

应用型本科教育系列教材

模具制造技术

MUJU ZHIZAO JISHU

胡红军 代兵 周志明 编著



重庆大学出版社

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



模具制造技术

胡红军 代 兵 周志明 编著

重庆大学出版社

内容提要

本书作为“应用型本科教育系列教材”中的一部分,编写理念是以工作过程为导向,以训练学生的职业技能为基本要求,以培养学生的工作能力为最终目的,注重理论联系实际,突出实用,同时又注重模具制造新技术、新工艺的介绍,并力求体现近几年来有关各院校在教学改革方面取得的成果。通过本课程教学,并配合其他实践环节使学生初步掌握工艺规程的制定;掌握一定基础理论知识;从而具有一定的分析、解决工艺技术问题的能力;为进一步学习本专业新工艺、新技术打下必要的基础。

本书可作为理工科特别是材料科学与工程学科高等院校高年级专科生、本科生、研究生及教师学习的教材和参考书,也可供科研院所从事相关研究的人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

模具制造技术/胡红军,代兵,周志明编著. —重庆:重庆大学出版社,2014.8

ISBN 978-7-5624-7115-8

I. ①模… II. ①胡…②代…③周… III. ①模具—制造—
高等职业教育—教材 IV. ①TG76

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 139075 号

模具制造技术

胡红军 代兵 周志明 编著

策划编辑:周立

责任编辑:文鹏 姜凤 版式设计:周立

责任校对:关德强 责任印制:赵晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:邓晓益

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路 21 号

邮编:401331

电话:(023)88617190 88617185(中小学)

传真:(023)88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn (营销中心)

全国新华书店经销

万州日报印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:17.75 字数:443千

2014年8月第1版 2014年8月第1次印刷

印数:1—3 000

ISBN 978-7-5624-7115-8 定价:35.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

前 言

模具制造技术是一门综合性、实践性很强的学科,也是近年来飞速发展的学科之一。在本书的编写过程中,编者既注重理论联系实际,突出实用,同时又注重模具制造新技术、新工艺的介绍,并力求体现出近几年来有关各院校在教学改革方面所取得的成果。当前《模具制造技术》课程教材轻应用、重理论,教学内容偏重于基础模具制造基本方法,而实际的先进的模具制造应用技术讲解则较少,操作方法、经验的教学内容比重也偏小,教学效果不能达到教学大纲要求的目标,与当前创新型、技能型人才的需求不相适应。具体表现在以下几点:

1. 内容大而全,可操作性差,各方面内容都有涉及,但都是泛泛而谈。
2. 缺少实验操作内容,《模具制造技术》作为一门应用型课程需要加强实验操作方面的内容,但是长期以来该课程的教材都是注重理论灌输,没有形成良好的实验内容体系。
3. 缺乏应用实例,学生很难得到感性认识。
4. 教材内容和专业课联系不够紧密,往往需要教师补充其他的专业内容才能完成本课程的教学。

5. 本书的编写弥补了《模具制造技术》课程教学的不足,弥补了当前“模具制造技术”课程教学辅导读物的缺乏,满足了实验操作和当前社会的需要。

本书的特色与创新:

1. 本书内容新、图文并茂,由富有教学经验和实践经验的教师编写。
2. 本书有针对性地选择模具制造技术应用的共性,兼顾模具制造领域的广泛性、前瞻性和多学科渗透的特殊性,选择有代表性的应用领域进行介绍。具有很强的操作性,学生根据步骤可以得到设计制造方案,提高了学生对该课程的兴趣。
3. 教材理论联系实际,具有较高起点和水平,很好地保证了课程内容能够反映本学科发展的最新成果和技术水平,既注重概念、原理的理解,又突出实践的应用,从而使课程教学体系更加科学合理,较好地满足了课程改革的发展需要。
4. 紧密结合其他专业课,直接为其他专业课程的学习服务。如其他专业课的设计数据直接可以用在本课程的教学,加强了课程之间的相关性。
5. 吸取国内同类教材的精华,使教材的科学性、系统性和针对性更加突出。
6. 本书内容丰富、叙述深入浅出、简明扼要、重点突出。目前市面上还没有同类书籍,在教学过程中不需要教师额外使用教学辅导教材,将理论与实践作了很好的结合。
7. 讲述了模具制造的基本理论→基本制造工艺→高级制造技术应用→模具制造的完整实例,主要以实际应用为主轴,深化了学生对基本理论的理解。同时以点带面,以介绍方法为主。

本书具体编写工作:项目1~项目5由重庆理工大学胡红军博士编写,项目6由重庆理工大学代兵副教授编写,项目7~项目9由重庆理工大学周志明博士编写,项目10~项目12由重庆科技学院的戴庆伟博士编写。

本书编写中参考了国内外出版的一些书籍以及网络资料,在此特向作者致谢。本书在编写过程中受到了重庆理工大学各级领导的支持和同事们的帮助,在此谨表感谢。

本书得到了国家自然科学基金(51101176)的资助。

编 者

2014年1月

目 录

绪 论

上篇 模具的初级加工方法

项目 1 模具的一般机械加工	8
任务 1 模具的普通车削加工	9
任务 2 轴类零件车削工艺分析	15
任务 3 模具零件的铣削加工	18
任务 4 模具零件的刨削加工	25
任务 5 模具零件的磨削加工	29
任务 6 插削加工	37
任务 7 仿形加工	39
思考与练习	40
项目 2 模具基本组成零件的传统制造	41
任务 1 模具板件的加工	41
任务 2 模具回转体零件的加工	47
任务 3 模具型腔零件的加工	50
项目 3 模具零件的加工工艺规程	56
任务 1 凸模和型芯零件加工工艺规程	66
任务 2 型孔、型腔零件加工	70
任务 3 凸凹模加工工艺规程	74
思考与练习	78
项目 4 模具装配技术	79
任务 1 冲压模的装配	84
任务 2 落料——拉深模装配工艺规程	97
任务 3 级进模多工序冲模装配	98
任务 4 塑料模的装配	102
任务 5 压铸模的装配	110

任务6 锻造模具的装配	113
思考与练习	114
中篇 模具的高级加工方法	
项目5 模具的数控加工	115
思考与练习	133
项目6 模具的特种加工技术	134
任务1 模具的数控线切割加工	142
任务2 模具的电化学及化学加工	150
任务3 模具的其他加工方法	153
思考与练习	156
项目7 模具工作零件的其他成型方法	157
任务1 挤压成型加工模具工作零件	157
任务2 其他模具零件的加工方法	160
思考与练习	171
项目8 模具表面处理技术	172
任务1 模具表面化学热处理技术	180
任务2 模具表面涂镀技术	186
思考与练习	190
下篇 模具制造技术的应用	
项目9 塑料成型模具零件的制造	192
任务1 注射模模架的加工	198
任务2 塑料注射模具主要零件加工工艺流程	202
思考与练习	219
项目10 冲压模具零件制造	220
任务1 冲压模架的制造	226
任务2 冲压模具工作零件的工艺路线	235
思考与练习	244
项目11 锻造模具零件的制造	245
思考与练习	259
项目12 铸造模具制造技术	260
任务1 砂型铸造模具制造	261
任务2 压铸模具制造技术	267
思考与练习	274
参考文献	275

绪 论

【问题导入】

模具作为工业之母的应用、国内外发展现状,技术发展趋势是什么? 模具制造生产的流程是什么? 模具制造技术的基本要求及特点是什么?

【学习目标及技能目标】

通过本模块的学习要求掌握以下基本知识:了解中国模具工业的现状与发展;了解模具分类及应用;了解模具制造技术的发展方向;掌握常用模具钢的性能和特点;模具制造技术的基本要求及特点;掌握现代模具制造流程。

【知识准备】

在工业生产中,用各种压力机和装在压力机上的专用工具,通过压力把金属或非金属材料制成所需形状的零件或制品,这种专用工具统称为模具。

(1) 中国模具工业的现状与发展

近年来,尽管我国模具工业发展迅速,模具制造水平也在不断提高,但和工业发达国家相比,仍存在较大差距,主要表现在:模具的精度、型腔表面粗糙度、寿命及结构等方面;开发能力较差,经济效益欠佳,我国模具企业技术人员比例低,水平较低,且不重视产品开发;与国外先进水平相比,我国模具企业的管理落后更甚于技术落后。模具的数量和质量仍满足不了国内市场的需要,目前满足率只能达到 70% 左右。表 0.1 为模具的分类及用途。

表 0.1 模具分类及用途

模具类别		模具小类和品种	适用对象和成型工艺性质
金属 板材 成型 模具	冲模	冲裁模、单工序模、复合冲模、级进冲模、汽车覆盖件冲模、硅钢片冲模、硬质合金冲模、微型冲件用精密冲模	使用金属板材,通过冲裁模和精冲模,或根据零件不同的生产批量、冲件精度,采用单工序模、复合模或级进模等相应的工艺方法,成型加工为合格的冲件

续表

模具类别		模具小类和品种	适用对象和成型工艺性质
金属 体积 成型 模具	粉末 冶金 成型 模具	成型模、手动模、机动模、整型模、无台阶实体件自动整型模、轴套拉杆式半自动整型模、轴套通过式自动整型模、轴套全整型自动模、带外台阶与外球面轴套自动全整型模等	主要用于铜基、铁基粉末制品的压制成型,包括机械零件、电器元件(如触头等)、磁性零件、工具材料、易热零件、核燃料制件的粉末压制成型
金属 液态 成型 模具	压铸模	热压室压机用压铸模、冷压室压机用压铸模、铝合金压铸模、铜合金压铸模、锌合金压铸模、黑色金属压铸模等	金属零件产品如汽车、摩托车汽油机缸体,变速箱体等非黑色金属零件(锌、铝、铜),通过注入模具型腔的液态金属,加压成型
金属 体积 成型 模具	锻模	压力机用锻模、摩擦压力机用锻模、平锻机用锻模、辊锻机用锻模、高速锤机用锻模、开(闭)式锻模、校正模、压边模、切边模、冲孔模、精锻模、多向锻模、胎模、闭塞锻模等,冷锻模、挤压模、拉丝模等	采用非黑色金属、黑色金属的板材或棒材、丝材,经锻、墩、挤、拉等工艺成型加工成合格零件、毛坯和丝材
非金 属材 料制 品成 型模 具	铸造 金属 型模	易熔型芯用金属型模、低压铸造用金属型模、金属浇注用金属型模等	液态金属或石蜡等易熔材料,经注入模具型腔成型为金属零件毛坯、铸造用型芯、工艺品等
	塑料 成型 模具	塑料注射模、压缩模、挤塑模、挤出模、发泡模、吹(吸)塑模、塑封模、滚塑模等	使用热固性和热塑性的塑料,通过注射、压缩、挤塑、挤出、发泡、吹塑和吸塑等成型加工为合格塑件,该塑件也具有板材和体积成型两种成型工艺
	陶瓷 模具	压缩模、注射模等	建筑用的陶瓷构件、陶瓷器皿及工业生产用的陶瓷零件的成型加工
	橡胶制 品成 型模 具	压胶模、挤胶模、注射模、橡胶轮胎模(整体和活络模)、O形密封圈橡胶模等	汽车轮胎、O形密封圈及其他零件,与硫化机配套,成型加工为合格的橡胶零件
通用模具 与经济模具		组合冲模、薄板冲模、叠层冲模、快换冲模、环氧树脂模、低熔点合金模等	适用于产品试制,多品种、少批量生产

(2) 现代模具制造技术的发展方向

模具技术的发展应该为适应模具产品“交货期短”“精度高”“质量好”“价格低”的要求服务。若要达到这一要求则急需发展以下几项:

1) 全面推广 CAD/CAM/CAE 技术

模具 CAD/CAM/CAE 技术是模具设计制造的发展方向。随着微机软件的发展和进步,普及 CAD/CAM/CAE 技术的条件已基本成熟。

2) 高速铣削加工

国外近年来发展的高速铣削加工,大幅度提高了加工效率,并可获得极高的表面光洁度。

另外,还可加工高硬度模块,具有温升高、热变形小等优点。

3) 电火花铣削加工

电火花铣削加工技术也称电火花创成加工技术,是一种替代传统的用成型电极加工型腔的新技术,它利用高速旋转的简单管状电极作三维或二维轮廓加工,不需要制造复杂的成型电极,是电火花成型加工领域的重大发展。

4) 提高模具标准化程度

我国模具标准化程度正在不断提高,估计目前使用覆盖率已达到 30% 左右,国外发达国家一般为 80% 左右。

5) 模具扫描及数字化系统

高速扫描机和模具扫描系统提供了从模型或实物扫描到加工出期望的模型所需的诸多功能,大大缩短了模具的在研制造周期。

6) 模具研磨抛光的自动化、智能化

模具表面的质量对模具使用寿命、制件外观质量等方面均有较大的影响。

7) 模具自动加工系统的发展

这是我国长远发展的目标。模具自动加工系统应有多台机床合理组合;配有随行定位夹具或定位盘;有完整的机具、刀具数控库;完整的数控柔性同步系统;质量监测控制系统。

8) 优质材料及先进表面处理技术

选用优质钢材和应用相应的表面处理技术来提高模具的寿命是十分重要的。表 0.2 为常用模具钢的性能和特点,表 0.3 为新型模具钢的特点与应用。模具热处理和表面处理是能否充分发挥模具钢材料性能的关键环节。

(3) 模具制造技术的基本要求及特点

1) 模具制造的基本要求

制造精度高,为了生产合格的产品和发挥模具的效能,模具设计和制造必须具有较高的精度。模具的精度主要由制品精度要求和模具结构决定,为了保证制品的精度和质量,模具工作部分的精度通常要比制品精度高 2~4 级。

2) 模具加工程序

模具加工的一般程序是:模具标准件准备→坯料准备→模具零件形状加工→热处理→模具零件精加工→模具装配。

坯料准备是为各模具零件提供相应的坯料。其加工内容按原材料的类型不同而异。对于锻件或切割钢板要进行六面加工,除去表面黑皮,将外形尺寸加工到所要求,磨削两平面及基准面,使坯料平行度和垂直度符合要求。

模具零件形状加工的任务是按要求对坯料进行内外形状的加工。热处理是使经初步加工的模具零件半成品达到所需的硬度。

模具装配的任务是将已加工好的模具零件及标准件按模具总装配图要求装配成一副完整的模具。试模后还需对某些部位进行调整和修正,使模具生产的制件符合图样要求。

表 0.2 常用模具钢的性能和特点

钢 种	性能特点	用 途
10,20	易挤压成型、渗碳及淬火后耐磨性稍好、热处理变形大、淬透性低	工作载荷不大、形状简单的冷挤压模、陶瓷模
45	耐磨性差、韧性好、热处理过热倾向小、淬透性低、耐高温性能差	工作载荷不大、形状简单的型腔模、冲孔模及锌合金压铸模
T7A, T8A	耐磨性差、热处理变形小、淬透性低	工作载荷不大、形状简单的冷冲模、成型模
T10A, T12A	耐磨性稍好、热处理变形大、淬透性低	
5CrMnMo, 5CrNiMo	韧性较好、热处理变形较小、淬透性较好、回火稳定性较好	用于热锻模、切边模
3Cr2W8V	热硬性高、热处理变形小、淬透性较好	用于热挤压模、压铸模
W18Cr4V, W6Mo5Cr4V2		用于冷挤压模、热态下工作的热冲模
40Cr	耐磨性差、韧性好、热处理变形小、淬透性较好、耐高温性能差	用于锌合金压铸模
9Mn2V, GCr15	耐磨性较好、热处理变形小、淬透性较好	工作载荷不大、形状简单的冷冲模、胶木模
CrWMn	耐磨性较好、热处理变形小、淬透性较好	工作载荷较大、形状较复杂的成型模、冷冲模
9SiCr		用于冲头、拉拔模
60Si2Mn	韧性好、热处理变形小、淬透性好	用于标准件上的冷锻模
Cr12	耐磨性好、韧性差、热处理变形小、淬透性好、碳化物偏析严重	用于载荷大、形状复杂的高精度冷冲模
Cr12MoV	耐磨性好、热处理变形小、淬透性好、碳化物偏析比 Cr12 小	用于载荷大、形状复杂的高精度冷冲模、冷挤压模以及冷锻模

表 0.3 新型模具钢

钢 号	特点及应用
3Cr3Mo2V (HM1)	高温强度、热稳定性及热疲劳性都较好,用于高速、高载、水冷条件下工作的模具,提高模具寿命
5Cr4Mo3SiMnVA1 (CG2)	冲击韧度高,高温强度及热稳定性好,适用于高温、大载荷下工作的模具,提高模具寿命
6Cr4Mo3Ni2WV (CG2)	高温强度、热稳定性好,适用于小型热作模具,提高模具寿命
65Cr4W3Mo2VNb (65Nb)	高强韧性,是冷、热作模具钢,提高模具寿命
6W8Cr4VTi (LM1) 6Cr5Mo3W2VSiTi (LM2)	高强韧性,冲击韧度和断裂韧度高,在抗压强度与 W18Cr4V 钢相同时,高于 W18Cr4V 钢。用于工作在高压力、大冲击下的冷作模具,提高模具寿命
4Cr3Mo2MnVNbB (Y4)	用于压铸铜合金
7CrSiMnMoV (CH-1)	韧性好,淬透性高,可用于火焰淬火,热处理变形小,适用于低强度冷作模具零件
Y55CrNiMnMoV (SM1)	预硬化钢,用于有镜面要求的热塑性塑料注射模

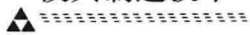
钢号	特点及应用
Y20CrNi3A1MnMo(SM2) 5CrNiMnMoVSCa(5NiSCa)	用于形状复杂、精度要求高、产量大的热塑性塑料注射模
4Cr5Mo2MnVSi(Y10) 3Cr3Mo3VNb(HM3)	用于压铸铝镁合金
8Cr2MnWMoVSi(8Cr2S)	预硬化钢,易切削,提高塑料模寿命
7Cr7Mo3V2Si(LD)	高强韧性,用于大载荷下的冷作模具,提高模具寿命
120Cr4W2MoV	用于要求长寿命的冲裁模

3) 模具加工方法的分类

模具加工方法主要分为切削加工及非切削加工两大类。这两类中各自所包含的各种加工方法见表 0.4。

表 0.4 模具的常用加工方法

分类	加工方法	机床	使用工(刀)具	适用范围
切削加工	平面加工	龙门刨床	刨刀	对模具坯料进行六面加工
		牛头刨床	刨刀	
		龙门铣床	端面铣刀	
	车削加工	车床	车刀	加工内外圆柱锥面、端面、内槽、螺纹、成型表面以及滚花、钻孔、铰孔和镗孔等
		数控车床	车刀	
		立式车床	车刀	
	钻孔加工	钻床	钻头、铰刀	加工模具零件的各种孔
		横臂钻床	钻头、铰刀	
		铣床	钻头、铰刀	
		数控铣床	钻头、铰刀	
		加工中心	钻头、铰刀	
		深孔钻	深孔钻头	加工注塑模冷却水孔
	镗孔加工	卧式镗床	镗刀	镗销模具中的各种孔
		加工中心	镗刀	
		铣床	镗刀	
		坐标镗床	镗刀	镗削高精度孔
	铣削加工	铣床	立铣刀、端面铣刀	铣削模具各种零件
		数控铣床	立铣刀、球头铣刀	
		加工中心	立铣刀、球头铣刀	
		仿形铣床	球头铣刀	进行仿形加工
雕刻机		小直径立铣刀	雕刻图案	



续表

分 类	加工方法	机 床	使用工(刀)具	适用范围
切削加工	磨削加工	平面磨床	砂轮	磨削模板各平面
		成型磨床	砂轮	磨削各种形状模具零件的表面
		数控磨床	砂轮	
		光学曲线磨床	砂轮	
		坐标磨床	砂轮	磨削精密模具孔
		内、外圆磨床	砂轮	圆形零件的内、外表面
		万能磨床	砂轮	可实施锥度磨削
	电加工	型腔电加工	电极	用上述切削方法难以加工的部位
		线切割加工	线电极	精密轮廓加工
		电解加工	电极	型腔和平面加工
抛光加工	手持抛光机	各种砂轮	去除铣削痕迹	
	抛光机或手工抛光	锉刀、砂纸、油石、抛光剂	对模具零件进行抛光	
非切削加工	挤压加工	压力机	挤压凸模	难以切削加工的型腔
	铸造加工	铍铜压力铸造	铸造设备	铸造注塑模型腔
		精密铸造	石膏模型铸造设备	
	电铸加工	电铸设备	电铸母型	精密注塑模型腔
表面装饰纹加工	蚀刻装置	装饰纹样板	在注塑模型腔表面加工	

4) 现代模具制造流程

模具生产过程分以下 6 个阶段(见图 0.1)。

①模具方案确定,分析产品零件结构、尺寸精度、表面质量要求及成型工艺。

②模具结构设计,进行成型件造型、结构设计;系统结构(包括定位、导向、卸料以及相关参数设定等)设计,即总成设计。

③生产准备,成型件材料、模块等坯料加工;标准零、部件配购;根据造型设计,编制 NC、CNC 加工代码组成的加工程序;以及刀具、工装等。

④模具成型零件加工,根据加工工艺规程,采用 NC、CNC 加工程序进行成型加工、孔系加工;或采用电火花、成型磨削等传统工艺进行加工,以及相应的热处理工艺。

⑤装配与试模,根据模具设计要求,检查标准零、部件和成型零件的尺寸精度、位置精度,以及表面粗糙度等要求;按装配工艺规程进行装配、试模。

⑥验收与试用,根据各类模具的验收技术标准 and 合同规定,对模具试冲制件(冲件、塑件等)和模具性能、工作参数等进行检查、试用,合格后则验收。

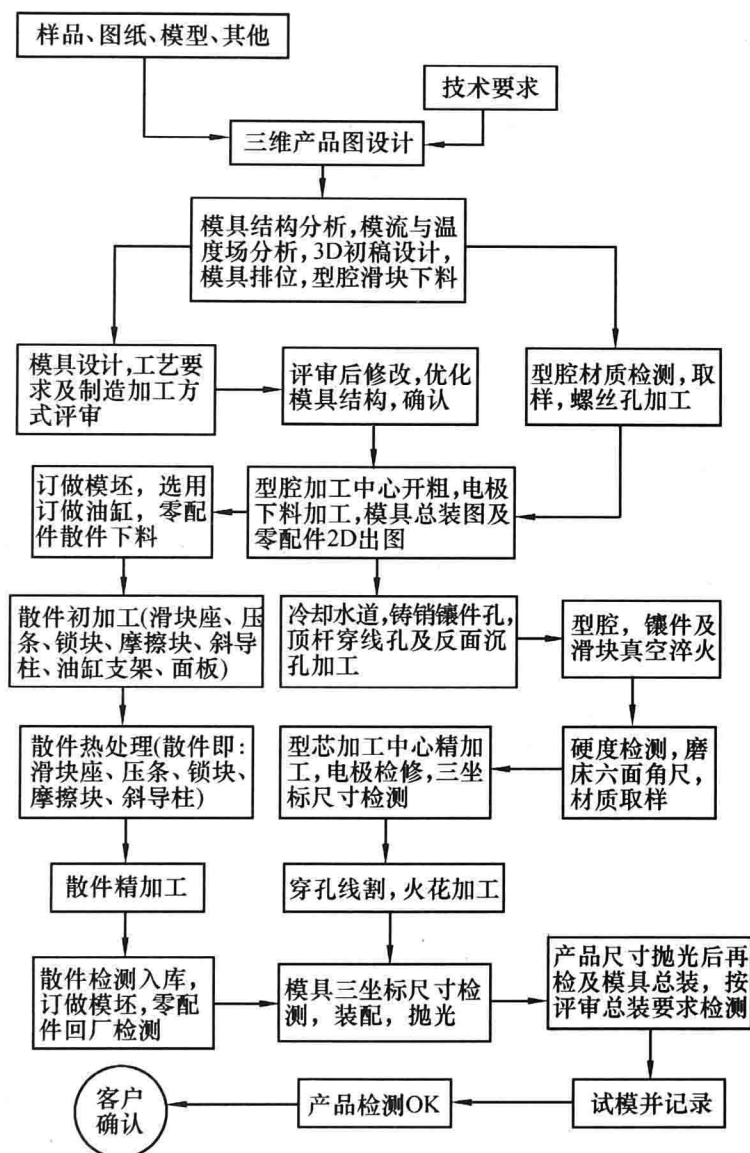


图 0.1 现代模具制造流程图

思考与练习

1. 什么是模具？模具具有哪些功能？总体上讲模具可以分为几大类？
2. 模具生产、模具制造、模具的工艺各有什么特点？
3. 简述模具在国民经济发展中的作用以及我国模具制造技术的发展趋势。
4. 模具制造有哪些技术要求？模具制造过程包括哪几个阶段？

上篇

模具的初级加工方法

项目 I

模具的一般机械加工

【问题导入】

模具制造技术包括一系列的加工方法,其中模具的一般机械加工是一个很重要和基本的种类,那么模具机械加工有何特点?有哪些要求?适用的范围是什么?通过本项目的学习,我们就能解决这些问题。

【学习目标及技能目标】

掌握模具机械加工的常用方法,分类和特点,以及划线工具的使用方法;了解卧式车床的组成、运动和用途,主要附件的大致结构和用途;能按图样要求进行端面、外圆、阶台、沟槽等基本车削加工;掌握零件的装夹及找正方法;能独立确定一般零件的车削步骤;熟悉划线的作用与方法,掌握模具零件的划线方法;了解仿形加工的控制方式及工作原理。

任务1 模具的普通车削加工

【活动场景】

在模具加工车间或产品加工车间的现场教学,或用多媒体展示模具的使用与生产。车床以工件旋转为主运动,主要用于加工轴、盘、套和其他具有回转表面的工件;在模具制造中主要用于加工导套、导柱、推杆、顶杆和具有回转表面的凸模、凹模回转型面,以及内外螺纹等模具零件的粗加工或半精加工。

【任务要求】

掌握车削的作用,模具车削加工方法及分类,掌握划线工具的使用方法;了解车床的结构与车床的相关内容,以及车床的工作范围。

【知识准备】

(1) 车削加工概述

机械加工方法(见图1.1)广泛用于制造模具零件,机械加工主要用于加工导套、导柱、具有回转表面的凸模(型芯)、凹模(型腔)以及具有回转表面的其他模具零件。模具零件的机械加工方法有:普通精度零件用通用机床加工,例如,车削(见图1.2)、铣削、刨削、钻削、磨削等。

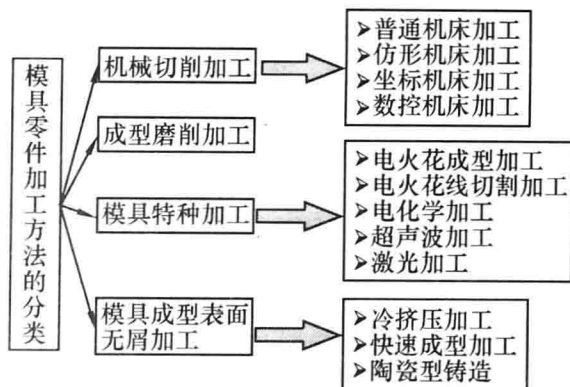


图 1.1 模具加工的分类

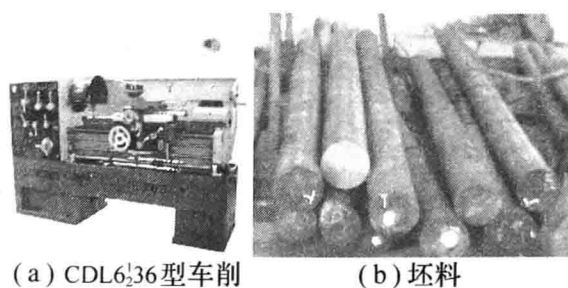
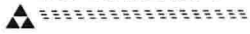


图 1.2 普通的车削及坯料

模具常用加工方法能达到的加工精度、表面粗糙度和所需的加工余量见表1.1。常规机械加工方法及适用范围见表1.2。

表 1.1 模具常用加工方法的加工余量、加工精度、表面粗糙度

制造方法		本道工序加工余量(单面)/mm	加工精度/mm	表面粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$
刨削	半精刨	0.8 ~ 1.5	IT10 ~ 12	6.3 ~ 12.5
	精刨	0.2 ~ 0.5	IT8 ~ 9	3.2 ~ 6.3
	划线铣	1 ~ 3	1.6	1.6 ~ 6.3
铣削	靠模铣	1 ~ 3	0.04	1.6 ~ 6.3
	粗铣	1 ~ 2.5	IT10 ~ 11	3.2 ~ 12.5
	精铣	0.5	IT7 ~ 9	1.6 ~ 3.2
	仿形雕刻	1 ~ 3	0.1	1.6 ~ 3.2



续表

制造方法		本道工序加工余量(单面)/mm	加工精度/mm	表面粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$
车削	靠模车	0.6 ~ 1	0.24	1.6 ~ 3.2
	成型车	0.6 ~ 1	0.1	1.6 ~ 3.2
	粗车	1	IT11 ~ 12	6.3 ~ 12.5
	半精车	0.6	IT8 ~ 10	1.6 ~ 6.3
	精车	0.4	IT6 ~ 7	0.8 ~ 1.6
	精细车、金刚车	0.15	IT5 ~ 6	0.1 ~ 0.8
钻		—	IT11 ~ 14	6.3 ~ 12.5
扩	粗扩	1 ~ 2	IT12	6.3 ~ 12.5
	细扩	0.1 ~ 0.5	IT9 ~ 10	1.6 ~ 6.3
铰	粗铰	0.1 ~ 0.15	IT9	3.2 ~ 6.3
	精铰	0.05 ~ 0.1	IT7 ~ 8	0.8
	细铰	0.02 ~ 0.05	IT6 ~ 7	0.2 ~ 0.4
铳	无导向铳	—	IT11 ~ 12	3.2 ~ 12.5
	有导向铳	—	IT9 ~ 11	1.6 ~ 3.2
镗削	粗镗	1	IT11 ~ 12	6.3 ~ 12.5
	半精镗	0.5	IT8 ~ 10	1.6 ~ 6.3
	高速镗	0.05 ~ 0.1	IT8	0.4 ~ 0.8
	精镗	0.1 ~ 0.2	IT6 ~ 7	0.8 ~ 1.6
	精细镗、金刚镗	0.05 ~ 0.1	IT6	0.2 ~ 0.8
	坐标镗	0.1 ~ 0.3	0.01	0.2 ~ 0.8
磨削	粗磨	0.25 ~ 0.5	IT7 ~ 8	3.2 ~ 6.3
	半精磨	0.1 ~ 0.2	IT7	0.8 ~ 1.6
	精磨	0.05 ~ 0.1	IT6 ~ 7	0.2 ~ 0.8
	细磨、超精磨	0.005 ~ 0.05	IT5 ~ 6	0.025 ~ 0.1
	仿形磨	0.1 ~ 0.3	0.01	0.2 ~ 0.8
	成型磨	0.1 ~ 0.3	0.01	0.2 ~ 0.8
珩磨		0.005 ~ 0.03	IT6	0.05 ~ 0.4
钳工划线		—	0.25 ~ 0.5	
钳工研磨		0.002 ~ 0.015	IT5 ~ 6	0.025 ~ 0.05
钳工 抛光	粗抛	0.05 ~ 0.15	—	0.2 ~ 0.8
	细抛、镜面抛	0.005 ~ 0.01	—	0.001 ~ 0.1
电火花成型加工		—	0.05 ~ 0.1	1.25 ~ 2.5
电火花线切割		—	0.005 ~ 0.01	1.25 ~ 2.5