

MOJU YONGGANG HE RECHULI

模具用钢和热处理

冯晓曾 李士玮 武维扬 何世禹 编著

机械工业出版社

模具用钢和热处理

冯晓曾 李士玮 武维扬 何世禹 编著



机械工业出版社

前 言

为改进产品质量、节约原材料、提高劳动生产率，在工业生产中，已广泛采用塑性加工成型技术，为此，模具的作用日益重要。为了不断提高模具的工作性能，我国有许多单位从事模具新材料及新工艺的研究工作，取得了许多成果；在国外，发展了许多模具新材料及模具制造新工艺。

本书主要介绍国内外各种冷、热模具钢的成分、性能；模具的失效形式及原因；各种模具的热处理工艺；各种模具钢热处理工艺的特点及应用效果；改善模具质量、延长模具寿命的技术措施；并做了必要的理论探讨和分析。

本书初稿曾作为哈尔滨工业先进经验交流馆“模具热处理短训班”的教材，经听取各方面意见后，作了多次修改。

本书由冯晓曾同志任主编，负责对全书进行统编和审校，并执笔第六、十两章。第一至五章，由李士玮、武维扬二同志执笔。第七、八、九三章，由何世禹同志执笔。

由于编者受思想水平及业务水平所限，更兼所搜集的资料不够全面，书中难免出现缺点和错误，诚望读者批评指正。

为编写本书，曾得到哈尔滨工业大学雷廷权教授、张吉人副教授，哈尔滨电表仪器厂程世镐总工程师，哈尔滨工业先进经验交流馆何大全主任、宋振铭副主任、吴宝珊同志的大力支持。哈尔滨轴承厂殷建文工程师、王应楠工程师，哈尔滨电机厂张英贤工程师、钱景文工程师，哈尔滨汽轮机厂秦玉珊工程师、张士钦工程师，哈尔滨铁路车辆厂徐金科工程师，第一汽车制造厂李松龄工程师、徐志钧工程师、杨静工程师、王子玉同志，哈尔滨东安机械厂陈秀云工程师，哈尔滨第一机器制造厂王文有等同

分别提供了宝贵的资料。在编写过程中，还始终得到了哈尔滨工业大学刘志儒副教授的帮助和鼓励，刘北兴、王晓明、刘剑虹同志协助描绘了部分插图。谨向在编写过程中给予指导、支持和帮助的所有同志致以深切的谢意。在编写中曾引用了许多单位的技术资料，也在此一并致谢。

冯晓曾 1982.11.于哈尔滨

目 录

前 言

绪 论	1
-----------	---

第一章 影响模具寿命的基本因素	2
-----------------------	---

第一节 模具结构对使用寿命的影响	3
------------------------	---

一、导向结构的影响	3
-----------------	---

二、减载措施的影响	4
-----------------	---

三、应力集中因素的影响	6
-------------------	---

第二节 模具用钢对模具寿命的影响	8
------------------------	---

一、化学成分的影响	8
-----------------	---

二、工作硬度的影响	12
-----------------	----

三、冶金质量的影响	14
-----------------	----

第三节 模具的冷加工质量对寿命的影响	15
--------------------------	----

一、磨削烧伤的影响	15
-----------------	----

二、表面缺陷的影响	17
-----------------	----

三、脱碳层的影响	18
----------------	----

四、电火花烧伤层的影响	19
-------------------	----

第四节 模具热加工质量对寿命的影响	19
-------------------------	----

一、对热加工工艺的基本要求	20
---------------------	----

二、锻造工艺质量的影响	20
-------------------	----

三、毛坯预处理工艺的影响	21
--------------------	----

四、淬火工艺的影响	24
-----------------	----

第五节 模具工作条件对寿命的影响	25
------------------------	----

一、被加工材料表面状态的影响	25
----------------------	----

二、被加工材料力学性能的影响	26
----------------------	----

三、设备精度与刚性的影响	27
--------------------	----

四、润滑条件的影响	27
-----------------	----

五、模具预热及冷却条件的影响	27
----------------------	----

六、服役期间去应力回火的影响	28
----------------------	----

第一章 主要参考文献目录	28
--------------------	----

第二章 模具毛坯的锻造及预处理	30
第一节 模具毛坯的质量对淬火缺陷和使用性能的影响	39
一、碳化物的形态和分布均匀性的影响	39
二、流线走向的影响	33
第二节 模具钢锻造的基本工艺	38
一、原材料的检验和备料方式	39
二、锻锤吨位的选择	40
三、锻造加热及冷却规范	41
四、高合金模具钢的锻造特点	45
第三节 典型模具毛坯的锻造工艺	47
一、对模具锻坯的基本技术要求	48
二、模具毛坯的基本锻造方式	49
三、精密模具毛坯的锻造工艺	58
四、重载模具毛坯的锻造工艺	61
第四节 原始组织对加工性能及淬火质量的影响	68
一、二次碳化物的形态及分布的影响	69
二、组织和硬度对切削加工性的影响	70
三、原始组织对淬火质量的影响	71
第五节 模具毛坯预处理基本规范	73
一、正火的应用	73
二、高温回火的应用	75
三、球化退火的工艺要点	76
第六节 模具冷压毛坯的软化处理	80
一、对冷压毛坯性能的要求	80
二、冷压毛坯软化处理的工艺要点	82
三、冷压毛坯软化处理工艺规范	83
第七节 调质热处理的应用	88
一、调质处理的主要作用	88
二、调质处理的典型用途	88
第二章主要参考文献目录	89
第三章 冷作模具钢	90
第一节 冷作模具的工作条件及失效形式	90
一、冷作模具的工作条件	90

二、冷作模具的基本失效形式	93
第二节 对冷作模具钢的性能要求	97
一、对冷作模具钢的使用性能要求	97
二、对冷作模具钢的工艺性能要求	101
第三节 冷作模具钢的分类及合金元素的作用	103
一、冷作模具钢的分类	103
二、冷作模具钢的合金化构成特点	104
三、冷作模具钢中碳化物的作用	106
四、冷作模具钢中的残余奥氏体	107
五、合金元素对冷作模具钢变形抗力的影响	108
六、合金元素对耐磨性及抗咬合能力的影响	110
七、合金元素对强韧性及断裂抗力的影响	112
八、合金元素对热处理工艺性能的影响	115
第四节 低淬透性冷作模具钢	117
一、概述	117
二、碳工钢的特性	118
三、钒钢的特性	122
四、锰硅钢 (MnSi) 的特性	124
五、高碳铬钢的特性	126
六、9Cr2 钢的特性	130
七、高碳钨铬钢 (CrW5) 的特性	132
第五节 低变形冷作模具钢	133
一、概况	133
二、锰铬钨系钢 (MnCrWV、CrWMn、9CrWMn) 的特性	134
三、锰 2 系钢 (9Mn2V、9Mn2) 的特性	141
四、硅锰钼系石墨钢 (SiMnMo) 的特性	145
第六节 高耐磨微变形冷作模具钢	146
一、概况	146
二、高碳高铬钢 (Cr12 系列) 的特性	148
三、高耐磨热稳定冷作模具钢 (Cr4W2MoV) 的特性	151
四、高强度微变形冷作模具钢 (Cr6WV) 的特性	153
五、低温空淬微变形钢 (Cr2Mn2SiWMoV) 的特性	155

第七节 高承载能力冷作模具钢	159
第八节 抗冲击冷作模具钢	160
一、概况	160
二、硅锰钢 (60Si2Mn) 的特性	161
三、铬钨硅系抗冲击工具钢 (4CrW2Si、5CrW2Si、 6CrW2Si) 的特性	163
四、高碳硅铬钢 (9SiCr) 的特性	165
五、高韧性工具钢 (5CrNiMo 型) 的特性	168
六、硅锰钼型抗冲击钢 (5SiMnMoV) 的特性	169
第九节 高强韧型冷作模具钢	170
一、概况	170
二、降碳高速钢 (6W6Mo5Cr4V) 的特性	170
三、基体钢的特性	172
附录	173
第三章主要参考文献目录	182
第四章 冷作模具的热处理	184
第一节 冷作模具的失效形式	184
第二节 防止冷作模具热处理缺陷的途径	184
一、冷作模具的淬裂、变形倾向	184
二、低温调质预缩处理	193
三、消除应力回火	195
四、薄弱部位的防护	195
五、淬火加热工艺	198
六、淬火冷却工艺	199
七、等温淬火	212
八、回火工艺	216
九、热处理变形的校正	217
第三节 冷作模具的强韧化热处理工艺	221
一、表面防护	222
二、低温淬火、高温淬火和快速加热淬火	226
三、晶粒及碳化物的微细化处理	231
四、喷液淬火	234
五、分级淬火和等温淬火	236

六、形变热处理	244
七、冷处理	246
八、合理的回火工艺	249
第四节 表面强化处理对提高冷作模具寿命的作用	255
一、提高模具的耐磨性	255
二、提高抗咬合能力	256
三、减少冲压成型力	257
四、兼顾耐磨性和强韧性	258
五、提高疲劳断裂抗力	258
第五节 冷作模具热处理加热工艺	260
一、冷作模具钢常用的淬火、回火温度	260
二、模具热处理的加热时间系数	260
第六节 冷冲裁模热处理工艺	264
一、冲裁模用钢选择	264
二、碳工钢薄板冲模的热处理	266
三、低变形钢薄板冲模的热处理	271
四、高铬钢薄板冲模的热处理	278
五、其它高耐磨微变形薄板冲模的热处理	289
六、精密冲模及微型冲模的热处理	294
七、重载冷冲模的热处理	296
第七节 冷剪刀的热处理	297
一、冷剪刀用钢及工作硬度的选择	297
二、直剪刀的热处理	299
三、圆剪刀的热处理	302
四、成型剪刀的热处理	304
第八节 冷镦模的热处理	305
一、冷镦模用钢及工作硬度的选择	306
二、冷镦凹模的热处理	307
三、冷镦冲头的热处理	309
第四章主要参考文献目录	309
第五章 塑料模用钢及热处理工艺	312
第一节 塑料模的技术要求	312
一、塑料模的分类	312

二、塑料模工作条件	312
三、塑料模的主要失效形式	312
四、对塑料模的性能要求	314
第二节 塑料模用钢的选择	315
一、选用钢材的原则	316
二、对塑料模用钢的基本性能要求	316
三、切削成型模用钢的选择	316
四、冷压成型模用钢的选择	317
第三节 塑料模的热处理	320
一、基本技术要求	320
二、塑料模的热处理工艺特点	321
三、渗碳钢塑料模的热处理	321
四、过共析合金工具钢塑料模的热处理	329
五、碳工钢塑料模的热处理	332
六、热作模钢塑料模的热处理	334
第五章主要参考文献目录	336
第六章 热作模具钢	337
第一节 热作模具的失效形式及热作模具钢的种类	337
一、热作模具的工作条件	337
二、热作模具的基本失效形式	340
三、热作模具钢的种类	350
第二节 热作模具钢的使用性能	361
一、评价使用性能的指标	361
二、变形抗力	363
三、断裂抗力	366
四、抗热疲劳能力	369
第三节 热作模具钢的合金化特点	374
一、热作模具钢中的碳化物	374
二、铬的影响	376
三、钨和钼的影响	378
四、钒的影响	381
五、硅的影响	381
六、钴的影响	382
七、镍和锰的影响	383

第四节 高韧性热作模具钢	384
一、高韧性热作模具钢的钢号	384
二、高韧性热作模具钢的组织	385
三、高韧性热作模具钢的物理性能	386
四、高韧性热作模具钢的力学性能	388
五、高韧性热作模具钢的抗热疲劳能力	401
六、高韧性热作模具钢的热加工规范	401
第五节 高热强热作模具钢	402
一、高热强热模钢的钢号	402
二、钨系高热强热模钢	403
三、铬系高热强热模钢	415
四、铬钼钢及铬钨钼钢	428
五、国内研制的新型高热强模具钢	430
六、高热强模具钢的发展	456
第六节 高耐磨热作模具钢	461
第六章主要参考文献目录	463
第七章 锤锻模具用钢及热处理工艺	466
第一节 锤锻模的工作条件及失效形式	466
一、锤锻模的工作条件	466
二、锤锻模的基本失效形式	470
第二节 影响锤锻模寿命的因素	480
一、模具型腔设计的合理性	481
二、模块的冶金质量	481
三、模块型腔的表面状态	482
四、模块材料的化学成分	482
五、模块的热处理质量	482
六、模具的预热及冷却方式	484
七、被锻毛坯的化学成分、重量及形状	485
八、模具的润滑	485
第三节 锤锻模用钢及热处理工艺	485
一、锤锻模的分类	485
二、锤锻模用钢	486
三、锤锻模热处理工艺	491

第四节 铸钢堆焊锤锻模的堆焊及热处理	517
一、铸钢堆焊锻模模体及堆焊金属的选择	517
二、铸钢板板电渣焊锻模	518
三、铸钢堆焊锻模的热处理	522
四、铸钢堆焊锻模的寿命与失效形式	523
第五节 陶瓷型精铸锤锻模及热处理	524
一、陶瓷型精密铸造模具工艺	525
二、陶瓷型精铸锻模用钢	529
三、热处理工艺	532
四、陶瓷型精密铸造模块的寿命	533
第七章 主要参考文献目录	534
第八章 热挤压和高速锤模具用钢及热处理	536
第一节 热挤压模具的工作条件与失效形式	536
一、热挤压模具的工作条件	536
二、热挤压模具的失效形式	541
第二节 热挤压模具用钢及热处理工艺	543
一、热挤压模具用钢的选择	543
二、热挤压模具的热处理工艺	553
第三节 钢结硬质合金热冲孔冲头	563
一、热冲孔冲头的结构与工作条件	563
二、钢结硬质合金热冲孔模的制造	563
第四节 高速锤模具用钢及热处理	565
一、高速锤模具的工作条件与失效形式	565
二、高速锤模具用钢的选择	572
三、高速锤模具的热处理工艺	576
第八章 主要参考文献目录	581
第九章 热切边模和铆钉模用钢及热处理	582
第一节 热切边模的工作条件及用钢	582
一、热切边模的工作条件	582
二、热切边模用钢	582
第二节 热切边模的热处理	583
一、热切边模的硬度选择	583
二、热切边模的热处理	583
第三节 热切边模的堆焊和等离子喷焊	584
一、堆焊热切边模	584
二、等离子喷焊热切边模	585

第四节 硬质合金热切边模	589
一、硬质合金热切边模材料	589
二、硬质合金模的镶接方法	590
三、硬质合金热切边模的应用	593
第五节 铆钉模用钢及热处理	594
一、铆钉模的工作条件及主要失效形式	594
二、铆钉模用钢	596
三、T8 钢铆钉模热处理工艺	597
第九章主要参考文献目录	598
第十章 金属压铸模具用钢及热处理工艺	599
第一节 锌合金压铸模热处理	599
一、模具材料	599
二、模具热处理	599
第二节 铝合金压铸模热处理	602
一、工作条件	602
二、模具材料	602
三、模具热处理	605
四、防粘模处理	607
五、模具热处理实例	608
第三节 铜合金压铸模热处理	611
一、工作条件	611
二、模具材料	611
三、模具热处理	614
第四节 黑色金属压铸模热处理	614
一、工作条件	614
二、模具材料	614
三、模具热处理	616
第五节 提高压铸模寿命的措施	618
一、模具设计	619
二、模具制造	619
三、操作规程	620
四、增进钢的洁净度	620
五、采用化学热处理	621
六、去应力回火	621
七、合理选用模具材料和热处理工艺	622
第十章 主要参考文献目录	622

绪 论

模具是实现少、无切削加工的重要工艺装备，在现代生产中日益得到广泛的应用。模具的承载能力、工作寿命、制造精度及合格品率，在很大程度上取决于模具用钢的化学成分、材料质量及热处理工艺。

按照用途的不同，所有的模具大致可分为六大类：

一、粉料压制模——粉末冶金压模，陶瓷及耐火制品压模。

二、冷冲压模——冷冲剪模，冷冲裁模，冷精压模，冷镦模，冷滚压模，冷拉拔模，冷挤压模，冷成型模。

三、热锻压模——锤锻模，压力机锻模，平锻模，辊锻模，热镦锻模，热剪切模。

四、压力铸造模——低熔点合金压铸模，锌合金压铸模，铝合金压铸模，铜合金压铸模，黑色金属压铸模。

五、塑料模——热固性塑料压模，热塑性塑料注射模。

六、玻璃压模。

在机械制造工业中，最广泛使用的是各种冷冲压模、热锻压模、压力铸造模。目前，由于冷挤、精冲、精锻等工艺的发展，塑性加工工艺由毛坯生产进入成品加工的领域，使模具的精度不断提高，载荷大幅度增强；由于机器制造用料由普通结构钢扩展到高强度钢和高温合金，材料的变形抗力愈来愈高，要求模具具有更高的强度、耐磨性、耐热性、抗热疲劳能力等性能；随着压力加工自动机、自动化生产线的应用，加工速度的增高，对模具的工作寿命提出了更高的要求。一个模具失效，可能造成整条生产线停顿。因此，模具的工作寿命水平，成为自动化设备能否发挥其优越性的重要因素。

目前工业中应用的模具用钢以工具钢为主，有时，也使用高

强度结构钢、粉末冶金材料、有色金属和塑料等。常用的模具钢种类很多，为便于管理、供应和使用，各国都趋于归并削减钢号，重点放在提高冶金质量，增加钢材品种。西德模具用合金工具钢的标准钢号，已由 1963 年的 92 种减少到 1970 年的 23 种。我国合金工具钢的标准钢号，也由 1959 年的 56 种缩减到 1977 年的 33 种。国际通用的标准钢号，只有 10 种左右。

面对我国模具技术的现状，除继续引进和研制高性能的模具新钢种外，更应注意研究模具的工作条件、失效机理，模具钢的强化化处理新工艺，合理选用模具材料，扬长避短，量材使用，充分发挥钢种的潜力。

本书将在对影响模具寿命各项基本因素作全面分析的基础上，重点介绍各类模具的失效特点，模具用钢的特性及其合理选择，模具毛坯锻造工艺特点，各类模具热处理工艺及防止工艺缺陷的措施，提高模具使用寿命的工艺措施等方面的基本知识，和国内外行之有效的实际经验。

第一章 影响模具寿命的基本因素

模具的工作寿命，主要决定于模具在工作时承受的热——机械载荷水平和模具本身的承载能力。

影响模具承载能力的因素很多，除压力加工工艺外，还决定于与模具设计、模具材料、模具的冷加工、模具的热加工、模具的工作条件等五个方面有关的各种因素。

第一节 模具结构对使用寿命的影响

模具的结构，对于模具的承载能力和承载水平两者，都有着明显的影响。

合理的结构有助于增强模具承载能力，减轻模具承受的热——机械载荷水平，防止冲头与凹模之间的啃伤。

一、导向结构的影响

可靠的导向结构，对于避免冲头与凹模间互相啃伤，极为有效。对于无间隙或小间隙的大中型多型腔冲裁模更为重要。

例如在 2mm 厚的 08 钢板上冲裁 M3 螺母的冲裁模，用 T10 工具钢制作，工作硬度为 HRC55~59，若无导向结构，当条料冲至尾端时，常发生冲头冲半孔，对冲头附加弯曲载荷，导致发生啃伤和冲头早期折断，寿命极不稳定。为了防止凹模被啃伤，曾降低冲头的硬度，但又降低了冲头的耐磨性。增加导向板后，冲头悬臂部分的长度，由 35mm 缩短到 9mm，提高了冲头的刚性

表 1-1 六角螺母冲模结构改进前后寿命对比

无导向板的冲头寿命 (件)	加导向板的冲头寿命 (件)
八套模具共冲裁 6220 件	二套模具共冲裁 77000 件
平均寿命 778 件	平均寿命 38500 件

和引导精度，从而减轻了啃伤和早期折断现象，使模具寿命大幅度提高，如表 1-1 所列。

二、减载措施的影响

减轻模具在使用过程中承受的热——机械载荷，避免局部过载，也是提高模具寿命的重要途径。特别是对于在接近极限载荷的条件下服役的模具，其效果更为明显。

六角螺栓冷锻冲头承受的压应力大于 200kgf/mm^2 ，冲击频率为每分钟60次。按原设计图纸加工，冲头根部的应力集中无法避免。因而，服役于极限承载状态。后来，改进了冲头的形状及尺寸，结果使冲头的工作应力降低了20%，寿命延长了九倍。

模锻锤，高速锻锤，主要依靠冲击能使毛坯成形。当工件成形后，还有剩余的冲击能，必须通过模具承受和吸收，如果没有足够大的承击面，极易使模具型腔过载而发生变形或开裂。

高速锤锻模由于强烈的冲击载荷而容易发生早期断裂失效。如适当加大模具的承击面，可显著减少早期断裂失效。

对定行程锻压设备（机械压力机）使用的模具，要考虑到毛坯可能超重导致过载，因而对封闭式挤压模，应当为多余的毛坯料留出飞边空间。

在冷锻、冷挤压模的底部开设排气孔，不仅可保证工件成形饱满、棱角清晰，并减少冲压力。反之，无排气孔，由于残留空气的影响，使工件棱角、顶端成型不良。如载荷过大，还可能使模具胀裂。设置排气孔后，不仅工件棱角饱满，模具寿命也可提高10~20%，见图 1-1 所示。

国内外许多试验结果表明，采用传统间隙的模具，刃口磨损快、寿命短。适当加大间隙（由料厚的7%加大到15%），模具寿命显著增加，如图 1-2 所示。

在设计热作模的型腔时，应尽量设法防止局部过热。如图1-3所示的热挤压镍——铜——锌合金棒料的 $3\text{Cr}2\text{W}8\text{V}$ 钢制垫块，其棱角部分软化变形而早期失效。将棱角改为 $R=20$ 的圆角后，使用寿命由 95 次上升到 195 次，增高了一倍。