

轴承套圈温挤压工艺的研究

洛 阳 轴 承 研 究 所

一九八一年三月

一、概 述

滚动轴承的生产批量大，每年消耗大量的轴承钢材。因此采用留量小、尺寸和几何精度高的少无切削新工艺，对于提高材料利用率，降低轴承成本有着重要意义，同时也是提高轴承寿命、减少车加工工时，实现下工序机械化及自动化生产的重要前提。

当前，小型轴承套圈的供坯方式主要有棒料车削，管料车削，热锻件和冷挤压件等几种。棒料车削的材料利用率仅18~26%，浪费严重；管料车削的材料利用率虽可达40~50%，车加工效率也比较高，但目前轴承钢管的价格很高；热锻件的材料利用率为32~42%，尺寸几何精度差，车削留量大，不能满足车加工自动化的要求，且热锻生产条件差、劳动强度大；冷挤件精度高，生产率高，材料利用率可达55~62%，可实现少、无切削，但轴承钢冷挤压变形困难，单位压力较高，模具易坏，同时要求大吨位的压力机，这就限制了冷挤压的应用范围。综上所述，现有提供毛坯的几种方法都存在一些问题，需要寻找新的优质、高产、低成本的工艺方法来满足生产发展的需要。温挤压工艺就是这种少、无切削的新工艺之一。

温挤压（温锻）是在冷挤压基础上发展起来的一种新工艺。它是在金属的再结晶温度附近进行锻造。由于这个特点，温挤压兼有冷、热挤压的优点，而较少各自的缺点。与冷挤压相比：锻件的精度，表面光洁度以及材料利用率大致相近，由于在再结晶温度附近挤压，金属塑性仍然较好，在冷态下难变形的钢材也可获得较大的变形程度，成形压力减少 $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{3}$ ，从而降低所需设备吨位。并且挤压过程中不需要中间退火和表面处理，能在多工位压力机上组织连续生产。与热挤压相比：由于锻造加热温度较低，钢材没有氧化，脱碳的可能性小，故锻件的尺寸精度与光洁度较高，留量可以大大降低，实现少、无切削。

为了探讨在轴承工业中应用这种新技术的可能性，近年来，我们进行了一系列的试验工作。首先，我们对轴承套圈温挤压工艺的有关基本问题进行了试验，主要是温挤压温度范围的确定，润滑剂的试验，温挤成形试验和温挤件精度、质量的检查分析。先后试验过的轴承型号有203/02、204/02、205/02、408/02、202/01、203/01杯形件和203、204、7606、7608、7815的塔形件等（图1）。并利用现有生产设备条件、将杯形件的温挤压工艺用于生产，收到较好的效果。本文重点介绍杯形件温挤工艺的试验和应用情况。

二、轴承钢温挤的基本问题

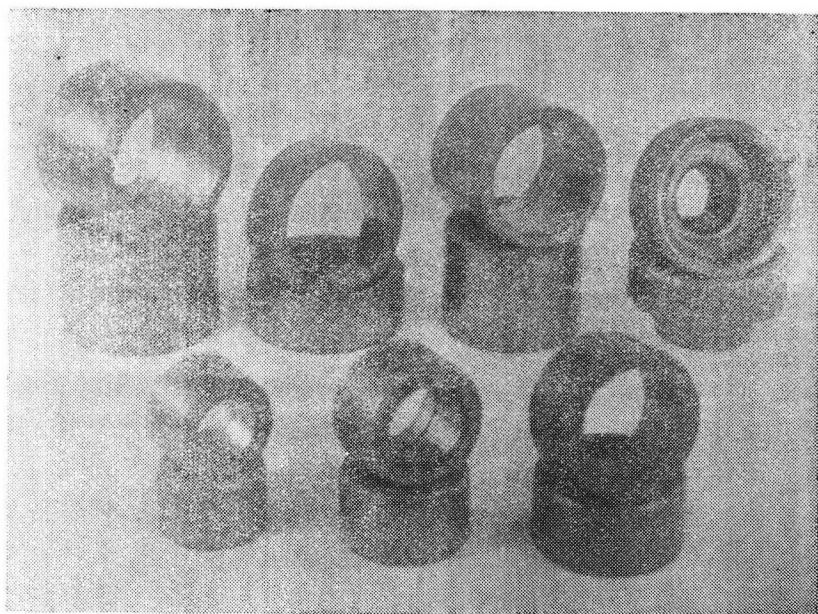
温挤的一般特点已为人们所了解，但对于轴承钢和轴承套圈来说，在应用这种工艺之前，需要对它的一些基本问题进行研究，以确定合理的工艺规范和工艺过程，这些问题是：

203/01两个

203/01

202/01两个

203塔形



203/02

204/02

205/02

图1 温挤件的部份样品

1. 温挤温度的选择

温挤的一个重要特点是通过加热，使金属的塑性提高，强度降低，从而减小其变形抗力。

图2表明其单位挤压力是随温度的上升而下降。与冷挤压相比（轴承钢在 $\epsilon_F = 40 \sim 60\%$ 的范围内冷挤时，单位压力为 $250 \sim 320$ 公斤/毫米²）：550℃时，单位挤压力降低30%左右；700℃时降低50%以上；700~800℃之间挤压力基本不变，但氧化脱碳增加。因此，从降低挤压力着眼，轴承钢温挤的开始温度可取在700℃左右。

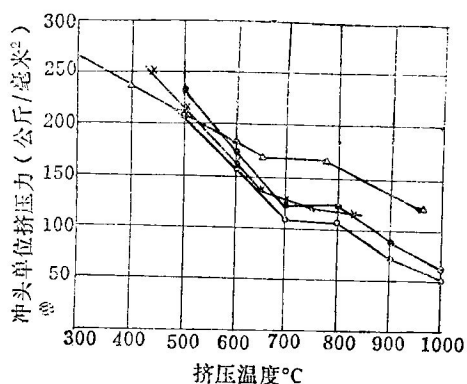


图2 轴承钢反挤时温度与单位压力的关系

△—— $\epsilon_F = 54\%$ ，油压机

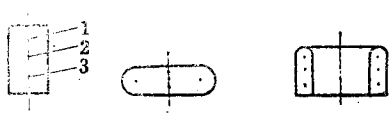
• x • —— $\epsilon_F = 40 \sim 65\%$ ，机械压力机

进行温挤的最低温度，一般应高于兰脆温度。对GCr15钢来说，兰脆温度大致在450℃左右。在兰脆温度范围内，变形抗力增加，脆性增大。

温挤温度低于700℃，对工件外观是有利的。试验表明，采用磨光料时，在挤压件表面没有发现脱碳层；而采用热轧退火料时，原材料的脱碳层经镦粗、反挤后有变薄的趋势。

生产中希望温挤后工件不再退火，以免破坏已获得的较高精度和产生新脱碳层。故轴承钢温挤时，一般采用经球化退火、组织合于国家标准要求的材料，以便挤压后可以直接进行车削加工，外径和挤压基面可直接进行软磨、并为随后的淬火准备好原始组织。这就要求温挤件不产生严重硬化和改变退火组织。对温挤件硬度与组织的检查情况表明（表1）：在炉温600~750℃的温度范围内，温挤件的硬度比室温时原料硬度的增高率在11.2~5.6%之内，组织无转变，仍为球化退火组织（参见图11a）。

表 1 原料、饼坯在不同挤压温度时的硬度

测量部位示意图						
	原 料	饼 坯	温 挤 件			
不同温度	室 温	室 温	600℃	650℃	700℃	750℃
硬度RA	58.2	67.9	64.8	63.7	62.8	61.5
相当HB	199	318	266	252	241	227
硬度增高率%	—	16.6	11.2	9.5	8	5.6

2. 润滑剂和润滑方法

采用适当的润滑剂是温挤工艺成败的关键之一。对润滑剂的基本要求是耐 高 温 高 压，即在700℃、承受200公斤/毫米²变形抗力的条件下，能保持良好的润滑性能、摩擦系数小，不粘模；其次润滑对象可以是模具或坯料，如润滑坯料，则要求粘结牢固，保证在坯料搬运、传送和加热过程中不脱落；此外，还要求润滑剂无毒、无味、成本低、涂敷简单能满足大批量生产的要求。我们试验过十多种润滑剂（基本成份是石墨+粘结剂+水），其中进行过耐温性能试验，摩擦系数测定，工艺参数测定和现场应用比较的润滑剂如表2所列。

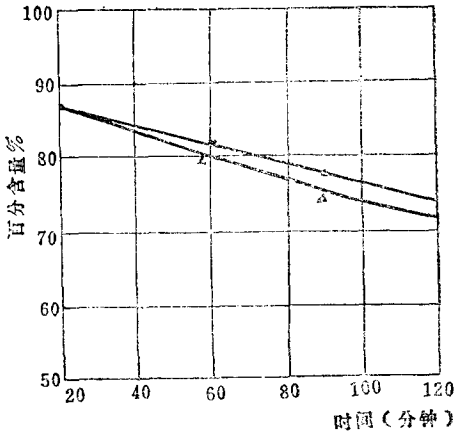
润滑方法采用浸涂和喷刷模具两种。为了比较润滑效果，也曾两者兼用。

为了考察润滑剂内粘结剂在高温时的稳定性以及粘结剂对石墨的影响，把四种粘结剂及其与石墨调制而成的润滑剂Z₁~Z₄涂敷在瓷盘上，用电炉加热，测定其氧化损耗情况，结果如图3、4所示。

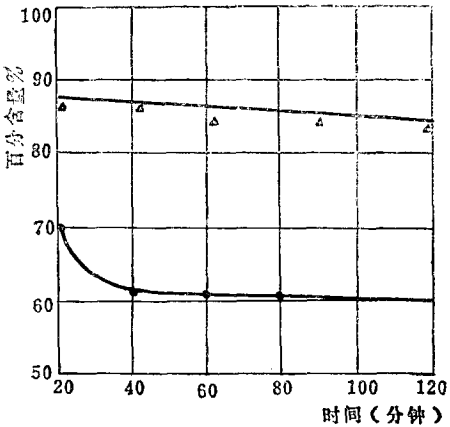
表 2

轴承套圈温挤用润滑剂

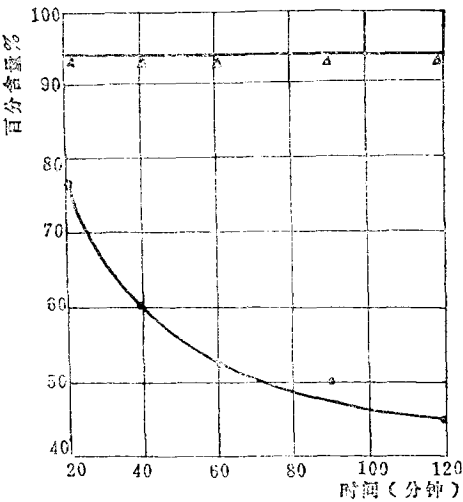
润滑剂 代号	粘 结 剂 名 称	润滑剂 代号	粘 结 剂 名 称
Z ₁	四 硼 酸 镁	Z ₅	聚 乙 稀 醇
Z ₂	磷酸重铬酸钾镁复盐	Z ₆	油 酸 三 乙 醇 胺
Z ₃	硅 酸 钾	Z ₇	同 上
Z ₄	含水短纤维氧化铝	Z ₈	硼 砂



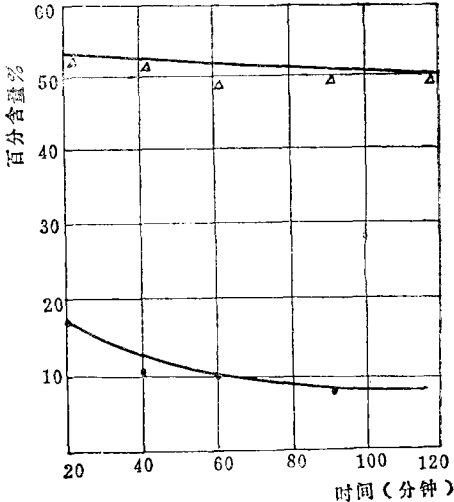
a) Z₁和粘结剂



b) Z₂和粘结剂



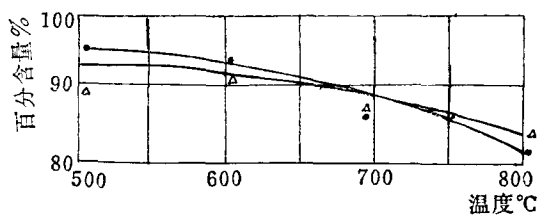
c) Z₃和粘结剂



d) Z₄和粘结剂

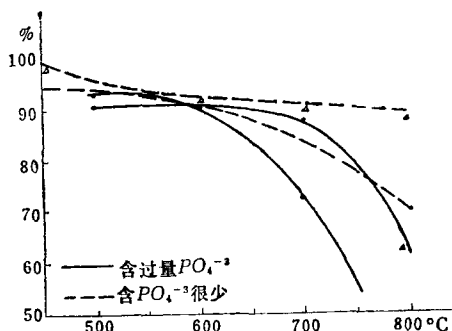
图3 Z₁~Z₄及其粘结剂的耐温性能(700°C保温20~120分钟)

▲ 粘结剂 ● 润滑剂



a) Z_1 和粘结剂

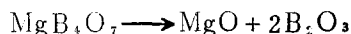
△粘结剂，润滑剂



b) Z_2 和粘结剂

图4 Z_1 和 Z_2 及其粘结剂的耐温性能 (300~800°C, 保温30分钟)

由试验结果可知，加热温度和加热时间对四种粘结剂和润滑剂的氧化损耗是不相同的。四硼酸镁和润滑剂 Z_1 的氧化速度较为缓慢，粘结剂对石墨有防止氧化的作用。这是由于四硼酸镁在90~580°C之间存在分步失水的过程，在600°C开始产生相变。高温熔融状态的四硼酸镁有如下的热分解特征：



热分解物中的 B_2O_3 本身具有润滑性能和具有防止石墨在600°C以上时的氧化作用。所以图3，a)和图4，a)中的曲线有重叠的趋势。

磷酸重铬酸钾镁复盐，当有过量的 H_3PO_4 存在时，本身的耐热稳定性变坏，650°C左右开始发生氧化，而且氧化分解后会促使石墨的氧化作用。但如果 H_3PO_4 适量存在，开始发生氧化的温度不明显，且随温度升高，氧化速度增加缓慢。

粘结剂硅酸钾和含水短纤维氧化铝在高温下有较好的化学稳定性，但都不能有效的防止石墨氧化。

温挤用润滑剂，在保持良好的润滑条件下，应有尽可能低的摩擦系数，以减少坯料与模具之间的摩擦阻力，促进金属的塑性流动。我们曾用玄武3号高温摩擦试验机，测定了 Z_1 和 Z_2 在500~750°C时的摩擦系数，结果如图5所示。

试验结果表明， Z_1 在600~700°C的温度范围内使用，试件虽有明显的塑性变形，但润滑剂在金属基体表面的粘附性能非常好，十分钟内不发生干摩擦，摩擦系数为0.02，

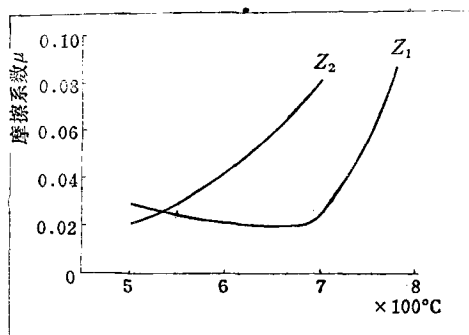


图5 润滑剂 Z_1 和 Z_2 高温摩擦系数

显示出极好的摩擦特性和优良的润滑性。 Z_2 的摩擦特性比 Z_1 稍差。

在各种润滑剂的耐温特性和摩擦特性进行测定的同时，采用 Z_1 —— Z_4 四种润滑剂在轴承套圈温挤压试验中作了对比试验。试验表明， Z_1 Z_2 对挤出产品的表面光洁度均获得满意的结果，而以 Z_1 最佳。

为了进一步比较上述各种润滑剂以及其它润滑剂的优劣，又与上海交通大学等单位协作，对各种润滑剂、不同润滑方式和不同成形方法的挤压力进行现场测试，并对润滑效果进行对比分析，结果如表3、表4、表5所列。

表 3 7205塔形件温挤时、六种润滑挤的对比试验（挤压温度700℃）

润滑剂	润滑方法	平均总压力 (吨)	单位挤压力 (公斤/毫米 ²)	润 滑 效 果
Z_1	坯料润滑	206.5	124	润滑效果较好、产品光洁、烟极少
Z_2	" "	206.5	124	同 上
Z_3	" "	220	132	产品表面不光洁
油酸57% 石墨26% MOS_2 17%	模 具 润 滑	196	118	润滑效果好、产品表面光洁、烟多、味难闻、有刺激性。
油 剂 石 墨	"	196	118	润滑效果好、产品表面光洁、烟多、无气味
汽缸油80% 石墨20%	"	203	122	润滑效果较好、产品表面光洁、烟少

表 4 102/01杯形件温挤时六种润滑剂的对比试验（挤压温度710℃）

润 滑 剂	润滑方法	总 压 力 (吨)	单位挤压力 (公斤/毫米 ²)	挤压件 光洁度	成 形 时 情 况
Z_1	模具 润滑	74~88	136.28 ~160.05	较好	烟雾少、无味
Z_2	"	78	143.36	较好	烟雾少、有气味
Z_3	"	90	165.75	差	烟雾少，有气味
Z_4	"	98	180.49	差	有烟、有气味
Z_5	"	91	167.59	好	烟大、有气味
40#机油80% 石墨20%	"	96	176.80	好	烟大、起火

表 5 102/01 杯形件温挤时、不同润滑方法对比试验 (挤压温度710℃)

坯料润滑剂	Z ₁		Z ₅		不润滑
模具润滑剂	40#机油 + 石墨	不润滑	40#机油 + 石墨	不润滑	40#机油 + 石墨
挤压件光洁度	好	最好	较差	较差	好
成形时情况	烟多无味	无烟无味	烟较多无味	有烟无味	烟多
总压力 (吨)	91	86	91	83	100
单位挤压力 (公斤/毫米 ²)	167.6	158.4	157.6	152.9	184
与坯料不润滑相比压力下降情况	9 %	14 %	9 %	18 %	0 %

通过大量试验表明：润滑剂Z₁，不仅无烟、无刺激味、挤压力低、产品表面质量好，而且耐高温，加热到700℃仍能保持良好的润滑性能，是目前成批生产中较好的一种温挤润滑剂。

3. 温挤的挤压力

温挤的挤压力与坯料的钢种，产品形状，变形程度，模具形状及润滑等有关，与挤压温度更有密切关系。反挤压时计算温挤压力的公式如下：

$$P = \frac{\pi}{4} d^2 \cdot p \times 10^{-3}$$

式中：P——挤压力，吨；

d——反挤压冲头直径，毫米；

p——单位挤压力，公斤/毫米²。

由上式可知，计算挤压力，主要是确定单位挤压力，可参照图 2 和表 3、4、5 所列试验数据选取。根据不同变形程度与温度范围，单位挤压力在120~180公斤/毫米²之间。

三、温挤工艺过程及装置

现以205/02及202/01为例，对杯形件温挤工艺及装置分述如下：

1. 产品与温挤件

套圈产品与温挤件的形状及尺寸见图 6

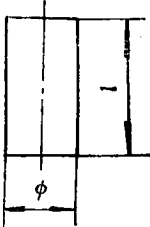
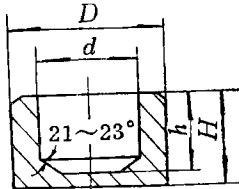
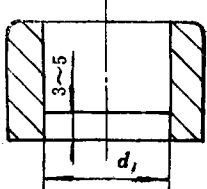
2. 工艺过程

杯形件温挤工艺过程及技术说明如表 6。

3. 冷切下料

下料质量的好坏，不仅影响镦粗工序，而且影响成形工序。对下料质量的要求是：重量差不大于±1%，端面平整，无毛刺，倾斜角、“马蹄形”、压塌等应尽量小。我

表6 温挤压工艺过程

工序号	工序名称	变 形 草 图	模 具	设 备	型 号	
					205/02	202/01
1	备料				磨光料、除油去毛刺	热轧退火料、校直去毛刺
2	冷切料		半封闭式下料模	JB23—80型压力机	1. $\phi = 20^{+0.1}$ $L = 28.5$ 2. $L/\phi = 1.43$ 3. $G = 67.5 \pm 0.7$ 克 4. HB199 5. 2~3级退火组织	1. $\phi = 22 \pm 0.3$ $L = 33.5$ 2. $L/\phi = 1.52$ 3. $G = 99 \pm 1$ 克 4. HB179~183 5. 2~3级退火组织
3	冷镦饼		浮动镦饼模	JB31—160A型压力机	1. $D = \phi 33.65^{+0.1}$ $H = 10^{+0.15}$ $h = 2 \sim 4$ 2. $\varepsilon = 65\%$ 3. HB318 4. 冷镦后料饼表面温度 $85 \sim 95^\circ\text{C}$ 。	1. $D = \phi 35.2^{+0.1}$ $H = 13.6^{+0.2}$ $h = 3 \sim 4$ 2. $\varepsilon = 59.4\%$ 3. HB302—311 4. 冷镦后料饼表面温度 $85 \sim 120^\circ\text{C}$
4	润滑	润滑膜厚度 $0.05 \sim 0.1$ 毫米		润滑装置	四硼酸镁石墨水剂 润滑剂	同左
5	加热	$700 \pm 20^\circ\text{C}$		电阻炉	1. 每炉装料数量300~400件 2. 料饼在炉中加热保温时间25~80分钟	同左
6	温挤压		温挤压模	JA31—160A型压力机	1. $D = \phi 33.8^{+0.15}$ $d = \phi 24.4^{-0.2}$ $H = 16.5^{+1}$, $h = 14.3^{-0.5}$ 2. 壁厚差不大于0.3 3. $\varepsilon_r = 52.1\%$ 4. 挤压前冲头、凹模预热到 $100 \sim 150^\circ\text{C}$ 左右	1. $D = \phi 35.5^{+0.2}$ $d = \phi 28.2^{-0.2}$ $H = 27^{+1}$ $h = 24.3^{-0.5}$ 2. 壁厚差不大于0.3 3. $\varepsilon_r = 66.8\%$ 4. 挤压前冲头、凹模预热到 $100 \sim 150^\circ\text{C}$ 左右
7	温切底		温切底模	JB23-80型压力机	1. $d_1 = \phi 24.1$ 2. 切底温度约 $450 \sim 600^\circ\text{C}$ 3. 切底前冲头、凹模预热到 100°C 左右 4. 空冷	1. $d_1 = 27.9$ 2. 切底温度约 $450 \sim 600^\circ\text{C}$ 3. 切底前冲头、凹模预热到 100°C 左右 4. 空冷

续表六

工序号	工序名称	变 形 草 图	模 具	设 备	型	号
					205/02	202/01
8	检 查				1.外观及尺寸几何精度检查 2.HRB90~106 3.2~3级退火组织	1.外观及尺寸几何精度检查 2.HRB90~105 3.2~3级退火组织

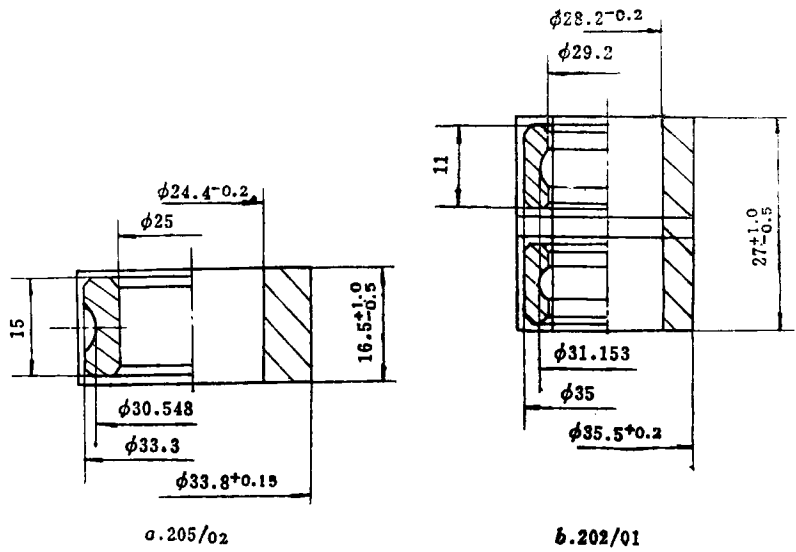


图 6 产品与温挤件尺寸

们采用图 7 的半封闭式冷切下料模，基本上达到了上述要求。下料重量实际误差可控制在 1.3% 以内，料段端部椭圆度 0.8 毫米，外径压塌深度 0.5 毫米，端面斜度不大于 2.5°。

下料模结构如图 7 示，切料刀板和定位套装在模具滑块上，棒料通过固定切料套筒送到由刀板与定位套组成的半封闭孔中，棒料前端进入定位套孔 3——5 毫米，这样在剪切时，基本上避免了棒料前端“低头”现象，从而保证了下料质量。下料长度通过打料杆后面的螺钉调节。已切断的料段从定位套中排出是通过斜面、滚轮、弹簧和打料杆，在滑块接近下死点时完成的。更换件的磨损寿命在一万件左右。

4. 浮动模冷镦饼

镦饼质量对挤压成形时的金属流动，温挤件的质量（主要是壁厚差和平行差），挤压冲头的强度寿命有影响。对挤压前饼坯的要求是：形状简单，在挤压模中便于定位，金属分布均匀，椭圆和平行差小，无毛刺等。曾试验过自由镦饼，模中镦饼和浮动镦饼等三种冷镦饼工艺。试验证明：浮动镦饼能满足上述要求。浮动镦饼时饼坯的椭圆为 0.1~0.2 毫米（自由镦饼为 0.5~0.8 毫米），平行差为 0.3 毫米，金属分布均匀，有利于提高温挤件的几何精度、减少壁厚差。

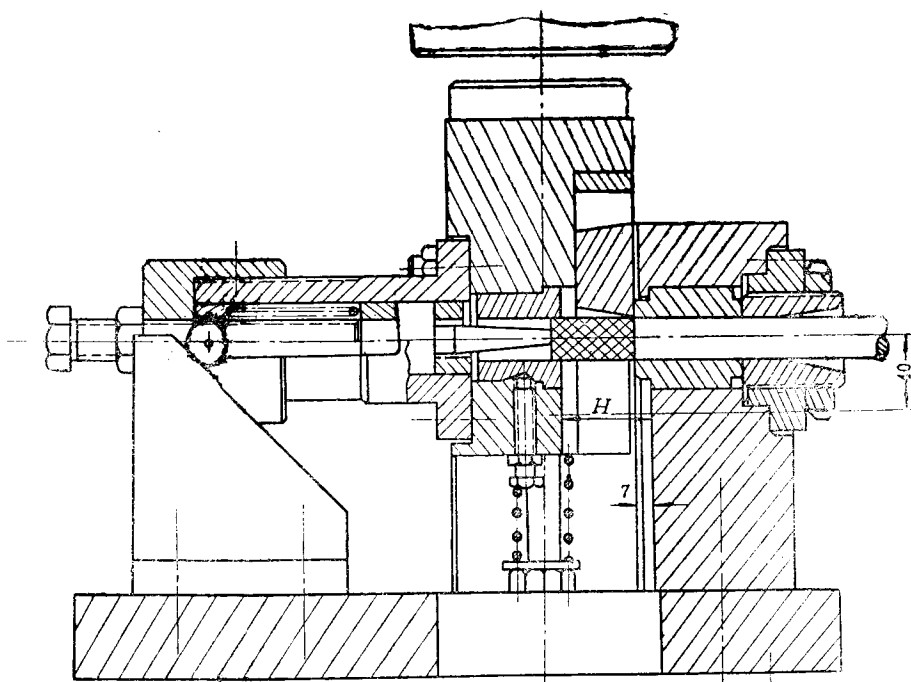


图7 80吨压力机半封闭套筒冷下料模

双工位浮动冷镦模的结构如图8所示。实际镦粗工位只有一个，在工作台中央。两侧有两个卸料工位。活动模板上装有两个浮动模圈，模圈内各压配一个镦粗模片。模圈周围用橡皮圈支持着，当料段放置不在模圈正中而镦粗时，模圈能自动以料段为中心对中，以减少料饼的椭圆度。第一次料饼镦完后，由汽缸把活动模板向左推动，右边的模圈进入中间镦粗位置，放料进行第二次镦粗，同时把第一次镦好的料饼卸下落到底面传送带上，由传送带送往润滑。接着，活动模板返回，进行下一次循环。

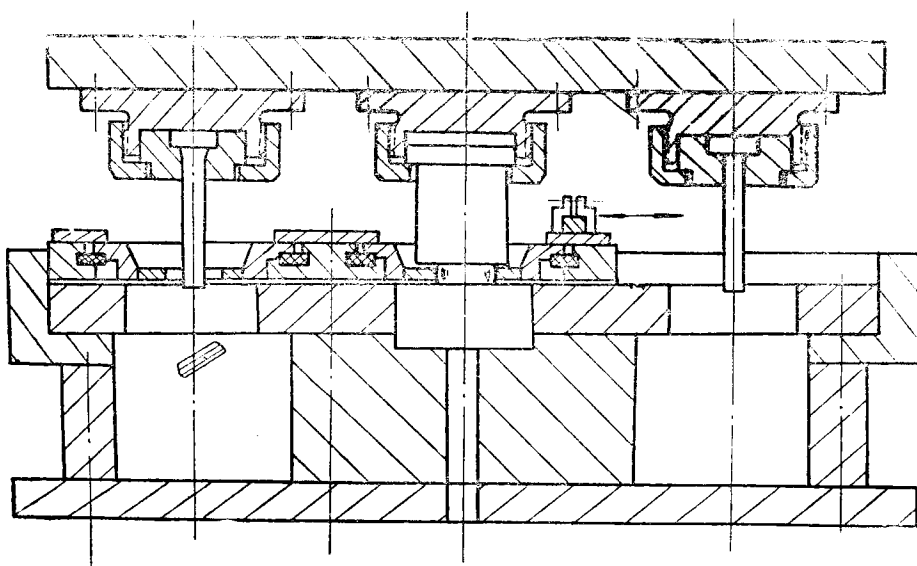


图8 双工位浮动冷镦模

5. 润 滑

温挤压工艺的润滑，我们采用镦粗后料饼浸涂Z₁润滑剂的方法，温挤时模具不再进行润滑。润滑装置工作部分如图9所示。润滑装置紧靠压力机安装，拨料叉由电机通过一级皮带轮和一级涡轮传动。拨料叉主轴同时通过皮带驱动镦饼模底部的传送带。镦好的料饼从模具底下由传送带送出滑入润滑斜槽，在润滑液中停留片刻，拨料叉随即将其拨出落入料箱。由于镦粗时的变形热在85~160℃之间，故经浸涂的料饼表面均匀地粘结了一层厚度为0.05~0.10毫米的润滑膜，且立即干固，在搬运和加热过程中均不脱落，润滑效果良好。

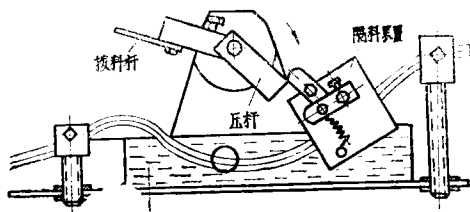


图9 润滑装置示意图

6. 加热

加热是温挤生产的重要工序之一。因为挤压温度范围确定之后，加热质量要靠合理的加热方法来保证。对加热的基本要求是：加热速度快，能自动控温，温度均匀等。因此，较好的加热方法是中频感应加热或专用的连续式电炉加热。

投产时限于现有条件，采用箱式电阻炉加热。炉子安装在成形压力机后侧，每炉加热300~400件，炉温控制范围为 $700 \pm 20^\circ\text{C}$ ，加热到温后保温20分钟左右，然后逐件取出进行挤压。用这种炉子只能分批加热，不能连续生产，效率较低。而且炉内温度不均，影响了加热质量。为了解决这个问题，自行设计制造了一台震底式电阻炉。试用效果较好。

7. 成形与切底

挤压成形和切底是温挤生产的主要工序，它可以检验上述各工序是否合理，并最后决定挤压件的质量和精度。

成形与切底模具具有单工位模具和多工位模具两种。多工位模具（实际上只用两个工位）结构如图10所示。

该模具除采用导柱外，在成形工位还采用了模口导向，导向间隙为0.1毫米。这就保证了挤压件具有较小的壁厚差，模具的更换调整也比较方便。切底工位冲头与凹模的对中可用螺钉进行微量调整以解决模座加工时可能出现的误差。

切底工位有一打料机构。冲孔后料芯落入料坑，温挤工件被冲头带上来，被卸料板刮下后，即由打料机构打出，通过料道滚入机床侧面料箱中。

成形和切底冲头及凹模材料均采用高连钢W18Cr4v，硬度为HRC60~62。因高速钢脆性大而韧性差，故每次生产前应先预热到100~150℃以上，以减少冲头断裂，提高成形凹模温度，避免刚生产时热料饼在模中温降太快影响金属流动。

在连续生产时，成形冲头和凹模的温度升高较快，但到一定时间后就出现热平衡状

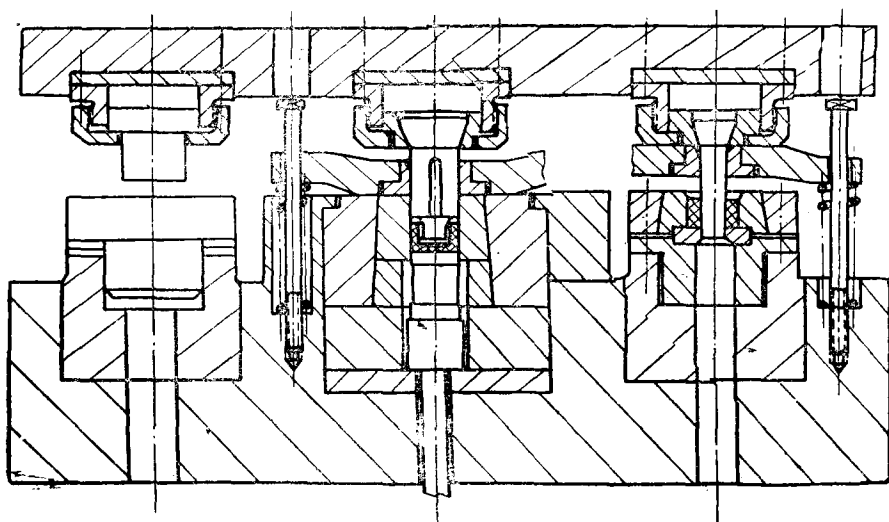


图10 250吨压力机成形切底模

态。对于205/02来说，一般不会超过高速钢的回火温度，故可以不必冷却。对于202/01的两件合锻工艺，有时成形冲头的工作部份，刚离开工件时的瞬时温度可达 500°C 左右（暗红色），在这种情况下，可以用压缩空气风冷冲头，和从内部风冷凹模。切忌直接用水冷却高速钢冲头和凹模，防止模具开裂。

模具工作部分的设计原则，基本上与冷挤压模具相同。但在确定模具工作部分尺寸时，必须按挤压件尺寸再增加一个数值。该值通常称为收缩率，实际上是一个综合修正系数。它不仅与挤压温度直接有关，而且与产品的大小，结构形状，壁厚以及与模具的预热，冷却条件等有关，影响因素较多。实测表明在 $600\sim 700^{\circ}\text{C}$ 挤压小型轴承套圈时，收缩率外径取 0.6% ，内径取 0.4% 较合适。

模具的破坏形式，除成形冲头有时由于操作不当，造成过早折断外，其余更换件均为磨损，使用寿命在一万件以上。

四、温挤件的质量

1. 温挤件的尺寸精度与外观质量

205/02温挤件的尺寸精度与外观质量抽查情况见表7、表8所列。由表可知：温挤件的尺寸精度较好，基本都在工艺要求之内。高度则因下料偏重而普遍偏高，实际尺寸在 $16.5\sim 18$ 毫米之间，比工艺要求大 0.5 毫米。表面缺陷也较少，基本符合工艺要求。

2. 温挤件的内在质量

硬度：在温挤大批量生产中，任意抽检的硬度范围为 $\text{HRB}99\sim 105$ ，与轴承钢正常退火硬度值（ $\text{HRB}86\sim 95$ ）相比，增高 $6\sim 11\%$ 。

脱碳层：用磨光料温挤时，盐挤件未发现脱碳层；用热轧退火料时，经缴粗和反挤

表 7 205/02抽检2000件情况

检查项目	尺 寸 (毫米)				外 观					
	外 径	内 径	高 度	壁厚差	夹层	压 坏	内毛刺	外毛刺	外径压痕	拉毛
工艺要求	$33.8^{+0.15}_{-0.15}$	$24.4^{-0.2}_{+0.2}$	$16.5^{+1.5}_{-0.5}$	<0.30	不允许	不允许	<1.5	不允许	不允许	
检查情况	符 合	符 合	>17.5 有214件; <16 有 1 件	>0.30 有 9 件	有 6 件	有 8 件	有 5 件	少, 很小	少, 很浅	普 遍 有、但 很浅。

表 8

205/02抽检100件结果

单位: 毫米

检查项目	外 径			内 径		高 度		壁 厚	挤压件重	料芯重量
	尺 寸	椭圆度	锥 度	尺 寸	垂直差	尺 寸	平行差	差	(克)	(克)
工艺要求	$33.8^{+0.15}_{-0.15}$	0.10	0.10	$24.4^{-0.2}_{+0.2}$	0.13	$16.5^{+1.5}_{-0.5}$	/	<0.3		
算术平均值	33.89	0.02	0.054	24.37	0.10	17.14	0.25	0.088	56.63	11.4
标准误差 σ	± 0.024	± 0.007	± 0.012	± 0.01	± 0.02	± 0.17	0.27	± 0.02	/	/
$(2.5 \sim 3)\sigma$	0.15	0.04	0.07	0.06	0.12	1.02	0.81	0.12	/	/

注: 标准误差值即均方差 $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{100} (D_n - 33.875)^2}{100}}$, D_n 为挤压件实际尺寸。

根据概率统计理论, 当公差范围大于 $(2.5 \sim 3)\sigma$ 时, 则99%以上挤压件尺寸在公差范围内。

压变形, 原脱碳层有减薄的趋势, 机械加工后, 未发现有脱碳现象。

金相组织: 在600~700℃的温挤温度范围内挤压, 退火组织未发生转变; 并有细化晶粒的效果(图11)。

金属流线: 图12为钢管车削和温挤套圈的金属流线图: 温挤件的金属流线较致密, 基本无纤维端露出, 较耐腐蚀; 钢管车削套圈有纤维端露出, 不耐腐蚀。

3. 温挤件的加工性能

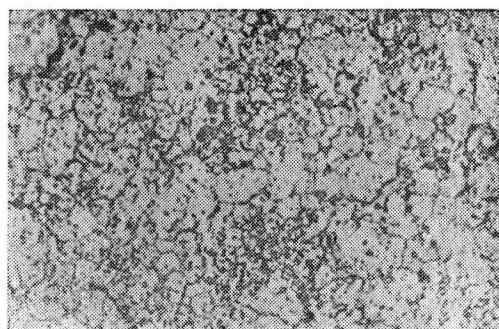
温挤件虽然硬度略高, 但由于尺寸和几何精度较高, 表面光洁, 无氧化皮, 切削留量小, 因此切削性能良好, 对车削效率和刀具寿命没有不良影响。但对两件合锻的温挤件, 车削切断效率较低。

4. 温挤件的机械性能

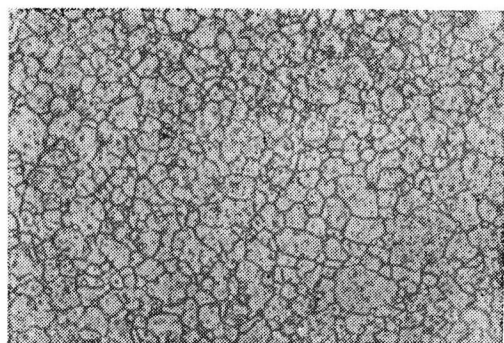
压碎试验: 将202/01温挤件与钢管车削套圈按同一工艺加工为成品零件, 然后在



a) 温挤件退火组织

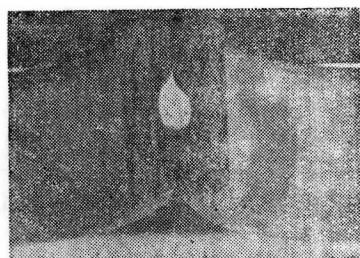


b) 原材料淬火组织和晶粒



c) 温挤件淬火组织和晶粒

图11 原材料和温挤件的组织和晶位



左：温挤套圈 右：钢管车削套圈

图12 金属流线图

万能试验机上进行压碎试验，结果如表9所列。温挤压件的压碎负荷比钢管高11%。

屈服强度试验：将上述两种毛坯在退火状态统一软磨为环件，尺寸为：外径35毫米，内径29.3毫米，高11毫米。然后在精密万能材料试验机上进行屈服强度试验，结果如表10所列。温挤件的屈服负荷比钢管高57%。

表9 压碎试验平均值

毛 坯 种 类	钢 管	温 挤 件
算术平均值A (公斤)	513	581.4
标 准 误 差 σ	101.3	89.5
比 例	1.0	1.11

五、初步经济分析

以203轴承为例，对各种供坯方法的材料消耗、车加工劳动量、能源消耗和热处理前成本进行初步分析，结果如表11所列。由表可知，温挤压工艺材料利用率较高，成本低于热锻和管材车削工艺，经济效果较好。

表10

屈服 负 荷 平 均 值

毛 坯 种 类	钢 管	温 挤 件
算 术 平 均 值 A (公斤)	221	348
标 准 误 差 σ	16	27.5
比 例	1.6	1.57

表11

203轴承套圈各种供坯工艺热处理前的综合指标对比

套 圈 规 格	供 坯 工 艺	原材料消耗		劳 动 量		能源消耗		热处理 前千件 成本对 比 (%)
		公斤 / 千件	材料 利用 率 (%)	台时 / 千件	工时 / 千件	电力 安装 容量 (千瓦)	燃料油 (公斤 / 千件)	
内 圈	棒料多轴自动车	62	27.15	10.45	10.81	47.55	/	100
	热锻反挤压	45	37.4	35.16	38.62	152.55	12.6	89.3
	冷挤压	30	56.1	17.98	20.03	181.05	/	59.1
	温挤压	31.2	53.85	24.82	28.25	146.175	/	63.3
外 圈	管料多轴自动车	76	39.47	13.49	13.96	55.75	/	100
	温挤压	77	39	29.85	34.02	172.775	/	58.4
	两件合锻温挤压	62.5	44.51	27.12	30.46	169.475	/	46.8
内 圈 和 外 圈	外圈管料车 + 内圈棒料车	138	33.94	23.94	24.77	103.3	/	100
	内圈和外圈热套锻	115	40.7	57.49	63.1	218.325	32.2	63.1
	外圈两件合锻温挤 + 内圈温挤	93.7	47.62	51.94	58.71	315.65	/	52.2
	外圈两件合锻温挤 + 内圈冷挤	92.5	48.24	45.1	50.49	350.525	/	50.8

六、结 束 语

1.在现有条件下, GCr15钢在600~700℃的温度范围内挤压时, 挤压件充满情况良好, 表面光洁; 除高度尺寸变化较大外, 其余尺寸和几何精度较好; 金相组织与原材料组织基本相同; 硬度提高6~11%左右, 影响车沟及车端面时生产效率。为降低硬度和

提高尺寸精度，温挤温度和模具温度应控制在较小范围内波动。

2.在上述温度范围内挤压时，采用四硼酸镁+石墨+水所组成的润滑剂，浸涂润滑坯料，效果良好，能满足大批连续生产的要求。

3.采用半封闭模冷切料，切料重量差可在 $\pm 1\%$ 以内；采用浮动模冷镦饼，可提高饼坯质量，与温挤，温切底组成冷温联合工艺，是一种可行的工艺方案。

4.温挤工艺的加热工序是影响产品内在质量和产品尺寸精度稳定的重要环节，以中频感应加热和连续式电加热炉为好。出料口应尽量靠近挤压设备，并注意模具的预热和冷却，力求在整个生产过程中模具温度的稳定一致。

5.温挤成形冲头、凹模和顶杆，切底冲头和切刀块采用高速钢（W18Cr4V），硬度为HRC60~62时，能达到较高的使用寿命。在批量投产中，除成形冲头由于结构、加工、热处理和操作等原因，强度寿命（折断）较低外，其余使用寿命均达一万件以上，已初步符合投产的基本条件。但今后仍需研究模具的结构和采用新模具材料等，以继续提高其使用寿命。

6.根据初步经济分析，温挤压工艺材料利用率较高，热处理前成本低于钢管车削和热锻工艺，经济效果较好。