



全国高等职业教育示范专业规划教材

模具设计与制造专业

模具材料的 选用与热处理

陈叶娣 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



配电
教师



本书包括三个项目：典型冷作模具的材料选用与热处理、典型热作模具的材料选用与热处理、典型塑料模具的材料选用与热处理。

本书在内容编排方面以工作任务为驱动，即每个项目分别选取多个不同的典型模具作为工作任务，三个项目共设有八个真实的工作任务。同时，本书采用以工作过程为导向的编写形式，即每个项目按工作任务的实施步骤设有四个单元，即模具的工作条件与失效形式、模具的性能要求与材料选择、模具的热处理及综合训练。

本书可作为高职高专及成人院校模具类专业的教材，也可供从事模具设计与制造的工程技术人员参考使用。

本书配有电子教案，凡使用本书作为教材的教师可登录机械工业出版社教材服务网 www.cmpedu.com 下载。咨询信箱：cmpgaozhi@sina.com。咨询电话：010-88379375。

图书在版编目（CIP）数据

模具材料的选用与热处理/陈叶娣主编. —北京：
机械工业出版社，2012.6
全国高等职业教育示范专业规划教材. 模具设计与制造专业
ISBN 978-7-111-37930-0

I. ①模… II. ①陈… III. ①模具钢-热处理-高等
职业教育-教材 IV. ①TG162.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2012）第 059698 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）
策划编辑：于奇慧 责任编辑：于奇慧
版式设计：霍永明 责任校对：吴美英
封面设计：鞠 杨 责任印制：杨 曦
北京京丰印刷厂印刷
2012 年 6 月第 1 版·第 1 次印刷
184mm×260mm·8.75 印张·209 千字
0 001—3 000 册
标准书号：ISBN 978-7-111-37930-0
定价：18.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010) 88361066

门户网：<http://www.cmpbook.com>

销售一部：(010) 68326294

销售二部：(010) 88379649

教材网：<http://www.cmpedu.com>

读者购书热线：(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

“模具材料的选用与热处理”是模具设计与制造专业的一门重要基础课，是模具从业人员的必备知识。模具材料的选择是否合理、热处理是否得当会直接影响模具的使用寿命和企业的经济效益。当前，企业对从业人员的要求越来越高，因此职业教育对学生职业能力和职业素养的培养也越来越重视。本书旨在通过对典型任务的学习能够触类旁通，为今后解决实际问题奠定良好的基础。

本书以“真实的工作任务”为载体构建教学项目，共设有“典型冷作模具的材料选用与热处理、典型热作模具的材料选用与热处理、典型塑料模具的材料选用与热处理”三个项目。每个项目采用多个不同的典型模具作为工作任务，如项目一中以“调整垫片的冷冲裁模具、冰箱门外壳的冷拉深模具、带中间凸缘轴零件的冷锻模具、气门顶杆的冷挤压模具”作为工作任务。三个项目共有八个工作任务，每个项目按工作任务的实施步骤设有四个单元，即模具的工作条件与失效形式、模具的性能要求与材料选择、模具的热处理、综合训练。除了综合训练外，其他单元均设有五部分内容，即单元目标、单元任务、任务导学、任务实施、单元练习，其中“任务导学”是完成每个任务的关键所在，它主要根据任务实施的要求安排相关知识。

本书的教学内容安排与组织突出了对实践能力的培养，直接针对岗位需求，具有明显的职业导向性及较强的过程属性，能够融学习过程于工作过程；同时按照知识、能力协调发展的原则，设计“任务导学”部分，将相关知识分解嵌入到各个单元中。作为任务实施的导学内容，其编写充分体现了“以工作任务为驱动，以工作过程为导向，注重知识的系统性与实用性”的特点，便于学生学习和应用。

本书由陈叶娣担任主编并统稿，钱子龙担任副主编，张金标担任主审。项目一的单元一、二、三、四，项目二的单元一、二及项目三的单元四由陈叶娣编写；项目二的单元三、四由钱子龙编写，项目三的单元一、二由陈泰兴编写，项目三的单元三由苏州骏马奔腾塑业有限公司模具部严小锋编写。在本书编写过程中，还得到了中国模具工业协会技术委员会委员邓卫国、苏州骏马奔腾塑业有限公司模具部陈万杰、常州明杰模具有限有限公司李国勤等同仁的帮助和指导，他们提供了许多宝贵经验和意见，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，错误和不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

项目一 典型冷作模具的材料选用与热处理

处理 1

一、任务目标 1

二、工作任务 1

单元一 典型冷作模具的工作条件与失效形式

失效形式 7

一、单元目标 7

二、单元任务 7

三、任务导学 7

(一) 模具失效的定义及常见的失效形式 8

(二) 模具失效的原因及预防措施 10

(三) 模具寿命及其影响因素 11

(四) 冷作模具的工作条件与失效形式 11

(五) 几种典型冷作模具的工作条件与失效形式 13

四、任务实施 14

五、单元练习 14

单元二 典型冷作模具的性能要求与材料选择

材料选择 15

一、单元目标 15

二、单元任务 16

三、任务导学 16

(一) 模具材料的性能要求 16

(二) 模具材料的冶金质量及其他应考虑的因素 18

(三) 常用冷作模具材料的成分 20

(四) 冷作模具钢的分类、牌号及其特点 21

(五) 常用国产冷作模具钢的特性与用途 22

(六) 常用进口冷作模具钢的特性与用途 24

(七) 模具材料的选用原则 26

(八) 冷作模具工作零件材料的选

用 27

(九) 冷作模具结构零件材料的选

用 30

四、任务实施 30

五、单元练习 32

单元三 典型冷作模具的热处理 33

一、单元目标 33

二、单元任务 33

三、任务导学 33

(一) 模具钢的一般热处理方法 34

(二) 冷作模具钢的热处理工艺 41

(三) 常用冷作模具钢的退火状态硬

度、淬火温度及硬度 44

(四) 冷作模具工作零件的工作硬

度 46

(五) 冷作模具结构零件的工作硬

度 48

四、任务实施 49

五、单元练习 51

单元四 综合训练 52

项目二 典型热作模具的材料选用与热处理

处理 54

一、任务目标 54

二、工作任务 54

单元一 热作模具的工作条件与失效形式

形式 57

一、单元目标 57

二、单元任务 57

三、任务导学 57

(一) 概述 57

(二) 锤锻模的工作条件与失效形

式 58

(三) 热挤压模具的工作条件与失效

形式 60

(四) 压铸模具的工作条件与失效形

式 62

四、任务实施 63

五、单元练习	63	三、任务导学	102
单元二 热作模具的性能要求与材料		(一) 塑料模具的分类与工作条件	102
选择	64	(二) 塑料模具的失效形式	104
一、单元目标	64	四、任务实施	105
二、单元任务	64	五、单元练习	105
三、任务导学	65	单元二 塑料模具的性能要求与材料	
(一) 热作模具钢的分类与特性	65	选择	107
(二) 常用热作模具钢的化学成分	66	一、单元目标	107
(三) 热作模具钢的性能要求	67	二、单元任务	107
(四) 常用国产热作模具钢的特性		三、任务导学	107
与用途	68	(一) 塑料模具钢的性能要求	107
(五) 常用进口热作模具钢的特性		(二) 塑料模具用钢分类	108
与用途	69	(三) 常用国产塑料模具用钢的特性	
(六) 热作模具工作零件材料的选		及应用	110
用	70	(四) 常用进口塑料模具用钢的特性	
(七) 热作模具结构零件材料的选		及应用	112
用	70	(五) 塑料模具材料的选用原则	115
四、任务实施	71	(六) 塑料模具成型零件材料的选	
五、单元练习	72	用	118
单元三 典型热作模具的热处理	73	(七) 塑料模具结构零件材料的选	
一、单元目标	73	用	118
二、单元任务	73	四、任务实施	119
三、任务导学	73	五、单元练习	119
(一) 热作模具钢的锻造和退火处		单元三 典型塑料模具的热处理	120
理	74	一、单元目标	120
(二) 热作模具钢的淬火处理	75	二、单元任务	120
(三) 热作模具钢的回火处理	76	三、任务导学	120
(四) 模具钢的表面化学热处理	77	(一) 塑料模具钢热处理的基本要	
(五) 模具钢的其他表面处理技术	85	求	121
四、任务实施	95	(二) 不同类型塑料模具的工作硬	
五、单元练习	96	度	121
单元四 综合训练	97	(三) 塑料模具的热处理特点	122
项目三 典型塑料模具的材料选用与		(四) 常用塑料模具钢的热处理工	
热处理	100	艺	123
一、任务目标	100	(五) 塑料模具的表面处理方法	125
二、工作任务	100	(六) 影响塑料模具变形的因素	126
单元一 典型塑料模具的工作条件与		四、任务实施	126
失效形式	102	五、单元练习	127
一、单元目标	102	单元四 综合训练	128
二、单元任务	102	参考文献	131

项目一 典型冷作模具的材料选用与热处理

一、任务目标

终极目标：

- 1) 会合理选择冷作模具的材料与热处理方法。
- 2) 会合理安排冷作模具的热处理工艺。

促成目标：

- 1) 会分析典型冷作模具的工作条件与失效形式。
- 2) 会分析典型冷作模具材料的性能要求。
- 3) 了解常用冷作模具材料的成分、性能及应用场合。
- 4) 了解常用冷作模具的热处理方法。

二、工作任务

1. 调整垫片的冷冲裁模具

图 1-1 所示为某企业生产的调整垫片零件图，材料为铝板，厚度为 0.2mm。该零件的特点是材料薄、尺寸精度要求比较高，外观要求表面平整、无划痕、起皱、飞边和卷边等缺陷，模具寿命为 10 万件。

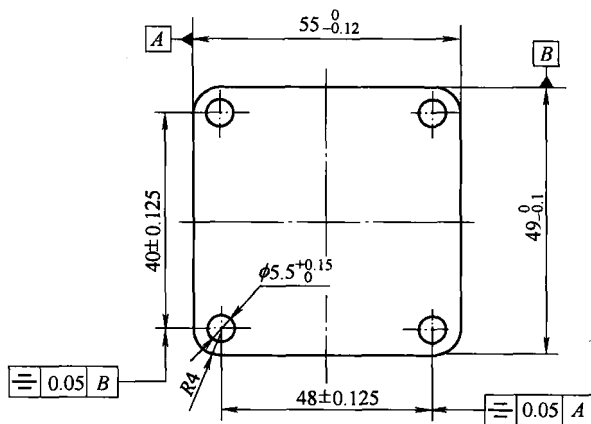


图 1-1 调整垫片

- 1) 选择如图 1-2 所示调整垫片冷冲裁模具的材料，并写出模具零件的硬度要求，完成表 1-1。
- 2) 合理安排调整垫片冷冲裁模具凸凹模的热处理工艺。

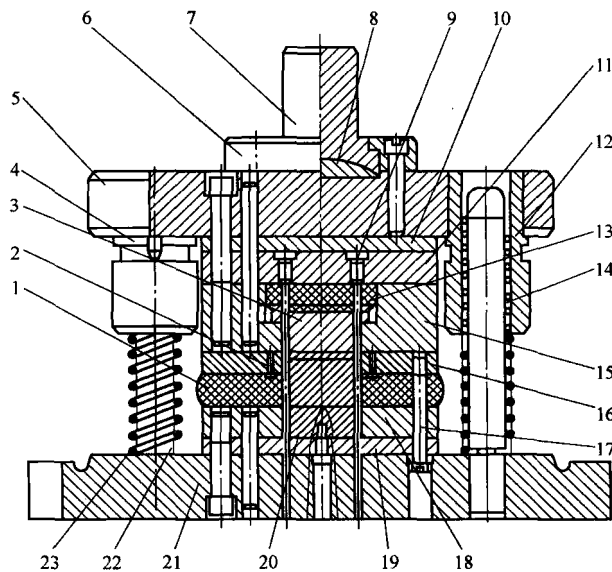


图 1-2 调整垫片冷冲裁模具总图

1—缓冲器 (1) 2—定位销 3—退料器 4—导套压板 5—上模板 6—锥面压圈 7—球面模柄
8—球面垫块 9—凸模 10—上模垫板 11—凸模固定板 12—导套 13—缓冲器 (2) 14—钢球
15—凹模 16—卸料板 17—螺杆 18—凸凹模固定板 19—下模垫板 20—凸凹模 21—下模板
22—导柱 23—弹簧

表 1-1 调整垫片冷冲裁模具材料选择与硬度要求

零件号	零件名称	零件材料	硬度 HRC	零件号	零件名称	零件材料	硬度 HRC
1	缓冲器 (1)			13	缓冲器 (2)		
2	定位销			14	钢球		
3	退料器			15	凹模		
4	导套压板			16	卸料板		
5	上模板			17	螺杆		
6	锥面压圈			18	凸凹模固定板		
7	球面模柄			19	下模垫板		
8	球面垫块			20	凸凹模		
9	凸模			21	下模板		
10	上模垫板			22	导柱		
11	凸模固定板			23	弹簧		
12	导套						

2. 冰箱门外壳的冷拉深模具

图 1-3 所示为某冰箱门外壳，其材料为厚 0.6mm 的彩色钢板，由于是外观零件，其表面不允许有明显的翘曲变形缺陷，模具寿命为 2 万件。

1) 选择如图 1-4 所示冰箱门外壳冷拉深模具的材料，并写出模具零件的硬度要求，完成表 1-2。

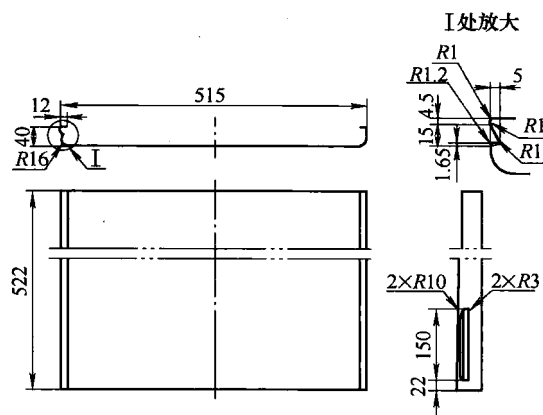


图 1-3 冰箱门外壳

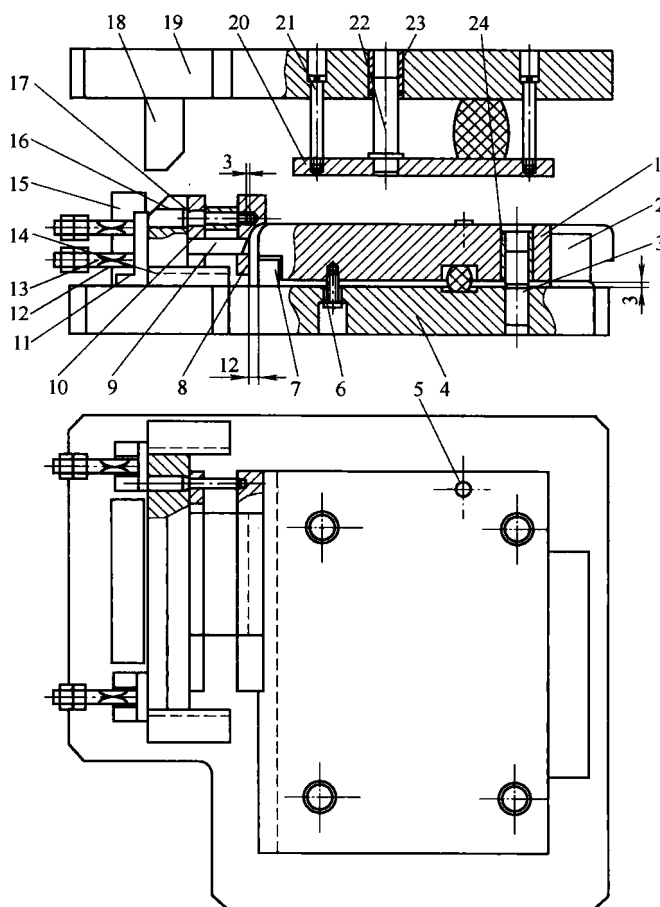


图 1-4 冰箱门外壳冷拉深模具

- 1—成形凹模 2—侧面挡块 3、22—导柱 4—下模座 5—定位钉 6、17、21—卸料螺钉
 7—压料块 8、20—压料板 9—凸模 10—凸模固定板 11—限位块 12—拉杆 13—弹簧
 14—导轨 15—侧向止动块 16—斜滑块 18—斜楔 19—上模座 23、24—导套

表 1-2 冰箱门外壳冷拉深模具材料选择与硬度要求

零件号	零件名称	零件材料	硬度 HRC	零件号	零件名称	零件材料	硬度 HRC
1	成形凹模			13	弹簧		
2	侧面挡块			14	导轨		
3	导柱			15	侧向止动块		
4	下模座			16	斜滑块		
5	定位钉			17	卸料螺钉		
6	卸料螺钉			18	斜楔		
7	压料块			19	上模座		
8	压料板			20	压料板		
9	凸模			21	卸料螺钉		
10	凸模固定板			22	导柱		
11	限位块			23	导套		
12	拉杆			24	导套		

2) 合理安排冰箱门外壳冷拉深模具凸模的热处理工艺。

3. 带中间凸缘轴的冷镦模具

图 1-5 所示为一带中间凸缘轴的零件，材质为 45 钢。采用车削方法加工，效率低，钢材利用率低，零件强度差。考虑到 45 钢变形率较大，采用冷镦成形，这样可以显著提高生产效率、钢材利用率和零件强度，模具寿命为 30 万件。

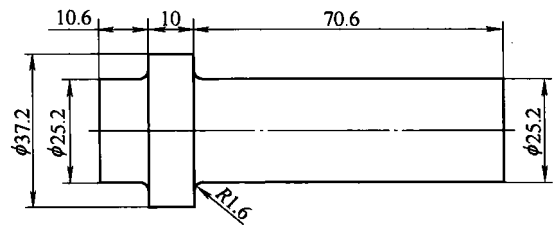


图 1-5 带中间凸缘轴零件

1) 选择如图 1-6 所示带中间凸缘轴零件冷镦模具的材料，并写出模具零件的硬度要求，完成表 1-3。

2) 合理安排带中间凸缘轴零件冷镦凸模的热处理工艺。

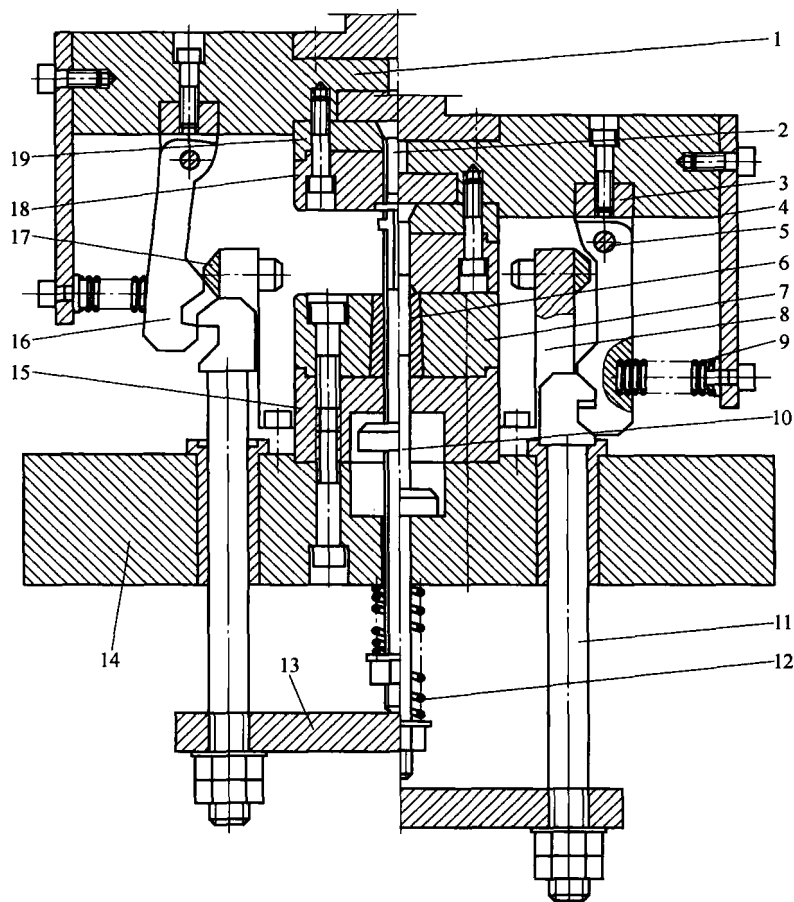


图 1-6 带中间凸缘轴零件冷镦模具

- 1—上模座 2—上模芯 3—铰链座 4—挡板 5—销轴 6—下凹模 7—下凹模固定板
8—立柱 9、12—压缩弹簧 10—下模芯 11—下拉钩 13—连接板 14—下模座
15、19—固定板 16—上拉钩 17—限位块 18—上凹模

表 1-3 带中间凸缘轴零件冷镦模具材料选择与硬度要求

零件号	零件名称	零件材料	硬度 HRC	零件号	零件名称	零件材料	硬度 HRC
1	上模座			11	下拉钩		
2	上模芯			12	压缩弹簧		
3	铰链座			13	连接板		
4	挡板			14	下模座		
5	销轴			15	固定板		
6	下凹模			16	上拉钩		
7	下凹模固定板			17	限位块		
8	立柱			18	上凹模		
9	压缩弹簧			19	固定板		
10	下模芯						

4. 气门顶杆的冷挤压模具

图 1-7 所示为气门顶杆零件，材料为 20 钢，模具寿命为 800 件。

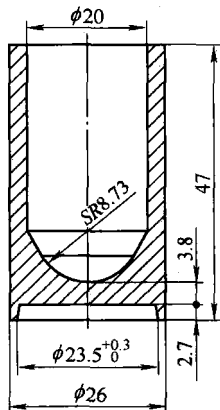


图 1-7 气门顶杆

- 1) 选择如图 1-8 所示气门顶杆冷挤压模具的材料，并写出模具零件的硬度要求，完成表 1-4。
- 2) 合理安排气门顶杆冷挤压模具凸模的热处理工艺。

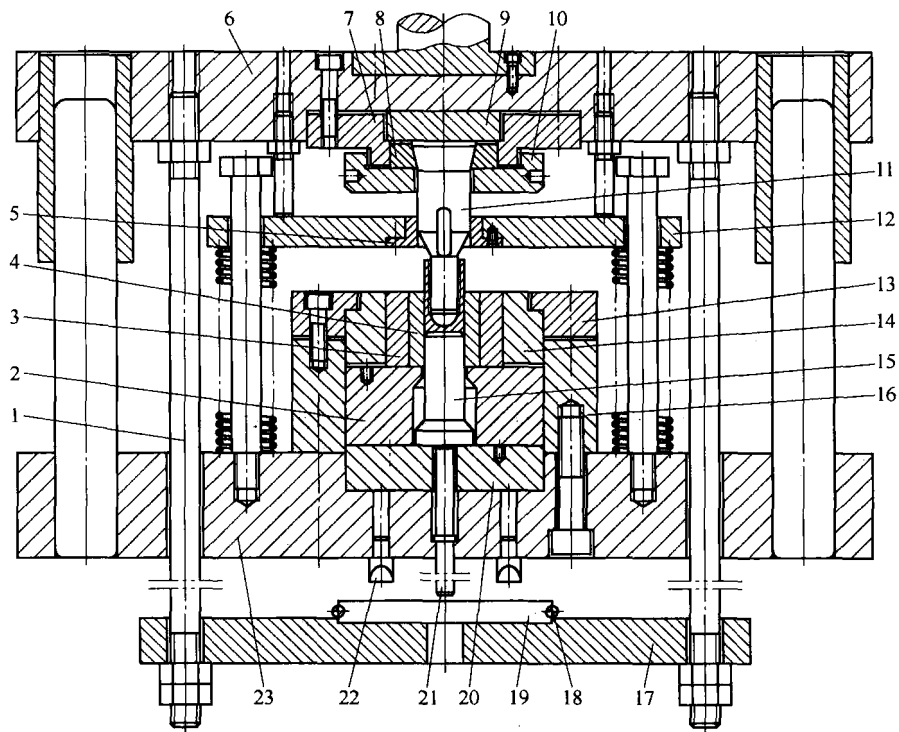


图 1-8 气门顶杆冷挤压模具

- 1—拉杆 2—垫块 3—凹模中套 4—凹模内套 5—卸料圈 6—上模座 7—定位圈 8—压环
9、20—压力垫板 10—紧固圈 11—凸模 12—卸料板 13—压圈 14—凹模外套 15—顶杆
16—定位环 17—顶板 18—拉簧 19—活动板 21—小顶杆 22—斜块 23—下模座

表 1-4 气门顶杆冷挤压模具材料选择与硬度要求

零件号	零件名称	零件材料	硬度 HRC	零件号	零件名称	零件材料	硬度 HRC
1	拉杆			13	压圈		
2	垫块			14	凹模外套		
3	凹模中套			15	顶杆		
4	凹模内套			16	定位环		
5	卸料圈			17	顶板		
6	上模座			18	拉簧		
7	定位圈			19	活动板		
8	压环			20	压力垫板		
9	压力垫板			21	小顶杆		
10	紧固圈			22	斜块		
11	凸模			23	下模座		
12	卸料板						

单元一 典型冷作模具的工作条件与失效形式

一、单元目标

终极目标：会分析典型冷作模具的工作条件与失效形式。

促成目标：

- 1) 会分析冷冲裁模具的工作条件与失效形式。
- 2) 会分析冷拉深模具的工作条件与失效形式。
- 3) 会分析冷镦模具的工作条件与失效形式。
- 4) 会分析冷挤压模具的工作条件与失效形式。

二、单元任务

- 1) 分析图 1-2 所示调整垫片冷冲裁模具的工作条件与失效形式。
- 2) 分析图 1-4 所示冰箱门外壳冷拉深模具的工作条件与失效形式。
- 3) 分析图 1-6 所示带中间凸缘轴零件冷镦模具的工作条件与失效形式。
- 4) 分析图 1-8 所示气门顶杆冷挤压模具的工作条件与失效形式。

三、任务导学

要完成本单元任务，需掌握以下知识：

- 1) 模具失效的定义及常见的失效形式。
- 2) 模具失效的原因及预防措施。
- 3) 模具寿命及其影响因素。
- 4) 冷作模具的工作条件与失效形式。
- 5) 几种典型冷作模具的工作条件与失效形式。

模具是制造技术的核心，工业要发展，首先要发展模具工业。模具作为国民经济的基础工业，涉及机械、汽车、轻工、电子、化工、冶金、建材等各个行业，量大面广，品种繁多。

“模具是工业之母”，模具性能的好坏、寿命高低，直接影响产品的质量和经济效益，而模具材料与热处理是影响模具寿命诸因素中的主要因素。所以，目前世界各国都在不断地开发模具新材料，改进热处理工艺和表面强化技术。

根据模具的工作条件，可将模具分为冷作模具、热作模具、塑料模具及其他模具。

冷作模具是指在冷态下完成对金属或非金属材料塑性变形加工的工具，包括冷冲裁模具、冷拉深模具、弯曲模具、冷镦模具、冷挤压模具、拉丝模具等，完成的工序有冲孔、落料、挤压、冷镦、拉深、滚丝、拉丝、弯曲、成形等。

热作模具是指在再结晶温度以上使金属材料产生一定的塑性变形，或者使高温的液态金属铸造成形，从而获得各种所需形状的零件或精密毛坯。热作模具主要用于热变形加工和压力铸造用模具，包括锤锻模、热挤压模和压铸模。

塑料模具是指在一定的温度和压力下加工成型各种塑料制品的模具，按照塑料制品的原材料性能和成型方法，可以把塑料模具分为热固性塑料模和热塑性塑料模两大类。

其他模具是指除以上三大种类模具以外的模具，如橡胶模、玻璃模等。

模具钢大致可分为冷作模具钢、热作模具钢、塑料模具钢三大类，用于锻造、冲压、切型、压铸等。

常用的冷作模具材料有：冷作模具钢、硬质合金、铸铁、铜合金、锌基合金等。

（一）模具失效的定义及常见的失效形式

模具可以正常生产合格工件的过程称为模具服役。模具在服役过程中可能会产生某些缺陷（如微裂纹、轻度磨损、变形等），但仍能继续工作，未丧失服役能力的状态称为模具的损伤。因损伤积累至一定程度导致模具损坏而无法继续服役的现象称为模具失效，模具失效又分为正常失效与偶然失效。

正常失效是指经过大量的生产使用，因摩擦而自然磨损或缓慢地产生塑性变形及疲劳裂纹，达到正常使用寿命之后的失效，属于正常的现象。

偶然失效是指模具未达到设计使用规定的期限，即产生崩刃、碎裂、折断等早期破坏，或因严重的局部磨损和塑性变形而无法继续服役的现象。

模具的主要失效形式有塑性变形、磨损、疲劳、断裂等。

1. 塑性变形失效

模具的某个部位所受的应力超过了当时温度下模具材料的屈服极限时，就会产生塑性变形，其几何形状或尺寸发生改变，而且不能经修复后再服役时，这种失效称为塑性变形失效。其表现形式有凹模的型腔塌陷、型孔扩大、棱角塌陷等，凸模出现墩粗、纵向弯曲等。以下两种原因最易形成塑性变形失效：

1) 工作温度超过模具的回火温度，模具强度降低而被压塌或压堆。

2) 低淬透性钢制冷镦凹模，由于淬硬层薄，淬硬层下面基体的抗压强度小于冷镦应力，孔腔被压塌。

注意：在硬度相同的情况下，不同化学成分的钢具有的抗压强度不同。模具钢的屈服强度一般随碳和某些合金元素含量的增多而升高。例如，当钢的硬度为 63HRC 时，下列四种

钢的屈服强度由高到低的顺序为： $W18Cr4V > Cr12 > Cr6WV > 5CrNiW$ 。

2. 磨损失效

由于模具工作部位与被加工材料之间的摩擦损耗，使工作部位（刃口、冲头）形状和尺寸发生变化而引起的失效称为磨损失效，它又包括正常磨损失效和非正常磨损失效两类。

（1）正常磨损失效是指由于模具工作部位与被加工材料之间的均匀摩擦损耗，使工作部位（刃口、冲头）的形状和尺寸发生均匀变化，直至失效。这类模具的使用寿命较长，如表面质量要求高的冲裁模和挤压模易产生此类失效。

（2）非正常磨损失效是指在局部高压作用下，模具工作部位与被加工材料间发生咬合，即被加工材料“冷焊”到模具表面（或模具材料“冷焊”到被加工材料表面），引起被加工产品（或模具材料）的表面形状和尺寸发生突变而导致的失效，或被加工产品表面出现划痕导致的失效。在拉深、弯曲模具及冷挤压模具中易发生此类失效。

磨损失效的表现形式为模具形状尺寸的改变、刃口钝化、棱角变圆、平面下陷、表面沟痕、剥落等。影响磨损失效的因素有以下几种：

1) 模具钢的硬度。硬度越高，一般情况下耐磨性也越好。

2) 碳化物的性质、大小、分布和数量。在钢中存在有严重的碳化物偏析或大颗粒碳化物的情况下，这些碳化物容易剥落，从而引起磨粒磨损，使磨损加快。

3) 磨损的类型。滑动磨损小于冲击磨损，如薄板冲裁、拉深、弯曲等冷作模具，工作载荷不大，主要表现为滑动磨损。模具钢的含碳量高，合金元素多，耐磨性就好。在模具钢中，目前高速钢和高铬钢的耐磨性较好。对于冷镦、冷挤压、热锻等在冲击磨损条件下工作的模具，过多的碳化物无助于提高耐磨性，反而因冲击磨粒磨损而降低耐磨性。高速钢和高铬钢因碳化物过多，就容易因冲击磨损而出现表面剥落，这些剥落的硬粒将成为磨粒，加快磨损速度。研究表明，在冲击磨粒磨损条件下，模具钢含碳量以 0.6%（质量分数）为上限。

3. 疲劳失效

模具疲劳失效的根本原因是应力集中和循环载荷。尽管模具受到的载荷有时明显低于其屈服强度，但由于局部的应力集中，使模具在低的载荷下，在应力集中处仍然会形成微裂纹。当微裂纹形成后，在模具所受的循环载荷作用下，微裂纹很容易扩展并最终导致疲劳断裂。

4. 断裂失效

断裂失效的常见形式有崩刃、劈裂、折断、胀裂等。不同模具断裂的驱动力不同，冷作模具所受的力主要为机械力，热作模具除了受机械力外，还有热应力和组织应力。许多热作模具的工作温度较高，又采用强制冷却，其内应力可能远远超过机械应力，因此，热作模具的断裂主要与内应力过大有关。

模具断裂过程有两种，即一次性断裂和疲劳断裂。一次性断裂为模具在冲压时突然断裂，裂纹一旦萌生，随即失稳、扩展，它的主要原因是严重超载或模具材料严重脆化（如过热、回火不足、严重应力集中及严重的冶金缺陷等）。疲劳断裂为零件在交变载荷下经过较长时间的工作而发生断裂的现象。

（二）模具失效的原因及预防措施

造成模具失效的原因有很多，涉及的技术面很广，但其中主要原因可归纳为设计不合理、材质不佳、热处理不当、加工不良、使用不妥等几方面。据有关调查资料显示，模具失效的比例大致为：设计不合理占 3.3%，材质不佳占 17.8%，热处理不当占 52%，锻造不良占 7.8%，加工工艺不合理占 8.9%，使用不当占 10.2%。因此，在模具使用中出现失效问题后，应逐项分析，找出主要原因，提出解决办法。从实际对模具失效影响较大的方面去考虑，基本上可以将模具失效的影响因素分为以下几个方面，即模具设计、热处理、机械加工及模具使用等。

1. 设计不合理引起模具失效

就目前而言，大多数模具的设计是凭经验进行的。从模具的失效形式上看，主要有以下两方面需要注意，即模具结构设计与模具选材。

（1）模具结构设计 从失效分析的角度来看，尖锐转角（此处应力集中高于平均应力 10 倍以上）和过大的截面变化造成的应力集中，常常成为模具早期失效的根源，并且在热处理淬火过程中，由于尖锐转角引起的残留拉应力会缩短模具寿命。而薄壁和断面太薄则除了导致应力集中外，还易造成强度不足，导致模具塑性变形或开裂失效。

（2）模具选材 模具材料的内部缺陷，如疏松、缩孔、夹杂、成分偏析、碳化物分布不均、原表面缺陷（如疤痕等）均会影响钢材性能。

1）夹杂物过多引起失效。钢中存在的夹杂物是模具内部产生裂纹的根源，尤其是脆性氧化物和硅酸盐等，在热压力加工中不发生塑性变形，只会引起脆性的破裂而形成微裂纹。在后续的热处理和使用中微裂纹进一步扩展，而引起模具的开裂。此外，在磨削时，由于大颗粒夹杂物的剥落，易造成表面孔洞。

2）表面脱碳引起失效。模具钢在热压力加工和退火时，常常由于加热温度过高、保温时间过长而造成钢材表面脱碳。严重脱碳的钢材在机械加工后，有时仍残留有脱碳层，这样在淬火时，由于内外层组织的不同（表面脱碳层为铁素体，内部为珠光体）造成组织转变不一致，从而产生裂纹。

3）碳化物分布不均引起失效。Cr12、Cr12MoV 等模具钢中碳和合金元素的含量较高，形成了许多共晶碳化物，这些碳化物在锻造比较小时，易呈现带状和网状偏析，导致淬火时常出现沿带状碳化物分布的裂纹。模具在使用过程中，这些裂纹进一步扩展，造成模具开裂失效。

2. 热处理不当引起模具失效

淬火过热会引起钢的晶粒长大，冲击韧性下降，使模具发生崩刃或早期断裂的危险性增加。模具在淬火或高温回火时未加保护将引起表面脱碳，如果未将表面脱碳层除去，将严重降低模具的耐磨性，并缩短疲劳或冷热疲劳寿命。模具回火不充分，将在模具中残留较大的淬火应力，并使模具的韧性下降，也容易发生早期断裂。模具钢中含有较多的碳和合金元素，导热性差，因此，加热速度不能太快，应缓慢进行，以防止模具发生变形和开裂。在空气炉中加热淬火时，为了防止氧化和脱碳，应采用装箱保护加热，此时升温速度不宜过快，而透热也应较慢，这样不会产生太大的热应力，比较安全。若模具加热速度快、透热快，模具内外会产生很大的热应力，如果控制不当，很容易产生变形或裂纹，因此必须采用预热或减慢升温加速度的方法来预防。

3. 机械加工不当引起模具失效

模具在制造过程中,要经过切削加工、磨削加工、电火花加工等工序,而每一道工序的加工质量均将对模具的失效形式和寿命产生较大的影响。

(1) 切削加工对模具失效的影响 模具的型腔部位或凸模的圆角部位在机械加工中,常常会由于切削量大而使局部留下刀痕,表面粗糙度值高,从而导致这些地方产生应力集中现象,进而在热处理过程中或使用过程中早期发生开裂失效。但切削量过小,未能充分且均匀去除模具表面的脱碳层时,也常常由于脱碳层较软,强度低,易在模具使用期间形成裂纹,最终导致模具失效。

(2) 磨削加工对模具失效的影响 在对模具型腔面进行磨削加工时,由于受磨削速度过大、砂轮粒度过细或冷却条件差等因素影响,均会导致磨削表面过热或引起表面软化、硬度降低,使模具在使用中因磨损严重或热应力而产生磨削裂纹,导致早期失效。磨削通常在热处理之后进行,由于热处理时的一些因素,如淬火后模具未立即回火、模具淬火温度过高、有网状碳化物等,都将使磨削时易形成裂纹,从而导致模具失效。

(3) 电火花加工对模具失效的影响 模具在进行电火花加工时,由于放电产生大量的热,将模具被加工部位加热到很高温度,使组织发生变化,形成所谓的电火花加工异常层。在这其中有许多的显微裂纹,而且还存在着较大的拉应力,这些都将严重降低模具的疲劳抗力。尤其当电火花加工异常层较厚时($>10\mu\text{m}$),模具更容易出现早期失效。因此,应控制电火花加工的参数,将异常层的厚度尽量减小到 $10\mu\text{m}$ 以下,或完全去除,以消除异常层对模具的不良影响。

4. 模具使用不当引起模具失效

模具的工作条件实际是非常严酷的,有较多的工作条件因素对模具的失效有影响,如压力机的刚性差、精度低、加载速度过大、压力机吨位过高或过低、工作频率过高、被加工零件材料的因素、模具的冷却和润滑条件等。

(三) 模具寿命及其影响因素

模具寿命是指模具在正常失效前生产出的合格产品的数目,包括首次寿命和修模寿命。模具在首次修复前生产出的合格产品的数目称为首次寿命;模具在一次修复后,到下一次修复前所生产出的合格产品的数目称为修模寿命。模具寿命=首次寿命+各次修模寿命。

影响模具寿命的主要因素有模具结构设计、模具材料、冷热加工工艺、热处理、研磨、机床的调整与操作、被加工材料的性质与状态、润滑条件及模具的服役环境等。其中模具材料对模具寿命的影响反映在模具材料的选择是否正确、材质是否良好和使用是否合理三个方面。热处理不当是导致模具早期失效的重要因素,热处理对模具寿命的影响主要反映在热处理技术要求不合理和热处理质量不良两个方面。统计资料表明,由于模具选材和热处理不当,致使模具早期失效的比例约为70%。

(四) 冷作模具的工作条件与失效形式

冷作模具主要用于金属或非金属材料的冷态成形。冷作模具在服役过程中承受拉伸、弯曲、压缩、冲击、疲劳等不同应力的作用,而用于金属冷挤、冷镦、冷拉深的模具,还要承受 300°C 左右的交变温度作用。

冷作模具的主要失效形式有断裂失效、变形失效、磨损失效、咬合失效、啃伤失效等。

1. 断裂失效

模具在使用中突然出现裂纹或发生破损而失效称为断裂失效,按其损坏情况可分为局部破损(剥落、崩刃、掉牙等)和整体性破损(如碎裂、断裂、胀裂、劈裂等)。它们的特点是破损大多产生在受力最大的工作部位,或是在截面变化的应力集中处。

按断裂过程特征不同,断裂失效可分为脆性断裂失效和疲劳断裂失效两种形式。

(1) 脆断失效 主要是由于模具存在冶金缺陷。

(2) 疲劳断裂失效 主要是由于循环应力所造成的,其断裂过程比脆断失效缓慢得多。

2. 变形失效

模具在使用过程中发生塑性变形,失去原有的几何形状,这种失效称为变形失效。硬度偏低或淬硬层太薄的模具通常发生变形失效,具体表现为凸模镦粗、弯曲,凹模型腔下沉塌陷、棱角堆塌、模孔胀大等。

3. 磨损失效

冷作模具在工作时,坯料沿着模具表面既滑动又流动,使模具与坯料间产生很大的摩擦力,使模具表面被划出或多或少的凹凸痕迹。这些痕迹与坯料表面的凹凸不平相咬合,在模具表面逐渐产生了机械破损而产生磨损失效。如果在凹凸模之间夹有细而硬的夹杂物,如氧化物等,将导致模具磨损加剧,以至于使模具和坯料表面刮伤或粘附等。

在模具中常遇到的磨损形式有:磨粒磨损、粘着磨损、腐蚀磨损和疲劳磨损等。

(1) 磨粒磨损 是指在工件和模具接触表面之间由于外来硬质颗粒或者工件表面的硬突出物刮擦模具表面,引起模具表面材料脱落的现象。影响磨粒磨损的主要因素有磨粒大小与形状、磨粒硬度和模具材料硬度、模具与工件表面间的压力、磨粒尺寸与工件厚度的相对比值等。可以通过提高模具材料的硬度、进行表面耐磨处理、采用防护措施等途径提高耐磨粒磨损性。

(2) 粘着磨损 是指工件与模具表面相对运动时,由于表面凹凸不平,粘附结点发生剪切断裂,使模具表面的材料转移到工件上或脱落的现象。影响粘着磨损的主要因素有表面压力、材料性质、材料硬度等。可以通过合理选用模具材料、合理选用润滑剂和添加剂、采用表面处理等途径提高耐粘着磨损性。

(3) 腐蚀磨损 是指在摩擦过程中,模具表面与周围介质发生化学或电化学反应,再加上机械摩擦作用,引起表层材料脱落的现象。腐蚀磨损常发生在高温或潮湿的环境中,尤其在有酸、碱、盐等特殊条件下最易发生。常见的腐蚀磨损形式有氧化腐蚀磨损及特殊介质腐蚀磨损。影响腐蚀磨损的主要因素有材料性质及工作环境等。可以通过合理选用模具材料、改善工作环境等途径提高耐腐蚀磨损性。

(4) 疲劳磨损 是指工件与模具表面相对运动时,在循环应力(机械应力与热应力)的作用下,使模具表层金属材料疲劳脱落的现象。影响疲劳磨损的主要因素有材料性质、材料硬度、表面粗糙度等。可以通过合理选择润滑剂、表面强化处理等途径提高耐疲劳磨损性。

4. 咬合失效

当坯料与模具表面接触时,在高压摩擦下,润滑油膜被破坏,发生咬合。此时,金属坯料“冷焊”在模具型腔表面上,后续加工的工件表面就会被冷焊在型腔表面的金属瘤划出道痕,使工件表面粗糙度值变大,甚至出现沟槽。

在弯曲、拉深、冷镦、冷挤压等成形时,咬合是最常见的一种失效形式。当工件表面出