

高等学校教材

机械制图

程培源 主编

机械工业出版社

高等学校教材

模具寿命与材料

主 编	程培源	
副主编	詹 武	
协 编	常志梁	金洛华
主 审	李志刚	熊惟皓



机械工业出版社

前 言

本书是根据 1993 年 12 月第三次全国高等学校塑性成形专业教学指导委员会模具专门化协作组召开的教材编写研讨会所拟订的大纲编写的。本书可作为模具设计与制造专业和塑性成形工艺与设备专业的本科、专科教材,也可供有关工程技术人员参考。

全书共分七章:第一、二章介绍了模具寿命的有关基本概念,并阐述了模具寿命对工业生产的影响;第三章阐述了模具失效形式及机理;第四章叙述了模具寿命的影响因素及影响规律;第五章全面地介绍了模具材料性能特点及应用场合;第六章叙述了模具表面强化工艺;第七章对三种常用模具寿命进行了分析。

本书由武汉汽车工业大学程培源主编,天津轻工业学院詹武副主编,华中理工大学李志刚、熊惟皓主审。编写分工如下:第一章、第五章由詹武编写;第二章、第三章、第四章(第四节之三除外)和附录由程培源编写;第六章、第四章的第四节之三由太原重型机械学院常志梁编写;第七章由武汉汽车工业大学金洛华编写。

本书是全国模具专业“模具寿命与材料”专业课的首本教材,在编写过程中吸收了许多学校近年来的教学经验,得到了兄弟院校的支持和帮助,主审李志刚、熊惟皓对书稿进行全面、认真地审查,提出了许多宝贵意见,在此谨表示深切的谢意。

由于编者水平有限,书中缺点和错误在所难免,欢迎读者批评指正。

编 者

EAA40109

目 录

前言

第一章 绪论 1

第一节 模具在生产中的作用及国内外

制造概况 1

一、模具在现代工业生产中的作用 1

二、国内外模具制造的现状和趋势 1

第二节 模具成形工艺及分类 2

一、模具成形工艺 2

二、模具的分类 4

第三节 模具寿命概况及本课程

的任务 6

一、模具寿命的基本概念 6

二、国内外模具寿命概况 7

三、本课程的性质与任务 7

第二章 模具寿命及其对工业生产

的影响 8

第一节 模具寿命与失效的基本概念 8

第二节 模具寿命与生产率 8

第三节 模具寿命与产品成本 9

第三章 模具失效形式及机理 11

第一节 磨损失效 11

一、磨损分类 11

二、磨粒磨损 11

三、粘着磨损 12

四、疲劳磨损 14

五、气蚀磨损和冲蚀磨损 15

六、腐蚀磨损 16

七、磨损的交互作用 16

第二节 断裂失效 17

一、断裂力学的基本概念 17

二、断裂分类及断裂形式 23

三、一次性断裂 24

四、疲劳断裂 25

五、断裂力学在模具失效分析

中的作用 27

六、影响断裂失效的主要因素 28

第三节 塑性变形失效及多种失效

形式的交互作用 28

一、塑性变形失效 28

二、多种失效形式的交互作用 29

第四章 模具寿命的影响因素 30

第一节 模具结构 30

一、圆角半径 30

二、几何形状 30

三、模具结构形式 31

第二节 模具工作条件 32

一、成形件的材质、温度 32

二、设备特性 32

三、润滑与冷却 33

第三节 模具材料性能 34

一、模具材料的基本性能 34

二、模具的工作条件与使用性能 35

第四节 模具制造 36

一、模块的锻造 36

二、模具的电加工与机加工 40

三、模具热处理 43

第五节 模具维护和管理 47

一、模具维护 47

二、模具的管理 48

第五章 模具材料 49

第一节 模具材料概述 49

一、模具材料的分类 49

二、模具材料的一般性能要求 50

三、模具选材的一般原则 51

四、模具选材的具体考虑因素 51

五、模具材料的发展趋向 53

第二节 冷作模具钢 53

一、各类冷作模具的特点 53

二、冷作模具材料的分类 55

三、冷作模具钢的特点 55

四、冷作模具钢的分类、性能和

选用 57

五、新研制和引进的冷作模具钢 68

第三节 热作模具钢	70	二、物理气相沉积	128
一、热作模具的分类	71	三、熔盐浸镀法	129
二、热作模具的工作条件	71	第四节 模具其他表面强化法	131
三、各类热作模具的工作 条件及要求	75	一、复合表面强化处理	131
四、热作模具钢的特点	77	二、模具表面化学处理	132
五、热作模具钢的分类	78	三、碳化物涂敷剂法	132
六、热作模具的选材	86	四、电火花表面强化处理	133
七、新型热作模具钢	88	第七章 常用模具寿命分析	134
第四节 塑料模具钢	90	第一节 冲裁模	134
一、塑料模具的工作条件	90	一、冲裁模的工作特点	134
二、塑料模具的失效分析	90	二、冲裁模的主要失效形式 及影响因素	134
三、塑料模具钢的性能要求	91	三、提高冲裁模寿命的措施	136
四、塑料模具钢的分类及特点	91	四、冲裁模模具材料的选用	136
五、塑料模具钢的选用	96	第二节 拉深模	137
六、国内外新型塑料模具钢	97	一、拉深模的工作特点	137
第五节 铸铁模具材料	99	二、拉深模的主要失效形式	137
一、铸铁模具材料概况	99	三、拉深模粘结瘤	137
二、铸铁模具材料的应用	100	四、影响拉深模寿命的主要因素	138
第六节 硬质合金和钢结硬质合金	102	五、提高拉深模寿命的措施	138
一、硬质合金	102	第三节 锤锻模	139
二、钢结硬质合金	105	一、锤锻模的工作特点	139
第七节 有色金属及合金模具材料	108	二、锤锻模的主要失效形式	140
一、锌基合金模具材料	108	三、影响锤锻模寿命的主要因素	140
二、低熔点合金模具材料	111	四、提高锤锻模寿命的主要措施	141
第六章 模具表面强化	113	附录	143
第一节 概述	113	附录 A 我国与主要工业国家模具钢号 (相同或类似成分)对照表	143
第二节 模具表面化学热处理强化	116	附录 B 碳素钢和合金钢的洛氏硬度、 布氏硬度、维氏硬度及抗拉 强度换算表	144
一、模具的渗硼	116	参考文献	146
二、模具的渗铬	120		
三、模具的氮碳共渗	122		
第三节 模具表面镀覆强化	125		
一、化学气相沉积	125		

第一章 绪 论

第一节 模具在生产中的作用及国内外制造概况

一、模具在现代工业生产中的作用

模具是压力加工或其他成形工艺中，使材料（金属或非金属）变形成产品（成品或半成品）的成形工艺装备。它在现代工业生产中具有重要的作用，主要可从以下几个方面看出：

1) 模具是制品成形的一种重要工艺装备，应用广泛，它对锻造、塑料、压铸等行业的生产有较大的影响。模锻件、冲压件、挤压和拉拔件都是使金属材料在模具内发生塑性变形而获得的；压铸零件、粉末冶金零件也是在模具中充填加压成形的；而塑料、陶瓷等非金属材料制品多数需模具加工定形。

2) 少无切削是机械制造发展的一个方向，而模具是利用压力加工实现少无切削工艺的关键。由于模具制造水平的提高，使模具加工制品的精度大大提高，粗糙度降低，从而有可能直接加工成为成品。模具成形具有优质、高产、低消耗和低成本等特点，因此应用面很广。利用模具制造各种零、部件，在飞机、汽车、电器仪表领域占 60%~70%；家电产品中占 80% 以上；手表、自行车等轻工产品占 85% 以上。

3) 模具质量影响到压力加工技术水平的高低，是产品（压制件）的精度、余量、生产率的决定性因素。压力加工技术的关键，则是模具质量的好坏，它对压制产品的质量造成直接影响。

4) 模具的制造水平还是影响成形工艺所采用的自动化等先进设备能否发挥优越性的重要因素。往往由于模具质量差、使用寿命短、报废快、更换时间长而造成停产或设备利用率不高，影响了正常生产，降低了生产率。

二、国内外模具制造的现状和趋势

1) 市场竞争剧烈，加速了产品的更新换代，加快了模具制造的发展。

2) 对模具的要求提高了。随着工业生产的发展，对模具性能要求更高、精度要求更严，模具需求量更大、种类更多、工作条件更苛刻、形状更复杂、工作温度更高、寿命一般希望更长。

3) 国外工业发达国家，模具制造发展很快，成为一个专门的生产行业，逐渐实行标准化、专业化、商品化。模具已经是一种高技术密集型产品。例如日本在 1957 年模具产值为 106 亿日元，1979 年为 4900 亿日元，是 1957 年的 46 倍。美国在 1984 年模具的总产值达 60 亿美元，超过了机床的总产值。模具工业大量采用先进的技术和设备，模具制造中新的材料、新的热处理工艺不断出现，采用计算机辅助设计与制造模具……，模具制造形成了专门的工业体系，取得了显著的经济效益。据预测，到 2000 年机械零件粗加工的 75% 和精加工的 50% 将由模具成形来完成。

4) 我国的模具生产发展也较快，在一定程度上满足对模具的需要，逐渐发展成为国民经

济的基础工业，最近国家把模具制造列为机电工业发展序列的第二位，这对振兴模具工业创造了极好的条件。当前，我们与工业先进国家相比，差距还较大：国内模具生产厂专业化程度只有10%~15%，经济效益差，劳动生产率不到3万元/人年（国外工业国家为5~10万美元/人年）。现在模具生产只能满足需要的60%。据中国模具协会统计，1994年进口模具为7.65亿美元，1995年为8.11亿美元。与国外模具制造的差距约落后20年，主要表现为以下几方面：

①标准化程度低：国外标准化生产程度达80%，标准件品种多，规格全，全部商品化。国内标准化程度不到20%，品种只有约2000个，缺少精密高效标准件。

②模具品种少、效率低：主要是缺少大型、复杂、长寿命模具。国外模具向精密化、自动化方向发展，很多工序可以集中在一副模具中完成。

③模具制造精度低、周期长：国外模具厂都采用粗加工、精加工、测量、装配等成套的精密设备，如CNC坐标磨床，数控电火花机床等。国内模具厂设备陈旧不配套，数控机床只占3%，电加工机床占15%，模具加工新工艺采用较少，使国内模具精度比国外低1~2级、制造周期长1~2倍。

④模具寿命短、材料利用率低：国外由于采用了冶炼及热处理方面的新技术，模具寿命大大提高。国内模具钢品种不全，新钢种很少，一般采用常规热处理，因而质量无法保证，模具材料利用率仅为60%。

⑤技术力量落后，管理水平较差：模具生产技术人员比例只占7%~8%（国外为30%），低于国内其他行业。生产缺乏科学管理。

我国模具中，长期的科技发展战略是以国内市场为导向，以开发精密、大型、长寿命成套模具为重点，减少进口，促进出口。发展模具基础技术，如数控加工、快速制模、特种加工等；发展高技术，如CAD/CAM、加工中心等；加速模具新结构、新工艺、新材料的研究，提高精度，提高寿命；发展模具成套加工精密设备。

第二节 模具成形工艺及分类

一、模具成形工艺

模具主要应用在压力加工之中，它影响压力加工的生产率及制品质量。

压力加工的基本方法简单分为锻、轧、冲、镦、挤、弯、旋、拉、拔等多种形式，都使材料产生塑性变形，但变形的受力状况，加载速度、变形材料的流动情况等方面有所不同。与模具有关的工艺，主要分以下几类：

（一）普通模锻

普通模锻是将金属加热或不加热，在冲击力或压力作用下，使金属的几何形状发生变化，得到一定要求的锻件。它包括镦锻和热锻。

1) 镦锻是使材料局部锻粗成一定的形状的加工工艺。可分为冷镦、温镦和热镦。

2) 热锻是利用锻锤或螺旋压力机或热模锻压力机使金属变形的加工方法。可分为模锻（图1-1）和胎模锻（图1-2）。模锻是金属材料在锻模的模膛中受力变形，获得和模膛形状相符的锻件。目前发展有高速模锻，粉末模锻新工艺。胎模锻是介于自由锻与模锻之间，一般用自由锻方法制坯，在胎模中最后成形。

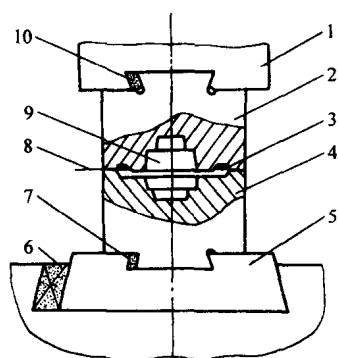


图 1-1 模锻锤上模锻

1—锤头 2—上模 3—飞边槽 4—下模 5—模垫
6、7、10—紧固楔铁 8—分模面 9—模膛

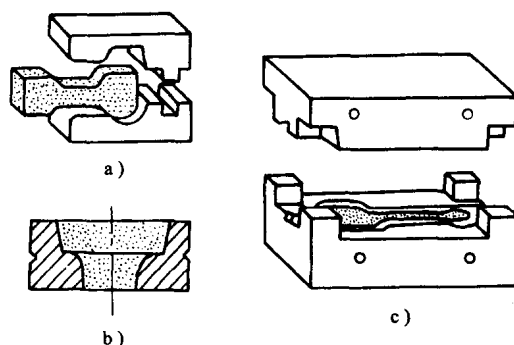


图 1-2 胎模锻

a) 扣模 b) 筒模 c) 合模

(二) 挤压

挤压是将金属材料放在挤压模型腔内，一端施加强大压力，材料处于三向受力状态下变形，而从一端的模孔中流出，获得不同形状的型材与管材或零件。按凸模与材料相对运动方向分类，可分正挤压、反挤压（图 1-3）。按坯料温度，可分为冷挤压、热挤压和温挤压。

挤压零件的形状可以很复杂，精度好，而且表面粗糙度值低，力学性能好，材料的利用率高（达 70%），并有很高的生产率。

(三) 拉拔

在拉拔时，材料两向受压，一向受拉，通过模具的模孔或型腔而成形，获得所需形状尺寸的型材、毛坯或零件。拉拔可分为拉丝、拔管等。

(1) 拉丝 材料在拉力作用下通过小于坯料断面的模孔（图 1-4），产生使断面积减小，长度增加的变形，从而获得不同规格的线材或其他型材。

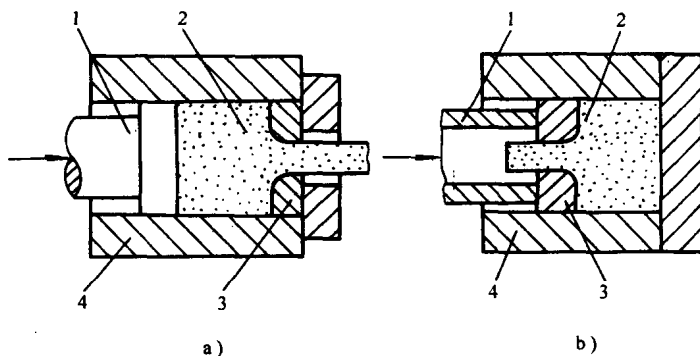


图 1-3 挤压示意图

a) 正挤压 b) 反挤压

1—凸模 2—坯料 3—挤压模 4—挤压筒

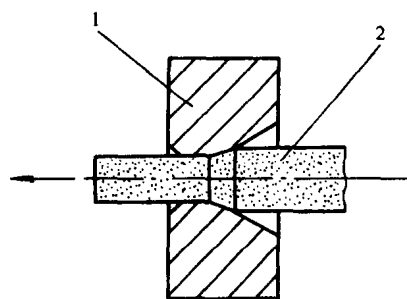


图 1-4 拉拔示意图

1—拉丝模 2—坯料

(2) 拔管 管坯材料受拉通过模孔和芯棒之间的环形缝隙变形，使管的直径减小、管壁变薄的加工工艺。

拉拔所获得的产品具有较高的精度和较低的表面粗糙度，常用于对轧制的棒料，管料的再加工，以提高质量。

(四) 冲压

冲压是利用冲模使材料发生分离或变形,从而获得零件的加工方法。冲压可获得形状复杂、精度高和表面质量好的零件,同时,生产率很高、成本低。冲压主要可分为分离、成形两类基本工艺方法(图1-5)。

(1) 分离 使坯料的一部分与另一部分相互分离的工艺,可分冲孔、落料、切边、修整等方法。

(2) 成形 使坯料发生塑性变形而不分离的工艺,包括拉深、弯曲、胀形、翻边和校平等。

(五) 压铸

压铸是压力加工和铸造相结合的工艺,熔融金属以高速压射充填到金属型压铸模型腔内,在压力下凝固而形成铸件(图1-6)。

(六) 塑料成型

塑料成型是在压力的作用下,将粉末状或粘流状的塑料在模具中成形,获得所需形状尺寸的塑料制品。有模压成型、挤压成型,注射成型等(图1-7)。

(1) 模压成型 将塑料放在模具的型腔中,在液压机上加热、加压,使软化的塑料充满型腔,并保持一定的温度、压力和时间,塑料即硬化成制件。

(2) 挤压成型 塑料放入模具的专用加料腔内,在液压机上加热、加压,使软化的塑料经过浇注系统,挤入模具的型腔内而制成塑料制品。

(3) 注射成型 塑料放入注射机的加料斗中,注射活塞向左移动、推动塑料进入料筒,由电热装置加热成粘流状态,并以很高的压力和速度,经喷嘴和浇注系统注射到模具的型腔内而成形。

二、模具的分类

模具的分类方法较多,主要如下:

(一) 按模具所加工材料的再结晶温度分

(1) 冷变形模具 变形在再结晶温度以下进行,产生加工硬化,使塑性变形抗力增大、模具承受的载荷增加。它又可分为冷冲压、冷挤、冷镦、冷拔模四类。制品的精度、表面质量、生产率、力学性能均较高,材料利用率高。

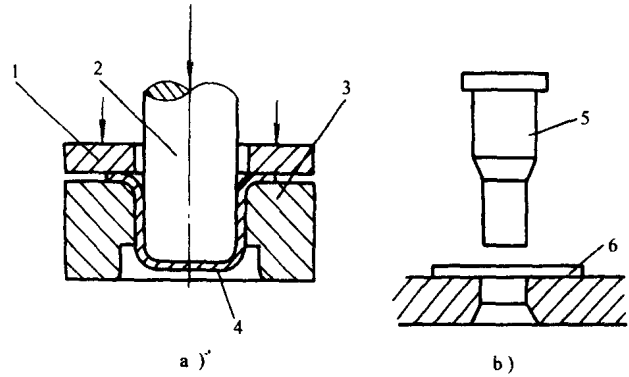


图 1-5 冲压示意图

a) 成形 b) 分离

1—压板 2—凸模 3—凹模 4、6—坯料 5—冲头

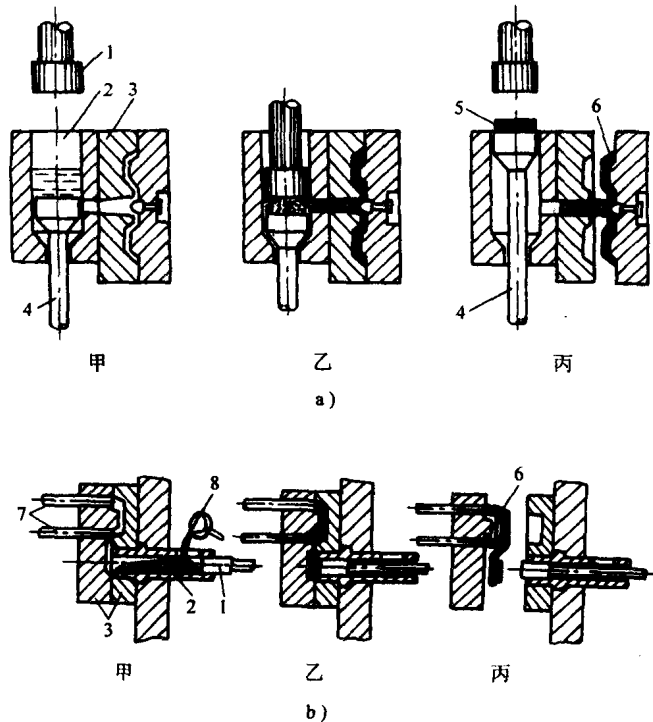


图 1-6 压铸示意图

a) 立式冷压室压铸机 b) 卧式冷压室压铸机

甲—合型并注入金属液 乙—加压 丙—开型取出铸件

1—压缩活塞 2—压缩室 3—铸型 4—下活塞 5—剩余金属
6—铸件 7—顶杆 8—熔融金属

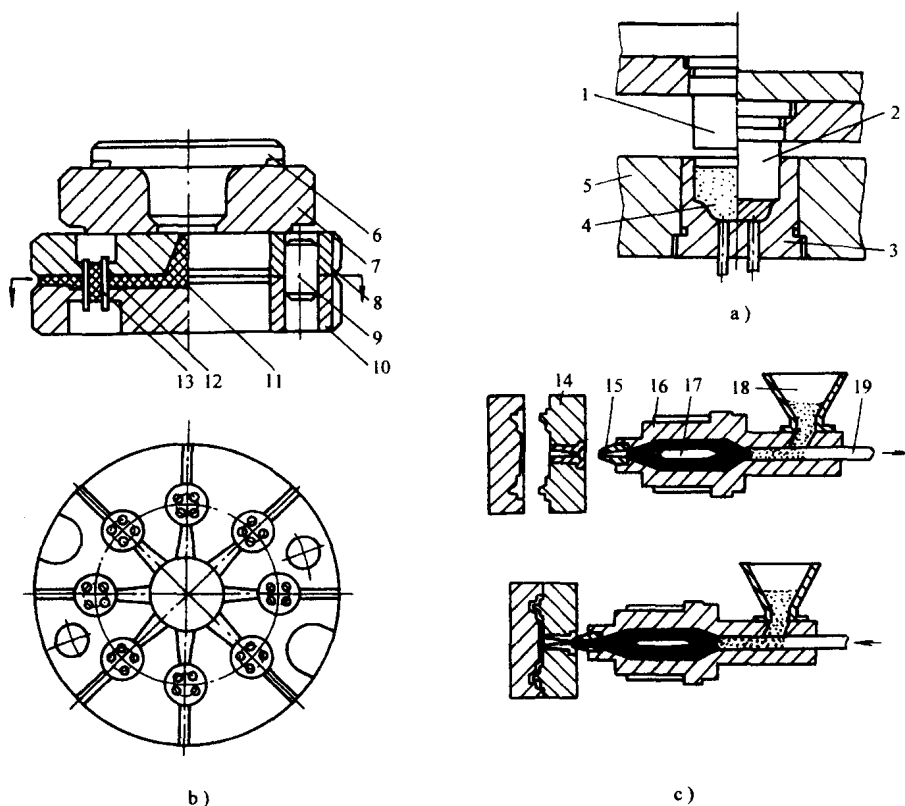


图 1-7 塑料成型示意图

a) 模压成型 b) 挤压成型 c) 注射成型

1—压制前的凸模位置 2—压制后的凸模位置 3—凹模镶块 4、12—塑料

5—凹模模套 6—压头 7—加料腔 8—上模板 9—导柱 10—下模板

11—浇注系统 13—嵌件 14—模具 15—喷嘴 16—料筒

17—分流梳 18—加料斗 19—注射活塞

(2) 热变形模具 模具加工坯料时, 变形在再结晶温度以上, 加工硬化和再结晶软化两种过程同时进行, 因为加工的同时可消除加工硬化, 所以塑性变形抗力较小, 模具承载相应较轻。但工作温度高, 受高温的影响较大。它主要分为热锻、热镦、热挤、热冲模。

(3) 温变形模具 变形在冷、热变形之间, 即既比冷变形温度高, 降低了塑性变形抗力, 减少了模具的承载, 但又低于再结晶温度, 使制品保留了加工硬化, 有较高的力学性能。

(二) 按模具加工坯料的工作温度分

(1) 热作模具 高温下进行加工。

(2) 冷作模具 常温下进行加工。

(3) 温作模具 介于以上二者之间。

一般第(一)种与第(二)种分类法是相对应的, 但不完全一致, 第(一)种较为严密, 而第(二)种是现实生产的习惯分法。

(三) 按模具成形的材料分

1) 金属成形用模具。

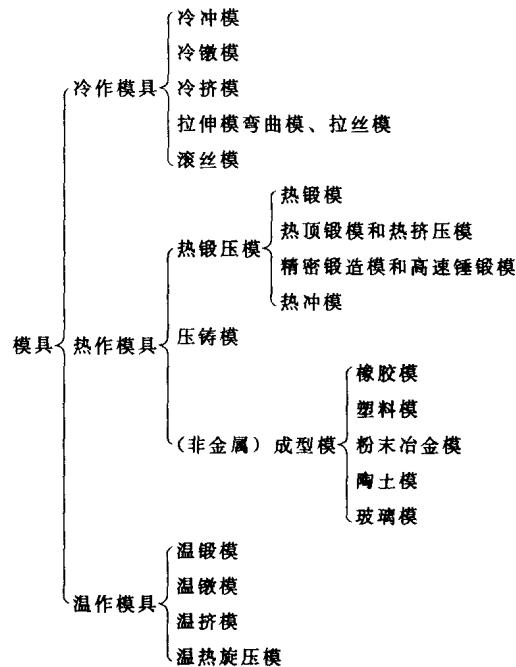
2) 非金属成形用模具。

(四) 按模具的用途分

可分为锻造模具、冲压模具、挤压模具、拉拔模具、压铸模具、塑料模具、橡胶模具、陶瓷模具、玻璃模具、其他模具等。

综合起来、常用的分类法可见表 1-1。

表 1-1 模具分类表



第三节 模具寿命概况及本课程的任务

一、模具寿命的基本概念

模具因为磨损或其他形式失效、终至不可修复而报废之前所加工的产品的件数，称模具的使用寿命，简称模具寿命。

模具寿命对生产影响很大，主要如下：

1) 高质量、寿命长的模具，可以提高压制品的生产率及质量，同时模具是比较昂贵的生产工具，目前模具加工费占产品成本的 10%~30%，其寿命长短不但影响到模具本身的制造综合成本，而且也影响到压制品的成本和工艺部门工作量等。因此，除了小批量生产和新产品试制等特殊情况下，一般都要要求模具具有较长的寿命。

2) 模具寿命关系到少、无切削工艺的推广应用，如冷轧齿轮，冷打花键、高速模锻、黑色金属压铸和冷挤压等往往由于模具寿命不高，使其应用受到一定的限制。

3) 模具的寿命影响到一些先进的高效率、多工位压力加工设备正常效能的发挥。如多工位轴承环高速锻锤、多工位大型冷锻机、钢球滚球冷锻机等也往往由于其模具寿命低而难以发挥效率。在大批量生产中，为了保证较高的生产率，模具的使用寿命更为重要。

4) 模具寿命也影响到模具钢的消耗，特别是合金模具钢的消耗，寿命低造成了人力、物力大量浪费。

5) 提高模具寿命, 实质上意味着和模具失效作斗争。为了提高寿命、可分析影响它的内在因素(模具结构、材料及加工工艺)和外在因素(模具的工作条件和使用维护、制品材质和形状大小等)。配合科学实验, 找出失效原因, 采取有效措施解决, 例如合理的设计模具; 正确选材、开发模具新材料、改善原材料质量; 采用先进的热处理工艺, 提高模具热处理质量; 保证加工质量, 采用新的加工方法; 改进压力加工设备和工艺, 合理使用、维护模具。

二、国内外模具寿命概况

目前在我国的很多生产厂家中、模具的使用寿命很低, 这主要是我国的模具制造技术与国际先进水平相比差距较大。有些设计、制造及使用模具的人员对模具的工作条件、使用性能、损坏原因、模具材料的特性与模具寿命的关系缺乏深入的研究, 全国由于模具寿命低而造成的浪费、估计每年不下数百亿元人民币。如将由于模具寿命低, 对产品的质量和产量所带来的损失也考虑在内, 则浪费更为严重。

目前, 我国每年消耗模具钢 6~10 万 t 左右, 进口模块一万多吨, 模具钢的消耗量与日本大致相当, 但日本的产品却高出我国几十倍, 我们的模具寿命只相当于工业先进国家的 1/5~1/3, 下面是国内外几种主要模具寿命比较(见表 1-2)。

表 1-2 国内外模具寿命比较

	硅钢片冷冲模	塑料注射模	连杆热锻模	铝合金压铸模
国内	合金钢 100 万 硬质合金 3000 万	30 万次	0.8~1 万次	20 万次
国外	合金钢 500 万 硬质合金 3 亿	60 万次	2.5 万次	100 万次

从我国中长期模具科技发展要点看出, 在提高模具寿命综合技术方面, 到 2000 年的目标是: 对精密、复杂、大型、长寿命模具进行失效分析; 研究综合性能优良的模具钢, 形成系列, 淘汰老钢种; 研制高耐磨冷作模具钢, 硬化精密热作模具钢, 复合系易切削

镜面塑料模具钢, 新型硬质合金, 钢结硬质合金模具材料; 研究真空热处理及表面热处理新技术; 研制新型模具润滑剂和涂料、粘结剂; 研制新型喷镀、刷镀等新强化堆焊技术, 提高模具维修技术, 提供综合性措施, 大幅度提高模具使用寿命。到 2020 年的目标是研制高性能优质模具钢; 开发新型超硬合金、金属陶瓷、合成纤维等新型模具材料; 研究应用激光等新型热处理强化技术。

三、本课程的性质与任务

《模具寿命与材料》是模具专业的一门专业课。本课程的任务是使学生了解模具寿命及其影响因素、常用模具材料的性能特点及选用, 一般模具热处理工艺及选择, 掌握有关因素对模具寿命的影响, 并能正确应用这些规律指导模具选材、简明热处理工艺制订、模具设计、模具加工、模具使用和管理。

本课程有着承前启后的作用。首先它得在学完工程材料、锻压及塑料加工设备和工艺的基础上开课, 学完后、又为模具的设计、选材及制造时制定热处理工艺及失效分析等服务。学习中既要了解模具材料及热处理等理论基础, 又要掌握模具有关的生产工艺、设计方法、失效分析等实际知识。

第二章 模具寿命及其对工业生产的影响

第一节 模具寿命与失效的基本概念

模具作为工业部门的重要工艺装备,有其特定的含义与内容。在研究模具寿命和失效问题时,常常涉及以下一些基本概念。

(一) 模具服役

模具安装调试后,正常生产合格产品的过程叫模具服役。

(二) 模具损伤

模具在使用过程中,出现尺寸变化或微裂纹,但没有立即丧失服役能力的状态叫模具损伤。

(三) 模具失效

模具受到损坏,不能通过修复而继续服役时叫模具失效。广义上讲,模具失效是指一套模具完全不能再用,生产中一般指模具的主要工作零件不能再用。

模具因类型不同、生产的产品不同,失效的形式也不同。如锻模会因锻件尺寸不符合要求或锻模破裂而失效,而塑料件表面要求很光的塑料模,会因模具表面粗糙度变大而失效。

模具的失效可分为非正常失效(早期失效)和正常失效。

1. 非正常失效(早期失效)

模具未达到一定的工业技术水平下公认的寿命时就不能服役时,称模具的早期失效。早期失效的形式有塑性变形、断裂、局部严重磨损。

2. 正常失效

模具经大量的生产使用,因缓慢塑性变形或较均匀地磨损或疲劳断裂而不能继续服役时,称模具的正常失效。

(四) 模具正常寿命(S)

模具正常失效前,生产出的合格产品的数目,称模具正常寿命,简称模具寿命 S ,模具首次修复前生产出的合格产品的数目,称首次寿命 S_1 ,模具一次修复后到下一次修复前所生产出的合格产品的数目,称修模寿命 S_2 ,模具寿命是首次寿命与各次修模寿命的总和。

模具寿命与模具类型和结构有关,它是一定时期内模具材料性能、模具设计与制造水平、模具热处理水平以及使用及维护水平的综合反映。模具寿命的高低在一定程度上反映一个地区、一个国家的冶金工业、机械制造工业水平。

第二节 模具寿命与生产率

产品设计完成后,其生产模具要经历从设计、制造、安装调试、维护,直至失效报废等不同阶段。

(一) 模具的设计时间(T_1)

从模具设计到模具所有工艺文件、图样完成所用的时间,称模具设计时间 T_1 。产品不同,

模具的设计时间也不同,少则几天,多则数月。

(二) 模具的制造时间(T_2)

模具从制造开始到初次使用时所用的时间,称为模具的制造时间(T_2)。

(三) 模具的安装、调试时间(T_3)

模具制造出来后,装在相应生产设备上,调试生产第一件合格产品所用的时间,称为模具的安装、调试时间 T_3 。

(四) 模具的修复及维护时间(T_4)

模具服役一段时间后,暂时性地失去功能或为了维护所用的时间,称为模具的修复及维护时间 T_4 。 T_4 包含拆卸、重新装在设备上所用的时间。

(五) 模具的工作时间(T_5)

模具在设备上生产出合格产品所用的时间,称为模具的工作时间(T_5)。

(六) 模具寿命与生产率(见图 2-1)

生产率与设备工作节奏有关,也与产品批量及模具寿命有关。

当产品批量小于模具寿命时,为了降低产品成本,只用一套模具,则

$$Q = \frac{n}{T_1 + T_2 + T_3 + \Sigma T_4 + n/60N} \quad (2-1a)$$

式中 Q ——生产率(件/h);

n ——产品批量(件);

N ——设备的工作节奏(次/min);

T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 的单位为 h。

不计设计、制造时间,则:

$$Q = \frac{n}{T_3 + \Sigma T_4 + n/60N} \quad (2-1b)$$

当产品批量大于模具寿命时,会消耗多套模具,不计修复时的装卸时间,最高的生产率为

$$Q_{\max} = \frac{S}{\Sigma T_3 + S/60N} \quad (2-1c)$$

实际生产中多数是一套模具完全失效后再换新模具,因此生产率为

$$Q = \frac{S}{T_3 + \Sigma T_4 + S/60N} \quad (2-1d)$$

在这种情况下,只有 $T_2 < T_3 + \Sigma T_3 + S/60N$ 时,才能使生产连续进行。

从上面的分析可以看出,减少模具的装配和修模次数与时间,提高模具的首次寿命与修复寿命,都能起到提高生产率的作用;设备工作节奏越快,模具寿命对生产率的影响就越大。大批量生产时,缩短制模时间,采用快换模装置,缩短装模时间,减少修复次数,将增加工作时间在整个时间的相对比例,会有效地提高生产率。

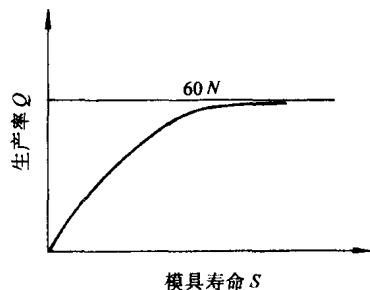


图 2-1 模具寿命与生产率的关系

第三节 模具寿命与产品成本

采用模具生产的产品,其成本由原材料费、工资、设备折旧费、模具费及管理费等项组成,

可分为与模具寿命无关的项目(如原材料费、工资、设备折旧费等)及与模具寿命有关的项目(如模具费),简写为

$$V = A + \frac{M+B}{S} = A + \frac{1}{S}(M_c + M_z + M_x + B) \quad (2-2)$$

式中 V ——产品成本;

A ——与模具寿命无关的单件产品成本之和(含管理费);

B ——与模具寿命有关的其他项目成本之和(不包括模具费);

M ——模具费;

M_z ——模具制造费;

M_c ——模具材料费;

M_x ——模具修理费。

从图 2-2 可以看出,产品成本随着模具寿命的增加而下降。我国模锻、冲压件产品模具费占产品成本的 10%~30%,小批量冲压件模具费用占产品成本的 30%~50%,另一方面,目前我国模具行业是微利行业,模具价格偏低,如提高模具价格,会进一步增大模具费在产品成本中的比例。因此,有效地提高模具的寿命,就可降低产品成本。

同一批量产品,当采用不同的模具材料、不同的制模工艺时,其模具费用不同,也会影响产品成本。因此,降低产品成本,除了提高模具寿命之外,还要考虑产品批量与模具寿命的匹配关系。应使模具寿命略大于产品批量。用于制造模具的材料有硬质合金和钢结合金、高速钢及合金工具钢、碳素工具钢、低熔点合金、铸铁等。它们的材料费、制造费、维修费及寿命差别很大。图 2-3 是电子定子硅钢片冲模采用不同模具材料时产品成本与批量之间的关系,硬质合金冲模寿命可达 4000 万件,但模具难制造,费用高;T12 冲模寿命约为 20 万件左右,模具较易制造,费用低,Cr12MoV 介于两者之间。因此,在满足产品质量的前提下,为了使产品成本最低,应根据批量选用不同的模具材料及其制造工艺。

对于同一产品同一模具材料,应根据产品批量选取最合理的模具结构。对于小批量的小型冲压件采用钢皮冲模等简易模具;对于形状具一定相似性的多品种、小批量的冲压件采用冲压单元、组合冲模及成组技术;对于多品种小批量的小型锻件采用镶块模具。这些都是延长通用模具零件寿命,使工作零件寿命与产品批量相匹配、降低模具费用、降低产品成本的有效途径。

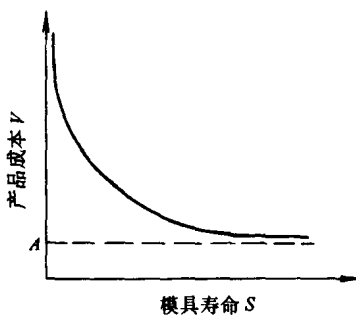


图 2-2 模具寿命与产品成本的关系

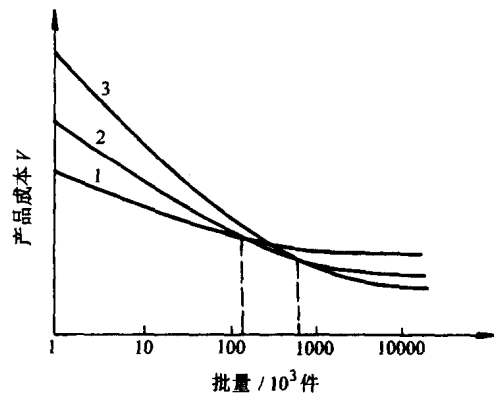


图 2-3 批量与产品成本的关系
1—T12 2—Cr12MoV 3—硬质合金

第三章 模具失效形式及机理

模具种类繁多,工作状态差别很大,损坏部位也各异,但失效形式归纳起来主要有三种,即磨损、断裂、塑性变形。

第一节 磨损失效

由于表面的相对运动,从接触表面逐渐失去物质的现象叫磨损。模具在服役时,与成形坯料接触,产生相对运动,造成磨损。当这磨损使模具的尺寸发生变化或改变了模具的表面状态使之不能继续服役时,叫磨损失效。

一、磨损分类

模具成形坯料不同,使用状况不同,其磨损情况不同,但按磨损机理可分为:磨粒磨损、粘着磨损、疲劳磨损、气蚀和冲蚀磨损、腐蚀磨损。

二、磨粒磨损

外来硬质颗粒存在工件与模具接触表面之间,刮擦模具表面,引起模具表面材料脱落的现象叫磨粒磨损。工件表面的硬突出物刮擦模具引起的模损也叫磨粒磨损。

(一) 磨粒磨损机理

当磨粒与工件和模具表面接触时,作用在磨粒上的作用力可分为垂直表面和平行表面的两个分力,如图 3-1。垂直分力使磨粒压入金属表面,平行分力使磨粒与金属表面产生相对切向运动。磨粒压入金属表面是磨粒磨损的第一阶段,而压入金属表面的磨粒与金属表面的相对切向运动是磨粒磨损的第二阶段,两个阶段的综合即构成完整的磨粒磨损过程。

在用模具成形工件时,一般情况模具比工件硬度高,磨粒首先被压入软工件内,在模具与工件相对运动时刮擦模具,从模具表面切下细小的碎片。当模具表面存在沟槽、凹坑时,磨粒不易从凹坑中出来(或粘结在模具表面上)随工件一起运动,磨粒将耕犁或犁皱工件,如图 3-2 所示。

(二) 影响磨粒磨损的因素

1. 磨粒的大小和形状

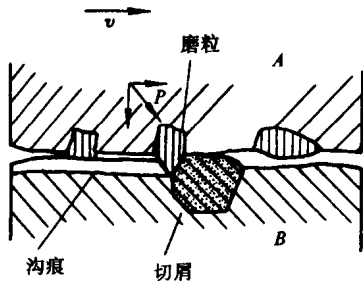


图 3-1 磨粒磨损机理模型

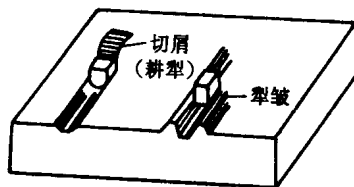


图 3-2 磨粒耕犁与犁皱模型

磨粒平均尺寸越大,模具的磨损量越大,但磨粒的尺寸到达一定值后,磨损量保持不变。磨粒的外形越呈多棱形,越锋利,磨损量越大。

2. 磨粒硬度 H_m 与模具材料硬度 H_0

磨粒硬度 H_m 与模具材料的硬度 H_0 之间的相对值对磨损影响很大。

当 $H_m < H_0$ 时,如图 3-3 中 I 区,模具产生轻微磨损,此时磨损率小,曲线上升平缓。

当 $H_m = H_0$ 时,如图 3-3 中 II 区,为磨损软化状态,此时的磨损率急剧增加,曲线上升很陡。

当 $H_m > H_0$ 时,如图 3-3 中 III 区,为严重磨损状态,此时磨损量较大,曲线趋平。

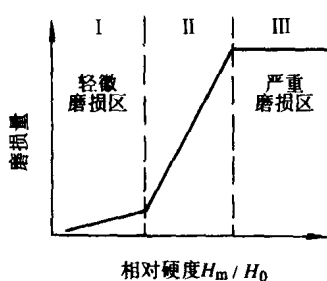


图 3-3 相对硬度对磨损量的影响

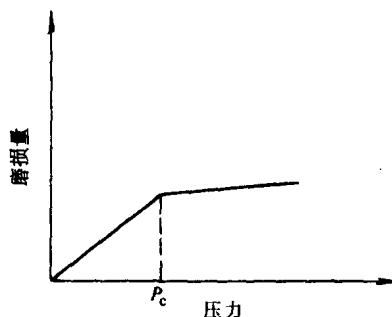


图 3-4 压力对磨损量的影响

由此可见,要减少磨粒磨损,模具材料硬度 H_0 应比磨粒的硬度 H_m 高。

3. 模具与工件表面压力

随着模具与工件表面压力的增加,磨粒压入模具的深度增加,磨损越严重。但当压力达到一定值后,磨粒棱角变钝,磨损增加趋缓,如图 3-4 所示。

4. 磨粒尺寸与工件厚度的相对比值

工件厚度越大,磨粒越易嵌入工件,嵌入深度越深,对模具的磨损越小。

(三) 提高耐磨粒磨损的措施

1. 提高模具材料的硬度

一般情况下,模具材料硬度越高,抗磨粒压入的能力越强,耐磨损性越好。

2. 进行表面耐磨处理

模具使用工况恶劣,承受一定的冲击载荷,模具的整体必须具有一定的韧性。因此,对模具表面进行耐磨处理,是在保证一定韧性的条件下,提高模具耐磨性的有效途径。

3. 采用防护措施

在模具服役过程中,及时清理模具表面与毛坯上存在的磨粒,防止磨粒的侵入,是提高耐磨性的有效方法。

三、粘着磨损

工件与模具表面相对运动时,由于表面凹凸不平,粘着的结点发生剪切断裂,使模具表面材料转移到工件上或脱落的现象称为粘着磨损。

(一) 粘着磨损机理

从微观上讲,模具表面总是凹凸不平的。模具与工件表面实际接触面积只有名义上的 0.01%~0.1%,只有少数微观凸体的峰顶接触,此时,峰点压力很大,有时高达 5000MPa,