

模具设计与制造专业



职业教育 职业培训 **改革创新教材**

全国高等职业院校、技师学院、技工及高级技工学校规划教材

模具失效分析与故障处理

◎ 陈芬桃 主 编

◎ 洪耿松 副主编



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

职业教育职业培训 改革创新教材

全国高等职业院校、技师学院、技工及高级技工学校规划教材

模具设计与制造专业

模具失效分析与故障处理

陈芬桃 主 编

洪耿松 副主编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书根据高等职业院校、技师学院“模具设计与制造专业”的教学计划和教学大纲,以“国家职业标准”为依据,按照“以工作过程为导向”的课程改革要求,以典型任务为载体,从职业分析入手,切实贯彻“管用”、“够用”、“适用”的教学指导思想,把理论教学与技能训练很好地结合起来,并按技能层次分模块逐步加深模具失效分析与故障处理相关内容的学习和技能操作训练。本书较多地编入新技术、新设备、新工艺的内容,还介绍了许多典型的应用案例,便于读者借鉴,以缩短学校教育与企业需求之间的差距,更好地满足企业用人需求。

本书可作为高等职业院校、技师学院、技工及高级技工学校、中等职业学校模具相关专业的教材,也可作为企业技师培训教材和相关设备维修技术人员的自学用书。

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

模具失效分析与故障处理/陈芬桃主编. —北京:电子工业出版社,2012.8

职业教育职业培训改革创新教材 全国高等职业院校、技师学院、技工及高级技工学校规划教材. 模具设计与制造专业

ISBN 978-7-121-17861-0

I. ①模… II. ①陈… III. ①模具—失效分析—高等职业教育—教材②模具—故障修复—高等职业教育—教材 IV. ①TG76

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第185261号

策划编辑:关雅莉 杨 波

责任编辑:郝黎明 文字编辑:裴 杰

印 刷:涿州市京南印刷厂

装 订:

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编:100036

开 本:787×1092 1/16 印张:10 字数:256千字

印 次:2012年8月第1次印刷

定 价:19.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

职业教育职业培训改革创新教材

全国高等职业院校、技师学院、技工及高级技工学校规划教材

模具设计与制造专业 教材编写委员会

主任 委员：史术高

湖南省职业技能鉴定中心（湖南省职业技术培训研究室）

副主任委员：（排名不分先后）

陈黎明

衡阳技师学院

刘铁石

衡阳技师学院

廖 剑

湖南工贸技师学院

王 斌

湖南工贸技师学院

刘少军

湖南工贸技师学院

马汉蒲

湖南工贸技师学院

吴建伟

湖南工贸技师学院

彭志红

湖南工贸技师学院

周青山

湘潭技师学院

陈芬桃

湘潭技师学院

郭献国

湘潭技师学院

聂 颖

湘潭技师学院

张立夏

湘潭技师学院

郭勇军

湘潭技师学院

康 勇

湘潭技师学院

唐志雄

郴州技师学院

戴 乐

湖南省机械工业技术学院

谢贤和

湖南省机械工业技术学院

陈向云

湖南省机械工业技术学院

陈少友

湖南省机械工业技术学院

熊建武

湖南工业职业技术学院

蔡志强

益阳职业技术学院

汪哲能

衡阳财经工业职业技术学院

王少炯

株洲市职工大学

陈 韬

衡阳市珠晖区教育局

彭惟珠

广东省机械高级技工学校

罗文锋

广东省高级技工学校

吴德永

茂名市高级技工学校

李淑宝

广东省机械高级技工学校

委 员：（排名不分先后）

邓远华

衡阳技师学院

陈宝祥

衡阳技师学院

陈桂奇

衡阳技师学院

赵治平

衡阳技师学院

邓交岳

衡阳技师学院

黄海赞

衡阳技师学院

张艳军

湖南工贸技师学院

金 伟

湖南工贸技师学院

杜 婷

湖南工贸技师学院

张京昌

湖南工贸技师学院

周晓泉	湖南工贸技师学院
凌增光	湖南工贸技师学院
曾平平	湖南工贸技师学院
袁见平	湖南工贸技师学院
黄世雄	湖南工贸技师学院
赵小英	湖南工贸技师学院
刘 娟	湖南工贸技师学院
周明刚	湖南工贸技师学院
龙 湘	湖南工贸技师学院
宋安宁	湖南工贸技师学院
张 志	湖南工贸技师学院
肖海涛	湘潭技师学院
张 丽	湘潭技师学院
刘一峰	湘潭技师学院
龙 涛	湘潭大学
阳海红	湖南省机械工业技术学院
陈俊杰	湖南省机械工业技术学院
刘小明	湖南省机械工业技术学院
张书平	湖南省机械工业技术学院
陈小兵	湖南省机械工业技术学院
李飞飞	湖南省机械工业技术学院
陈效平	湖南省机械工业技术学院
陈 凯	湖南省机械工业技术学院
张健解	湖南省机械工业技术学院
丁洪波	湖南省机械工业技术学院
王碧云	湖南省机械工业技术学院
王 谨	湖南省机械工业技术学院
简忠武	湖南工业职业技术学院
易 杰	湖南工业职业技术学院
文建平	衡阳财经工业职业技术学院
宋建文	长沙航天工业学校
颜迎建	湘潭市电机集团力源模具公司
张 源	湖南晓光汽车模具有限公司
张立安	益阳广益科技发展有限公司
贾庆雷	株洲时代集团时代电气有限公司
欧汉德	广东省技师学院
邹鹏举	广东省技师学院
洪耿松	广东省国防科技高级技工学校
李锦胜	广东省机械高级技工学校
蔡福洲	广州市白云工商技师学院
罗小琴	茂名市第二高级技工学校
廖禄海	茂名市第二高级技工学校
许 剑	江苏省徐州技师学院
李 刚	山西职业技术学院
王端阳	祁东县职业中等专业学校
卢文升	揭阳捷和职业技术学校

秘 书 处：刘南、杨波、刘学清

出版说明

百年大计，教育为本。教育是民族振兴、社会进步的基石，是提高国民素质、促进人的全面发展的根本途径，寄托着亿万家庭对美好生活的期盼。2010年7月，国务院颁发了《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010—2020）》。这份《纲要》把“坚持能力为重”放在了战略主题的位置，指出教育要“优化知识结构，丰富社会实践，强化能力培养。着力提高学生的学习能力、实践能力、创新能力，教育学生学会知识技能，学会动手动脑，学会生存生活，学会做人做事，促进学生主动适应社会，开创美好未来。”这对学生的职前教育、职后培训都提出了更高的要求，需要建立和完善多层次、高质量的职业培养机制。

为了贯彻落实党中央、国务院关于大力发展高等职业教育、培养高等技术应用型人才的战略部署，解决技师学院、技工及高级技工学校、高职高专院校缺乏实用性教材的问题，我们根据企业工作岗位要求和院校的教学需要，充分汲取技师学院、技工及高级技工学校、高职高专院校在探索、培养技能应用型人才方面取得的成功经验和教学成果，组织编写了本套“全国高等职业院校、技师学院、技工及高级技工学校规划教材”丛书。在组织编写中，我们力求使这套教材具有以下特点。

以促进就业为导向，突出能力培养：学生培养以就业为导向，以能力为本位，注重培养学生的专业能力、方法能力和社会能力，教育学生养成良好的职业行为、职业道德、职业精神、职业素养和社会责任。

以职业生涯发展为目标，明确专业定位：专业定位立足于学生职业生涯发展，突出学以致用，并给学生提供多种选择方向，使学生的个性发展与工作岗位需要一致，为学生的职业生涯和全面发展奠定基础。

以职业活动为核心，确定课程设置：课程设置与职业活动紧密关联，打破“三段式”与“学科本位”的课程模式，摆脱学科课程的思想束缚，以国家职业标准为基础，从职业（岗位）分析入手，围绕职业活动中典型工作任务的技能和知识点，设置课程并构建课程内容体系，体现技能训练的针对性，突出实用性和针对性，体现“学中做”、“做中学”，实现从学习者到工作者的角色转换。

以典型工作任务为载体，设计课程内容：课程内容要按照工作任务和工作过程的逻辑关系进行设计，体现综合职业能力的培养。依据职业能力，整合相应的知识、技能及职业素养，

实现理论与实践的有机融合。注重在职业情境中能力的养成，培养学生分析问题、解决问题的综合能力。同时，课程内容要反映专业领域的新知识、新技术、新设备、新工艺和新方法，突出教材的先进性，更多地将新技术融入其中，以期缩短学校教育与企业需要之间的差距，更好地满足企业用人的需要。

以学生为中心，实施模块教学：教学活动以学生为中心、以模块教学形式进行设计和组织。围绕专业培养目标和课程内容，构建工作任务与知识、技能紧密关联的教学单元模块，为学生提供体验完整工作过程的模块式课程体系。优化模块教学内容，实现情境教学，融合课堂教学、动手实操和模拟实验于一体，突出实践性教学，淡化理论教学，采用“教”、“学”、“做”相结合的“一体化教学”模式，以培养学生的能力为中心，注重实用性、操作性、科学性。模块与模块之间层层递进、相互支撑，贯彻以技能训练为主线、相关知识为支撑的编写思路，切实落实“管用”、“够用”、“适用”的教学指导思想。以实际案例为切入点，并尽量采用以图代文的编写形式，降低学习难度，提高学生的学习兴趣。

此次出版的“全国高等职业院校、技师学院、技工及高级技工学校规划教材”丛书，是电子工业出版社作为国家规划教材出版基地，贯彻落实全国教育工作会议精神和《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010—2020）》，对职业教育理念探索和实践的又一步，希望能为提升广大学生的就业竞争力和就业质量尽自己的绵薄之力。

电子工业出版社 职业教育分社

2012年8月

前言

本书根据技师学院、技工及高级技工学校、高职高专院校“模具设计与制造专业”的教学计划和教学大纲,以“国家职业标准”为依据,按照“以工作过程为导向”的课程改革要求,以典型任务为载体,从职业分析入手,切实贯彻“管用”、“够用”、“适用”的教学指导思想,把理论教学与技能训练很好地结合起来,并按技能层次分模块逐步加深模具失效分析与故障处理相关内容的学习和技能操作训练。本书较多地编入新技术、新设备、新工艺的内容,还介绍了许多典型的应用案例,便于读者借鉴,以缩短学校教育与企业需要之间的差距,更好地满足企业用人的需要。

本书可作为高职高专院校、技师学院、技工及高级技工学校、中等职业学校模具设计与制造相关专业的教材,也可作为企业技师培训教材和相关设备维修技术人员的自学用书。

本书的编写符合职业学校学生的认知和技能学习规律,形式新颖,职教特色明显;在保证知识体系完备,脉络清晰,论述精准深刻的同时,尤其注重培养读者的实际动手能力和企业岗位技能的应用能力,并结合大量的工程案例和项目来使读者更进一步灵活掌握及应用相关的技能。

● 本书内容

全书分为4个模块14个任务,介绍了模具失效的基础知识、影响模具失效的因素、模具寿命及表面处理技术、模具常见故障及处理方法等知识。附录A提供了常用模具材料牌号对照表、常用模具材料比较表。

● 配套教学资源

本书提供了配套的立体化教学资源,包括专业建设方案、教学指南、电子教案等必需的文件,读者可以通过华信教育资源网(www.hxedu.com.cn)下载使用或与电子工业出版社联系(E-mail: yangbo@phei.com.cn)。

● 本书主编

本书由湘潭技师学院陈芬桃担任主编,广东省国防科技高级技工学校洪耿松担任副主编,湘潭市电机集团力源模具公司颜迎建等参与编写。由于时间仓促,作者水平有限,书中错漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

● 特别鸣谢

特别鸣谢湖南省人力资源和社会保障厅职业技能鉴定中心、湖南省职业技术培训研究室对本书编写工作的大力支持，并同时鸣谢湖南省职业技能鉴定中心（湖南省职业技术培训研究室）史术高、刘南对本书进行了认真的审校及建议。

主 编

2012 年 8 月

目 录

模块一	模具失效的基础知识	1
任务一	模具失效的类型	2
任务二	模具的工作条件及失效的形式	8
任务三	模具失效分析的方法	20
模块二	影响模具失效的因素	25
任务一	模具结构及零件结构的影响	25
任务二	模具工作条件的影响	38
任务三	模具材料性能对失效的影响	53
任务四	模具制造对失效的影响	66
任务五	常用模具失效分析实例	82
模块三	模具寿命及表面处理技术	92
任务一	模具寿命概述	92
任务二	提高模具寿命的措施	97
任务三	模具材料表面强化技术	104
模块四	模具常见故障及处理方法	132
任务一	冲压模常见的故障及处理	132
任务二	塑料模常见的故障及处理	140
任务三	压铸模常见的故障及处理	144
附录 A	常用模具材料	147
参考文献		149

模块一 模具失效的基础知识

为什么要学习模具失效的基础知识

模具是为生产产品而使用的重要工艺装备，有效使用是其存在的社会价值。模具从设计到制造再到最后投入使用直到失效、报废是其生命周期的全过程。从技术经济的角度分析，使用寿命是其核心的价值所在。模具使用寿命直接关系到模具使用的经济效益，也是生产企业谋求利益最大化的重要手段之一。因此，研究模具在正常工作状况下的失效形式、规律和分析方法，是为了延长其使用寿命、降低产出成本和增加经济效益。而模具失效的规律、形式、分类及分析方法有哪些，正是本模块要解决的课题。本模块讨论的重点是冷作模具、热作模具和塑料模具的失效。

模具失效的相关术语

1. 模具失效

模具失效包括正常失效与非正常失效。当模具零件在服役中产生了过量的塑性变形、断裂破坏、表面损坏等现象后，将丧失其原有的功能，达不到预期的要求，或变得不安全可靠，以致不能继续正常地服役，这些现象统称为模具失效。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，这种失效属于正常失效。非正常失效是在模具正式工作期间，远低于设计寿命时随机发生的失效，有时甚至是突然发生的，易造成人身或设备的恶性事故及经济上的损失。

2. 冷作模具

冷作模具是在常温下对材料进行压力加工或其他加工所使用的模具，包括冷冲压模、冷挤压模、冷锻模等。

3. 热作模具

热作模具是指对金属材料加热到再结晶温度以上进行压力加工的模具，包括热锻模、热挤压模、压铸模等。

4. 塑料模具

成形塑料制品的模具包括塑料注射模、塑料压缩模、塑料压注模、塑料挤出模、真空吹塑模及气动成形模。

学习目标

1. 熟悉模具使用寿命的内涵。
2. 了解各类模具工作条件和失效形式。
3. 掌握模具失效的常用分析方法。

如何学习

通过了解冷作模具、热作模具、塑料模具的正常工作状况,联系其不尽相同的损坏形式,掌握其失效的一般特征。

任务一 模具失效的类型



任务描述

不同的模具使用于不同的制造产业,使用的工作条件直接影响其损坏的表现形式。这些多样的失效形式有什么共同之处,是我们着手分析研究和认识的一种科学方法。个别失效形式寓于着一类模具相似的失效形式,从理论上如何把握其相似的失效形式和失效的机理,是本任务的主要目标。



学习目标

1. 了解模具失效的类型。
2. 掌握各类磨损失效的类型和特征。
3. 掌握断裂失效的表现形式及塑性变形失效的特征。
4. 掌握磨损失效机理的理论分析、影响磨损失效的因素、断裂失效形式的判断、多种失效的交互作用。



任务分析

模具失效的种类和形式有很多,其失效的机理也不同。不同的模具有不同的要求和工作环境,即使同一模具在不同的部位也会存在不同的应力和温度,产生失效的可能性也不同。因此模具失效的类型,应成为模具失效分析的主要依据。



任务完成

模具种类繁多,工作状态差别很大,损坏部位也各不相同,但失效形式归纳起来主要有

磨损、断裂（包括开裂、碎裂、崩刃、掉块和剥落等）、塑性变形三类。

一、磨损失效

按磨损的机理可分为磨粒磨损、黏着磨损、疲劳磨损、腐蚀磨损、气蚀和冲蚀磨损。

（1）磨粒磨损

外来硬质颗粒或由制件表面的硬突出物刮擦模具表面引起的磨损称为磨粒磨损。磨粒磨损的主要特征如图 1.1-1 所示。磨粒磨损按照磨损形态和应力或冲击载荷的施加方式，可细分为凿削式磨粒磨损、研磨式磨粒磨损和划伤式磨粒磨损。



图 1.1-1 磨粒磨损的主要特征

凿削式磨粒磨损通常应力和冲击载荷都很大。对材质不均，内有夹杂的硬、脆相、硬质点的板料进行冲裁或切断时的凸模，以及采用冷挤压成形的凸模，其磨损均为凿削式磨粒磨损。

研磨式磨粒磨损通常作用应力很大而冲击载荷不大，类似于模具制造中的研磨、抛光等。划伤式磨粒磨损多出现于清屑不良的冲裁凹模刃口、凸模表面及润滑不良的模具滑动和导向装置。

外来硬质颗粒（沙尘、粉末）夹在工件与模具接触面之间，刮擦模具表面引起模面材料脱落的现象，以及工件表面的硬质突出物刮擦模具引起的模具损伤均属划伤成磨粒磨损。

耐磨性与硬度密切相关，而硬质碳化物的存在可显著提高耐磨性。由此可见，提高模具的抗磨损性能的主要方法是模具工作表面具有高的硬度。

（2）黏着磨损

制件与模具表面相对运动时，在真实接触面积上发生固相黏着，使模具表面材料转移到制件上或脱落的现象，称为黏着磨损。黏着磨损多发生于拉深凸、凹模的圆角处。板材与拉深模腔接触面的强烈摩擦和材料的塑性变形所产生的综合热效应造成的局部温升可高达 1000℃ 以上，它是诱发黏结造成磨损并在模腔表面出现黏结瘤的主要原因。因为，这些热源叠加的热效应会使板材与模具接触面间的凸峰、污锈、尘粒、异物等，在高温下首先软化，进而熔化流动并聚集黏结于模腔表面，形成黏结瘤。拉深材料塑性变形越大，接触面摩擦及其造成的磨损越严重，摩擦力越大，产生的热量越大，在接触面间越易发生黏结并引起越来越严重的黏结磨损。摩擦力的大小与拉深力、接触面的摩擦系数 μ 值成正比。而 μ 值大小取决于模腔表面粗糙度 Ra 值。 Ra 值越大，接触面越粗糙，表面凸峰与凹谷越显著，拉深时摩擦力越大，越容易产生黏着磨损。

相对运动的接触表面发生黏着以后，根据运动产生的切向力、接触处的黏合强度、金属基体强度三者之间的不同关系而产生的不同破坏现象，可以把黏着磨损分为四种类型。

① 涂抹。当较软金属的剪切强度小于接触处的黏合强度，也小于外加的切应力时，剪切破坏发生在离黏着结合面不远的软金属层内，被剪切的软金属涂抹在硬金属表面上的现象。

② 擦伤。金属表面有细而浅的划痕，有时硬金属表面也有划伤的现象。

造成擦伤的原因因为基体金属的剪切强度都低于接触处的黏合强度，也低于切应力，剪切发生在较软金属的亚表层内或硬金属的浅表层内，转移到硬表面上的黏着物质对软金属表面产生的刮擦。

③撕脱。剪切破坏发生在摩擦副一方或两方金属较深处，有较深划痕的现象。

撕脱和擦伤损坏的原因基本相同，但接触处的黏合强度比两基体金属的剪切强度更高一些。

④咬死。摩擦副之间咬死，不能相对运动的现象。

产生咬死时，接触处的黏合强度比两基体金属的剪切强度高得多，而且黏着区域大，切应力低于接触处的黏合强度。

为了防止黏着磨损，最重要的是进行润滑以防温升的产生，为了最大限度地降低黏着磨损，应选用抗回火软化能力强的基材并辅以表面硬化处理，使之与摩擦密切相关的表层部分获得必要的硬度、自润滑性和耐磨性。

（3）疲劳磨损

两接触表面相互运动时，在交变接触应力（机械应力与热应力）的作用下，使模具表层金属疲劳脱落的现象称为疲劳磨损。疲劳磨损多出现于型腔模，如压铸模、注塑模、热固性塑料压模、粉末冶金压模、金属粉末注射成形模等。为了防止疲劳磨损，模具材料本身必须具有足以抵抗形成的切应力的强度。

（4）腐蚀磨损

在模具工作过程中，模具表面与周围介质发生化学或电化学反应，再加上摩擦力机械作用，引起模具表层材料脱落的现象，称为腐蚀磨损。模具常见的腐蚀磨损有氧化磨损、特殊介质磨损等。

在物体接触运动过程中，由于金属表层凸峰的塑性变形，促使原有的氧化膜破裂，新的材料暴露，于是又与氧结合形成硬而脆的氧化膜，新生成的氧化膜因摩擦作用而脱落，由此造成的磨损称为氧化磨损。模具服役过程一般都会出现氧化磨损。在压制乙烯基塑料制品时，由于在较高的压制温度下，塑料会发生分解并释放出腐蚀性气体，引起模腔的腐蚀，从而导致模具腐蚀磨损。镀铬可有效防止这种腐蚀磨损。

（5）气蚀磨损和冲蚀磨损

1) 气蚀磨损

金属表面的气泡破裂，产生瞬间的冲击和高温，从而使模具表面形成微小麻点和凹坑的现象，称为气蚀磨损。当模具表面与液体接触做相对运动，在液体与模具接触处的局部压力比其蒸发压力低的情况下，将形成气泡；同时，溶解在液体中的气体也可能析出形成气泡。假如这些气泡流到高压区，当承受压力超过气泡内压力时，气泡便会破裂，瞬间将产生极大的冲击力和高温，作用于模具局部表面上。在这种气泡的形成和破裂的作用下，模具浅表面将萌生疲劳裂纹，最后扩展至表面，局部金属脱离表面或气化，形成泡沫海绵状空穴。注塑模、压铸模易发生气蚀磨损。

2) 冲蚀磨损

液体和固体微小颗粒高速落到模具表面，对模具表面进行反复冲击，使得模具表面局部材料流失，形成麻点和凹坑的现象，称为冲蚀磨损。当小滴液体以高速（100m/s）落到模具

表面上时,会产生很高的应力,一般可以超过金属材料的屈服强度,甚至会造成局部材料断裂。但速度不高的反复冲击会萌生疲劳裂纹,形成麻点和凹坑,如压铸模的热浸蚀。

腐蚀磨损、气蚀和冲蚀磨损与疲劳磨损形成机理虽然不同,但它们有一定的内在联系,都易发生在型腔模中。防止腐蚀磨损的最有效方法是镀硬铬或作 TD 处理。一般来说,若材料组织均匀,具有较好的抗疲劳性和抗腐蚀性,又具有较高的强度和韧性,则抗气蚀和冲蚀磨损性能就好。

(6) 磨损的交互作用

在模具与工件(或坯料)的相对运动中,摩擦磨损情况极其复杂,磨损往往并不局限于一种形态,而是多种形式交织在一起,相互影响、相互派生、相互促进。模具与工件表面产生黏着磨损后,部分材料脱落形成磨粒磨损;磨粒磨损出现后,使得模具表面变得粗糙,又进一步造成黏着磨损和疲劳磨损;模具出现疲劳磨损后,同样会出现磨损后的磨粒物质,从而造成磨粒磨损;磨粒磨损使得模具表面出现沟痕、粗化,这又加剧了黏着磨损和疲劳磨损;模具出现腐蚀磨损后,随之会出现磨粒磨损,进而派生出黏着磨损和疲劳磨损。

为了降低磨损的速度,最有效的方法是对模具工作表面进行各种强化处理。同时应对模具进行维护和保养,如及时清理模具工作面的附着物,对模具进行合理的润滑、冷却等。

二、断裂失效

模具出现大裂纹或分离为两部分或数部分,从而丧失服役能力时,称为断裂失效。断裂对模具来说是最严重的失效形式,它是各种原因萌生的裂纹扩展的最终结果。模具断裂通常表现为产生局部碎块或整个模具断成几个部分。图 1.1-2 所示为常见模具断裂实例。对于模具来说,断裂是最严重的失效形式,它是各种因素产生裂纹扩展的归宿。

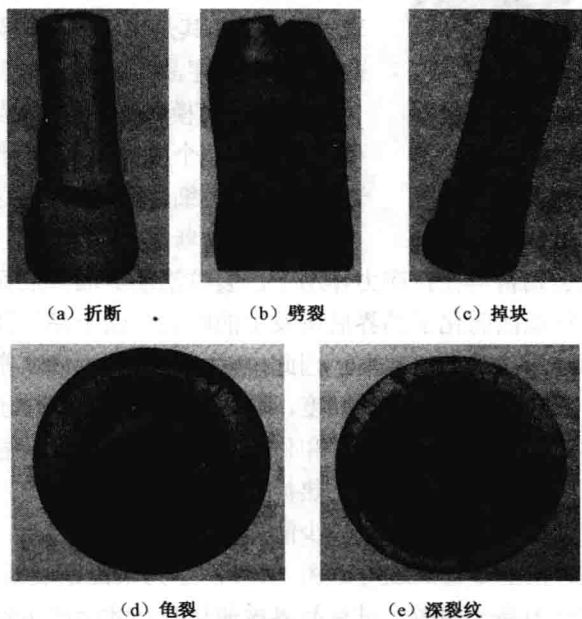


图 1.1-2 常见模具断裂实例

模具断裂按断裂前的塑性变形大小分为塑性（或韧性）断裂和脆性断裂；按断裂裂纹扩展的路径分为沿晶断裂、穿晶断裂和混晶断裂；按断裂机理分为一次性断裂和疲劳断裂。

塑性断裂失效是指金属零件发生肉眼可见的塑性变形并破断失效，也称延性断裂失效、韧性断裂失效、过载断裂失效等，它是一个缓慢的断裂过程。塑性金属材料承受载荷时，晶体首先发生弹性变形；若载荷增大而超过某一数值，即发生屈服，此时由于滑移而使晶体产生永久变形（塑性变形）；若此过程继续进行，则需增大引起进一步滑移的力，此过程即加工硬化。载荷继续增大时，发生进一步变形，致使某些晶体局部破断，并扩展导致完全断裂，即塑性断裂。在塑性断裂过程中需要不断地消耗相当多的能量，并伴随着大量的塑性变形。

脆性断裂失效是指断裂时不发生或发生较小的宏观塑性变形（2%~5%）的断裂失效。它通常无预警信号而突然发生，是一种危害性很大的断裂失效模式。

模具的断裂失效一般表现为脆性断裂失效。脆性断裂失效包括一次性断裂失效和疲劳断裂失效。

1. 一次性断裂失效

一次性断裂失效是指金属材料在承受很大变形力或在冲击载荷的作用下，裂纹产生并迅速扩展所造成的断裂失效，其断口为结晶状。

按裂纹扩展路径的走向，一次性脆性断裂失效可分为穿晶断裂失效和沿晶断裂失效。

（1）穿晶断裂失效

穿晶断裂失效是指金属材料因受拉应力而引起的解理断裂失效。解理断裂失效是指金属材料沿特定晶面的断裂失效。解理断裂的主要特征是其断口上存在河流花样（见图 1.1-3）。当模具材料韧性差，存在表面缺陷（尤其是表面开口缺陷）而承受高的冲击载荷时，易发生穿晶断裂。热作模具很少出现这种断裂。

如何提高模具零件抗穿晶断裂失效的能力呢？可以从以下几个方面着手：降低加载速率；增加模具表面压应力；细化材料晶粒；提高材料纯度。



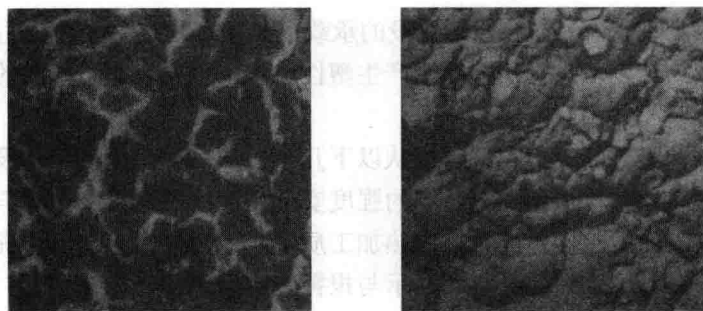
图 1.1-3 解理断口

（2）沿晶断裂失效

沿晶断裂失效是指金属材料在拉应力作用下，裂纹沿晶界面扩展而造成的脆断失效。

沿晶断裂是由于某种原因弱化了晶界后所发生的断裂。由于晶界及晶界临界区域晶格的不规则性，使晶界区的能量比晶粒内部高，因此，晶界处或邻近区域常常是各种杂质或合金元素偏析的择优地方，并形成各自的浓度梯度，而容易出现第二相粒子，甚至形成连续的脆性薄膜，使晶界处或邻近区域的机械、物理和化学性能与晶粒内部有着很大的区别，加之环境、温度和机械等外来因素，如应力腐蚀、热损伤和三向应力状态等，导致了晶界结合力的降低，从而为破断提供了比穿晶破断消耗较少能量的有利条件。因此，在一定条件下，金属可能发生沿晶脆性断裂、沿晶塑性断裂等。图 1.1-4 所示为沿晶断裂断口的微观形貌。

一般来说，晶界键合力高于晶内，只有晶界被弱化时，才会产生沿晶断裂。下列两种情况可造成晶界弱化：①晶界沉淀第二相物质；②杂质元素的偏聚。



(a) 脆性沿晶断口

(b) 韧性沿晶断口

图 1.1-4 沿晶断裂断口的微观形貌

如何提高模具零件抗沿晶断裂失效的能力呢？可以从以下几个方面着手：提高材料的纯度，减少杂质元素沿晶界分布；严格控制热加工质量，防止过热与过烧；提高模具零件表面完整性，防止局部三向应力作用；模具零件表面采用强化处理，降低表面拉应力；模具零件表面可采用表面处理，减少晶界与环境相互作用。

2. 疲劳断裂失效

疲劳断裂失效是指在较低循环载荷作用下，经多次使用，裂纹缓慢扩展后发生的断裂失效，其断口为纤维状。

疲劳裂纹总是在应力最高、强度最低的部位上形成，模具的疲劳裂纹萌生于外表面、次表面。疲劳裂纹总是从模具表面和内部某一缺陷处开始的，当模具内部受力不均匀时，局部区域就会出现较大的应力集中，在载荷的反复作用下，应力集中处最先出现裂纹，裂纹的尖端形成尖锐的缺口，又造成新的应力集中，在连续使用中，该处还会继续开裂。这样一来，裂纹变得越来越大，模具上能够传递应力的材料越来越小，直至不足以传递载荷时，模具就会突然被破坏（开裂成两块或碎裂为数块）。

如何提高抗疲劳断裂失效的能力呢？可以从以下几个方面着手：强化模具表面，使零件表面层产生一定的压应力；细化材料晶粒，提高疲劳强度极限；采用变形热处理的方法，形成锯齿状晶界或使晶粒定向排列；提高金属纯度，减小夹杂物尺度；清除表面加工及损伤缺陷，提高表面完整性。

三、塑性变形失效

塑性变形失效是指在模具使用过程中，在应力和温度的作用下，发生了塑性变形，改变了其几何形状或尺寸，而不能修复再服役的失效。其表现形式为塌陷、弯曲、墩粗等。

模具在服役时承受得巨大的应力和载荷一般是不均匀的，当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强度时，就会以滑移、孪晶、晶界滑移等方式产生塑性变形，造成模具无法修复而报废。

在室温下服役的模具（冷作模具），其塑性变形是模具材料在室温下的屈服过程，是否产生塑性变形，起主导作用的是机械负荷及模具的室温强度，而模具的室温强度取决于所选