

冷挤压机设计基础

赵 呈 林 著

國防工業出版社

冷挤压机设计基础

赵呈林 著

国防工业出版社

内 容 简 介

冷挤压是一种先进的新工艺，具有广阔的发展前途。由于国内缺少适合冷挤压工艺的专用设备，尤其是生产效率较高的机械式冷挤压机，以致影响了冷挤压工艺的发展。但这一问题并未引起广泛的重视和理解，因此，必须大力研制和采用机械式冷挤压机。

本书系统地有关机械式冷挤压机的下列问题作了详细的论述：冷挤压模具容易损坏的原因及其改进的方法；用一般压力机进行冷挤压存在的问题；冷挤压机应具有的特点；各种常用机械式冷挤压机的优缺点及其应用情况；曲柄式和肘杆式冷挤压机的主要技术参数、运动学、动力学和结构设计分析及其有关公式的推导。

本书适于从事冷挤压设备科研和设计人员阅读和参考，也可作为高等院校师生的教学资料。

冷挤压机设计基础

赵呈林 著

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092 $1/32$ 印张 $4^{13}/_{18}$ 101千字

1984年3月第一版 1984年3月第一次印刷 印数：0,001—8,000册

统一书号：15034·2648 定价：0.62元

前 言

冷挤压是一种先进的工艺，在机械制造各个行业中都具有广阔的发展前途。但国内由于没有采用专用的冷挤压设备，故模具容易损坏，挤压件精度较低，且不稳定，影响了冷挤压工艺的发展。因此，必须研制专用的冷挤压机。就需要的情况来看，应大力发展曲柄式和肘杆式冷挤压机，但这两种冷挤压机的设计理论目前国内还不够完善。著者从近十多年来参加冷挤压机设计、科研和教学所积累的资料中，着重将曲柄式和肘杆式冷挤压机的基本理论整理成册，以期对机械式冷挤压机的的发展作点工作。本书主要介绍机械式冷挤压机应具有的特点；主要技术参数的确定；运动学和动力学的分析；设计计算公式的推导等。

曲柄式和肘杆式冷挤压机的设计理论，在有些方面还属于新事物，对它的认识需要反复多次才能完善。由于著者业务水平有限，本书中肯定有不足之处，甚至缺点和错误，恳请广大读者提出批评和意见。

本书在编写过程中，承不少同志大力协助，在此表示感谢！

著 者

一九八二年十月

目 录

第一章 总论	1
§ 1-1 冷挤压工艺的优越性	1
§ 1-2 冷挤压工艺存在的主要问题及其改进的方法	4
§ 1-3 一般压力机为什么不宜进行冷挤压	7
§ 1-4 冷挤压机的特点及其分类	16
第二章 曲柄式冷挤压机	41
§ 2-1 曲柄式冷挤压机的主要技术参数	41
§ 2-2 曲柄式冷挤压机的结构分析	61
§ 2-3 曲柄式冷挤压机的运动分析	72
§ 2-4 曲柄式冷挤压机的动力分析	75
§ 2-5 曲柄一连杆机构的设计	83
第三章 肘杆式冷挤压机	89
§ 3-1 肘杆式冷挤压机的主要技术参数	89
§ 3-2 直摆杆肘杆式冷挤压机的运动分析	101
§ 3-3 直摆杆肘杆式冷挤压机的动力分析	118
§ 3-4 三角摆杆肘杆式冷挤压机的运动分析	126
§ 3-5 三角摆杆肘杆式冷挤压机的动力分析	140
主要参考资料	150

第一章 总 论

§ 1-1 冷挤压工艺的优越性

利用金属的塑性，在置于模腔内的金属毛坯上施加一定的作用力，使其在室温下产生不破坏的永久变形，以获得所需要的形状、尺寸和技术要求的零件，这种加工方法称为冷挤压。

一、冷挤压工艺的优点

近几十年冷挤压工艺，在压力加工领域内已成为一种先进的工艺方法。冷挤压无论在技术上和经济上都有很多优点：

1. 零件尺寸精度高 在室温下进行挤压，零件尺寸基本不受热胀冷缩的影响，仅与模具和设备在压力作用下的弹性变形有关（模具和设备的弹性变形，在正常工作情况下，可通过模具的制造和设备的调整加以补偿）。因此，冷挤压零件的尺寸精度一般为3~4级，有的可达2级，尺寸的公差范围可控制在 ± 0.01 毫米以内，个别情况可控制在 ± 0.0025 毫米。

2. 零件表面光洁度高 在冷挤压过程中，挤压件表面在高压下受到模具光滑表面的平整。因此，冷挤压件的表面光洁度很高，一般为 $\nabla 6 \sim \nabla 8$ ，有的达 $\nabla 10$ 。

3. 节约原材料 冷挤压工艺，不会使金属表面产生脱碳和氧化；由于冷挤压件属于无切屑或少切屑加工，尺寸精度

和表面光洁度较高，没有切屑和烧损带来的金属损耗。因此，冷挤压工艺，可提高金属的利用率，大大节约原材料。一般材料的利用率可高达 80~90 % 左右。例如生产活塞销，采用切屑加工时，材料利用率为 43 %，采用冷挤压时，材料利用率可达 92 %。

4. 生产效率高 从毛坯加工成零件的整个过程来比较，冷挤压的生产效率很高，当生产实现机械化、自动化后，这一优点显得更为突出。例如拖拉机的启动齿轮，在插齿机上加工每件需要 9.6 分钟，改用冷挤压挤出齿形，每件只需 0.05~0.066 分钟，生产效率提高 140~190 倍左右。在一般情况下，冷挤压较切削加工的生产效率高几倍到几十倍。

5. 冷挤压件的强度大、硬度高 冷挤压件是在室温下加工，绝大多数金属材料在冷挤压后都具有冷作硬化的特性，大大提高了零件的强度和硬度。一般金属材料挤压件的机械性能可达调质处理后的要求，冷挤压可使金属沿着有利的方向产生塑性流动，构成极为显著的纤维组织。由于冷挤压件不需要或少需要以后的切削加工，就能达到零件的技术要求，使全部或大部分的纤维组织都没有被切断，特别是把强度极高的纵向晶粒保留下来了，使外露的端向晶粒减少到最小，这不仅有利于提高挤压件的强度，而且还可以减少应力腐蚀，这一点对航空零件更为重要。冷挤压时若施加压力的方向与毛坯纤维方向平行，则纤维受到强烈的压实，使零件得到极为致密的组织，可提高零件的机械性能。若挤压件的受力方向与纤维方向垂直，纤维主要受弯曲，可以减少材料缺口的灵感性，提高零件的强度。例如：硬铝的冷挤压变形程度达 77 % 时，硬度较原材料提高 40 %；冷挤压的 20 号钢活

塞销，可以代替原用的 20Cr 钢；冷挤压的 15Mn 渗碳钢的滚针套，可以代替原用的 GCr15 号钢；冷挤压的 10 号沸腾钢，可达到 A12 号钢的机械性能。

6. 可提高金属的塑性 冷挤压时，塑性变形区的金属处于三向受压的应力状态，不易产生晶间剪切变形，有可能减少晶间物质的破坏、微观裂纹的形成和扩展，这些都有利于提高金属的塑性，Karman 试验就是一个有力的说明。一般金属材料冷挤压时，其极限变形程度可提高 80~90%。因此，冷挤压工艺可用于其他方法难以成形的低塑性材料。

7. 可加工形状复杂和其他方法难以加工的零件 能十分方便地挤压异形断面、内齿、表面看不到的内槽和无线电工业用的一些铝质零件。有的零件一次即可成形。

二、影响挤压件径向尺寸因素的表达式

温、热挤压可以降低金属的变形抗力，改善模具的受力情况，但与冷挤压相比，还存在有一系列不足之处。

在各种情况下进行挤压时，对挤压件径向尺寸有影响的因素，可通过下列各种关系式表示出来：

① 冷态反挤压零件的外径 = 冷态下凹模的内径 + 在压力作用下凹模内径的增大量；

② 热态反挤压零件的外径 = 冷态下凹模的内径 + 预热时凹模内径的增大量 + 在压力作用下凹模内径的增大量 - 冷却后反挤压件的收缩量；

③ 冷态反挤压零件的内径 = 冷态下凸模直径 + 在压力作用下凸模直径的增大量；

④ 热态反挤压零件的内径 = 冷态下凸模直径 + 预热时凸模直径的增大量 + 在压力作用下凸模直径的增大量 - 挤压

件冷却后内径的收缩量；

⑤ 冷态正挤压零件的直径 = 冷态下凹模直径 + 在压力作用下凹模直径的增大量；

⑥ 热态正挤压零件的直径 = 冷态下凹模直径 + 预热时凹模直径的增大量 + 在压力作用下凹模直径的增大量 - 冷却后挤压件直径的收缩量。

从上述一系列表达式中可以看出：影响冷挤压件尺寸精度的因素，主要是模具的加工精度和受力下模具的弹性变形。这些因素可通过计算和模具加工时预先控制，即是说冷挤压件的尺寸精度比较容易保证。温热挤压件的尺寸精度，除受模具加工精度和受力下模具弹性变形影响外，还有模具和挤压件热胀冷缩的影响。

由于冷挤压具有上述一系列优越性，因此，冷挤压在先进的工业国家中发展很快。有的国家一种冷挤压件年产量在一百万件以上，生产率达每小时三千件；有的国家建立了冷挤压生产自动线，年产量在一亿件以上；有的国家每年用于冷挤压的钢材在二百万吨左右；冷挤压件每年的平均增长量为 15~20%，冷挤压件的重量从几克到五十公斤左右；冷挤压设备每年的增长量为 19%。预计今后几年中将有 50% 的热模锻件被冷挤压件所代替。如汽车中冷挤压件的重量将达 58.5~67.5 公斤/辆；轮式拖拉机将达 180 公斤/台；履带式拖拉机将达 450 公斤/台；联合收割机也将达 450 公斤/台。

§ 1-2 冷挤压工艺存在的主要问题 及其改进的方法

虽然冷挤压工艺已有一定的发展，但远远不能满足各工

业部门提出的要求。影响冷挤压工艺发展的主要原因，在于冷挤压时金属变形抗力大，容易损坏模具。

一、模具损坏的原因

为了提高模具寿命，必须弄清楚冷挤压时模具容易损坏的主要原因。

冷挤压时金属塑性变形区处于三向受压的应力状态，各主应力的方向相同。当金属某一点的应力满足式 (1-1) 时，

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2 \sigma_s^2 \quad (1-1)$$

式中 $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ——金属某一点的主应力；

σ_s ——金属的屈服极限。

该点的金属就进入塑性状态。如果金属塑性变形区有一个主应力与其他两个主应力异号，则在满足该金属的塑性条件下的变形抗力小于三向受压状态时的变形抗力，再加以金属在室温下变形和冷作硬化的影响，所以冷挤压时金属变形抗力大，这是冷挤压固有的特性。但从模具现行的强度计算方法出发，在模具材料许用应力条件下，当用一般设备进行冷挤压时，模具也容易损坏。由此可见，在许可条件下进行冷挤压时，金属变形抗力大不是导致模具容易损坏的唯一原因。我们应当找出冷挤压模具容易损坏的其他原因，并想办法使这些不利因素减少，这样不仅可以提高模具寿命，而且还有利于提高模具材料的许用应力。根据统计，冷挤压模具95%以上是由于冲头损坏而报废，这说明冲头是冷挤压模具中最薄弱的环节，因此，分析冲头损坏的原因，应成为我们研究的主要内容。

一般在理想的情况下设计冷挤压模具，认为冲头只承受正压力，其中的应力由零到最大、由最大到零，属于静载的

脉动循环。但通过实际测试知，冲头有的部位由压应力变为拉应力，说明冲头实际承受的应力，为非对称循环的交变应力，这主要是由于作用在冲头上的弯矩所引起的。从冲头断口宏观和微观的分析中得出，冲头的破坏属于疲劳破坏。我们知道一般的冲头材料，其弯曲疲劳极限为脉动压缩疲劳极限的 10~30%，因此，冲头在附加弯曲应力的作用下，很容易损坏。

二、改进措施

冲头在冷挤压过程中，所承受的弯曲应力的 大小，与下列几个主要因素有关：滑块下平面与工作台垫板上平面之间的平行度；滑块行程对工作台垫板上平面的垂直度；机架的刚度；工作行程时连杆或大拉杆作用在滑块上的侧推力是否倒向等。总的来说，上述的形位公差精度高，机架刚度好，工作行程滑块不晃动时，冲头承受的弯矩和剪力小，不容易损坏。

冷挤压时滑块、冲头与被挤压的坯料接触时，具有一定接触速度，其后很快降低，在这一过程中必然产生冲击和振动，使冲头实际承受动态的交变应力。动态下的交变应力与冲击能量是否被吸收和接触速度大小有关，一般情况下，冲击能量被吸收越多、接触速度越小，动态下的交变应力也就越小，这有利于提高模具的寿命。

在机械压力机上进行冷挤压时，由于模具装配、调整不当，坯料的厚度或体积过大，各坯料的机械性能不均匀，同时进入几个坯料，在上下模之间放入异物，坯料表面的润滑薄膜遭到破坏等情况下，挤压力急剧上升，有时超过正常挤压力几倍。模具的强度是根据挤压件的正常挤压力确定的，

无论在冷挤压机公称压力以下或公称压力进行挤压时，都不应超过正常情况下模具最大的许可作用力，否则，模具容易损坏。为了防止上述各种不可避免的意外情况出现时，引起模具和设备的破坏，必须设置过载保护装置。该装置除对冷挤压设备起过载保护作用外，还应对模具起过载保护作用。

为了提高模具寿命，以解决冷挤压存在的主要问题，除在工艺上采取一些措施外，其关键在于：提高冷挤压设备的精度和刚度；降低冲头与挤压毛坯的接触速度及其以后的速度变化梯度；增设对模具的缓冲和过载保护装置（与冷挤压设备过载保护装置通用）等。

§ 1-3 一般压力机为什么不宜进行冷挤压

目前国内用于冷挤压的一般机械压力机有：通用曲柄压力机、摩擦压力机和精压机等，而以通用曲柄压力机为最多。通用压力机用于冷挤压，所存在的问题如下。

1. 不能充分发挥机器的作用 通用曲柄压力机主要根据冲裁或拉伸工艺的特点，来确定公称压力行程（或公称压力角），其值都取得较小。压力机传动机构各受力零部件的强度和结构尺寸则根据公称压力行程（或公称压力角）来设计计算的，因此，滑块负荷曲线允许达到公称压力值的范围比较小。而冷挤压时，有些挤压件的变形量比较大，且冲头与毛坯接触后，挤压力很快达到最大值，其压力变化曲线近似为矩形，因此，要求冷挤压设备的公称压力行程（或公称压力角）比较大。若利用通用曲柄压力机在公称压力和较大的挤压行程下进行冷挤压时，由于公称压力行程（或公称压力角）小，冷挤压开始后不久，挤压力很快就超过了滑块允

许负荷曲线，设备严重超载。因此，通用曲柄压力机不能在公称压力和较大的挤压行程下进行冷挤压。根据现有通用曲柄压力机滑块负荷曲线的统计，挤压力只有降到公称压力的 $1/3 \sim 1/2$ ，才能保证设备的安全。

例如：图 1-1 所示为 160 吨曲柄式冷挤压机的滑块允许负荷曲线。利用它进行冷挤压，当挤压件所需的工作角为 46°

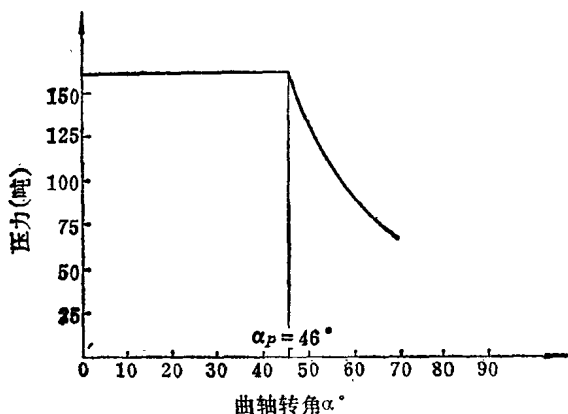


图 1-1 160 吨曲柄式冷挤压机滑块允许负荷曲线

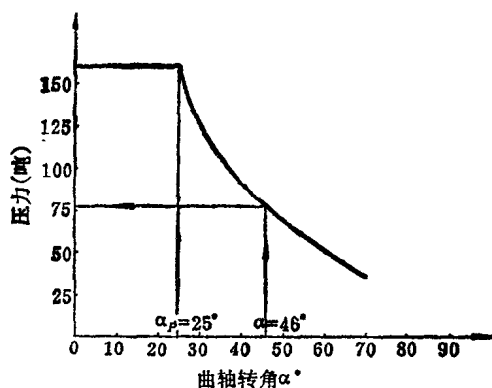


图 1-2 160 吨通用曲柄压力机滑块允许负荷曲线

时，挤压力达到公称压力，对设备也是安全的。图 1-2 所示为 160 吨通用曲柄压力机的滑块允许负荷曲线。在这种设备上进行冷挤压时，若挤压件所需的工作角仍为 46° ，则滑块上的允许作用力约为 77 吨，只有压力机公称压力的 $1/2$ 弱。

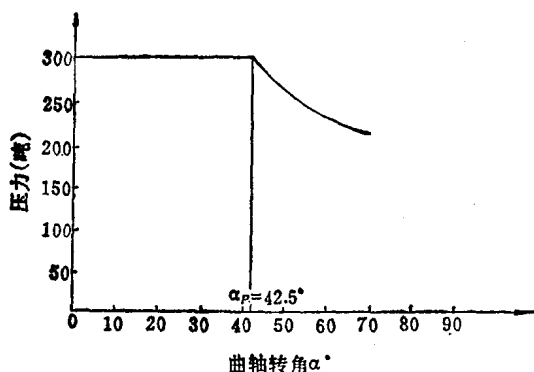


图1-3 315吨曲柄式冷挤压机滑块允许负荷曲线

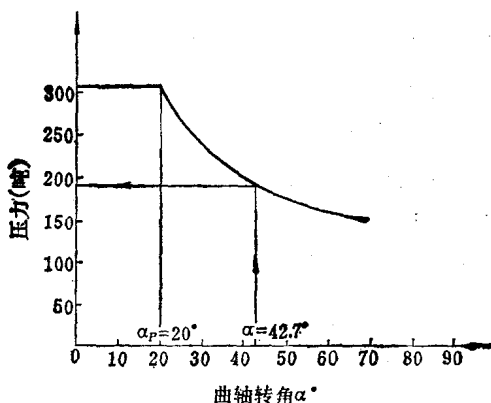


图1-4 315吨通用曲柄压力机滑块允许负荷曲线

为了保证设备的安全,挤压件的最大变形抗力不能超过该值。图 1-3 所示为 315 吨曲柄式冷挤压机的滑块允许负荷曲线。当挤压件所需的工作角等于 42.5° 时,挤压力达到公称压力,对设备来说也是安全的。图 1-4 所示为 315 吨通用曲柄压力机滑块允许负荷曲线,当挤压件所需的工作角仍为 42.5° 时,为了保证设备的安全,挤压件的最大挤压力不能超过滑块上的允许作用力(约 190 吨)。由此,更加明确,通用曲柄压力机用于冷挤压,只能降压使用,不能充分发挥设备的作用。

2. 机器动力装置的能量不够 通用曲柄压力机的电机功率和飞轮转动惯量主要是根据典型的冲裁或拉伸工序的工作负荷图确定的;冷挤压机的电机功率和飞轮转动惯量主要是根据冷挤压件的工作负荷图和顶出器所需能量确定的。冲裁过程中,在冲头进入坯料厚度 $2/3$ 左右,冲裁力才升到最大值,而后很快降到接近于零。拉伸过程中,一般在冲头进入坯料深度 $1/2$ 左右,拉伸力才升到最大值,而后逐渐降到零。冷挤压过程中,冲头与毛坯接触后,挤压力就很快升到最大值,一直到行程末变化都不大。由此可见,在条件相同的情况下,通用曲柄压力机一个工作循环所需要的能量,比冷压机小,相应电机的功率和飞轮的转动惯量也比冷压机小。例如:315 吨通用曲柄压力机的电机功率为 28 千瓦,飞轮的转动惯量为 $41 \text{ 公斤} \cdot \text{米} \cdot \text{秒}^2$;而 315 吨曲柄式冷挤压机的电机功率为 56 千瓦,飞轮转动惯量为 $55 \text{ 公斤} \cdot \text{米} \cdot \text{秒}^2$ 。它们之间的差距较大。

3. 机器的总刚度不够 压力机的总刚度 C_z 由床身刚度 C_b 和传动机构刚度 C_c 组成。它们之间的关系如式 (1-2)

$$C_z = \frac{C_G \cdot C_c}{C_G + C_c} \quad (\text{吨/毫米}) \quad (1-2)$$

通用曲柄压力机的总刚度比较低；250 吨双点闭式曲柄压力机的总刚度只有 81.2 吨/毫米；160 吨开式曲柄压力机的总刚度只有 70.4 吨/毫米，床身角变形达 770 微弧度。因此，在挤压件变形抗力作用下，机器的弹性变形量比较大，这一变形除产生较大的能量损耗和降低机械效率外，还会降低挤压件尺寸精度，并容易损坏模具。

挤压件沿滑块运动方向的尺寸精度受机器弹性变形的影响，虽然在安装、调试模具时，可通过调整滑块下死点来补偿弹性变形。但在挤压件批量较大的生产过程中，每个坯料的尺寸、机械性能和润滑条件等都有差异，要保证每个坯料的压力完全一致是不可能的。挤压力的波动范围有时高达名义挤压力的 1/4~1/3，尤其是不能“顺势挤压”而出现“迟滞”现象时，波动

范围更大，相应机器弹性变形的波动也大，引起挤压件高度尺寸超差。如图 1-5 所示，假设在 200 吨公称挤压力下进行挤压，机器的弹性变形为

2.643 毫米，使滑块和上模抬起，为了保证挤压件高度尺寸的精度，在试压时，把滑块下死点向下调 2.643 毫米，以补偿这一弹性变形值。

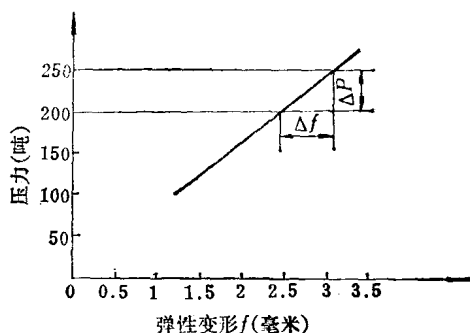


图1-5 250 吨通用双点闭式曲柄压力机的压力-弹性变形图

但在每个坯料挤压时会产生压力波动,若波动值加大 50 吨,则机器的弹性变形量为 3.078 毫米,而弹性变形的增量为 0.615 毫米,相应挤压件高度方向的尺寸就增大 0.615 毫米,若该值超过了挤压件的尺寸精度,就会出现废品,不然只好降低挤压件尺寸精度的要求。

在通用曲柄压力机上进行冷挤压时,冲头接触毛坯后,滑块作用在床身上的侧推力随着挤压力的增加而增加,由于通用曲柄压力机床身的横向刚度比较差,则产生较大的弹性变形,使滑块带动冲头相对凹模产生水平错移,不仅冲头承受了附加的弯曲和剪切应力,容易损坏,而且还影响挤压件的尺寸精度。

开式通用曲柄压力机除总刚度比闭式通用曲柄压力机低外,床身还会产生较大的角变形,冷挤压时不仅挤压件的精度很低,而且模具极易损坏,应尽量避免采用这种压力机进行冷挤压。

从冷挤压工艺的要求出发,相应设备的总刚度,至少应大于通用曲柄压力机 2~3 倍,床身的弹性变形不得超过 0.001 毫米/吨。

从上面的分析中可以得出,在通用曲柄压力机上进行冷挤压,不仅挤压件的尺寸精度低,而且模具还容易损坏,冷挤压的优越性得不到充分发挥。

4. 机器的精度不够 通用曲柄压力机滑块底面与工作台垫板上平面之间的平行度允差,根据国内生产情况,其值接近图 1-6 中的曲线 1。根据冷挤压工艺的要求,冷挤压压力机滑块底面与工作台垫板上平面之间的平行度允差,应接近图 1-6 中的曲线 2。通用曲柄压力机滑块行程对工作台垫