

IGZ 普通高等工科教育机电类规划教材

工装设计

郑州工业高等专科学校 孙光华 主编

G



机械工业出版社

本书介绍机械加工中工艺装备的设计原理与方法。全书共分四篇：第一篇为刀具设计，介绍成形车刀、拉刀、组合刀具、数控机床用刀具的设计；第二篇为机床夹具设计，介绍工件定位与夹紧原理，车、铣、钻、镗等各类机床夹具的设计方法；第三篇为模具设计，介绍冲裁模、拉深模、弯曲模与塑料注射模的设计；第四篇为量具设计，介绍各种量规和检验夹具的设计。

本书贯彻最新国家标准，体系安排合理，阐述简明扼要，并附有大量设计实例，具有先进性、科学性与实用性。

本书可作为高等学校机械电子工程、机械制造等专业的教材，也可作为职大、电大机械类专业的教材，并可供有关工程技术人员参考。

DN24/28

图书在版编目 (CIP) 数据

工装设计/孙光华主编. —北京:机械工业出版社, 1998.5

普通高等工科教育机电类规划教材

ISBN 7-111-05928-X

I. 工… II. 孙… III. 金属加工-设备-设计-高等学校-教材 IV. TG

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 06302 号

出 版 人: 马九荣 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 王海峰 钱飒飒 版式设计: 霍永明 责任校对: 林去菲

封面设计: 赵京京 责任印制: 王国光

三河市宏达印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1998 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·19.5 印张·477 千字

0 001—4 000 册

定价: 27.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

前 言

本书是为适应当前高等学校教学改革形势，满足机电类专业改革的需要，由全国高等专科学校机械工程专业教学指导委员会与机械工业部教材编辑室共同组织编写的。

本书可作为高等学校机械电子工程专业、机械制造类专业的教材，也可作为电视大学、职工大学机械类或近机类专业的教材，并可供从事机械制造专业工装设计的有关工程技术人员参考。

本书介绍机械制造中工艺装备的设计原理与方法。全书共分四篇：第一篇为刀具设计，介绍成形车刀、拉刀、组合刀具、数控机床用刀具的设计；第二篇为机床夹具设计，介绍工件定位与夹紧原理，车、铣、钻、镗等各类机床夹具的设计；第三篇为模具设计，介绍冲裁模、拉深模、弯曲模与塑料注射模的设计；第四篇为量具设计，介绍各种量规及检验夹具的设计。

本书贯彻专业教学指导委员会“立足于我国高等工程专科教学目前的总体水平，又放眼于面向 21 世纪课程体系和教学内容的改革，充分体现基础理论必须够用为度的原则，着重强调工程应用能力的培养”的教学思想，突出专科特点，注重理论联系实际。同时，在介绍常规设计方法之外，还介绍了计算机辅助工装设计的新内容，兼有科学性、先进性与实用性。本书贯彻国家最新标准，体系安排合理，阐述简明扼要，附有大量设计实例。

全书各章作者为：杨毅（第一、二章）；冯鹤敏（第三、四、五章）；曲守平（第六、七、八、九章）；孙光华（绪论和第十、十一、十二章）；陶福春（第十三、十四、十五章）；叶伟昌（第十六、十七章）。

本书由孙光华任主编，冯鹤敏、陶福春任副主编，叶伟昌任主审。参加本教材审稿会的专家有：上海理工大学工程技术学院盛善权教授，长春大学机械工程学院于永芳教授，南京金陵职业大学卢庆熊教授，南京金城机械有限公司顾麟书高级工程师，淮阴市标准计量局盛庆椿高级工程师；南京第二机床厂石其玉高级工程师，淮阴工业专科学校郑良红老师等对本书稿进行了审阅，并提出了许多中肯而宝贵的书面意见。谨在此一并向他们表示衷心的感谢！

由于编者水平所限，书中难免有错误与不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前 言	
绪 论	1

第一篇 刀具设计

第一章 成形车刀设计	4
第一节 成形车刀的类型和装夹方法	4
第二节 成形车刀的前角和后角	6
第三节 成形车刀的廓形设计	8
第四节 成形车刀的结构尺寸	13
第五节 棱体成形车刀设计示例	15
习题与思考题	17
第二章 拉刀设计	18
第一节 拉刀的种类与结构	18
第二节 拉削方式	20
第三节 圆孔拉刀的设计	22
习题与思考题	31
第三章 组合刀具设计	32
第一节 组合刀具的类型及特点	32
第二节 组合刀具的设计	34
习题与思考题	40
第四章 数控机床用刀具	41
第一节 概述	41
第二节 数控刀具用工具系统	43
第三节 高效数控刀具	49
习题与思考题	52

第二篇 机床夹具设计

第五章 工件的定位	53
第一节 工件定位的基本原理	53
第二节 定位副及对定位元件的基本要求	60
第三节 工件的定位方法及定位元件	61
第四节 定位误差的分析与计算	70
第五节 组合表面定位	77

习题与思考题	82
第六章 工件的夹紧	86
第一节 夹紧装置的组成和基本要求	86
第二节 夹紧力的确定	86
第三节 基本夹紧机构	89
第四节 联动夹紧机构	99
习题与思考题	102
第七章 专用夹具的设计方法	103
第一节 专用夹具的设计步骤	103
第二节 公差配合的选择与技术要求的制订	104
第三节 专用夹具设计示例	107
习题与思考题	109
第八章 典型机床夹具设计	110
第一节 车床夹具	110
第二节 铣床夹具	114
第三节 钻床夹具	120
第四节 镗床夹具	128
习题与思考题	134
第九章 其它机床夹具简介	135
第一节 可调夹具	135
第二节 组合夹具	136
第三节 数控机床夹具与自动夹具	140
习题与思考题	143

第三篇 模具设计

第十章 冲裁工艺	144
第一节 冲压加工概述	144
第二节 普通冲裁过程分析	149
第三节 冲裁间隙	151
第四节 凸模与凹模刃口直径尺寸的计算	152
第五节 冲裁过程中力的计算	154
第六节 冲裁工作的排样	157
第七节 冲裁件的质量分析	160
习题与思考题	162

第十一章 冲裁模的结构与设计	163	第三节 塑件的工艺设计	225
第一节 冲裁模的结构与特点	163	习题与思考题	226
第二节 冲裁模主要零部件结构与国 家标准的选用	168	第十五章 注射模设计	227
第三节 冲裁模设计要点	184	第一节 注射模结构与注射机	227
第四节 冲裁模的计算机辅助设计与 制造	187	第二节 成型零件设计	233
习题与思考题	189	第三节 浇注系统设计	239
第十二章 弯曲模的结构与设计	190	第四节 脱模机构设计	247
第一节 弯曲变形分析	190	第五节 侧抽芯机构设计	249
第二节 弯曲件的质量分析	191	第六节 加热与冷却装置设计	252
第三节 弯曲力的计算	194	习题与思考题	254
第四节 弯曲模的典型结构	195		
第五节 弯曲模工作部分结构参数的 确定	200	第四篇 量具设计	
习题与思考题	202	第十六章 量规设计	255
第十三章 拉深模设计	203	第一节 量规的分类及设计时应考虑 的问题	255
第一节 拉深变形分析	203	第二节 光滑极限量规	257
第二节 拉深件的工艺计算	206	第三节 直线尺寸量规	262
第三节 拉深力与压边力	212	第四节 位置量规	268
第四节 拉深模的典型结构	213	第五节 样板量规	286
第五节 拉深模工作部分结构参数的 确定	215	习题与思考题	291
习题与思考题	221	第十七章 检验夹具	293
第十四章 塑料成型工艺基础	222	第一节 检验夹具的分类和设计时应 考虑的问题	293
第一节 概述	222	第二节 检验夹具结构示例	299
第二节 塑件的成型方法	223	习题与思考题	306
		参考文献	306

绪 论

一、工装在机械制造中的作用与地位

机械制造业是为国民经济各部门提供机械装备的行业，在国民经济中占有十分重要的地位。机械制造本身也离不开机械装备。工艺装备通常是指机械制造中用到的刀具、夹具、模具、量具、辅具等的总称（简称工装）。好的工装可使机械加工的生产效率大幅度提高，产品质量稳定可靠，且能降低生产成本，节约能源和原材料等。因此，工装在机械加工中扮演着非常重要的角色。

以切削刀具和工夹具为例，无论是普通机床，还是先进的数控机床和加工中心机床，以至柔性制造系统，都必须依靠刀具才能完成切削工作。国外金属切削专家认为，一台价值 25 万美元的数控机床，其效率的发挥在很大程度上取决于一把价值 30 美元立铣刀的性能。刀具上的每一项革新，往往可以成倍、成十倍地提高工效。例如，群钻与麻花钻相比，工效可提高 3~5 倍。刀具所产生的效益可达刀具本身所消耗费用的 10 倍。因此，国外十分重视刀具费用的投入，如德国奔驰汽车厂每辆汽车的刀具费用要占其销售价的 2%。我国工人发明家邹德骏获国家专利发明的 JC4 型高效工夹具具有自动进刀钻孔、扩孔、铰孔、攻螺纹、套螺纹、滚压等多种功能，其中的多功能六工位回转工夹具，一次能固定五种刀具和一个找中心的顶尖，在 2s 内精确地变换刀具位置，重复定位精度达到 0.01mm；螺旋式安全快换工夹具，2s 内能在水平方向更换多种规格的丝锥和圆板牙。这套工夹具用在量大面广的中小型卧式车床上，车床不需作任何改动就能提高工效 1~20 倍。

再以模具为例，根据国际生产工程协会（CIPP）预测，到 2000 年，工业产品零件粗加工的 75% 和精加工的 50% 将由模具成型完成；金属、塑料、陶瓷、橡胶、建材等工业制品大部分将由模具完成；50% 以上的金属板材、80% 以上的塑料都将通过模具转化成制品。1989 年 3 月，国务院颁布的《关于当前产业政策要点的决定》中，把模具列为机械工业技术改造序列的第一位，生产和基本建设序列的第二位。

工艺装备的好坏，也是衡量一个工厂技术能力的重要技术指标。某航空单位的统计资料表明，平均加工一个零件约需 25 套工装；完成一个壳体类零件的加工，则需要 800 套工装。

由此可见，工装在生产中的作用是巨大的，因而工装设计在机械制造中必然是一项非常重要的技术工作。

二、工装的发展方向

工装是伴随着机械制造业的开始而出现的，它的使用至少已有百余年的历史了。工装设计与制造技术目前的发展方向大致可归纳为以下几方面：

(1) 高精度、高效率工装 在机床夹具方面，一些工业发达国家已生产出高精度的自动定心卡盘，它能保证检验心棒的径向圆跳动量在 0.005mm 以下（普通精度约为 0.01~0.1mm）。回转工作台也是常用的一种通用夹具，利用端齿盘作为定位机构，可使定位精度达到 0.25"。广泛采用多种动力传动的通用夹具，利用气压、液压或电力来操纵夹具的定位机构和夹紧机构。近年来的发展证明，利用液压作为动力，由于容易解决动力供应，易于实

现单机自动化,因而发展得异常迅速。前面提到的 JC4 型高效工夹具也是高效率的典型范例。在模具方面,精密冲裁模采用微间隙、卸料板带齿圈、凹模内的顶件器起反向凸模作用,可使冲裁件获得精度 IT9~IT7 级、表面粗糙度 $R_a 1.6\sim 0.8\mu\text{m}$,并有较高的垂直度与平面度。某些工业发达国家在精密冲压方面走在世界最前列,模具加工精度进入微米级。在量具方面,在线测量与报警系统、自动检测分类系统等,均可提高工效数倍或数十倍。

(2) 高寿命工装 在刀具方面,不断研究开发新型刀具材料,如高性能高速钢、粉末高速钢、涂层高速钢、细晶粒与涂层硬质合金、复合陶瓷、立方氮化硼与人造金刚石等,大大提高了刀具的使用寿命。在模具方面,采用硬质合金材料,其寿命比用 Cr12 模具钢提高 20~30 倍,成本仅提高 3 倍左右;采用合理大间隙模具,寿命可提高 3~5 倍。工业发达国家用合金工具钢制造的模具寿命可高达几千万次,硬质合金钢制造的模具寿命则达到了几亿次。

(3) 模块化技术 如近年来出现的可转位面铣刀,将硬质合金刀片直接夹固在铣刀刀体上,一个切削刃用钝后,可直接在铣床上转换切削刃或更换刀片,不必拆卸铣刀,节省辅助时间,减少劳动量,在提高产品质量和加工效率、降低成本等方面都显示出优越性。再如我国的 TMG-28 模块式工具系统,具有连接牢固、结合刚性好、拆卸方便、互换性好等优点,达到模块式工具的国际水平。此外,HSK 数控工具接口、组合夹具等,都是模块化技术的具体应用和体现。

(4) 采用 CAD/CAM 技术 从 60 年代起,国外就开始进行工装 CAD/CAM 技术的研究工作,至 70 年代中期以后,可以说是 CAD/CAM 技术不断发展的时代。到目前为止,各类工装 CAD/CAM 的软硬件层出不穷。根据 CIPP 的预测,到 2000 年,作为设计与制造之间联系手段的图样将失去其主要作用。但由于产品零件形状千变万化,无论是刀具、夹具、模具还是量具的构成元件也一定千差万别,几乎不可能搞出一个能适应各种零件的系统化、数值化的软件来。尽管如此,工装 CAD/CAM 技术仍然取得了相当大的进展。例如刀具 CAD 系统根据人机交互输入的参数可实现完全自动化设计。夹具 CAD 系统不仅可以输出各类夹具图样,也可用于协助设计人员从事方案的设计与分析,达到智能型的较高层次。模具 CAD/CAM 更是取得喜人成绩,据报道,某些工业发达国家的模具 75% 已使用了 CAD 技术,我国许多单位在精密引线框架级进模、彩色电视机箱注射模和立式彩色电视机前壳注射模上都使用了 CAD/CAM 系统。一般而言,采用工装 CAD 系统,可提高工效 5~10 倍左右。当前 CAD/CAM 发展趋势为:继续发展几何图形系统,以满足复杂零件和相应的复杂工装的设计要求;在 CAD/CAM 基础上建立生产集成系统 MIS;开发智能数据库和分布式数据库,发展专家系统和智能 CAD 等。

三、本门课程的性质、内容与任务

“工装设计”是机械电子工程专业与机械制造工艺与设备专业的一门主要专业课。

本课程的主要内容是:阐述机械加工中工艺装备的作用、工作原理、设计方法与设计规律等。具体而言,刀具设计部分将讲述成形车刀、拉刀、组合刀具和数控机床用刀具的设计;机床夹具设计部分将讲述工件定位与夹紧原理和车、铣、钻、镗等各类专用机床夹具的设计;模具设计部分将讲述冲裁模、弯曲模、拉深模等冲压模具和塑料注射模具的设计;量具设计部分将讲述光滑极限量规、直线尺寸量规、位置量规、样板量规及检验夹具的设计。

本课程的任务是:通过学习本门课程,使学生初步达到具有工装设计的能力。具体要求是:

- 1) 掌握工装设计的基本理论、计算方法与设计规律；
- 2) 能根据工件加工要求，正确选择刀具材料并设计非标准刀具；
- 3) 能根据工序具体要求，设计专用机床夹具或模具；
- 4) 能根据产品的质量要求与相应的检验标准或检验方法进行量具设计。

四、本门课程的特点与学习方法

“工装设计”是一门实践性和实用性都很强的学科，其内容均来自具体的生产实践，同时它又以“工程材料与热加工工艺”、“互换性与测量技术”、“机械制造技术”等许多技术学科为基础，内容极为丰富，所涉及的知识面非常广泛。因此在学习时必须十分注意理论联系实际，即将课本知识与生产实践紧密结合，同时又要注意综合运用所学过的相关基础学科的知识。另外，在学好教材基本内容的同时，还应广泛阅读有关资料，熟悉有关手册，重视积累实践经验，逐步提高分析和解决实际问题的工作能力。

第一篇 刀具设计

在机械加工过程中，经常要用到各种各样的专用刀具，这些专用刀具是根据具体情况而设计的，它们适应特定的加工对象和场合。刀具设计不仅应该使所设计的刀具切削性能好，便于装夹，能又快又好地加工出合格的工件，刀具使用寿命长，也应该便于制造，加工成本低，经济性好，以满足生产实际的需要。为了达到上述目的，刀具设计应主要考虑以下问题：合理选择刀具的结构、材料、几何参数及切削方式，使刀具具有正确的切削刃形状，便于刃磨（指新刀开刃）或重磨（刀具磨钝后再刃磨），妥善处理刀具的容屑、排屑和强度、刚度等问题。

本篇通过成形车刀和拉刀的设计及组合刀具和数控机床用刀具的设计，介绍刀具设计的一般过程和方法，阐述刀具设计的一般规律和特点。

第一章 成形车刀设计

成形车刀主要用在各类卧式车床、自动车床上加工回转工件的内、外成形表面，它的刃形是根据工件的廓形设计的。成形车刀对零件加工可一次成形，操作简便，生产率高，加工出的工件形状和尺寸一致性好，互换性高，刀具的重磨次数多，使用寿命长，加工精度能达到IT10~IT8，表面粗糙度可达 $R_a6.3\sim 3.2\mu\text{m}$ 。但成形车刀制造较复杂，成本较高，切削刃工作长度较宽，容易引起振动。成形车刀主要用于加工批量较大的中、小尺寸带成形表面的工件。

第一节 成形车刀的类型和装夹方法

根据刀具结构形状的不同，生产中最常用的是下面三种沿工件径向进给的正装成形车刀（如图1-1所示。）

1. 平体成形车刀（图1-1a）

平体成形车刀刀体结构类似普通车刀，制造简单，但沿前刀面允许的重磨次数较少，常用来加工简单的成形表面，如车螺纹、车圆弧面、铲削齿背等。

2. 棱体成形车刀（图1-1b）

棱体成形车刀刀体呈棱柱形，沿前刀面可重磨次数较多，刀体刚性好，但较难制造，且只能加工外成形表面。

3. 圆体成形车刀（图1-1c）

圆体成形车刀刀体是一个有排屑缺口并带安装孔的回转体，它允许的重磨次数最多，较易制造，且可加工内、外成形表面。但当加工具有圆锥表面的工件时，会使工件形状产生较大的双曲线误差。

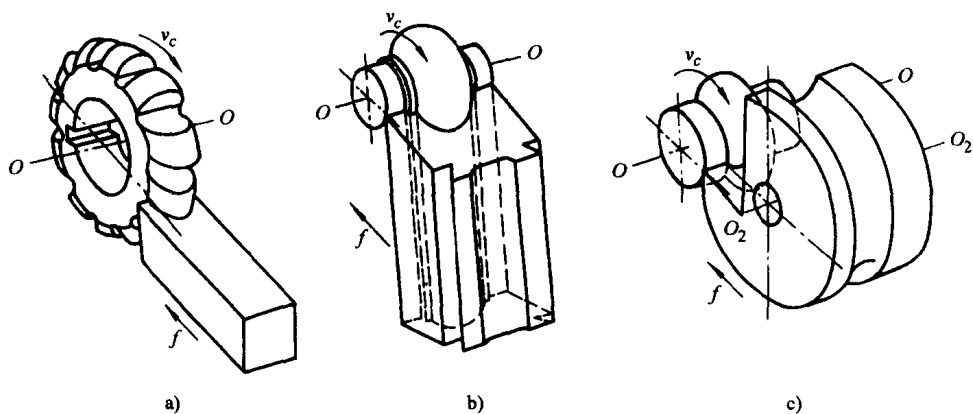


图 1-1 成形车刀的类型

a) 平体成形车刀 b) 棱体成形车刀 c) 圆体成形车刀

成形车刀的装夹，要求夹持可靠，刚性好，装卸容易，调整方便，并且刀夹结构尺寸应力求标准化。

平体成形车刀的装夹方法与普通车刀完全相同。

棱体和圆体成形车刀是先装夹在专用刀夹上，然后将刀杆固定在机床上工作的。常用的装夹方法如图 1-2 所示。

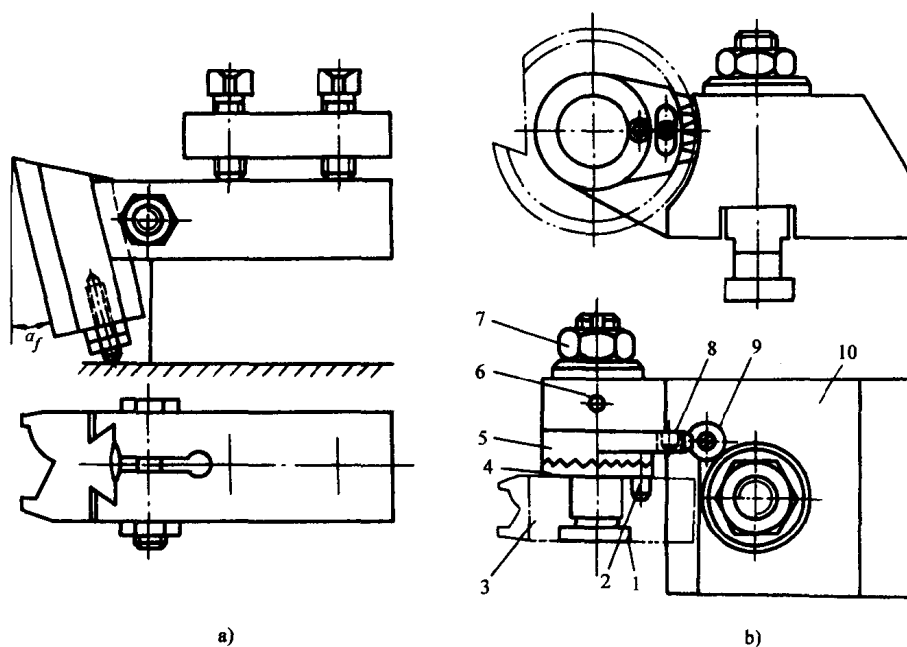


图 1-2 成形车刀的装夹

a) 棱体刀的装夹 b) 圆体刀的装夹

1—心轴 2—销子 3—圆体刀 4—齿环 5—扇形板 6—螺钉 7—夹紧螺母 8—销子 9—蜗杆 10—刀夹

如图 1-2a 所示，棱体成形车刀是以燕尾的底面或与其平行的面作为定位基准面装夹在刀夹的燕尾槽内，并用螺钉及弹性槽夹紧。车刀下端的螺钉可用来调节刀尖位置的高低，同

时可增加刀具工作时的刚性。

如图 1-2b 所示，圆体成形车刀 3 以内孔为定位基准面套装在刀夹 10 的带螺栓的心轴 1 上，并通过销子 2 与端面齿环 4 相连，以防止车刀工作时受力而转动。将齿环 4 与圆体刀 3 一起相对扇形板 5 转动若干齿，可粗调刀尖的高度。扇形板同时与蜗杆 9 啮合，转动蜗杆就可微调刀尖的高低。扇形板上的销子 8 用来限制扇形板转动的范围。在心轴 1 的表面上还开了一条小的长槽，利用螺钉 6 可避免旋紧夹紧螺母 7 时心轴 1 一起转动，但允许心轴 1 轴向移动。图中 T 形键的螺栓系使刀夹与机床的刀架相连。

第二节 成形车刀的前角和后角

一、前角、后角的形成及特点

成形车刀工作时必须具有合理的前角和后角。由于成形车刀刃形复杂，切削刃上各点的正交平面方向不一定相同，所以前角和后角一律规定在假定工作平面内测量，并且以切削刃上最外缘与工件中心等高点（该点称为基点）的前角和后角作为标注值，分别用符号 γ_f 和 α_f 表示，见图 1-3。

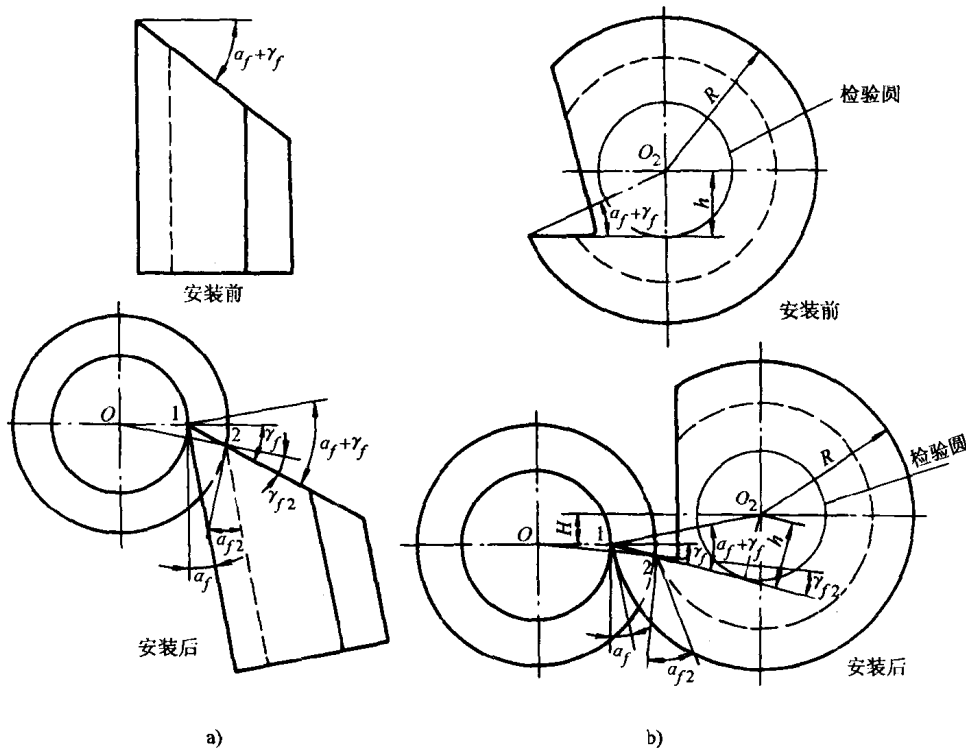


图 1-3 成形车刀前角和后角的形成

a) 棱体成形车刀 b) 圆体成形车刀

成形车刀的前角和后角是靠刀具的制造及刀具在刀夹上的正确安装而形成的。

棱体成形车刀制造时将前刀面与后刀面的夹角磨成 $90^\circ - (\gamma_f + \alpha_f)$ ，安装时，将刀体倾斜 α_f ，即能形成所需的前角 γ_f 和后角 α_f ，如图 1-3a 所示。

圆体成形车刀制造时将前刀面作成距其中心为 h ，安装时再将刀具中心比工件中心装高 H ，即可形成所需的前角 γ_f 和 α_f 。 h 和 H 之值可由下式计算

$$h = R \sin(\gamma_f + \alpha_f) \quad (1-1)$$

$$H = R \sin \alpha_f \quad (1-2)$$

式中 R ——圆体成形车刀最大外圆半径。

圆体成形车刀不但在制造时要保证 h 值，而且在磨损后重磨时也应使 h 值不变。为此，通常在刀具端面上刻出一个以 O_2 为中心， h 为半径的磨刀检验圆，重磨时应将前刀面磨在这个圆的切平面内。

由图 1-3 还可看出，成形车刀的切削刃上，只有基点 1 在工件中心等高位置上，其它各点都低于工件中心。由于切削刃上各点处的切削平面和基面位置不同，因而前角和后角也都不相同，离基点越远的各点，前角越小，后角越大，即 $\gamma_{f2} < \gamma_f$ ， $\alpha_{f2} > \alpha_f$ ，而且圆体成形车刀的这种变化尤为显著。

成形车刀的前角可根据工件材料性质按表 1-1 选取。

表 1-1 成形车刀前角值

工 件 材 料		前 角 γ_f
碳 钢	$\sigma_b < 0.49\text{GPa}$	$15^\circ \sim 20^\circ$
	$\sigma_b = 0.49 \sim 0.784\text{GPa}$	$10^\circ \sim 15^\circ$
	$\sigma_b = 0.784 \sim 1.176\text{GPa}$	$0^\circ \sim 10^\circ$
铸 铁	$< 150\text{HBS}$	15°
	$150 \sim 200\text{HBS}$	12°
	$200 \sim 250\text{HBS}$	8°
铜	黄铜	$0^\circ \sim 10^\circ$
	青铜	$0^\circ \sim 5^\circ$
	紫铜、铝	$20^\circ \sim 25^\circ$

注：本表适于高速钢成形车刀，如用硬质合金成形车刀切钢时，可将表中数值减 5° 。

成形车刀的后角一般可取为 $\alpha_f = 8^\circ \sim 15^\circ$ 。因圆体成形车刀切削刃上的后角变化比棱体成形车刀大，故应选用较小的数值。铲齿成形车刀因工作时实际后角变小，故后角应增大到 $25^\circ \sim 30^\circ$ 。

二、正交平面内后角过小时的改善措施

如图 1-4 所示，任取切削刃上 x 点，该点主偏角为 κ_{rx} 、后角为 α_{fx} 、正交平面后角为 α_{ox} ，则

$$\text{tg} \alpha_{ox} = \text{tg} \alpha_{fx} \sin \kappa_{rx} \quad (1-3)$$

式 (1-3) 表明，正交平面后角 α_{ox} 小于后角 α_{fx} ，随着 κ_{rx} 减小， α_{ox} 越小；当 $\kappa_{rx} = 0^\circ$ 时， $\alpha_{ox} = 0^\circ$ 。如同图 1-4 中由于端面切削

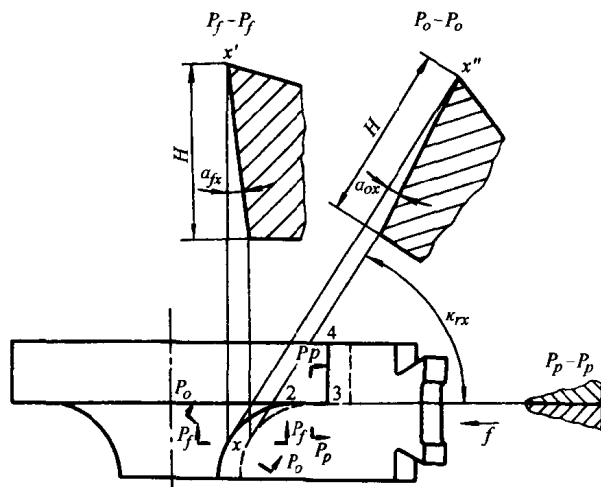


图 1-4 成形车刀正交平面中的后角

刃 $\overline{23}$ 上主偏角为零,使该处后刀面紧贴加工表面而产生严重摩擦现象。

为了保证刀具正常工作,正交平面内的后角 α_{ox} 通常不应小于 $2^\circ \sim 3^\circ$,若出现 α_{ox} 过小时,应选取图 1-5 所示的改善措施。

1) 在 $\kappa_{rx} = 0^\circ$ 的一段切削刃的后刀面磨出凹槽,减小摩擦面积,如图 1-5a 所示。

2) 在 $\kappa_{rx} = 0^\circ$ 的一段切削刃上磨出 $\kappa'_r = 2^\circ \sim 3^\circ$ 的副偏角,如图 1-5b 所示。此法可使摩擦大为减小,且因制造简便,故应用很广。

3) 采用与工件轴线斜装的成形车刀,如图 1-5c 所示,使棱体成形车刀的燕尾夹固

基面或圆体成形车刀的轴线与工件轴线倾斜成 τ 角,一般 $\tau = 15^\circ \sim 20^\circ$ 。此时,原来刀具端在 $\overline{23}$ 段部分已变成一个倾斜平面(棱体刀)或一个圆锥体(圆体刀),故该切削刃上也有一定的后角。这种成形车刀可以径向进给,也可斜向进给。但它不能用于加工外形凹凸曲折的工件。

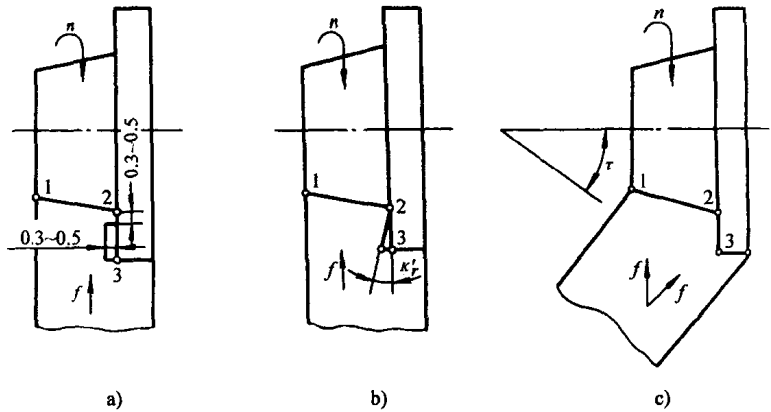


图 1-5 正交平面内后角 $\alpha_{ox} = 0^\circ$ 时的改善措施

a) 磨出凹槽 b) 磨出副偏角 c) 斜装成形车刀

第三节 成形车刀的廓形设计

一、廓形设计的必要性

回转体成形工件的廓形是指通过零件轴线剖面的形状和尺寸,包括宽度、深度、曲线等;成形车刀的廓形是规定在与后刀面垂直的剖面 NN 内表示的(NN 剖面又称法剖面)。在这个剖面内成形车刀的廓形容易制造和测量。对于圆体成形车刀来说,垂直于后刀面的剖面也就是通过圆体成形车刀轴线的剖面。

只有当成形车刀的前角 γ_f 和后角 α_f 均为零时,成形车刀的廓形与工件的廓形才有可能完全相符(图 1-6a)。但后角 $\alpha_f = 0^\circ$ 的刀具是不能工作的。由图 1-6b 可知,当成形车刀的前角 $\gamma_f \geq 0^\circ$ 、后角 $\alpha_f > 0^\circ$ 时,刀具上的廓形深度 P 将小于工件上相应的廓形深度 a_p ,即 $P < a_p$ 。所以,成形车刀有了前角和后角后,它的廓形不同于工件廓形而产生了畸变。为了保证成形车刀能切出正确的工件廓形,在设计成形车刀时,必须对刀具的廓形进行修正计算。

成形车刀廓形设计的主要内容是根据零件的廓形、前角和后角来修正计算成形车刀的廓形。在设计正装径向成形车刀的廓形时,由于刀具的廓形宽度与工件上相应的廓形宽度相等,因此只需修正计算廓形深度。

二、成形车刀的廓形设计

成形车刀廓形设计方法有:作图法、计算法和查表法三种。作图法简单、清晰,但精确度较低;计算法精确度高,可是计算工作量大,特别是当计算组成点较多时,易生差错,若利用计算机编程运算,则甚为简便;查表法也能达到设计精度要求,且较简便、迅速。工厂

中主要采用计算法和查表法，作图法则作校验分析之用。

1. 廓形设计的准备工作

(1) 确定成形表面的组成点和基点 为了减少计算工作量，在求刀具廓形时，一般只选择工件廓形上的转折来进行，这些点称为廓形组成点。若工件为直线廓形，可取两 endpoint 作为组成点；当工件为曲线廓形，除两 endpoint 外，视曲线部分精度要求，在曲线部分的中间应再取若干点作为组成点。然后依次给各组成点编号，并以工件回转体上半径最小处的点作为计算基准点（基点1）。对工件廓形上一些不重要的倒角或倒圆处，则可不必修正计算。

(2) 在工件廓形图上标出各组成点的轴向尺寸和径向尺寸 在标注尺寸时，须注意，有公差要求的径向尺寸应取其平均尺寸。例如，工件上的尺寸为 $\phi 40_{-0.2}^0 \text{mm}$ 时，则在计算时应取 $\left(40 - \frac{0.2}{2}\right) \text{mm} = 39.9 \text{mm}$ 。

此外，还需选定成形车刀的类型，选取前角 γ_f 和后角 α_f 。圆体成形车刀还要确定其外径。

2. 作图法

(1) 棱体成形车刀廓形的作图设计步骤如图 1-7a 所示。

- 1) 按放大比例，用平均尺寸画出工件的主、俯视图。
- 2) 自基点 1 作前角 γ_f 的前刀面投影线和后角 α_f 的后刀面投影线。
- 3) 前刀面和工件上各廓形组成点的交点 $2'$ 、 $3'$ ($4'$)，即为前刀面上相应的切削刃点。
- 4) 过这些点引平行于基点 1 处后刀面的直线，它们和基点处后刀面的垂直距离 P_2 、 P_3 (P_4) 就是所求的廓形深度。

(2) 圆体成形车刀廓形的作图设计步骤如图 1-7b 所示。

- 1) 按放大比例，用平均尺寸画出工件的主、俯视图。
- 2) 在主视图上，通过基点 1，先向下作前角为 γ_f 的前刀面投影线，再向上作一与水平线倾斜成 α_f 角的上斜线，以基点 1 为起点、 R 为半径作弧与上斜线相交 (R 求法见本章第四节)，确定刀具圆心 O_2 ，画出刀具主视图。
- 3) 工件各廓形组成点和前刀面的交点为 $2'$ 、 $3'$ ($4'$)，它们与刀具圆心 O_2 的距离即为所求刀具廓形上各组成点的半径 R_2 、 R_3 (R_4)，外圆半径 R 与 R_2 、 R_3 (R_4) 之差 P_2 、 P_3

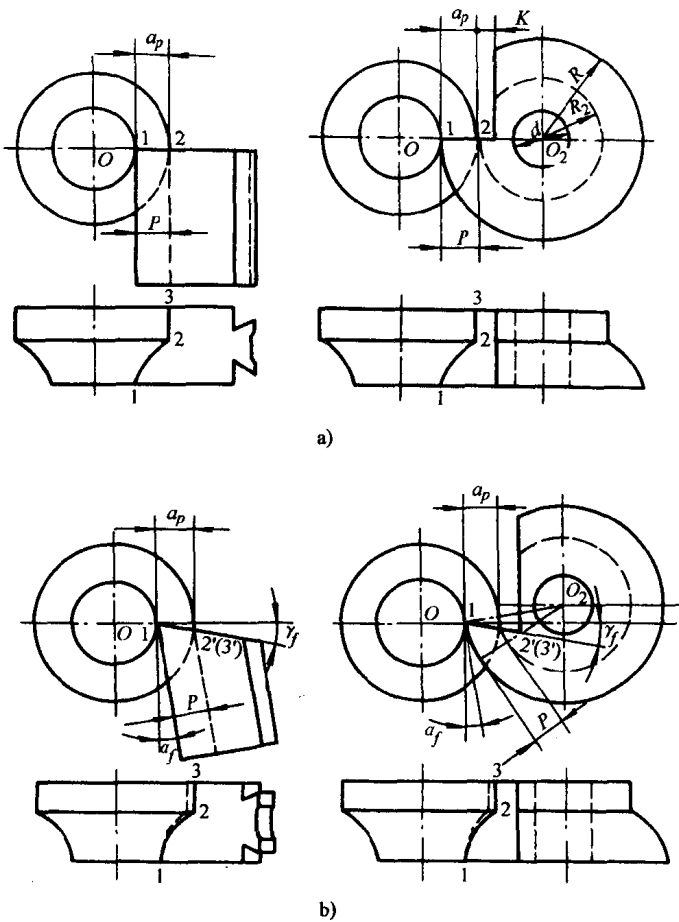


图 1-6 成形车刀廓形与工件廓形间的关系

a) $\gamma_f = 0^\circ$ 和 $\alpha_f = 0^\circ$ b) $\gamma_f \geq 0^\circ$ 和 $\alpha_f > 0^\circ$

(P_4) 即为所求的廓形深度。

4) 在俯视图上作出刀具轴向剖面内的廓形 1"、2"、3"、4"。

3. 计算法

图 1-8 为成形车刀廓形计算分析图，按以下步骤可求出刀具的廓形。

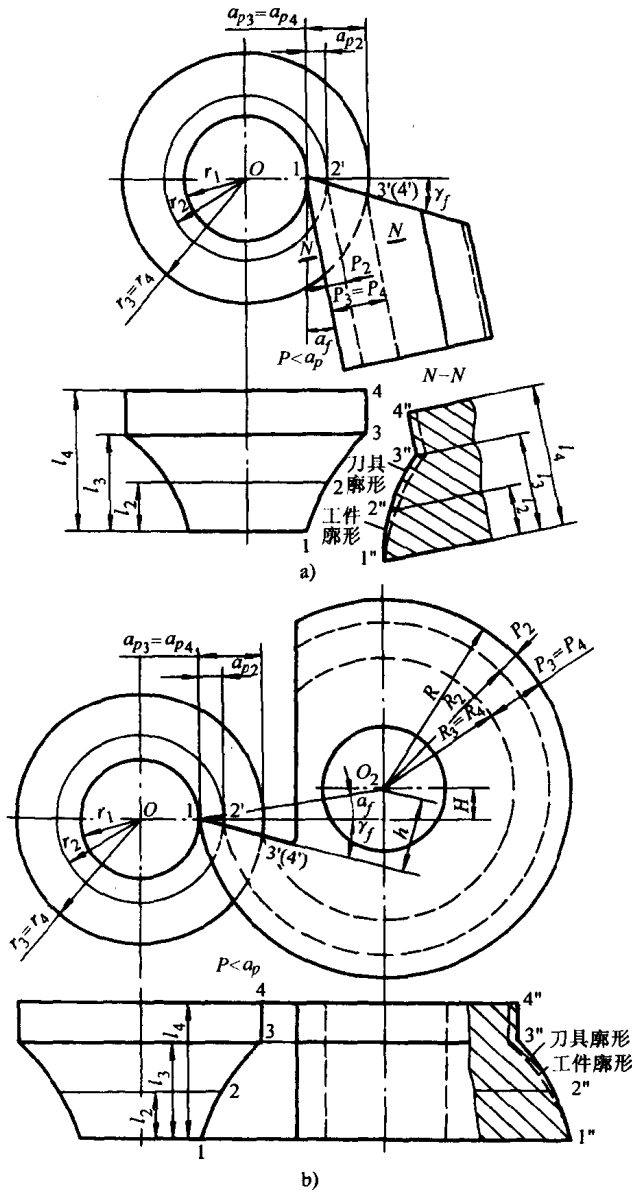


图 1-7 用作图法来确定成形车刀的廓形

a) 棱体成形车刀 b) 圆体成形车刀

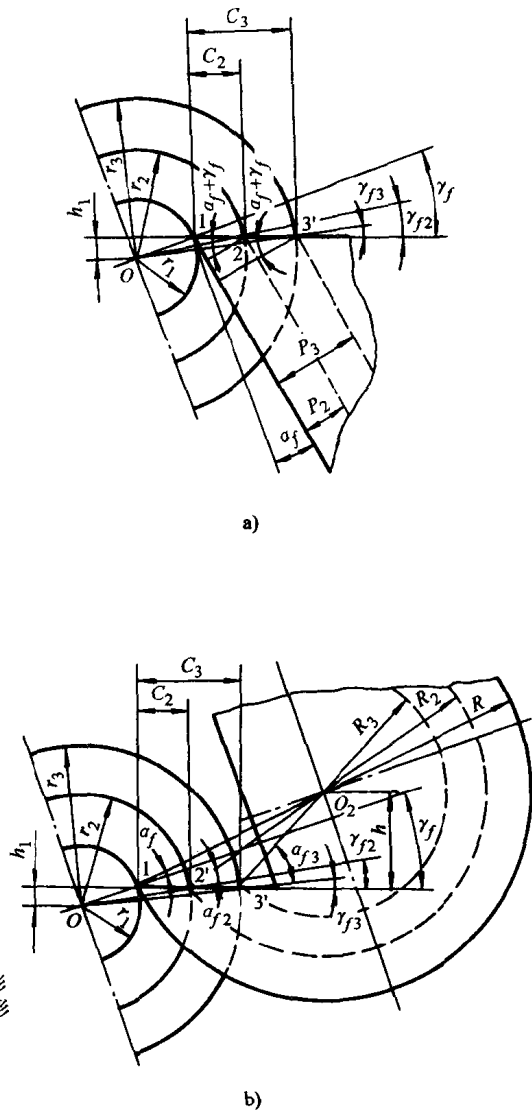


图 1-8 成形车刀廓形计算分析图

(1) 求刀具前刀面上的尺寸

$$C_x = \sqrt{r_x^2 - (r_1 \sin \gamma_f)^2} - r_1 \cos \gamma_f \quad (1-4)$$

将 x 以 2、3 (4) 分别代入上式，即可求出前刀面上相应的尺寸 C_2 、 C_3 (C_4)。

(2) 求刀具法剖面 $N-N$ 上的尺寸

1) 棱体成形车刀

$$P_x = C_x \cos(\gamma_f + \alpha_f) \quad (1-5)$$

2) 圆体成形车刀

$$R_x = \sqrt{R^2 + C_x^2 - 2RC_x \cos(\gamma_f + \alpha_f)} \quad (1-6)$$

将 x 以 2、3 (4) 分别代入上式, 即可求出刀具法面上相应的尺寸。

计算过程中的数据处理, 要求精确到小数点后四位以上, 图样上最终要求: 长度精确到 0.01mm, 角度到 1'。

切削刃上的基点 1 是选在工件廓形上半径最小处, 但在机床上加工、调整刀具时, 常以工件公差要求最严的一段直径进行对刀 (即调整工只测量该段直径, 其它部分则靠成形车刀保证)。但这只是改变了基准点, 对于廓形求法没有影响。如果两者不相重合, 只要将计算尺寸换算后标注在制造图上即可。

4. 角度和圆弧半径的修正计算

当工件具有圆锥表面和圆弧表面时, 由于前角和后角的影响, 成形车刀廓形的锥度和圆弧半径将产生变化, 须进行修正计算。

(1) 角度的修正计算公式 如图 1-9, 已知工件廓形深度为 a_p , 宽度为 x , 工件廓形上的倾斜角为 $\theta_{\text{工}}$ 。经修正计算, 求出刀具廓形深度为 P , 则刀具廓形上的倾斜角 θ 为

$$\text{tg}\theta = \frac{x}{P} = \frac{a_p}{P} \text{tg}\theta_{\text{工}} \quad (1-7)$$

需要注意的是, 斜直线两端的廓形深度 P 求出后, 该廓形已完全确定, 不必再计算 θ 角。但在实际生产中, 为直观起见, 对廓形上一些关键转折部位, 通常除标注深度 P 外, 同时还标出相应的参考度数。

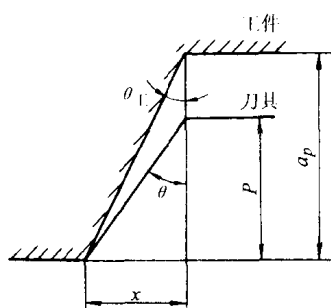


图 1-9 角度修正的典型廓形

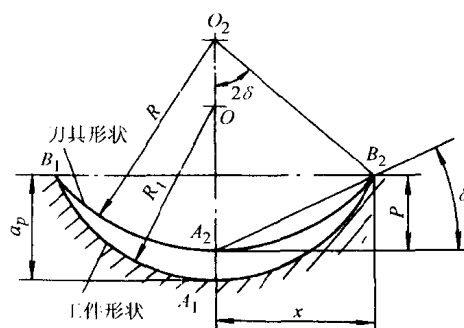


图 1-10 圆弧修正的典型廓形

(2) 圆弧半径的修正计算公式 如图 1-10 所示, 工件廓形半径为 $R_{\text{工}}$, 圆心为 O , 廓形深度为 a_p 。经修正计算, 求出刀具上的廓形深度为 P , 因此决定了 A_2 点。过 B_1 、 A_2 、 B_2 三点可作一圆弧, 其半径 R 即为刀具廓形上近似圆弧的半径。

$$\left. \begin{aligned} \text{tg}\delta &= \frac{P}{x} \\ R &= \frac{x}{\sin 2\delta} \end{aligned} \right\} \quad (1-8)$$

式中 δ ——计算过程中引进的角度。

三、成形车刀的附加切削刃

成形车刀切削刃的宽度 (指切削刃展开宽度) 主要根据工件廓形宽度决定, 并要考虑到

端面修光、倒角和切断预加工，故应使切削刃两侧超出工件的廓形宽度，该超出部分称为附加切削刃。例如图 1-11，左侧用于切断的预加工，右侧用于倒角，其附加切削刃尺寸可作参考。

成形车刀切削刃总宽度 L_0 应为工件廓形宽度和附加切削刃宽度之和，其最大宽度应根据工件、机床及刀夹的刚性而定，切削时不应出现振动现象，通常取 $L_0 \leq 3d_{\min}$ ， d_{\min} 为加工表面最小直径。如果工件廓形过宽，则可采用两把成形车刀分段切削，或在加工时采用辅助支承滚轮和托架等（图 1-12），以增加工艺系统的刚度。

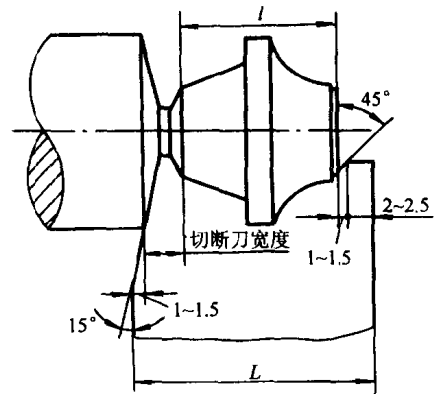


图 1-11 成形车刀的附加切削刃

四、成形车刀的公差和样板设计

刀具成形部分的制造公差可取为工件公差的 1/2~

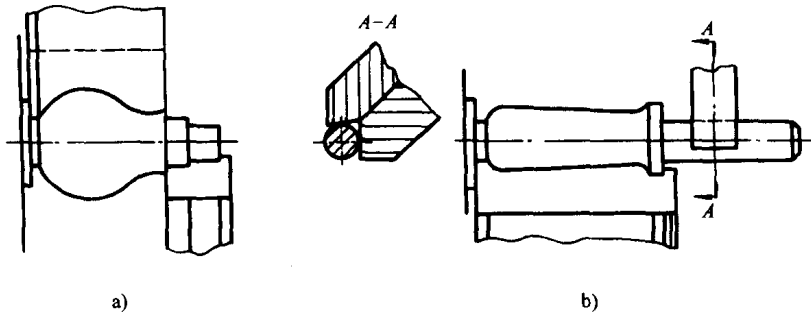


图 1-12 刀具宽度过大的成形车刀加工方法
a) 用两把成形车刀同时加工 b) 利用托架进行加工

1/3，公差带为双向分布，但在廓形深度上一般不超过 $\pm 0.01 \sim \pm 0.04 \text{mm}$ ，在宽度方向上不超过 $\pm 0.02 \sim \pm 0.10 \text{mm}$ （当工件宽度公差分别为 $< 0.15 \text{mm}$ 、 $0.15 \sim 0.2 \text{mm}$ 、 $0.2 \sim 0.3 \text{mm}$ 、 $0.3 \sim 0.5 \text{mm}$ 和 $> 0.5 \text{mm}$ 时，刀具宽度公差相应取 $\pm 0.02 \text{mm}$ 、 $\pm 0.03 \text{mm}$ 、 $\pm 0.04 \text{mm}$ 、 $\pm 0.06 \text{mm}$ 和 $\pm 0.1 \text{mm}$ ）。刀具圆弧部分半径的制造公差，可取为工件圆弧部分相应半径公差的 0.2 倍。刀具角度的公差，对于棱体刀，一般规定楔角 β_f 的公差为 $\pm 10' \sim \pm 30'$ ；对于圆体刀，可根据此角度公差，算出前刀面离刀具中心距 h 的公差。

成形车刀各表面粗糙度规定为：前、后刀面为 $R_a 0.4 \sim 0.2 \mu\text{m}$ ，圆体刀内孔表面和两端面以及棱体刀的燕尾槽夹固基面为 $R_a 0.8 \mu\text{m}$ ，其余为 $R_a 3.2 \mu\text{m}$ 。

成形车刀制造时，一般常用样板来控制廓形精度。有关样板的设计方法，详见第十六章第五节。

五、成形车刀加工圆锥表面时的双曲线误差

如图 1-13a，由于棱体刀的前角 $\gamma_f > 0^\circ$ ，通过前刀面剖面得到的工件廓形呈双曲线形状，但为了制造简便，常将法剖面 $N-N$ 中的切削刃作成直线，因此产生了过切量 δ ，经加工后的零件廓形不呈圆锥面，而呈内凹双曲面，这就产生了双曲线误差。

图 1-13b 为用圆体刀切削圆锥表面时，由于 $\gamma_f > 0^\circ$ 、 $\alpha_f > 0^\circ$ ，在通过锥形圆体刀的前刀面剖面中，切削刃形状为双曲线，而工件廓形是反向双曲线，产生的过切量为 $\delta + \delta_1$ ，它出现的双曲线误差更大些。