

冷弯成型局部大变形测试装置的设计与研究

倪正银¹, 吴振强², 张曙红³

(1. 山东交通学院 数理系, 山东 济南 250023; 2. 中国科学院力学研究所, 北京 100080;
3. 昆明理工大学 建筑工程学院, 云南 昆明 650093)

摘要: 冷弯成型变形复杂, 事先难以预测其变形效果。根据冷弯成型的特点和变形规律设计出基于万能试验机上的局部大变形测试装置, 并应用此装置对冷弯成型过程进行回弹分析, 为冷弯成型理论分析和使用 ANSYS LS-DYNA 对冷弯成型分析提供科学依据。

关键词: 冷弯成型; 大变形; 回弹; 测试装置

中图分类号: TG306

文献标识码: A

文章编号: 1672-0032(2006)02-0056-04

冷弯型钢一般是以热轧或冷轧带钢作原料, 在常温状态下, 经过辊式弯曲成型机组加工, 弯曲成各种断面形状的型材。其从力学上表现为板带在纵向的弹性拉伸和压缩变形以及横向的弹塑性弯曲变形, 实质上是板带的纵向小弹性变形与横向大位移的复杂问题。由于其变形复杂, 事先难于预测变形效果, 迄今为止, 冷弯技术仍主要基于经验公式, 依赖试错法获取工艺规律, 在实际生产中表现为开发新产品的周期长。本文是基于万能试验机上设计的冷弯成型装置, 并借助该装置, 探索槽边相对比较较大的变边 C 型钢的变形规律以及 C 型钢的回弹效应。

1 冷弯成型研究现状

1.1 数值模拟研究现状

20 世纪 80 年代以来, 国内许多学者对冷弯成型力学、冷弯成型机理作了大量的研究, 取得了一定进展。冷弯型钢在成型过程中, 以腿部(以槽钢为例)材料的变形最大, 所以对这一部分材料变形的分析仍是冷弯成型研究的重要内容。近年来随着计算机的普及和数值计算方法的改进, 为冷弯成型过程的研究提供了强有力的工具。其应用主要表现在 2 个方面:

1) 冷弯成型工程的数值模拟, 分析板材在成型过程中的变形、应力和回弹分析。

2) 用计算机完成辊花设计, 实现设计制造(CAD/CAM)一体化, 建立冷弯 CAD 柔性系统和冷弯 CAD 专家系统。

目前, 对冷弯成型过程的有限元分析和模拟仿真是研究的热点^[1,2]。

1.2 冷弯成型实验研究现状

实验研究是冷弯成型研究十分重要的组成部分, 主要有 2 种形式, 真实成型实验(在辊弯成型机组上完成实验)和模拟实验。目前, 国内在冷弯成型实验方面的研究主要在真实实验研究上。槽钢、焊管的成型过程是冷弯成型的典型代表, 实验一般以这 2 种成型过程为研究对象。此外, 由于生产实践需要, 一些学者在环行件立弯成型、冷弯成拱、宽幅断面冷弯成型等方面也进行了研究以改善冷弯产品形状、尺寸精度、防止缺陷、探索冷弯变形特征、规律以及合理的变形分配模型。研究的对象一般是型钢变形过程的曲面形状、纵横向变形、回弹量、成型力等^[3,4]。

冷弯成型模拟实验还处于起步阶段, 没有成熟、规范化的标准实验手段, 现有的模拟实验研究对象各不相同, 研究方式也有区别。国外学者对镀锌板冷弯成型中镀层破裂现象、电焊成型过程的轴型应变

收稿日期: 2006-02-27

作者简介: 倪正银(1978-), 男, 河南温县人, 山东交通学院助教。

分布等做了相应研究。国内学者对冷弯成型模拟实验研究较少。

2 冷弯成型大变形测试装置的设计

2.1 设计依据

冷弯成型是复杂的板带加工工艺,加工过程伴随着材料的大变形(弯曲角度大于 80°)和超塑性,是动态的变形过程。在辊弯机组加工的过程中,由于板带运行速度快、现场环境复杂,无法较精确地测量板带在成型过程中的变形。所以,国内在冷弯成型实验方面的研究一直比较少,这与国内冷弯型钢的快速发展极不相适应,不能满足市场多品种、低成本、高尺寸精度和表面质量的要求。同时,为了给冷弯成型理论研究、有限元分析、有限元数值模拟提供有利的实验数据,我们结合材料力学实验室现有的仪器设备,本着简单、易于操作的原则,简化冷弯成型条件,设计出了冷弯成型局部大变形测试装置。

本装置近似模拟了冷弯型钢辊式加工过程,能够比较容易和精确地测定每道工序加工后板带的受力和变形。此外,该装置还可以测定冷弯型钢在冷弯成型过程中的应力分布、变形和回弹量的大小。

2.2 测试装置的构造及其原理

大变形测试装置是由万能实验机、冷弯成型变形模具、成型钢板、变形测试4部分组成,图1是该装置模拟板带冷弯变形部分。其中冷弯成型变形模具由上夹板、下夹板、侧板(2个)3部分组成,侧板与下夹板用铰链连接可自由转动。两侧侧板的弯曲角度小于 90° ,满足实验条件。

在此实验中,成型钢板的厚度在 $2\sim 6\text{ mm}$ 之间。上下夹板用 $4\sim 6$ 个螺栓拉紧,成型钢板在加载荷时,中部不产生弯曲变形,弯曲只发生在带铰链的板的跟部附近。铰链的轴要求有足够的抗剪能力。万能实验机作为施力装置,压力在 $5\sim 15\text{ kN}$ 之间,作用在上夹板上,上夹板带动成型钢板、下夹板一起向下运动。板材在冷弯成型的过程中,主要是两边侧板提供压力,使板材弯曲变形。如图2所示,由于万能实验机上两边支座的影响,冷弯装置的两侧侧板向中间转动,从而带动冷弯钢板弯曲成型。板材在冷弯装置中的变形与实际中冷弯成型是有区别的,在实际的冷弯成型中,板材有纵向的弹性拉伸和压缩变形。横向的弹塑性变形也是逐步、连续的变形过程,板带在轧辊之间的变形是相互影响的。本装置近似模拟板带在冷弯成型过程中的一部分变形^[4-7]。

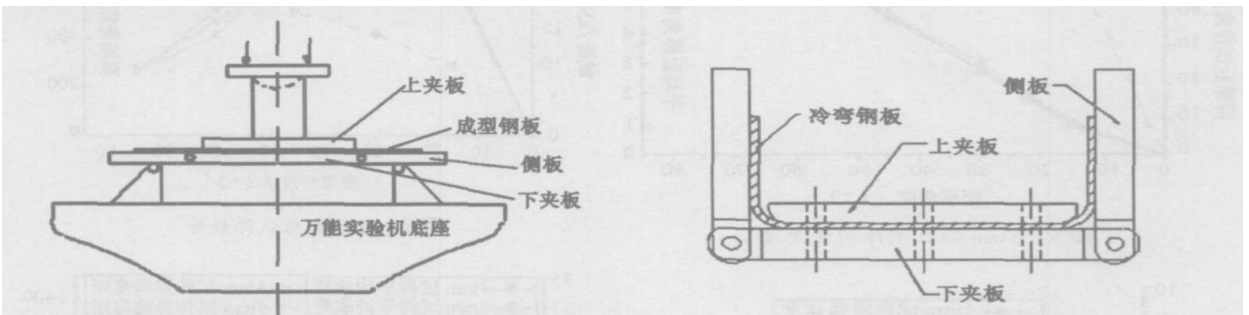


图1 板带成型装置图

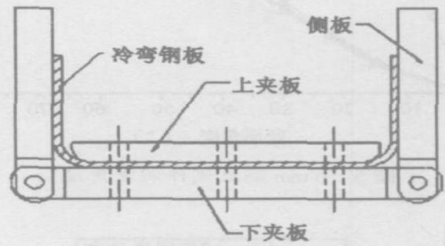


图2 板带装置的变形图

3 大变形测试装置测试过程

在本实验中,取长为 200 mm 、宽为 100 mm 、厚度为 $2\sim 6\text{ mm}$ 等型号的钢板为试件(试件上不穿孔),把已粘贴好应变片的试件放在上下夹板中间,固定好螺栓。在成型钢板的两侧各贴有两排大约 $10\sim 14$ 个应变片,用于测量侧板附近成型钢板的应变,以了解钢板内的应力分布。应变用 YD-15 型动态电阻应变仪测量。在板材成型过程中,由于板材腿部的变形过大,应变的测量在开始是精确的,后来的数值不能采用。

同时,在钢板弯折过程中,弯曲角度每增加 $10\sim 15^\circ$ 作为一个载荷步,需要记录万能试验机的载荷数值。为了数据的精确性和稳定变形,在加载荷时应当慢速、匀速。由于成型钢板角度变化较大,可以

用量角器和千分尺直接测量。

4 实验结果及分析

本实验中采用3组4 mm和6 mm 钢板(480mm × 240 mm、材质 Q235)为试件,每增加15(°) 弯曲角为一个载荷步,记录其回弹量,对其实验数据处理后的曲线形式如图3~ 8。

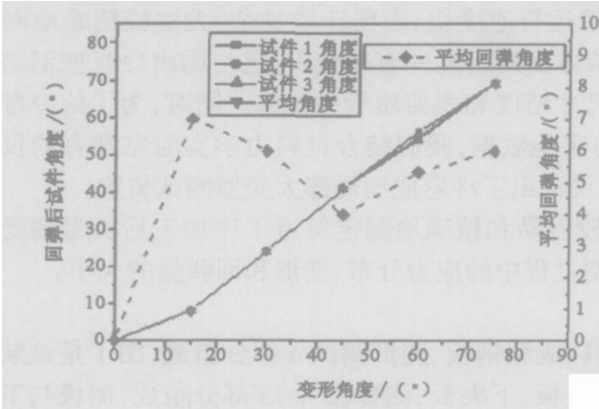


图3 4 mm 钢板试件回弹角度

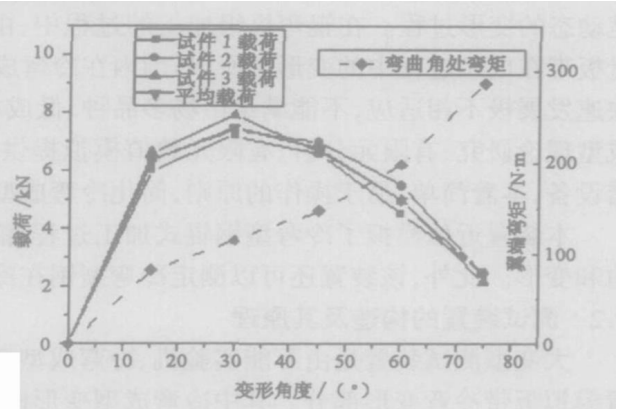


图4 4 mm 钢板试件载荷

从图3可看出,3个试件中,回弹后变形角度差距不大,几乎相同,从平均回弹角度曲线(虚线)可看出,试件在开始的回弹角度较大,后降低,在45(°)左右又开始变大。由图4的虚线可知作用在试件弯曲角处的弯矩是逐渐增大的。

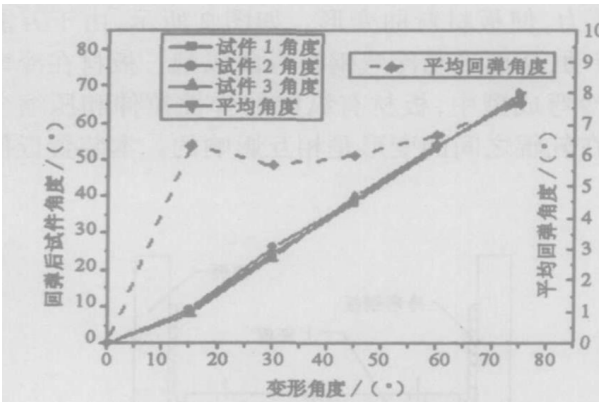


图5 6 mm 钢板试件回弹角度

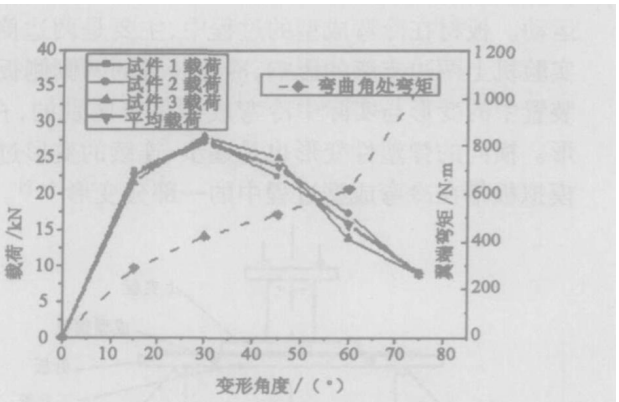


图6 6 mm 钢板试件载荷

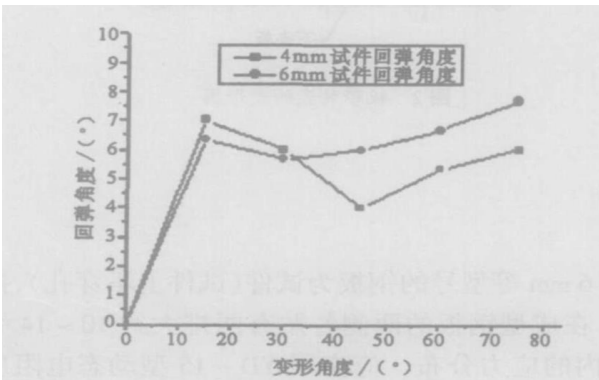


图7 测试试件回弹对比图

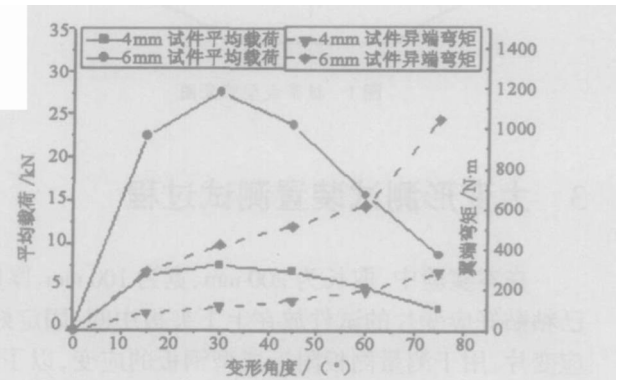


图8 测试试件载荷对比图

图5反映了6 mm 钢板试件的平均回弹角度的变化趋势与4 mm 试件类似,开始回弹角度较大,在30

~ 50(°) 之间回弹角度有所减少, 后又增大。图 4 和图 6 反映了在回弹测试中, 载荷的变化情况, 4 mm 试件与 6 mm 试件的万能实验机上的载荷示数都是先增加, 后降低。4 mm 钢板试件的最大载荷约在 8 kN 左右, 6 mm 钢板试件的最大载荷在 30 kN 左右。

图 7 反映出 2 种试件都是在开始的回弹较大, 后降低, 4 mm 试件在 45(°) 左右回弹角度一直增加, 6 mm 试件在 30(°) 左右回弹角度开始增加, 从 30(°) 后, 6 mm 试件的回弹角度大于 4 mm 试件的回弹角度, 相差在 1.5(°) 左右。一般来说, 试件的回弹角度随厚度的增加而增加。

从图 8 可看出, 在回弹测试中, 对于厚度不同的 4 mm 和 6 mm 试件, 万能试验机的载荷示数与作用在试件翼端的总弯矩的变化趋势是相同的, 只是在数值上相差约为 4 倍。

在该实验中, 试件翼端变形一直保持直线, 只在弯角处发生较大的弯曲, 两边侧板给试件的压力不是均布或线性的作用力分布。此外, 可以通过选用不同上夹板导角半径、板带的厚度、两翼端的长度、每次的成型角度等, 观察其对板材内部的应力分布以及回弹量大小的影响。可知, 试件回弹量的大小与板材的厚度、翼端的长度, 以及试件的材料性质是紧密相关的。

5 结 论

冷弯成型大变形测试装置是在对冷弯成型过程的综合分析下设计的, 是对槽钢冷弯成型过程的近似模拟, 结构简单、造价低。应用此测试装置能较容易地测量出冷弯钢板的变形、回弹量等基本量, 为冷弯成型过程理论分析和有限元分析提供了有利的实验数据, 为冷弯型钢加工工艺提供科学依据, 对改善冷弯型钢加工工艺、提高产品质量、产品研制、新产品的开发具有重要意义。

同时, 国内学者对冷弯实验的研究较少, 特别是冷弯成型模拟实验方面的研究。本装置是基于使用大型结构软件 ANSYS/LS-DYNA 对冷弯成型模拟的校核而设计的, 为了更好地满足科学研究需要, 此装置还有待于进一步的改善和提高。

参考文献:

- [1] 石 京, 王先进. 国内外冷弯成型最新进展[J]. 轧钢, 1998, (5): 45- 48.
- [2] 姜复生, 袁晓光. 我国冷弯型钢的特点和发展[J]. 钢铁, 2000, (9): 73- 79.
- [3] 韩志武, 徐树成. 冷弯成型过程的实验研究[J]. 钢铁, 1999, (11): 34- 40.
- [4] 刘向东, 高丽华, 王成轩. 冷弯型钢临界弯曲半径的影响因素分析[J]. 机械工艺师, 1999, (2): 6- 7.
- [5] 李国忠. 冷弯型钢变形特性分析及实验测定[J]. 江苏冶金, 1990, (6): 2- 6.
- [6] 秦 旭, 张 禹, 陈智勇. 冷弯成拱的实验研究[J]. 重型机械, 2002, (2): 267.
- [7] Hua Z W, Liu C, Lu W P. The Effects of Forming Parameters in the Roll-forming of a Channel Section With an Outer Edge[J]. Journal of Material Process Technology, 2001, (10): 205- 210.

Testing Devices Designs of Local Large Deformation Based on Roll Forming Process

NI Zheng-yin¹, WU Zhen-qiang², ZHANG Shu-hong³

(1. Department of Physics and Mathematics, Shandong Jiaotong university, Jinan 250023, China; 2. Mechanics graduate School of CAS, Beijing 100080, China; 3. School of Architecture Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

Abstract: Cold roll forming is a process with complex distortion and hardly estimate in advance, Based on characters of roll forming process, springback analysis and material mechanic machines, testing devices of local large deformation were designed. The study of these devices provides proofs for theoretic analysis and ANSYS/LS-DYNA simulation of cold forming process.

Key words: cold roll forming; large deformation; springback; testing devices

(责任编辑: 刘 芳)