旋锻法加工低塑性有色金属异型材的应用研究*

方树铭**，雷 霆，张玉林，李 皓，周 林，张家敏
（云南冶金集团总公司 技术中心，云南 昆明 650031）

摘要：针对异型材的几种常用加工方法，如拉伸、辊拉、轧制等，分析它们在加工中的应力特点。拉伸、辊拉为二向拉应力、一向压应力，所以对塑性较好的金属线材有利，而对低塑性有色金属材料不利，后者加工时易出现拉裂或拉断现象，造成生产中断甚至无法加工；轧制法应力特点为三向压应力，对塑性较好或低塑性金属线材都有利，但型辊加工昂贵，轧机维护费用高，故轧制法最好用于大规模生产中。旋锻法应力特点和轧制法一致且产能较低，对产量较低、附加值较高的低塑性有色金属异型材尝试采用旋锻方法加工。

关键词：加工应力；低塑性有色金属；异型材；旋锻
中图分类号：TG305 **文献标识码**：B **文章编号**：1000-3940（2007）05-0069-04

Application study on swaging special-shaped non-ferrous metal wire of lower plasticity

FANG Shu-ming, LEI Ting, ZHANG Yu-ling, LI Hao, ZHOU Lin, ZHANG Jia-min
(Technical Center of Yunnan Metalluegical Group Ltd., Kunming 650031, China)

Abstract: The stress characteristic of the main working methods for processing the special-shaped wire, such as drawing, driven roller die and rolling was analyzed. Because the stress characteristics of drawing and driven roller die are biaxial draw stress and uniaxial pressure stress, so drawing or driven roller die is favorable to the non-ferrous metal of higher plasticity and is of disbennifit to that of lower plasticity. The production process become very difficult when non-ferrous metal of lower plasticity is broken. Although the stress characteristic of rolling is a triaxial pressure stress, rolling working is favorable both to the non-ferrous metal of higher or lower plasticity, but roller making and maintenance of rolling machine are very expensive. So it is better to use the rolling method for high yield production. The stress characteristic of swaging is the same as that of rolling. The production yield of swaging is lower. Swaging is maybe applicable for producing the special-shaped non-ferrous metal wire of lower plasticity, lower yield and high profit.

Keywords: process stress; non-ferrous metal of lower plasticity; special-shaped wire; swaging

1 引言

小断面异型材在国民经济中的地位相当重要，其产量虽然低，但产值高、利润大、用途广。异型材断面形状千姿百态，适用于各种特定的场合及特殊用途，有很好的发展前景[1]。

异型材的加工方法较多，如固定模拉伸、轧制、辊模拉拔以及组合法等。辊模拉拔实质是拉拔与轧制相结合的拔拉过程[2]，经几十年的发展，该工艺已进入到了一个全新的科学研究领域[1]。所谓组合法即轧制后模拉或辊拉[3]，与拉伸相比，辊模拉拔具有很多优点[4]，但也有不足之处，除仅适合粗加工道次外[1]，对加工材料材质有一定选择性。对于塑性较好的材料加工优势明显，对难变形、硬度较高、加工硬化明显的材料加工，经济效益也较好[5]。但对一些塑性较差的材料如高镍铅锌白铜和高强高导弥散强化铜，在加工其异型材时，加工率选择稍不合理，则材料极易拉裂拉断，造成加工困难甚至无法加工。

2 低塑性有色金属异型材旋锻问题的提出

高镍铅锌白铜是眼镜行业铰链异型材的主用材质，材料采用水平连铸工艺生产线坯，但该法生产的铸造线坯有诸多缺陷，如组织疏松、气孔、夹杂等，铸坯中各部位的晶粒组织粗大且不均匀，铅相严重偏析，并分布在晶界上。这些缺陷的存在，破坏了晶界的结合，导致金属基体不连续。当辊模拉拔时，在变形区内，金属单元体上的应力应变状态与固定模拉拔基本一致，都是一向拉伸与两向压缩，

* 云南省省院省校合作资助项目（2000PBAEA00A045）
** 男，42 岁，高级工程师
收稿日期：2006-11-15；修订日期：2007-02-20

特种成形栏目是由北京机电研究所材料工程技术研究中心赞助刊出

即在轴线方向上拉伸，其它方向上压缩。拉应力的存在易使线材产生裂口和裂纹，导致材料脆裂或断裂。弥散强化铜为汽车行业广泛应用的电极材料，用粉末冶金材料制备，线材开坯方式为挤压开坯，其线坯组织疏松多孔，塑性也和高镍铅锌白铜一样差，辊模拉拔初级坯料时也易产生断裂。

采用轧制方法加工以上低塑性金属异型材，可减少辊拉时由于有拉应力存在而使线材断裂的状况。但是眼镜异型材生产具有多品种、小批量特点[6]，若用轧制法生产，则轧辊的数量庞大，而且昂贵，加工时需要频繁更换，显然经济性较差。弥散强化铜的生产也有类似情况。轧制和辊模拉拔在原理上并没有严格的界定，都有相同的不足和缺点。低塑性金属材料特别是异型材的加工应另辟它途。

旋锻方法具有金属冷成形工艺的较多优点[7]，具有与拉伸（含辊拉）不同的变形力，图1、图2为两种加工方法的变形力学图。

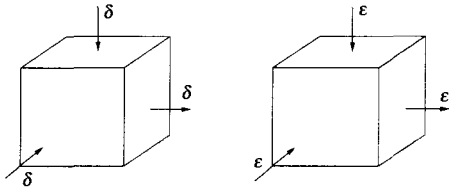


图1 拉伸变形力学图

Fig. 1 Drawing deformation mechanics

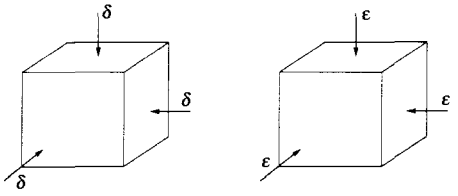


图2 旋锻变形力学图

Fig. 2 Swaging deformation mechanics

从图1、图2可以看出，旋锻时所受的应力状态为三向压应力，而拉伸（含辊拉）为二向压应力、一向拉应力。三向压应力可提高材料塑性，而拉应力则使塑性降低[8]，所以高镍铅锌白铜和弥散强化铜等高强度、高硬度、低塑性合金，采用旋锻加工进行塑性变形最有利[9]。

3 低塑性有色金属异型材旋锻加工机理及设备结构原理

3.1 低塑性有色金属异型材的加工机理

在异型线材的旋锻加工中，由于高镍铅锌白铜、弥散强化铜线材均不宜采用拉轧开坯，应采用铸造圆线直接旋锻开坯，而且异型线材的规格应和开坯圆线相对应。异型材加工和圆线相比需要的模具更多，加工道次和中间退火次数也较多，每加工一种异型材，均配有多套异型锻模。研究中采用四锤头旋锻方式，目的是既可以得到较理想的压缩变形力，又可使设备结构较为简单。

低塑性有色金属异型材的旋锻，其加工率的取值应按照坯料取大值、已加工料取小值的原则，即在旋锻过程中加工率应逐渐变小，原因是坯料组织疏松、已加工料组织致密。在开坯初期，即加工截面近似圆形时，异型线材的加工率可与圆线一样取大值；但到加工中后期，特别是到了近似型或预成型时，加工率要取小值，且要求均匀，否则加工的异型线材容易发生歪扭。一般的取值范围是大加工率15%～20%；中加工率10%～15%；小加工率8%～10%。根据加工率和设备结构，可按异型线截面最大尺寸，将旋锻机分为3类：大型机10～20 mm、中型机8～12 mm、小型机5～10 mm。

加工一些小规格的异型材时，可先将圆线旋锻至相应直径，然后再异型开坯，开坯圆线直径应是异型材截面最大尺寸的140%～150%，旋锻过程中强调加工率的均匀性，以防异型材成品歪扭。

3.2 低塑性有色金属异型材加工设备结构及原理

图3所示为异型旋锻设备结构原理图。低塑性有色金属异型材的加工原理是：加工时靠异型锻模之间产生往复相对运动，对加工材料施加压应力，产生锻击。对异型材而言，因加工材料各个锻击面形状不一样，旋锻时每个异型锻模锻击接触面所受压应力也不同，而且加工时锤头、异型锻模及异型锻模所夹持的加工材料三者都不转动。施加压应力的滚子随主传动轴围绕锤头转动，旋锻时主传动轴每转动一周，每个锤头被4个滚子分别锻击一次，从而将动力由锤头传至异型锻模，直到作用在异型坯料上，完成对加工材料的数次锤击。由于主传动轴高速旋转，每个道次的加工量通过数十甚至上百次锻击完成，采用数十副异型锻模锤锻加工坯料，每次锤击的加工量比较小，加工坯料每次都受到均匀分布在周向上的压缩变形，从而消除加工坯料内部的气孔、空洞等缺陷，破碎粗大的晶粒，改变材料的组织结构。为进一步保证低塑性异型线材的加工性能，在加工工艺过程中，依据其特性，对加工坯料选择进行一次或者多次退火处理，消除坯料加工过程产生的加工应力，减少加工缺陷，提高成材率。

如图3所示，低塑性有色金属异型材的加工过

特种成形栏目是由北京机电研究所材料工程技术研究中心赞助刊出

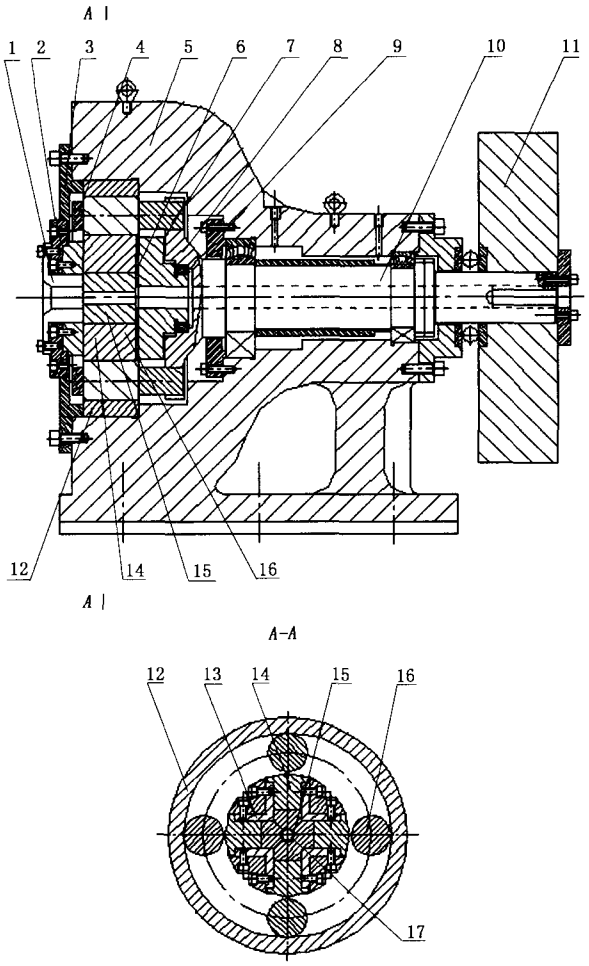


图 3　异型旋锻设备结构原理图

1. 导入嘴　2. 支承定位板　3. 支撑板　4. 滚子环压板　5. 外壳　6. 背衬板　7. 滚子隔离环　8. 十字叉轴　9. 定位轴承　10. 主传动轴　11. 大皮带轮　12. 滚子外圈　13. 直角衬板　14. 锤头　15. 异型锻模　16. 滚子　17. 弹簧

Fig. 3　Principle of swaging equipment structure for special-shaped wire

程是：大皮带轮带动主传动轴旋转，主传动轴与滚子隔离环之间互为拨叉且用螺栓紧接。锤头、异型锻模置于十字叉轴中，但十字叉轴不随主传动轴旋转，所以锤头、异型锻模及加工材料三者也不转动。锤头、异型锻模在十字叉轴中的背衬板上沿直角衬板的直角边作径向往复滑动，加工材料的动力由滚子依次由锤头施加于异型锻模和待加工线材上。瞬间完成锻击加工一次后，异型锻模的开启由后续加工线材喂进、弹簧共同作用完成。对于异型锻模，导入嘴既起到将加工坯料引导入模腔内，又起到端面定位作用。整个加工过程中需要使用、检查和更换异型锻模，故每次检查、更换异型锻模时，仅需拆下导入嘴就能完成快速更换异型锻模的过程，无需再拆下其它封板，设备结构设计巧妙。为了保证十字叉轴和主传动轴之间的同心度，在两者相接处使用了定位轴承作为支承，而十字叉轴的另一端支承则由导入嘴、支承定位板、支撑板、外壳承担，同心度则由定位轴承和以下 4 对配合关系保证：十字叉轴和导入嘴之间、导入嘴和支承定位板之间、支承定位板和支撑板之间、支撑板和外壳之间。

支撑板既起到支承定位板、导入嘴、十字叉轴的作用，又起到对滚子外圈的轴向定位作用。滚子环压板的作用是将滚子定位在滚子隔离环中。滚子外圈和外壳之间有较大的过盈配合，需要热装配。

旋锻加工设备前后设置有进料机构和接料机构，便于加工材料的进料和出料。使用时该机发出的噪声相对较大，为减少噪声污染，可将锤头设计为压缩型，并在整台设备外加装隔音装置。旋锻加工设备按所加工材料尺寸大小，可依次或同时使用 1 台大型机 10～20 mm、1 台中型机 8～12 mm 和 1 台小型机 5～10 mm。

4　低塑性有色金属异型材旋锻加工实例

4.1　旋锻加工 PR156 异型材的工艺过程

图 4 为异型材加工流程和加工截面包络图。旋锻加工的原则是后一级截面图形被前一级截面图形所包络。PR156 截面在异型材中属对称型，产品截面最大尺寸为 4.5 mm，放大 150%后可推算出开坯圆线应为 Φ6 mm。圆线经第一级旋锻，得到鼓形截面，最大宽高乘积为 5.58 mm×4.2 mm，加工率估值约为 17.1%；经第二级旋锻，得到扁鼓形截面，最大宽高乘积为 5.45 mm×3.6 mm，加工率估值约为 16.3%；经第三级旋锻得到近似型，加工率估值约为 7.8%；随后采用 650 ℃中间退火（呈盘元状态），因为截面尺寸较小，所以退火温度取低值；再进行第五级旋锻，因为已采用过中间退火，加工硬化得到消除，故加工率取值可以适当取大值约为 21.3%，但截面上各处的加工率要求均匀；近似型加工呈预成型后，再经精整得到 PR156 终产品，精整加工率取值较小而且均匀，约为 10%。

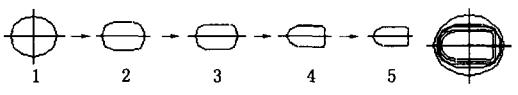


图 4　PR156 加工流程和加工截面包络图

Fig. 4　Process flow and section envelope shape of PR156

4.2　旋锻加工 PR216 异型材工艺过程

图 5 为异型材的加工流程和加工截面包络图，加工设备及原则和 PR156 相同，不再赘述。PR216

特种成形栏目是由北京机电研究所材料工程技术研究中心赞助刊出

截面在异型材中属非对称型，产品截面最大尺寸为5.9 mm，放大150%后可推算出开坯圆线为Φ9 mm。圆线经第一级旋锻，得到椭圆截面，其最大截面积为51.39 mm²，加工率为19.2%；经第二级旋锻，得到扁圆截面，其最大截面积为40.69 mm²，加工率为20.8%；经第三级旋锻，得到腰鼓形截面，其最大截面积为33.25 mm²，加工率为18.3%，采用680 ℃中间退火（呈盘元）状态；经第四级旋锻得到近似型，加工率为13.7%；再经第五、六级旋锻将近似型加工成预成型，加工率均为11%～12%，因为加工截面为非对称型，所以加工率的均匀性尤为重要；加工中再采用650 ℃中间退火一次；最后将预成型产品精整得到终产品，加工率取值较小为9%，同样也要求均匀。

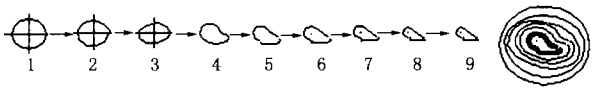


图5 PR216加工流程和加工截面包络图

Fig. 5 Process flow and section envelope shape of PR216

5 结论

通过以上理论分析及加工实例，可以得知，在加工低塑性有色金属异型材时，旋锻法具有较多优势：（1）异型材加工变形量大，旋锻工艺的变形程度远大于拉伸和辊模拉拔；（2）异型材变形均匀，材料内部处于3个方向压应力状态，周向均匀压缩，不会因变形不均匀导致材料形成裂口和裂纹，且异型材也较少发生扭曲；（3）所需变形力小，工具、模具寿命高；（4）设备所需的驱动力较小，采用小功率的电机作为动力源，运转成本低。

但是旋锻工艺也有不足之处：一是模具用量大，二是加工精度不太高。前者的解决办法是将前几级截面形状、尺寸相近的不同异型材用同一套模具加工，可以降低模具使用数量。后者可以采用先旋锻后拉伸的办法解决，即先用旋锻法消除材料组织缺陷，待得到相应尺寸精度后，再用拉伸精整，得到表面粗糙度值较低和尺寸精度较高的产品。

参考文献：

[1] 李勇，张玉新，钟毅，等. 辊模拉拔技术的分析与应用 [J]. 金属材料研究，2003，29 (4)：15－20.

[2] 郑宝龙，李连诗. 辊模拉拔异型丝的实验研究 [J]. 金属制品，1992，18 (6)：12－14.

[3] 岳志军，康武军. 异型钢丝的生产 [J]. 金属制品，2001，27 (4)：20－21.

[4] 郑宝龙，朱为昌. 辊模拉拔技术及其应用 [J]. 金属成形工艺，1996，14 (1)：43－46.

[5] 王庸禄. 有待认识与开发的辊模拉拔 [J]. 金属制品，1991，17 (3)：4－7.

[6] 方树铭. 眼镜框架铰链异型材扭曲原因初探 [J]. 云南冶金，1998，27 (增刊)：125－130.

[7] 郭居瑾. 旋揉工艺 [J]. 金属成形工艺，2000，18 (6)：40－42.

[8] 张文芹. 旋锻法生产舰船用特种焊条的工艺探索 [J]. 河南冶金，2001，(2)：12－24.

[9] 彭志辉. 稀有金属材料加工工艺学 [M]. 长沙：中南大学出版社，2003.

特种成形栏目是由北京机电研究所材料工程技术研究中心赞助刊出

电机直驱式螺旋压力机简介

目前，摩擦压力机在国内螺旋压力机的发展史上，经历了长期的生产阶段，近年来，已成功地开发生产出离合器传动式螺旋压力机即高能螺旋压力机，并作为一种典型的锻造设备投入市场。螺旋压力机之所以一直能得到精密锻造成形业的青睐，不仅是因为它结构简单，而且还具有无固定的下死点等特点。

螺旋压力机按传动形式可以粗略分成摩擦驱动、液压驱动以及电机直接驱动等几种方式。液压驱动由于对使用条件要求较高，设备维护复杂，在低能量大打击力条件下工作设备可靠性差，现在很少采用。前期的摩擦压力机，电机带动摩擦盘连续不停地运转，其功率因数很低，而且靠摩擦片来传递能量其消耗较大，不可能精确地传递一个设定的能量和打击力。高能螺旋压力机亦属连续旋转飞轮的螺旋压机，离合器的接触动力源现阶段为液压动力，离合器摩擦片在运行中受油污、灰尘影响，要精确稳定重复地传递一个设定的能量和打击力同样较困难。电机直接驱动螺旋压力机靠电磁能直接驱动飞轮正反向旋转，通过螺杆、螺旋副向滑块传递能量完成工件的打击，相对其他形式的螺旋压力机无能量传递损耗，设备结构简单，由于使用变频控制动力技术系统有效减少了每次启动时带来的对电网冲击问题，输出能量可在额定能量的15%－100%之间变化，输出能量的控制精确度很高，而且能够提供持续稳定的打击力。使得电机直驱式在节能、打击力精确控制等方面优于其他驱动形式的螺旋压力机。

我公司将国内外螺旋压力机技术与国内使用条件相结合，开发出具有独立知识产权的电机直驱式螺旋压力机，为满足精密锻造的需要提供了理想的设备。设备耐久性、零部件质量、抗偏载能力均接近国外先进螺旋压力机的水平。制造成本和维护成本将适合我国国情。

青岛青锻锻压机械有限公司 张元良