



面向“十二五”高等教育课程改革项目研究成果

模具制造技术基础

◆ 主 编 王宏霞 吴燕华



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

面向“十二五”高等教育

模具制造技术基础

MU JU ZHI ZAO JI SHU JI CHU

主 编 王宏霞 吴燕华

副主编 徐春艳 赵金广

 **北京理工大学出版社**

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书根据模具企业对人才的要求并结合高等院校模具专业的人才培养方案,以“必须、够用”为目的,系统地介绍了模具制造技术,内容上既有传统的模具制造技术的基础知识,也有模具制造的新技术、新工艺的介绍,其内容包括模具材料及热处理、模具制造工艺规程的编制、模具零件毛坯的加工、模具零件的机械加工、模具特种加工方法、模具制造的其他方法、模具光整加工、模具典型零件的加工及模具装配。

本书可作为高等院校模具设计与制造专业的教材,也可供模具设计、制造和使用的广大工程技术人员使用。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

模具制造技术基础 / 王宏霞, 吴燕华主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2011. 6

ISBN 978 - 7 - 5640 - 4574 - 6

I. ①模… II. ①王… ②吴… III. ①模具-制造-高等学校-教材 IV. ①TG76

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 092572 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (办公室) 68944990 (批销中心) 68911084 (读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京市通州富达印刷厂

开 本 / 710 毫米 × 1000 毫米 1/16

印 张 / 21

字 数 / 393 千字

版 次 / 2011 年 6 月第 1 版 2011 年 6 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 1500 册

定 价 / 46.00 元

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

前 言

模具在现代工业的生产中日益发挥着重大作用,广泛应用于汽车、机械、电子、轻工、家电、通信、军事和航空航天等领域,是当今工业生产中一种重要的工艺装备,也是最重要的工业生产手段和工艺发展方向。一个国家工业水平的高低在很大程度上取决于模具工业的发展水平,因此模具工业的发展水平成为一个国家制造技术水平的重要标志之一。随着模具工业飞速的发展,社会上对既具有理论知识又具有高技能的模具制造加工人才需求越来越多。“模具制造技术基础”是为培养模具设计与制造专业人才而设置的专业课程之一。

根据模具企业对模具专业人才的要求,围绕高等院校人才培养目标,我们编写了本教材。在编写本教材时,考虑到目前许多学校在培养计划中在技术基础课程和学时上出现的新情况,本书对传统的教材结构进行了调整,将《模具材料与热处理》《机械制造工艺学》《模具制造工艺学》等教材进行了适当的重新组合成为本教材,在取材过程中本着以学生为主体,以能力培养为目标,以企业需求为依据,以就业为导向的原则,取舍适当,特别注重学生模具制造技术的综合应用能力。

全书共分 10 个项目,主要内容包括模具制造技术的概述、常用模具材料及热处理、模具制造工艺过程的编制、模具零件毛坯的加工、模具零件的机械加工、模具特种加工、模具制造的其他方法、模具的光整加工、模具典型零件的加工、模具装配等。内容力求适应高等院校的教学要求,从生产实践出发,体现新技术、新工艺,突出实用性,内容通俗易懂,可供高等院校模具专业的师生使用,也可供从事模具设计与制造的工程技术人员参考使用。各项目均附有一定数量的思考与练习,以供学生复习、巩固、提高之用。建议教学时数为 80 ~ 100 学时。

《模具制造技术基础》的基本要求:

- (1) 了解模具制造技术的现状和发展趋势。
- (2) 熟悉常用模具材料的型号及选择。
- (3) 掌握模具零件加工工艺路线编制。
- (4) 掌握模具零件毛坯的类型及选用原则。
- (5) 掌握模具零件的加工方法,包括普通机械加工、特种加工及其他方法。
- (6) 掌握模具零件的光整加工。
- (7) 掌握典型模具零件的加工。
- (8) 掌握模具零部件的装配。

本教材由王宏霞、吴燕华担任主编。全书内容中,项目七、项目九、项目十

由王宏霞编写，项目一、项目二、项目四由吴燕华编写，项目三由徐春艳编写，项目五、项目六、项目八由赵金广编写。全书内容由王宏霞负责统稿。在编写过程中，参阅了相关教材、资料和文献，在此对有关作者表示衷心感谢。

由于编者水平有限，编写时间比较仓促，书中错误和不妥之处在所难免，敬请广大读者不吝赐教！

编 者

目 录

项目一 模具制造技术的概述	1
任务 1.1 模具制造技术的现状和发展趋势	1
任务 1.2 模具制造特点及基本要求	3
项目二 模具材料及热处理	5
任务 2.1 冷作模具材料的选用及热处理	5
任务 2.2 热作模具材料及热处理	32
任务 2.3 塑料模具材料及热处理	50
项目三 模具制造工艺规程的编制	68
任务 3.1 模具制造工艺规程编制的基本概念	68
任务 3.2 模具制造工艺规程编制的原则和步骤	74
任务 3.3 模具零件的工艺分析	78
任务 3.4 毛坯的选择	81
任务 3.5 模具零件的基准选择和安装	82
任务 3.6 工艺路线的拟订	92
任务 3.7 加工余量的确定	107
任务 3.8 工序尺寸及其公差确定	112
任务 3.9 机床与工艺装备的选择	120
任务 3.10 切削用量与时间定额的确定	121
项目四 模具零件毛坯的加工	123
任务 4.1 模具零件加工中常用的毛坯种类	123
任务 4.2 毛坯的选择原则	124
任务 4.3 常用零件毛坯制造方法的比较	125
任务 4.4 典型模具零件毛坯的选择	125
项目五 模具零件的机械加工	131
任务 5.1 车削加工	131
任务 5.2 磨削加工	134

任务 5.3 铣削加工	136
任务 5.4 刨削加工	139
任务 5.5 钳工	142
任务 5.6 模具精密机械加工	145
任务 5.7 模具数控机床加工	158
项目六 模具特种加工方法	166
任务 6.1 电火花加工	166
任务 6.2 电火花线切割加工	188
任务 6.3 超声波加工	203
任务 6.4 电化学加工	207
项目七 模具制造的其他方法	220
任务 7.1 型腔的冷挤压加工	220
任务 7.2 快速成形制模技术	225
任务 7.3 超塑成形工艺	231
任务 7.4 铸造制模技术	233
项目八 模具光整加工	240
任务 8.1 研磨与抛光	240
任务 8.2 电化学抛光	249
任务 8.3 超声波抛光	252
任务 8.4 其他光整加工	257
项目九 模具典型零件的加工	260
任务 9.1 模架的加工	260
任务 9.2 冲裁凸模和凹模加工	275
任务 9.3 型腔加工	288
项目十 模具装配	291
任务 10.1 模具装配基础知识	291
任务 10.2 装配尺寸链	292
任务 10.3 模具装配方法及其应用范围	293
任务 10.4 冲裁模的装配	297
任务 10.5 塑料模的装配	313
参考文献	328

项目一 模具制造技术的概述

预期目标

1. 了解模具制造技术的现状和发展趋势。
2. 了解模具制造特点及基本要求。

任务 1.1 模具制造技术的现状和发展趋势

1. 模具在国民经济中的地位与作用

模具是成形加工的基础，模具的设计与制造是成形加工的核心，而模具的质量和使用寿命则是决定成形加工过程是否经济可行的关键。

模具是生产许多产品的重要工艺装配，它以其特定的形状通过一定的方式使原材料成形。例如，锻件和冲压件都是通过锻造或冲压方式使金属材料在模具内发生塑性变形而获得的；粉末冶金件、压铸件以及橡胶、塑料、陶瓷等非金属制品，绝大多数也是用模具成形的。用模具成形零件，具有高产、优质、低成本等特点，因此在机械制造、家用电器、轻工日用品、石油化工、仪器仪表、汽车、自行车、拖拉机、航空航天等工业部门得到了极其广泛的应用。据统计，利用模具制造的零件，在自行车、洗衣机、电冰箱、电风扇、手表等轻工产品中约占85%以上；在电视机、录音机、计算机等电子产品中约占80%以上；在汽车、拖拉机、飞机、电机电器、仪器仪表等机电产品中占60%~70%。

随着社会经济的发展，人们对工业产品的品种、数量、质量及款式都有越来越高的要求。为了满足人们的要求，世界上各工业发达国家都十分重视模具技术的研究和开发，大力发展模具工业，采用先进技术和设备，提高模具制造水平，并取得了显著的经济效益。

目前，人们普遍认识到，研究和开发模具技术，对促进国民经济的发展具有特别重要的意义。模具技术已成为衡量一个国家产品制造水平的重要标志之一。对于模具在现代工业中的重要地位有很多说法。比如，美国：模具工业是美国工业的基石；日本：模具是进入富裕社会的原动力；德国：模具是金属加工业中的帝王；中国：模具是效益放大器。可以断言，模具工业在国民经济中的地位将会

日益提高,模具技术也会得到不断发展,并在国民经济发展过程中发挥越来越重要的作用。

2. 我国模具技术的现状

我国已经具备制造大型、精密、复杂、长寿命模具的能力。如硬质合金多工位级进模,步距精度 $<0.005\text{ mm}$,成形表面粗糙度达 $0.4\sim0.1\text{ }\mu\text{m}$,镶件的重复定位精度 $<0.005\text{ mm}$,互换性好,模具寿命达1亿冲次,具有自动冲切、叠压、铆合、扭角、计数分组和安全保护功能。又如,大型的塑料模,重达10吨以上,尺寸精度为 0.01 mm ,型腔表面粗糙度 $=0.1\text{ }\mu\text{m}$,模具寿命达30万次以上。达到国际同类模具产品的技术水平。

3. 影响模具制造技术发展的因素

(1) 制造设备水平的提高促进模具制造技术的发展。

先进的模具加工设备拓展了机械加工模具的范围,提高了加工精度,降低了表面粗糙度,大大提高了生产效率。如数控仿形铣床、加工中心、精密坐标磨床、数控坐标磨床、数控电火花成形机、慢走丝线切割、精密电加工机床、三坐标测量机、挤压研磨机、激光快速成形机等。

(2) 模具新材料的应用促进模具制造技术的发展。

模具材料是影响模具寿命、质量、生产效率和生产成本的重要因素,目前我国模具寿命仅为发达国家的 $1/5\sim1/3$,而其中材料和热处理原因占60%以上。随着新型优质模具钢的不断开发(如65Nb、LD1、HM1、GR等)以及热处理工艺和表面强化处理工艺的进一步完善和发展(如组织预处理、高淬低回、低淬低回、低温快速退火等热处理工艺以及化学热处理、气相沉积、渗金属、电火花强化等新工艺、新技术),都将极大地促进和提高模具制造技术的快速发展。

(3) 模具标准化程度的提高促进模具制造技术的发展。

模具的标准化程度是模具技术发展的重要标志,目前我国的标准化程度约占30%(50多项国家标准300多个标准号),而发达国家为70%~80%,标准化促进了模具的商品化,商品化推动了模具生产的专业化。从而提高模具制造质量,缩短制造周期,降低制造成本,也促进新材料、新技术的应用。

(4) 模具现代设计和制造技术促进了模具制造技术的发展。

CAD/CAM/CAE技术的发展,使模具设计与制造向着数字化方向发展,尤其在成形零件方面软件(如UG、Pro/E)的广泛应用,实现了模具设计与制造的一体化,极大地提高了模具制造技术和制造水平,也是未来模具制造技术的主要发展方向。

4. 模具制造技术的发展趋势

社会快速发展,产品不断增多,更新换代加快,模具质量和生产周期尤为重要,从而决定了模具制造技术的发展趋势。

(1) 粗加工向高速加工发展。

如 VHM 超高速加工中心 $F=76 \text{ m/min}$, $S=4\,500 \text{ r/min}$ 。此外,还有高速车削中心、精密坐标镗床、高速锯床、激光切割等。

(2) 成形表面的加工向精密、自动化方向发展。

(3) 光整加工向自动化方向发展。

减少研磨、抛光等光整加工的手工作业,实现计算机控制的自动加工设备,提高光整质量和工效。

(4) 反向制造工程制模技术的发展。

以三坐标测量机和快速成形技术为代表的反向制模技术是以复制为原理的制造技术,是模具制造技术的又一重要发展方向,特别适用于多品种、小批量、形状复杂的模具制造。

(5) 模具 CAD/CAM/CAE 技术将有更快的发展。

从模具结构设计——模具工作状态的模拟——自动加工程序的生成——自动化加工——自动检测,实现设计到制造的一体化是模具制造业发展的必然趋势。

任务 1.2 模具制造特点及基本要求

1. 模具制造特点

模具制造属机械制造的研究范畴,但由于模具作为专用工艺装备,模具制造难度较大,因此又与一般的机械制造有所不同,与一般机械制造相比,其制造特点如下。

(1) 制造质量要求高。模具制造不仅要求加工精度高,而且还要求加工表面质量要好,一般来说,模具工作部分的制造公差都应控制在 $\pm 0.01 \text{ mm}$ 以内,有的甚至要求在微米级范围内;模具加工后的表面不仅不允许有任何缺陷,而且工作部分的表面粗糙度都要求 $Ra \leq 0.8 \text{ mm}$ 。

(2) 材料硬度高。模具是一种工艺装配,相当于一种机械加工工具,其硬度要求高,一般都是用淬火工具钢或硬质合金等材料制成,若采用一般的机械加工方法制造比较困难。

(3) 形状复杂。模具的工作部分一般都是二维或三维的复杂曲面(尤其是型腔),而不是一般机械加工的简单几何体,因此加工难度大。

(4) 单件生产。一般情况下,生产一个制品,只需一二副模具,所以模具制造一般都是单件生产。每制造一副模具,都必须从设计开始,所以,模具的设计、制造周期都比较长。

(5) 生产周期短。市场决定产品,更新换代快。

(6) 必须进行试模与修整。模具设计的经验性较多,有些尺寸必须经过试

模决定。同时,还要考虑前后工序模具的关系。

2. 模具制造基本要求

模具在工业产品生产中的作用是保证产品质量、提高生产率和降低成本等。模具的制造,除了正确进行模具设计,采用合理的模具结构之外,还必须以先进的模具制造技术作保证。制造模具的基本要求如下。

(1) 制造精度高。为了生产合格的产品和发挥模具的效能,设计和制造的每套模具都必须具有较高的精度。模具的精度主要由制品精度和模具结构的要求来决定。为了保证制品的精度,模具的工作部分精度通常要比制品精度高2~4级;模具结构对上、下模之间配合有较高的要求。所以,组成一套模具的零部件都必须达到规定要求的制造精度,否则将不可能生产出合格的制品,有时甚至会损坏模具。

(2) 使用寿命长。模具一般是精密而价格昂贵的工艺装配,目前模具制造费占产品成本的10%~30%,其使用寿命长短将直接影响产品的成本高低。因此,除了新产品试制和小批量生产等特殊情况外,一般都要求模具有较长的使用寿命,在大批量生产的情况下,模具的使用寿命显得更为重要。

(3) 模具成本低。模具成本的高低将直接关系到产品的市场竞争力。它与模具结构的复杂程度、模具材料、制造精度的要求及加工方法等有关。模具技术人员必须根据制品的要求合理设计和制订其加工工艺。

(4) 制造周期短。模具制造周期的长短主要决定于制模技术和生产管理水平的高低。为提高产品的市场竞争能力,满足生产的需要,在保证模具质量的前提下应尽量缩短模具的制造周期。

必须指出,以上4个基本要求是相互关联、相互影响的。若片面追求模具的使用寿命和模具质量则必然会导致制造成本的增加。但只考虑降低成本和缩短制造周期而忽略模具精度和使用寿命的做法也是不可取的。因此,在设计与制造模具时,应根据实际情况作全面的考虑,即应在保证制品质量的前提下,选择与制品生产量相适应的模具结构和制造方法,使模具成本降低到最低的限度,以提高产品的市场竞争能力。

项目二 模具材料及热处理

预期目标

1. 熟悉常用的冷作模具材料型号及用途。
2. 熟悉常用的热作模具材料型号及用途。
3. 熟悉常用的注塑模具材料型号及用途。
4. 会根据要求选用合适的材料。
5. 熟悉各种材料的热处理工艺。

任务 2.1 冷作模具材料的选用及热处理

2.1.1 冷冲裁模材料的选用原则和方法

(1) 选用冷冲裁模用钢主要应考虑模具的寿命，但寿命长短又不是唯一的选用依据。

(2) 应考虑冲压件的材质，如铜合金、铝合金、镁合金、普通碳素钢、低合金钢、弹簧钢和硅钢片等，不同材质的冲压件，其冲压难易程度相差很大。

(3) 应考虑冲压件的生产类型，如批量不大，选用长寿命模具就没必要。

(4) 冲压件的形状、尺寸、厚度、尺寸公差和毛刺等各种因素对模具寿命影响极大，也应考虑。

(5) 还要考虑模具材料费用占模具总成本的份额，如模具形状复杂，很难加工，加工费用占模具总成本比例很高，而模具材料费只占总成本很小比例，就应选用高性能模具钢。

(6) 冲压件材质及模具功能的不同，对模具硬度的要求也不同。对冷冲裁模刃口部位要求具有高的硬度、耐磨性及一定的韧性。

2.1.2 常用冷作模具材料

1. 碳素结构钢

碳素结构钢分为正常含锰钢和较高含锰钢。塑料模具制造中常用的正常的含

锰钢有：15、20、40、45、50 等牌号钢；常用较高含锰钢有：15 Mn、20 Mn、40 Mn、45 Mn 等。

碳素结构钢中应用最广泛的一种是 45 号钢，这种钢的优点是具有良好的切削性能，调质处理后还可获得较好的力学性能， $\sigma_b \geq 650 \text{ MPa}$ ， $\delta \geq 17\%$ ，硬度不大于 235 HBS，缺点是热处理后变形大。15 号钢和 20 号钢经渗碳和淬火处理可制造导柱、导套和其他一些耐磨性能的零件，也可用冷挤压法压制模腔。

2. 低淬透性冷作模具钢

1) 碳素工具钢

碳素工具钢分为优质钢和高级优质钢。两者的差别在于前者含 S、P 高 ($w_s \leq 0.03\%$ ， $w_p \leq 0.035\%$)，后者含 S、P 低 ($w_s \leq 0.02\%$ ， $w_p \leq 0.03\%$)。S、P 含量高会影响钢的性能，使之变脆。模具制造中常用的优质钢有 T7、T8、T9、T10、T12 等牌号；常用的高级优质钢有 T7A、T8A、T10A、T12A 等牌号。它们的化学成分见表 2.1-1。

表 2.1-1 常用碳素工具钢的化学成分

钢号	化学成分 $w/\%$			性能相对顺序			
	C	Mn	Si	淬透性	韧性	耐磨性	淬火工艺性
T7A	0.7	0.3	0.3	1	4	1	1
T8A	0.8	0.3	0.3	4	3	2	3
T10A	1.1	0.3	0.3	3	2	3	4
T12A	1.2	0.3	0.3	2	1	4	2

注：性能顺序按 1→4，表示性能由低→高。

(1) 力学性能。

钢的力学性能主要取决于钢的最终热处理工艺，同一种材料经不同的热处理后表现出来的力学性能不同，而且同一种材料用于加工不同类型的模具，其最终热处理工艺也不同。

① 碳含量的影响：钢的硬度主要取决于碳含量，碳含量越高硬度一般也越高。钢的耐磨性也取决于碳含量，碳含量越高，耐磨性越好，如 T12 钢比 T10 钢耐磨性稍高。而钢的韧性随碳含量的增加而下降。钢的强度随碳含量的增加而增加。

② 淬火温度的影响：碳素工具钢的力学性能受淬火温度的影响基本相同。提高淬火温度会使碳素工具钢的强韧性下降。实践证明，适当提高淬火温度，可增加硬化层厚度，从而提高模具的承载能力。因此，一般对与直径小于 15 mm、容易完全淬透的小型模具，可采用较低的淬火温度 (760 ℃ ~ 780 ℃)；对于大、

中型模具, 就应适当提高淬火温度 ($800\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 850\text{ }^{\circ}\text{C}$) 或采用高温装炉快速加热工艺 (炉温可高于上述温度)。

③ 回火温度的影响: 回火温度超过 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以后, 随着回火温度的升高, 钢的韧性及抗弯强度 σ_{bb} 增加, 而钢的硬度下降; 抗弯强度 σ_{bb} 在 $220\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 250\text{ }^{\circ}\text{C}$ 达到极值。为了获得高的硬度, 冷作模具一般在 $150\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 回火。碳素工具钢经淬火、回火后可获得较高的硬度 ($\geq 58 \sim 61\text{ HRC}$), 但耐磨性较差。在常规淬火情况下, 碳素工具钢的耐磨性随着牌号的增大而增加, 这是残余碳化物数量增加之故。

(2) 工艺性能。

① 锻造性能: 碳素工具钢的变形抗力小, 锻造温度范围宽, 锻造工艺性能良好, 碳素工具钢的锻造工艺规范见表 2.1-2。

表 2.1-2 碳素工具钢的锻造工艺规范

钢号	始锻温度/ $^{\circ}\text{C}$	终锻温度/ $^{\circ}\text{C}$	冷却方式
T7A、T8A	1130 ~ 1160	≥ 800	单件空冷或堆放空冷
T10A、T12A	1100 ~ 1140	800 ~ 850	空冷到 $650\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 700\text{ }^{\circ}\text{C}$ 后转入干砂、炉灰坑中缓冷

② 预备热处理: 为了消除锻坯的锻造应力, 细化组织, 降低硬度, 便于切削加工, 为淬火做好组织准备, 必须进行预备热处理。预备热处理采用球化退火, 一般采用等温球化退火。退火后的组织为球状珠光体, 硬度 $\leq 197\text{ HBS}$, 切削加工性较好。

若钢坯锻造后出现了晶粒粗大或网状渗碳体, 则应先进行正火后再安排退火, 通常采用的正火工艺是钢件经高温加热后鼓风冷却, 使二次渗碳体来不及呈网状析出。

碳素工具钢球化退火及正火工艺规范见表 2.1-3 和表 2.1-4。

表 2.1-3 碳素工具钢球化退火工艺规范

钢号	相变点/ $^{\circ}\text{C}$		加热温度/ $^{\circ}\text{C}$	第一次保温时间/h	等温温度/ $^{\circ}\text{C}$	第二次保温时间/h	退火后硬度/HBS
	A_{c1}	A_{r1}					
T7A、T8A	730	700	750 ~ 770	1 ~ 2	680 ~ 700	2 ~ 3	163 ~ 187
T10A、T12A	730	700	750 ~ 770	1 ~ 2	680 ~ 700	2 ~ 3	179 ~ 207

表 2.1-4 消除碳素工具钢缺陷的正火工艺规范

钢号	Accm/℃	正火温度/℃	硬度/HBS	正火目的
T7A	770	800~820	229~285	促进球化, 获得较适合的硬度, 以便于切削加工
T8A	740	800~820	241~302	
T10A	800	830~850	255~321	加速球化或提高淬透性, 消除网状碳化物
T12A	820	850~870	269~341	

③ 淬火及回火工艺性: 碳素工具钢淬火后获得淬火马氏体组织, 使模具具有高硬度和耐磨性。淬火温度的高低对淬火后模具质量有着重要影响。碳素工具钢经淬火后, 存在较大的内应力, 强度、韧性不够高, 必须再经低温回火(150℃~250℃)。表 2.1-5 为碳素工具钢的淬火及回火工艺规范。

表 2.1-5 碳素工具钢的淬火及回火工艺规范

钢号	淬 火			回 火		
	加热温度/℃	冷却介质	硬度/HRC	加热温度/℃	保温时间/h	硬度/HRC
T7A	780~800	盐或碱的水溶液	62~64	140~160 160~180	1~2	62~64 58~61
	800~820	油或熔盐	59~61	180~200	1~2	56~60
T8A	760~770	盐或碱的水溶液	63~65	140~160 160~180	1~2	60~62 58~61
	780~790	油或熔盐	60~62	180~200	1~2	56~60
T10A	770~790	盐或碱的水溶液	63~65	140~160 160~180	1~2	62~64 60~62
	790~810	油或熔盐	61~62	180~200	1~2	59~61
T12A	770~790	盐或碱的水溶液	63~65	140~160 160~180	1~2	62~64 61~63
	790~810	油或熔盐	61~62	180~200	1~2	60~62

扭转冲击实验表明: 碳素工具钢在 200℃~250℃回火时, 会产生第一类回火脆性。因此, 要求韧性较高的碳素工具钢制模具应避开此温度回火。而对于承受弯曲及抗压载荷的碳素工具钢制模具为获得高抗弯强度来提高模具寿命, 仍可在 220℃~280℃回火。

(3) 碳素工具钢的应用范围。

碳素工具钢价格便宜, 在退火状态下具有较好的切削加工性能, 通过热处理能获得较高的硬度和一定的耐磨性。但其淬透性低, 淬火变形大、淬火开裂倾向大、耐磨性较差。因此, 碳素工具钢适宜于制造尺寸较小、形状简单、载荷较

轻、生产批量不大的冷作模具，如小型的切边模、落料模、拉深模等。

2) GCr15 钢（轴承钢）

G 表示轴承专用钢，Cr15 是用千分数表示铬的含量为 1.5%。Cr15 是在 T10A 钢中加入了少量的铬而形成的。少量的铬加入，提高了钢的淬透性，增加了回火稳定性，减少了淬火变形和淬火开裂倾向。

（1）力学性能。

① 淬火温度的影响：GCr15 钢的常规淬火组织为隐晶马氏体、均匀分布的球状碳化物以及少量的残余奥氏体，奥氏体中碳的质量分数为 0.5% ~ 0.6%。GCr15 钢的常规淬火温度为 830 ℃ ~ 860 ℃，一般多用油冷，最佳淬火温度为 840 ℃，淬火后的硬度可达 63 ~ 65 HRC。

淬火温度超过 860 ℃ 时，由于残余奥氏体量的增加和奥氏体晶粒的粗化，其淬火后的硬度趋于下降，钢的硬度和韧性也明显下降。当淬火温度为 835 ℃ 时，疲劳强度极限为最高。

② 回火温度的影响：GCr15 钢经淬火后必须回火。随着回火温度的升高，回火后的硬度下降。回火温度超过 200 ℃ 后，则将进入第一类回火脆性区，所以，GCr15 钢的回火温度一般为 160 ℃ ~ 180 ℃。

（2）工艺性能。

① 锻造性能：GCr15 钢的锻造性能较好。锻造工艺一般为：加热温度 1 050 ℃ ~ 1 100 ℃，始锻温度 1 020 ℃ ~ 1 080 ℃，终锻温度 800 ℃ ~ 850 ℃，锻后空冷。锻后组织为细片状的珠光体，也允许有细小网状碳化物出现。这样的组织可以不经正火而直接进行球化退火。

② 球化退火和正火：为了消除锻坯的锻造应力，细化组织，降低硬度，便于切削加工，为淬火做好组织准备，必须进行预备热处理。预备热处理采用球化退火，一般采用等温球化退火。等温球化退火工艺为：加热温度为 770 ℃ ~ 790 ℃，保温 2 ~ 4 h，等温温度为 690 ℃ ~ 720 ℃，等温时间 4 ~ 6 h。退火后的组织为细小而均匀的球状珠光体，硬度为 179 ~ 229 HBS，切削加工性较好。

GCr15 钢锻后如果出现严重的网状碳化物或晶粒粗大，应在球化退火之前进行正火处理。正火处理工艺为：加热温度为 900 ℃ ~ 920 ℃，冷速不能小于 40 ~ 50 ℃/min。

③ 淬火工艺性：GCr15 钢的常规淬火温度为 830 ℃ ~ 860 ℃，常用冷却介质为油，淬火后的硬度可达 63 ~ 64 HRC。油淬临界直径为 25 mm，过热倾向小，残余奥氏体量少，淬火变形和淬火开裂倾向较小。

④ 回火工艺：回火温度可在 150 ℃ ~ 180 ℃ 范围选择，受冲击较小的模具可取下限温度，受冲击较大的模具可取上限温度，但回火温度不宜超过 200 ℃，回火后硬度可达 58 ~ 65 HRC。

（3）应用范围。

GCr15 钢的淬透性、淬硬性和耐磨性都较碳素工具钢高，在淬火、回火时的

尺寸变化也不大，因此，GCr15 应用于小型的冷冲模、切边模、低压力下的冷镦模、冷挤压凹模、拉丝模等。

3. 低变形冷作模具钢（高碳低合金）

低变形冷作模具钢是指钢经淬火、回火后，其热处理变形量较小。它是在碳素工具钢的基础上加入了少量合金元素而形成的。通常加入的合金元素有 Cr、Mn、Mo、Si、W、V 等，这些合金元素的加入可降低淬火冷却速度，减少热应力、组织应力和淬火变形及开裂倾向，钢的淬透性也明显提高；形成特殊碳化物，细化晶粒，提高回火稳定性。因此，碳素工具钢不能胜任的模具，可考虑选用高碳低合金来制作。常用的化学成分及基本特点见表 2.1-6。下面介绍 CrWMn、9Mn2V、9SiCr 这 3 种典型的低变形冷作模具钢。

表 2.1-6 低变形冷作模具钢的成分、特点

牌号	化学成分 w/%					特 点
	C	Mn	Cr	W	V	
MnCrWV	1.0	1.2	0.6	0.6	0.2	综合性能优良，各国通用
CrWMn	1.0	1.0	1.0	1.4	—	耐磨性较好，易出现材质缺陷
9CrWMn	0.9	1.0	0.6	0.6	—	韧性、塑性较好，耐磨性较低
9Mn2V	0.9	1.8	—	—	0.2	淬火变形小，韧性、淬透性偏低
9Mn2	0.9	1.8	—	—	—	过热敏感性较强，易于加工，变形小
SiMnMo	1.5	1.2	1.0 (Si)	0.4 (Mo)	—	耐磨性、抗咬合性好，韧性低

1) 相变点

低变形冷作模具钢 CrWMn、9Mn2V、9SiCr 的相变点见表 2.1-7。

表 2.1-7 CrWMn、9Mn2V、9SiCr 钢的相变点

钢号	$A_{c1}/^{\circ}\text{C}$	$A_{cm}/^{\circ}\text{C}$	$A_{r1}/^{\circ}\text{C}$	$M_s/^{\circ}\text{C}$
CrWMn	730	940	710	155
9Mn2V	730	765	652	125
9SiCr	770	870	730	160

2) 力学性能

CrWMn 与 9Mn2V 及 9SiCr 相比较，在淬火及低温回火状态下含有较多的碳化物，因而具有较高的硬度和耐磨性。W 还能细化晶粒，使钢具有较好的韧性。当 800℃ 淬火时，钢的抗弯强度、韧性最高。在 270℃ 以下回火时，强度及冲击韧度随回火温度升高而显著上升。约在 300℃ 回火，冲击韧性为最低，因此应尽量避免在 300℃ 附近回火。