

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2014.01.011

高频电液激振冷挤压数值模拟及其减载实验研究*

董明飞, 王志恒, 胡新华, 鲍官军, 杨庆华*

(浙江工业大学 特种装备制造与先进加工技术教育部浙江省重点实验室, 浙江 杭州 310032)

摘要:针对冷挤压成形过程中流动应力大、零件成形所需压力高的问题,提出了一种新的挤压工艺,设计了一种新的电液高频轴向振动激励冷挤压试验平台及相应冷挤压模具。利用 Deform-3D 软件建立了有限元分析模型,分析了在轴向振动激励下该模型的成形过程降载效果,精确地模拟了万向节轴套的冷挤压成形过程的挤压力的变化,比较了传统挤压形式下和轴向振动激励形式下的成形压力值,通过挤压试验验证了模型模拟的准确性。试验结果表明,该新的挤压成形工艺能使万向节杯套成形压力降低 21.78%,减载效果明显。研究表明,这种新的成形工艺可以为一些难成形零件的冷挤压成形加工打下良好基础。

关键词:冷挤压;数值模拟;高频电液激振;万向节轴套;成形压力

中图分类号:TH16;TG376.3

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2014)01-0052-05

Cold extrusion numerical simulation and load reducing with high-frequency electro-hydraulic vibration

DONG Ming-fei, WANG Zhi-heng, HU Xin-hua, BAO Guan-jun, YANG Qing-hua

(Key Laboratory of E&M, Ministry of Education & Zhejiang Province, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310032, China)

Abstract: Aiming at reducing the problems of large flow stress, high parts forming pressure in cold extrusion, a new technological measures was put forward, a new axial vibration excitation test platform and die of cold extrusion was designed. Finite element analysis model was established with Deform-3d, the load shedding of model forming process was analyzed under axial vibration excitation, the forming pressure of universal joint shaft sleeve was simulated accurately, the forming pressure between traditional extrusion form and axial vibration excitation form were compared, the accuracy of FEM was verified by experiment. The experimental results indicate that new extrusion measures can reduce the forming pressure of universal joint shaft sleeve by 21.78%. Through experimental research, the new forming process can lay the foundation for some difficulty forming parts in cold extrusion.

Key words: cold extrusion; numerical simulation; high-frequency electro-hydraulic vibration; universal joint shaft sleeve; forming pressure

0 引言

冷挤压是金属塑性成形中的一种先进的工艺方法,冷挤压生产相比于传统机械加工,具有效率高、材料省、成本低、零件力学性能好以及表面质量好等优点^[1],因此冷挤压技术在汽车、轻工、航空航天、军工、

日用五金等行业中都有着极为重要的应用。然而,金属在塑性成形过程中,变形抗力高、流动应力很大、模具易损坏以及对挤压设备有很高要求,假使压力机设备吨位不足,极易导致挤压产品产生挤压不足等缺陷。因此,研究并开发一种能够在塑性成形中降低载荷值的新冷挤压工艺具有重要意义。

收稿日期:2013-09-06

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51275475);浙江省科技厅资助项目(2012C21112)

作者简介:董明飞(1988-),男,浙江建德人,主要从事金属塑性成形及数值仿真方面的研究。E-mail:zjhdmf@163.com

通信联系人:杨庆华,男,教授,博士生导师。E-mail:king@zjut.edu.cn

随着汽车工业的发展,对于汽车零部件要求也越来越高,因此对于制造过程中的环保问题要求也随之增高,对于一些原本需要在大吨位压力机成形的零件,若能在较低吨位压力机上成形这些需要较高吨位的压力机成形的零件,那么对于企业成本的降低有着积极的促进作用,同时可以将原来需要在热挤下成形的零件在冷挤压下的成形变为可能,以降低能耗、减少环境污染。

对于附加振动金属塑性成形的研究,早在 1955 年 Blaha F 和 Langenecker^[2] 发现并提出附加超生振动在单晶体 Zn 的塑性成形,可以减小其变形过程中变形抗力。此后,相关研究人员进行了深入地研究^[3-6]。目前,超声振动加工已经广泛应用于拉丝、拔管、薄板成形^[7-9]等工艺中。K. Osakada^[10] 在第 5 次中日精锻交流会上发表了《挤压筒的可驱动锻造加工法研究》论文,文中介绍在轴向驱动下,筒形件在闭塞挤压时材料流动规律,以上所述振动激励形式均为以超声波为载体的激励形式,可以减小成形过程中的成形压力,但是激振力较小,难以应用到需要较大挤压力的冷挤压中。受此启发,一种新的电液式轴向振动激励形式被提出并用于解决在实际冷挤压成形中挤压力大的问题,通过该方法可促进挤压时金属流动,改善摩擦状态,从而达到降载目的。

以万向节轴套作为试验对象,本研究分别通过 DEFORM-3D 建模模拟以及对零件成形挤压试验的论证,说明通过施加一个周期变化的信号在凹模上,使凹模作微小振幅的周期振动,可以降低零件成形力,实现低吨位液压机成形以往需要高吨位液压机才能成形的零件。

1 有限元建模与分析

1.1 建模

万向节轴套零件图与三维图如图 1 所示,本研究在 DEFORM-3D 中完成对图 1 中万向节轴套的数值模拟,以便确定试验正确性,通过模拟该零件成形过程成形载荷,以获得该零件成形所需成形载荷值,而在冷挤压中,载荷值是判别金属塑性成形能否继续进行至完成所需零件的一个重要依据。

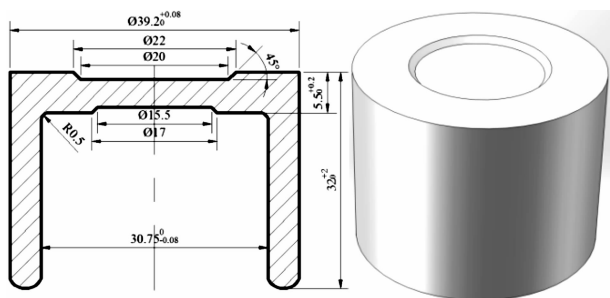


图 1 万向节轴套零件图与三维图

本研究建立了数字模拟三维模型,在导入 stl 格式模型前,为了提高数值模拟计算速度,根据该零件特点采用了对称性原则,导入模型前需要先对该模型进行简化,该模型取 1/8 进行数值模拟分析,实验模型简化图如图 2 所示。

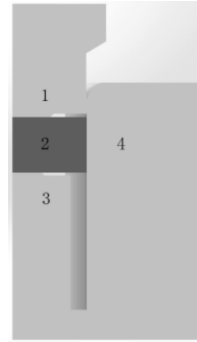


图 2 万向节杯套有限元分析模型

1—凸模;2—零件毛坯;3—下凸模;4—凹模

1.2 有限元模拟参数设置

该模型使用 DEFORM-3D 默认四面体单元网格,网格单元细化为 26 523 个,实际实验使用为国家标准 20Cr 作为挤压实验材料,对应于 DEFORM 材料库为美国标准 ANSI-5120 钢,试验所用材料成份特性如表 1 所示。模具与坯料之间采用剪切摩擦模型,摩擦系数为 0.12,凸模挤压为恒定速度 10 mm/s,凹模以及下凸模加载振动频率为 100 Hz、振幅为 0.03 mm 的振动信号,模拟步长选择为 0.01 mm,选择终止条件为凸模位移,当凸模位移为 12.05 mm 时,模拟终止。

表 1 试验 20Cr 化学成份(单位:%)

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu
0.21	0.27	0.45	0.025	0.025	0.085	0.015	0.015

1.3 行程载荷分析

本研究通过模拟成形过程凸模所受载荷来反应冷挤压零件成形受力载荷,在传统无振动激励下行程-载荷曲线和施加振动激励下 1/8 模型的行程-载荷曲线比较图如图 3 所示。从图 3 中可以看出,在两种挤压成形形式中,载荷随行程变化。

该轴套零件成形采用的是正挤压成形,更能保证零件尺寸稳定,在传统无振动激励成形中,成形主要有 3 个阶段:在 A 阶段凸模下行,与毛坯接触产生塑性变形,对坯料进行初步墩粗,挤压力急剧升高,当达到 B 阶段时,该阶段坯料开始向下凸模模口流动,该过程改变毛坯的高度,而变形区域不变,则这一过程表现出的是载荷值处于一个较为平稳状态,在 C 阶段为成形终了阶段,由于毛坯高度减小,其真实接触面积率 β 减

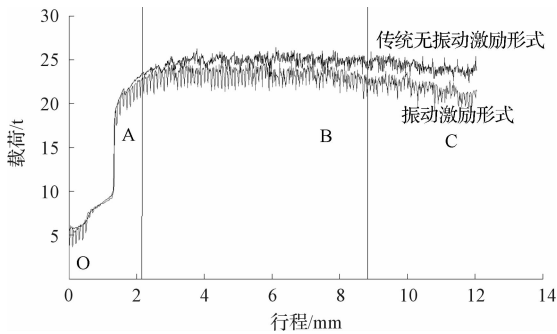


图 3 行程-载荷曲线比较图

小,使得摩擦阻力减小,表现出来的是整个载荷值的降低过程,直到挤压结束阶段载荷值提高。

通过对传统成形工艺的基础上加入频率为 100 Hz、振幅为 0.03 mm 正弦信号振动激励后产生的载荷曲线中可以看出,整体载荷值较无颤振激励挤压成形呈现一个较为明显的下降趋势。针对这一现象,目前从表面效应分析振动降载原因可以归结为:①模具与工件之间的瞬间分离,工件内应力瞬间得到释放;②促使润滑剂易于进入工件与模具接触面,改善了润滑条件,减小了摩擦;③模具在一定频率振动激励下,使得在振动周期内的一定时间内模具与材料摩擦矢量反向,使原本阻碍金属流动的摩擦阻力变成摩擦动力。不同工艺下成形过程两类形式载荷比较如表 2 所示。

表 2 成形载荷比较

类型	1/8 模型载荷/t	零件载荷/t
最大成形载荷 - 无振动	26.23	209.84
最大成形载荷 - 振动	24.06	192.48
最终成形载荷 - 无振动	21.4	23.8
最终成形载荷 - 振动	190.4	171.2

试验对象对于采用传统的无振动激励的冷挤压成形最大成形压力为 26.23 t, 整个零件成形压力为 209.84 t; 而加入振动激励后挤压成形最大成形压力为 24.06 t, 整个零件所需成形压力为 192.48 t, 按最大成形压力比较, 则成形压力降低了 21.76 t, 最大成形压力比传统方式降低 8.33%, 终了成形压力降低 10.1% (不同工艺挤压力分别是 190.4 t、171.2 t), 可知通过施加振动激励, 整个万向节轴套零件成形的降载效果较为明显。

2 振动激励试验研究

2.1 试验装置

轴向振动激励冷挤压成形试验平台简图如图 4 所示。试验平台主要由模具、振动台、控制器、高频阀组成, 振动台安装在液压机台面上, 再将模具连接到振动

台上, 为了尽量减少不必要的能源浪费, 每次试验时当凸模下行进入凹模模口再启动振动平台工作, 试验在 YSR98-650T 液压机上进行。

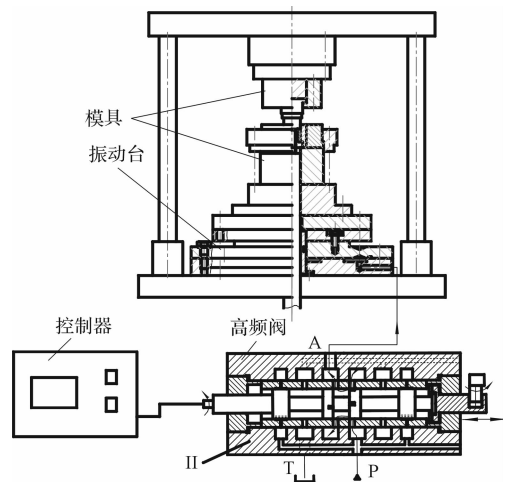


图 4 轴向振动激励冷挤压成形试验平台简图

为了给冷挤压模具施加一个合适、有效的振动信号, 本研究设计的振动台如图 5 所示, 该振动台的工作方式采用电液发生式, 相对于机械式和电动式, 电液发生式振动台具有无极调频, 方便调整合适的频率, 输出作用力大, 系统自动化性能好。振动台结构简单, 上、下板形成一个密闭的密封腔, 密封腔内下板内腔设计为岛屿式, 岛屿与上板面有一定的间隙, 这样方便油液填充整个密封腔上板面, 以及避免上板受冷挤压压力过大而产生密封腔塌陷变形, 在上板上方连接着模具连接板, 方便对接试验模具, 上板部分内外两侧开有圆弧槽, 目的是使高频阀输出的周期变化高压油液作用在密封腔内, 使上板可以产生微小变形, 激励模具作微振幅振动。

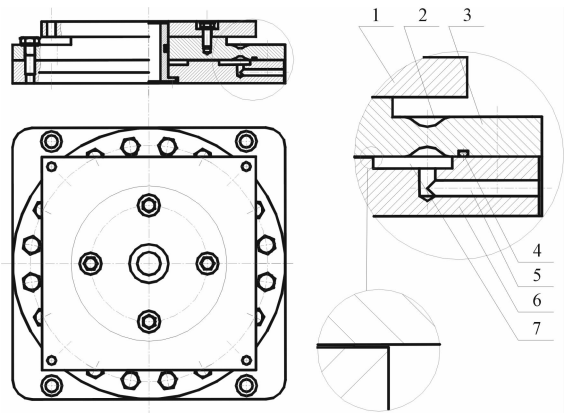


图 5 振动台结构简图

1—模具连接板; 2—圆弧凹槽; 3—上板; 4—O型密封圈; 5—油道; 6—下板; 7—油液作用腔

2.2 轴向振动激励冷挤压成形压力变化试验研究

试验平台及模具装置的连接图如图 6 所示, 在常

温下,比较传统挤压方式与施加振动激励挤压两种方式对 20Cr 进行冷挤压成形的成形压力变化,试验中选取材料为 20Cr,并选用剪切下料的坯料经过镦粗后尺寸为 $\Phi 39 \text{ mm} \times 15 \text{ mm}$,再经过退火、磷皂化处理,即得到可用于冷挤压试验的毛坯。

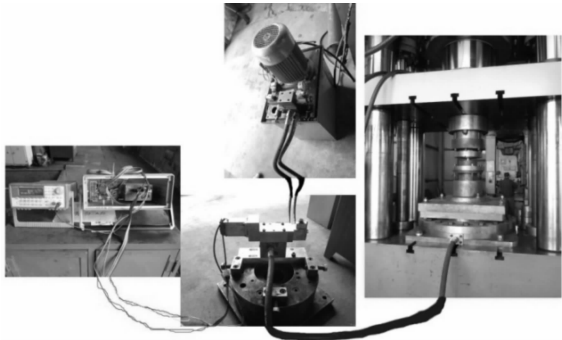


图6 试验装置

为保证所有用于实验数据的准确性,本研究提供了一种成形零件检测工具,零件检测装置简图如图7所示,具体测试方法为:将每次成形好的被检零件放在工作平台的支持凸模上,转动被检万向节轴套零件,一则看杯底平面跳动,检查是否合格,另一个就是获得成形件轴套杯底厚度 H_1 的一个相对值,合格零件轴套杯底厚度具有一个规定的小偏差,所有实验样本零件均在这个偏差范围内,满足要求。试验的标准是对每一个成形试件,按照该企业标准,检测万向节套杯零件底部壁厚成形高度跳动变化,记为有效试验个数,试验共对两种成形方式各进行 50 次有效试验,每挤压一个零件中途间隔一定时间,然后进行下一个零件的挤压成形操作,并获得不同成形方式下的成形压力。

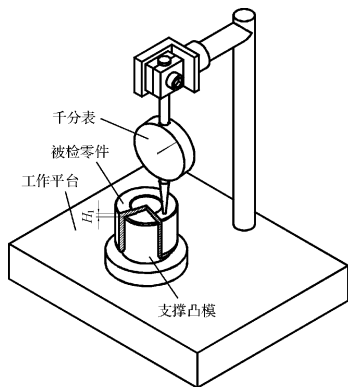


图7 零件检测装置简图

根据 50 组测得的成形压力试验数据绘制的两种成形方式下零件成形压力(单位:MPa, 液压机压力/MPa 和载荷值/t 的关系为:1 MPa \rightarrow 28.26 t)分布点连接曲线如图8所示,振动挤压试验施加 100 Hz 振动频率进行测试,通过以是否施加振动为条件,各进行 50

组实验数据对比。通过试验获得的传统无振动方式挤压成形压力均值为 8.45 MPa(238.8 t),振动激励方式成形压力均值为 6.61 MPa(186.8 t),试验得到的结果为通过轴向振动激励使成形压力降低了 21.78%,由于实际挤压试验,试验设备存在各运动部件的摩擦,读表法采集试验数据与数值模拟分析数据会有一些的偏差,数值模拟和实际试验中相同的一点就是该新的振动激励冷挤压工艺可以降低冷挤压成形压力。因此,试验结果证明了在轴向振动激励下可以显著降低冷挤压零件成形的成形压力,为企业在选择小型化吨位液压机成形原本需要大吨位液压机成形的零件提供了一种重要途径,同时对于一些难成形的零件冷挤压成形提供了一种途径。

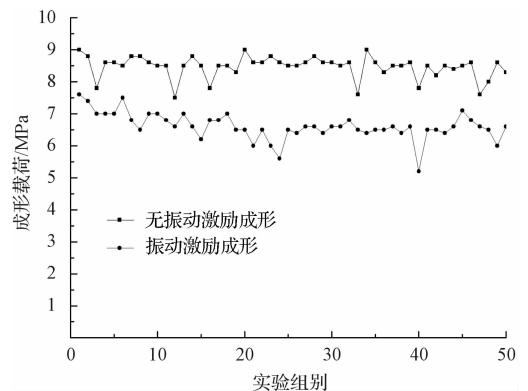


图8 两种方式下成形压力比较曲线

3 结束语

本研究提出了一种采用电液式轴向振动激励形式的冷挤压成形新工艺方法,通过 Deform-3D 模拟分析行程-载荷以及对 20Cr 坯料在不同成形工艺下进行的挤压试验,得到如下结论:

(1)通过 Deform-3D 仿真分析,得到该形式的振动激励对冷挤压成形起到促进金属流动作用,通过施加振动后,成形过程载荷值比未施加振动激励成形载荷有明显降低。

(2)试验结果表明:所提出的电液式轴向振动激励形式的冷挤压成形新方法在对零件进行挤压成形中可以降低成形力,减少了企业对设备及模具的投入。

参考文献 (References):

- [1] 洪慎章. 冷挤压实用技术[M]. 北京:机械工业出版社, 2005.
- [2] BLAHA F, LANGENECKER B. Elongation of zinc monocrystals under ultrasonic action[J]. *Die Naturwiss*, 1955, 42(20):556.
- [3] LANGENECKER B. Effect of ultrasound on deformation characteristics of metals[J]. *IEEE Transactions on Sonics*

Ultrasonics, 1966, 4(3) :1-8.

[4] CULP D R, GENCSOY H T. Metal deformation with ultrasound[R]. *Ultrasonics Symposium*, 1973:195.

[5] HAYASHI M, JIN M, THIPPRAKMAS S, et al. Simulation of ultrasonic-vibration drawing using the finite element method (FEM) [J]. **Journal of Materials Processing Technology**, 2003, 140(1-3) :30-35.

[6] WEN T, PEI C L, LI C K. Application of vibration in plastic forming processes [J]. **Hot Working Technology**, 2009, 38(1) :114-117.

[7] GEBHARDT J, FUNKE P. Ziehenvon drahten mituberlagerten ultraschall schwingungen-Teil I/II [J]. **Draht**,

1983, 34(5) :199-204.

[8] PASIERB A, WOJNAR A. An experimental investigation of deep drawing and drawing processes of thin-walled products with utilization of ultrasonic vibrations [J]. **Journal of Materials Processing Technology**, 1992, 34(1-4) :489-494.

[9] 张士宏. 金属材料的超声塑性加工 [J]. *金属成形工艺*, 1994, 12(3) :102-106.

[10] OSAKADA K, HANAMI S, WANG X. Precision Closed Die Forging of Spline with Axially Driven Container [C]// The processings of the 47 th Japanese Joint Conference for the Technology of Plasticity, 1995 :255-256.

[编辑:张 翔]

本文引用格式:

董明飞, 王志恒, 胡新华, 等. 高频电液激振冷挤压数值模拟及其减载实验研究 [J]. *机电工程*, 2014, 31(1) :52 - 56.

DONG Ming-fei, WANG Zhi-heng, et al. Cold extrusion numerical simulation and load reducing with high-frequency electro-hydraulic vibration [J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2014, 31(1) :52 - 56. 《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>

(上接第 51 页)

Point3f P = new Point3f() ;

```

.....
P.x = c1 * (L[1] * c2 + L[2] * c23 + L[3] * c234) ;
P.y = s1 * (L[1] * c2 + L[2] * c23 + L[3] * c234) ;
P.z = L[1] * s2 + L[2] * s23 + L[3] * s234;
return P ;}

```

逆运动学仿真实现的关键代码如下:

```

public class Joint_move_in {
Public float Inversekinematics (float m_fEndPoint[], float L
[], float Angle[], float r) { Point3f P = new Point3f() Angle
_temp[0] = (float) Math. atan(P.y/P.x) ;
.....
Angle[3] = (float) ( Angle_temp[3] * 180/Math. PI) ;
return Angle[4] ;}

```

5 结束语

通过应用 Java3D 可以开发出具有高度视觉真实感的 3D 图形应用程序。该程序可成为 Applet 被插入到 HTML 中用支持 Java 的网页浏览器进行操作,并在浏览器上实现浏览或交互,以及实现基于 Web 的特点。它的最大优势在于代码的可传输性,生成的可视化场景由服务器方便地传输给客户端,然后在客户端本地运行。正因为如此,结合 VRML 文件的通用性和 Java3D 对三维场景强大的操作性及跨平台性,Java3D 被用来在网页上构造动态的三维世界和虚拟现实。构建基于 Java3D 的网络交互式三维虚拟环境对开发机械臂运动仿真系统具有很大的意义。

下一步,本研究将充分发挥 Java 3D 在网络三维仿真领域的强大优势,继续深化 Java3D 机械臂仿真系统的开发。

参考文献 (References) :

[1] SUN Inc. . Java3D/Tutorial [EB/OL]. [2005 - 05 - 07]. <http://java.sun.com/products/java-media/java3D>.

[2] 都志辉. Java3D 编程实践 - 网络上的三维动画 [M]. 2 版. 北京:清华大学出版社, 2002.

[3] 张 杰. Java3D 交互式三维图形编程 [M]. 3 版. 北京:人民邮电出版社, 1999.

[4] 鲍彦如,任长明. Java3D 实现 VRML 浏览器新途径 [J]. *计算机应用研究*, 2001, 12(2) :23-25.

[5] 黄铁军,柳 健. VRML 国际标准与应用指南 [M]. 北京:电子工业出版社, 1999.

[6] 李 敏,丁友东. Java 图形与动画编程实例 [M]. 北京:清华大学出版社, 2003.

[7] 王 鹏,何昀峰. Java Swing 图形界面开发与案例详解 [M]. 北京:清华大学出版社, 2008.

[8] 邓文生,马王俊美. Java3D 扩展鼠标交互功能的研究与实践 [J]. *计算机仿真*, 2007, 4(3) :176-179.

[9] 蔡自兴. 机器人学 [M]. 北京:清华大学出版社, 2000.

[10] 王庭树. 机器人运动学及动力学 [M]. 西安:西安电子科技大学出版社, 1990.

[11] 侯国柱,孔庆忠. 关节型机械臂运动学分析及雅可比矩阵求解 [J]. *宁夏工程技术*, 2007, 5(4) :36-38.

[12] 姜宏超,刘士荣,张波涛. 六自由度模块化机械臂的逆运动学分析 [J]. *浙江大学学报:工学版*, 2010, 44(7) :1348-1354.

[编辑:张 翔]