



PUTONG GAODENG YUANXIAO
JIXIELEI SHISANWU GUIHUA XILIE JIAOCAI



普通高等院校机械类“十三五”规划系列教材

模具材料及表面处理技术

MOJU CAILIAO JI BIAOMIAN CHULI JISHU

钟良 郑丽璇 龚伟 刘传慧 主编

MOJU CAILIAO JI
BIAOMIAN CHULI JISHU



西南交通大学出版社



PUTONG GAODENG YUANXIAO
JIXIELEI SHISANWU GUIHUA XILIE JIAOCAI

普通高等院校机械类“十三五”规划系列教材

模具材料及表面处理技术

MOJU CAILIAO JI BIAOMIAN CHULI JISHU

钟良 郑丽璇 龚伟 刘传慧 主编

西南交通大学出版社
· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

模具材料及表面处理技术 / 钟良等主编. — 成都:
西南交通大学出版社, 2016.1
普通高等院校机械类“十三五”规划系列教材
ISBN 978-7-5643-4372-9

I. ①模… II. ①钟… III. ①模具—工程材料—高等
学校—教材②模具—金属表面处理—高等学校—教材
IV. ①TG76

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 259188 号

普通高等院校机械类“十三五”规划系列教材

模具材料及表面处理技术

钟 良 郑丽璇 龚 伟 刘传慧 主编

责任编辑	李 伟
封面设计	何东琳设计工作室
出版发行	西南交通大学出版社 (四川省成都市二环路北一段 111 号 西南交通大学创新大厦 21 楼)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网 址	http://www.xnjdcbs.com
印 刷	成都中铁二局永经堂印务有限责任公司
成品尺寸	185 mm×260 mm
印 张	15.75
字 数	390 千
版 次	2016 年 1 月第 1 版
印 次	2016 年 1 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-4372-9
定 价	36.00 元

课件咨询电话: 028-87600533

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

在现代生产中，模具是生产各种工业产品的重要工艺装备。随着社会经济的发展，特别是汽车、家电工业、航空航天迅猛发展，对模具工业提出了更高的要求。如何提高模具的质量、使用寿命和降低生产成本，成为当前迫切需要解决的问题。

表面处理是提高表面性能常用的工艺方法，是提高模具质量、使用寿命和降低成本的最有效途径，对于提高模具质量、大幅度降低生产成本、提高生产效率和充分发挥模具材料的潜能都具有重大意义。

本书力求理论联系实际，系统介绍各类模具的失效及使用寿命、常用模具材料的专业知识和热处理工艺、模具常用的几种表面处理技术等内容，突出国内外模具方面的新材料、新工艺、新技术。本书内容丰富，实用性强，既有经典的模具材料基础知识介绍，又有作者近年来的科研实验成果，反映了近年来国内外在模具方面的主要发展方向。本书可作为普通高等教育应用型本科机械大类专业教材，也可供从事模具设计、制造、热处理等工作的有关工程技术人员参考。

本书由西南科技大学制造学院钟良、郑丽璇、龚伟、刘传慧主编。在编写本书的过程中，得到了四川大学制造学院侯力教授的悉心指导和西南交通大学出版社的大力支持，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限、时间仓促，书中不妥之处在所难免，恳请广大读者和行业专家批评指正。

编 者

2015 年 9 月

目 录	
0 绪 论	1
第 1 篇 模具材料及热处理工艺	
1 模具材料概论	7
1.1 模具及模具材料的分类	7
1.2 模具材料的主要性能指标	8
1.3 模具的失效形式及影响因素	10
1.4 模具寿命	13
复习思考题	14
2 模具的失效分析	15
2.1 失效和失效分析	15
2.2 磨损失效	18
2.3 断裂失效	26
2.4 金属的断裂韧度	54
2.5 变形失效	58
2.6 失效分析的内容	62
复习思考题	67
3 冷作模具材料及热处理工艺	68
3.1 冷作模具的失效形式与材料的性能要求	68
3.2 冷作模具对材料性能的要求	71
3.3 冷作模具材料及热处理工艺	74
3.4 冷作模具的热处理工艺和热处理特点	101
3.5 冷作模具材料的选用	110
3.6 冷作模具材料选用实例	113
复习思考题	118
4 热作模具材料及热处理工艺	119
4.1 热作模具的失效形式与材料的性能要求	119
4.2 热作模具对材料性能的要求及其成分特点	120
4.3 热作模具钢及热处理工艺	121
4.4 其他热作模具材料	137
4.5 热作模具的强韧化处理	139

复习思考题	142
5 橡塑模具材料及热处理工艺	144
5.1 塑料模具的失效形式与材料的性能要求	144
5.2 橡塑模具材料的分类及热处理	147
5.3 塑料模具的热处理工艺	162
5.4 塑料模具材料的选用与实例	165
复习思考题	169
 第 2 篇 模具表面强化及处理技术	
6 模具的表面处理技术	170
6.1 表面处理技术概述	170
6.2 常用的表面处理技术途径	172
6.3 模具材料表面的热处理技术	175
6.4 常用的模具材料表面改性技术	177
复习思考题	178
7 金属表面形变强化	179
7.1 金属表面的强化机理	179
7.2 金属表面强化的主要方法	179
7.3 表面形变强化的应用	184
复习思考题	185
8 热扩渗技术	186
8.1 热扩渗技术分类	186
8.2 热扩渗层形成的基本条件及机理	187
8.3 影响热扩渗速度的主要因素	188
8.4 固体热扩渗技术	190
8.5 液体热扩渗技术	193
8.6 气体热扩渗技术	196
8.7 等离子体热扩渗技术	200
8.8 稀土共渗技术	205
复习思考题	205
9 表面淬火	206
9.1 表面淬火工艺分类	207
9.2 表面淬火中快速加热的相变特点	207
9.3 表面淬火后的组织和性能	211
9.4 感应加热表面淬火	215

9.5 其他高能密度加热淬火	225
复习思考题	229
10 电镀和化学镀	230
10.1 电 镀	230
10.2 电镀工艺	231
10.3 化学镀的定义及原理	231
10.4 化学复合镀	233
10.5 化学镀在模具保护中的应用	234
10.6 激光诱导化学复合镀	236
10.7 激光诱导化学复合镀在模具表面防护中的应用	237
复习思考题	242
参考文献	243

0 绪 论

1. 模具材料在模具工业中的地位

模具材料是模具制造的基础,模具材料和热处理技术对模具的使用寿命、精度和表面粗糙度起着重要的甚至决定性的作用。因此,研究开发高性能的模具材料,采用先进的生产工艺生产优质、低成本的模具材料;根据模具的服役条件合理选用材料、适当的热处理和表面工程技术以充分发挥模具材料的潜力;根据模具材料的性能特点选用合理的模具结构;根据模具材料的特性采用相应的维护措施等是十分重要的。

模具材料使用性能的好坏直接影响模具的质量和使用寿命;模具材料的工艺性能将影响模具加工的难易程度、模具加工的质量和加工费用。因此,在模具设计时,除设计出合理的模具结构外,还应选用合适的模具材料及热处理工艺,才能使模具获得良好的工作性能和长的使用寿命。

2. 模具材料的发展概况

新中国成立后,我国模具钢的生产发展很快,从无到有,从仿制到自行研发,在短短的60多年时间里,我国的模具钢产量已跃居世界前列。

60多年来,我国的模具工业已发展成为独立的工业体系,在模具材料的研制和热处理技术方面都取得了巨大的成就。为了适应模具工业生产发展的需要,从20世纪70年代以来,我国连续推广了电渣重熔、真空电弧重熔、炉外精炼、六面锻造等新技术、新工艺,生产的模具钢产品质量与国外水平相当,特别是“八五”时期建成及在建的模具钢扁钢和厚钢生产线,对改善我国模具钢的品种、规格起到了比较大的作用。

1985年制定的GB/T 1299—1985合金工具钢国家标准(现已修订为GB/T 1299—2000),基本上形成了具有我国特色的模具用材体系。

在20世纪80年代,针对我国生产量较大的大型锻模模块用钢和准备大力推广的Cr12Mo1V1(D2)、4Cr5MoSiV1(H13)、塑料模具钢3Cr2Mo(P20)、火焰淬火模具钢7CrSiMnMoV等,对以上钢种进行了比较系统的研究,试制的模块和钢材已经达到进口钢材的水平。

在塑料成型模具钢方面,根据其性能和使用条件可分为:①小尺寸模具用中碳调质钢;②大中型模具用预硬型中碳低合金钢;③为改进切削性能的含硫、铅及预硬化易切削模具钢;④时效钢和马氏体时效钢,用于制造复杂、精密和光洁的模具;⑤高淬透性的冷作和热作模具钢,用于制造整体淬火模具;⑥渗碳型塑料模具钢;⑦耐蚀型塑料模具钢;⑧镜面抛光模具钢等。例如,06Ni6CrMoVTiAl(06Ni)、预硬钢Y55CrNiMnMoV(SM1)、5NiSCa、Y20CrNi3AlMnMo(SM2)、时效硬化钢25CrNi3MoAl(25CrNi3)、镜面塑料模具钢

10Ni3MnCuAlMo (PMS)、耐蚀钢 0Cr16Ni4Cu3Nb (PCR) 等, 这些钢种的强韧性适当, 可用于注射模、挤塑模、压塑模、吹塑模等模具。

在冷作模具钢方面, 通用的冷作模具钢分为三类: 低合金冷作模具钢 (如 9CrWMnV)、中合金冷作模具钢 (如 Cr5Mo1V) 及高合金冷作模具钢 (如 Cr12Mo1V1) 等。除此之外, 又开发出以下几种新型冷作模具钢。

(1) 高韧性、高耐磨性冷作模具钢。如美国的 8Cr8Mo2V2Si、Cr8Mo2VWSi, 日本的 QCM8 (8Cr8Mo2VSi)、DC53 (Cr8Mo2VSi)、TCD (Cr8V2MoTi) 等。这类钢优点很多, 组织中的碳化物细小、弥散, 抗弯强度高, 断裂韧性、耐磨性、可切削性、可磨削性及抗回火性好, 且热处理变形小, 将来可发展成为一种通用型模具钢。

(2) 火焰淬火冷作模具钢。7CrMnSiMoV 应用最为普遍, 另外还有日本的 SX5 (Cr8MoV)、美国的 CC#1 等。其特点是淬火温度范围宽、淬透性较高及火焰淬火方便、易行。

(3) 粉末冶金冷作模具钢。粉末冶金方法可以生产常规工艺难以生产的超高碳、高合金 (尤其是高钒含量)、高耐磨性的模具钢, 以及碳基碳化钛。如德国的 X320CrVMo135, $\omega_c > 3\%$ 、 $\omega_v > 5\%$, 细小、弥散分布的碳化物的面积达 50%, 其寿命高于硬质合金模具。

热作模具钢的发展也很快。用量最大的为三类通用型热作模具钢: 低合金热作模具钢, 如 5CrNiMo 和 5CrMnMo; 中合金热作模具钢, 如 4Cr2MoVNi、H11 (4Cr5MoSiV)、H13 (4Cr5MoSiV1)、H12 (4Cr5MoWSiV) 和 H10 (4Cr3Mo3SiV1); 高合金热作模具钢, 应用最多的是 H21 (3Cr2W8V)。此外, 还开发出一系列高性能热作模具钢, 主要有以下几种。

(1) 基体钢。基体钢的化学成分相当于淬火后的高速钢基体组织的化学成分, 所以淬火后残留的共晶碳化物数量很少, 回火后碳化物细小且弥散分布, 钢的强韧性和热疲劳性能好, 如美国的 Vasco MA。

(2) 低碳高速钢。低碳高速钢是通过将高速钢的 ω_c 降至 0.3%~0.6% 而得到的, 这样可以减少其共晶碳化物的数量, 既保持较高的红硬性, 又改善了钢的韧性和热疲劳性能, 如美国的 H25、H26 和 H42。

(3) 高温热作模具钢。对于马氏体为基体的热作模具钢, 这类钢导热性差、线膨胀系数大、热疲劳性差, 不宜用于制作激冷、激热条件下工作的高温模具, 如日本的 5Mn15Cr10V2。

(4) 高温耐蚀模具钢。高温耐蚀模具钢可改善模具在高温下抗液体合金及其他介质的冲蚀和抗高温氧化能力, 用于制作压铸模和压制玻璃的模具等, 如 3Cr13MoV 等。

(5) 高淬透性热作模具钢。如为适应特大型模具模块用钢的需要, 在 5CrNiMoV 的基础上开发出的 4NiCr2MoV、法国 NF35590 标准中的 40NCD16 (4Ni4Cr2Mo)、中国的 4Cr2MoVNi。

(6) 中合金高韧性热作模具钢。这类钢能够比较合理地使用合金元素, 降低了产品的生产成本, 因此近几年发展较快。通过在 H13 钢的基础上降低铬含量, 提高钒含量, 发展为以 MC 型碳化物为主强化相的钢种, 代表性的是瑞典的 QRO80。

此外, 在某些制造领域, 如汽车的表面覆盖件拉延模, 铸铁材料应用较多, 如 HT300、QT600-2、Mo、MoCr 和 MoV, 日本的 TGC600、FCD250、FCD540, 以及德系车常用的 GGG70L 等。

总之, 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, 其使用寿命大幅度延长, 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,其寿命大于一百万次,而且提高了产品质量,降低了产品成本。

另外,通过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,存在的主要问题如下:

(1) 系列化程度低。我国 GB/T 1299—2000 标准中,冷作模具钢有 11 个钢种,常用的主要为 Cr12、Cr12MoV、Cr12Mo1V1、CrWMn 和 6W6Mo5Cr4V,尤其以 Cr12、Cr12MoV 和 CrWMn 用量最大,由于冶炼、锻造及加工使用存在一系列的问题,因而模具使用寿命低,仅为国外同类模具钢使用寿命的 $1/5 \sim 1/10$ 。热作模具钢有 12 个钢种,常用的主要为 5CrMnMo、5CrNiMo、3Cr2W8V。其用量约占热作模具钢的 $1/2$ 以上。这些钢的热强性差、抗疲劳抗力低,易发生早期开裂失效。列入国家标准中的塑料模具钢仅为 3Cr2Mo 和 3Cr2MnNiMo。国外常用的塑料模具钢已形成较完整的系列,如美国塑料模具钢有 7 个钢号,形成完整的 P 系列;日本日立金属公司有 15 个钢号,日本大同特殊钢有 13 个钢号。我国塑料模具钢的随意性较大,80% 是用碳钢和 40Cr 钢。对于复杂、精密模具,为了避免热处理变形,一般在退火态、正火态或调质态下加工使用,因此寿命仅为国外同类模具的 $1/2 \sim 1/10$ 。

(2) 品种、规格较少。我国模具钢市场中约 80% 是黑皮圆棒料、扁钢,精料(六面光)、经过预硬化处理的材料和制品以及标准件较少。在模具制造中,圆棒料常常要通过改锻来加工,绝大多数采用自由锻,很少采用模锻和三镦三拔的锻造工艺。因此,锻件的内在质量较差,外形尺寸偏大,造成加工余量大,所以国内模具钢利用率低,只有 60% 左右,而国外发达国家锻材和轧材多采用精锻精轧工艺,提高了尺寸精度,降低了加工量,模具钢利用率在 70% 以上。

(3) 模具钢冶金质量不高。国内大多数冶金厂设备、工艺比较落后,一般质量的模具钢多,高质量的模具钢材少。国内大多采用电炉冶炼,钢的纯净度差,表面脱碳层深、碳化物级别高、疏松超标。而国外模具钢生产 80% 以上采用真空精炼和电渣重熔生产,钢材纯净度低、等向性高。而国内通过电渣重熔生产的模具钢所占的份额很少,约占 $1/10$ 。国外发达国家的模具钢成材率在 85%~90%,而国内成材率仅为 70%。即使是采用真空精炼或电渣重熔的模具钢材,也存在工艺和管理落后的现象,致使产品存在许多质量问题,与国外相比存在很大差距。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等也往往被忽略,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。许多模具生产企业长期以来只知道常用的几种模具钢, 生产工艺落后, 技术跟不上, 对新钢种了解较少, 因此应用新钢种的量也很少。目前, 国内常用的模具钢基本上是从 20 世纪 50 年代初沿用下来的老钢种, 模具钢新钢种的研制和推广应用的任務很重。而一些模具设计人员也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) 在国内还在广泛使用。

由于上述问题的存在, 造成我国模具行业产品水平落后、模具及模具钢大量进口的被动局面。

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几个方面:

(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系列化、标准化模具材料, 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方向发展, 不仅要考虑制件的材质、尺寸、精度要求, 以及模具的类别、结构和型腔的复杂程度, 还要考虑生产量、质量要求和寿命要求, 从而获得最佳的经济效益。

(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. 表面工程技术在模具工业中的地位

模具生产技术水平的高低, 已成为衡量一个国家产品制造水平高低的重要标志, 因为模具在很大程度上决定着产品的质量、效益和新产品的开发能力。模具技术, 特别是制造精密、复杂、大型、长寿命模具技术水平的高低, 已经成为衡量一个企业、一个国家制造水平的重要标志之一。

我国模具工业的发展, 日益受到人们的重视和关注。“模具是工业生产的基础工艺装备”也已经取得了共识。在电子、汽车、电机、电器、仪器、仪表、家电和通信等产品中, 60%~80% 的零部件都要依靠模具成型。用模具加工成型零件具有效率高、质量好、成本低、材料省、稳定性好等一系列优点, 是其他加工制造方法所不能比拟的。模具又是“效益扩大器”, 用模具生产的最终产品的价值, 往往是模具自身价值的几十倍, 甚至上百倍。近年来, 我国模具工业的技术水平有了长足的进步, 但还不是模具强国, 模具的生产技术水平和使用寿命与世界发达国家相比仍有很大差距, 国内模具市场供不应求, 特别是精密、大型、复杂、长寿命模具仍依赖进口。从模具市场近十几年的情况来看, 我国每年都进出口大量的模具, 且进口远大于出口。我国模具制造周期一般为工业发达国家的 2 倍, 但使用寿命仅为其 1/5。模具的使用寿命关系到企业赖以生存的产品质量和生产成本等因素, 同时还需寻找一种更有效的估算模具寿命并提高模具质量的途径。

模具的失效往往开始于模具的表面, 模具表面性能的优劣直接影响到模具的使用寿命。对模具表面和芯部的性能要求是不同的, 很难通过更换材料或模具的整体热处理来达到这样的性能要求。采用不同的表面工程技术, 可提高模具的表面性能, 使模具拥有强韧的芯部、

耐磨耐腐蚀的表面,从而使模具寿命提高几倍甚至几十倍。

表面工程技术能有效地提高模具表面的耐磨性、耐蚀性、抗咬合、抗氧化、抗热黏附、抗冷热疲劳等性能。因此,模具材料及其热加工工艺的选择必须与表面强化技术结合起来全面考虑,才可能充分发挥模具材料的潜力,提高模具的使用寿命,获得最好的经济效益。例如,渗硼层的高硬度、高耐磨性和热硬性,以及一定的耐蚀性和抗黏着性,使得渗硼技术在模具工业中获得了较好的应用效果。

4. 表面工程技术的发展概况与意义

近 40 年来,有许多新的科学技术渗透到表面强化技术领域,使模具的表面强化技术得到了迅速发展,由此开发出来的表面强化技术构成了目前材料表面工程技术的主流。例如,激光是 20 世纪 60 年代出现的重大科学技术成就之一,70 年代制造出大功率的激光器以后,便开始用激光加热进行表面淬火。激光、电子束用于表面加热后,使表面强化技术超出了热处理的范畴,可以通过熔化—结晶、熔融合金化—结晶过程、熔化—非晶态过程,大幅度改变硬化层的结构与性能。

热喷涂技术作为一种新的表面防护和表面强化工艺在近 30 年里得到了迅速发展,热喷涂技术由早期制备一般的装饰性和防护性涂层发展到制备各种功能性涂层;由产品的维修发展到大批量的产品制造;由单一涂层发展到包括产品失效分析、表面预处理、喷涂材料和设备选择、涂层系统设计和涂层后加工等在内的热喷涂系统工程。目前,热喷涂技术已经发展成为金属表面工程技术中一个十分活跃的独立领域。

20 世纪 70 年代发展起来的离子注入技术,利用注入离子可得到过饱和固溶体、非晶态和某些化合物层,能改变材料的摩擦系数,提高材料的表面硬度、耐磨性及耐蚀性,延长了模具的使用寿命。目前,我国已经可提供离子注入 N、C、B 等非金属元素和注入 Ta、Ti、W 等金属元素的生产设备。

还有一些历史较长的表面处理技术,近十几年来也得到了飞速发展,如电镀技术已由单一的金属镀发展到镀各种合金,尤其是局部电镀技术——刷镀,已经成为人们公认的金属表面工程新技术,在我国已得到普遍应用。将传统的电镀工艺与近代的激光技术结合形成的激光电镀、化学镀是新兴的高速电镀技术,其效率比无激光照射高 1 000 倍。

5. 学习本课程的目的

本课程是模具设计与制造专业的一门专业课。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) 了解当前模具材料及模具表面处理技术的发展现状和发展趋势。
- (2) 明确模具材料及表面工程技术与模具使用性能、寿命、成本之间的关系。
- (3) 掌握模具的服役条件、失效形式,合理选择模具材料及热处理工艺。

(4) 掌握常用冷作模具材料、橡塑模具材料和其他模具材料的牌号、性能特点,并能合理选用。

(5) 熟悉常见的模具表面处理方法及其选用,重点掌握一种或几种模具表面处理的方法。

本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。另外,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和模具使用厂,以增加感性知识,便于更好地学好本课程。

第 1 篇 模具材料及热处理工艺

1 模具材料概论

随着工业技术的迅速发展,为了提高产品质量,降低生产成本,提高生产效率和材料利用率,国内外的制造业广泛采用各种先进的无切削、少切削工艺,如精密冲压、精密锻造、压力铸造、冷挤压及等温超塑性成型等新技术,代替传统的切削加工。据统计,目前家用电器约 80% 的零部件依靠模具加工,机电工业中约 70% 的零部件采用模具成型;大部分塑料制品、陶瓷制品、橡胶制品、建材产品也采用模具成型。因此,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有关。

1.1 模具及模具材料的分类

1.1.1 模具的分类

模具的分类方法很多,根据成型材料、成型工艺和成型设备不同可综合分为十大类,即冲压模具、塑料成型模具、压铸模具、锻造成型模具、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理。据此,将以上十大类模具又分为如下三大类。

(1) 冷作模具:根据工艺特点,可将冷作模具分为冷冲裁模具和冷变形模具两类。冷冲裁模具主要包括各种薄板冷冲裁模具和厚板冷冲裁模具。冷变形模具主要包括各种冷挤压模具、冷镦模具、冷拉深模具和冷弯曲模具等。

(2) 热作模具:可分为热冲切模具、热变形模具和压铸模具三类。热冲切模具包括各种热切边模具和热切料模具。热变形模具包括各种锤锻模具、压力机锻模具和热挤压模具。压铸模具包括各种铝合金压铸模具、铜合金压铸模具及黑色金属压铸模具等。

(3) 型腔模具：根据成型材料的不同，可将型腔模具分为塑料模具、橡胶模具、陶瓷模具、玻璃模具、粉末冶金模具等。

1.1.2 模具材料的分类

能用于制造模具的材料很多，分类方法也不尽相同。由于模具钢是制造模具的主要材料，所以通常把模具材料分为模具钢、非铁金属和非金属材料三大类。

(1) 模具钢。用于制造模具的钢铁材料主要是模具钢。通常将模具钢分为冷作模具钢、热作模具钢、橡塑模具钢三类。

(2) 非铁金属材料。用于制造模具的非铁金属材料主要有铜基合金、低熔点合金、高熔点合金、难熔合金、硬质合金、钢结硬质合金等。

(3) 非金属材料。用于制造模具的非金属材料主要有陶瓷、橡胶、塑料等。

1.2 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且深入的了解。

1.2.1 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，模具的表面层必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。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，残留奥氏体量，内应力状态等都对强度有显著影响。

1.2.2 硬度与热硬性

硬度是衡量材料软硬程度的性能指标。作为成型用的模具应具有足够高的硬度，才能确保使用性能和使用寿命。如冷作模具硬度一般为 52 ~ 60 HRC，而热作模具硬度一般为 40 ~ 52 HRC。

硬度实际上是一种综合的力学性能,因此,模具材料的各种性能要求,在图样上一般只通过标注硬度来表示。

热硬性是指模具在受热或高温条件下保持高硬度的能力。多数热作模具和某些冷作模具应具有一定的热硬性,才能满足模具的工作要求。

钢的硬度和热硬性主要取决于钢的化学成分、热处理工艺以及钢的表面处理工艺。

1.2.3 耐磨性

零件成型时材料与模具型腔表面发生相对运动,使型腔表面产生了磨损,从而使模具的尺寸精度、形状和表面粗糙度发生变化而失效。耐磨性指标可采用常温下的磨损量或相对耐磨性表示。磨损是一种复杂的过程,在模具中常遇到的磨损形式有磨料磨损、黏着磨损、氧化磨损和疲劳磨损等。

影响磨损的因素很多,除模具工作过程的润滑情况以外,还在很大程度上取决于模具材料的化学成分、组织状态、力学性能等。如模具的表面硬度越高,耐磨性一般也越好;钢的组织中,马氏体的耐磨性较好,下贝氏体的耐磨性最好。另外,钢中碳化物的性质、数量和分布状态对耐磨性也有显著的影响。

1.2.4 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 J/cm^2 ,而压力机锻模具用钢的冲击韧度可低于锤锻模具用钢。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。碳含量越低,杂质越少,钢的韧性越高;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。

1.2.5 疲劳性能

模具工作时承受着机械冲击和热冲击的交变应力,热作模具在工作过程中,热交变应力会更明显地导致模具热裂。受应力和温度梯度的影响,往往在型腔表面形成浅而细的裂纹,它的迅速传播和扩展会导致模具失效。

影响疲劳抗力的因素取决于钢的化学成分及组织的不均匀性,如钢中化学成分不均匀或存在非金属夹杂物、气孔、显微裂纹等均可导致钢的疲劳抗力降低,因为在交变应力的作用下,首先在这些薄弱地区产生疲劳裂纹并发展成为疲劳破坏。

1.2.6 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),这将导致材料的强度、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 $600 \sim 700^{\circ}\text{C}$ 时的屈服强度来表示,它与钢的回火稳定性有关。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。

1.2.7 耐蚀性

部分塑料模具和压铸模具在工作时,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蚀性。合金化或进行表面处理是提高模具钢耐蚀性的主要方法。

1.3 模具的失效形式及影响因素

模具失效是指模具失去正常工作的能力。模具的失效有达到预定寿命的正常失效,也有远低于预定寿命的早期失效。正常失效是比较安全的,而早期失效则会带来经济损失,甚至可能造成人身或设备事故,因此,应尽量避免早期失效。模具的失效不能仅理解为破坏或断裂,它还有着更广泛的含义。

对模具的失效进行分析,找出引起模具失效的原因,这样才能采取相应的措施来提高模具的使用寿命。影响模具寿命的因素很多,包括模具设计、加工制造、材料选择、热处理工艺、使用和维护等,任何一个环节安排不当,都可能会严重影响模具的使用寿命。

1.3.1 模具的失效形式

模具的主要失效形式有磨损、断裂、局部崩块、腐蚀、疲劳和变形等。模具在工作过程中可能同时出现多种形式的损伤,各种损伤之间又相互渗透、相互促进、各自发展,而当某种损伤的发展导致模具失去正常功能时,则模具失效。

1. 断裂失效

根据模具断裂前变形量的大小和断口形状的不同,断裂可分为脆性断裂和韧性断裂两种。造成模具断裂和开裂的原因很多,除了模具安装和操作不当外,还与模具设计、材质、热处理工艺等因素有密切的关系。

2. 磨损失效

模具在工作过程中的相对运动不可避免地会引起磨损,因此耐磨性是模具钢的基本性能