

21世纪高等院校技能紧缺型人才培养培训教材

机电类理实一体化系列

车工工艺与技能训练

主编 王志远 姚小强

高级

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

21世纪高等院校技能紧缺型人才培养培训教材

机电类理实一体化系列

车工工艺与技能训练

(高级)

主 编 王志远 姚小强

副 主 编 王雪峰 钱鹏

编 委 王志远 姚小强 王雪峰

钱 鹏 傅国祥

主 审 汤习成

副 主 审 陈为华 马 俊

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书是 21 世纪高等院校技能紧缺型人才培养培训教材,机电类理实一体化系列,系统讲述了高级车工应掌握的基本理论和技能,适合高等职业技术学院或技工学校使用。

图书在版编目(CIP)数据

车工工艺与技能训练:高级/王志远,姚小强主编.
徐州:中国矿业大学出版社,2008.8
ISBN 978-7-5646-0053-2
I. 车… II. ①王…②姚… III. 车削—高等学校—教材
IV. TG510.6
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 129463 号

书 名 车工工艺与技能训练(高级)
主 编 王志远 姚小强
责任编辑 耿东锋 何 戈
责任校对 周俊平
出版发行 中国矿业大学出版社
(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com
排 版 中国矿业大学出版社排版中心
印 刷 江苏淮阴新华印刷厂
经 销 新华书店
开 本 787×1092 1/16 印张 16.75 字数 415 千字
版次印次 2008 年 8 月第 1 版 2008 年 8 月第 1 次印刷
定 价 30.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前言

为贯彻落实《国务院关于大力发展职业教育的决定》精神,坚持以就业为导向的职业教育办学方针,确立以培养高技能人才为目标,结合我国职业资格准入制度的需要,我们以项目训练为载体,以传授项目所需的知识为目的,以任务驱动教学法为手段来实施一体化、模块化技能实训教学。我们组织了一批经验丰富、实践能力强的教师和企业、行业一线专家开发了职业教育规划教材丛书——理实一体化系列的技能培训教材,内容涉及电子技术、电工技术、数控技术、车工技术、钳工技术、焊工技术、汽车构造与维修、营销商贸、计算机 Photoshop 图像处理等方面。

在丛书的编写过程中,我们贯彻了以下原则:

1. **参照国家标准,贴近职业规范。**每本教材分“初级、中级、高级、技师”四个模块,在每一模块内精选典型性、针对性强的训练项目,切实落实“是什么,怎么做”的教学指导思想,做到“管用、够用、适用”。

2. **坚持实践为主,力求学以致用。**教材体现以技能训练为主线、相关知识为支撑的编写思路,较好地处理了理论教学与技能训练的关系。既有利于帮助学生掌握知识、形成技能、提高能力,也可帮助广大职业学校理论教师训练技能、实习老师进修专业理论,真正向一体化教师过渡,改变当前职业学校“双师型”教师缺乏的局面。

3. **技能培训考核,专职业余兼顾。**该套丛书是一套技术等级考核的培训教程。全书每一技术等级模块中的训练项目严格按国家职业标准划分。本丛书既可供在学校参加技术资格鉴定和等级工培训考核使用,也可作为企业在职职工考试晋级的必备教材。

4. **突显最新技艺,满足社会需求。**丛书以新技术、新设备、新材料、新工艺为依托,缩短学校教育与企业需求之间的距离,能更好地满足企业的用人需求。

上述教材在编写过程中得到有关企业及高等职业技术学院的大力支持,教材的诸位主编、参编、主审等做了大量的工作,在此我们表示衷心的感谢!同时,恳切希望广大读者对教材提出宝贵的意见和建议,以便修订时加以完善。

系列丛书之《车工工艺与技能训练》(高级),主要内容包括:高级车工基础知识与基本技能,畸形、复杂件的加工,数控车床基础知识,车床精度及其检验,综合技能训练(组合件加工),模拟试题和全国技能大赛试题精选。本书以普通车工国家职业技能鉴定高级考工的标准为主线、为重点,将工艺理论、刀具选择与刃磨、金属切削原理和车削工艺装备等专业知识融合到实训操作中,每个项目中以“小任务”解决相关工艺、技能技巧问题,充分体现“做中学”、“学中做”的职教教学特色。

本书为高等职业技术学院、技工院校车工培训教材,也可作为成人职业学校、本科院校下属的二级职业技术学院和民办高校的车工培训教材,也可作为职工自学考级指导用书。

本书由王志远、姚小强主编,由王雪峰、钱鹏副主编,并由王志远统稿,参加编写的有王志远、姚小强、王雪峰、钱鹏、傅国祥。由汤习成主审,陈为华、马俊副主审。

丛书编委会

目 录

项目一 高级车工基础知识与基本技能

任务一 工件的工艺分析及机械加工工艺过程卡的拟定	1
任务二 精密量具、量仪的使用和测量方法	10
任务三 断屑及断屑槽的刃磨	19
任务四 车刀的磨钝标准及其研磨	26
任务五 硬质合金可转位车刀	30

项目二 多头蜗杆的加工

任务一 用百分表、量块确定移动量车削多头蜗杆	43
------------------------	----

项目三 平面槽和薄壁工件的加工

任务一 车削平面矩形槽及其配合	48
任务二 车削薄壁工件	52

项目四 复杂零件的加工

任务一 车削细长轴	59
任务二 车削深孔	69
任务三 车削十字孔轴	74
任务四 车削双孔连杆	79
任务五 车削轴承座	85
任务六 车削单拐曲轴	94

项目五 特种材料加工

任务一 车削不锈钢材料	102
任务二 车削非金属材料	110

项目六 数控车基础知识

任务一 数控车床概述	116
任务二 数控编程概述	122
任务三 轴类零件加工	127
任务四 宏程序的应用及椭圆的加工	136
任务五 自动编程加工套类零件	142

项目七 高级工综合技能训练

任务一 车削锥套两件组合	151
任务二 车削偏心轴套组合	157
任务三 车削梯形螺纹组合	165
任务四 车削轴套三件组合	170
任务五 车削轴套四件组合	178

任务六 车削轴套六件组合·····	188
项目八 CA6140 型车床精度及检验	
任务一 CA6140 型车床精度对加工的影响及解决方法 ·····	202
任务二 CA6140 型车床精度的检验 ·····	207
附录:	
1. 第二届全国职工职业技能大赛车工操作项目 ·····	215
2. 第二届全国职工职业技能大赛车工决赛评分 ·····	220
3. 高级理论试题 ·····	243
4. 参考答案 ·····	259

随着现代工业的快速发展,对高技能人才的需求日益迫切。仅仅掌握中级技能是满足不了对复杂零件加工的。本模块将介绍高级车工基础知识与基本技能,大导程多头蜗杆、薄壁工件、工艺比较复杂的零件、特种材料、组合件的车削,数控车削的基本知识。

项目一 高级车工基础知识与基本技能

高级车工,在具备中级车工基础知识的基础上,应进一步掌握工艺分析、金属切削原理、精密量具的使用等。本项目将重点介绍工艺过程卡的制定、精密量具的使用、刀具的钝化、断屑槽的刃磨等高级车工基础知识与基本技能。

任务一 工件的工艺分析及机械加工工艺过程卡的拟定

能力目标

- 能根据要求,拟定轴、套类零件的机械加工工艺过程卡;
- 掌握典型零件的工艺分析方法。

知识目标

- 了解工艺过程的划分;
- 了解切削工序的安排原则;
- 掌握机械加工工艺过程卡的拟定。

任务引入

采用机械加工的方法,直接用来改变原材料或毛坯的形状、尺寸和表面质量等,使之变成半成品或成品的过程称为机械加工工艺过程,简称工艺过程。

在生产过程中,为了进行科学管理,常把合理的工艺过程中的各项内容编写成文件来指导生产。这类规定工件工艺过程和操作方法等的工艺文件称为机械加工工艺规程,简称工艺规程。工艺规程制定得是否合理,直接影响工件的质量、劳动生产率和经济效益。工艺规程包括工艺过程卡片、工序卡片、检验卡片等。产品加工质量的优劣,在很大程度上取决于工件加工的工艺路线,而正确的工艺分析则为制定加工工艺提供了各种依据。因此,较高的工艺分析能力是高级车工必须具备的基本素质之一。

任务分析

一个工件可以用几种不同的加工方法制造,但在一定的条件下,只有某一种方法是比较合理的。因此,在制定工艺规程时,必须从实际出发,根据设备条件、生产类型等具体情况,尽量采用先进的加工方法,制定出合理的工艺规程。本任务主要是在了解工艺过程的划分、切削加工工序的安排、典型零件的工艺分析的基础上,重点掌握轴、套类零件工艺过程卡的拟定方法。

必备知识

一、工艺过程划分阶段

1. 粗加工阶段

切除毛坯上大部分多余的金属,主要目标是提高生产率。

2. 半精加工阶段

使主要表面达到一定的精度,留有一定的精加工余量,并可完成一些次要表面加工,如扩孔等。

3. 精加工阶段

保证各主要表面达到规定的尺寸精度和表面粗糙度要求,主要目标是全面保证加工质量。

4. 光整加工阶段

对工件上精度和表面粗糙度要求很高的表面,需进行光整加工,主要目标是提高尺寸精度、减小表面粗糙度。此阶段一般不能用来提高位置精度。

划分加工阶段对保证加工质量、合理使用机床、便于及时发现毛坯缺陷、便于安排热处理工序有很大好处,但加工阶段的划分也不应绝对化,应根据工件的质量要求、结构特点和生产批量灵活掌握。



热处理工序的安排

根据不同的热处理目的,一般将热处理工序分为预备热处理和最终热处理,具体内容见表 GC1-1。

表 GC1-1 热处理工序简介

工序	工艺	工艺代号	应用	工序位置安排	目的
预备热处理	退火	5111	用于铸铁或锻件毛坯,以改善其切削功能	毛坯制造后,粗加工之前进行	改善材料的力学性能,消除毛坯制造时的内应力,细化晶粒,均匀组织,并为最终热处理准备良好的金相组织
	正火	5121			
	低温时效		用于各种精密工件,消除切削加工的内应力,保持尺寸的稳定性.对于特别重要的高精度的工件要经过几次低温时效处理;有些轴类工件在校直工序后,也要安排低温时效处理	半精车后,或粗磨、半精磨以后	
	调质	5151	调质工件的综合力学性能良好,对某些硬度和耐磨性要求不高的工件,也可作最终热处理	粗加工后、半精加工之前	

续表 GC1-1

工序	工艺	工艺代号	应用	工序位置安排	目的
最终热处理	淬火	5131	适用于碳结构钢。由于工件淬火后表面硬度高,除磨削和线切割等加工外,一般方法不能对其切削	半精加工后、磨削加工之前	提高工件材料的硬度、耐磨性和强度等力学性能
	渗碳 淬火	5310— —131	适用于低碳钢和低合金钢(如 15、15Cr、20、20 Cr 等),其目的是先使工件表层含碳量增加,然后经淬火使表层获得高的硬度和耐磨性,而心部仍保持一定的强度和较高的韧性和塑性。渗碳淬火还可以解决工件上部分表面不淬硬的工艺问题	半精加工与精加工之间	
	渗氮	5330	渗氮是使氮原子渗入金属表面,从而获得一层含氮化合物的热处理方法。渗氮层较薄,一般不超过 0.6~0.7 mm。渗氮后的表面硬度很高,不需淬火	精磨或研磨之前	

二、切削加工工序安排原则

1. 基面先行原则

用作精基准的表面应优先加工出来,因为定位基准的表面越精确,装夹误差就越小。如加工轴类工件时,总是先加工中心孔,再以中心孔为基准加工外圆表面和台阶。

2. 先粗后精原则

各个表面的加工顺序按照粗加工→半精加工→精加工→光整加工的顺序依次进行,逐步提高表面的加工精度并减小表面粗糙度。

3. 先主后次原则

工件的主要表面、装配基面应先加工,从而及早发现毛坯中主要表面可能存在的缺陷。次要表面可穿插进行,在主要加工表面加工到一定程度后、精加工之前进行。

4. 先面后孔原则

对复杂工件,一般先加工平面再加工孔。一方面平面定位,稳定可靠;另一方面在加工过的平面上加工孔比较容易,并能提高孔的加工精度,特别是钻出的孔轴线不易偏斜。

三、工件的工艺分析

1. 读图

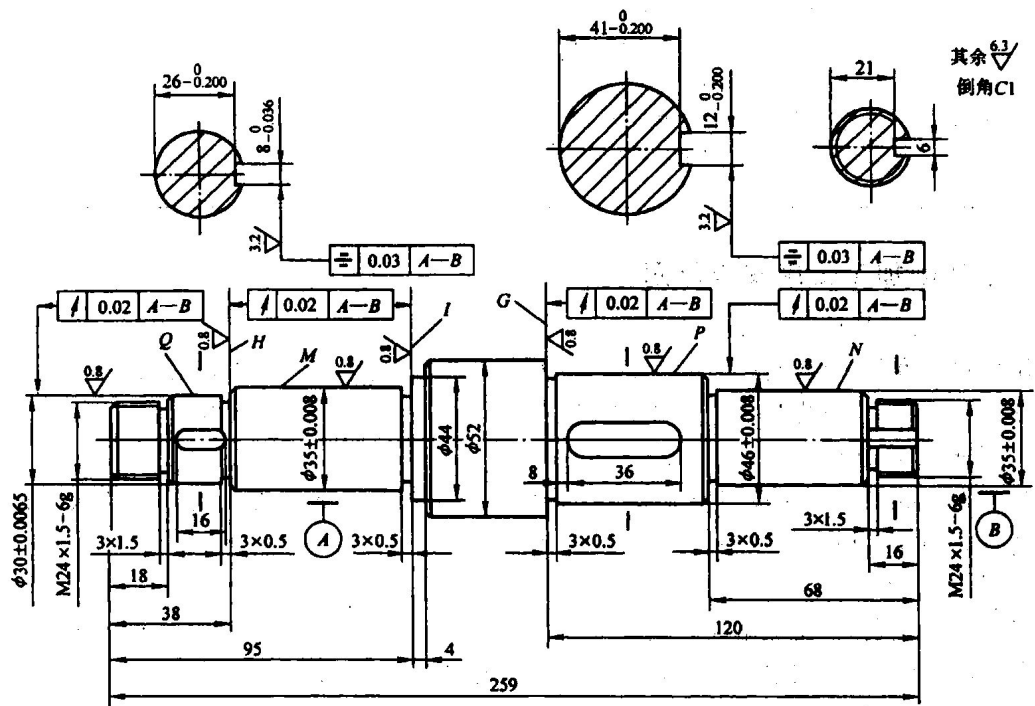
分析工件的结构特点及结构工艺性,了解工件尺寸精度、形状位置精度、表面粗糙度、热处理等各项技术要求。在分析和了解工件的结构、精度、技术要求、表面质量等各项要求后,找出工件加工过程中的关键难点问题,准确选择各定位基准和装夹方法,拟定正确、切实可行的加工工艺路线,确保工件的精度、表面粗糙度等达到各项技术要求。

2. 工艺路线的初步拟定

(1) 拟定轴类工件工艺路线时,在考虑主要表面加工的同时,还要考虑次要表面的加工和热处理。要求不高的外圆表面、退刀槽、砂轮越程槽、倒角和螺纹,应在半精车时加工。键槽在半精车后再划线、铣削。调质安排在粗车后,调质后一定要研修中心孔。在磨削前,一般还应研修一次中心孔,以提高定位精度。

(2) 车削一般套类工件的加工顺序,可参考如下方式:

现以图 GC1-1 所示的传动轴为例,分析车削工艺。设生产件数为 5 件,拟定其机械加工工艺过程卡。



材料: 40Cr
数量: 5 件
调质(5151): 20~240HBS

图 GC1-1 传动轴

1. 读图分析机械加工工艺

(1) 主要表面的加工方法的选择

从图样可知,该轴的大部分表面应以车削为主。表面 M 、 N 、 P 和 Q 的尺寸精度要求很高,表面粗糙度值 Ra 小,所以车削后,还需要进行磨削。这些表面的加工顺序为:粗车→调质→半精车→磨削。

(2) 定位基准的选择

由于该轴的几个主要配合表面和台阶面,对基准轴线 A—B 均有径向圆跳动和端面圆跳动的要求,所以应在粗车之前加工 B 型中心孔作径向定位基面。

(3) 毛坯类型的选择

轴类工件的毛坯通常选用圆钢或锻件。对于直径相差较小、传递转矩不大的一般台阶

轴,其毛坯多采用圆钢;而对于传递较大转矩的重要轴,无论其轴径相差多少、形状简单与否,均应选用锻件作毛坯。

图 GC1-1 所示的传动轴,为一般用途的台阶轴,且批量仅 5 件,故选用圆钢坯料,材料为 40Cr。

(4) 热处理工艺的选择

该轴为一般用途的台阶轴,调质可获得综合力学性能。由于直径相差较大,因此,在粗车后安排调质热处理工艺。

2. 拟定机械加工工艺过程卡(见表 GC1-2)

表 GC1-2

传动轴机械加工工艺过程卡

工序号	工步	工序内容	加工简图	设备
1	下料	$\phi 55 \text{ mm} \times 263 \text{ mm}$		
2		粗车各台阶 三爪自定心卡盘夹持棒料毛坯		CA6140
	(1)	车平右端面		
	(2)	钻中心孔		
		一夹一顶装夹		
	(3)	粗车外圆 $\phi 48 \text{ mm} \times 118 \text{ mm}$		
	(4)	粗车外圆 $\phi 37 \text{ mm} \times 66 \text{ mm}$		
	(5)	粗车外圆 $\phi 26 \text{ mm} \times 14 \text{ mm}$		
		调头夹 $\phi 48 \text{ mm}$ 外圆处		CA6140
	(6)	车端面,保证总长 259 mm		
	(7)	钻中心孔		
		一夹一顶装夹		
	(8)	粗车外圆 $\phi 54 \text{ mm} \times 141 \text{ mm}$		
	(9)	粗车外圆 $\phi 37 \text{ mm} \times 93 \text{ mm}$		
	(10)	粗车外圆 $\phi 32 \text{ mm} \times 36 \text{ mm}$		
	(11)	粗车外圆 $\phi 26 \text{ mm} \times 16 \text{ mm}$		
3	热	调质(5151)220~240 HBS		
4	钳	修研两端中心孔		

续表 GC1-2

工序号	工步	工序内容	加工简图	设备
5		半精车台阶 两顶尖装夹		CA6140
	(1)	半精车外圆 $\phi(46.5 \pm 0.1)$ mm、左端距轴端 120 mm		
	(2)	半精车外圆 $\phi(35.5 \pm 0.1)$ mm、左端距轴端 68 mm		
	(3)	半精车外圆 $\phi 24$ mm $\times$ 16 mm		
	(4)	三处车槽		
	(5)	三处倒角 C1		
		调头两顶尖装夹		CA6140
	(6)	车外圆 $\phi 52$ mm 到尺寸		
	(7)	车外圆 $\phi 44$ mm 到尺寸, 左端距轴端 99 mm		
	(8)	半精车外圆 $\phi(35.5 \pm 0.1)$ mm、左端距轴端 95 mm		
	(9)	半精车外圆 $\phi(30.5 \pm 0.1)$ mm、左端距轴端 38 mm		
	(10)	半精车外圆 $\phi 24$ mm $\times$ 18 mm		
	(11)	三处车槽		
	(12)	四处倒角 C1		
6		车螺纹		CA6140
	(1)	两顶尖装夹 车一端螺纹 M24 $\times$ 1.6-6g		
	(2)	调头两顶尖装夹 车另一端螺纹 M24 $\times$ 1.6-6g		
7	钳	线划键槽和止动垫圈槽加工线		
8	铣	铣键槽和止动垫圈槽		X6132
	(1)	铣键槽, 宽 12 mm, 深 5.25 mm		
	(2)	铣键槽, 宽 8 mm, 深 4.25 mm		
	(3)	铣右端止动垫圈槽, 宽 6 mm, 深 3 mm		
9	钳	修研两端中心孔		

续表 GC1-2

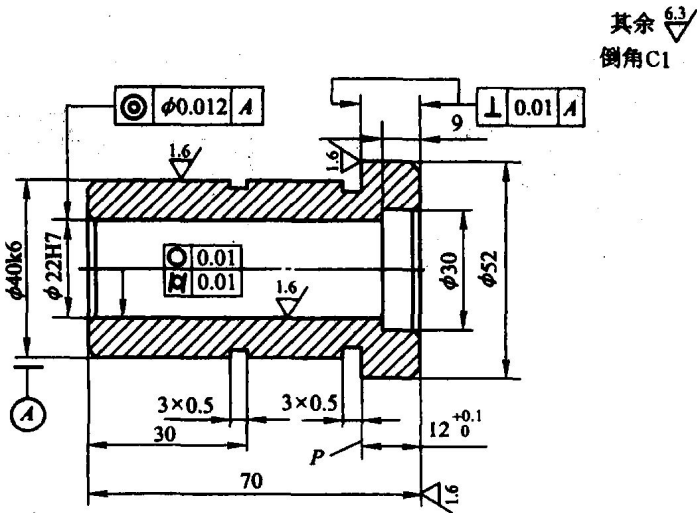
工序号	工步	工序内容	加工简图	设备
10		磨外圆,靠磨台阶 两顶尖装夹工件		M1432A
	(1)	磨外圆 φ(30±0.006 5) mm, 并靠磨台阶 H		
	(2)	磨外圆 φ(35±0.008) mm, 并靠磨台阶 I		
		调头,两顶尖装夹		
	(3)	磨外圆 φ(35±0.008) mm		
	(4)	磨外圆 φ(46±0.008) mm, 并靠磨台阶 G		
11	检	检验		

五、思考与练习

- (1) 工件工艺分析的内容有哪些?
- (2) 工序安排应遵循哪些原则?
- (3) 加工划分哪些阶段? 有何目的、意义?
- (4) 对任务实施图所示工件进行工艺分析,并编制机械加工工艺卡。

任务实施

一、根据图样,拟定固定套机械加工工艺过程卡



练习内容	图号	材料来源	转下一次	实作工时
拟定机械加工工艺过程	G1-1	HT250		90 min

二、注意事项

- (1) 外圆采用粗车→半精车→精车,内孔采用扩孔、车孔、铰削加工为好。
- (2) 为满足同轴度和垂直度等位置精度要求,应以内孔为定位基准,配以小锥度心轴,用两顶尖装夹方式,精车外圆和端面。
- (3) 为节约材料,可四件合一段坯料。
- (4) 铸铁坯料应进行退火(5111)。

三、实训步骤

1. 读图分析机械加工工艺

分析机械加工工艺应包括:① 主要表面的加工方法的选择;② 定位基准的选择;③ 毛坯类型的选择;④ 热处理工艺的选择。

2. 工艺路线的初步拟定

- (1) 四件同时粗车各外圆[如图 GC1-2(a)所示];
- (2) 钻孔成单件[如图 GC1-2(b)所示];
- (3) 加工内部[如图 GC1-2(c)所示];
- (4) 用心轴定位加工外部[如图 GC1-2(d)所示];
- (5) 孔口倒角[如图 GC1-2(e)所示]。

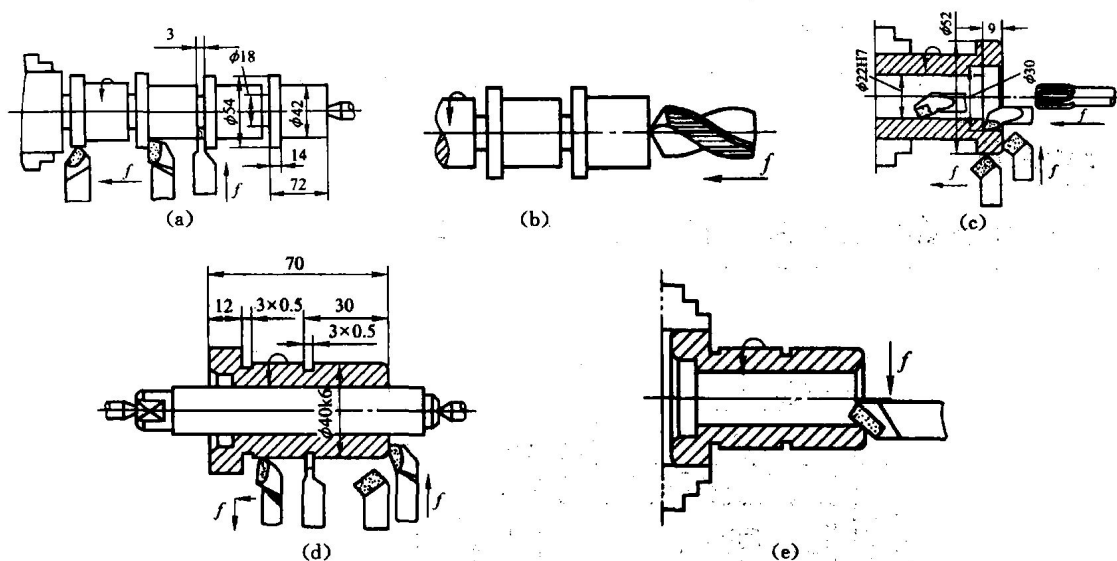


图 GC1-2 固定套车削工序图

3. 拟定机械加工工艺过程卡(略)

四、实训技巧

根据图样,应先确定工艺路线,绘制工艺草图,后拟定机械加工工艺过程卡。

任务评价

任务考核评分表

评 分 表													
项次	考核要求	配分	自 测		交 检		项次	考核要求	配分	自 测		交 检	
			1	2	1	2				1	2	1	2
1	工序划分正确	40					4	加工简图正确	10				
2	工步划分正确	30					5	设备选择合理	10				
3	工序内容合理	10											
学号					姓名				得分				

延伸拓展

机械加工工序卡格式

机械加工工序卡片

[illegible]

任务二 精密量具、量仪的使用和测量方法

能力目标

- 能掌握杠杆式测量仪测量长度的方法,圆度仪的测量方法;
- 掌握精密量具的调整方法。

知识目标

- 掌握精密量具的工作原理;
- 掌握精密量具使用的注意事项。

任务引入

在实际生产中,常常会遇到精度在 $0.001\sim 0.005\text{ mm}$ 的工件测量。一般量具的测量精度是达不到测量要求的,精密量具、量仪测量精度可达 $0.001\sim 0.005\text{ mm}$ 。作为高级车工,应懂得精密量具、量仪的工作原理和使用方法。

任务分析

本任务重点介绍杠杆式卡规、杠杆千分尺、千分表、测量仪、水平仪、圆度仪等精密量具、量仪的工作、读数原理。通过本任务的学习,应掌握这些精密量具、量仪的使用方法和注意事项。

必备知识

一、杠杆式卡规和杠杆千分尺

1. 杠杆式卡规

杠杆式卡规是一种具有卡板形尺架的测量器具,其尺内装有指针式读数装置。它利用杠杆齿轮传动放大原理制成,其刻度值常见的有 0.002 mm 和 0.005 mm 两种。

(1) 杠杆式卡规的工作原理

杠杆式卡规的工作原理如图 GC1-3(a)所示。当活动测砧 1 移动时,通过杠杆 2、扇形齿轮 3 带动小齿轮 5 和装在同轴上的指针 7 转动,在刻度盘 8 上指示出活动测砧 1 的移动量。游丝 6 的作用是消除传动链中的间隙。测量力由弹簧 10 产生。为了减小测量面的磨损并使测量方便,装有退让按钮 9。杠杆式卡规使用前要用量块进行检定。检定时,先旋松套管 12,把量块放入活动测砧 1 和可调测砧之间,然后转动滚花螺母 14,通过可调测砧上的梯形螺纹移动,使指针 7 对准刻度盘零位。最后旋紧套管 12,将可调测砧 4 固定。碟形弹簧 15 用以消除螺母与可调测砧上梯形螺纹的间隙。可调测砧上有一直槽,用螺钉 13 防止调整尺寸时可调测砧转动。

(2) 杠杆式卡规的放大比

杠杆式卡规的放大比(倍数)计算如下:

已知杠杆式卡规如图 GC1-3(a)所示,杠杆 2 的长度为 r ,指针的长度为 R ,扇形齿轮 3

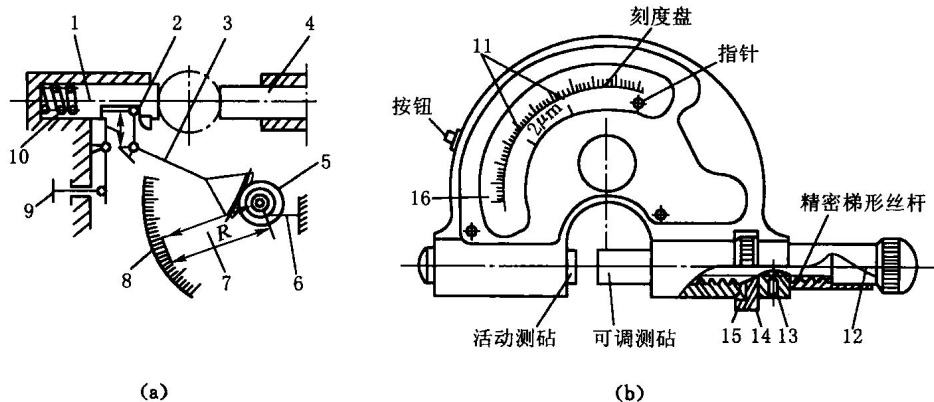


图 GC1-3 杠杆式卡规

的齿数为 Z_1 ，小齿轮 5 的齿数为 Z_2 ，当活动测砧 1 移动距离 a 时，指针 7 转动的距离 b 为：

$$b \approx \frac{a}{2\pi r} \times \frac{Z_1}{Z_2} \times 2\pi R = a \times \frac{R}{r} \times \frac{Z_1}{Z_2}$$

因此

$$\frac{b}{a} \approx \frac{R}{r} \times \frac{Z_1}{Z_2}$$

式中 b/a 称为放大比，并令其等于 k ，则：

$$k \approx \frac{R}{r} \times \frac{Z_1}{Z_2}$$

从上式可知，当扇形齿轮 Z_1 齿数越多，指针 7 的半径 R 越长，放大比 k 越大。当杠杆 2 的 r 越短，小齿轮 Z_2 齿数越少时，放大比 k 亦越大。

2. 杠杆式千分尺

杠杆式千分尺又称指示千分尺，它是由千分尺的微分筒部分和杠杆式卡规中指示机构组合而成的精密量具，外形如图 GC1-4(b)所示。

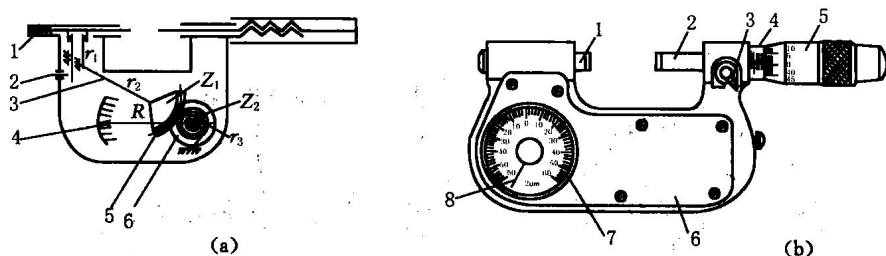


图 GC1-4 杠杆千分尺

(a) 工作原理图；(b) 外形图

(a) 1——压簧；2——拨叉；3——杠杆；4——指针；5——扇形齿轮， $Z_1=312$ ；6——小齿轮， $Z_2=12$

(b) 1——微动测杆；2——活动测杆；3——止动器；4——固定套筒；

5——微分筒；6——盖板；7——表盘；8——指针

杠杆千分尺的工作原理如图 GC1-4(a) 所示。其指示值为 0.002 mm ，指示范围为 $\pm 0.06 \text{ mm}$ ， $r_1=2.54 \text{ mm}$ ， $r_2=12.195 \text{ mm}$ ， $r_3=3.195 \text{ mm}$ ，指针长 $R=18.5 \text{ mm}$ ， $Z_1=312$ ， $Z_2=12$ 。其传动放大比 k 为：