



中等职业学校电子信息类教材 机电技术专业

模具材料 及表面处理

张清辉 主编
杨宝顺 主审



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

中等职业学校电子信息类教材(机电技术专业)

模具材料及表面处理

张清辉 主编

杨宝顺 主审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书详细地介绍了各类模具的传统材料和使用效果良好的新型材料,综合分析了各类模具的工作条件、失效形式、性能要求,重点介绍了常见模具材料选用实训的内容。此外,还系统地介绍了模具的表面处理方法和应用效果。

本书采用“图表”格式编写,突出实用性,内容较新,资料丰富,符合中等职业学校模具专业的教学要求。

本书可作为中等职业学校模具设计与制造专业的教材,也可供热处理、模具设计与制造的技术人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

模具材料及表面处理/张清辉主编.—北京:电子工业出版社,2002.3

中等职业学校电子信息类教材(机电技术专业)

ISBN 7-5053-7215-7

I. 模… II. 张… III. ①模具—材料—专业学校—教材②模具—热处理—专业学校—教材③模具—金属复层—专业学校—教材 IV. TG76

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 002975 号

责任编辑:张荣琴 洪国芬 特约编辑:赵丽欣

印 刷:北京天宇星印刷厂

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1 092 1/16 印张:10 字数:256 千字

版 次:2002 年 3 月第 1 版 2002 年 3 月第 1 次印刷

印 数:5 000 册 定价:13.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。
联系电话:(010)68279077

前 言

本书是根据教育部制定的中等职业学校“模具设计与制造专业”教学计划和《模具材料及表面处理》教学大纲(试行)编写的教材。本书兼顾学制和课时的不同情况,各校可根据具体情况对教材进行取舍。

长期以来,关于模具材料及表面处理的教学内容是分散于专业课《塑料模设计》、《冷冲模设计》等课程中的,虽然教材中都有独立章节介绍模具材料,但由于篇幅有限,很难系统、全面地介绍模具的选材和处理方法,并且内容上比较陈旧,有关表面处理的知识很少。随着模具材料与表面处理技术的迅猛发展,出现了很多新材料、新技术、新工艺。因此,独立设置《模具材料及表面处理》课程,既适应于目前的中等职业学校“模具设计与制造专业”的教学需要,又体现了对职业技术教育教学内容“宽、用、新”的要求。

《模具材料及表面处理》是中等职业学校“模具设计与制造专业”的主干专业课程。为了使学生掌握作为高素质的劳动者和中初级专门人才所必须的模具材料及表面处理方面的基本知识和基本技能,促进模具新材料、新技术、新工艺的广泛应用,解决急需教材,我们编写了此书。

全书以“分析失效→选材→确定处理方法→实训”为主线,按不同模具类型分编为第一至四章,主要采用“图表”格式分别介绍了冷作模具材料、热作模具材料、塑料模具材料和玻璃模具用钢及热处理,第五章介绍模具表面处理技术。本书强调实用性,重点突出主要模具常用材料的介绍,对其他模具的常用材料也加以简单介绍,以便学生学以致用;注意内容的先进性,介绍国内外最新模具材料和表面处理技术,适当引入技术经济分析和质量概念,树立环境保护和可持续发展的观点。文字表述通俗易懂,深入浅出,插图形象,说理简明清楚,便于自学。部分章节还附有一定数量的复习思考题,以供学生复习、巩固、提高之用。

本书由福建电子工业学校张清辉主编,福州大学高级工程师杨宝顺担任主审,福建电子工业学校方凤玲参编。概论和第一、二、三、四章由张清辉编写,第五章由方凤玲编写。

由于编者水平有限,难免有错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2001年10月

目 录

概论	(1)
复习思考题	(7)
第一章 冷作模具材料	(8)
第一节 冷作模具的失效形式与材料的性能要求	(8)
一、冷作模具的工作条件	(8)
二、冷作模具的失效形式	(9)
三、冷作模具材料的性能要求	(11)
第二节 冷作模具材料	(12)
一、低淬透性冷作模具钢	(13)
二、低变形冷作模具钢(高碳低合金)	(16)
三、高耐磨微变形冷作模具钢	(17)
四、高强度高耐磨冷作模具钢	(20)
五、高强韧性冷作模具钢	(22)
六、易切削精密冷作模具钢	(31)
七、高耐磨高强韧性冷作模具钢	(32)
八、特殊用途冷作模具钢	(36)
九、硬质合金	(37)
第三节 冷作模具的热处理工艺和热处理特点	(39)
一、冷作模具的热处理工艺	(40)
二、主要冷作模具的热处理特点	(43)
第四节 冷作模具材料选用实训	(50)
一、冷作模具材料的选用原则	(50)
二、冷作模具材料的选用	(50)
三、冷作模具材料的选用示例	(55)
复习思考题	(63)
第二章 热作模具材料	(64)
第一节 热作模具的失效形式与材料的性能要求	(64)
一、热作模具的工作条件	(64)
二、热作模具的失效形式	(65)
三、热作模具材料的性能要求	(67)
第二节 热作模具材料	(69)
一、热作模具钢的分类及钢号	(69)
二、热锻模用钢	(70)
三、热挤压模用钢	(73)
四、压铸模用钢	(80)
五、其他热作模具材料	(83)
第三节 热作模具钢的热处理工艺	(85)
一、主要热作模具的制造工艺路线	(85)
二、主要热作模具的热处理特点	(85)

第四节 热作模具材料选用实训·····	(89)
一、热作模具材料的选用·····	(89)
二、热作模具材料选用的实训课题·····	(94)
复习思考题·····	(95)
第三章 塑料模具材料 ·····	(96)
第一节 塑料模具的失效形式与材料的性能要求·····	(96)
一、塑料模具的工作条件·····	(96)
二、塑料模具的主要失效形式·····	(96)
三、塑料模具材料的性能要求·····	(97)
第二节 塑料模具材料·····	(98)
一、渗碳型塑料模具钢·····	(98)
二、淬硬型塑料模具钢·····	(99)
三、预硬型塑料模具钢·····	(100)
四、时效硬化型塑料模具钢·····	(104)
五、耐蚀型塑料模具钢·····	(109)
六、其他塑料模具材料·····	(110)
第三节 塑料模具的热处理工艺·····	(111)
一、塑料模具的制造工艺路线·····	(111)
二、塑料模具的热处理特点·····	(112)
三、塑料模具的表面处理·····	(113)
第四节 塑料模具材料选用实训·····	(114)
一、塑料模具材料的选用·····	(114)
二、塑料模具材料选用的实训课题·····	(116)
复习思考题·····	(121)
第四章 玻璃模具钢及热处理 ·····	(122)
第一节 玻璃模具的化学成分与使用寿命·····	(122)
一、玻璃模具的材质·····	(122)
二、玻璃模具的使用寿命·····	(123)
第二节 显像管玻壳模具·····	(123)
一、显像管玻壳模具的工作条件及选材·····	(123)
二、4Cr13Ni 钢·····	(124)
第三节 玻璃瓶成型模具·····	(126)
一、玻璃瓶成型模具的失效形式与寿命·····	(126)
二、新型玻璃瓶成型模具材料·····	(127)
第四节 玻璃模具的表面强化工艺·····	(129)
一、玻璃模具高频感应加热表面淬火强化·····	(129)
二、玻璃模具热喷焊表面强化·····	(129)
第五章 模具表面处理技术 ·····	(132)
第一节 表面化学热处理技术·····	(132)
一、渗碳·····	(133)
二、渗氮(氮化)·····	(133)
三、渗硼·····	(135)
四、碳氮共渗·····	(137)
第二节 涂镀技术·····	(138)

一、电镀	(138)
二、电刷镀	(139)
三、化学镀	(140)
四、热浸镀	(141)
第三节 气相沉积技术	(141)
一、化学气相沉积	(141)
二、物理气相沉积	(142)
第四节 其他表面处理技术	(145)
一、热喷涂	(145)
二、激光表面处理	(146)
三、离子注入	(147)
四、电子束表面处理	(148)
复习思考题	(148)
参考文献	(149)

概 论

1. 模具材料在模具工业中的地位

模具是一种重要的加工工艺装备，是国民经济各工业部门发展的重要基础之一。模具的性能好坏和寿命长短，直接影响产品的质量和经济效益。而模具材料与热处理、表面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，改进强韧化热处理新工艺和表面强化新技术。

现代模具的特点：一是量大面广，品种繁多，如 70%以上的汽车、拖拉机和机电产品的零件，80%~90%的塑料制品，60%~70%的日用小五金及一些消费品都由模具生产；二是作为批量生产，模具在提高经济效益方面起着关键性的作用；三是模具生产影响到产品开发、更新换代和发展速度，因为人们对工业品的品种、数量、质量要求越来越高，为适应产品更新，必须转向多品种小批量生产，这就需要快速、经济地制模；四是模具的成本占产品成本的 20%左右，其使用寿命影响到产品成本；五是模具向大型化、复杂化、精密化和自动化发展。由于上述特点，导致模具用量与日俱增，对其要求也越来越苛刻。为了降低模具生产成本，增加效益，保证高质量，在采用先进设备和制造工艺的同时，必须在延长模具寿命方面不断地做出努力。这就要求合理选用模具材料，合理实施热处理和表面强化工艺，大力推广应用新材料、新工艺和新技术。

2. 模具材料的应用状况及发展趋势

我国自 1989 年国务院颁布《当前产业政策要点的决定》，把模具列为“机械工业技术改造序列的第一位”以来，在模具材料的研究开发、强韧化处理和表面强化技术方面已收到明显成效，主要表现在：

(1) 模具钢年产量已居世界前列（1996 年 12 万吨，与日本相近）。

(2) 在冷作模具钢方面开发出了一批高性能的新钢种，如 7Cr7Mo2V2Si(LD), Cr8MoWV3Si(ER5), 65Cr4W3Mo2VNb(65Nb), 6CrNiSiMnMoV(GD) 钢等。这些新钢种具有较高的强韧性、耐磨性和良好的综合工艺性能。

(3) 在热作模具钢方面，结合国内资源研制了十几种新钢种，如性能优于 5CrMnMo 与 5CrNiMo 的 4CrMnSiMoV 和 5Cr2NiMoVSi(5Cr2)，热锻、热挤、精锻、辊锻用的 4Cr3Mo3W4VNb(GR)，4Cr5MoSiV1(H13), 25Cr3Mo3VNb(HM3) 等，冷热兼用的 5Cr4Mo3SiMnVAl(012Al)，6Cr4Mo3Ni2WV(CG-2)，5Cr4W5Mo2V(RM2) 等。这些钢具有高的热稳定性、高温强度、热疲劳性及耐磨性。

(4) 在塑料模具钢方面，相继开发和引进了一些新钢种，如预硬钢 Y55CrNiMnMoV(SM1), 5NiSCa，时效硬化钢 25CrNi3MoAl(25CrNi3)，耐蚀钢 0Cr16Ni4Cu3Nb(PCR)，镜面塑料模具钢 10Ni3CuAlMoS(PMS) 等。这些钢种强韧性适当，热处理工艺较简单，变形小，易于切削加工。

(5) 用于制造模具的硬质合金和钢结硬质合金正在走向成熟，目前多用于拉丝模、冷

冲裁模、冷镦模和无磁模。与使用传统材料的模具相比，使用寿命大幅度延长，例如，采用硬质合金制造的硅钢片高速冷冲裁模，寿命可达上亿次；采用钢结硬质合金制造的 M12 冷镦模，其寿命大于 100 万次，而且提高了产品质量，降低了产品成本。

(6) 广泛采用强韧化处理新工艺。如片状珠光体组织预处理工艺，细化碳化物和消除链状碳化物组织的预处理工艺，Cr12 型冷作模具钢的低温淬火、回火工艺，热作模具的中温回火 ($\leq 450^{\circ}\text{C}$) 等，都显著提高了模具的综合性能，延长了模具的使用寿命。

虽然我国模具材料及表面处理技术有了较大的进步，但是与发达国家相比，模具材料的生产和使用水平还较低，还不能满足发展的需要。存在的主要问题有：

(1) 系列化程度低。我国 GB1299—85 标准中，公布了 33 个钢号。但是，目前还未形成系列用钢，有的钢号一直未投入生产，特别是高性能的模具钢，可提供用户选择的钢种还不多。

(2) 品种、规格较少。目前，冶金厂生产的模具钢材品种大多数是圆钢，对于冷热模具钢的厚板、方料、扁料等市场上极少见到。在规格方面，国外发达国家将不到 5mm 归为一档，我国生产厂家往往把若干档规格合并为一个尺寸生产。总体上我国钢材利用率为 60% 左右，比工业发达国家低 10%~15%，其中钢材品种规格缺乏是重要原因之一。

(3) 模具钢冶金质量不高。提高钢材的内在质量是获得长寿命模具的根本途径之一，最关键的技术是提高钢材的纯净度和均匀性。国外普遍采用电炉加钢包精炼、真空处理和电渣重熔工艺，生产纯净度较高的模具钢；采用高温扩散退火、多向轧制和锻造来提高钢材的均匀性和纵横向性能，从而大幅度降低模具的早期失效率。

(4) 不重视视钢材使用过程中后道加工的质量。在我国，模具钢材出厂时通常为退火状态，大多数用户需要对这些钢材进行改锻后再用。但是，目前厂家对改锻工艺和锻造后的退火处理工艺执行不严，甚至有些厂家采用 Cr12 钢也不经锻造而直接加工成模具。另外，模具粗加工后的消除应力处理，电加工后降低变质层脆性的处理，使用过程中中间去应力退火处理，也往往被忽略，致使钢材使用性能的潜力难以发挥，导致模具使用寿命降低。

(5) 不重视新材料和热处理新工艺的应用。模具设计人员习惯应用传统的模具钢和传统的热处理工艺方法，忽视选用新材料、新工艺，如国外早已很少使用（或淘汰）的模具钢（如 3Cr2W8V）在国内还广泛使用。

根据模具材料技术的现状及存在的问题，今后我国模具材料技术的发展及应用要重视如下方面：

(1) 积极引进、开发高性能模具新材料，既要填补空缺，又要防止材料过多、过杂。根据市场需求，增加品种、规格，形成具有我国特色的模具材料系列化、标准化，满足不同模具对质量和寿命的要求。

(2) 大力推广应用效果明显的模具新材料，建立研、产、销、用一体化渠道。

(3) 充分重视模具的正确选材。选材方法要向综合化发展，不仅考虑制件的材质、尺寸、精度要求，模具的类别、结构、型腔复杂程度，还要考虑生产量、质量要求和寿命要求，从而获得最佳经济效益。

(4) 大力发展、应用模具的强韧化处理新工艺及模具表面处理新技术，充分挖掘模具材料的潜力，提高模具材料的使用质量。

3. 模具表面处理技术

模具的主要失效形式是磨损、腐蚀和断裂,而磨损和腐蚀均是发生于模具表面的材料流失过程。采用表面防护(表面处理技术)延缓和控制表面的破坏,成为延长模具寿命的有效方法。在解决问题的同时,促进了表面处理技术的发展。

近 30 年来,表面处理技术得到迅速地发展。20 世纪 70 年代以后,开始采用激光和电子束加热进行表面淬火,改变硬化层的结构与性能。热喷涂技术在近 20 年里由宇航工业迅速向民用工业扩展。气相沉积法已广泛应用于机械制造、冶金工业、模具行业,如采用化学沉积 Ni-P 复合涂层,耐磨性相当于硬质合金,对于以玻璃纤维为填充剂的塑料模具有很好的效果;采用 CVD(化学气相沉积)PVD(物理气相沉积)在各种工模具上沉积 TiC 和 TiN,可有效地改善模具表面的抗黏着性和抗咬合性,延长模具使用寿命。20 世纪 70 年代发展起来的离子注入新技术,改变表面硬度,提高耐磨性及抗蚀性,延长使用寿命。近几年,由美国人发明的等离子体淹没离子混合注入技术发展很快,可在钛合金、铝合金等零件上全方位注入 N、混合注入 TiN、TiN 等,还可在低于 300℃下制备金刚石膜。目前我国已可提供离子注入 N、C、B 非金属元素或注入 Ta、Ti、W 等金属元素的设备。

近十几年来,一些历史较长的表面处理技术也得到了飞速发展,如电镀技术已由镀单一的金属发展到镀各种合金。尤其是前些年发展起来的一种局部电镀技术——刷镀,已经成为人们公认的金属表面处理新技术,在我国已得到普遍应用,如热锻模应用 Ni-Co-ZrO₂ 复合电刷镀,可延长模具寿命 50%~200%。传统电镀工艺与近代激光技术结合形成的激光电镀是新兴的高速电镀技术。

目前,表面处理技术发展的主攻方向为以下三方面:

(1) 离子技术:包括等离子和离子束技术。

(2) 激光技术:包括激光涂镀、激光热处理、激光熔融技术。

(3) 复合技术:复合技术大多是为涂镀耐磨层而开发的。以钢材为基体的耐磨层有两类,一类是厚硬化层,包括表面淬火的硬化层、化学热处理的渗碳和渗氮层、热喷涂金属陶瓷层、电镀的硬化铬和化学镀镍磷层等,厚度为 0.1~1 mm 量级,硬度为 400~1 800 HV;另一类是薄硬化层,包括气相沉积氮化钛和碳化钛层等,厚度为 1 μm 量级,硬度为 2 000~3 000 HV,还包括离子注入的含氮层,厚度为 0.1 μm 量级,硬度并不高,仅使淬硬钢的硬度增加 30%(1 300 HV)。耐磨镀层的复合技术相应地向厚硬化层增硬和薄硬化层增厚两方面发展。

4. 本课程的性质和要求

本课程是模具设计与制造专业的一门主干专业课。在学习本课程之前,学生已经学习了《金属工艺学》,对材料及热处理已有了初步的了解,但其内容仅局限于传统的材料和传统的热处理方法,缺少新材料、新工艺、新技术,缺少模具选材的综合分析方法,与模具设计、制造工艺之间的联系也不够紧密。现代模具制造对模具材料及表面处理技术提出了更高的要求,作为模具设计、制造者必须既懂得模具的设计和制造技术,又要懂得模具材料及其表面处理技术。只有这样,设计、制造出的模具才能够达到高质量、长寿命、低成本的要求,才能适应现代模具工业对模具专业人才的需求。为此,通过本课程的学习,希望学生能达到如下要求:

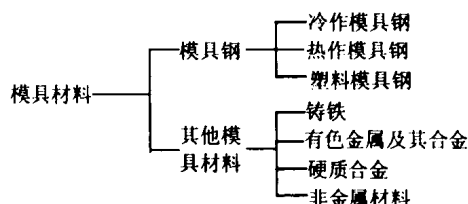
- (1) 了解模具材料及模具表面处理技术的现状和发展趋势。
- (2) 掌握各类模具材料的特性、强韧化方法、使用范围。
- (3) 明确模具的质量、寿命、成本与模具材料选择及强化技术之间的关系。正确选用模具材料及热处理方法。

(4) 熟悉各类模具的表面处理方法及其选用。

本课程实践性较强,《机械工程基础》中的“热处理原理”、“合金钢知识”是其重要的理论基础。因此,学生在学习本课程前,首先必须注意以上两部分内容的深入学习;其次还应特别重视实践,尽可能参观一些模具制造厂家和模具使用厂家,以增加感性知识,便于更好地学好本课程。

5. 模具材料的分类

模具材料的品种繁多,分类方法也不尽相同。由于模具钢是制造模具的主要材料,所以可将材料分类如下:



根据模具工作条件的不同,一般把模具钢分为三类,即冷作模具钢、热作模具钢和塑料模具钢。冷作模具钢包括冷冲裁模用钢、冷挤压模用钢、冷镦模用钢、拉丝模用钢等。热作模具钢包括热锻模用钢、热挤压模用钢、压铸模用钢、热冲裁模用钢等。塑料模具钢包括渗碳型模用钢、调质型模用钢、淬硬型模用钢、预硬型模用钢等。

6. 模具材料的主要性能指标

(1) 强度:是表征材料变形抗力和断裂抗力的性能指标。

评价冷作模具材料塑性变形抗力的指标主要是常温下的屈服点 σ_s 或屈服强度 $\sigma_{0.2}$;评价热作模具材料塑性变形抗力的指标则应为高温屈服点或高温屈服强度。屈服点是衡量模具材料塑性变形抗力的常用强度指标,模具材料的屈服点必须大于模具的工作应力。

反映冷作模具材料的断裂抗力指标是室温下的抗拉强度、抗压强度和抗弯强度等,对于含碳量高的冷作模具因塑性很差,一般不用抗拉强度而用抗弯强度作为实用指标。热作模具的断裂失效,不完全由于模具材料抗拉强度不足所致,因此,在考虑热作模具的断裂抗力时,还应包括断裂韧度的因素。

影响强度的因素较多,钢的含碳量与合金元素含量,晶粒大小,金相组织,碳化物的类型、形状、大小及分布,残余奥氏体量,内应力状态等都对强度有显著影响。

(2) 硬度:是衡量材料软硬程度的性能指标,实际上它是表征材料对变形和接触应力的抗力。它是很容易测定的一种性能指标,并且硬度和强度 σ_b 也有一定关系,可通过硬度和强度换算关系得到材料的硬度值。

钢的硬度与成分和组织均有关系,通过热处理硬度可以在很大的范围内改变。常用硬度测量方法有三种。

1) 洛氏硬度(HR):是最常用的一种硬度测量法,且测量简单、迅速,数值可以从表

盘上直接读出，有三种刻度即 HRC, HRA, HRB，模具上最常用的是 HRC；

2) 布氏硬度 (HB)：主要用于退火、正火、调质等模具钢的硬度测定；

3) 维氏硬度 (HV)：可以测试任何金属材料的硬度，但最常用于测定显微硬度。

三种硬度大致有如下的关系： $HRC \approx 1/10 HB$ ， $HV \approx HB$ （当小于 400 HBS 时）。

(3) 塑性：衡量模具钢塑性通常采用断后伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 两个指标， δ 或 ψ 数值越大表明钢材塑性越好。

(4) 韧性：是材料在冲击载荷作用下抵抗产生裂纹的一个特性，反映了模具的脆断抗力，常用冲击韧度 α_k 来评定。韧性是模具钢的一项重要性能指标。材料的韧性越高，脆断的危险性越小，热疲劳强度越高。

冷作模具材料多在高硬度状态下使用。在此状态下 α_k 值很小，很难相互比较，因此常根据静弯曲挠度 f 的大小，比较其韧性的高低。工作时承受巨大冲击载荷的模具，须把冲击韧度作为一项重要的性能指标。如通常要求锤锻模用钢的 α_k 值不应低于 $30 J/cm^2$ ，而压力机锻模用钢的冲击韧度可低于锤锻模用钢。

韧性不是单一的性能指标，而是强度和塑性的综合表现。影响韧性的因素主要是钢的成分、组织和冶金质量。含碳量愈低，杂质愈少，钢的韧性愈高。高温回火组织具有高的韧性。

(5) 疲劳抗力：是反映材料在交变载荷作用下抵抗疲劳破坏的性能指标，根据不同的应用场合，有疲劳强度、疲劳裂纹萌生抗力、疲劳裂纹扩展抗力等。

对于热作模具，大多数在急冷急热条件下工作，必然发生不同程度的冷热疲劳，因此还要把冷热疲劳抗力作为热作模具材料的一项重要性能指标。

7. 模具的失效形式

模具失效是指模具丧失正常工作能力，具体是指模具工作部分发生严重磨损或损坏而不能用一般修复方法（刃磨、抛磨）使其重新服役的现象。

模具的失效分偶然失效（使用不当引起模具过早破损）和必然失效（因正常破损而结束寿命）两类。

模具寿命是指模具自正常服役至必然失效期间内所能完成制件加工的次数。若模具在使用中需刃磨或翻修，则模具总寿命为各次刃磨或翻修间隔内完成制件加工次数的总和。

模具的主要失效形式是断裂、过量变形、表面损伤和冷热疲劳。冷热疲劳主要出现在热作模具，在冷作模具上不出现，其他三种形式在冷、热作模具上均可能出现。模具在工作过程中可能同时出现多种损坏形式，并且相互渗透，相互促进，各自发展，而当某种损坏导致模具失去正常功能时，则模具失效。

8. 影响模具寿命的主要因素

模具的使用寿命与模具的服役条件、设计与制造过程、安装使用及维护有关，因此，要延长模具使用寿命，需要采取能改善这些条件的相应措施。现将影响模具寿命的主要因素列举如下。

(1) 模具结构设计对模具寿命的影响：模具结构的合理性对模具的承载能力有很大的影响。不合理的结构可能引起严重的应力集中或过高的工作温度，从而恶化了模具的工作条件，导致模具过早失效。

模具结构包括模具工作部分的几何形状、过渡角大小，合模、导向、推出机构的结构，模具间隙，冲头的长径比、端面倾斜角，热作模具中开设的冷却水路、装配结构等。

(2) 模具材料对模具寿命的影响：是模具材料种类、化学成分、组织结构、硬度和冶金质量等因素的综合反映，其中材料种类和硬度影响最为明显。

模具材料种类对模具寿命的影响是很大的，因此在选用模具材料时，应根据制件的批量大小，合理选用模具材料。

模具工作零件的硬度对模具寿命的影响也很大，但并不是硬度愈高，模具寿命愈长。由此可见，模具硬度必须根据成型性质和失效形式而定，应使硬度、强度、韧性、耐磨性、疲劳强度等达到成型所需要的最佳配合。

材料的冶金质量对模具寿命的影响也不容忽视，尤其是高碳合金钢，冶金缺陷较多，往往是模具淬火开裂和模具早期破坏的根源。因此提高材料的冶金质量也是延长模具寿命的重要前提条件。

(3) 模具制造质量对模具寿命的影响：主要表现在以下四个方面：

1) 模具零件加工精度的影响。模具零件工作部位的几何形状，如圆角半径、拔模斜度、刃口角度的加工应严格按设计要求进行，在刀具或设备不能实现时，应由人工修磨并严格测量，以保证模具合理的受力状态。有配合尺寸的部位，应保证其公差或进行配磨。

2) 模腔表面粗糙度的影响。表面粗糙度的降低，一方面可减少坯料的流动阻力，降低模腔的磨损率，另一方面可减小表面缺陷（如刀痕、电加工熔斑等）和产生裂纹的倾向。表面粗糙度对模具寿命影响很大。

3) 模具硬度均匀性的影响。模具在热处理过程中应保证加热均匀，冷却均匀，并应防止模具表面产生氧化和脱碳，淬火后应及时、充分回火，以提高模具硬度的均匀性，从而获得良好的耐磨性和高的疲劳抗力或高的冷热疲劳寿命。

4) 模具装配精度的影响。模具间隙量及均匀性的调整，增加配合承载面及合模面的接触，保证凸模和凹模受力中心的一致性，都可提高模具的装配精度，从而延长模具的寿命。

(4) 模具的热处理质量与表面强化对模具寿命的影响：在模具结构、材料和使用条件不变的情况下，保证热处理质量和采用最佳的热处理工艺是充分发挥模具材料潜力，延长模具使用寿命的关键。如果热处理工艺不合理或者操作不当而引起热处理缺陷，则会严重损害模具的使用性能，并导致其早期失效。

模具工作零件毛坯的预先热处理，视材料和要求的不同有退火、正火、调质等几种工艺。正确的预先热处理规范，对改善组织，消除锻造毛坯的组织缺陷，改善切削加工性，提高模具承载能力和延长模具寿命起着很大的作用。

模具材料的淬火与回火是保证模具工作零件性能的中心环节。淬火与回火工艺合理与否对模具承载能力和寿命有直接的影响，应严格控制热处理工艺规范或采用先进的热处理方法。

模具工作零件表面强化的目的是获得外硬内韧的效果，从而得到硬度、耐磨性、韧性、疲劳强度的良好配合，延长模具的使用寿命。

(5) 模具的使用对模具使用寿命的影响：模具在使用过程中，有很多因素影响模具的使用寿命，包括：

1) 机床设备的特性，如压力机的精度低和刚度差，将加速模具的磨损。

2) 被加工材料的性质，如坯料的表面状态差，强度、硬度高都加速模具的磨损，但硬

度过低又会产生黏模现象。

3) 模具的安装和使用条件, 如安装精度高, 正确选用润滑剂, 对热作模具采用适当的冷却措施等, 都可有效地延长模具使用寿命。

4) 模具的操作规程及维护, 如热作模具在工作前应进行预热, 中途停工应保温, 这样可以防止热应力引起开裂。此外, 模具入库的防锈处理和及时修磨, 也可延长模具的使用寿命。

复习思考题

1. 模具材料一般可以分为哪几类?
2. 评价冷作模具材料塑性变形抗力的指标有哪些? 这些指标能否用于评价热作模具材料的塑性变形抗力? 为什么?
3. 反映冷作模具材料断裂抗力的指标有哪些? 影响这些指标的主要因素是什么?
4. 磨损类型主要有哪些? 简述在各类磨损过程中影响其耐磨性的主要因素。
5. 模具失效的特点是什么?
6. 改进和优化模具结构设计的最基本作用是什么? 举例说明这种作用对模具寿命的影响。
7. 正确使用和维护模具应注意哪些方面?

第一章 冷作模具材料

冷作模具主要用于金属或非金属材料的冷态成型，它的寿命长短，直接影响产品的生产效率及成本。影响模具寿命长短的因素很多，其中合理的选材及实施正确的热处理工艺，是保证模具寿命的关键技术。为了做到这一点，首先必须了解模具的工作条件、失效形式以及对模具的使用性能要求；其次要掌握各类冷作模具用钢所具有的特性。

目前，应用的冷作模具主要有如下几种类型：冷冲裁模、冷挤压模、冷锻模、拉深模、冷弯曲模、冷成型模等。由于各类模具的工作条件、失效形式不同，因而所用材料也不同。到目前为止，用于制造冷作模具的材料有：冷作模具钢、硬质合金、铸铁、铜合金锌基合金等，其中冷作模具钢应用最多，本章重点介绍这类材料的特性。

第一节 冷作模具的失效形式与材料的性能要求

冷作模具主要用于完成金属和非金属材料的冲裁、弯曲、拉深、锻造、挤压等工序。由于加载形式和被加工材料的性质、规格不同，因而各种模具的工作条件差别很大，故其失效形式也不相同。

一、冷作模具的工作条件

（一）冷冲裁模的工作条件

冷冲裁模主要用于各种板材的冲切及成型。模具的工作部位是凸、凹模的刃口，刃口工作时受到压力及摩擦力的作用。根据被切板料的厚度，冷冲裁模分为薄板冲裁模（板厚 $\leq 1.5\text{ mm}$ ）和厚板冲裁模（板厚 $> 1.5\text{ mm}$ ）两种。在冲裁软质薄板时，冲头的压力并不大。在冲裁中、厚钢板时，尤其是在厚钢板上冲小孔时，冲头所承受的单位压力很大，对模具要求很高。

（二）冷弯曲模的工作条件

冷弯曲模主要用于各种金属零件的弯曲成型，作用于模具的力量不是很大。但对有些模具的形状过于复杂而造成巨大的应力集中时，则要求具有高的断裂抗力。

（三）拉深模的工作条件

拉深模主要用于软质板材的冷拉深成型，这一工序的工作应力不大，要求模具的工作面保持较低粗糙度，不发生黏附磨损和擦伤。如果被拉深的板材较薄，强度较低，塑性较高，模具承受载荷较小时，属于轻载拉深；如被拉深材料强度较高或板材较厚时，则模具承受载荷较大，属于重载拉深。

（四）冷锻模的工作条件

冷锻成型工艺主要用在紧固件、滚动轴承、滚子链条、汽车零件等。零件的冷锻成型在冷锻机上进行，冷锻频率为（60~120）次/min，冲击力从 300~2 500kN。冷锻凸模承受强烈的冲击力，又由于被冷锻材料硬度不均，坯料端面不平，冷锻机精度不够等原因，还可使凸模产生弯曲应力；冷锻凸模表面还承受剧烈的冲击性摩擦，可使凸模表面磨损。冷锻凹模的型腔承受冲击性胀力，型腔表面还承受强烈的摩擦和压力。

（五）冷挤压模的工作条件

冷挤压模成型时，凸模受到巨大的压应力，当毛坯端面不平整，凸模和凹模不同心时，凸模必然会受到弯曲应力的作用。此外，脱模时由于毛坯与凸模之间的摩擦，使凸模还受到拉应力的作用。因此，在多种作用力的叠加作用下，在凸模应力集中处，极易发生脆性断裂（折断、劈裂等）。同时，凹模内壁受到变形金属的强烈摩擦，容易导致磨损。此外，凹模还受到切向应力的作用，有胀裂的可能。

冷锻模和挤压模主要用于变形成型。根据工件的形状、尺寸及形变量以及被加工材料的硬度、强度、加工硬化能力，模具的载荷也有很大差别。总的看来，在冷锻和冷挤压中，冲头承受巨大的压力，凹模则承受巨大的胀力。由于金属在凹模中剧烈运动，使冲头和凹模的工作面受到剧烈的摩擦。这种摩擦及金属的剧烈变形将产生热量，致使模具表面的瞬时温度达 200℃~300℃。由此可见，冷锻模、冷挤压模的共同特点是：要求凹模能承受巨大的压力、胀力和摩擦，在工作时不变形，不开裂，不易磨损，不易折断。

在上述各类模具中，以冷锻模和冷挤压模的工作条件最苛刻，要求模具具有高的变形抗力、高的耐磨性和高的断裂抗力（包括疲劳断裂抗力）。冷冲裁模的工作条件也较苛刻，要求模具具有高的耐磨性、高的韧性和高的断裂抗力（包括疲劳断裂抗力）。

二、冷作模具的失效形式

（一）冷作模具的主要失效形式

1. 断裂失效

断裂失效是指模具在使用中突然出现裂纹或发生破损而失效。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。

按其断裂过程的特征，断裂失效又可分为脆性断裂失效和疲劳断裂失效两种形式。

（1）脆性断裂失效：主要是由于模具存在冶金缺陷，如带状组织和网状碳化物；工艺缺陷，如晶粒粗大，表面磨削烧伤，粗糙刀痕，回火不足等；因工作过程操作不当发生超载，容易发生早期脆性断裂失效。早期脆性断裂的模具寿命很短，一般不超过数千次，有的甚至只有几十次至几百次。脆性断裂断口的特点是断口平齐，颜色一致。

（2）疲劳断裂失效：主要是由于循环应力所造成，其断裂过程要比脆性断裂失效缓慢得多，其模具寿命在 5 000~10 000 次以上。疲劳断裂断口的特点是断口呈现不同区域，可看到疲劳源、疲劳扩展区和快速断裂区。

疲劳断裂常见于各种重载模具，如冷锻模、冷挤压模。由于重载模具在施压变形过程

中, 模具表面的瞬时温度可达 $200^{\circ}\text{C}\sim 300^{\circ}\text{C}$, 造成温度循环, 因而加速了疲劳裂纹的萌生。

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, 通常发生在硬度偏低或淬硬层太薄的模具, 具体表现为凸模镢粗、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, 坯料沿着模具表面滑动, 使模具与坯料间产生了很大摩擦力, 造成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处相咬合, 在模具表面逐渐产生了机械破损而磨损。如果在凸凹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, 以致于使模具和坯料表面刮伤或黏着等。

在模具中常遇到的磨损形式有磨料磨损、黏着磨损、腐蚀磨损和疲劳磨损等。

模具工作部分与被加工材料之间的摩擦而引起的物质损耗, 能使刃口变钝, 棱角变圆, 平面变凹或变凸, 使模具的形状、尺寸发生变化, 如冷冲裁模的刃口变钝, 冷镢模的工作表面出现沟槽等。

4. 咬合失效

当坯料与模具表面接触时, 在高压摩擦下, 润滑油膜破坏, 发生咬合。此时, 金属坯料“冷焊”在模具型腔表面, 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, 使工件表面粗糙度增大, 甚至出现沟槽。

在弯曲、拉深、冷镢、冷挤压等作业中, 咬合是最常见的一种失效形式。当工件表面出现划痕和拉沟时, 模具必须进行研磨与抛光。在拉深作业中出现咬合现象时, 模具需要进行修整。

被拉深材料的性质对咬合现象有很大影响, 如镍基合金、奥氏体不锈钢、精密合金等, 对模具表面有较强烈的咬合倾向。因此, 在拉深上述材料时, 应特别注意防止咬合失效。

5. 啃伤失效

当冲头与凹模直接碰撞时, 将出现啃伤失效。其表现形式为模具刃口崩裂, 使冲件的毛刺突然增大。一旦出现啃伤后, 模具的修磨量剧增到 $0.2\sim 0.5\text{ mm}$, 才能去除损伤部分, 恢复锐利的刃口。

(二) 各类冷作模具的失效特点

(1) 冷冲裁模: 磨损是冷冲裁模最基本的失效形式, 当刃口磨损严重时, 会使冲件产生毛刺, 此时模具就会因磨损超差而不能再使用。当冲件厚度大或具有较强的磨粒磨损作用(如硅钢片等)或咬合倾向(如奥氏体钢)时, 都会加快磨损失效。

薄板冷冲裁模的主要失效形式是磨损, 极少情况是脆断失效, 脆断的原因主要是热处理不当或操作失误。厚板冷冲裁模除磨损外, 还可能发生崩刃、断裂等。

(2) 拉深模: 在拉深外观要求光滑的各种仪表、电器、汽车、轻工产品的工件时, 模具主要是由于咬合而失效。黏附是拉深过程中常出现的问题, 是造成模具咬合失效的重要原因。如在润滑条件较好的条件下拉深, 模具表面越硬、越光洁, 则越不易发生黏附现象。

(3) 冷镢模: 冷镢模主要的失效形式是开裂、折断, 即由韧性不足引起的损伤占有很大比例, 因上述原因导致的失效占 90% 以上, 材料韧性不足极大影响着模具寿命。

(4) 冷挤压模: 冷挤压凸模的失效形式有折断、疲劳断裂、塑性变形及磨损, 冷挤压凹模的失效形式主要是胀裂及磨损。