

高等职业技术学院规划教材

模具材料及表面处理

吴兆祥 主编

17



机械工业出版社
China Machine Press

高等职业技术院校规划教材

模具材料及表面处理

主编 吴兆祥
参编 苏思龄 卢端敏
主审 凌汉光

机械工业出版社

本书简明地介绍了各类模具的传统材料和使用效果良好的新型模具材料;同时还重点对各类模具的工作条件、失效形式、性能要求、材料选用、工艺路线、热处理工艺作了综合分析。另外,还系统地介绍了模具的表面处理方法和使用效果。

本书内容较新、实例较多、资料丰富、应用性较强,适应高职和中专模具专业的教学要求。

本书主要供高职和中专“模具设计与制造”专业的学生使用,也可供热处理技术人员、模具技术人员和技术工人参考。

图书在版编目(CIP)数据

模具材料及表面处理/吴兆祥主编. —北京:机械工业出版社,2000.5
高等职业院校规划教材
ISBN 7-111-07622-2

I. 模... II. 吴... III. ①模具-材料-技术学校-教材②模具-表面预处理-技术学校-教材
IV. TG76

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 12511 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑:王霄飞 版式设计:张世琴 责任校对:张莉娟
封面设计:姚学峰 责任印制:何全君
北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
2000 年 4 月第 1 版·第 1 次印刷
787mm×1092mm¹/₁₆·8.75 印张·211 千字
0 001—5 000 册
定价:12.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010)68993821、68326677-2527

前 言

本书是根据原机械工业部教育司批准的“模具设计与制造专业”教学计划和“模具材料及表面处理”教学大纲编写的规划教材。本书主要供高职和中专模具专业学生使用,也可供材料热处理专业以及模具设计与制造的技术人员参考。

在模具的设计制造中,能否合理地选用模具材料,正确地实施模具的热处理工艺和表面强化技术,对模具的质量和使用寿命以及经济效益有着直接的影响。

但是,长期以来,许多模具生产企业对模具材料的选用和热处理不够重视,对模具新材料、新工艺、新技术了解不多。这是我国模具使用寿命普遍较低的重要原因之一。上述问题同样反映在高职和中专模具专业的教学上,至今,还有些学校的模具专业没有单独开设“模具材料及热处理”课程,适用于高职和中专模具专业的“模具材料及热处理”教材既少也落后。

为了提高高职和中专模具专业的水平,使模具专业的毕业生初步掌握模具材料和热处理技术,促进模具新材料、新工艺、新技术的广泛应用,我们编写了这本书。在编写过程中,参阅了很多有关教材、著作和文献资料,结合专业要求,进行合理地选择与编写。

本书从实用的角度出发,按照模具材料的分类标准,系统、简明地介绍了传统的模具材料和使用效果良好且用量较大的新型模具材料;同时还重点对各类模具的工作条件,失效形式、性能要求、材料选用、工艺路线、热处理技术特点以及表面强化技术作了详细地介绍和分析。该书内容较为先进、实用,资料性较强。每章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。

本书由芜湖机械学校吴兆祥主编;武汉船舶工业学校凌汉光主审;江西机械工业学校苏思龄、大庸航空工业学校卢端敏参编。全书共五章。其中绪论、第二、三章由吴兆祥编写;第四章由苏思龄编写;第一章、第五章由卢端敏编写。主审凌汉光对书稿进行了全面、认真地审查,并提出了许多宝贵意见。

本书在编写过程中还得到了福建职业技术学院高级讲师翁其金老师的帮助和指导。在审稿过程中,曾得到许多兄弟院校的不吝赐教。在此,一并表示谢意。

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

1999年10月

目 录

前言

绪论	1
----------	---

第一章 模具材料概论	4
------------------	---

第一节 模具及模具材料分类	4
---------------------	---

第二节 模具材料的主要性能指标	4
-----------------------	---

第三节 模具的失效形式及失效分析	7
------------------------	---

第四节 影响模具寿命的主要因素	8
-----------------------	---

复习思考题	12
-------------	----

第二章 冷作模具材料	13
------------------	----

第一节 冷作模具材料性能的要求	13
-----------------------	----

第二节 冷作模具材料及热处理规范	16
------------------------	----

第三节 冷作模具的选材	43
-------------------	----

第四节 冷作模具钢的锻造与	
---------------	--

热处理技术	52
-------------	----

复习思考题	64
-------------	----

第三章 热作模具材料	65
------------------	----

第一节 热作模具材料的性能要求	
-----------------	--

及成分特点	65
-------------	----

第二节 热作模具钢及热处理	66
---------------------	----

第三节 其它热作模具材料	81
--------------------	----

第四节 热作模具的强韧化处理	82
----------------------	----

复习思考题	86
-------------	----

第四章 塑料模具用钢	87
------------------	----

第一节 塑料模工作条件、失效形式	
------------------	--

及性能要求	87
-------------	----

第二节 塑料模具用钢及选用	90
---------------------	----

第三节 塑料模具的热处理	101
--------------------	-----

复习思考题	107
-------------	-----

第五章 模具表面强化技术	108
--------------------	-----

第一节 表面化学热处理技术	108
---------------------	-----

第二节 涂镀技术	119
----------------	-----

第三节 其它表面强化技术	122
--------------------	-----

复习思考题	131
-------------	-----

附录	132
----------	-----

附表 I 国内外常用模具钢	
---------------	--

钢号对照表	132
-------------	-----

附表 II 黑色金属硬度及强	
----------------	--

度换算表	133
------------	-----

参考文献	135
------------	-----

绪 论

一、模具材料及表面处理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。模具性能好,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、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,必须在提高模具寿命方面不断地作出努力。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、新技术。

二、国内外模具材料与表面处理技术概况

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t,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LD(7Cr7Mo2V2Si)、ER5(8Cr8MoWV3Si)、65Nb(6Cr4W3Mo2VNb)、GD(6CrNiMnSiMoV)钢等。这些新钢种具有较高的强韧性,较高的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、5CrNiMo的4CrMnSiMoV、5Cr2NiMoVSi;热锻、热挤、精锻、辊锻用的GR(4Cr3Mo3W4VNb)、H13(4Cr5MoSiV1)、HM3(3Cr3Mo3VNb)等;冷热兼用的012Al(5Cr4Mo3SiMnVAl)、CG-2(6Cr4Mo3Ni2WV)、RM2(5Cr4W5Mo2V)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) 塑料模具用钢有了进步,相继开发和引进了一些新钢种,如预硬钢SMI(Y55CrNiMnMoV)、5NiSCa;时效硬化钢25CrNi3MoAl;耐蚀钢PCR(0Cr16Ni4Ca3Nb);镜面塑料模具钢PMS(06Ni6CrMoVTiAl)等。这些钢种强韧性适当,热处理工艺较简便,变形小,易于切削加工。

5) 硬质合金和钢结硬质合金制造模具正在走向成熟。目前多用于拉丝模、冷冲模、冷镦模和无磁模。与这些模具使用的传统材料相比,使用寿命大幅提高,例如硬质合金制造的硅钢片高速冲模,寿命可达上亿次;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和使用寿命。

7) 表面处理技术有很大发展。提高模具寿命的表面强化处理技术,除了传统的渗碳、渗氮、氮碳共渗、渗硫、渗硼、渗金属等被广泛应用外,还发展了各种涂覆技术。如热锻模应用 Ni-Co-ZrO₂ 复合电刷镀,可提高模具寿命 50%~200%;采用化学沉积 Ni-P 复合涂层,硬度可达 78~80HV,耐磨性相当于硬质合金,对于填充玻璃纤维的塑压模有很好的效果。采用 DVC、PVC 在各种工模具上沉积 TiC、TiN 可有效地改善模具表面的抗粘着性和抗咬合性,延长模具寿命。

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 GB 1299—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、规格缺少。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,国外发达国家每不到 5mm 为一档,我国生产厂家往往把好几档规格合并为一个尺寸生产。我国总体上钢材利用率为 60% 左右,比工业发达国家低 10~15 个百分点,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高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,减小纵横向性能差,从而大幅度降低模具的早期失效。

4) 轻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。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,导致模具使用寿命缩短。

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。

三、本课程的性质和要求

本课程是模具专业的一门专业课。在学习本课程之前,学生已经学习了《工程材料及热加工》,对模具材料及热处理已有了初步的了解。但是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密切。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,以期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。

本门课程的理论性和实践性都很强,《工程材料及热加工》中的“热处理原理”、“合金钢知识”是其重要的理论基础。因此,学生在学习本课程时,必须注意以上两部分内容的深入学习。其次,还应特别重视实践知识的学习,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,便于更好地学好本门课程。

第一章 模具材料概论

第一节 模具及模具材料分类

模具是一种高效率的工艺装备。各种金属、塑料、橡胶、玻璃、陶瓷、粉末冶金等制品的生产都离不开模具。而模具的使用效果、使用寿命在很大程度上取决于模具的设计和制造水平,尤其与模具材料的选用和热处理质量好坏有关。

一、模具分类

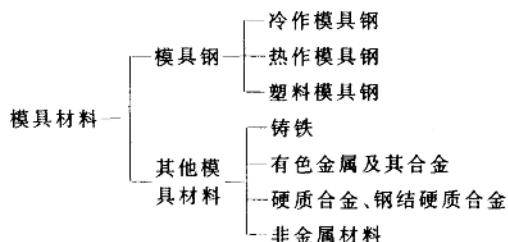
模具的分类方法很多,根据成形材料、成形工艺和成形设备不同可综合分为十大类,即冲压模具、塑料成型模具、压铸模、锻造成形模具、铸造用金属模具、粉末冶金模具、玻璃制品用模具、橡胶制品成型模具、陶瓷模具和经济模具。这种分类方法虽然较为严密,但与模具材料的选用缺乏联系。为了便于模具材料的选用,按照模具的工作条件来分类较为合适。据此,将以上十大类模具又分为如下三大类,即

- 1) 冷作模具:包括冷冲压模、冷挤压模、冷镦模、拉丝模等。
- 2) 热作模具:包括热锻模、热精锻模、热挤压模、压铸模、热冲裁模等。
- 3) 成型模具:包括塑料模、橡胶模、陶瓷模、玻璃模、粉末冶金模等。

本书将按上述三类模具论述它们的选材和热处理。

二、模具材料分类

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,所以我们将模具材料分类如下:



第二节 模具材料的主要性能指标

各种模具的工作条件不同,对模具材料的性能要求也不同。为了使所选用的模具材料满足模具的使用要求,应对模具材料的性能及其影响因素有比较全面而又深入的了解。

一、强度

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。为了确保模具在使用过程中不会发生过量的塑性变形失效,模具材料的屈服点必须大于模具的工作应力。热作模具的加工对象是高温软化状态的坯料,故所受的工作应力要比冷作模具小得多。但热作模具与高温坯料接触的部分会受热而软化,因此,模具的表面层须有足够的高温强度。

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。但这些指标仅反映模具的表面或内部不存在任何裂纹时的静载断裂抗力。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,大多数热作模具在发生断裂之前,已由于冷热疲劳而出现许多表面裂纹。许多热作模具的断裂,属于表面热疲劳裂纹扩展所造成的断裂。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。

二、硬度

硬度是衡量材料软硬程度的性能指标,其物理意义随试验方法不同而异。实际上它是表征着材料的弹性、塑性、形变强化率、强度和韧性等一系列不同物理量组合的一种综合性能指标。作为成形用的模具(尤其是高精度模具),一般应有较高和很高的硬度,才能确保其使用性能和寿命。另一方面,因为要直接测得实际模具零件的各种力学性能指标往往难度很大,所以一般是利用材料的硬度和程度 σ_0 之间存在的一定关系(材料的组织均匀性愈好,两者的相关性就愈高),以及 σ_0 与其它力学性能(σ_s 、 σ_{-1} 、 δ 、 ψ 、 a_K 等)存在的一定关系,从而通过硬度来间接地反映零件的强度、塑性、韧性、疲劳抗力和耐磨性等力学性能指标。

对于多数热作模具和某些冷作模具,常常还要求具有较高的热硬性。

钢的硬度主要决定于其化学成分和组织。例如,钢完全淬成马氏体时的硬度取决于马氏体的含碳量,而合金元素的含量影响不大;淬火钢组织中的残余奥氏体量(体积分数) $>10\%$ 时,淬火硬度显著下降;钢材淬透性不足,而造成不完全淬火时,则组织中会出现珠光体或贝氏体而引起淬火硬度下降。如果球化退火后的渗碳体粗大,则在淬火加热时,难以溶入奥氏体中,也使淬火硬度下降。

三、耐磨性

冷作模具材料的耐磨性指标可采用常温下的磨损量或相对耐磨性来表示。热作模具的型腔表面,由于高温而软化,还要经受高温氧化腐蚀和脱落下的氧化铁屑的研磨。因此热作模具的磨损属于热磨损,需要特殊的热磨损试验方法才能测出其热磨损抗力。

在模具中常遇到的磨损形式有磨料磨损、粘着磨损、氧化磨损和疲劳磨损等。不同的磨损形式,影响模具材料耐磨性的因素各不相同。

在磨料磨损的条件下,影响耐磨性的主要因素有硬度和组织。当冲击载荷较小时,耐磨性与硬度成正比关系,即可以用硬度来判断钢的耐磨性好坏;当冲击负荷较大时,耐磨性还受强度和韧性的影响,此时,表面硬度不是愈高愈好,而是存在着一个合适的硬度范围,硬度超过一定值后,耐磨性反而下降。钢的基体组织中,铁素体耐磨性最差,马氏体耐磨性较好,下贝氏体耐磨性最好。对于淬火回火钢,一般认为,在含有少量残余奥氏体的回火马氏体的基体上均匀分布着细小碳化物的组织,其耐磨性为最好。在冲击力较大的情况下,细晶马氏体由于强韧性高,因而耐磨性较好。钢中碳化物的性质、数量和分布状态对耐磨性也有显著影响。特殊合金碳化物其硬度和耐磨性要高于合金渗碳体和普通渗碳体,碳化物数量增多并与基体结合牢固

时,耐磨性增加。但碳化物过于粗大或基体中呈不均匀分布,则会使耐磨性下降。淬火钢的耐磨性一般随其含碳量的增加而提高,这一方面是由于马氏体硬度的增加,另一方面是来自于未溶碳化物数量的增加。

对于粘着磨损的情况,影响材料耐磨性的因素也比较复杂。一般脆性材料和高熔点材料的抗粘着能力较高。减小材料的摩擦系数可以提高耐粘着磨损性。提高材料的硬度有助于减小摩擦系数,试验表明,材料硬度在 550~750HV 范围(且最好 $>700\text{HV}$)对于抗粘着磨损较合适。采用一定的表面处理(如渗硫、氮碳共渗等)可在金属材料表面形成一层与基体金属不同的化合物层或非金属层,降低了摩擦系数,可有效地减轻粘着磨损。当钢的组织为细致的下贝氏体或回火马氏体加均匀分布的细小合金碳化物时,耐粘着磨损性较好,而过多的残余奥氏体被认为是不良的因素。

氧化磨损是最广泛存在的磨损类型,同时也是各类磨损中磨损速率最小的一种。氧化磨损速率主要取决于金属表层的扩散速度、所形成氧化膜的性质和氧化膜与基体金属的结合强度。致密而非脆性且不易剥落的氧化膜能显著提高磨损抗力,提高金属表层硬度,可增加表层塑性变形抗力,从而减轻氧化磨损。

钢的耐疲劳磨损性,在很大程度上决定于冶金质量。钢中存在疏松、气孔、白点、非金属夹杂等缺陷都可能成为疲劳裂纹源。在炼钢过程中应用真空脱氧、电渣重熔和真空熔炼等方法可以大大减少气孔和夹杂物,从而提高钢的耐疲劳磨损性。

四、韧性

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。冷作模具材料因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,因而常根据静弯曲挠度的大小,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。如通常要求锤锻模具用钢的 α_K 值不应低于 $30\text{J}/\text{cm}^2$,而压力机模具用钢的冲击韧度可低于锤锻模用钢。对于某些热作模具材料和高强度冷作模具钢,有时还需考虑其断裂韧度。

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。碳量愈低,杂质愈少,钢的韧性愈高;细晶粒组织、板条状马氏体组织、下贝氏体组织和高温回火组织都具有高的韧性。

五、疲劳抗力

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、小能量多冲抗力等。

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。

六、耐热性

热作模具、部分成型模具或冷作模具等,由于工作温度较高,通常需要考虑模具材料的耐热性。当模具工作温度升高时,在常温下各种起强化作用的介稳组织要转变为稳定组织(如马氏体分解、碳化物聚集长大等)将导致材料的强度、硬度等力学性能指标下降,同时氧化情况也趋于加重。因此,保证耐热性的关键是模具的组织应有较好的热稳定性。

高温材料的热稳定性常以 $600\sim 700^\circ\text{C}$ 时的屈服强度表示,它与钢的抗回火能力有关。因此加入某些合金元素提高钢的再结晶温度,增加钢中基体组织和碳化物的稳定性都能增加钢

的耐热性。

七、耐腐蚀性

部分塑料模和压铸模在工作时,受到被加工材料的腐蚀,从而加剧模腔表面磨损。所以这些模具材料应具有相应的耐腐蚀性。合金化或进行表面处理是提高模具钢耐腐蚀性的主要方法。

第三节 模具的失效形式及失效分析

一、模具的失效形式

模具失效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(因设计错误、使用不当引起模具过早破损)和工作失效(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工作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。冷热疲劳主要出现于热作模具,在冷作模具上不出现。其它三种形式在冷、热作模具上均可能出现,并按具体的损伤形态还可进一步分类如下:

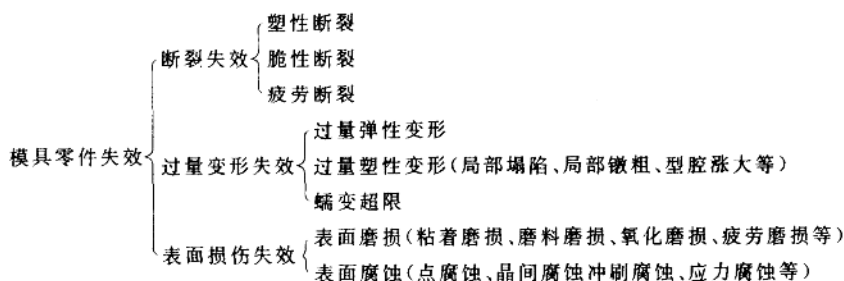


图 1-1 至图 1-3 列举了几种模具经常出现的损伤形式。

二、模具的失效分析

模具的失效分析,是对已经失效的模具进行失效过程的分析,以探索并解释模具的失效原因。其分析结果,可以为正确选择模具材料,合理制定模具制造工艺,优化模具结构设计,以及为模具新材料的研制和新工艺的开发等提供有指导意义的数据,并且可预测模具在特定使用条件下的寿命,因而,这是一项有重要实际意义的工作。

模具失效分析的步骤一般为:

(1) 生产现场调查 在模具使用现场了解设备状况和加工工艺,统计模具的寿命和失效形式,收集并保存那些失效模具供分析用。

(2) 模具用材和制造工艺调查 复查模具材料的化学成分和冶金质量,详细了解模具的锻造、机械加工、热处理工艺及操作过

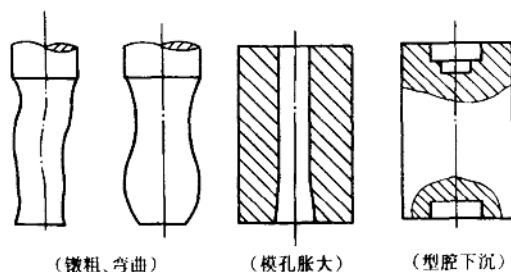


图 1-1 冷冲压模具的损伤形式

程。其中应重点了解热处理与锻造工艺及其质量检验。

(3) 对模具进行失效分析 对失效模具损伤处进行外观分析(了解损伤种类,寻找损伤起源,观察损伤部位的表面粗糙度和几何形状等)、断口分析以及金相分析,综合各方面的分析结果,判断模具失效的原因以及影响失效过程的各种因素。

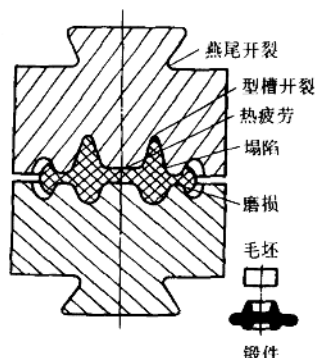


图 1-2 热锻模损伤形式

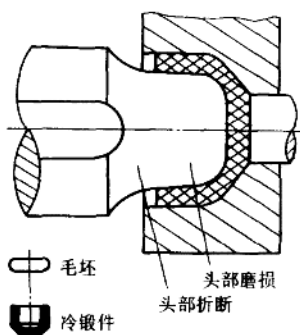


图 1-3 冷锻冲头损伤形式

模具失效的原因可以认为有四个方面,即工作环境。操作人员经验或水平、模具本身质量和生产管理制度。其中最重要的原因是模具本身的质量。考虑到这点,对模具失效原因进行分析时,重点应放在影响模具质量的制造过程。制造过程方面的原因可以认为有以下几方面:①结构设计不当;②材料选择和质量问题;③毛坯锻造不良;④机械加工缺陷;⑤热处理不当;⑥装配精度不高。

在实际生产中模具的工作条件往往很复杂,因此其失效形式和原因也不是单一的。但只要掌握了失效分析的方法,充分利用已有技术资料对失效模具进行综合分析,就能准确找出其失效原因。

图 1-4 所示的冷挤压冲头在使用中的失效是以 R 处断裂和 D 处(工作带)磨损超差为主,占总失效数的 90%。经分析研究表明, R 处的断裂是冲击疲劳所致(通过断口分析和冲击疲劳试验结果判定),而 D 处的不均匀磨损则是由于该处表面硬度不足所造成。根据这些结果,对结构设计加以优化(修改了 R 处的形状),并在 D 处进行了表面强化处理,从而使模具寿命比原来提高了一倍以上。

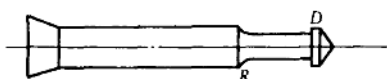


图 1-4 冷挤压冲头

第四节 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,因此要提高模具寿命,需要采用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叙述如下:

一、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是过高的工作温度,从而恶化了模具的工作条件,导致模具过早失效。

1. 模腔结构的影响

冷锻、冷挤、热锻模一类受力大、冲击力高的模具,采用整体式模腔易引起局部开裂和整体

开裂,采用组合式模腔就可避免开裂现象。如塔形锻造凹模,采用组合式凹模后,就可降低模具表面拉应力,避免应力集中导致的早期断裂,见图 1-5。再如高速钢制的 M12 螺栓冷锻凹模,图 1-6a 为整体式的,其寿命约 1 万件。图 1-6b 为预应力组合式的,由于避免了尖角处的应力集中,降低了模具受力时的应力梯度,其寿命达到 6 万件,克服了整体式的早期胀裂现象。

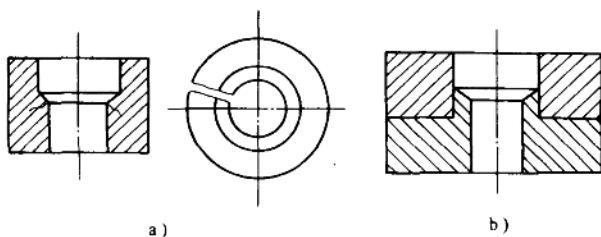


图 1-5 塔形锻造凹模的结构

a) 整体式 b) 组合式

2. 模腔过渡圆角半径 R 的影响

模腔大多含有过渡圆角,合理的过渡圆角 R 对模具寿命影响很大。图 1-7 是冷挤压凹模的金属入口处的形状和内径圆角 R 对模具寿命的影响。由图可见增大圆角半径 R ,可提高模具

寿命。热锻模的圆角半径同样对模具寿命影响很大,如模腔外圆角半径 R 由 1mm 增大到 5mm 时,最大比较应力可减少近 40%,显著地提高模具寿命。热锻模的内圆角半径也要合理选择、过小,易使模锻工作条件恶化,锻模易于磨损。根据经验,内圆角半径值可按 $r = (2 \sim 3.5)R$ 选取(R 为外圆角半径)较为合适。

3. 模具工作部位角度的影响

图 1-8 是反挤压凸模的几种结构形式,采用图 1-8a、图 1-8b 结构时比采用图 1-8c 结构的单位挤压力下降 20%,模具寿命显著提高,但其顶部斜角也不宜过大,否则易因偏载而导致模具弯曲折断。

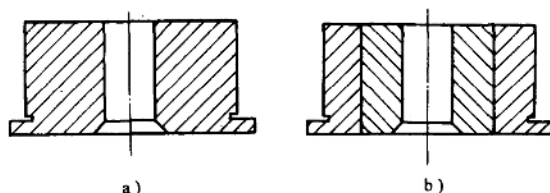


图 1-6 螺栓冷锻凹模的结构

a) 整体式 b) 组合式

锤锻模、压铸模、塑料模等型腔模具

的拔模斜度对制件的脱模及模腔底部圆角处应力状态有直接影响,其中锻模更为明显。图 1-9 是模锻斜角及圆角半径对底部最大比较应力的影响。如某连杆锻模,当拔模斜度由 7° 改为 10° 后模具寿命由 3000 件提高到 5000 件。当然,角度的最佳值应根据具体模具的部位作出分析和选择。

与模具寿命有关的结构因素是多种多样的,根据理论分析和模具使用的实际情况,不断改进和优化结构设计,是提高模具寿命的最经济、有效的方法。

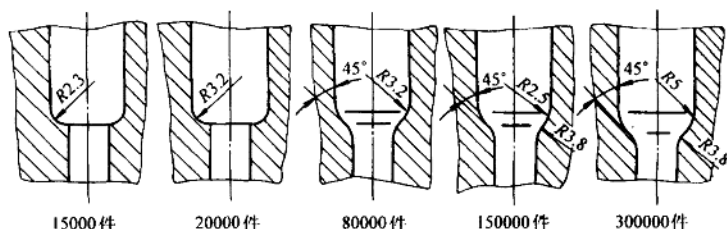


图 1-7 冷挤压凹模几何形状及尺寸对模具寿命的影响

二、模具制造质量对模具寿命的影响

模具制造质量对模具的耐磨性、抗断裂能力、抗粘合力等都有显著的影响。因此,为保证模具的使用寿命必须考虑以下几个方面的影响。

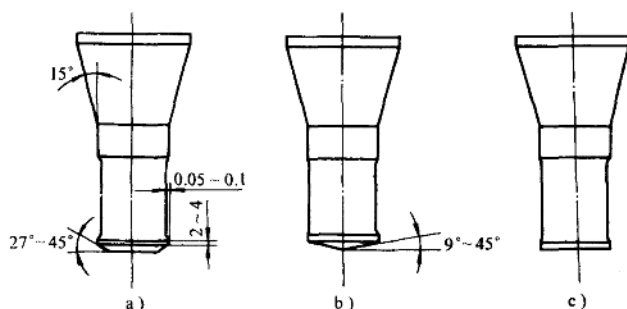


图 1-8 反挤压凸模结构对寿命的影响

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,出模斜度、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,如用 6Cr3SiV 钢制反挤压模,表面粗糙度为 $R_a 1.6 \sim 1.8 \mu\text{m}$ 时,其寿命约 3 万件左右;如经精抛光表面粗糙度达 $R_a 0.2 \sim 0.1 \mu\text{m}$,寿命可提高到 4.5~5 万件。

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

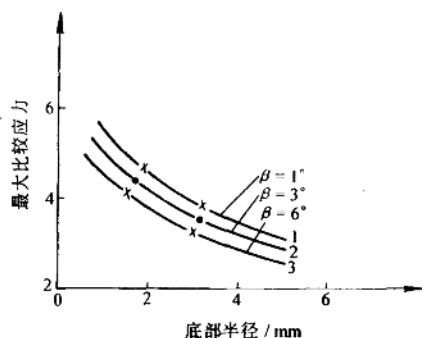
模具间隙量及均匀性的调整,增加配合承载面及合模面的接触,保证凸模和凹模受力中心的一致性,这些措施都可提高模具的装配精度,从而提高模具的寿命。

三、模具材料对模具寿命的影响

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。如对同一种工件,使用不同的模具材料作弯曲试验,用 9Mn2V 材料,其寿命为 5 万次;用 Cr12MoV 渗氮,其寿命可达 40 万次。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。如采用 T10 钢制造硅钢片冲模,硬度为 52~56HRC,只冲几千次,冲件毛刺就很大。如果将硬度提高到 60~64HRC,则刃磨寿命可达 2~3 万次。但如果继续提高硬度,则会出现早期断裂。有的

图 1-9 模锻斜角 β 及圆角半径对应力的影响

冲模硬度不宜过高,如采用 Cr12MoV 钢制造六角螺母冷镦凸模,硬度为 56~60HRC 时,一般寿命为 2~3 万件,失效形式是崩裂;如将硬度降到 50~54HRC,寿命提高到 6~8 件。由此可见,模具硬度必须根据成形性质和失效形式而定,应使硬度、强度、韧性、耐磨性、耐疲劳强度等达到成形所需要的最佳配合。

材料的冶金质量对模具寿命的影响也不容忽视,尤其是高碳高合金钢,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。因而,提高材料的冶金质量也是提高模具寿命的重要方面。

采用新的热处理工艺,挖掘现有材料的潜力,对提高模具寿命是有效的,不过也是有限的。特别是加工工艺的发展越来越趋向高温、高压、高速、模具的服役条件更加苛刻,因此要大幅度提高模具寿命,则必须研制和应用新的模具材料。

针对模具的工作条件和已有材料的不足,近年来,已研制了多种新的模具材料,其中以合金钢为主,如 HM1、HM3、RM2、012Al、CG2、65Nb、LM1、LM2、LD、CH-1、8Cr2S 等。新研制的钢结硬质合金(DT)、合金铸铁(SMRI-86)、高温合金(如 TZM)等也取得了较好的应用效果,如用 HM3 制的锻模,比用 3Cr2W8V 钢制的模具寿命提高 1 倍;用 CH-1 钢制的中厚板冲模寿命比用 T10A 钢制的提高 3~5 倍;用 012Al 制的热挤压模比用 3Cr2W8V 钢制的提高寿命 3~5 倍等。

四、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、采用最佳的热处理工艺是充分发挥模具材料潜力,提高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、耐疲劳强度的良好配合。模具表面强化处理方法很多,表面处理的新技术工艺发展很快。除氮碳共渗、离子渗氮、渗硼、渗碳、渗硫、渗钨、渗钒外,电火花强化、激光热处理、化学气相沉积(CVD)、物理气相沉积(PVD)等已逐步开发应用。经 CVD、PVD 处理后,模具表面覆盖一层超硬物质如 TiC、TiN 等,硬度极高,耐磨性、耐蚀性、抗粘合性很好,可提高模具寿命几倍至几十倍。

五、模具的使用对模具寿命的影响

模具在使用过程中,有很多因素影响模具的使用寿命,这些因素包括:

- 1) 锻压设备的特性,如压力机的精度和刚度,精度低,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粘模现象。
- 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,都可有效的提高模具使用寿命。
- 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;有些模具使用中积累了很大内应力,应进行中间去应力回火,以提高模具的安全性;

此外,模具入库的防锈处理、及时修磨,也可以延长模具的使用寿命。

复习思考题

1. 模具及模具材料一般可以分哪几类?
2. 评价冷作模具材料塑性变形抗力指标有哪些?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. 什么是耐热性?什么是冷热疲劳抗力?两者有什么关系?
6. 模具失效的特点是什么?模具失效分析的意义是什么?
7. 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?
8. 正确使用和维护模具应注意哪些方面?