虑到锻造拔长时易使尾部端面呈马蹄形,在锻造一端增加一定的材料,约占锻件总质量的 5%。

径向锻造时,单工步的变形程度取决于锻件形状、材质等因素,变形程度大则生产效率高、变形易锻透,变形程度小则有利于提高表面质量。对于采用芯轴的薄壁管热锻,单个工步的断面缩减率取 30% ~ 60% 为宜。

根据上述分析,按照质量不变的原则可设计出径向锻造制坯的工艺路线,如图 4 所示。对比可知,成品工件质量为 0.454 kg,理想毛坯质量为 0.573 kg;增加了 5% 质量的实际用料为 0.632 kg,对比切削加工(用料约 1 kg)节约材料约 37%。

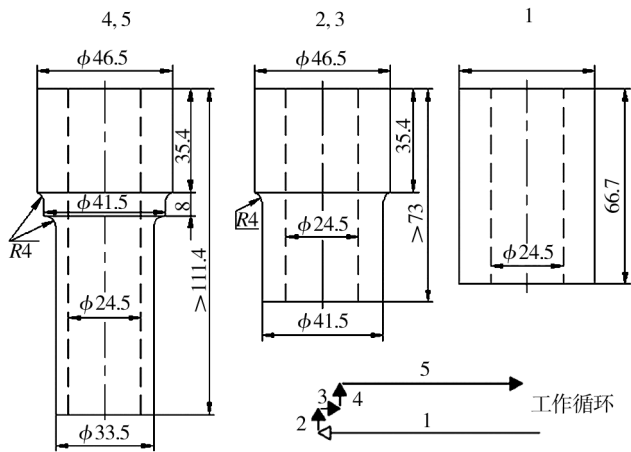


图 4 径向锻造工艺路线

Fig. 4 Steps of radial forging process

2.3 锻模设计

上文所述工艺路线要求锻造时采用拉锻运动方式,并在锻造台阶时采用单纯的径向进给,故锻模圆柱区受力较大。根据文献[2]所述经验公式,锻模圆柱区长度: $L_r = 0.8d_{\max} = 0.8 \times 46.5 = 37.2$ mm,取 $L_r = 35$ mm,式中, d_{\max} 为管坯最大外径。工艺为热锻,锻模的圆锥区可取锥角 $\varphi = 30^\circ$ [11-12]。锻造区应包含在

圆锥区以内,故取圆锥区轴向长度为 $L_c = 20$ mm。锻模不同区域连接处按要求设计相应圆角,最终得到锻模的三维模型,如图 5 所示。

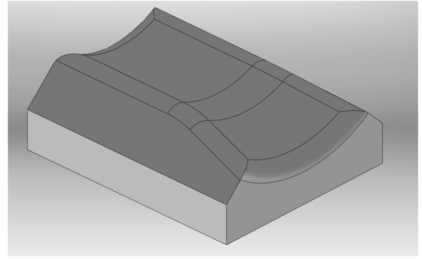


图 5 锻模三维模型

Fig. 5 Structure of a forming die

3 有限元模型的建立

基于以上设计,在金属塑性成形专业软件 FORGE 中构建了工艺模拟的模型,如图 6 所示。模型由管坯、4 个锻模、芯轴和机械手(未显示)组成。

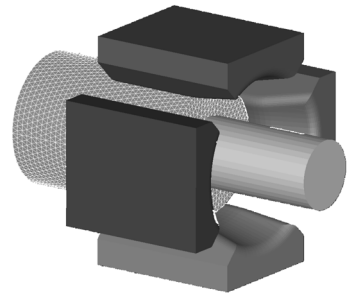


图 6 基于 Forge 的工艺模拟模型

Fig. 6 The FE model of the process under the software environment of FORGE

根据锻件尺寸,参照现有主流的径向锻机的基本参数,在便于模拟的基础上设定了锻造的工艺模拟参数:单锤头公称压力为 80 t,打击频次为每分钟 1200 次,始锻温度为 900 °C,锻件转速为每次打击 15°,轴向进给速度为每次打击 2 mm,径向进给速度为每次打击 1 mm [13]。

4 结果与分析

在模型中添加上述工艺参数并进行了模拟后,分别提取了锻造过程中坯料的温度变化及应力变化云图 [14-15],如图 7、图 8 所示。

由图 7 可知,锻造结束时锻件整体温度下降约 150 °C,而内壁因与芯轴接触降温较快,温度下降约 300 °C,最低温度为 600 °C。故实际生产中,为了保

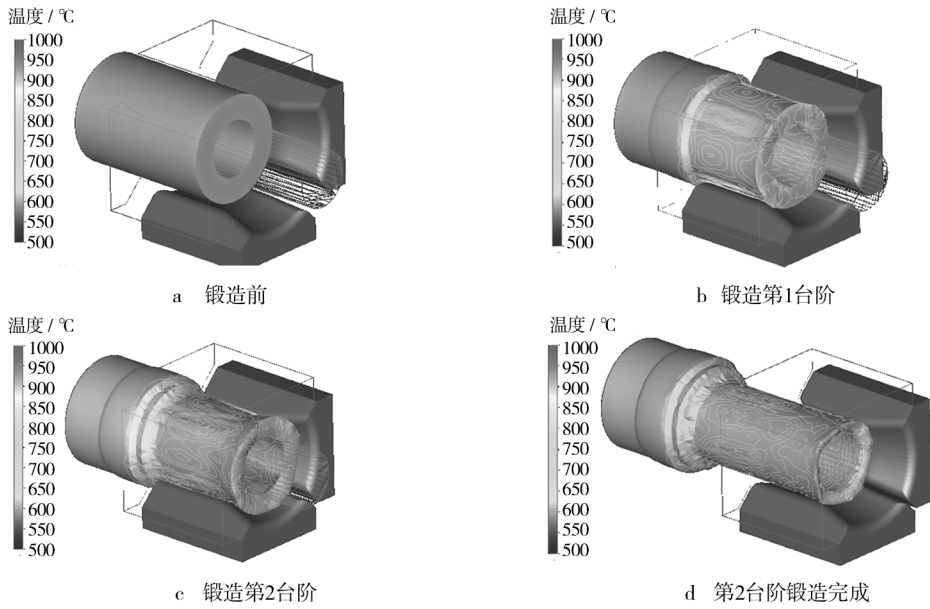


图7 模拟中锻件的温度变化云图

Fig. 7 The temperature field of the workpiece during radial forging process

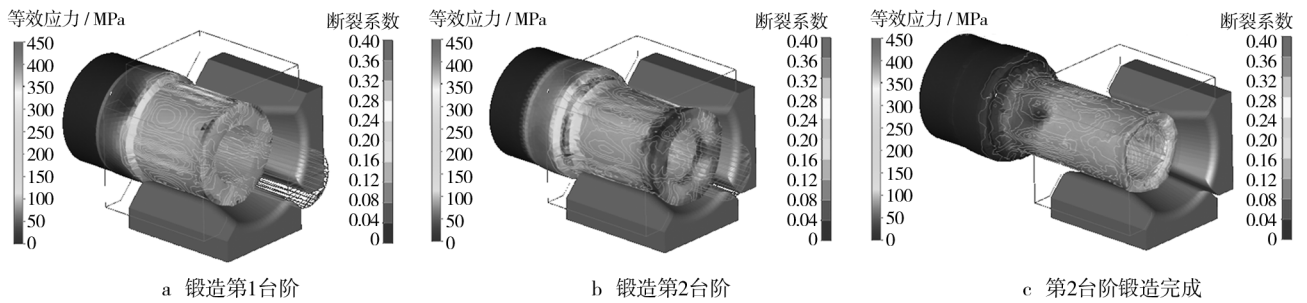


图8 各锻造工步的典型等效应力图

Fig. 8 The stress state of the workpiece during radial forging process

证锻造效率,降低锻造力,应采用尽量高的锻打速度,并采用传热系数较小的材料制作芯轴,以免锻件降温过大。

由图8可知,锻造时的等效应力约为200~300 MPa,断裂指数最高约为0.4,符合热锻工艺要求;芯部和表面应力相近,说明毛坯已锻透。锻造区的锻造组织处于三相压应力状态,有利于锻件性能的提高。

单个锤头锻造成形力的变化趋势如图9所示,可知锻造过程中的最大成形力出现在径向向下压锻造第2台阶处,峰值约为37.3 t,低于目标设备的公程压力80 t,远低于冷挤压该件所需的175 t,故采用径向锻造热锻制坯可有效降低成形力。此外,径向锻造为间歇性锻打,模具与工件接触时间短,每次锻打与坯料产生的相对位移,有利于减少坯料内部缺陷,延长模具使用寿命。

模拟所得工件如图10所示,经测算,其尺寸满足

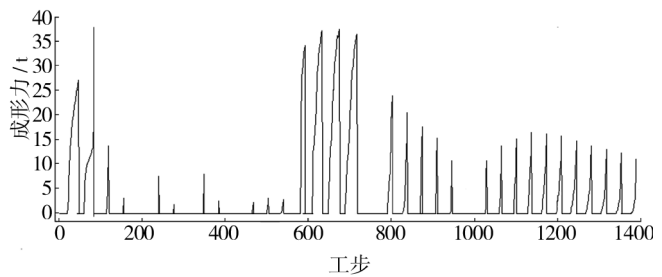


图9 锻造成形力曲线

Fig. 9 The curve of forming force of per forming die

设计要求,且材料处于均匀的多向压应力状态,无弯曲和回弹现象。该锻件在机械手夹持处附近的未锻造区存在一定的局部锻粗,这是锻造时材料流动引起的。此外,由于工件内表面与芯轴存在摩擦,工件端部呈马蹄形。以上结果是由本工艺的特点决定的,可通过锻造区局部加热代替整体加热的方案来加以改善。

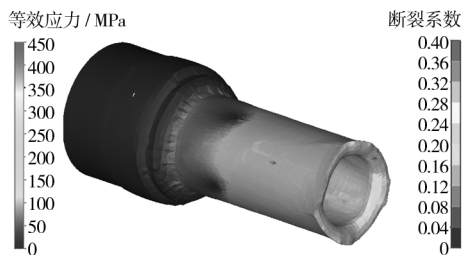


图10 模拟所得最终锻件

Fig. 10 The billet after radial forging in FE simulation

5 结论及展望

提出了一种采用径向锻造方法成形矿用KJ系列软管接头芯子的方法。以KJ25型接头芯子为例,径向锻造制造的坯料较传统切削加工可节约材料37%,锻造组织流线清晰,且处于多向压应力状态,材料缺陷少,利于提高工件性能。与冷挤压制坯相比,多锤头高频小进给量的径向锻造能有效降低成形力,单个锤头锻造力的峰值为37.3 t,远小于冷挤压所需的175 t。此外,径向锻造能有效预防内部缺陷,断裂系数小于0.4,所制坯料无回弹弯曲等现象。综上,所述工艺是一种在实际生产中应用潜力巨大,可替代传统切屑制坯、冷挤压制坯的新方法,值得进一步研究。

通过有限元模拟可知,该工艺所制工件在锻造区附近存在一定的局部锻粗,此外,工件由于内表面与芯轴存在摩擦,使端部呈马蹄形。以上现象可通过锻造区局部加热代替整体加热的方案来加以改善。所述工艺适用于单件生产,连续生产可采用长管坯一次装夹制造多个坯料后分别切断来实现。

参考文献:

- [1] 韩建业,李健,何伟光. 液压管接头冷挤压成形技术[J]. 锻压技术,2006,31(5):104—107.
HAN Jian-ye, LI Jian, HE Wei-guang. Cold Extruding Technology of Hydraulic Tube Adapter[J]. Forging and Stamping Technology, 2006, 31(5): 104—107.
- [2] 乔吉超,李健,韩建业. 矿用液压管接头外套与球芯冷挤压工艺[J]. 铸造技术,2006,27(10):1089—1092.
QIAO Ji-chao, LI Jian, HAN Jian-ye. Cold Extruding Technology of Outer Wear and Spherical Core of Hydraulic Tube Joint for Mine Use[J]. Foundry Technology, 2006, 27(10): 1089—1092.
- [3] 乔吉超,李健. 液压管接头冷挤压成形工艺[J]. 制造技术与机床,2006(5):22—24.
QIAO Ji-chao, LI Jian. Cold Extruding Technology for the

- Outer Cover of Hydraulic Pressure Connector[J]. Manufacturing Technology and Machine Tool, 2006(5): 22—24.
- [4] 中国锻压协会. 特种锻造[M]. 北京:国防工业出版社, 2009.
Confederation of Chinese Metalforming Industry. Special Forging[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2009.
- [5] SEMIATIN S L. ASM Handbook Volume 14 A: Metalworking: Bulk Forming[M]. USA: ASM International, 2005.
- [6] 宋涛,赵升吨,刘洪宝. 径向锻技术的应用及其发展[J]. 重型机械,2012(3):266—269.
SONG Tao, ZHAO Shen-dun, LIU Hong-bao. Application and Development of Radial Forging Technology[J]. Heavy Machinery, 2012(3): 266—269.
- [7] 王文革,高雯. 液压式径锻机锻造变形工艺新技术及特点[C]. 第二届全国宝钢学术年会,上海,2006:403—407.
WANG Wen-ge, GAO Wen. New Technology and Characteristics of Deformation Process for Hydraulic Radial Forging Machine[C]. Baosteel BAC 2006, Shanghai, 2006: 403—407.
- [8] RAUSCHNABEL E, SCHMIDT V. Modern Application of Radial Forging and Swaging in the Automotive Industry[J]. Journal of Materials Processing Technology, 1992, 35: 371—383.
- [9] SAHOO A K, TIWARI M K, MILEHAM A R. Six Sigma Based Approach to Optimize Radial Forging Operation Variables[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2008(1-3): 125—136.
- [10] LAZORKIN V, MELNYKOV Y. New Technologies of Forging of Ingots and Blanks by Four Dies in Open-Die Forging Presses[C]. Pittsburgh, PA, USA, 2011: 326—332.
- [11] GHAEI A, MOVAHHEDI M R. Die Design for the Radial Forging Process Using 3D FEM[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2007(1-3): 534—539.
- [12] LAHOTI G D, LIUZZI L, ALTAN T. Design of Dies for Radial Forging of Rods and Tubes[J]. J Mech Working Technol, 1977(1): 99—113.
- [13] YANG S. Research into GFM Forging Machine[J]. Journal of Materials Processing Technology, 1991, 28: 307—319.
- [14] CHEN J. Study of Void Closure in Hot Radial Forging Process Using 3D Nonlinear Finite Element Analysis[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2012(1): 1—11.
- [15] CHEN J. Three-Dimensional Nonlinear Finite Element Analysis of Hot Radial Forging Process for Large Diameter Tubes[J]. Materials and Manufacturing Processes, 2010(7): 669—678.