

内 容 简 介

本书讲到的锻压设备包括锻锤、机械压力机、液压机和专用锻压设备四部分。书中着重讲述了开式压力机、闭式压力机、冷挤压机、拉延压力机、平锻机、热模锻压力机、蒸汽-空气自由锻锤、蒸汽-空气模锻锤、对击式模锻锤、气动液压模锻锤、空气锤、螺旋压力机、径向精锻机、高速锤和液压机等设备的技术参数、结构形式、特点、工作原理、运动分析、动力分析和主要零部件的设计计算原理等。

本书适作高等学校锻压专业教材，也可供有关科研和工程技术人员参考。

高等学校教材

锻 压 设 备

赵 呈 林 主 编

责任编辑 扬 迺 成

*

西北工业大学出版社出版

(西安市友谊西路127号)

陕西省新华书店发行

空军导弹学院印刷厂印装

*

开本787×1092毫米 1/16 印张20.875 插页4 503千字

1987年6月第一版 1987年6月第一次印刷

印数0001—4000册

ISBN 7-5612-0021-8/TH·2

统一书号：15433·052

定价 3.55元

前 言

本书参照锻压工艺及设备专业的教学大纲，由西北工业大学和南昌航空工业学院共同编写。

本书包括锻锤、机械压力机、液压机和部分专用锻压设备的基本内容，并力求反映本学科成熟的先进技术和科研成果。

本书共分四篇。主要由西北工业大学赵呈林和南昌航空工业学院陈昌谋编写，其余第四篇的第二章和第四章的 § 4-4 由西北工业大学李云瑞和赵呈林共同编写；第四篇的第三章和第四章的 § 4-1、§ 4-2、§ 4-3 由西北工业大学黄吕权编写。全书由赵呈林主编。

本书适作高等工业院校锻压工艺及设备专业教材，也可供有关科研和工程技术人员参考。

本书采用中华人民共和国法定计量单位及其规定符号。

本书由西安交通大学汤达组织审阅，参加审阅的还有西安交通大学谢关烜和于集凤。在此一并表示感谢。

由于水平所限，错误及遗漏之处在所难免，欢迎批评指正。

编 者

1986年2月

目 录

绪 论	1
-----	---

第一篇 锻 锤

第一章 概述	9
§ 1-1 锻锤的工作特点	9
§ 1-2 锻锤的打击效率和打击刚性	9
§ 1-3 锻锤打击时的作用力	12
§ 1-4 锻锤的分类	14
第二章 蒸汽-空气锤	17
§ 2-1 蒸汽-空气锤的分类及工作原理	17
§ 2-2 蒸汽-空气锤的工作介质	23
§ 2-3 蒸汽-空气自由锻锤	25
§ 2-4 蒸汽-空气有砧座模锻锤	36
§ 2-5 蒸汽-空气对击模锻锤	42
第三章 空气锤	49
§ 3-1 空气锤的特点	49
§ 3-2 空气锤的结构	50
§ 3-3 空气锤的工作过程	54
§ 3-4 空气锤的设计计算原理	57
§ 3-5 空气锤的配气机构和工作循环	60
第四章 有砧座锻锤基础	67
§ 4-1 有砧座锻锤基础的振动分析	67
§ 4-2 有砧座锻锤基础的结构形式	70
§ 4-3 有砧座锻锤基础的设计原则	74

第二篇 曲柄压力机

第一章 概述	77
§ 1-1 曲柄压力机的工作原理及结构	77
§ 1-2 曲柄压力机的分类及型号	78

§ 1-3 曲柄压力机的基本技术参数	78
第二章 曲柄压力机工作机构的运动和受力分析	80
§ 2-1 滑块的运动规律	80
§ 2-2 曲柄滑块机构的受力分析	82
第三章 曲柄压力机主要零部件的设计计算	87
§ 3-1 曲轴	87
§ 3-2 偏心齿轮芯轴	93
§ 3-3 连杆	96
§ 3-4 滑块与导轨、顶出装置、平衡装置	100
§ 3-5 超负荷保险装置	104
§ 3-6 离合器和制动器	107
§ 3-7 机身	121
第四章 电机功率选择和飞轮尺寸的确定	128
§ 4-1 曲柄压力机的工作负荷图	128
§ 4-2 曲柄压力机一个工作循环所消耗的能量及效率	130
§ 4-3 飞轮的作用及电动机功率的计算	134
§ 4-4 飞轮尺寸的确定	135
第五章 曲柄压力机的辅助装置	139
§ 5-1 拉延垫	139
§ 5-2 控制系统	142
§ 5-3 润滑系统	146

第三篇 液 压 机

第一章 概述	151
§ 1-1 液压机工作原理	151
§ 1-2 液压机的特点及分类	153
§ 1-3 液压机的基本参数	155
第二章 液压机本体结构及其设计计算	157
§ 2-1 绪言	157
§ 2-2 液压缸	164
§ 2-3 柱塞	170
§ 2-4 密封装置	173
§ 2-5 立柱	176

§ 2-6	上横梁	182
§ 2-7	活动横梁	185
§ 2-8	下横梁	186
§ 2-9	其它装置	188
第三章 液压机的动力装置和操纵系统		192
§ 3-1	动力装置的分类	192
§ 3-2	动力装置的设计计算	199
§ 3-3	操纵系统常用的控制阀	203
§ 3-4	操纵系统常用的液压装置	210
第四章 液压机的动力学		216
§ 4-1	泵-蓄势器传动液压机的动力学	216
§ 4-2	泵直接传动液压机的动力学	226
§ 4-3	缓冲器的设计计算	229
§ 4-4	液压机突然失荷的动力学	230

第四篇 专用锻压设备

第一章 冷挤压机		234
§ 1-1	绪言	234
§ 1-2	曲柄式冷挤压机	235
§ 1-3	肘杆式冷挤压机	242
§ 1-4	其它类型的冷挤压机	258
§ 1-5	冷挤压机的主要零部件	262
第二章 螺旋压力机		267
§ 2-1	绪言	267
§ 2-2	摩擦压力机	270
§ 2-3	液压螺旋压力机	275
§ 2-4	电动螺旋压力机	283
第三章 径向精锻机		288
§ 3-1	径向精锻机的工作原理及特点	288
§ 3-2	径向精锻机的分类和基本技术参数	290
§ 3-3	径向精锻机主要零部件的结构和计算	292
§ 3-4	径向精锻机的使用和维护	295

第四章 其它专用锻压设备	298
§ 4-1 热模锻压力机.....	298
§ 4-2 平锻机.....	304
§ 4-3 拉延压力机.....	309
§ 4-4 高速锤.....	312

附 录

附录一 用有限单元法计算开式机身	319
附录二 用有限单元法计算液压缸	321
主要参考资料	323

绪 论

一、锻压设备在国民经济建设中的作用

锻压生产在国防工业和民用工业中占有极其重要的地位。采用锻压工艺生产零件具有很多特点：塑性成形时，移动材料单位体积的速度比切削加工快，生产效率高；不仅能改善材料内部的结构和缺陷，而且还能充分利用纤维组织的方向性，尤其是精密锻压后不加工的零件，没有外露的端向晶粒，可大大提高零件的机械性能；零件重量轻，材料利用率高，精密锻压件显得更为突出，这在航天和航空工业中具有及其重要的意义。因此，锻压加工的零件数量在各行各业中所占的比重很大：航空工业中占85%；汽车工业中占80%；电器、仪表工业中占90%；农机、拖拉机工业中占70%。

锻压设备和切削机床是机械工业中两大类基本的工作母机。目前先进工业国家锻压设备所占的比重，均在全部机床拥有量的30%以上。锻压设备的发展水平、拥有量和构成比，不仅对锻压生产起着关键性的作用，而且在一定程度上还标志着一个国家机械制造业的技术水平。例如需要量很大的汽车发动机进、排气阀，过去在空气锤上用胎模锻造，现在采用六工位电热锻机和专用机械压力组成的电锻自动线进行生产，使材料利用率由原来的40~50%提高到80~85%，生产效率提高40倍以上，劳动强度大大降低，工作条件得到改善，零件质量也有所提高。很多工业国家锻压设备的增长都比较快，苏联在5年内增长了20.05%，日本在5年内增长了65.41%，我国在28年内增长了140多倍。这说明工业的进步和锻压工艺的革新，必须依靠锻压设备的发展。

二、我国锻压设备的发展情况

20世纪初期，随着锻压设备进口数量的增多，我国开始有锻压设备的修配业，但到1949年也只能生产少量的小型锻压设备。解放初期从引进技术和测绘入手，仿制了国外30~40年代的锻压设备。当时的产品有：蒸汽-空气自由锻锤和模锻锤、空气锤、3000kN以下的双盘摩擦压力机、3150kN以下的闭式单点压力机、5000kN以下的平锻机、剪板机、四柱万能液压机、单柱校正压装液压机、塑料制品液压机、粉末制品液压机等。50年代后期锻压设备产品逐步由测绘仿制进入改进设计阶段，1958年锻压设备的产量和品种都有较快的增长，产量为1949年的29倍，品种为1949年的55倍，生产厂达17个，并在1959年自行设计制造了我国第一台 $\phi 80\text{mm}$ 的立式径向精锻机。60年代初期对摩擦离合器、制动器、摩擦材料和滑块液压超负荷保险装置进行了试验研究，试制出了铜基粉末摩擦材料、Z-64型石棉塑料摩擦材料、小惯量单圆盘浮动镶块式摩擦离合器和制动器。1965年我国的锻压设备有了进一步的发展，品种为1949年的172倍，产量为1949年的21.5倍，生产厂达31个。当时的代表产品有：250000J对击模锻锤、4000kN闭式双点压力机、12500kN闭式单点压力机、12500kN垂直分模平锻机、20000kN精压机、16mm双击自动冷锻机、25000kN电极挤压液压机、125000kN自由锻造液压机和300000kN模锻液压机等。60年代末我国大力发展了锻压设备的新品种，例如通用机械压力机，研制的新品种就有近80个，其中80%是自行设计的。

1970年我国锻压设备又有进一步的发展，品种为1949年的225倍，产量为1949年的62.3倍。

70年代我国锻压设备总的来说在数量、品种、质量和技术水平上都有较大的发展，产量为1949年的150倍左右；锻压设备的拥有量为1952年的20多倍，约占全国机床总量的21%；对量大面广的锻压设备制定了系列参数标准，对重要的产品系列制定了精度和技术条件等质量标准，对有的产品还开展了系列设计。在科研上也取得了一定的成就，例如采用“多次冲击”理论，从根本上改变了锻锤锤杆的性能，使锤杆的寿命从过去的1~2周（三班制）提高到一年左右。在70年代中各种锻压设备的具体发展情况如下：（1）有砧座锻锤发展很少，而主要研制了对击模锻锤和高速锤，其代表产品有 $100 \times 10^4 \text{J}$ 对击模锻锤和 $100 \times 10^4 \text{J}$ 高速锤，当时高速锤在全国达200多台。（2）自行设计了各种大型、新型的机械压力机，在不少的品种中填补了我国的空白，其代表产品有：8000kN闭式双点压力机、3150kN闭式双动拉延压力机、 $25 \times 12000 \text{mm}$ 滚剪机、400~20000kN多工位自动压力机、数控冲模回转头压力机、4个系列14个规格的冷挤压机、16000kN闭式单点压力机、40000kN闭式双点压力机和80000kN热模锻压机等。（3）液压机的数量和品种逐年有所增加，各类液压机零、部件的通用化程度大大提高，能按国家标准型号生产的产品有40多种规格。为了满足生产的要求，液压机的机身也逐渐多样化，有卧式、侧式、组合式、单柱式、四柱式、框架式、铰接式、叠板式和绕带式等。为了提高生产效率和改进设计，部分液压机的工作速度从3~4mm/s提高到10mm/s，液压从 $200 \times 10^5 \text{pa}$ 提高到 $(250 \sim 320) \times 10^5 \text{pa}$ ，有的高达 $1000 \times 10^5 \text{pa}$ 。为了液压机维修方便、操作安全、辅助时间短，根据不同情况，配有相应的附属装置：移动工作台、通用垫板、限程块、双人操作按钮、脚踏开关、远程调节装置、液电连锁装置、光电保护装置、蜂鸣器、指示灯、油温自动冷却装置、油温自动加热装置和润滑电气连锁装置等。70年代液压机的代表产品有：100000kN多向模锻液压机、50000kN超高压液压机、36000kN六面顶液压机、9000kN蒙皮拉伸液压机、1600kN双动薄板冲压液压机（达到国际先进水平）、自动粉末制品液压机（接近国际先进水平）和高效金属挤压液压机（接近国际先进水平）等。

在新技术革命的推动下，锻压设备进入了飞速发展的阶段，为了赶上世界80年代的水平，我国不少单位正在研制比较先进的锻压设备和附属装置，其代表产品有高速精密压力机、CNC冲模回转台压力机、开式固定台压力机、开式多工位压力机、滚式自动送料装置、气动自动送料装置和卷料校平装置等。

最近由国防工业出版社出版的专著——《冷挤压机设计基础》一书，对机械式冷挤压机的理论作了全面的研究和分析，为机械式冷挤压机的设计奠定了新的理论基础，填补了我国的空白。

三、我国锻压设备的差距

从我国锻压设备现有的发展情况来看，仍然是机械制造工业和压力加工工业中的薄弱环节，与世界上一些工业发达的国家相比还有一定的差距，具体表现如下：

（一）结构陈旧、性能较差 现在国内生产约600多种锻压设备中，相当于国外40~50年代水平的占50%左右，个别产品只有国外30年代的水平，甚至国外淘汰的产品我们还在生产。在生产制造过程中，存在的问题也不少：关键性部件可靠性差，使用寿命短；零件加工精度不能保证，热处理性能不稳定；摩擦材料、液压、气动电气元件质量不过关；安

全可靠性差、噪音大和效率低等。品种多、产量大的开式压力机，虽说已生产很多年，但至今仍旧存在：技术参数杂乱、结构陈旧、噪音大、性能差和三化水平低；没有无级调速装置、自动送料装置和安全保护装置等。70年代研制的产品也存在很多不足，还有待进一步完善，例如：闭式单点压力机使用性能差、生产效率低，只相当于国外60年代初的水平；大型、重型双动拉延压力机质量上基本未过关；多工位自动压力机送料装置的送料精度不稳定，质量也未过关；冷挤压机参数乱，使用性能差，没有自动送料装置等。

(二)品种不全、成套性差 精锻、大型、重型和高效锻压设备的品种和数量都很少。生产厂只出售锻压设备主机，不能根据用户的需要供应机械化、自动化装置和模具等。先进的闭式四点压力机、多工位冷挤压机、快锻液压机、锻压自动线、热模锻成套设备、大型薄板冲压成套设备和板料开卷校平落料成套设备等均属空白。目前锻压设备生产的品种，只能满足生产需要的50%左右。

(三)机械化、自动化程度差 我国锻压生产机械化、自动化的程度很低，多数锻压设备都处于手工送料或半手工送料的落后状态，操作时既不安全、劳动强度又很大。其原因在于：锻压件生产分散，专业化厂比较少，先进、高效、自动化的锻压设备和自动生产线用不上；目前制造锻压设备的工厂，不能按用户的产品图纸和生产纲领设计、制造机械化、自动化装置、自动机和自动生产线等。

(四)构成比落后 我国锻压设备在机床拥有量中只占21%，而先进的工业国家高达34%；小型压力机和空气锤占的比重太大，约为全国锻压设备的70%；而精锻、大型、重型和高效的锻压设备比重很小；甚至有些急需的产品还是空白。

(五)技术力量薄弱 我国锻压设备制造厂的技术人员一般占全体职工的3%左右，而有的国家高达15%。很多制造锻压设备的工厂没有设计能力，只能依靠测绘和外来的图纸进行生产。

四、锻压设备的发展趋势

目前锻压行业面临着其它行业的有力竞争，例如用增强塑料零件、烧结零件和铸件来代替锻压件等，并不是由于这些零件的性能比锻压件优越，而关键在于成本较锻压件低。为了增强锻压行业的竞争能力，必须从提高生产效率、降低原材料消耗、减少能源消耗着手以降低零件的成本，并提高锻压件质量。为了适应锻压生产的需要，锻压设备相应的发展趋势为：提高行程次数；提高机械化、自动化程度；提高设备的可靠性和安全性；增设附属装置，缩短辅助时间；减少振动和噪音，改善劳动条件，提高劳动效率；提高设备的精度和刚度；研制精密锻压设备；发展大型、重型和新型的锻压设备；改造老的锻压设备；开展基本理论的研究等。结合我国锻压设备现有的情况，在发展过程中，不仅要加快速度缩小差距，还要逐步改变锻压设备的构成比，以适应生产的要求。

根据国内外的生产实际，锻压设备总的发展方向，现分别论述如下：

(一)提高锻压设备的生产效率 其办法：一是提高行程次数，以提高锻压设备的生产效率；二是增设附属装置，缩短辅助时间，以提高锻压设备的开动率。

1. 提高锻压设备的行程次数 小型机械压力机已发展了高速系列，滑块每分钟的行程次数高达2000次，中型、大型机械压力机也在向高速发展，目前滑块每分钟的行程次数可达150~80次。为了使机械压力机每分钟的行程次数能够提高，可采取下列措施：对高速

运动的零部件进行动平衡，如在曲轴上设置平衡块；减少高速运动的零部件的质量，如采用空气马达调节封闭高度；提高设备的刚度；设计良好的润滑系统；设计强有力的制动器，能快速制动；配置精确的自动送料装置。通过缩短空程和回程的时间，也能提高行程次数，在机械压力机上可采用程控系统、双速离合器和多连杆式传动机构来实现。为了使快速机械压力机能适应各种材料所需的速度，设备上可配置无级调速装置，一般可采用机械、直流电机和交流电机来无级调速。还可通过发展多工位热锻机和多工位自动压力机来提高生产效率。

快速锻造液压机以提高空程和回程速度来提高每分钟的行程次数，精整行程可达160次。本体为双柱下拉式结构，用泵直接传动，采用电子闭环系统进行控制，并配有联动的操作机。发展专用液压机也是提高生产效率的方法之一。

2. 缩短辅助时间 为了缩短锻压设备生产时的辅助时间，以提高开动率，可增设下列附属装置：采用移动工作台，可在主机外预先把模具安装好，以缩短换模时间；采用气垫式或台车式快换模具台板，更换模具时，台板同模具能很快移出或送进，可使换模时间缩短75%以上；采用气动或液压模具夹紧机构，更换模具可迅速将模具夹紧或松开；采用滑块微动机构，便于快速调整模具，机械压力机可采用蜗轮、蜗杆或齿轮传动的微动机构，液压机可采用电液比例伺服阀实现微动；在剪板机上增设剪切角和剪刀间隙的自动调整机构，可缩短调整时间；在设备上设置曲轴转角指示器、负荷指示器、封闭高度调整指示器、行程显示装置等后，可节省调整、试车的时间。有的锻压设备还可配置电子控制卷料校平装置、模具检测装置和机械手等。

(二)提高锻压设备的机械化、自动化程度 为了提高锻压设备机械化、自动化的程度，根据不同的工艺和生产发展情况，主机和附属装置的发展趋势如下：

1. 采用操作机、进出炉机械手和各种机械化送取料装置 目前国外不仅在液压机、自由锻锤上广泛采用操作机或机械手，而且在蒸汽-空模锻锤、液压模锻锤和摩擦压力机上也采用了操作机或机械手。为了解决重型锻压设备的机械化，锻造操作机钳口最大载重力矩已达6300kN·m。

2. 发展自动锻压设备和自动的辅助装置 板料自动压力机、自动冷锻机和自动液压机在国外已成系列生产。多工位自动锻压设备在目前发展很快，这种设备生产效率高，一台可代替几台或十几台单工序的锻压设备，节省了工序间加工件的搬运工作和车间设备的安装面积，与用几台锻压设备组成的自动线比较，传送装置简单，尤其是热模锻中、小锻件时，由于传送速度快、距离短，温度下降少，对锻造很有利。目前已研制的多工位自动锻压设备有多工位冲压压力机、多工位热模锻压力机、多工位冷挤压压力机、多工位热锻机和多工位液压机等。

为了使高速锻压设备、多工位锻压设备和自动锻压设备的特性得到充分发挥，必须附有自动送料装置。这种装置可由主机带动，也可由独立的压缩空气系统或液压系统驱动，后者具有较大的灵活性。在生产过程中换模时，为了提高锻压设备的开动率，应附设快速换模或自动换模装置，尤其是品种多、批量少的锻压件日益增多的情况下，显得更为突出。目前用于生产的自动送料装置和换模装置有：卷料条料自动开卷、更换、校平和剪切装置；根据材料不同尺寸，自动调节导向的装置；模具库、移动工作台、换模托架和换模小车等。

3. 发展锻压自动生产线 目前锻压自动生产线有下列几种:

(1) 大型的连续同步冲压自动生产线 组成自动生产线的各台压力机不仅始终作连续运转,上、下料时不停车,而且各压力机之间、压力机和上、下料装置之间、压力机和辅机之间始终作协调一致的动作。这种自动生产线的优点:生产效率高;可根据工件尺寸大小和形状复杂程度,选择最佳的行程次数;离合器和制动器接合次数少,摩擦片或摩擦块寿命长,耗气量小,车间噪音低,劳动条件好。

(2) 综合自动生产线 现有热模锻综合自动生产线和冲压综合自动生产线。热模锻综合自动生产线除材料切断、加热、制坯、模锻、切边和校正等模锻工序外,还包括淬火、回火、喷丸清理、硬度检查、磁力探伤、尺寸检验、包装和粗加工等后续工序。冲压综合自动生产线除冲压工序外,还包括装配、焊接等工序。

(3) 利用“机械人”操作的自动生产线 目前“机械人”的举重能力小至几十克,大至一百多公斤。可用一台“机械人”操作一台锻压设备,也可用几台“机械人”将几台锻压设备组合成自动生产线,现已用于冲压、精压、热模锻和挤压等生产中。这种自动生产线灵活性大,组合、调整比较简单,适合多品种、中小批量的生产,并能在高温和危险的场所工作。

为了扩大自动生产线的应用范围,要求自动生产线可调、可变,并尽量缩短调整时间。

4. 采用数控技术 在自动锻压机、自动的辅助装置和自动生产线上广泛采用的数控技术有下列几种:

(1) 简易数控装置 常用的有拨码开关式和矩阵插销板式数控装置,这种装置操作简便,价格便宜,一般只能储存几十个程序。采用微处理器的简易数控装置可通过数码键盘将加工数据输入储存器,加工时从储存器内取出数据。因此,工作方法基本上与采用计算机进行数控相同,只是功能比较简单、速度比较低。这种装置适合形状简单的零件重复生产,可储存几百个程序。

(2) 采用电子计算机数控(CNC) 新的技术革命对锻压设备行业产生了巨大的影响,目前已大量采用先进的电子技术和电子计算机进行自动控制,其应用情况有下列几种:控制单台锻压设备的工作程序和各種工艺参数;控制整条自动生产线或一个机组;控制自动换模或自动调节;监控锻压设备的工作情况;剔除次品和废品等。

随着产品不断更新和产品多样化的需要,虽说数控锻压设备能满足小批量生产的需要,但生产效率比专用自动锻压设备和多工位锻压设备低。为了提高锻压设备的生产效率,以便全面满足多品种、小批量生产的要求,在数控锻压设备的基础上,增设了自动上、下料装置、模具库、自动换模装置、储料台、供料台和自动监控装置等,构成一个完整的系统,并用电计算机控制其自动工作,相应出现了锻压的柔性加工单元(FMC)。由多台柔性加工单元可组成柔性生产车间,为无人车间和无人工厂展示了前景。目前正向复合化方向发展,将不同种类的加工方法在同一设备上完成,或将不同种类的加工设备组合在一个系统中,以实现多工种的连贯生产。1984年世界上有锻压的柔性生产系统(FMS)100多套,这是80年代锻压行业的最新水平。

(三) 提高锻压设备工作的可靠性和安全性 为了防止设备和人身事故,保证锻压设备能安全、方便和可靠地进行工作,一般应在锻压设备上配有超负荷保险装置、人身保护装置、检测装置和指示器等。

在锻压设备上采用的机器保护装置有液压超负荷保险装置、应变超负荷保险装置、过载吸能装置；下死点精度检测装置、自动上下料检测装置、尾料排除装置、负荷指示器、离合器双阀控制系统和多重保护的电气控制回路等。液压超负荷保险装置已日趋普遍，不仅在大型压力机上采用，小型开式压力机上也在逐步采用。

在锻压设备上采用的人身保护装置有机械、电磁感应和光电保护装置等。在大型锻压设备上还应有“机顶安全联锁装置”，当有人登上机顶时，使机器不能开动。两面操作的锻压设备，可安置双面操作蜂鸣报警器，如操作者在一面开动机器，则报警器发出蜂鸣声，以免另一面的操作者疏忽而造成事故。

为了使锻压设备易控、易调，并在正常情况下使用，应附设必要的指示器和监控装置。常用的有：封闭高度数显机动调节装置；液压、气压、流量和换向速度的精确控制装置；轴承和滑动部分润滑、温度和磨损情况的监控系统；模具磨损或疲劳的监控系统等。在小型压力机上还要逐步用摩擦离合器代替刚性离合器，以便于控制和调整，国外在吨位很小的63kN压力机上都采用了摩擦离合器。

(四)提高锻压设备的精度和刚度 目前的工艺设计都倾向于在一台锻压设备上布置多付模具，采取多工位连续锻压的方法进行生产，各工件变形抗力的合力不可能与设备作用力处于同一直线上，而且有较大的偏移，再加以非对称性零件增多，模腔斜面会出现水平分力，这些因素都会使滑块产生偏移和水平位移。为了提高锻件的精度和模具的寿命，必须提高锻压设备的精度和刚度，尤其是锻压件精度要求日益提高的情况下，这一问题显得更为突出。

为了提高锻压设备的精度可采取的措施：(1)增加滑块导向长度，在压力机、液压机和冷热自动机上都尽量设法增加滑块的导向长度，以提高运动精度。开式压力机滑块导向长度与滑块宽度之比可达2.7~3.3。(2)在大型闭式压力机上，连杆与滑块之间可采用柱塞连接，用套筒导向以承受连杆的侧推力，使滑块上基本只受垂直力的作用，可提高运动精度、减轻导轨的磨损。(3)改进导轨的结构，采用四个直角导轨、滚动导轨和三柱塞导向机构等。前两种导轨的间隙很少或没有，可大大提高导向精度，后一种的三个导向柱塞布置成正三角形，当模具中心与正三角形中心重合时，冲压力只在垂直方向引起设备的弹性变形，不会引起角变形，相应可提高零件的精度和模具的寿命。(4)采用强制循环自动润滑系统，保证各点润滑正常，不易磨损。这种系统中有良好的过滤装置和油压开关，油压开关并与主电机连锁，不仅在油路出故障时，可使机器停车，而且在启动时，可保证润滑油泵先开动。

机架导向部分对锻压设备的精度起主要作用，它的扭转稳定性、导向精度、力的传递、导轨变形、温度补偿能力和耐磨性等都对精度有影响。导轨的结构型式不同，对精度的影响也不一样：采用四个直角导轨，对导向精度和导轨变形有利；采用X型导轨，对扭转稳定性和温度补偿能力有利，但制造、调整比较困难；采用O型导轨，对力的传递有利。导轨调节形式对设备的水平刚度影响也很大，例如O型导轨，若采用螺栓调节，设备的水平刚度仅为死导轨的三分之一。为了提高锻压设备的刚度还可采取下列措施：提高机身、连杆和滑块的刚度；采用偏心轴或偏心齿轮代替曲轴；缩短传动轴的支承距离等。

从下列几例，可看出目前锻压设备精度和刚度提高的情况：(1)160000kN曲轴式热模锻压力机： $\phi 2110\text{mm}$ 曲柄颈处间隙值为1.48mm， $\phi 1400\text{mm}$ 支承颈处间隙值为1.40mm；滑

块导轨间隙前后双边为2.3~2.7mm,左右双边为1.7~2.1mm;在中心静载荷作用下,滑块在垂直方向的总位移量为10.19mm,其中机身弹性变形量为6mm,补偿偏心轴、滑块销之间的初始间隙为4.19mm。(2)40000kN楔块式热模锻压力机:最大弹性变形值为0.42mm,而一般压力机为0.55mm;滑块倾转为0.13mm,而一般压力机为0.45mm。(3)40000kN螺旋压力机:工作台不平度(前后、左右、对角)为0.05mm;工作台与滑块下平面的平行度为0.00~0.18mm;滑块行程与工作台表面的垂直度为+0.11~0.12mm。(4)液压对击锤采用上锤头依靠下锤头导向,运动精度较老式结构提高一倍。

(五)研制精密成形锻压设备 在民用工业和国防工业中,由于产品性能和采用高、精、尖技术的需要,对锻压件生产的要求愈来愈高:(1)为了增大产品功率与重量的比值,以提高性能和减少使用经费,要求锻压件表面强度较高的纵向晶粒和纤维组织保留下来,使机械性能提高,以大大减轻产品重量。因此,必须生产不需要或少需要切削加工的精密锻压件。(2)在现代的高、精、尖技术中,采用贵重、稀缺金属作为锻压件原材料的日益增多。为了降低产品成本和减少原材料的消耗,必须发展精密锻压件的生产。上述这些问题,在航天、航空工业中显得更为迫切。

精密锻压成形技术从提出到现在已有20年左右的历史,从发展过程中知道,影响成形零件尺寸精度、形状精度、位置精度和表面光洁度的关键之一是锻压设备。因此,要发展精密锻压成形技术,首先必须研制精密成形锻压设备。目前世界各国已研制出或正在研制的精密成形锻压设备有:

(1)大型螺旋压力机 主要用于精锻叶片,锻件精度高,能量调节容易,超载危险小。螺旋压力机最大公称压力达140000kN,现正在研制高能螺旋压力机,其能量系数达0.82~0.93,为一般螺旋压力机的1~2倍。

(2)冷挤压压力机 冷挤压压力机发展很快,有的国家在一段较长的时间内,年增长率达19%。现正朝着大型化和多工位化方向发展,已用于生产的有36000kN肘杆式冷挤压机、45000kN三工位冷挤压液压机、50000kN冷挤压压力机、60000kN冷挤压液压机和80000kN楔块式冷挤压机等。目前正在研制多杆传动的冷挤压压力机,空程、回程速度快,工作速度慢而均匀,使其更能适合冷挤压工艺的要求,对提高模具寿命很有利。

(3)温挤压压力机 在冷挤压压力机的基础上,增设感应加热装置、模具预热装置和冷却-润滑油自动喷溅装置等后,即成为温挤压压力机。目前有一个工位或多个工位的机械式或液压式温挤压压力机。

(4)模锻压力机 近期发展的有精密模锻液压机、多向模锻液压机、楔块式模锻压力机和振动液压机等。多向模锻液压机的公称压力已达500000kN,楔块式模锻压力机的公称压力已达80000kN。

(5)精密冲载压力机 可代替铣削、滚齿、钻孔和铰孔等工序。现全世界有几千台,最大公称压力已达25000kN,并以三动精冲液压机为主。

在最近10年左右的时间,径向精锻机、轱环机、摆动辗压机、静液挤压机、电热锻压机、辊锻机、等静压压力机、爆炸成形压床、强力旋压机和精密轧制设备等,都有较快的发展和提高。

(六)减少锻压设备的振动和噪音 振动和噪音是一种工业公害,对人体的健康产生极为有害的影响。在机床行业中,锻压设备所产生的振动和噪音比较严重,因此,很多国家都

作了严格限制，达不到规定指标的锻压设备，不准出厂。为了减少锻压设备的振动和噪音，一般采取：减少振动和噪音源；限制振动和噪音的传播。具体措施：

(1) 对易产生振动和噪音的零部件，在许可的条件下，尽量采用铸铁制造。由于铸铁有较好的吸振性能，因而可减少振动和噪音。例如闭式压力机机身的左右立柱和上下横梁可分别用铸铁做成，前后各用一块钢板，通过螺栓把它们连成一个整体，这样既能吸振，又能保证机身具有一定强度和刚度。滑块用铸铁制造，也可起到吸振的作用。

(2) 减少锻压设备突然失荷所引起的冲击振动，机械压力机和液压机在冲裁、切边时，受力零件和工作介质都要产生弹性变形，积蓄能量，在切断那一瞬时，变形抗力消失，全部弹性势能很快释放出来，会引起强烈的冲击振动和噪音，为了减少突然失荷所引起的振动和噪音，在机械压力机上可采用减振模具解决，在液压机上可采用双重液缸、两段柱塞和节流的方法解决。

(3) 在锻压设备的机身或砧座下，放置弹簧、气动、液动和气液联动的缓冲装置，或弹性防振垫后，可吸收工作时机身或砧座的动能，以减少冲击振动和噪音。有砧座锻锤采用减振基础后，效果很好，因此，在对有砧座锻锤进行技术改造时，应尽量采用减振基础。

(4) 将噪音严重的部位或锻压设备置于隔音箱或隔音室内，工作人员通过隔音室外面的按钮操纵台进行操作。有的也可采用消音器吸收噪音。

五、锻压设备的分类

我国锻压设备分为八类，用汉语拼音字母表示。每类分为十组，每组分为若干型。类和组的具体分法如下：

(1) 机械压力机(J)：分手动压力机、单柱压力机、开式压力机、闭式压力机、拉延压力机、螺旋压力机、压制压力机、板料自动压力机、精压挤压压力机和其它压力机十组。

(2) 液压机(Y)：分手动液压机、锻造液压机、冲压液压机、一般用途液压机、校正压装液压机、层压液压机、挤压液压机、压制液压机、打包压块液压机和其它液压机十组。

(3) 线材成形自动机(Z)：分自动镦锻机、自动切边滚丝机、滚柱钢球自动冷镦机、多工位自动镦锻机、自动制弹簧机、自动制链条机、自动弯曲机和其它自动机等十组。

(4) 锤(C)：分蒸汽-空气自由锻锤、蒸汽-空气模锻锤、空气锤、落锤、对击式模锻锤和气动液压模锻锤等十组。

(5) 锻机(D)：分平锻机、热模锻压力机、辊锻横轧机、辗环机、径向径锻机和其它锻机等十组。

(6) 剪切机(Q)：分手动剪切机、板料直线剪切机、板料曲线剪切机、联合冲剪机、型材棒料剪断机和其它剪切机等十组。

(7) 弯曲校正机(W)：分板料弯曲机、型材弯曲机、校正弯曲机、板料校平机、型材校直机、板料折压机、旋压机和其它弯曲校正机等十组。

(8) 其它锻压设备(T)：分轧制机、冷拔机、锻造操作机、板料自动送卸料装置和专门用途的设备等十组。

本书着重编写了单柱压力机、开式压力机、闭式压力机、拉延压力机、螺旋压力机、冷挤压机、锻造液压机、一般用途液压机、蒸汽-空气自由锻模、蒸汽-空气模锻锤、空气锤、对击式模锻锤、气动液压模锻锤、平锻机、热模锻压力机、径向精锻机和高速锤等。

第一篇 锻 锤

第一章 概 述

§ 1-1 锻锤的工作特点

锻锤是最古老的一种锻压设备。由于它具有操作简单、通用性大、工艺性好等优点，所以仍是目前锻工车间一种重要的锻压设备。锻压生产中使用较广、数量最多的锻锤是蒸汽-空气锤、空气锤和螺旋锤(螺旋压力机)等。六十年代以来发展了高速锤、液压锤、内燃锤等一些新型的锻锤。

各种锻锤的共同特点，是利用锤头与砧座(锤头)之间的撞击能量对金属进行压力加工，因而产生很大的冲击力，伴有很大的振动和噪音。

锻锤工作时产生很大的冲击力这一特点，从锤头在锻击过程中的速度变化情况可以看出。如图1-1-1所示，锤头在接触工件(a点)那一瞬间速度最大(一般可达7-9 m/s或更大)。从碰着工件后，到锤头速度降为零，整个工作行程所经历的时间很短促，通常为几百分之一秒。由动量原理可知，如果物体动量的改变量是一定的，那么力的冲量也是一定的，这时力的大小就和力的作用时间成反比，即作用时间越短，撞击产生的冲击力越大。因此锻锤的锤头在几百分之一秒的时间里速度突然由最大值降为零，必然产生很大的冲击力。

其次，锻锤以一定能量打击锻件时，冲击力随锻件变形抗力的大小不同而不同，锻件变形抗力小，变形量大，工作时间长，产生的冲击力就小，否则产生的冲击力就大。

锻锤工作能力的大小有三种不同的表示方法：(1)各种落锤、蒸汽-空气锤、空气锤等，一般用落下部分的质量(kg或t)来表示。1t蒸汽-空气锤就表示落下部分质量为1t，560kg空气锤就表示落下部分质量为560kg。落下部分质量越大，锤的工作能力也就越大。(2)蒸汽-空气对击模锻锤，以及按对击原理工作的高速锤、液压锤等，通常用允许最大打击能量(J)来表示。(3)螺旋压力机通常用“公称压力”(kN)来表示。

§ 1-2 锻锤的打击效率和打击刚性

锻锤打击锻件时，由于落下部分具有一定的速度和质量，因而就具有一定的动能。研究结果表明，落下部分的能量除一部分使锻件产生塑性变形外，还有相当一部分消耗于锤

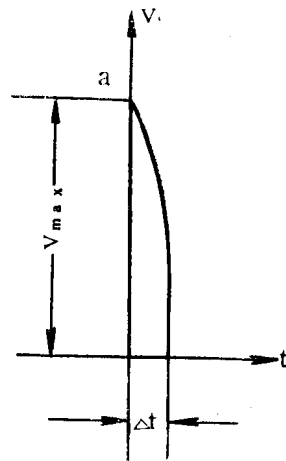


图 1-1-1 锤头在锻击过程中的速度变化

头的弹跳、砧座的振动和受力零件的弹性变形等方面去了。前者是有益的，后者是无用甚至有害的。设锤头打击锻件前具有的总能量为 E_z ，消耗于锻件塑性变形的能量为 E_s ，那么打击效率

$$\eta = E_s / E_z \quad (1-1-1)$$

由式(1-1-1)可知，要提高锻锤的打击效率，就应使锤头所具有的能量尽可能多地用到锻件的塑性变形上去。要了解锻锤落下部分所积蓄动能的消耗情况，就得了解锻锤的打击过程。现以有砧座锻锤来说明这个问题。

如图1-1-2所示，锤头打击锻件过程，实质上就是锤头和砧座的碰撞过程。在打击过程开始时，上下砧块或锻模彼此逐渐接近，使锻件产生弹性变形和塑性变形，到加载阶段快结束时，锻件得到最大的变形。加载阶段最后那一瞬间，落下部分和下砧座全系统的重心速度达到一致，然后产生回跳，此时，由于锻件等的弹性变形还原，落下部分以 v'_1 的速度向上弹跳，下砧座以 v'_2 的速度向下退让。

为研究问题简单起见，假设打击是对中的打击，砧座是自由存在的，锻件质量相对于砧座质量来说很小，计算时忽略不计。

打击前，落下部分积蓄的总动能为

$$E_z = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 \text{ (J)} \quad (1-1-2)$$

式中 m_1 —— 落下部分质量(kg)；

v_1 —— 打击时锤头接触锻件那一瞬间落下部分的速度(m/s)。

打击后，砧座以 v'_2 退让，相应的动能为

$$E_2 = \frac{1}{2} m_2 (v'_2)^2 \text{ (J)} \quad (1-1-3)$$

式中 m_2 —— 砧座的质量(kg)；

v'_2 —— 打击后砧座向下退让的速度(m/s)。

打击后，锤头系统以 v'_1 回跳，相应的动能为

$$E_1 = \frac{1}{2} m_1 (v'_1)^2 \text{ (J)} \quad (1-1-4)$$

式中 v'_1 —— 打击后落下部分向上弹跳速度(m/s)。

根据能量守恒定律，打击前锤头系统所具有的总能量应该等于打击后系统所具有的能量，再加上锻件产生塑性变形所消耗的能量，则得

$$E_z = E_1 + E_2 + E_s \quad (1-1-5)$$

由动量守恒定律得

$$m_1 v_1 = m_1 v'_1 + m_2 v'_2 \quad (1-1-6)$$

由于砧座在打击前的速度 $v_2 = 0$ ，因此，恢复系数 ε 可用下式表示：

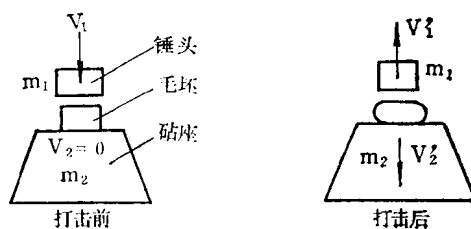


图 1-1-2 锻锤打击过程

$$\varepsilon = \frac{v'_2 - v'_1}{v_1} \quad (1-1-7)$$

由式(1-1-6)和式(1-1-7)得

$$v'_2 = \frac{m_1 v_1 - m_1 v'_1}{m_2} \quad (1-1-8)$$

$$v'_2 = \varepsilon v_1 + v'_1 \quad (1-1-9)$$

则

$$v'_1 = \frac{(m_1 - m_2 \varepsilon) v_1}{m_1 + m_2} \quad (\text{m/s}) \quad (1-1-10)$$

将式(1-1-10)代入式(1-1-9)得

$$v'_2 = \frac{m_1 v_1}{m_1 + m_2} (1 + \varepsilon) \quad (\text{m/s}) \quad (1-1-11)$$

由式(1-1-10)和式(1-1-4)得

$$E_1 = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 \frac{(m_1 - m_2 \varepsilon)^2}{(m_1 + m_2)^2} \quad (\text{J}) \quad (1-1-12)$$

由式(1-1-11)和式(1-1-3)得

$$E_2 = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 \frac{m_1 m_2 (1 + \varepsilon)^2}{(m_1 + m_2)^2} \quad (\text{J}) \quad (1-1-13)$$

将式(1-1-2)、(1-1-12)和式(1-1-13)代入式(1-1-5)得

$$E_s = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 \frac{m_2}{m_1 + m_2} (1 - \varepsilon^2) \quad (1-1-14)$$

将式(1-1-2)和式(1-1-14)代入式(1-1-1)得

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{m_1}{m_2}} (1 - \varepsilon^2) \quad (1-1-15)$$

由式(1-1-15)可以看出, 要提高锻锤的打击效率, 应从两方面着手。一是减小 ε 值, 即提高锻件的塑性, 最有效的办法是提高锻造温度, 但不能超过材料的过热和过烧温度。因此, 在温度较高的情况下进行锻造时, 锻锤有用能量的利用就比较好, 反之就比较差。一般钢在锻造温度下的恢复系数 $\varepsilon = 0.25 \sim 0.5$, 实际上在锻造过程中 ε 值是变化的, 刚开始锻造时坯料温度最高, ε 值最小, 打击效率也最高, 随着锻件温度的下降, ε 值逐渐增大, 打击效率就不断降低。上下砧块在没有锻件的情况下互相冷击, 几乎完全是弹性变形, $\varepsilon \approx 1$, $\eta = 0$, 锻锤落下部分的能量全部用于使锤头和砧座产生弹性变形, 这是很不利的, 应当避免。另一方面是减小 m_1/m_2 的比值, 即对一定落下部分质量的锻锤来说, 砧座愈大, 打击效率就愈高。因此, 锻锤的砧座都做得很大, 考虑经济效果, 一般自由锻锤 $m_1/m_2 = 1/10 \sim 1/15$, 模锻锤 $m_1/m_2 = 1/20 \sim 1/30$ 。

图1-1-3表示有砧座锻锤的打击效率与 m_1/m_2 及 ε 值的关系, 从图中可以看出, 当砧座质量从锤头质量的10倍增加到20倍时, 锻锤的打击效率提高不多, 意义不大。但从锻锤的打击刚性来看, $m_2/m_1 = 20$ 比 $m_2/m_1 = 10$ 要好得多。