

套圈滚扩工艺与装备

黄 超 编 译

陈 君 豪 技 术 校 对

机械工业部洛阳轴承研究所

一九八三年六月

前 言

套圈毛坯的制造问题，长期以来没有很好解决。我们根据我国轴承工业及其他有关行业的需要，查阅了大量国外文献，从中选出我国当前急需的部分，经过翻译、校对、编辑整理成册，供同志们参考。本书内容包括辗压理论与辗压工艺，辗压设备与辗压自动线，同时还介绍了国内、外套圈的辗压概况，可供一切加工环形件的部门应用。

在编译本书过程中，得到陈君豪、方明岸、李福来、张仁乐、王光寅同志的支持与帮助。由于我们水平有限，书中错误之处一定不少，希望读者批评指正。

编者

一九八二、九月

目 录

国内、外套圈扩孔机概况	(1)
成型套圈辗扩工艺的研究	(8)
L—截面型材环圈轧制时轧制力矩的分析	(14)
环形件辗扩的最新进展	(21)
套圈与套筒型零件的辗扩	(25)
SKF Steel工厂轴承套圈的辗扩	(32)
轴承套圈辗扩自动化 (1.2)	(37)
环形件辗压方法	(44)
特殊外形套圈的制造方法	(45)
四芯轴套圈扩孔机	(47)
套圈辗压装置	(49)
滚动轴承套圈辗压装置	(51)
自动辗环机	(54)
半封闭式辗环机	(56)
辗环机	(59)
套圈毛坯辗扩整径装置	(62)
套圈毛坯辗压用模具 (1.2)	(63)
环形零件热辗扩自动机	(67)
环形零件自动扩孔机	(68)
用扩孔机制造环形零件毛坯	(71)
大型套圈毛坯生产自动线	(77)
轴承套圈冷辗压工艺的改进	(81)
轴承套圈的冷辗压工艺及设备	(86)
轴承套圈的冷辗扩	(89)
环形零件的辗扩	(93)
用冷辗压法制造轴承套圈	(98)
国外轴承零件锻压工艺与装备专题索引	(102)

国内、外套圈扩孔机概况

目前国内、外都在设计制造各种型式的扩孔机,因为使用这种设备加工零件不仅节约材料,而且使材料的纤维组织良好,并缩短加工时间。现将国内、外圈扩孔机情况概略介绍如下。

西德蒂森机器公司瓦格纳工厂(THYSS-en Maschinen Bau),位于多蒙特尔区域。瓦格纳工厂建于1865年,迄今已有117年的历史,以专门制造环形件扩孔机闻名于世。该公司共有职工700人,其中技术人员100多

人,在这100余人的技术人员中电子技术人员占50多人。

该公司生产的环形件扩孔机及配套压力机已畅销于英、法、美、日等工业发达国家,应用于航空、机械等各种行业。罗马尼亚于1975年从瓦格纳进口了160/125型扩孔机,主要用于石油化工工业。我国六十年代从瓦格纳进口了一台RW1300×200径向辗扩环形件扩孔机,七十年代进口了三套630型小型环形件扩孔机,均用于我国轴承工业。

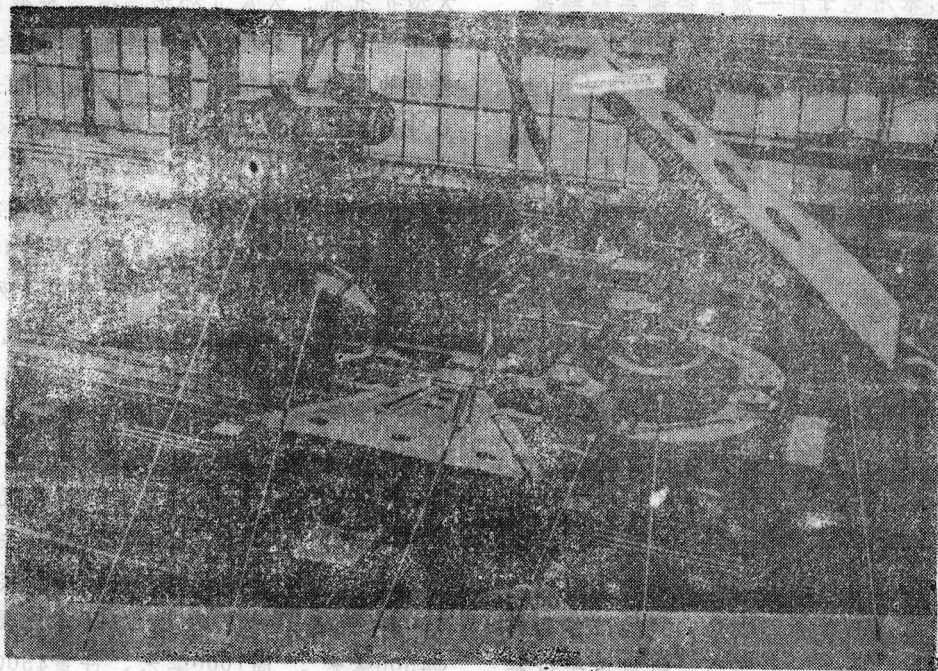


图1 径向一轴向扩孔机

瓦格纳工厂生产的环形件扩孔机的辗扩速度从0.4米~1.6米/秒,适用于多品种小批量的生产规模,并适宜于辗扩轴承钢、不锈钢、有色金属等近十种钢的环形工件。如果根据用户要求,以及作业线上的批量与生产工艺的需要,辗扩速度可提高到2米/秒。

在扩孔机前后的设备上,在小批量的生产中,坯料加热用台车式加热炉,机械手把加热好的坯料从加热炉送到液压机上锻粗冲孔,然后用叉车将坯从液压机运到扩孔机上辗扩。扩孔后将环形件用吊车从扩孔机上吊卸下来,用人工打印,然后即作为成品件

出厂。

瓦格纳工厂是由小到大，从落后到先进逐步发展起来的，在环形件扩孔机方面的发展也是这样。该厂最早是用一台交流电动机，通过机械连接传动多个机构，很多动作是靠人力操作的，生产效率很低，质量也很差。瓦格纳现代化环形扩孔机的主辗压轮是用直流电动机传动的，两个轴向辗压辊分别由两台直流电动机传动。上述三个辗压辊要求严格协调，这是保证满足工艺要求和环形件精度的必要条件。之所以采用直流电机传动，目的是便于这三根辊速度能协调一致、自动控制，以及径向与轴向下压量能得到良好的控制。保证环形圆度的定心辊和轴向辊移动机构，采用电子件—液压控制系统操纵。

圆度的控制。通过实心辊上装有测量压力的传感元件，测出两个实心辊的压力 F_1 与 F_2 的差值，自动调整轴向辊的转速，借以保证达到圆度的要求。一般直径公差是1000毫米 ± 1 毫米。

目前世界各国制造的扩孔机，有自动的，也有手动的。手动操作主要是调整压力。测量时全自动还有一个装置。全自动环形工件扩孔机在德国有两台，卖给英国一台。在自动化实现以前，先用手工操作。

输入计算机的数据，是根据钢坯的重量、尺寸、材料、温度等计算出辗压力、速度、温度等的变化，其目的是研究实用的微调机构，以用于扩孔机的控制系统，达到全自动操纵，确保加工质量。这些工作目前尚在进行中，不久即可实现。所有电子设备都由瓦格纳厂内部自己配套。

目前我国虽有数台自制的大型环件扩孔机，但都是辗扩直径2000毫米、高200毫米以下尺寸的环形件，设备落后精度差，与世界水平相比差距很大。大型环件从自由锻向扩孔方面发展，是大势所趋，因为后者在经济上、生产效率上和环形件质量上，特别是在

能源节省方面都具有明显的优越性。国外直径3米以上的大型环件扩孔机发展很快，就德、英、法、日、美、苏、意、罗马尼亚等国来看，都各有明显的增加。我国3米以上大型环件扩孔机还一台也没有。在这种情况下，生产直径3米以上、高度200毫米以内的大型环形件，仍然是用落后的不经济的自由锻造法。因此，为四化建设事业的需要，有关部门建议在近几年内，我国建立一套辗压力315/200吨、生产4米~4.5米大型环件辗扩设备，办法是与瓦格纳厂技术合作，以便早日赶上世界先进水平。

西德、美国已发展了辗扩外径10米、高4米、辗扩压力4000吨反应堆容器环形件大型扩孔机，大尺寸环形圈有多种截面的，包括轴承内、外圈。环形件的单件重量大小差异也很大，小的几十公斤，最大的达5~6吨。据西德莱茵公司亨利希斯工厂近年来生产大型环件的统计，80%环形工件的重量在1.5吨以下，15%环形工件重量在1.5~3吨重范围内，5%环形工件重量超过3吨。

西德除从 $\phi 400 \sim \phi 7000$ 毫米成系列地发展了环形件扩孔机之外，在六十年代还设计了加工反应堆容器外径 $\phi 10$ 米，高4米，辗压力4000吨的特大型环件扩孔机。美国也是发展环形件扩孔机较快的国家之一，除安装有 $\phi 3000$ 毫米~ $\phi 4000$ 毫米左右的扩孔机之外，也安装有 $\phi 10$ 米的特大型扩孔机。法国国营飞机发动机研究和制造公司让纳利埃工厂，1968年安装了一台辗压力500吨，辗压外径 $\phi 4500$ 毫米、高1000毫米、件重4500公斤的大型环件扩孔机。美国的皮次套什公司1968年安装了一台辗压外径 $\phi 4500$ 毫米、件重达4000公斤的大型环件扩孔机。罗马尼亚也于1975年前后从西德瓦格纳进口了一套 $\phi 4500$ 毫米大型环件扩孔机设备。其次，苏、日等国也安装了 $\phi 3000$ 毫米以上的大型环件扩孔机。由于环形件扩孔机的发展促进了环形件

制造工艺的革命，随之而来的将是环形件在工业中的应用越来越广泛。

西德SKF轴承公司于1978年研究成功按“封闭式”辗扩原理工作的轴承套圈热辗扩自动机，可加工不同截面形状的轴承套圈。同管料切削加工相比，可节约30~50%的钢材。该公司研制的辗扩自动机有三种规格：EMB 110A型，加工范围为60~110毫米，工件重为0.2~1公斤；EMB200B型，加工范围为80~200毫米，工件重为0.5~4公斤；EMB230A型，加工范围为160~230毫米，工件重1~8公斤。EMB型自动扩孔机备有电子跟踪控制装置，随工件结构和尺寸的不同，加工时间可以通过定时控制装置进行无级调节。这种热辗扩自动扩孔机既可加工管料毛坯，也可加工棒料锻制的环形坯件。辗扩速度1.3米/秒，循环时间3.6~12秒，最高加工效率达1000/小时，辗扩的套圈尺寸精度 $\pm 0.1 \sim 0.5$ 毫米，模具寿命20000件。这种封闭式辗扩工艺在SKF轴承公司的欧洲各轴承厂已广泛采用，有50%中大型锻件是在EMB型自动辗扩机上制造的。这种扩孔机也适用于小批量生产，批量在500件以上时经济效果更好。

苏联莫斯科包乌曼高等工业学校设计的МПР120型半封闭式自动辗扩机用于辗扩直径90~120毫米的轴承外圈。该扩孔机试辗压了100000件308轴承外圈。毛坯在炉内加热温度为950℃，加工效率为每小时700件。套圈毛坯辗扩后的外径尺寸精度为0.3毫米，沟径尺寸精度为0.4毫米。

西德瓦格纳公司新研制成功的KFRWM和KFRAWM两种系列扩孔机，适用于辗扩质量要求很高的轴承套圈，直径可达到500毫米。其特点是工作节拍快，辗扩时间短，形状公差与尺寸公差严格，材料利用率高，可辗扩形状复杂的工件，节省操作工人。

1975年西德FAG轴承公司建立了一条大

型辗扩自动线，套圈毛重20到100公斤，直径为250~900毫米，高度达400毫米。加工效率为每小时50件左右，加工留量4毫米。套圈毛坯的加料、加工和卸料均通过一台电气—电子控制装置进行控制。由于模具更换时间短（1.5~2小时），特别适用于每批50件的小批量生产。

用辗扩法制造环形件的经济意义很大。

制造无缝环件的旧方法，主要是用自由锻造法与烧切法，这两种方法效率低，加工余量大，金属损耗严重，质量差，成本高。据西德统计，制造一个 $\Phi 3500 \times 110 \times 90$ 毫米的C45碳钢环形件，由自锻比辗扩法成本高77%，而烧切法比辗扩法高16%。根据介绍，苏联用辗扩法制造环形件，与用自由锻相比，金属损耗减少40~50%，成本降低75%。在美国，用辗扩法制造一个 $\Phi 4500 \times 600$ 毫米、重量为6吨环形件，只需一次加热，由一个工人操作扩孔机，很短时间即可完成全部加工任务。而过去用其他成形加工法制造时，则需三次加热，4~5个工人操作加工时间很长，并且金属损耗多，加工余量大。我国目前情况也大致如此。因此，不少国家认为，用扩孔机辗压环形件是最经济、最有效的方法，特别是制造合金钢环形件，用辗压法可以减少大量贵重金属的损耗，因此，近几年来，这种生产方法在我国某些部门发展较快。

下面再介绍一下国内现有环形件扩孔机概况及国外环形件扩孔机的发展情况。

据了解，我国现有中大型环形件扩孔机约10台（见附表），其中最大的是1964年参照苏联资料为马鞍山钢铁厂制造的我国第一台 $\Phi 2010 \times 155$ 毫米轮箍辗扩机。其次，六十年代洛阳轴承厂从瓦格纳进口一台 $\Phi 1300 \times 200$ 径向环形件辗压机，以后于1976年前后洛阳轴承厂、哈尔滨轴承厂、南口机车车辆厂又从西德瓦格纳分别进口了三套多工位

630生产线，此外还有一些厂正在研制的小型环形件专用扩孔机。

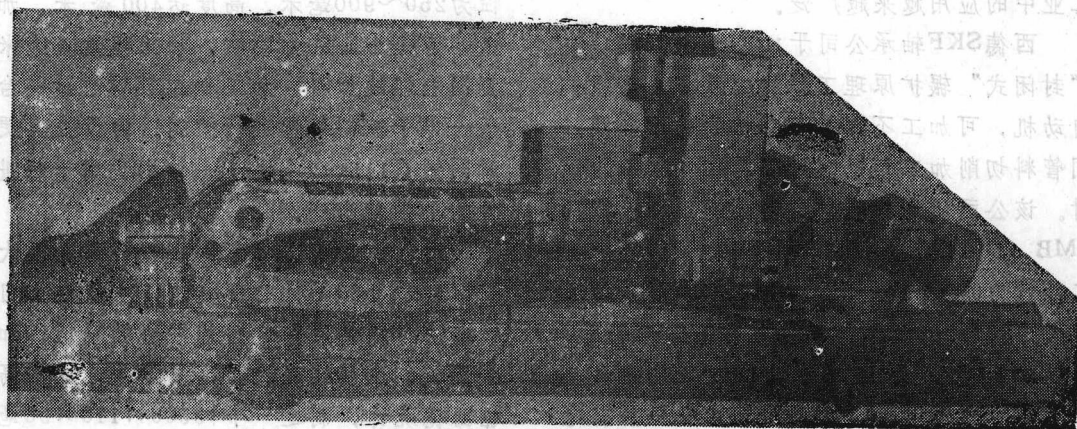


图2 我国自制的DA51—650扩孔机

国内现有扩孔机统计表

	使用单位	扩孔机规格	用 途	设计制造单位
1	马钢第一轧钢厂	$\Phi 710 \sim \Phi 2010$ $\times 143 \sim 155$	轮箍粗、精辗压	沈阳重型机械厂
2	兰州石油化工机械厂	$\Phi 1250 \times 200$	法兰、环形件	兰化机械厂自制
3	汉中3217工厂	$\Phi 400 \sim \Phi 1600$ $\times 350$	军工环形件	汉中3217工厂自制
4	沈阳410工厂	$\Phi 300 \sim 1400$ $\times 250$	军工环形件	沈阳410工厂自制
5	洛阳轴承厂	$\Phi 1300 \times 200$	轴承套圈	Wagner
6	成都420工厂	$\Phi 1300 \times 200$	军工环形件	济南铸锻所测绘，成都420工厂自制
7	洛阳轴承厂	630生产线	轴承套圈	Wagner
8	洛阳轴承厂	$\Phi 650 \times 160$	轴承套圈	济南第八机床厂、洛阳轴承厂
9	南口机床厂	30线，400线	轴承套圈	Wagner
10	哈尔滨轴承厂	400线	轴承套圈	Wagner

正在研制的D52—160四轴偏心扩孔机结构原理和特点：

在KERW型四轴偏心扩孔机基础上，我国自行设计了D52—160四轴偏心扩孔机，并投入了试制。这种扩孔机的最大特点，是直接控制锻件外径尺寸并可同时辗扩两个锻件。效率较高。

D52—160四轴偏心扩孔机的工作原理如下图所示。辗压辊1固定在滑块2上，辗压辊的轴向位置可调。滑块尾部有滚轮3，滑块装在工作台4上，滑块沿工作台导轨作往复运动。工作台与辗压轮5以各自的转速绕圆心O点按箭头所示方向转动。辗压辊经过上料架时，其上的锥形棒将毛坯6由上料架中取

出，靠自重落到工作台并套在辗压辊上。固

为 180° 。工作循环图见下图所示。

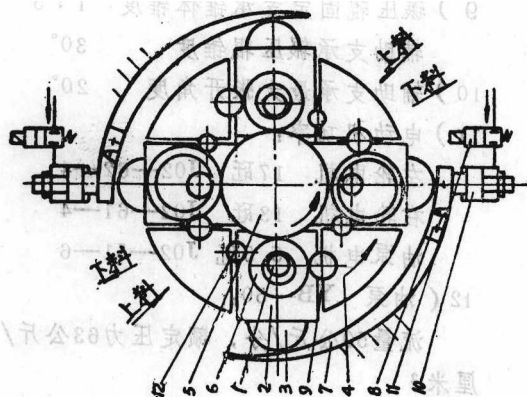


图3 D52—160扩孔机工作原理

- 1—辗压辊，2—滑块，3—滚轮，4—工作台，
5—辗压轮，6—毛坯，7—固定导板，8—活动
导板，9—推力辊，10—油缸，11—电磁阀，
12—信号辊。

定导板7与活动导板8作用于滚轮3，迫使滑块沿工作台导轨并带动辗压辊和毛坯向圆心O点方向移动，毛坯在辗压辊和辗压轮组成的孔型中辗扩成形，毛坯外径增大并经推力辊整形。活动导板的一端支承在油缸10上，此时电磁阀11断电，油路关闭。辗压力P经滚轮3，活动导板8作用在油缸10上，油受压缩，单位压力升高，此力与辗压力P平衡，而活动导板在原地不动。当毛坯辗压到需要尺寸，即锻件和信号辊接触时，电路接通，阀11电磁铁通电，低压油路接通，压力下降，活动导板8在P力作用下绕支点A摆动，并以低压油路的压力压紧锻件，这也是一个精整的过程。当滚轮3转出导板8后，滑块在弹簧力作用下返回原位，同时下料爪子将锻件从辗压轮的型腔中拖出。此时活动导板也在低压作用下返回原位，阀11断电，为下一次循环作准备。当工作台继续转动时，床身上的凸轮板通过杠杆系统将托料板掀起，锻件离开辗压辊并自动滑入料箱中，一次工作循环完毕，工作台此时转角

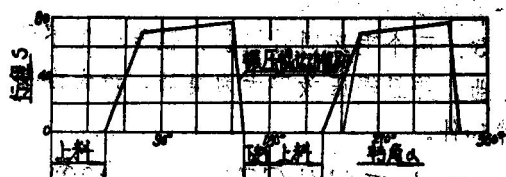


图4 D52—160扩孔机的工作循环

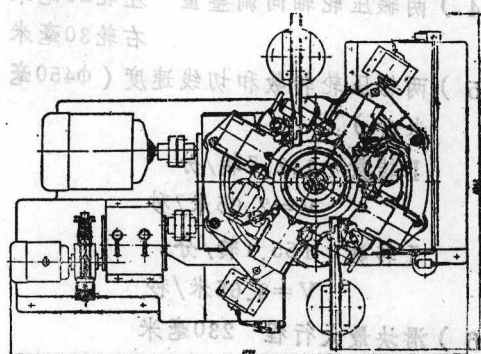
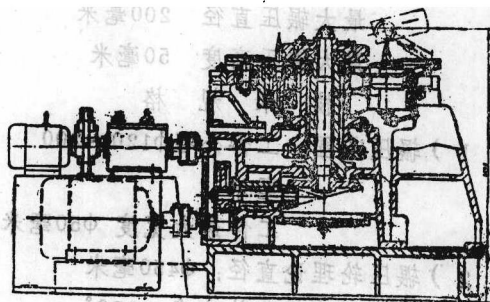


图5 D52—160扩孔机结构图

转动螺母1，调整辗压辊2的轴向位置，松开锁紧螺母3，转动偏心装置4，改变滚轮5和辗压辊的中心距，以调整锻件的壁厚，其调整量为 ± 5 毫米。在模具设计时，应保证辗压轮6至辗压辊的最小中心距为 270 ± 5 毫米，超过这个尺寸范围，设备将不能正常工作。由上图可知，这台扩孔机有如下特点：

1. 辗压轮6无锥度，靠一个剖分式锥环7通过压盖8用螺母楔紧。

2. 辗压辊2尾部有方尾并插入主轴10的方孔中, 工作时辗压辊和主轴没有相对滑动, 主轴锥面不致被划伤。

3. 两个毛坯同时辗扩, 辗压轮轴不承受弯曲, 并且辗压效率大为提高, 最大为每分钟50件。

正在研制的GZI—— $\Phi 200$

双轮扩孔机

最大辗压直径 200毫米

最大辗压高度 50毫米

技术规格

- 1) 辗压范围: 工件外径 $\Phi 120 \sim 200$ 毫米
工件最大宽度 $\Phi 50$ 毫米
- 2) 辗压轮理论直径: $\Phi 450$ 毫米
- 3) 两辗压轮轴线的交角 130°
- 4) 两辗压轮轴向调整量 左轮20毫米
右轮30毫米
- 5) 两辗压轮转数和切线速度($\Phi 450$ 毫米时):
I 转数 112.7转/分
 $V=2.65$ 米/秒
II 转数 155.1转/分
 $V=3.65$ 米/秒
- 6) 滑块最大行程 230毫米
- 7) 最大辗扩压力(油缸直径 $\Phi 160/\Phi 80$ 毫米:

当油压为40公斤/厘米²时, 辗扩压力为8044公斤;

当油压为63公斤/厘米²时, 辗扩压力为12669.3公斤;

(均未考虑滑块重量所消耗的力)

8) 滑块的运动速度:

快速油缸 $\Phi 80$ 毫米 压力2010.8公斤
 $V=8.9$ 米/分

增压油缸 $\Phi 160$ 毫米 压力8044公斤
 $V=4.5$ 米/分

下降速度: 压力22888公斤

$V=11.3$ 米/分

9) 辗压辊固定支承锥体锥度 1:5

辅助支承辗压辊锥度 30°

10) 辅助支承最大张开角度 20°

11) 电动机功率:

左轮电机 17瓩 J02—62—4

右轮电机 13瓩 J02—61—4

油泵电机 5.5瓩 J02—51—6

12) 油泵 YB—50:

流量50公斤/分, 额定压力63公斤/厘米²

13) 油箱容积 305公升

14) 外廓尺寸: 长 $\times$ 宽 $\times$ 高

2200 $\times$ 1800 $\times$ 2040

16) 采用自动补偿装置

17) 机械手自动上下料

18) 操作(按单机自动)电器—液压控制

19) 机床润滑:

滑块与滚动导轨 手摇泵

变速箱 手工加油

20) 推力辊(四个)参考 $\Phi 160$ 扩孔机的结构:

主推力辊1个, 推力辊3个。

我国现有扩孔机与世界水平的差距

1) 我国自制扩孔机的自动化水平低, 精度较差。据有关资料介绍, 国外的环形件扩孔机, 大都安装有尺寸自动控制检测系统, 电子调整可控硅系统, 有的还装有微型机处理系统, 机械结构合理, 辗压精度高, 故外径公差可达 $\Phi 1000 \pm 1$ 毫米, 高度可达 ± 0.5 毫米。我国鞍山钢铁公司的轮箍辗压外径公差是 ± 10 毫米, 高度公差是 ± 5 毫米, 结构和控制部分只有国外三、四十年代水平, 因而加工余量大, 金属(即材料)损耗

多，成本高。

2) 品种规格范围小，满足不了国内对环形件的需要。国外较先进国家，辗压外径 $\phi 4000$ 毫米左右的大型环形件的扩孔机比较普遍，连罗马尼亚也进口了一台 $\phi 4500$ 毫米的扩孔机，而我国最大的扩孔机只有 $\phi 2010 \times 200$ 毫米。由于辗压力小，品种规格受到限制，外径大于 $\phi 2000$ 毫米，高度大于200毫

米，以及对于难变形的合金钢，过薄的工件辗压不了，只好采用自由锻与其它方法解决。这样一来，不仅使产品成本增高，而且也限制了环形件辗压工艺的推广与改进。

为了迅速赶上世界先进水平，充分吸收国外先进技术，国内有的部门主张引进西德瓦格纳环形件扩孔机技术。

资 料 来 源

1. 兰州化工机械厂提供的国内、外扩孔机资料。
2. 济南锻压所提供的国内、外扩孔机资料。
3. 在机械部情报所查找的国外扩孔机资料。
4. 襄樊轴承厂、马鞍山钢厂等单位提供的国内扩孔机资料。
5. 机械部轴承研究所《轴承套圈锻压工艺》。

成型套圈辗扩工艺的研究

内容提要

成型套圈辗扩过程中,在套圈辗到要求尺寸时,为了形成完整的轮廓形状,有时会产生一些问题。如果套圈从毛坯到成形只用一次辗扩完成,那么要获得完整的轮廓形状,工艺调整的手段将受到一定限制。在这个领域里分析和试验工作做得很少。很多问题一般都是通过试辗和不断修正来解决的。

本文介绍了采用成型辗压轮和辗压辊辗出带轮廓形状套圈的辗扩工艺试验。测试工作是随着套圈的扩大,在轮廓形状形成的过程中进行的。最后对试验结果进行了讨论和分析。

本文符号表

A_0	毛坯的横截面积
A_1	套圈主要部分的横截面积
A_2	轮廓凸出部分的横截面积
H_0	毛坯径向厚度
H_1	套圈主要部分的径向厚度
R_0	毛坯平均半径
R_m	套圈主要部分的平均半径
r_m	轮廓凸出部分的平均半径
V_0	毛坯的体积
V_1	套圈主要部分体积
V_2	轮廓凸出部分体积
W_0	套圈高度
X	轮廓凸出部分某单元体的位置
Y_0	轮廓孔型宽度的1/2
Y	孔型中某单元体宽度的1/2.
ε_0	基本圆周应变
$3\varepsilon_r$	基本厚度应变
C_v	$-(\varepsilon_H + \varepsilon_Q)$

绪 言

采用套圈辗扩法生产成型套圈时,为了获得与最后直径一致的完整轮廓形状,有时会遇到一些问题。有时候是在套圈扩大的早期已经完全成形,随后发生变化;有时候是在辗扩结束时,已形成的完整形状又丧失了。例如,当套圈扩大时,如果局部截面只受圆周方向的拉伸,以致综合的横向收缩率超过相对辗压比,就会出现上述情况。

当套圈成形只用一次辗扩完成时,为了获得完整的轮廓形状,工具设计人员和扩孔机操作者可用于调整工艺的手段将受到一定限制。主要是依靠调整锻冲阶段改变原始毛坯来进行控制,扩孔机操作者通过控制相对辗压比也能起一些作用。

即使对于比较简单的成型套圈辗扩,已经发表的有用的指导性情报资料也非常少。在实践中一般都需要依靠经验、试辗和不断修正,以确定可行的轮廓形状和适当的辗扩条件。

本文的目的是对一次辗扩时,成型套圈在孔型中形成的情况提供一些基本的数据。孔型呈简单几何形状,用于生产对称的套圈。这里提出和讨论的结果适用于封闭槽辗扩条件。由于辗扩是在主辗压轮的深槽内进行的,故能防止增宽和端面凹心。

在大多数试验条件下,产生的轮廓形状都与辗压轮的形状不一致,因为局部截面有圆周延伸和相应而生的横向减薄。本文的目的是要找出一种表示和分析试验结果的方法,以便对辗扩工具的调整和辗扩条件的影响更易于做出判断。这些试验结果实质上是

探索性的,是包括开式辗扩在内的比较广泛的初步研究的一部分。

设 备

本研究工作所使用的试验扩孔机,以前已做过介绍(文献1),因此这里只做一些简单说明。这种扩孔机有一个立式固定的主动辗压轮和一个随动的辗压辊,辗压辊在一个液压驱动的滑块作用下向辗压轮进给。其特点是辗压辊能升降,在装、卸套圈时,辗压辊可从工作位置沿轴向下降。同时,辗压过程中,端部被均匀地支承着。因此大大减少了弯曲应力,并加强了设备结构的刚性。

主辗压轮的驱动马达为7.5千瓦,通过一个变速箱变速,其速度范围为22~200转/分。辗压力由液压加载,通过阀对相对辗压比、辗压力和为保证套圈同心度的液压同步导辊进行控制。这台扩孔机可用仪表连续测定辗压力、转矩和相对辗压比。

辗压工具

本试验使用的辗压工具形状如图1、2所示。辗压辊直径50.8毫米,当生产带内轮廓形状套圈时,可在定位套筒之间装上一个直径为95.5毫米的辊子。直径为229毫米的主辗压轮上加工出三个深的型槽,以便进行封闭槽辗扩,生产三种不同形状的套圈。辗压轮沿轴向固定在传动轴上,三个位置通过分离式隔圈调节,使每种轮廓形状都能与导辊相互配合。分离式隔圈不必卸开传动轴轴承即可调整位置。为了减轻套圈进出辗压轮槽时产生的轴向压力,辗压轮槽两侧带有100:3的锥度。辗压轮槽与辗压辊完全闭合时,其间的间隙不大于0.25毫米。8种轮槽形状辗压的套圈如图1.b所示。

试样和试验条件

为了模拟热辗扩条件,采用铈铅合金做试料。这种材料是以挤压的厚壁管形式供应

的。用此材料切断加工成的毛坯试样尺寸为:外径149.2毫米,内径104.3毫米,高度25.4毫米。大批量生产的锻造套圈毛坯,其内径一般都比上述试样小,目的是为了最大限度地减小锻冲工序的设备吨位和材料消耗。试样尺寸受到材料和工具消耗的影响,而且一般认为,其结果与厚壁套圈后期的扩大有关。试验时,主辗压轮速度为30转/分,相对辗压比为0.36毫米/每转。

试验结果

试验时,在套圈辗扩的不同阶段都停下来,以便测定直径和轮廓形状尺寸。结果如图3、4所示。下面对截面内的金属流动情况进行讨论和分析。

把选出的各种套圈切成试片,然后放入放大器的胶片盒内,使其轮廓形状投影到带有纲格的照相纸上进行录像。结果如图3所示。很明显,没有一个具有方形凸部的轮廓形状能完整地成形出来。凸部的成形宽度,除孔型入口处附近外,都比孔型宽度小得多。径向壁厚与毛坯相比,普遍都减薄很多,就这一点来说,高度变化是比较小的。V型截面的轮廓形状(图16中的D型),除端部有过去发现的矩形截面套圈开式辗扩时的轴向收缩痕迹外,整个都成形得很好。这是因为中心区处于三向应力状态的缘故。根据滑移线场理论,在一付相对的压头上压印时就会产生这种情况。D型轮廓成形得很完整,还可以认为是在带锥面的辗压轮孔型内,金属容易产生轴向流动的缘故。当用矩形截面毛坯辗扩径向厚度变化的轮廓形状时,显然需要轴向流动,因此只有选择最佳辗扩条件、润滑剂和仔细调节型面才能获得所需要的流动。

试验结果的分析 and 讨论

最好是能找到一种方法来说明套圈轮廓试验的结果,这种方法要清楚地表明轮廓形

状的形成过程,并便于进行相互比较。在这方面,套圈直径和径向壁厚的测定完全没有意义,而轮廓面由于形状不规则,测定比较困难。为了清楚地表示试验结果,对于某些量的简单关系将进行推导。为了说明锥形轮廓凸部也要进行分析。

轮廓形状的形成

下面的分析适用于封闭型槽辗扩(即没有轴向延伸),首先是用来分析内轮廓形状。使用的符号如图4。原始毛坯的尺寸是:平均半径 R_0 、径向壁厚 H_0 、高度 W_0 、横截面积 A_0 ;辗压过程中相应的套圈尺寸,对于套圈主要部分(位于型槽最外部分形成的圆柱表面之间)分别为 H_1 、 R_m 、面积为 A_1 ;对于轮廓凸部平均半径为 r_m ,面积为 A_2 。若套圈的总体积为 V_0 ,轮廓凸部完全充满时的体积为 V_2 ,套圈主要部分的体积为 $V_0 - V_2 = V_1$ 。根据以上定义,则

$$\frac{V_1}{V_0} = \frac{H_1 W_0 R_m}{H_0 W_0 R_0} \\ = \frac{H_0 W_0 R_0 - A_2 r_m}{H_0 W_0 R_0}.$$

重新整理后代入 $A_0 = H_0 W_0$ 得

$$\frac{R_0}{R_m} = \frac{H_1}{H_0} + \frac{A_2 r_m}{A_0 R_m} \dots\dots (1)$$

这个关系式可用于求解特定毛坯尺寸 $H_0 R_0$,轮廓面积 A_2 和辗扩过程的半径 R_m , r_m 。其结果示于图5。图中表示了壁厚比 H_1/H_0 和半径比 $\frac{R_0}{R_m}$ 的关系。对角线AB代表 $A_2 = 0$ (即普通矩形截面套圈)的平面变形的辗扩情况;曲线CD代表完全成形的轮廓形状的辗扩情况。当套圈扩大, $r_m/R_m \rightarrow 1$ 时,CD趋向于与AB平行。CD与直线略有偏差是由于比值 r_m/R_m 变化的缘故。对局部充满的轮廓形状 A_2' (参看图4),类似等式(1)可得:

$$\frac{R_0}{R_m'} = \frac{H_1'}{H_0} + \frac{A_2 r_m'}{A_0 R_m'} \dots\dots\dots (2)$$

*注:原文式中Z误为A——译者

对于 Δ 型和F型轮廓形状,根据 R_m' 和 H_1' 的测定值,可用等式(2)表示辗扩试验的结果,如图5所示。介于AB和CD之间的试验曲线的状态表示轮廓形状形成的程度,它与离AB线的垂直距离实际上成比例关系。由于比值 r_m/R_m 和 r_m'/R_m' 不同,因此有一个小偏差,当轮廓形状完全充满时,偏差就消失。表示这些结果的方法,对于图5 F型这种面积比 A_2/A_0 很小的轮廓形状,并不特别适宜,因为曲线很靠近。这种方法更适合于表示图6所示的结果。该图示出各种扩大时AB的偏离量与径向壁厚减少率 $(1 - \frac{H_1}{H_0}) = \frac{\Delta H}{H_0}$ 的关系曲线。图6用

这种方法表示并对比了八种轮廓形状的试验结果。对外轮廓有凸部的套圈(A型和E型)的计算与迄今已采用过的内轮廓凸部的分析方法相似。当内外轮廓的凸部面积相等(G型和H型)时,平均半径 r_m 等于 R_m ,因此,在轮廓形状完全充满的时候,理论曲线为一水平直线。

图6中的曲线表明,C型和D型轮廓形状,随着壁厚的减少($\Delta H/H_0$),比其它型式充满得更快。G型似乎会产生反向流动。这并不意味着没有金属流入轮廓凸部,由于直径的增大,必然会流入一些金属,以保持一定的轮廓面积 A_2 。

很明显,截面急剧变化(即端面与辗压轮轴线呈 90°)的轮廓形状,对充满是很不利的。相反,具有锥形或圆形表面的轮廓形状C和D,有利于轴向流动和迅速充满。今后研究工作的目标是确定减少轮廓形状变化的因素,以及确定相对辗压比和润滑剂。

轮廓表面的形状

锥形轮廓形状是由于孔型内材料受到套圈主要部分截面的圆周拉伸变形造成的。假定流入型槽的速度沿口部（如图5所示）是均匀的以及由于套圈扩大而型槽内材料受到单向应力而延伸，那么单元体截面ABCD将沿轴向和径向均匀收缩，因而可以确定轮廓凸部的曲边形状

利用图4的符号， zy_0 为型槽宽度， zy 是辗扩过程中一个单元体的宽度， r_0 ， dx_0 是单元体开始成形时的半径和径向壁厚度， r 和 dx 是辗扩过程中相应的尺寸，于是，单向圆周延伸的条件式为：

$$y^2 r = y_0^2 r = \text{常数} = C^2 \text{ 或 } y = \frac{C}{r^{\frac{1}{2}}}$$

$$\text{和 } \frac{dy}{dr} = -\frac{1}{2} Cr^{2/3}$$

$$\text{此外 } \frac{dx}{dx_0} = \frac{y}{y_0} \pm \left(\frac{r_0}{r} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{因此 } \frac{dx}{dr} = -\frac{1}{2} \frac{y_0}{r} \frac{dx}{dx_0}$$

$$\text{或 } \frac{dy}{dx} = -\frac{1}{2} \frac{y_0}{r} \frac{dr}{dx_0}$$

在辗扩的最初阶段， $r=r_0$ 与 $dr=dr_0$ ，边界斜率是：

$$\frac{dy_0}{dx_0} = -\frac{1}{2} \frac{y_0}{r_0} \frac{dr_0}{dx_0} \quad \dots\dots\dots (3)$$

特定单元体的边界斜率在单向变形的情况下，在随后的整个变形过程中，保持不变。等式(3)可以进一步同套圈体内的变形联系起来进行研究。如果平均半径 R_m 上的圆周变形增量为 $\frac{dR_m}{R_m} = d\epsilon_\theta$ ，壁厚变型增量为 $\frac{dH}{H} = d\epsilon_H$ ，流入型槽的体积和增量

为 $\frac{dv}{V} = d\epsilon_v = \frac{zy_0 r_0 dx_0}{W_0 H_1 R_m}$ ，则根据不

可压缩条件可得出下列关系：

$$d\epsilon_\theta + d\epsilon_H + d\epsilon_v = 0$$

式中： $d\epsilon_H$ 为负值， $d\epsilon_\theta$ 和 $d\epsilon_v$ 为正值。

$$\text{假设 } Z = \frac{d\epsilon_v}{d\epsilon_\theta} = \frac{zy_0 r_0 dx_0}{W_0 H_1 R_m} \cdot \frac{R_m}{dR_m} = \frac{zy_0 r_0 dx_0}{W_0 H dR_m}$$

$$\text{则 } dx_0 r_0 = Z dR_m \frac{W_0 H_1}{zy_0} \quad \dots\dots (4)$$

联立等式(3)和(4)得

$$\frac{dy_0}{dx_0} = \frac{dy}{dx} = -\frac{dr_0 y_0^2}{zdR_m W_0 H_1} \quad \dots\dots\dots (5)$$

根据图7，对于内轮廓形状

$$R_m = r_0 + \frac{H}{2}, \text{ 因而对外轮廓形状}$$

$$R_m = r_0 - \frac{H}{2}.$$

$$\text{假定一般情况下 } R_m = r_0 \pm \frac{H}{2},$$

并把上述符号用于内轮廓形状，则：

$$dR_m = dr_0 \pm \frac{dH}{2}$$

$$\text{和 } \frac{dr_0}{dR_m} = 1 \pm \frac{dH}{2dR_m} \quad \dots\dots (6)$$

联立等式(5)和(6)并推导出

$$\begin{aligned} \frac{dy}{dx} &= -\left(1 \pm \frac{dH}{2dR_m}\right) \frac{y_0^2}{W_0 H_1 z} \\ &= \left(R_m \frac{d\epsilon_\theta}{d\epsilon_v} \pm \frac{H_1}{2} \frac{d\epsilon_H}{d\epsilon_\theta}\right) \frac{y_0^2}{W_0 H_1 R_m} \quad \dots\dots\dots (7) \end{aligned}$$

$$\text{用圆周应变 } \epsilon_\theta = L_n \frac{R_m}{R_0}$$

与 $\epsilon_H = -L_n \frac{H_0}{H_1}$ 及 $\epsilon_r = -(\epsilon_\theta + \epsilon_H)$

设计数据。

结束语

试验证明, 轮廓形状的形成过程与辗压轮孔型的几何形状有着密切关系。方形截面轮廓形状不能有效地成形, 主要是由于存在着横向收缩以及同时产生的轮廓凸部的圆周拉伸变形。今后的研究工作是要确定相对辗压比、辗扩速度、摩擦和辗压轮几何形状的少量变化等因素对轮廓形状形成的影响。

文 献

Hawkyard, J. B. 等: "Analyses for roll force and torque in ring rolling, with some Supporting experiments" Int. J. Mech Sci, 15, 11, pp873—893 (November-1973)。

的曲线关系来表示套圈的测量结果 (如图 8) 时, 用等式 (7) 便可确定斜率

$$\frac{d\epsilon_\theta}{d\epsilon_r} \text{ 和 } \frac{d\epsilon_H}{d\epsilon_\theta}$$

对于 E 型和 F 型轮廓形状套圈成形的开始和最后阶段, 已用等式 (7) 进行了验证。按式 (7) E 型轮廓套圈的 $\frac{dy}{dx}$ 分别为 0.13 和 0.58, F 型轮廓套圈分别为 0.11 和 0.67。相应的近似试验值分别为 0.1, 0.65 (E 型) 和 0.15, 0.8 (F 型)。这些结果表明, 关于轮廓凸部受单向拉伸的假说与实验结果具有相当好的对应关系。进一步进行这种分析可对成形辗扩的成形极限提供有益的

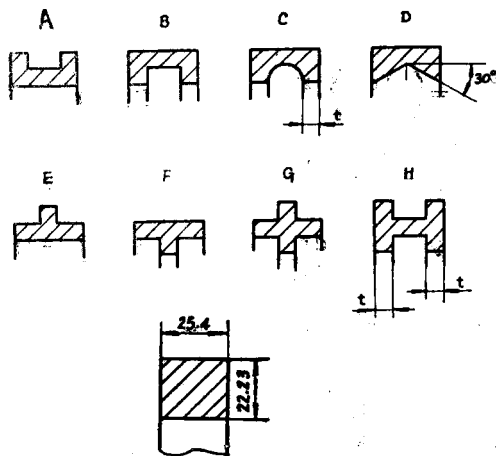


图 1: a) 封闭槽辗扩时主辗压轮和辗压辊型槽布置; b) 辗压轮与辗压辊间孔型形状与原始套圈截面。孔型凸出部分宽度 $t=6.35$ 毫米, 此值也适用于其他截面。

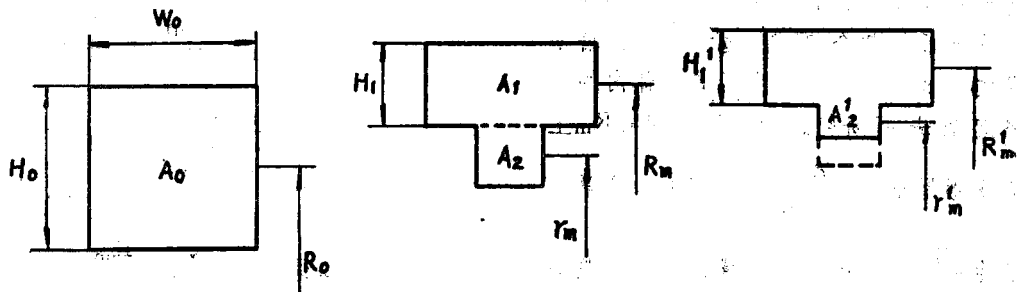


图 2 轮廓形状形成的过程

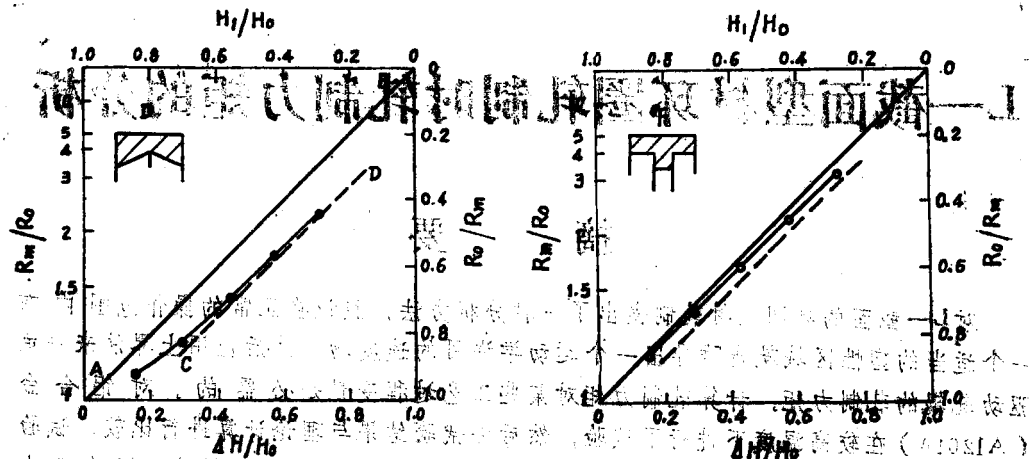


图3. 轮廓形状为D和F的试验与理论计算结果。直线AB代表平面变形扩展，CD代表完全成形的轮廓形状。中间的曲线为试验曲线。

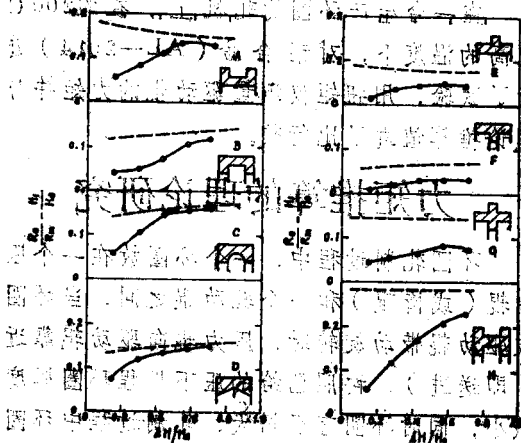


图4. 不同轮廓形状充满情况与壁厚变形的关系。虚线代表完全成形的轮廓形状(理论计算)。

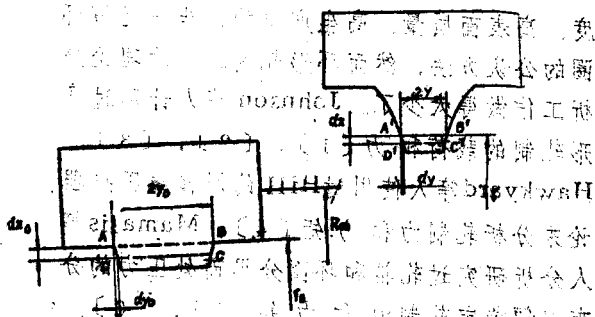
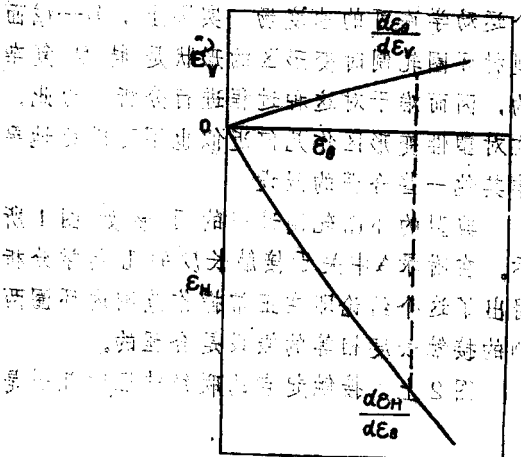


图5. 轮廓形状曲线示例

图6. 确定轮廓形状曲线的变形图

《Proc. Ist. Int. Conf. Rotary Metalwork Process, London, 1979》, Kompact, 1979, 345~354页

L—截面型材环圈轧制时轧制力矩的分析

摘 要

对L—截面的环圈型材轧制提出了一种分析方法,假设在正常的操作范围内有一个适当的塑性区域就能推导出一个运动学许可的速度场,然后应用上界法来决定驱动轧辊的轧制力矩。计算轧制力矩对某些工艺过程变量是必需的。对铝合金(A12014)在较高温度下进行了试验,然后将试验结果与理论计算进行比较,试验和理论计算两者都表明:当翼缘(注:指L的短边)受轧辊表面限制时力矩有最大值,随后力矩下降。

前 言

现今,环圈轧制过程是一种具有高强度、高表面质量、高生产率的,生产无缝环圈的公认方法,然而环形轧制过程的理论分析工作做得太少了。Johnson等人计算过环形轧制的载荷和力〔1〕,〔2〕,〔3〕。Hawkyard等人使用过Hill的滑移线压痕理论来分析轧制力和力矩〔4〕。Mamalis等人分析研究过轧辊和环圈分界面处压力的分布以便确定轧制力和力矩〔5〕,〔6〕。Mamalis利用滑线理论对型材环圈轧制过程也作了近似的分析〔7〕。

目前没有一个利用上界法对型材环形轧制进行系统的理论计算方法。在本文里,对L—截面型材的环圈轧制推导了一个运动学许可的速度场,然后对轧制力矩的理论推算获得了一个上界解。分析时适当地考虑了驱动辊和压力辊之间直径的差别,在正常操作范围内,几何学的分析导出了环圈变形区接触长度的近似值。在正常送进速度范围内变形时,假设环圈材料是完全刚塑性,然后对某些选定的压力辊送进速率条件下的轧制进行了轧制力矩计算。

在一台生产环圈的轧机上,在约200℃较高的温度下,对铝合金(AL—2014)进行了试验,用扭矩仪测量驱动辊的力矩并与理论推算值进行了比较。

力矩推算的理论研究

环圈轧制过程中,一个环圈放在一个压力辊(或情辊)和一个驱动辊之间,当环圈被驱动辊带动旋转时,压力辊向驱动辊靠近(即送进),按照已给的压下规程环圈厚度减小,同时环圈直径增大,轧制过程中环圈厚度的减小由送进速率的大小或每转的送给量决定。为了明确表达一个上界解,应该假设变形区并且在塑性变形区域内应该找出一个运动学许可的速度场。实际上,L—截面型材环圈轧制时变形区的形状是特别复杂的,因而难于对这种过程进行分析,为此,在对塑性变形区作几何近似也不可避免地要作其他一些合理的假设。

典型的环圈轧制过程的图形如图1所示。在附录A中关于接触长度的几何学分析得出了这个结论即在正常操作范围内环圈两侧的接触长度相等的假设是合理的。

图2上,接触起点的联线被证明几乎是