

船机制造工艺学

Shipping machinery manufacture process

王静思 主讲

Lecturer: WANG Jingsi

Tel: 13904083642

大连海事大学 轮机工程学院

Marine engineering college of DMU

第一章 绪论

Chapter 1 Introduction

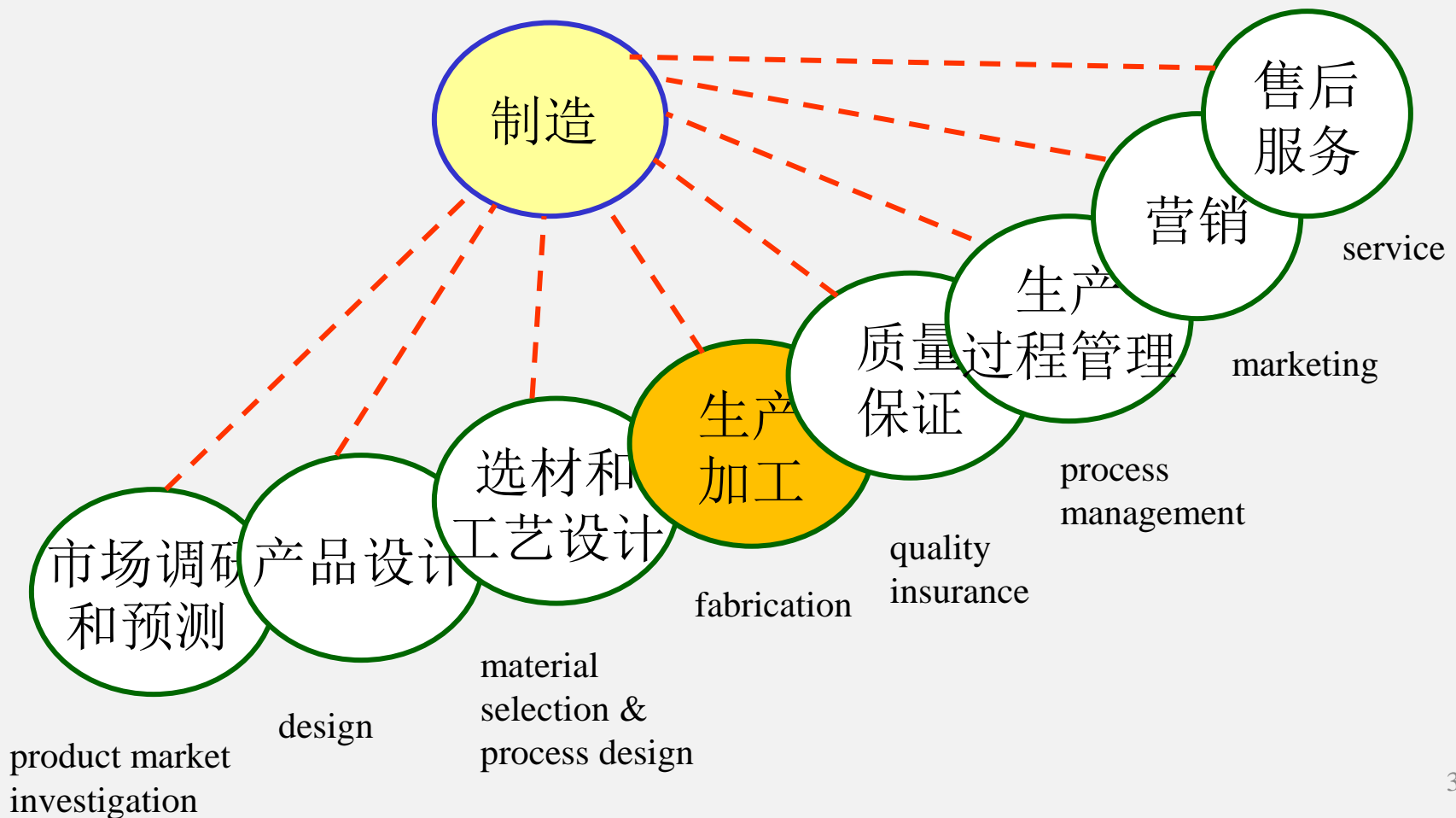
内容提要:

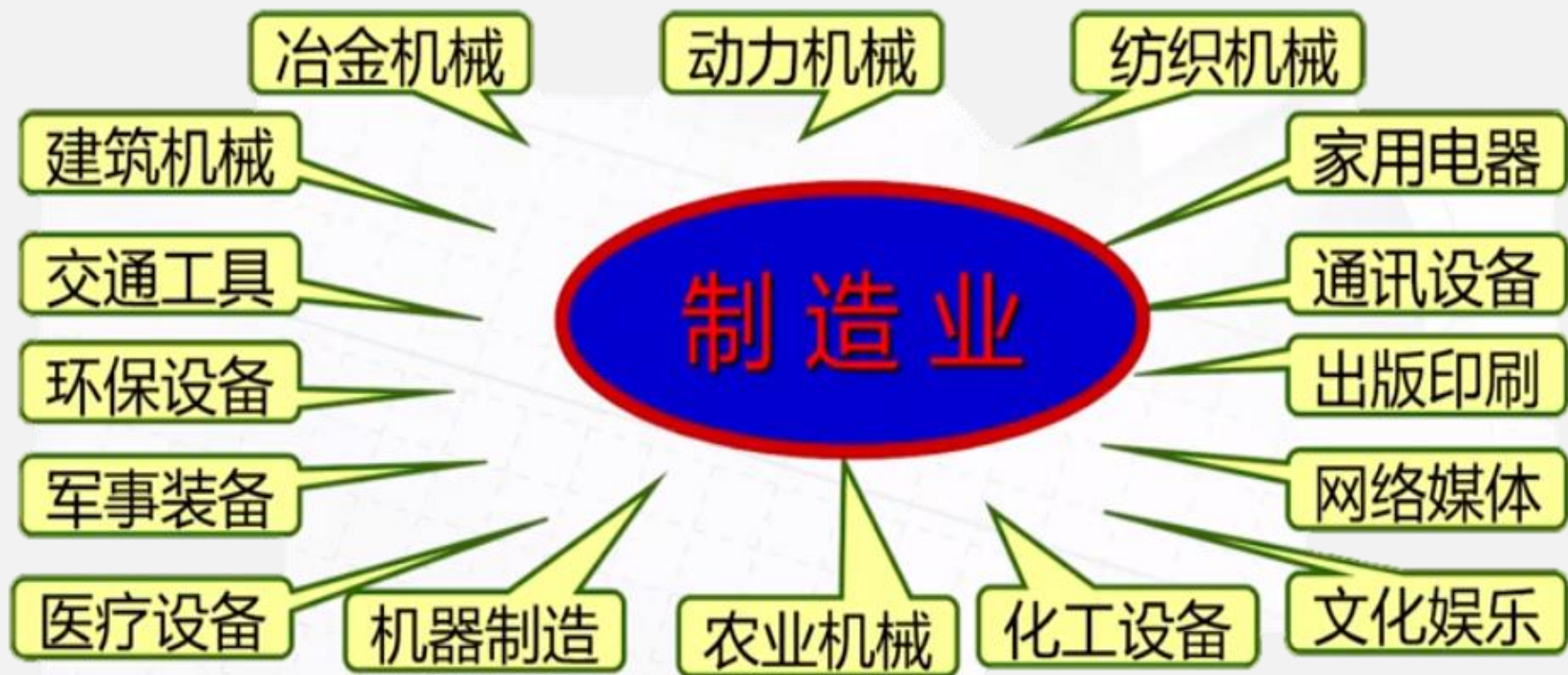
- ◆ 概念
- ◆ 机械制造技术发展
- ◆ 主要工业国家制造业发展现状和前景
- ◆ 船用柴油机制造业发展现状
- ◆ 课程内容简介和要求

什么是“制造”？

What is the concept of manufacture?

是人类按照其掌握的知识和技术，
将原材料转化为最终产品，并投入
市场的全过程。





国民经济总收入的60%以上来自制造业，美国约1/4人口直接从事制造业。

机械制造业是制造业的最主要的组成部分，它是为用户创造和提供机械产品的行业，包括了机械产品的开发、设计、制造生产、流通和售后服务全过程。

机械制造业肩负这双重任务：

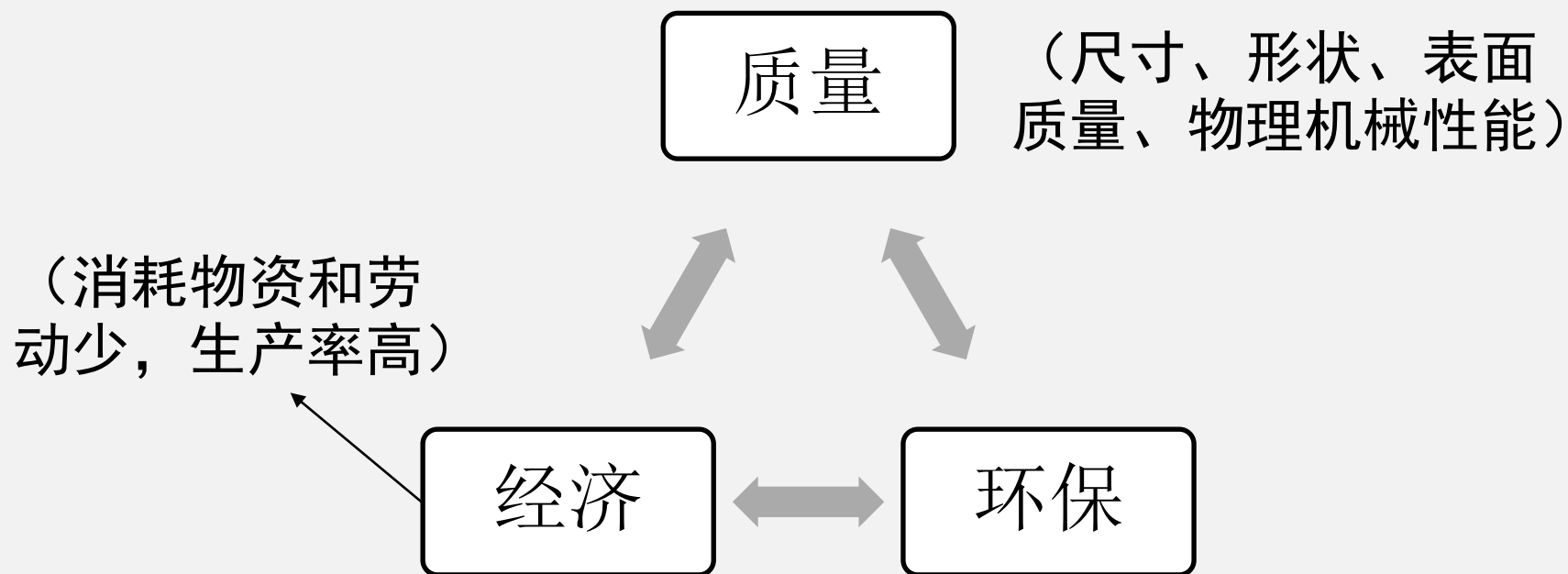
一、直接为最终用户提供消费品；

二、为国民经济各行业提供生产技术装备。

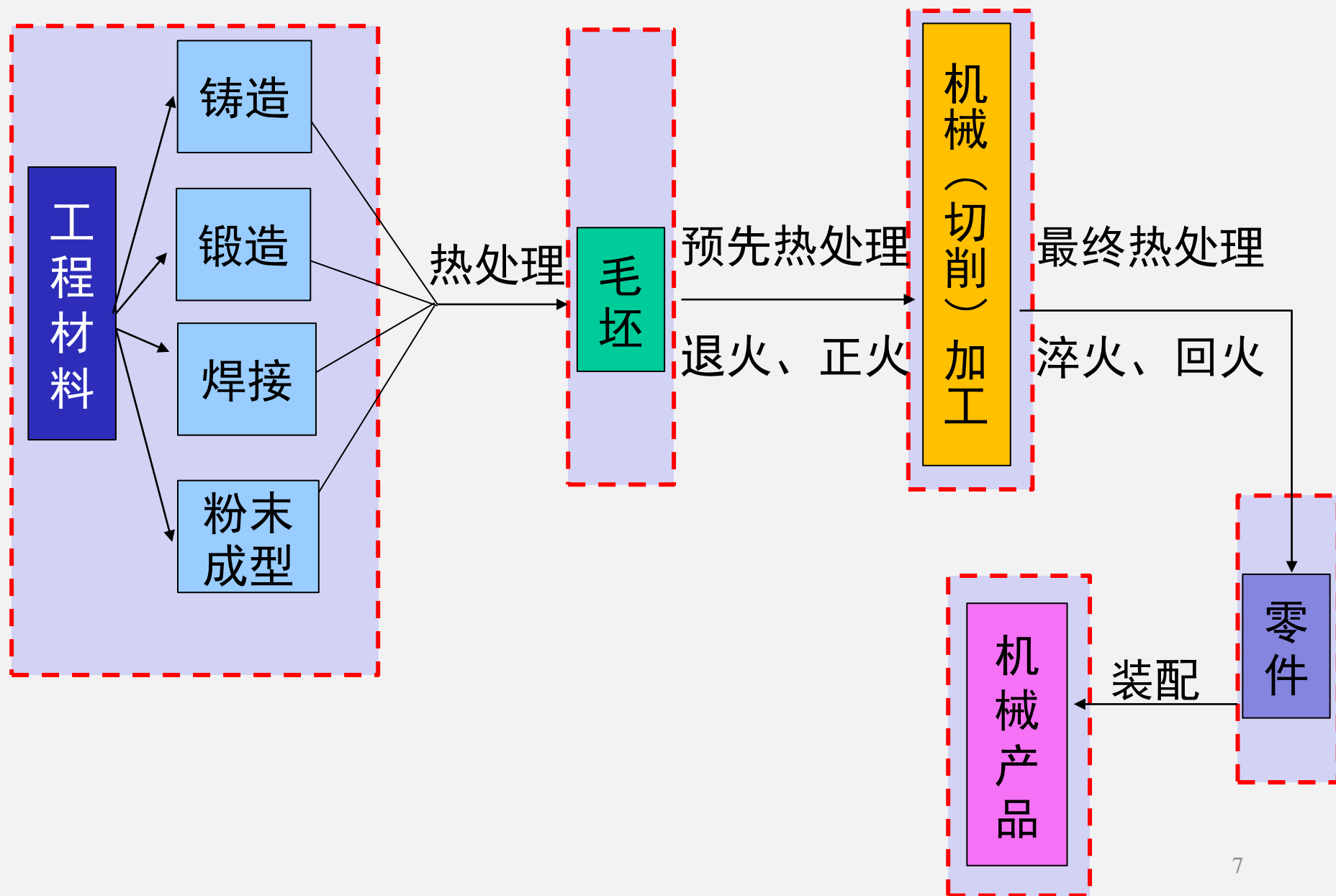
机械制造技术水平的提高与进步将对整个国民经济的发展和科技、国防实力产生直接的作用和影响，是衡量一个国家科技水平的重要标志之一，在综合国力竞争中具有重要的地位。

机械制造工艺学：是研究机械加工及装配过程中涉及的基本理论、规律及其应用技术的科学。

- 机械制造工艺包括**机械加工工艺**和**机械装配工艺**。

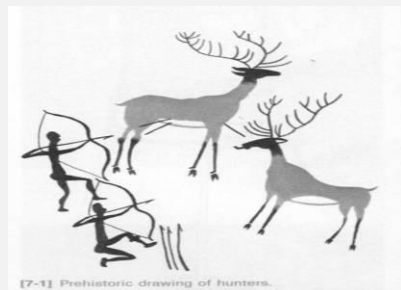


材料---产品（机械制造过程）：



制造的历史与人类的文明同步。

The manufacturing history is synchronous with the human civilization.



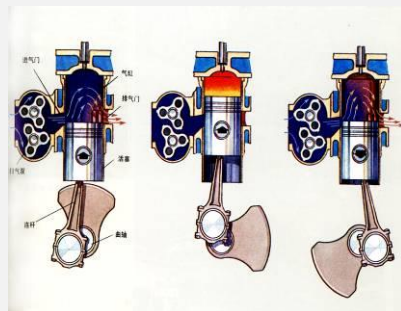
石器时代



陶器时代



青铜器，铁器时代

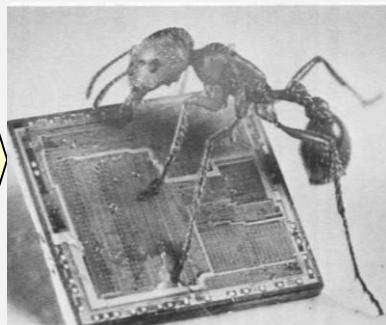


第一次工业革命

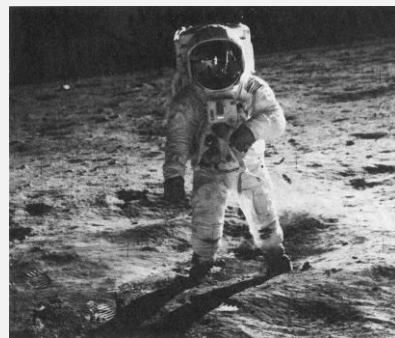
人猿相揖别，只几个石头磨过.....物勒工名



第二次工业革命



电子和计算机时代



航天时代



.....时代

制造业地位和作用:

- (1) 是国民经济的支柱产业和经济增长的发动机
- (2) 是高技术产业化载体和实现现代化的重要基石

电子、航天航空、海洋

- (3) 是国家安全的重要保障

3D钛合金打印技术应用、挖泥船

“One should never intend to do harm to others, but should always guard against the harm others might do to him.”。



上海江南造船厂

Shanghai Jiangnan shipyard



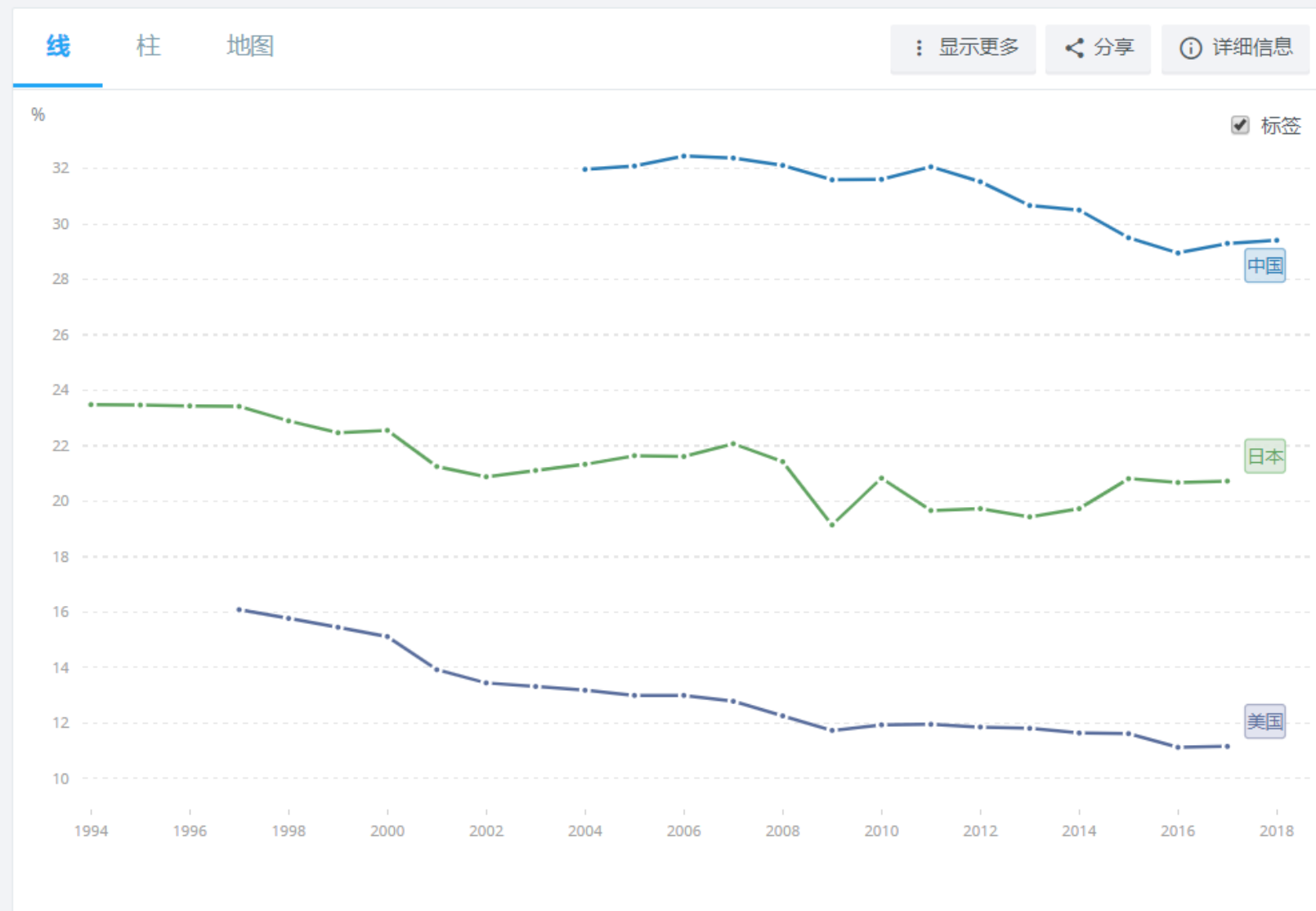
华为公司生产车间

The workshop in Huawei Co.

制造业地位和作用:

制造业，增加值（占GDP的百分比） - China, Japan, United States

世界银行国民经济核算数据，以及经济合作与发展组织 国民经济核算数据文件。



传统的物质生产部门包括传统机械制造业是否已经开始衰退？今后，即使是遥远的未来，是否可能消失？

A 是

B 否

提交

现代机械制造的特点

Properties of modern manufacture

特种化、精密化、自动化、系统化、信息化、智能化、网络化、绿色化。

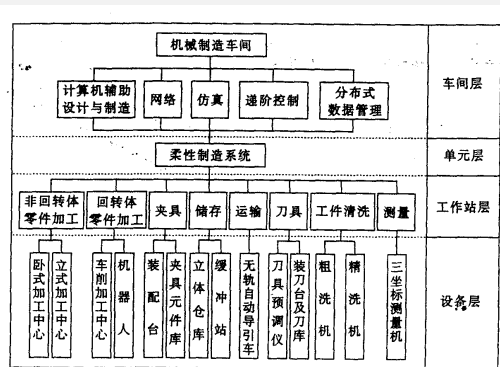
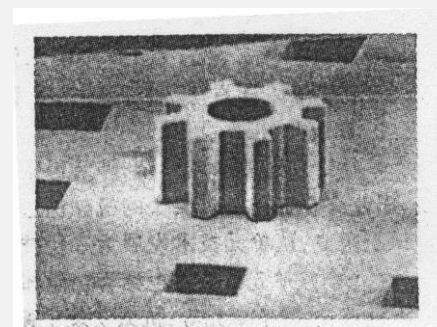


图3 计算机集成制造系统实验工程

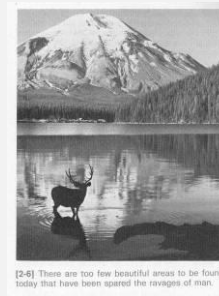


数字化

系统化、层次化、集成化

柔性化、可重构化

精密化、微型化



[2-6] There are too few beautiful areas to be found today that have been spared the ravages of man.

敏捷化、虚拟化

非传统化、特种化
(3D、激光加工...)

智能化----智能制造

绿色化、生物化

主要工业国家制造业发展现状和前景

The Status and Trend of Global manufacture

2013年**德国**发布《保障德国制造业的未来：关于实施“工业4.0”战略的建议》。

将资源、信息、物品和人进行互联，从而造就**物联网**和**服务网**，而后将**信息物理系统**(Cyber-Physical System)技术一体化应用于制造业和物流行业。



工业4.0 (2013~
未来)，信息物理
融合系统 (CPS) .

德国对现代工业划分

“德国制造” 四个基本特征：

- 耐用 (Haltbarkeit)、
- 可靠 (Zuverlässigkeit)、
- 安全 (Sicherheit)、
- 精密 (Präzision)。

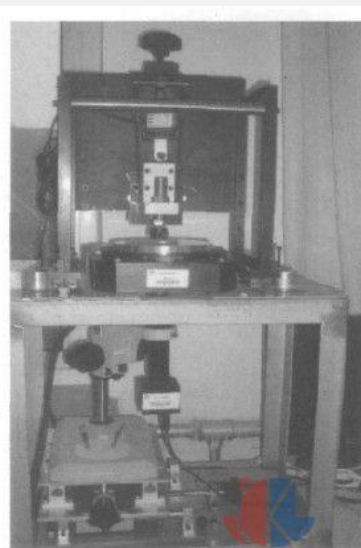
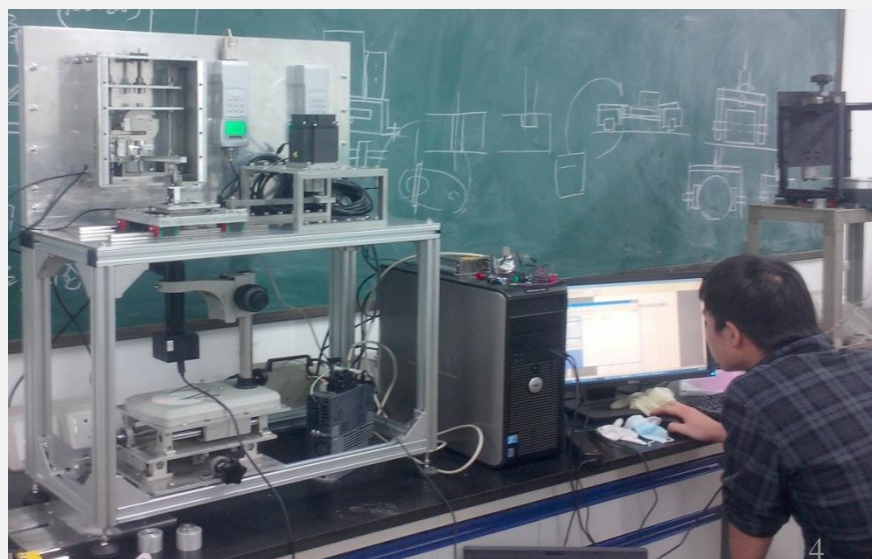


图3 实验装置照片



德国 Precitec 的干涉传感器

- “去工业化”曾导致**美国**经济发展滞缓。
- 20世纪80年代末期美国：把AMT（Advanced Manufacturing Technology），提出“工业互联网”。
- 奥巴马2009年提出了重振制造业的再工业化战略。
- 特朗普任总统时期：“**美国优先**”（对产业链进行优化和重构，构建制造业产业链新的国际分工格局和国际贸易秩序。）



美国AMT



美国ITAMCO
公司展示的增
强现实（AR）
技术



工业3D打印机可
用来制造工装夹具
和其他定制硬件

美国 制造业
US manufacturing industry

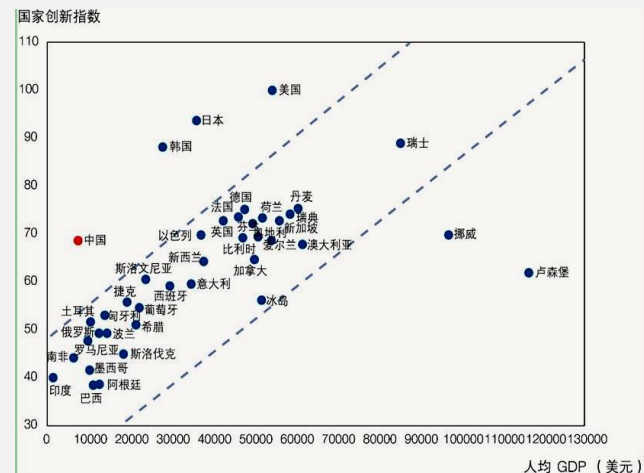
- **日本**（21世纪初）将振兴制造业的基础技术纳入国家基本法。制造业将永远是人类社会的‘首席产业’。
- 全球化经营领先世界，海外生产比重达1 /4。
- “制造业服务化”（“软件”），实现高附加值化目标。



工业机器人



工业自动测量



***新的械制造技术**

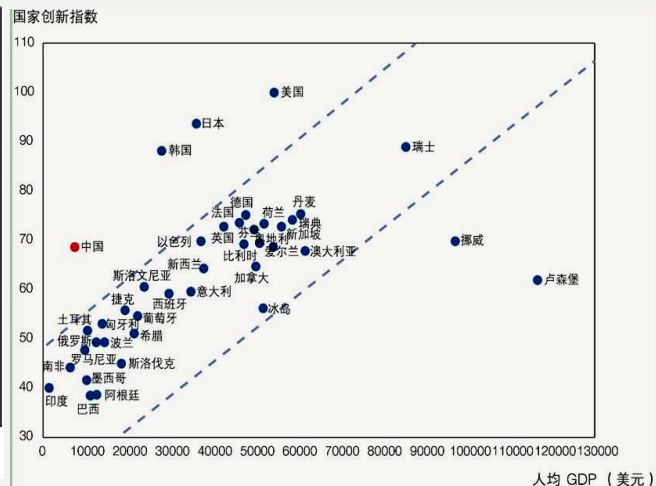
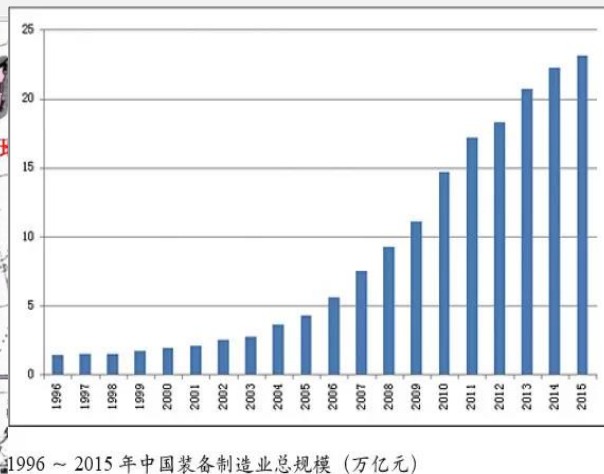
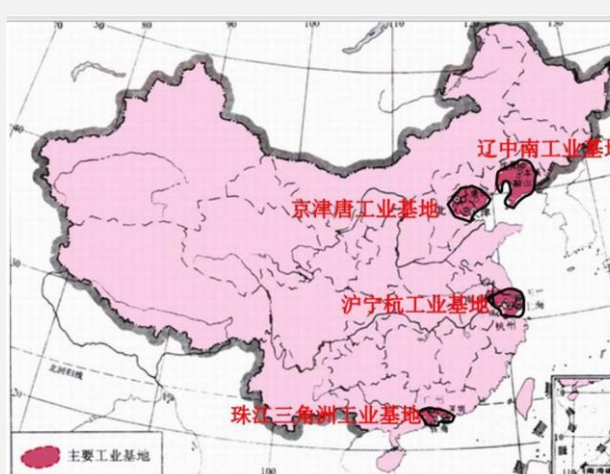
New methods in manufacture

第一阶段（1996～1999年）：体制改革、对外开放。

第二阶段（2000～2010年）：乘势追赶、高速发展。

第三阶段（2011年至今）：转型升级、适应新常态

中国制造业增加值连续多年位居世界第一（2018年高技术制造业占规模以上工业比重超过12%。）



主要工业基地

国家创新指数排名：19
(2014)、18 (2015)、
17 (2018)

“世界工厂” (world's workshop/factory)

“中国(人)制造” (Made in China or made by Chinese)



the shoes are
made in Italy by
Chinese



工程机械的价格
仅为同型号进口
产品的1 / 4左右。

在Toronto,London,
墨尔本, 悉尼, 在街
道上每遇见5个人,
其中就有1个人是黄
色面孔。中国人把讲
英语的国家变成了双
语国家。

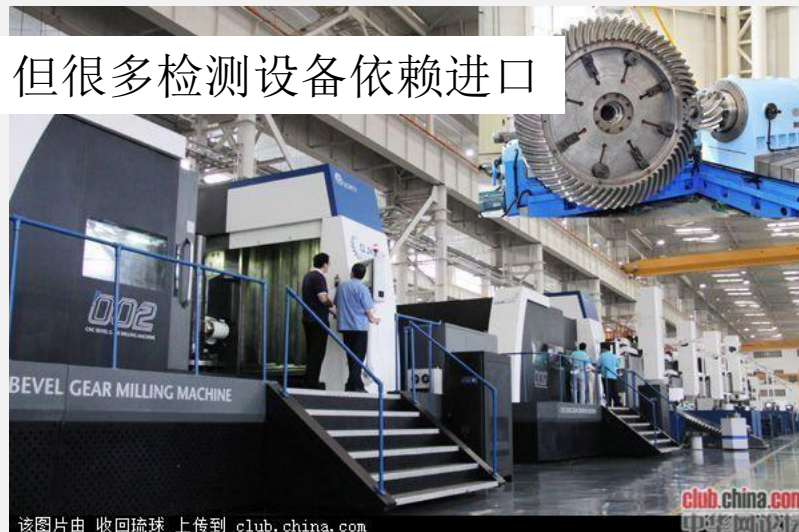




中国装备制造业产值突破20万亿占全球比重超1/3（2014）



中国生产了世界60%发电设备



但很多检测设备依赖进口

中国生产了世界38%的机床

2014年中国承接海洋工程装备订单金额占全球市场份额的35.2%，超过新加坡和韩国，跃居全球首位。



“中国制造” 船舶航行于全球的洋面上。

□中国高铁;
□航天;
□北斗卫星导航系统。

“可上九天揽月，
可下五洋捉鳖”

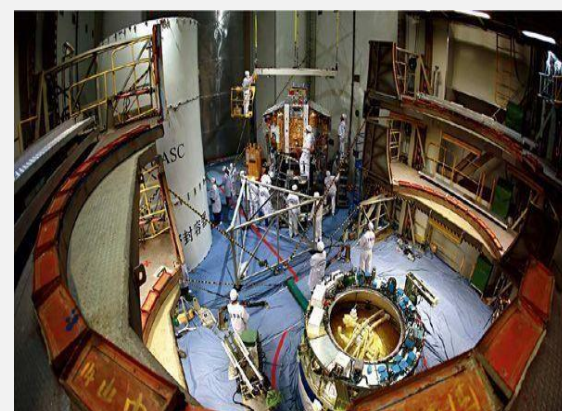
- 综合竞争力大幅提升
- 创新能力持续增强
- 重大技术装备研制取得显著成效
- 高端装备制造业发展迅猛
- 富有特色的产业基地不断涌现



2014年中国自主品牌工业机器人销量达到1.6万台，占全国市场份额近30%。



远望5号航天测控船



嫦娥3号发射准备现场



蛟龙号深潜器



中国高铁



大连造船厂改装航母“辽宁舰”

中国制造——“前景光明”

- 2001年工程院《新世纪如何提高和发展我国制造业的研究报告》
- 我国将AMT纳入了国防预研和国家863计划
- 机械工业将AMT列为21世纪初科技发展重点。
- 2014年工信部、发改委、科技部和国资委正在联合编制《中国制造2025》(Made in China)
- 2017年，工信部组织修订《“中国制造2025”分省市指南（2017年）》



新词汇：

- 互联网+制造
- 智能制造、中国创造
- 中国制造
- 中国智造
- 工匠精神

<https://tv.sohu.com/v/cGwvODk5NjU1Ny84NDM4NzE1Mi5zaHRtbA==.html?channeled=1211010002>

MADE IN CHINA 中国制造

2025 中国制造2025——战略目标

立足国情，立足现实，力争通过“三步走”实现制造强国的战略目标

第一步：力争用十年时间，迈入制造强国行列。

到2020年，基本实现工业化，制造业大国地位进一步巩固，制造业信息化水平大幅提升。掌握一批重点领域关键核心技术，优势领域竞争力进一步增强，产品质量有较大提高。制造业数字化、网络化、智能化取得明显进展。重点行业单位工业增加值能耗、物耗及污染物排放明显下降。

第二步：到2035年，我国制造业整体达到世界制造强国阵营中等水平。创新能力大幅提升，重点领域发展取得重大突破，整体竞争力明显增强，优势行业形成全球创新引领能力，全面实现工业化。

第三步：新中国成立一百年时，制造业大国地位更加巩固，综合实力进入世界制造强国前列。制造业主要领域具有创新引领能力和明显竞争优势，建成全球领先的技术体系和产业体系。

到2025年，制造业整体素质大幅提升，创新能力显著增强，全员劳动生产率明显提高，两化（工业化和信息化）融合迈上新台阶。重点行业单位工业增加值能耗、物耗及污染物排放达到世界先进水平。形成一批具有较强国际竞争力的跨国公司和产业集群，在全球产业分工和价值链中的地位明显提升。

MADE IN CHINA 中国制造

2025 大力推动重点领域突破发展（1/4）

瞄准新一代信息技术、高端装备、新材料、生物医药等战略重点，引导社会各类资源集聚，推动优势和战略产业快速发展。



新一代信息技术产业



高档数控机床和机器人



航空航天装备



海洋工程装备及高技术船舶



先进轨道交通装备



节能与新能源汽车



电力装备



农机装备



新材料



生物医药及高性能医疗器械

*问题：你了解哪些制造加工工艺？

- 高速与超高速加工（切削钢600~3000m/min）
- 超精加工技术
- 激光技术、
- 超声加工、
- 水喷射加工
- 电火花加工
- 电化学加工（电解加工、磨削、研磨、电铸、涂镀）
- 增材制造

Nowadays, the manufacture is not just mean classical machining, it is a brand new technology and innovative industry which integrated with mechanical science, electronics, optics, information science, material science, biology, laser science, last but not least, management. Manufacturing is the means by which the technical and industrial capability of a nation is harnessed to transform innovative designs into well-made products that meet customer needs.

船用柴油机制造业发展现状

Manufacturing industry of Diesel Engine

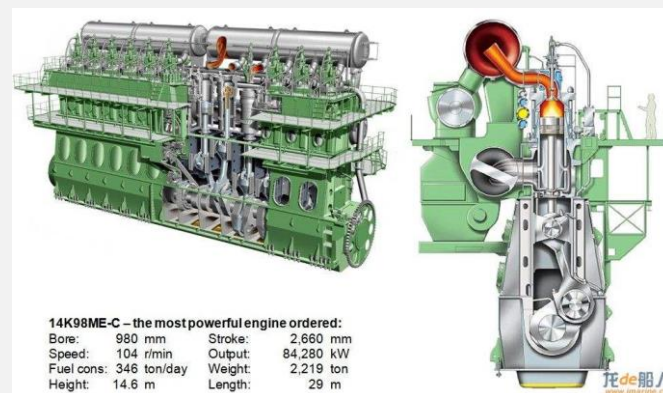


德国的鲁道夫·狄塞尔(Rudolf Diesel)于 1892年申请了他的专利(德国皇家专利号67207),并于1894年成功地实现了首台样机。

船舶柴油机是船舶最主要的配套设备,它应用于船舶推进动力装置和船舶电站,在船舶总成本中分别占10~15%和3~5%。从世界范围来看,在全部民船柴油主机中,以功率计算,二冲程(大功率)低速机几乎占80%;而以台数计算,占比接近60%。

- 80 %~90 %大型商船使用低速大功率柴油机主推进装置（占船价~10 %）。
- 95 %以上船舶低速大功率柴油机是丹麦MAN B&W和瑞士Wartsila两家船舶柴油机公司设计的产品。
- 发展趋势：追求高功率密度+低排放指标+节能+智能化。
- 强化系数：绝大部分超过24 MPa•m/s，有一些甚至超过30 MPa•m/s。
- 低排放指标：NO_x 排放及SO_x排放浓度。
- 节能指标：降低燃油消耗。

这二家公司的产品设计主导了国际船舶用柴油机市场。各国制造企业则主要以生产许可证的形式进行制造。



发展历程：从无到有

History of Development

1958年：设计制造2000、3000Hp的6ESD60/106船用低速柴油机在大连和上海研制成功；

60～70年代制造近百台430、580、750、760、780、930mm柴油主机。

1978、1980年：与引进Sulzer、B&W柴油机生产许可证在四个厂生产（**大连船用柴油机厂、宜昌船用柴油机厂、上海船厂和沪东船厂**）。



为11万吨油轮生产的DMD-SULZER RTA72U型柴油机

“合抱之木，生于毫末，九层之台，起于累土。”

1990 年后：我国低速柴油机已完全由MAN - B&W 的MC/MC - C 和WARTSILA - SULZER 的RTA 系列所取代。

2000-2010年大型船用柴油机曲轴实现了批量生产。

现在已经成为世界重要的船用柴油机生产国。中国在2015 年超过日本，很快将超过韩国，成为世界第一大船用柴油机制造国。



我国从事大功率柴油机整机生产的企业共有 30 个，其中船用大功率柴油机生产企业 20 个。共有职工 60,000 人，技术人员 7,000 人。（侯勤春（中国船舶重工集团公司第七一一研究所，上海 200090）.船用大功率柴油机产业发展初步分析.SHIP ENGINEERING 船舶工程.Vol.30 No.3 2008 总第 30 卷，2008 年第 3 期：10-12.）

1990 年后~：中速柴油机通过引进、国产化、关键技术消化吸收，缩小了与国外的差距。但与国外中速柴油机相比，在可靠性、高增压技术、NO_x 排放控制、电控共轨燃油喷射等技术方面，还存在很大差距。



中速柴油机的厂家有
淄博柴油机总公司、
陕西柴油机厂、
镇江船用柴油机厂、
安庆船用柴油机厂、
重庆长江柴油机厂、
新中动力机厂、
沪东重机股份有限公司等。

中国主要船用柴油机制造厂家（manufacturers）

- 上海中船三井造船柴油机有限公司CSSC-MES Diesel Co., Ltd. (CMD) (T)
- 大连船用柴油机有限公司Dalian Marine Diesel Works (T)
- 沪东重机有限公司Hudong Heavy Machinery Co. Ltd. (T, F)
- 宜昌船舶柴油机有限公司Yichang Marine Diesel Engine Plant (T)
- 青岛齐耀瓦锡兰菱重麟山船用柴油机有限公司 Qingdao Qiyao Wartsila MHI Linshan Marine Diesel Co., Ltd.
- 潍柴重机股份有限公司Weichai Heavy Machinery Co., Ltd. (F)
- 南车资阳机车有限公司CSR ZiYang Locomotive Co., Ltd. (CSR) (F)
- 河南柴油机重工有限责任公司Henan Diesel Engine Heavy Industry Co., Ltd. (F)
- 江苏安泰动力机械有限公司 Jiangsu Antai Power Machinery Co., Ltd. (T)
- 江苏国泰船用柴油机制造有限公司Jiangsu Guotai Marine Diesel Manufacture Co., Ltd. (F)
- 济南柴油机股份有限公司 CNPC Jichai Power Equipment Company (F)
- 陕西柴油机重工有限公司Shaanxi Diesel Engine Heavy Industry Co., Ltd. (F)
- 上海新中动力机厂Shanghai Qiyao Engine Company Limited (F, TC)
- 洋普重机Zhejiang YungPu Heavy Machinery Co., Ltd. (T)
- 镇江中船设备有限公司ZHENJIANG CME CO., LTD. (T, F)
- 中基日造柴油机有限公司Zhongji Hitachi Zosen Diesel Engine Co., Ltd.(T)
- 广州柴油机厂股份有限公司Guangzhou Diesel Engine Factory CO.,LTD
- 珠海玉柴船舶动力股份有限公司 Zhuhai Yuchai Marine Power CO.,LTD

新动态 (new reports)

船舶工程.Vol.30 No.3/ 2008 :

2005 年8 月, 世界上第一台七缸**智能型** (7RTflex58T-B) 船用发动机在大连船用柴油机厂交货, 最大输出功率为15,260kW。

(侯勤春 (中国船舶重工集团公司第七一一研究所, 上海 200090) . 船用大功率柴油机产业发展初步分析.SHIP ENGINEERING 船舶工程.Vol.30 No.3 2008 总第30 卷, 2008 年第3 期: 10-12.)

《润滑与密封》第36 卷/2011年7月:

大连重工起重集团控股的**大连华锐船用曲轴有限公司**成功制造出长13 m、重235 t 的“瓦西兰”系列82T 大型船用曲轴, 达到世界领先水平。在机械加工、热装等方面自主创新, 有些加工技术和工艺已申请了国家专利。

中国船舶报/2014 年/10 月/31 日/第001 版:

由**上海中船三井造船柴油机有限公司**研制的我国最大功率船用低速机——11S90ME-C9.2 型船用低速柴油机顺利通过车间台架试验。该机长20.9 米, 宽10.6 米, 高15.4 米, 重1935 吨, 共有11 个汽缸, 单缸功率为5810 千瓦, 总功率约6.4 万千瓦, 为国内首制机型, 是目前国内单机功率最大的智能型低速柴油机, 也是目前国内汽缸数最多的低速柴油机

新挑战

New challenges

- **核心技术和品牌：**“打工式”的加工制造地位。（2012）“现用船用低速柴油机均采用引进许可证生产。”（侯勤春（中国船舶重工集团公司第七一一研究所，上海 200090）.船用大功率柴油机产业发展初步分析.SHIP ENGINEERING 船舶工程.Vol.30 No.3 2008 总第30 卷，2008 年第3 期：10-12.）
- **提高能效技术：**高增压柴油机，如“ABB 公司研制的4P 型增压器，压比高达5:1”。（侯勤春（中国船舶重工集团公司第七一一研究所，上海 200090）.船用大功率柴油机产业发展初步分析.SHIP ENGINEERING 船舶工程.Vol.30 No.3 2008 总第30 卷，2008 年第3 期：10-12.）
- **先进电子技术应用：**电子调速器、共轨供油系统。
- **高功率密度：**国外绝大部分 $>24 \text{ MPa}\cdot\text{m/s}$ ，甚至 $>30 \text{ MPa}\cdot\text{m/s}$ ；国产 $\sim 20 \text{ MPa}\cdot\text{m/s}$ 。
- **排放控制技术：**EGR（废气再循环）、SCR（催化还原）等降低 NO_x 、 SO_x 。
- **智能诊断技术：**各种新型传感器应用和物联网技术。

船机制造工艺学课程内容

- 绪论；
- 机械加工精度和表面质量；
- 零件定位与机床夹具；
- 工艺规程设计；
- 典型船机零件的制造工艺；
- 柴油机装备工艺；
- 现代制造中的加工技术；
- 现代制造工艺及管理。



教材：严志军，于静，王静思. 《船机制造工艺学教程》，大连海事大学出版社，2019年3月，27.00元

课程内容简介和要求

机械制造工艺学：研究机械加工和装配工艺过程及方法的科学。（机制工艺包括机械加工工艺和机械装配工艺。）满足质量要求（尺寸、形状、表面质量、物理机械性能）、经济要求（消耗物资和劳动少，生产率高）。

本课程的任务：掌握船用机械制造工艺的基本知识

课程的特点：专业性、实践性、综合性

要求：3次作业要齐全；
上课不缺课；复习要深入；

学习方法：50%靠课堂、30%看书、20%练习

本章内容回顾

思考题

- 我国制造业在世界中的地位如何？有哪些重要产品的制造处于世界领先地位？我国制造业有哪些不足？
- 国内外主要的船用柴油机、典型柴油机零件**制造厂**有哪些？各厂家的特色如何？有哪些相关的**研究所**？有哪些相关**学校和专业**？有哪些国内国外**相关期刊**？有哪些知名**学者**？我国船机制造的前景和发展方向是什么？有哪些**创新性的研究**？应该注意什么问题？
- 制造工艺学主要关注的内容是什么？通过课程的大致了解，你对制造工艺学中哪部分内容较感兴趣？简要介绍一种先进的制造工艺原理及其应用。
- 还有哪些内容本课程未涉及，而您又觉得有必要了解？



<https://v.qq.com/x/page/h07471wivkp.html>

清华教授薛澜：为什么中国航天发展很好而机械制造不如人意？

船机制造工艺学

Shipping machinery manufacture process

教师：王静思

大连海事大学轮机工程学院

Lecturer: Jingsi Wang

Marine engineering college of DMU

第一章 机械加工精度和表面质量

Chapter 1 Basic Terms of Machining Accuracy and Surface Quality

内容回顾：

内容提要：

第一节 加工精度的基本概念

第二节 影响加工精度的因素及其分析

第三节 机械加工的精度分析

第四节 机械加工表面质量的基本概念

第五节 影响表面质量的因素及其分析

第六节 机械加工振动及抑制振动的途径

第一节 加工精度的基本概念

Part 1 The concept of machining accuracy

一、什么是加工精度和加工误差？

What are the concepts of machining accuracy and machining error

加工精度：零件加工后实际的几何参数（尺寸、形状、位置）与理论几何参数符合的程度。

Machining accuracy: is the accordance degree between the actual and theoretical geographic parameters (dimension, form and position) of the product.

加工误差：零件加工后实际的几何参数（尺寸、形状、位置）与理论几何参数的偏离程度。

Machining error: is the disagreement degree between the actual and theoretical geographic parameters (dimension, shape and position) of the product.

加工精度的高低是通过加工误差的大小来衡量的。

Machining accuracy is represented by the value of machining error.

加工误差的类型：

- (1) 系统性误差：常值系统性误差、变值系统性误差。
- (2) 随机误差。

加工误差类型

(1) 系统性误差：

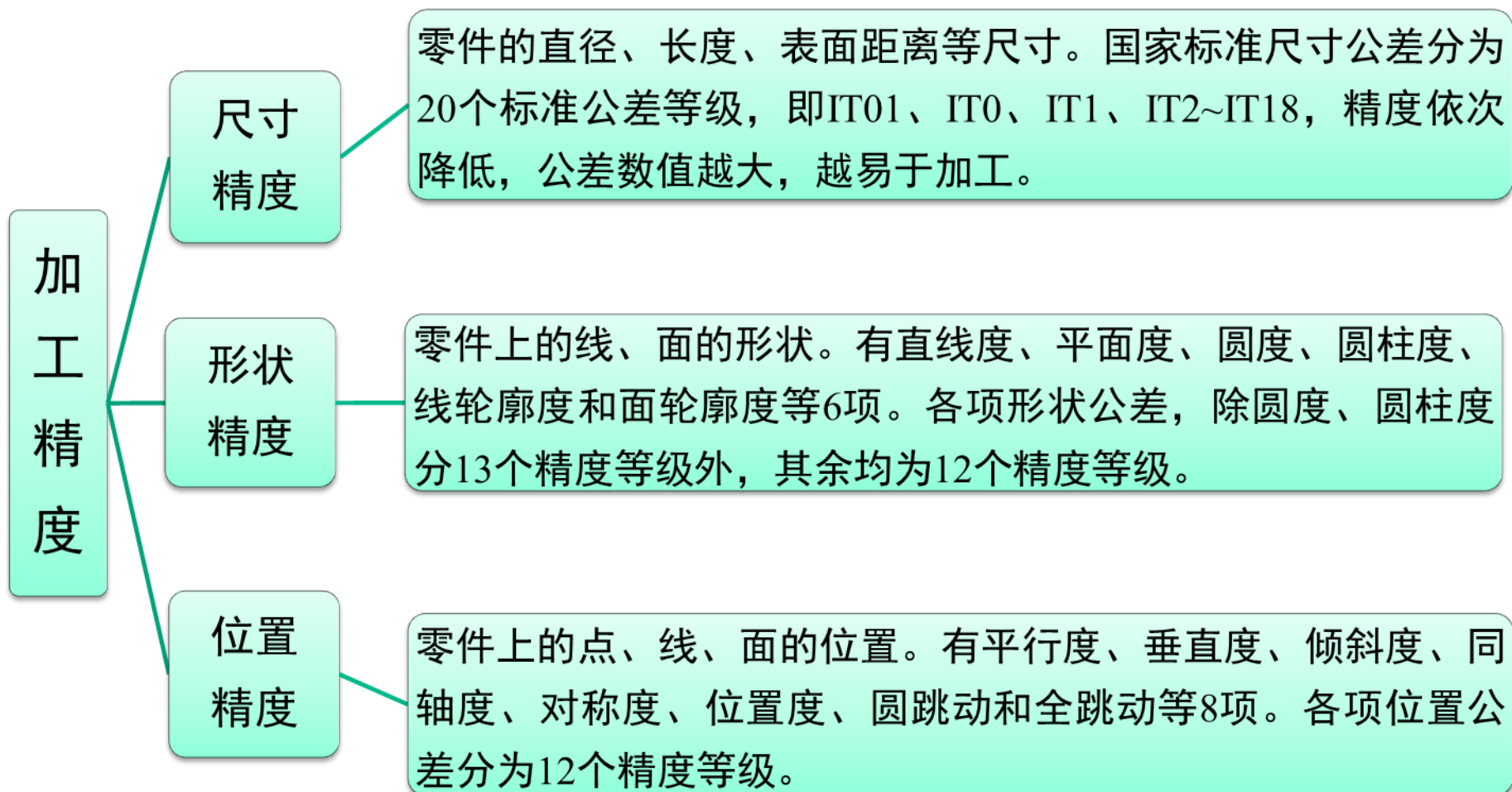
常值系统性误差 顺次加工一批工件后，其大小和方向保持不变的误差，称为常值系统误差。例如加工原理误差和机床、夹具、刀具的制造误差等，都是常值系统误差。此外，机床、夹具和量具的磨损速度较慢，在一定时间内也可看作是常值系统误差。

变值系统性误差 顺次加工一批工件中，其大小和方向按一定的规律变化的误差，称为变值系统误差。例如机床、夹具和刀具等在热平衡前的热变形误差和刀具的磨损等，都是变值系统误差。

(2) 随机误差

顺次加工一批工件，出现大小和方向不同且无规律变化的加工误差，称为随机性误差。例如毛坯误差(余量大小不一、硬度不均匀等)的复映、定位误差(基准面精度不一、间隙影响)、夹紧误差(夹紧力大小不一)、多次调整的误差、残余应力引起的变形误差等，都是随机性误差。随机性误差从表面看来似乎没有什么规律，但是应用数理统计的方法可以找出一批工件加工误差的总体规律，然后在工艺上采取措施来加以控制。

加工精度内容

















加工精度内容

不同加工方法对应的公差范围

加工方法	公差等级 (IT)	加工方法	公差等级 (IT)
研磨	1~5	粉末冶金烧结	7~10
珩	4~7	车	7~11
金刚石车、镗	5~7	镗	7~11
圆磨、平磨	5~8	铣	8~11
拉削	5~8	刨、插	10~11
粉末冶金成型	6~8	钻孔	10~13
铰孔	6~10	冲压	10~14
滚压、挤压	6~10	压铸	11~14

加工精度内容

形状精度

公差	项目	符号	公差	项目	符号
形状	直线度		位置	定向	平行度 
	平面度				垂直度 
	圆度				倾斜度 
	圆柱度			定位	同轴（同心）度 
形状或位置	线轮廓度				对称度 
	面轮廓度				位置度 
				跳动	圆跳动 
					全跳动 

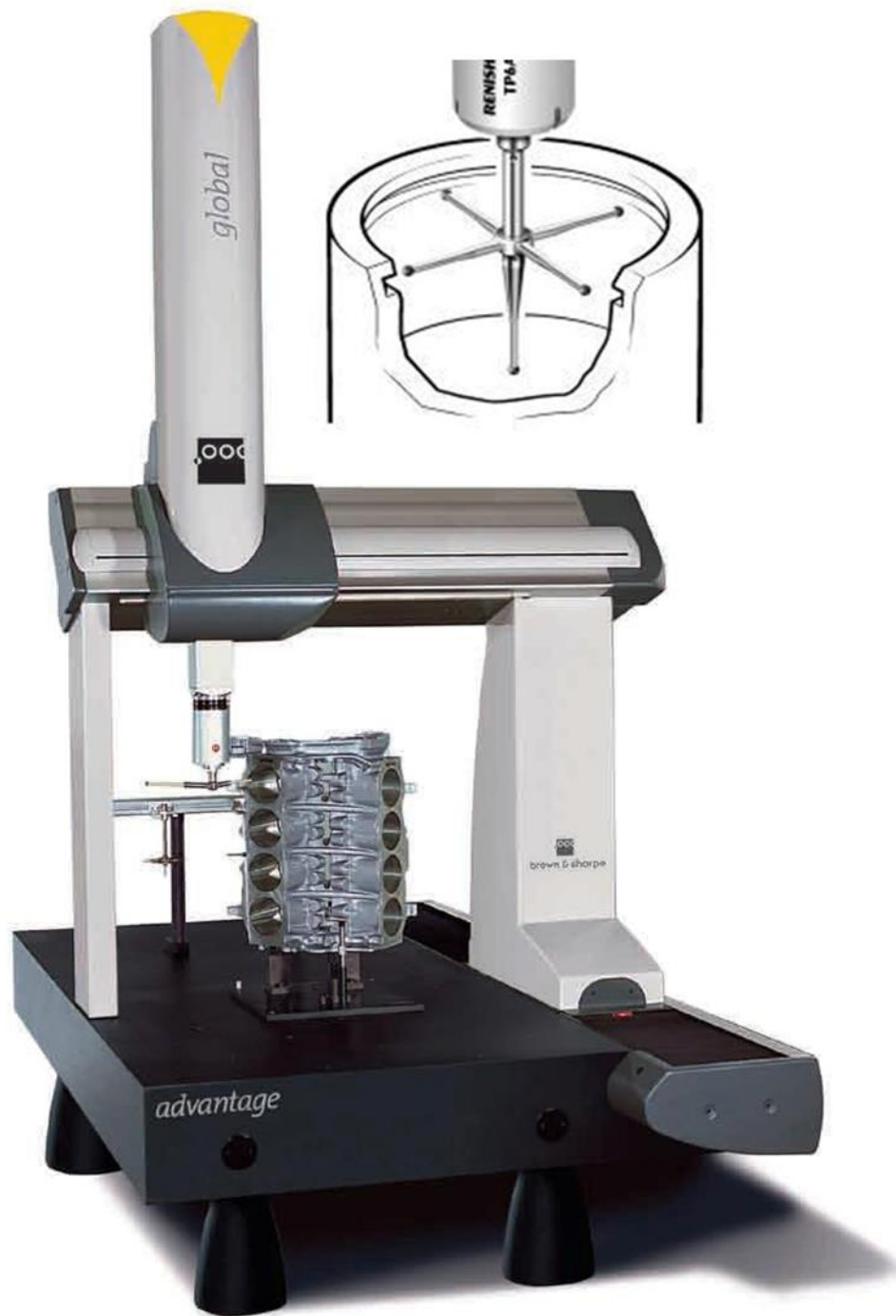
位置精度

尺寸精度、形状精度和相互位置精度，三者之间是既有区别又有联系。当尺寸精度要求高时，相应的位置、形状精度也要求高。

加工精度检测



三坐标测量仪



三坐标测量仪

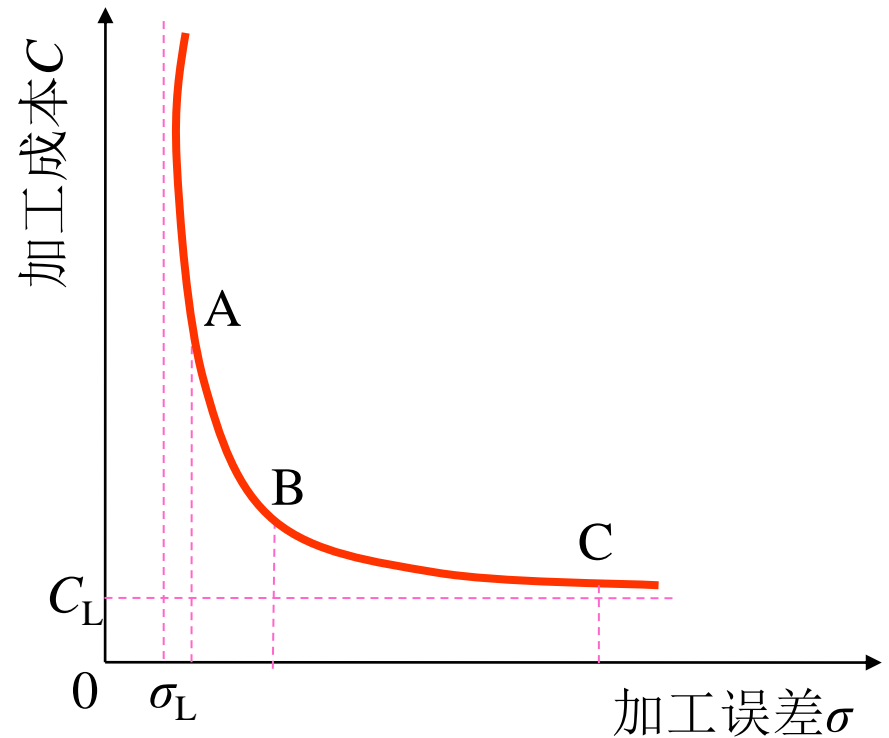


非接触三坐标测量仪

加工经济精度

在生产的过程中不一定精度越高越好，因为还需要考虑其经济性方面的要求。

在正常加工条件下（采用符合质量标准的设备、工艺装备和标准技术等级的工人、不延长加工时间）所能保证的加工精度，称为**加工经济精度**。



加工误差和加工成本的关系

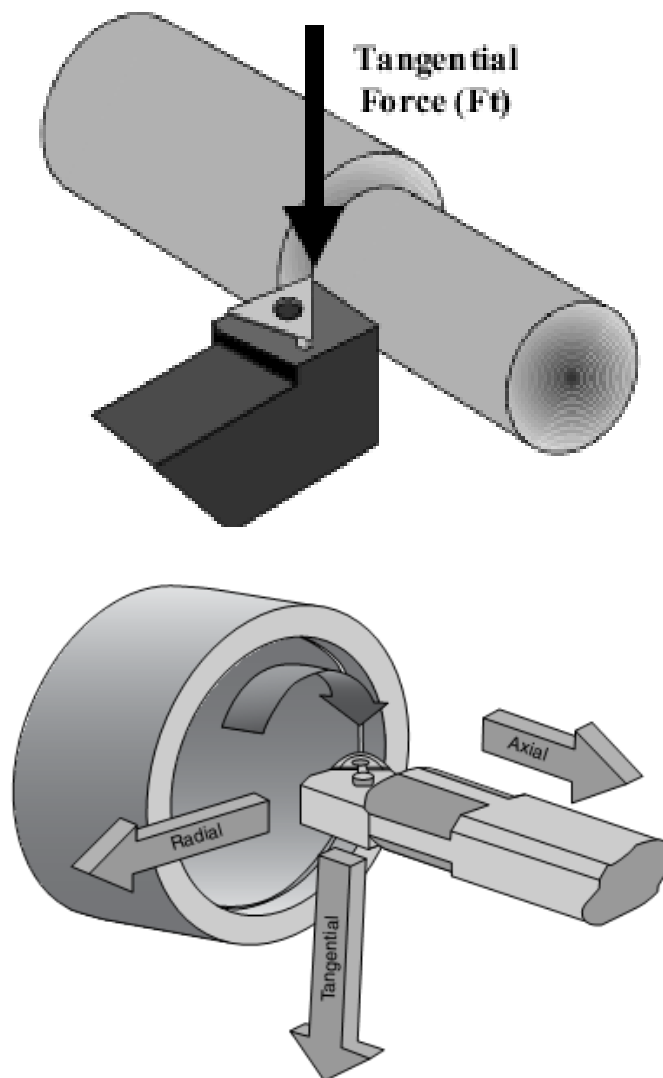
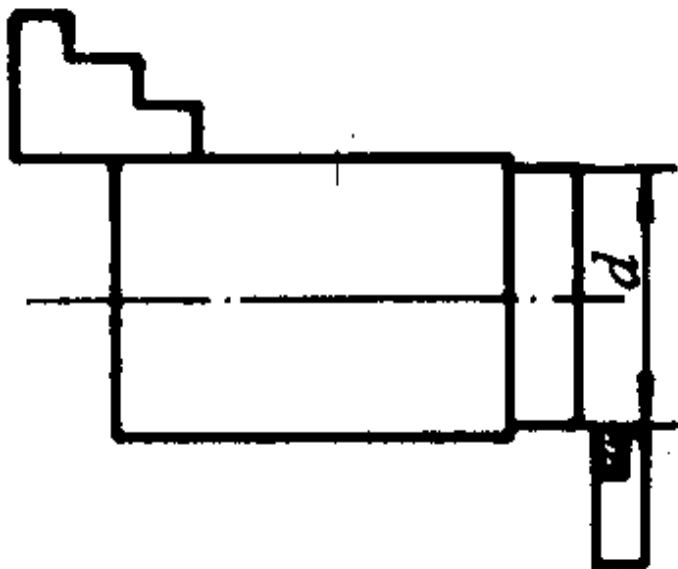
二、获得零件加工精度的方法

Methods of obtaining machining accuracy

1. 获得零件尺寸精度的基本方法有哪些？

Methods of obtaining dimensional accuracy

- (1) 试切法 (Trial cutting method)
- (2) 定尺寸刀具法 (Sizing tool method)
- (3) 调整法 (Method of adjustment)
- (4) 自动控制法 (Automatic control method)



(1) 试切法
Trial cutting method

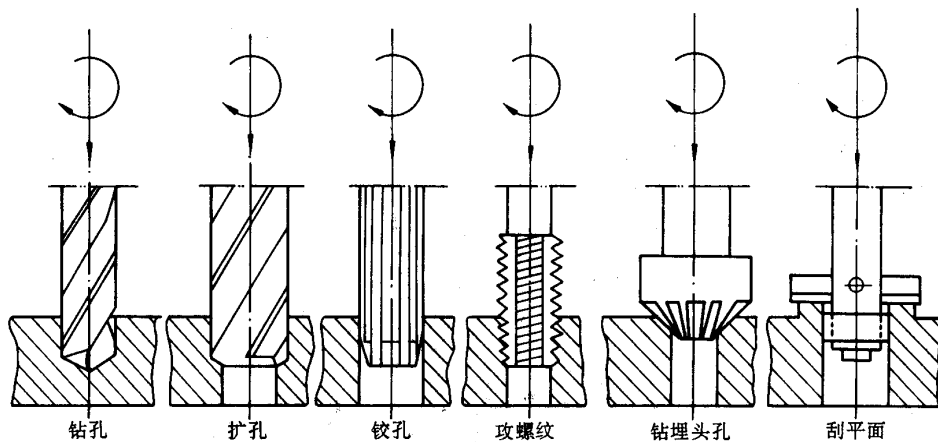


图 3-39 钻床的加工方法

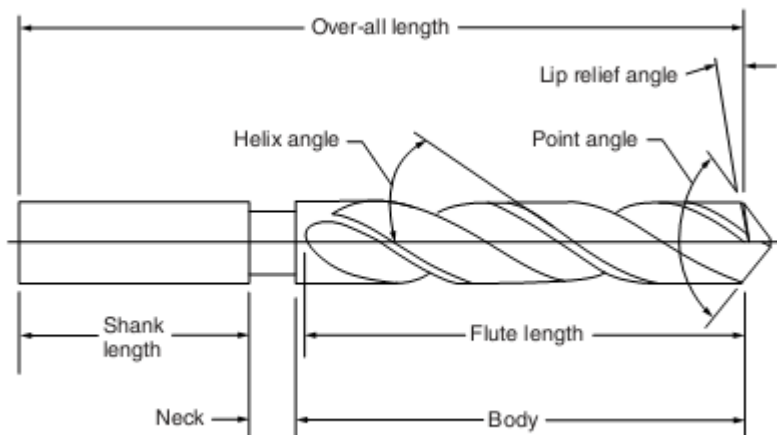
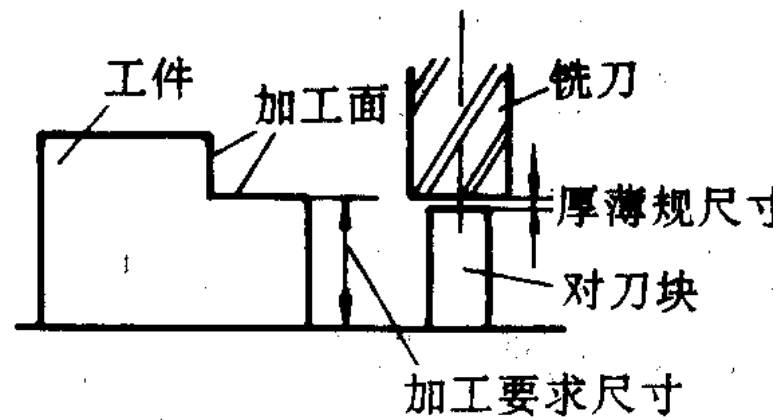
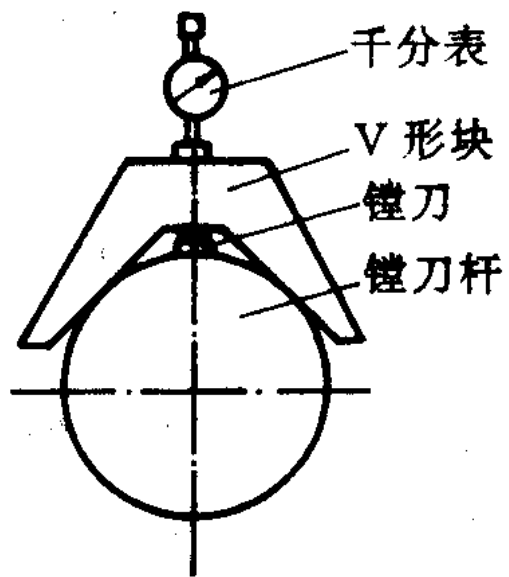


FIGURE 28.1 Drill-1: Twist drill.



FIGURE 29.2 Nonreversing tap driver.

(2) 定尺寸刀具法 Sizing tool method



(3) 调整法 Method of adjustment

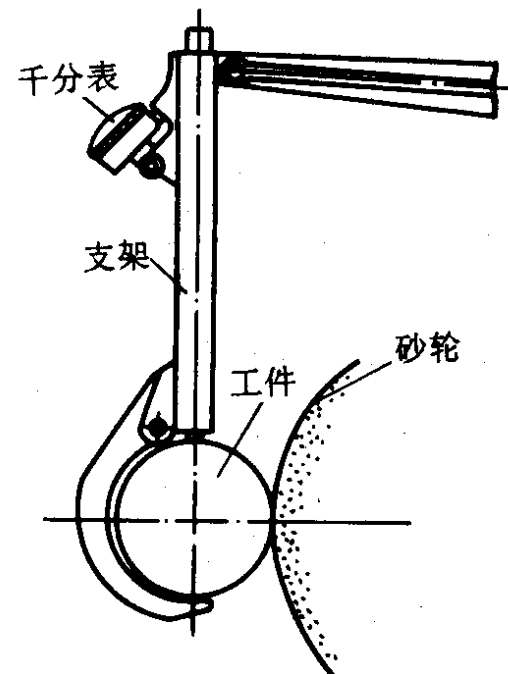
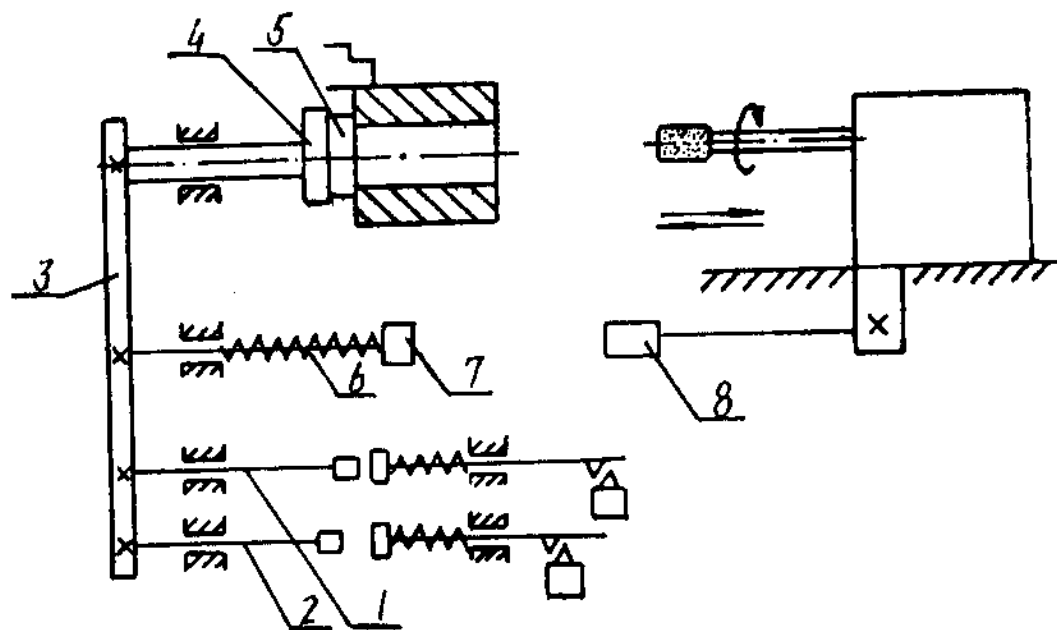


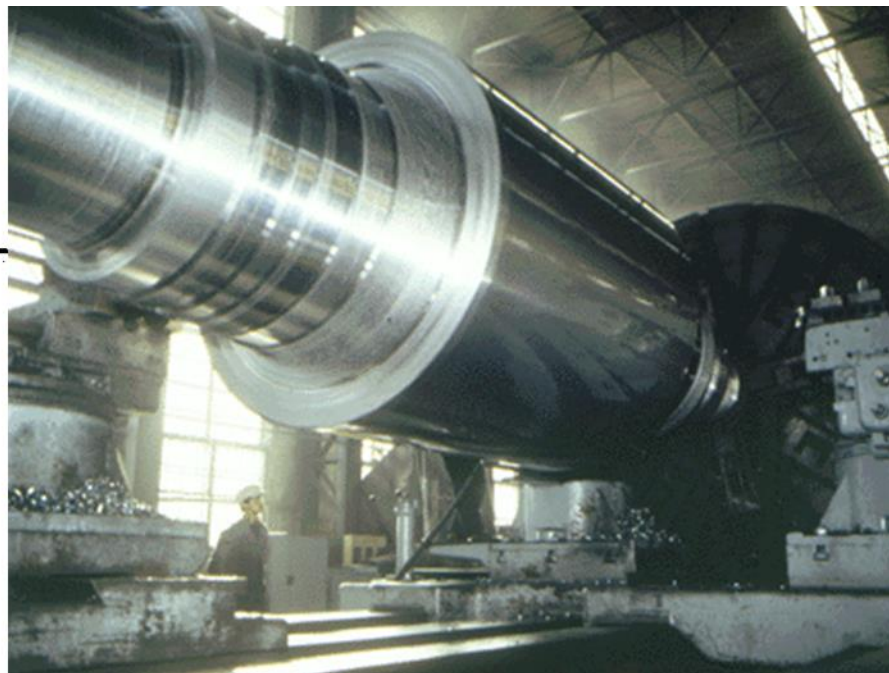
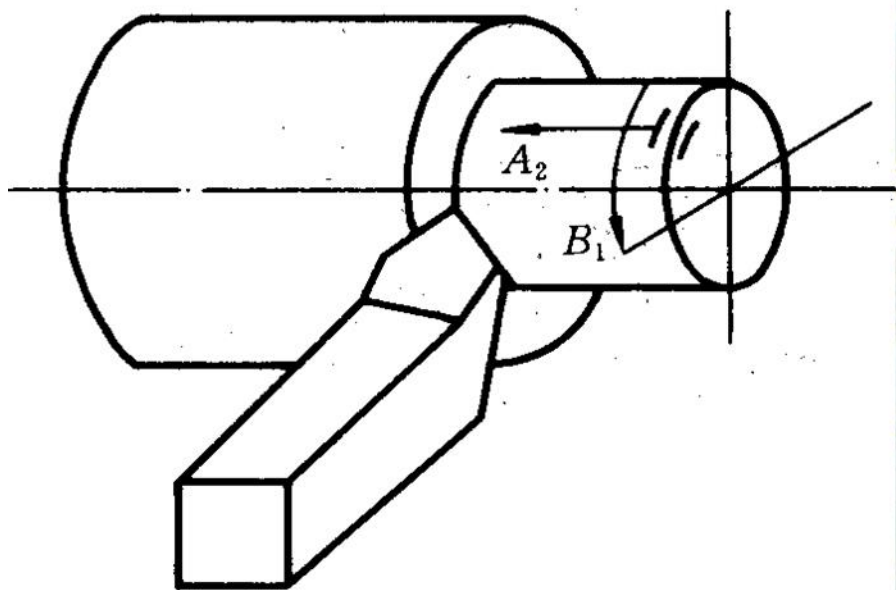
图 6-4 主动测量法

(4) 自动控制法 Automatic control method

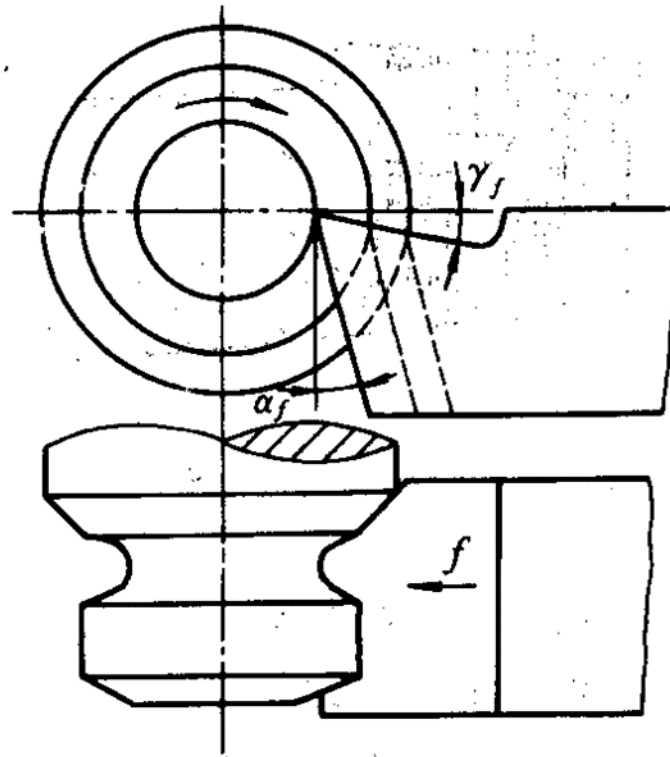
2. 获得零件形状精度的基本方法有哪些？

Methods of obtaining shape accuracy

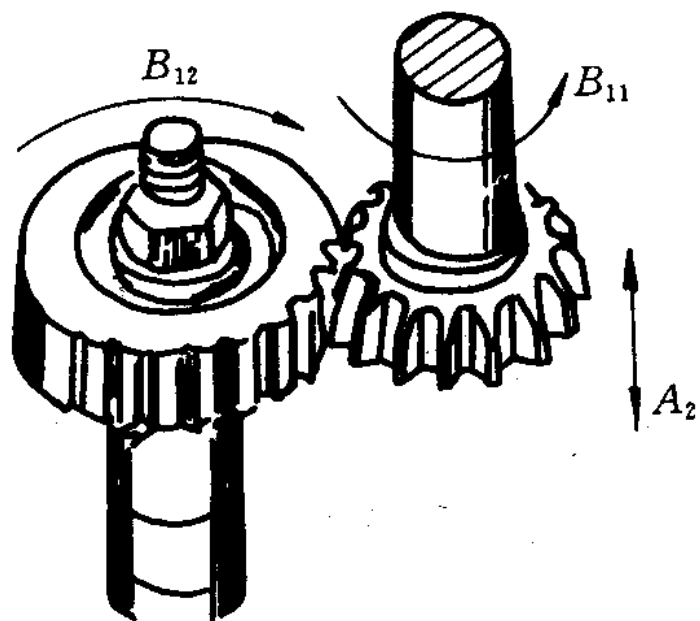
- (1) 轨迹法 (Trajectory method)
- (2) 成形法 (Forming method)
- (3) 展成法 (Generating method)



(1) 轨迹法
Trajectory method



(2) 成形法
Forming method



滚刀进给方向

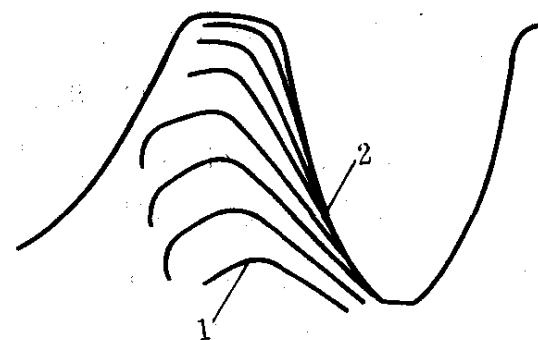
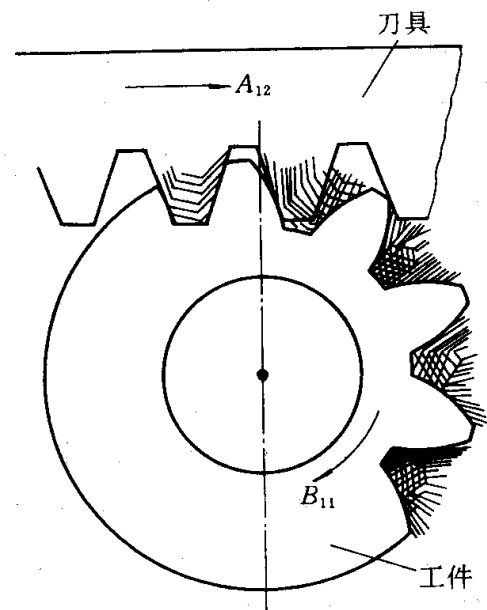
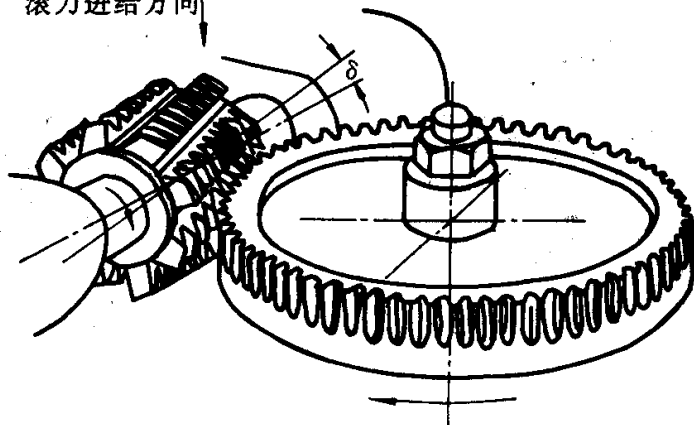


图 1-5 由刀刃包络形成渐开线齿形

(3) 展成法 (滚切法)

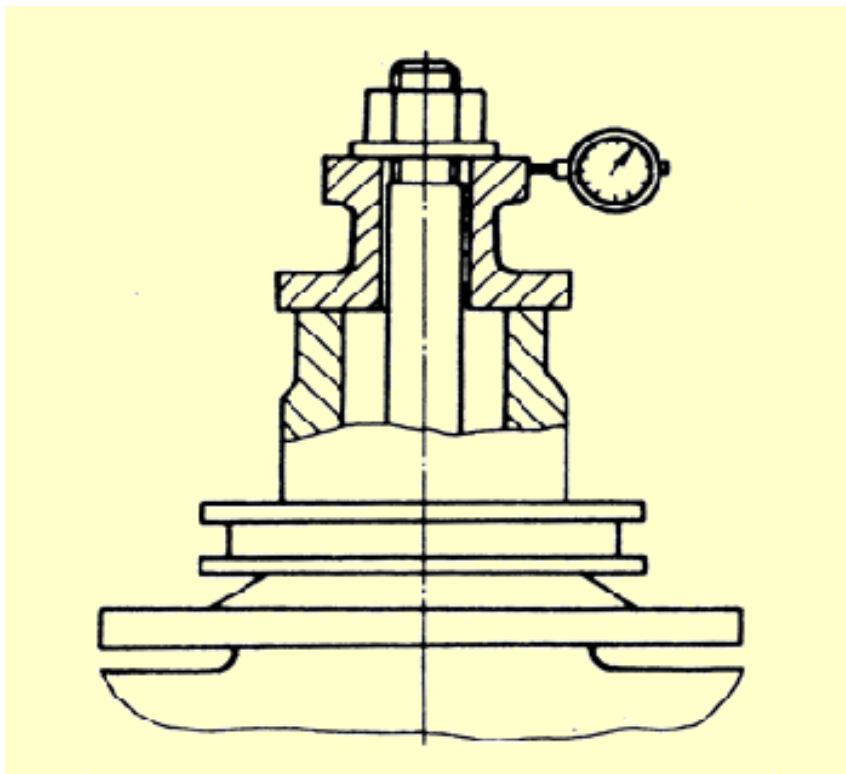
Generating method

3. 获得位置精度的方法有哪些？

Methods of obtaining positional accuracy

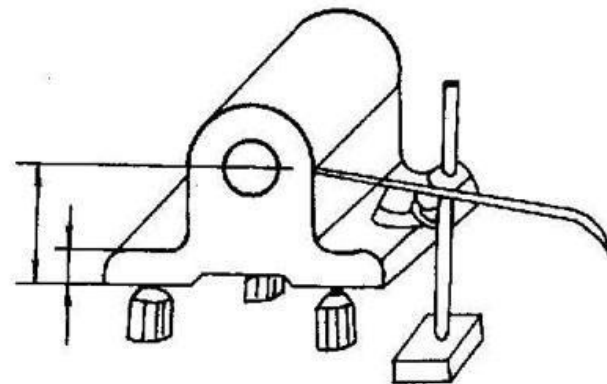
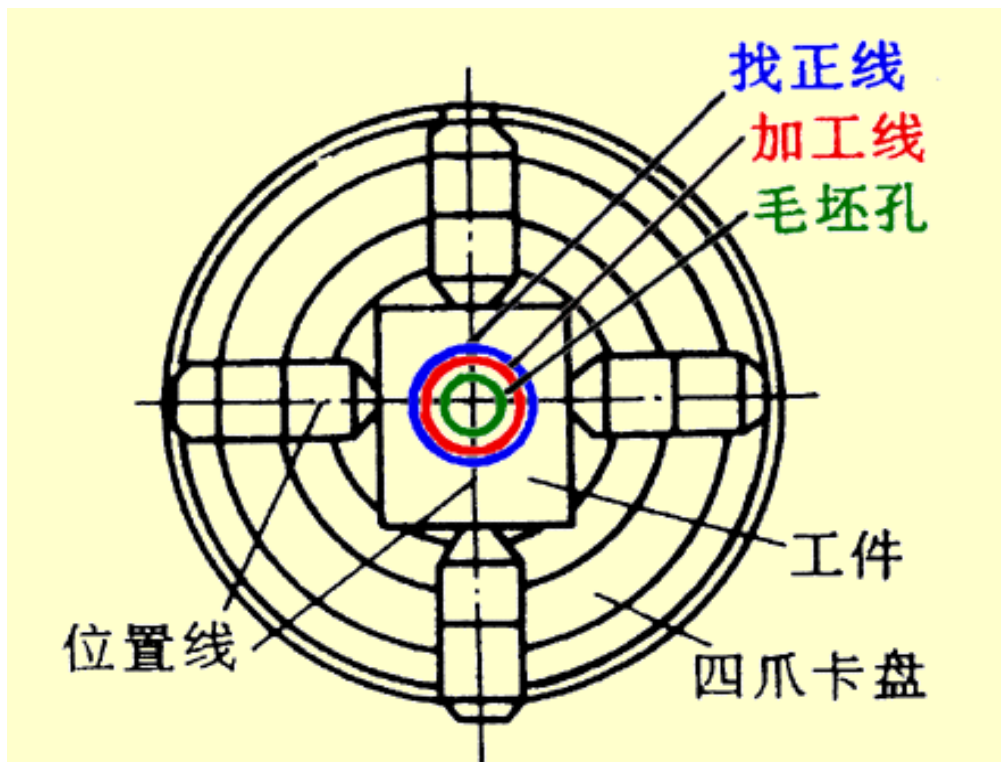
- (1) 直接装夹法 (Direct clamping method)
- (2) 找正装夹法 (Adjustment clamping method)
- (3) 夹具装夹法 (Fixture clamp method)

直接装夹法就是利用千分表、划针、直尺等工具直接找正某些表面，以保证被加工表面位置的精度。



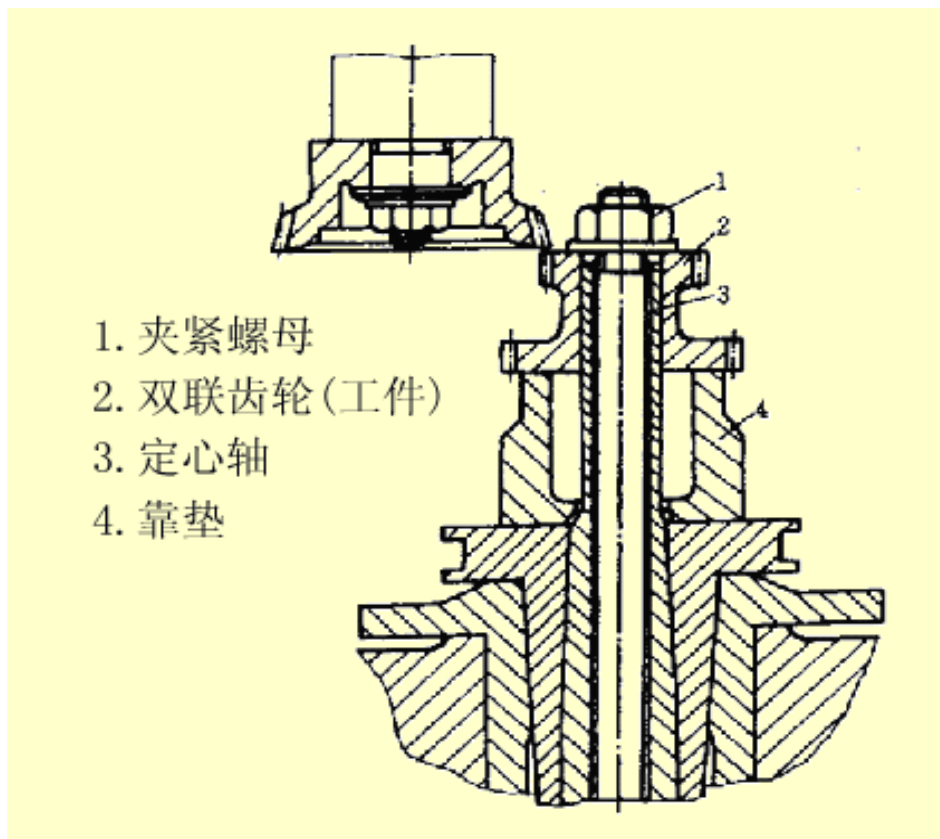
(1) 直接装夹法
Direct clamping method

找正装夹法就是在切削加工前，先在工件的待加工处画线，然后按所划线进行找正定位的方法。找正后用通用夹具夹紧。此种方法多用于单件小批生产。



(2) 找正装夹法
Adjustment clamping method

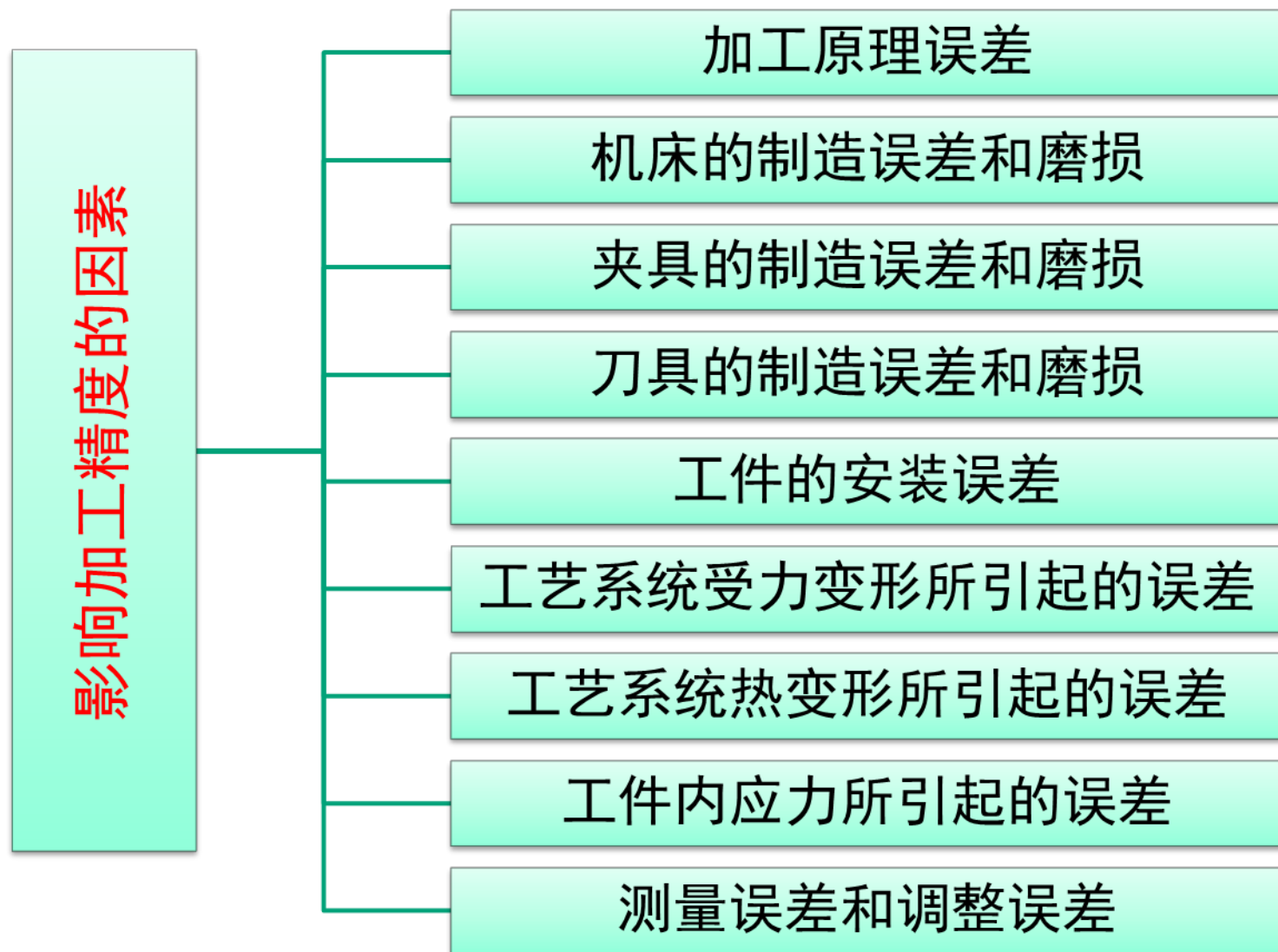
利用**夹具**对工件进行定位、夹紧的方法。这种方法方便、迅速、精度高，广泛应用于成批生产和大量生产。



(3) 夹具装夹法
Fixture clamp method

第二节 影响加工精度的因素及其分析

Part 2 Factors that influence the machining accuracy



一、加工原理误差

The errors from machining methods

1、定义：在加工过程中采用了近似的刀刃形状或成形运动代替理论的刀刃或成形运动而产生的。

The theoretical errors come from using approximate tool shape or movement.

2、实例：齿轮滚刀 (Gear Hobber)。

(1) 齿形-阿基米德螺线 (Archimedes spiral)代替渐开线 (involute);

(2) 齿数有限代替无限光滑。

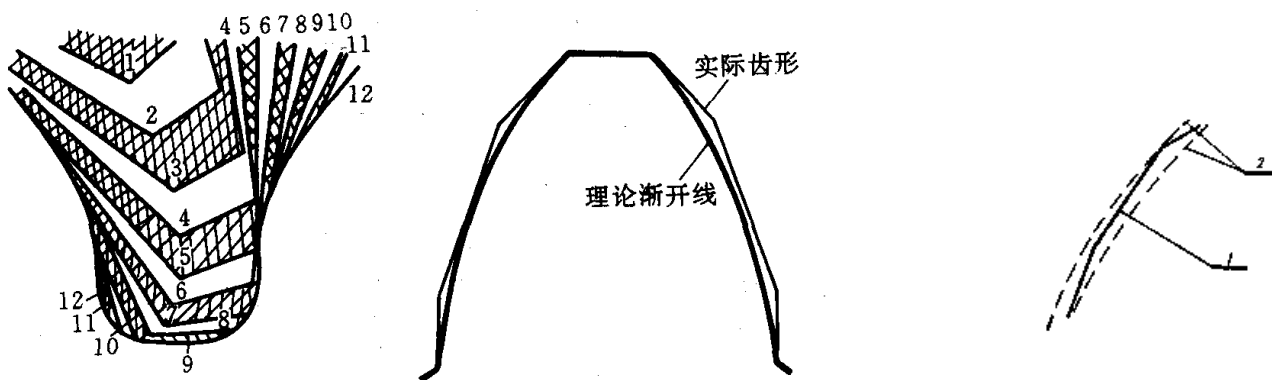
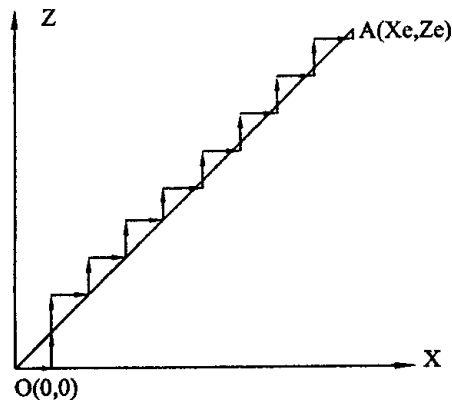


图 6-5 用展成法切削齿轮时的齿形误差



(3) 空间直线插补法(Spatial linear interpolation method) 。



(4) 模数铣刀 (module-milling cutter)

表 6-1 模数铣刀加工齿数范围

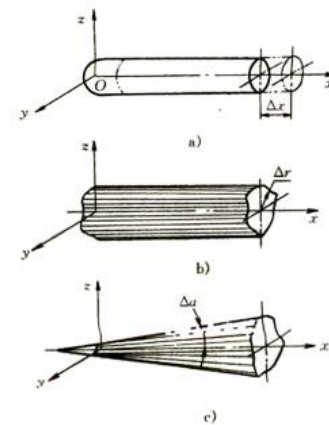
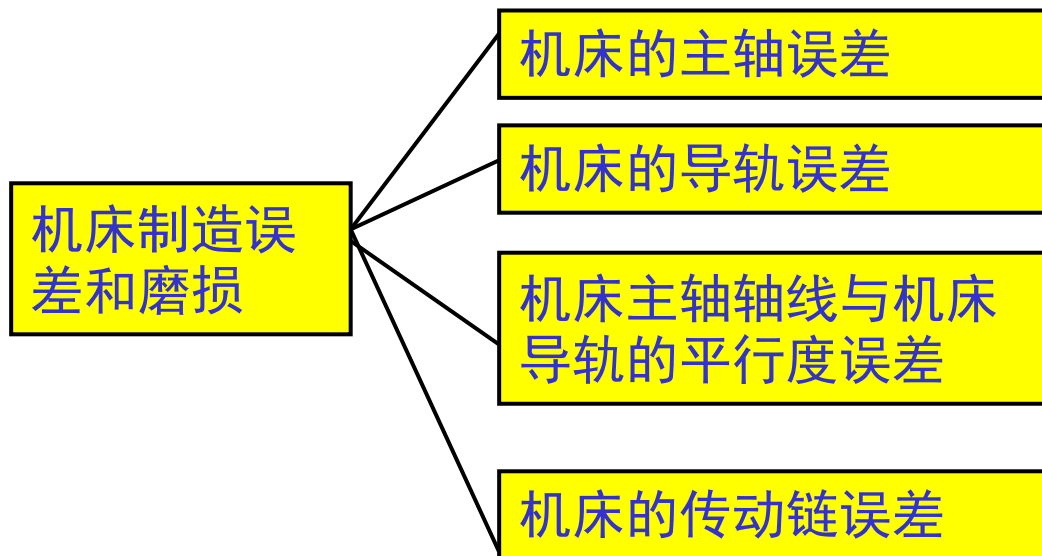
刀 号	1	2	3	4	5	6	7	8
加工齿数范围	12~13	14~16	17~20	21~25	26~34	35~54	55~134	135 以上 及齿条
齿 形								

3、不能认为所有加工原理误差都是不完善的加工方法。

4、加工原理误差一般应小于工件公差的10%~15%。

二、机床的制造误差和磨损

The manufacturing errors and wear of machine tool

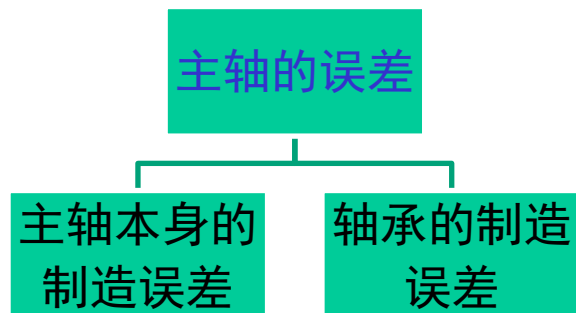


1、机床的主轴误差

The errors from main shaft

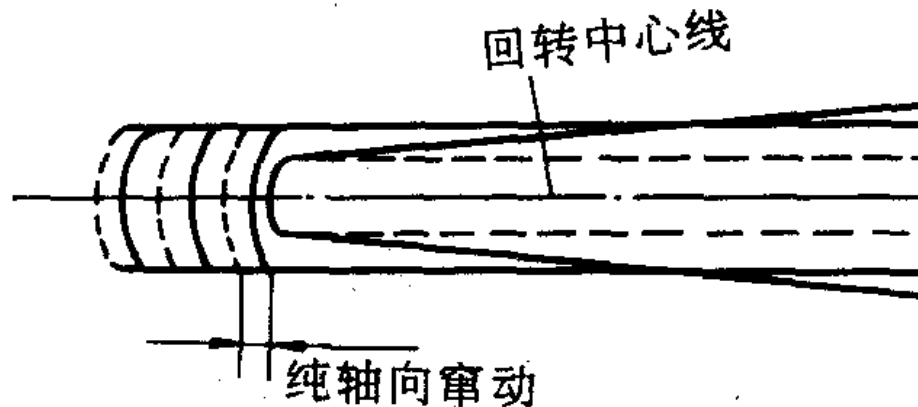
① 主轴的制造误差来源

The sources of errors

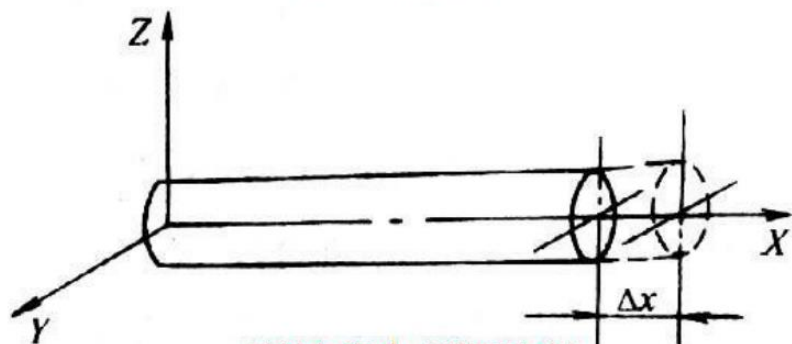


②主轴回转误差的三种基本形式

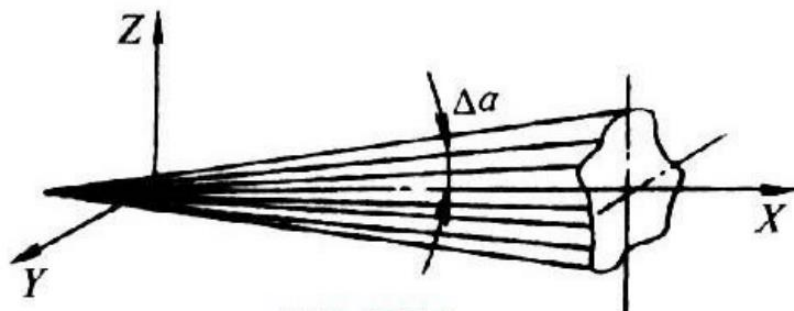
Three basic forms



纯径向跳动



纯轴向窜动 (端面跳动)



纯角度摆动

③主轴回转误差对精度的影响

Effects of errors on the accuracy of the spindle rotation

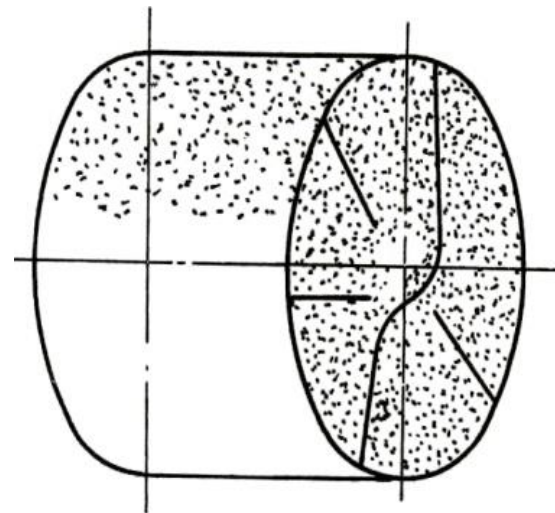
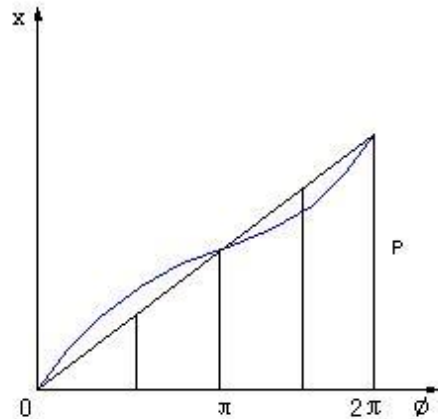
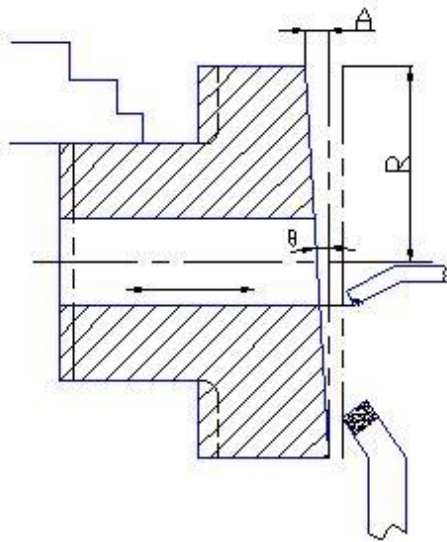


图6-3 主轴纯轴向窜动
a) 工件端面与轴线不垂直 b) 螺纹导程周期误差

主轴轴向窜动
对端面加工的影响

纯轴向窜动
Pure axial shifting

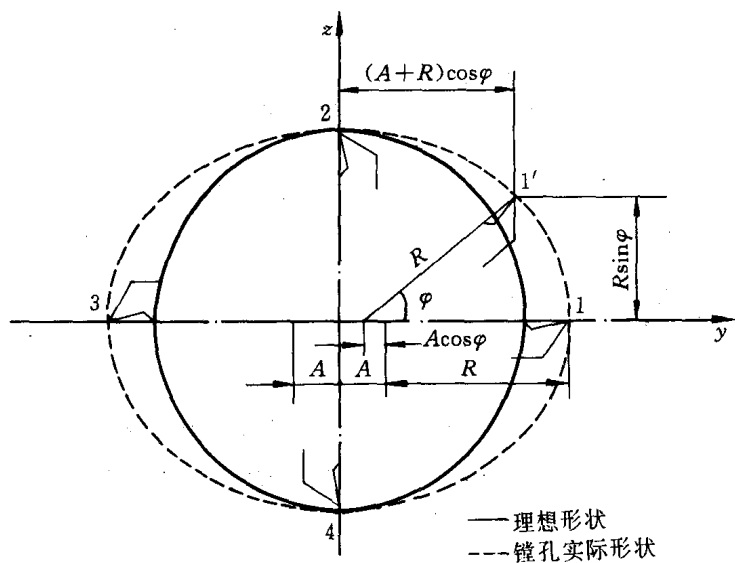


图 6-8 纯径向跳动对镗孔圆度的影响

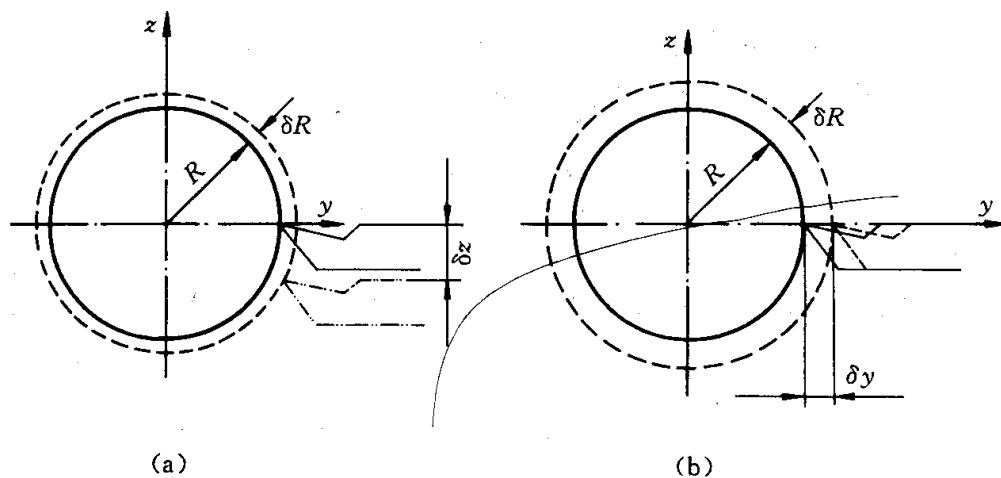
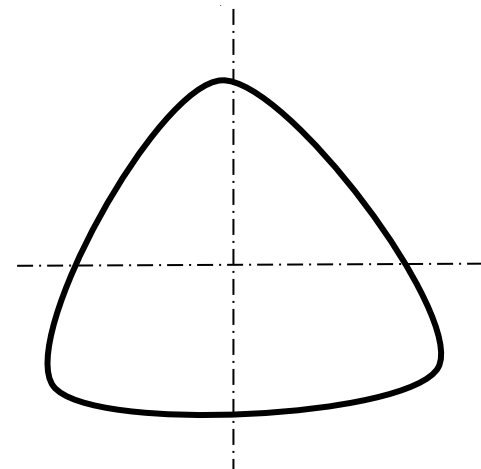
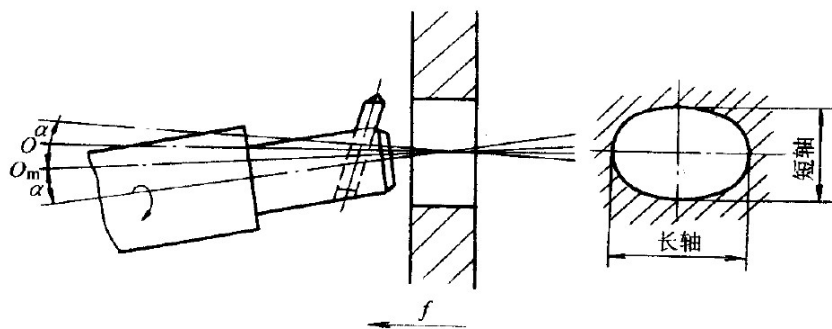


图 6-9 纯径向跳动对车削圆度的影响

纯径向圆跳动
Pure radial movement





纯角度摆动对镗孔的影响

O —工件孔轴心线 O_m —主轴回转轴心线

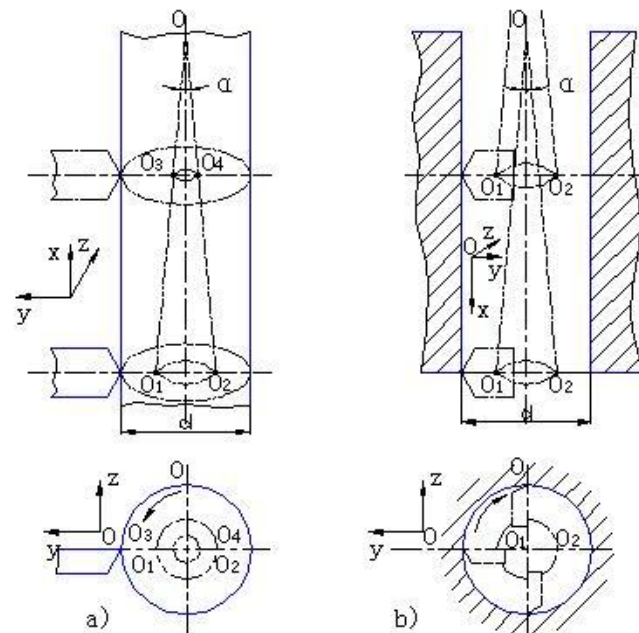


图6-6 主轴纯角度摆动的第二种情况

a) 车削外圆
b) 镗孔

情况一，平面摆动：
车，圆；镗，椭圆。

情况二，锥角摆动：主轴轴线绕其
平均轴线沿圆锥轨迹公转
车，正圆锥；镗，正圆锥

纯角度摆动
Pure angular sway

④加工方式对精度的影响

Effects of processing methods on the accuracy

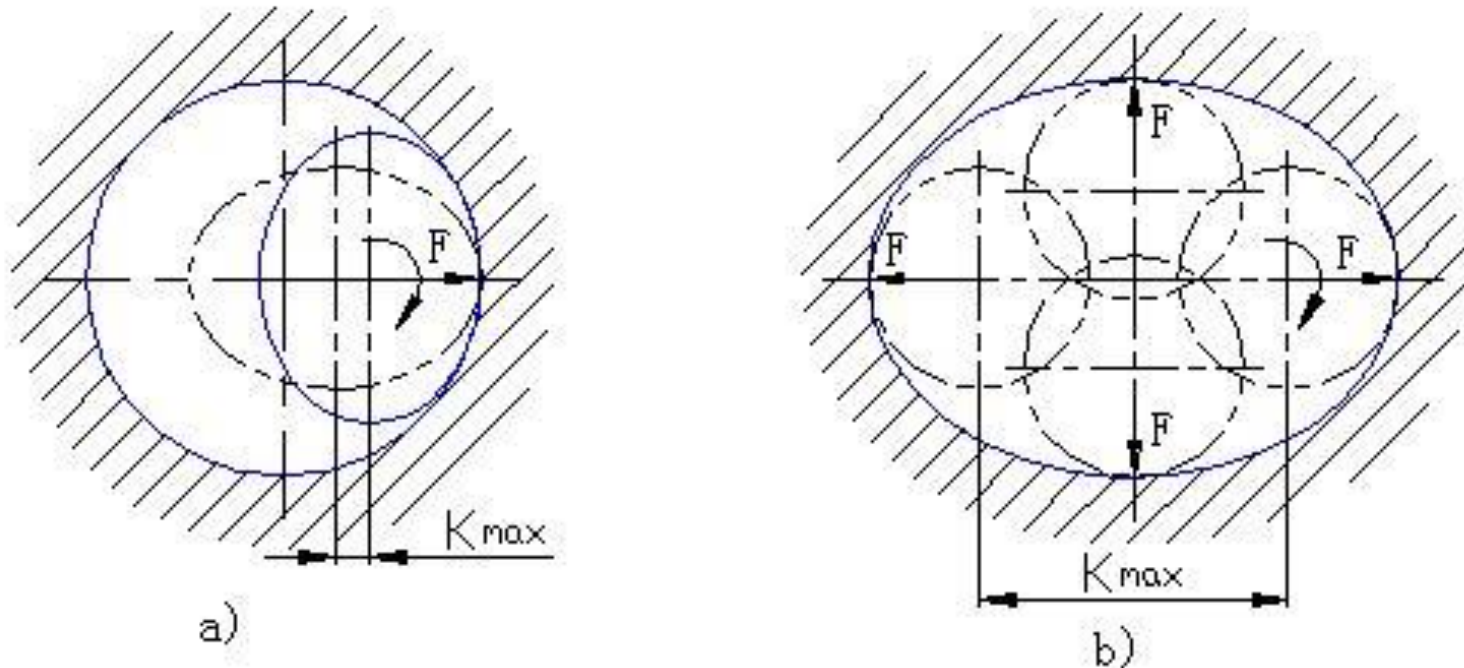


图6-7 主轴采用滑动轴承的径向圆跳动

a) 工件回转类机床 b) 刀具回转类机床

K_{max} -最大跳动量

车、磨类：轴颈误差为主，轴承孔无影响；

镗类：轴颈无影响，轴承孔为主。

提高主轴回转精度的措施

Methods to improve the accuracy of the spindle rotation

- 适当提高主轴及箱体的制造精度；
- 选用高精度轴承；
- 提高主轴部件的装配精度；
- 对高速主轴部件进行平衡；
- 对轴承进行预紧。

2. 机床导轨误差

Lathe guide errors

机床导轨的3种误差形式：

- (1) 水平面内直线度误差；
- (2) 垂直面内的直线度误差；
- (3) 前后导轨在垂直面内的平行度误差。

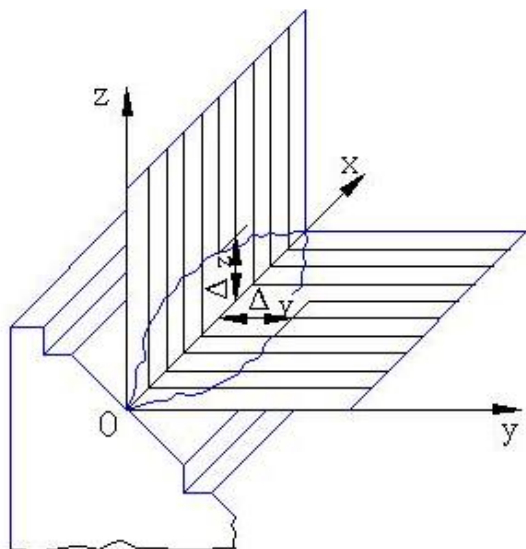


图6-9 导轨的直线度

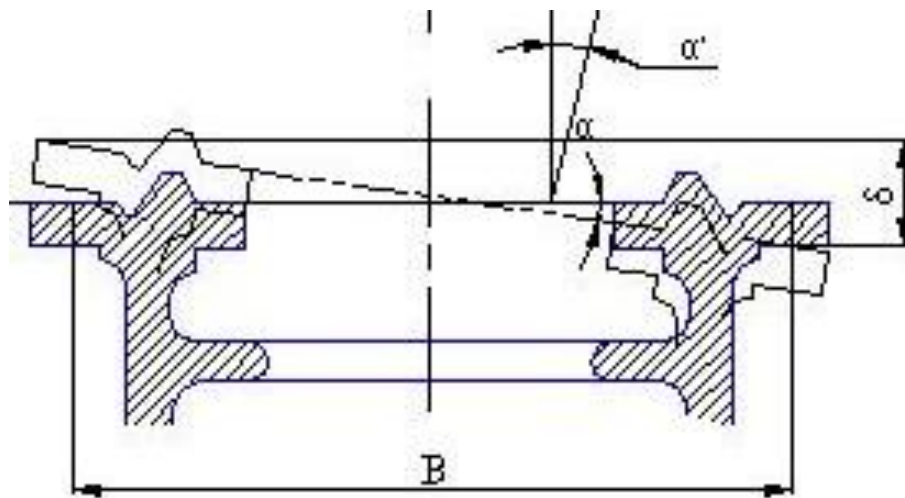
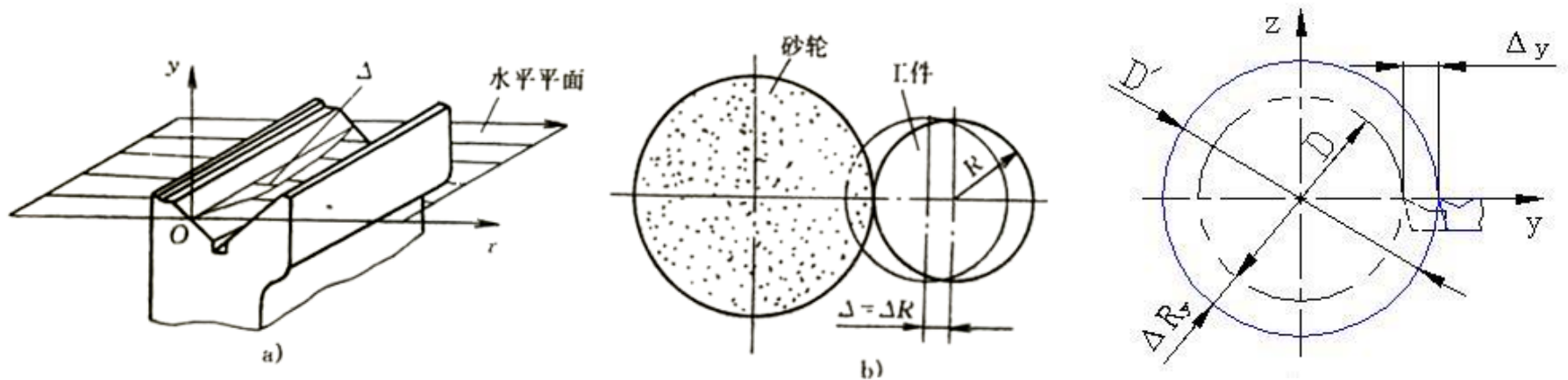


图6-11 车床导轨扭曲引起的加工误差

（1）在水平面内的直线度误差：

Straightness error in the horizontal plane

- 引起鞍形或鼓形误差
- 是敏感方向：影响尺寸误差和形状误差。
- 如车、磨床。



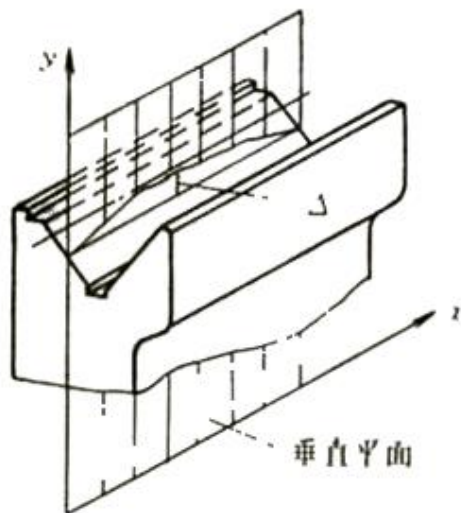
磨床导轨在水平面内的直线度误差：a) 水平面内的误差，b) 工件产生的误差

车床导轨在水平面内的直线度误差对车削圆柱面精度的影响

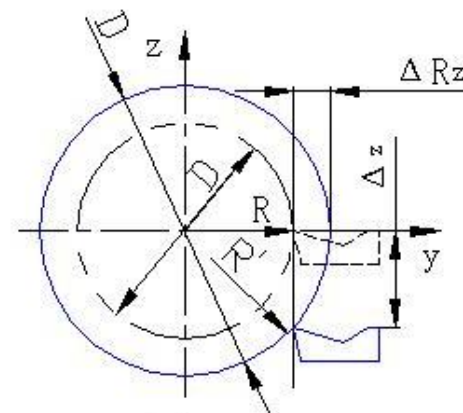
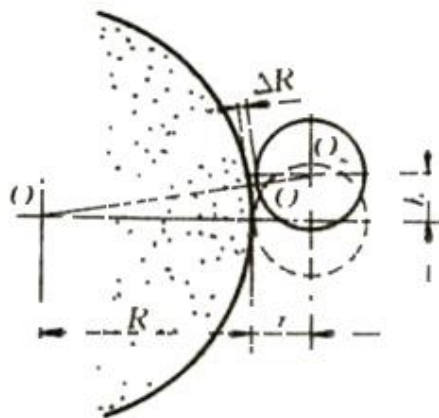
(2) 垂直面内的直线度误差:

Straightness error in the vertical plane

- 一般影响很小
- 车、磨床：非敏感方向，影响很少；
- 铣、刨、平磨：敏感方向，影响大（尺寸、形状）。



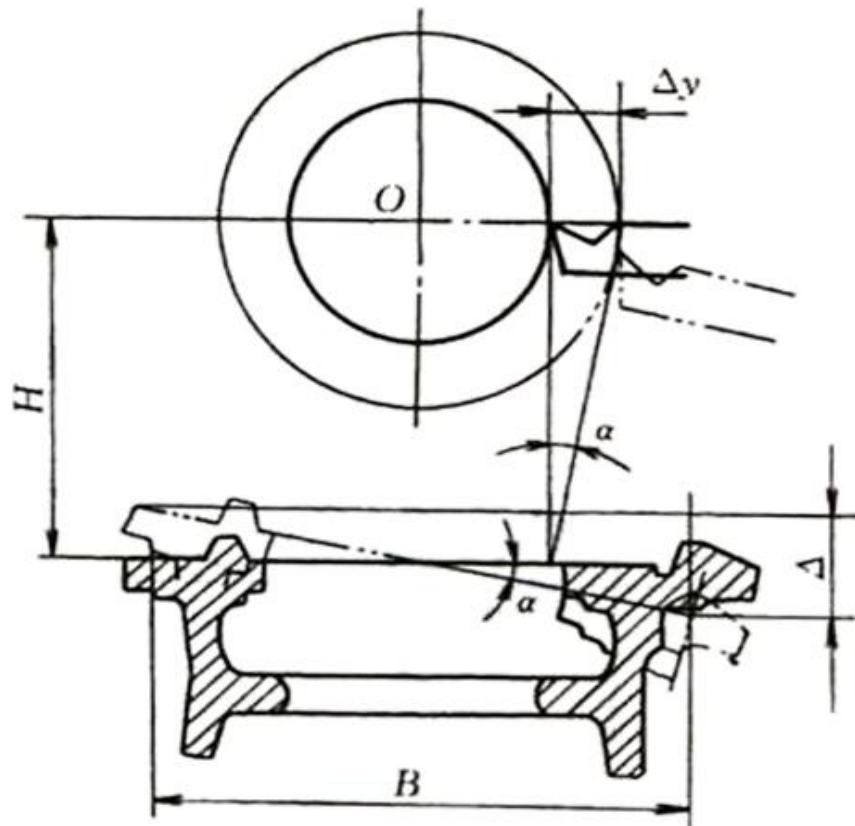
磨床导轨在垂直面内的直线度误差：a) 垂直面内的误差，b) 工件产生的误差



车床导轨在垂直面内的直线度误差对车削圆柱面精度的影响

(3) 前后导轨平行度（扭曲）：

Parallelism between two guide-ways



车床导轨的扭曲

$$\Delta y = \Delta \frac{H}{B}$$

提高直线运动精度的措施？

- 提高机床导轨、溜板（滑座）的制造及装配精度；
- 提高导轨的耐磨性
 - 采用耐磨合金铸铁、镶钢导轨、贴塑导轨、滚动导轨、静压导轨、导轨表面淬火等；
- 机床安装正确，地基牢固
 - 严格测量、校正，定期复校和调整。

3. 主轴轴线与机床导轨的平行度误差

Parallelism between spindle and machine guide-ways

- (1) 当主轴回转轴线与导轨在水平面内不平行时加工表面成圆锥形
- (2) 当主轴回转轴线与导轨在垂直面内不平行时加工表面成双曲面体

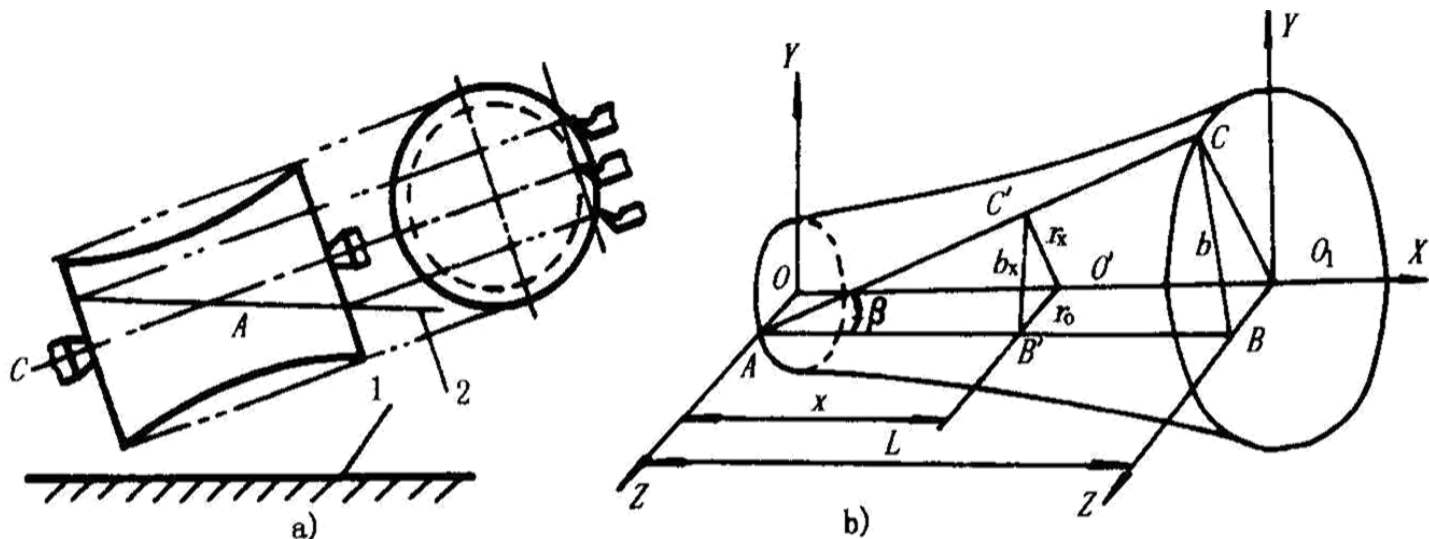
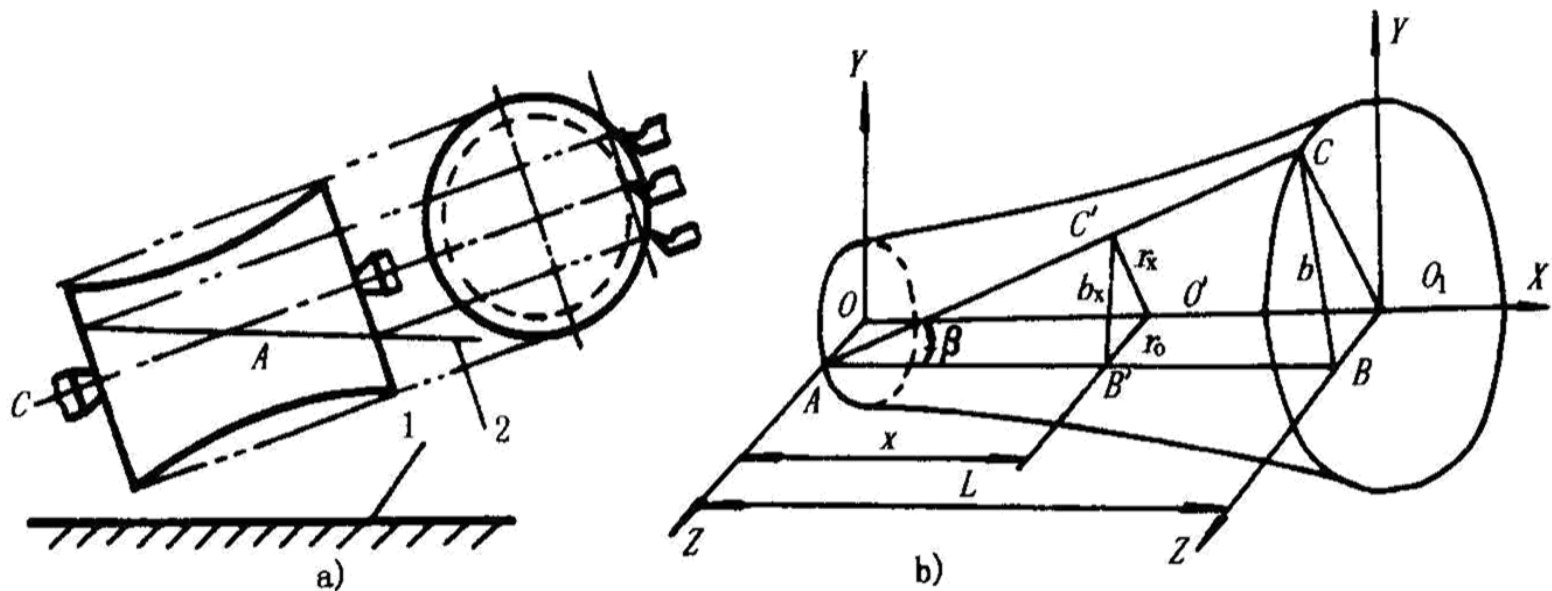


图 2-16 车床主轴回转轴线与导轨在垂直

1-导轨面;2-刀尖运动



车床主轴回转轴线与导轨在垂直面内的平行度误差
1—导轨面；2—刀尖运动

$$r_x^2 = r_0^2 + x^2 \operatorname{tg}^2 \beta$$

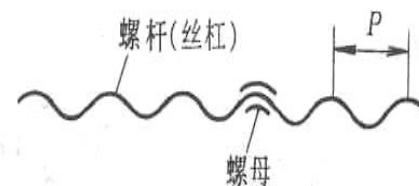
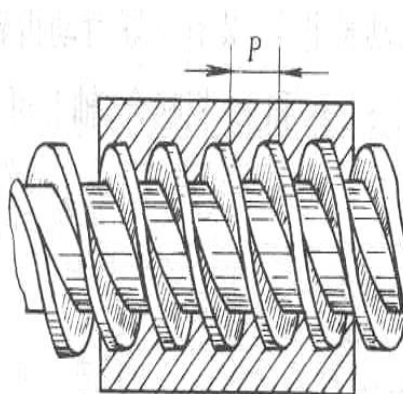
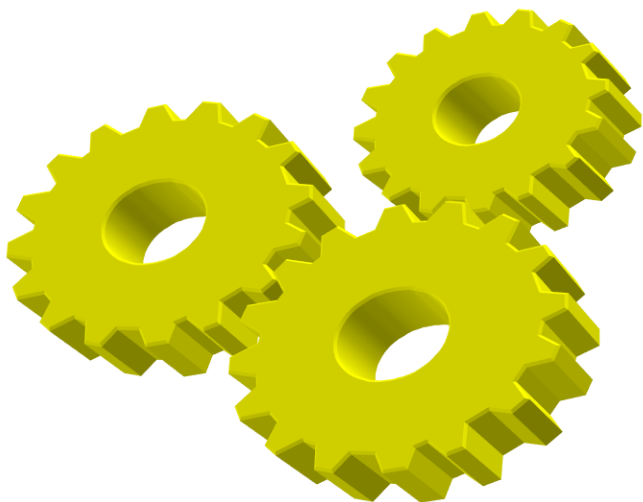
$$r_x^2 = r_0^2 + x^2 \frac{b^2}{L^2}$$

$$\frac{r_x^2}{r_0^2} - \frac{x^2 b^2}{r_0^2 L^2} = 1$$

4、机床传动链的误差

The transmission chain error of machine tool

(1) 指传动链始末两端传动元件间相对运动的误差。



丝杠螺母传动

(2) 传动精度是由链中零件的制造和装配精度决定的。**末端元件对传动链精度影响最大。**

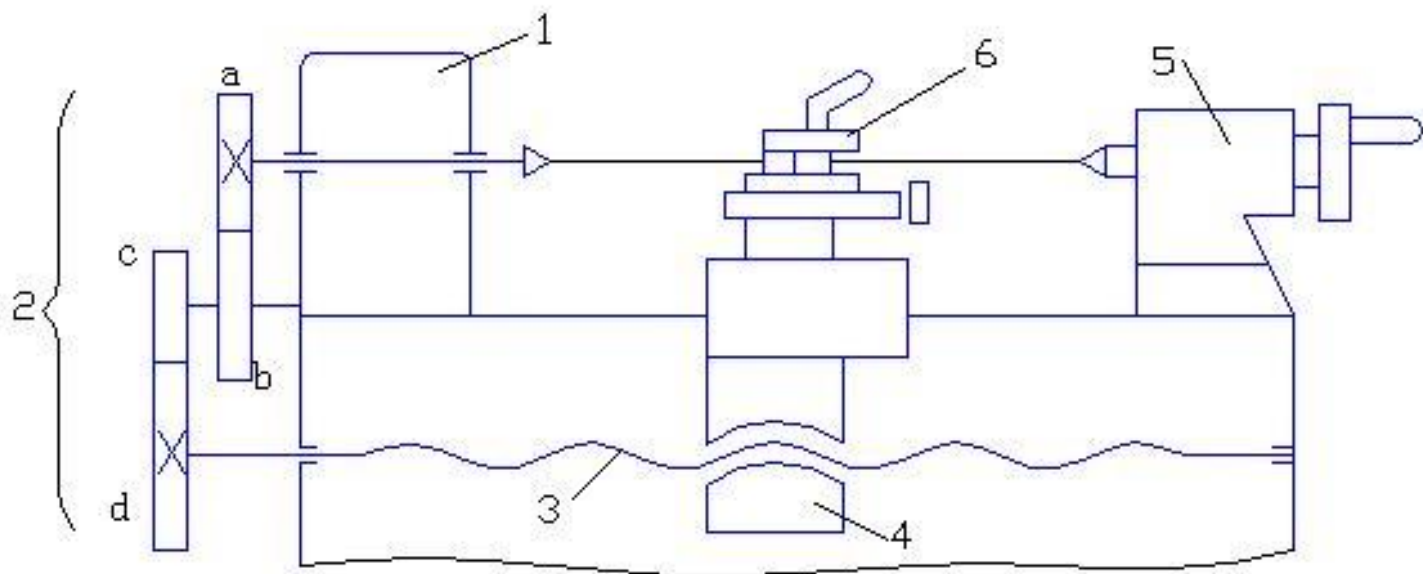


图6-12 丝杠车床传动系统

1-主轴箱 2-挂轮 3-丝杠 4-螺母 5-尾座 6-刀架

(3) 减少误差措施？

减少传动链带来的误差

- 减少传动链中元件数目，缩短传动链，从而减少误差来源；
- 提高传动件的制造和装配精度；
- 消除间隙。

三、夹具的制造误差和磨损

The manufacturing errors and wear of fixture)

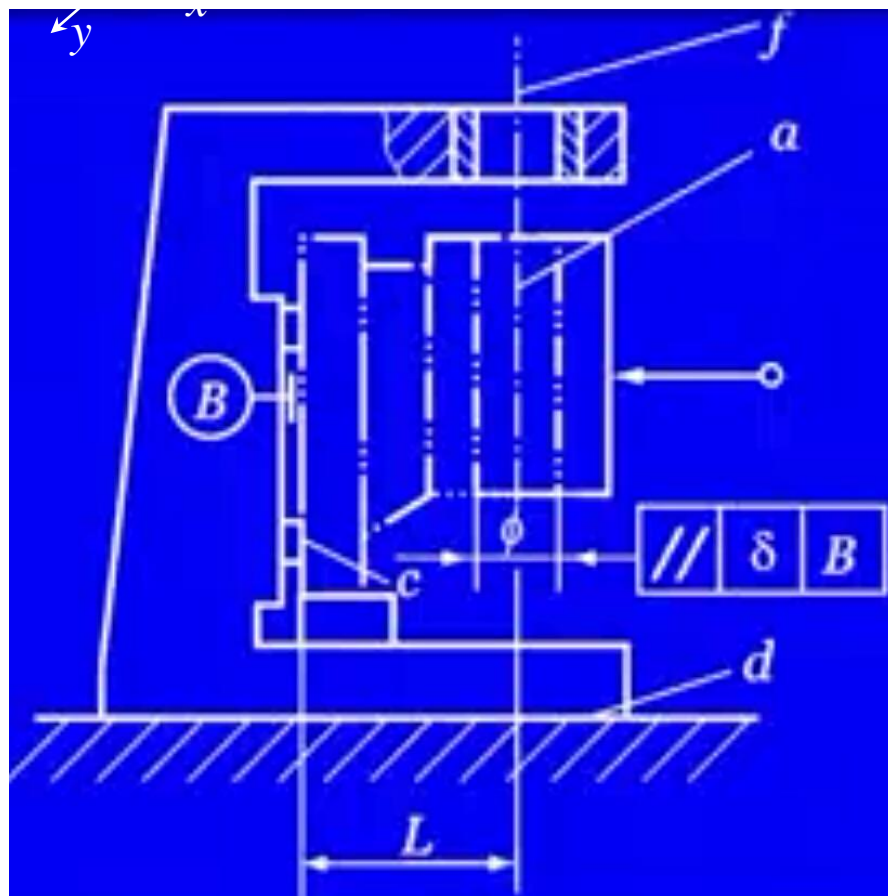
①夹具作用：使工件相对于刀具和机床具有正确的位置，因此夹具的制造误差对工件的加工精度（特别是位置精度）有很大影响。

②误差来源：包括定位元件、刀具引导件、分度机构、夹具体的制造误差、装配误差和使用中的磨损。

夹具的哪些制造误差会对零件的加工精度有影响？

例：使用钻模钻孔

- 钻套轴心线至夹具定位平面的距离误差；
- 钻套轴心线与夹具定位面的平行度误差；
- 夹具定位平面与夹具体底面的垂直度误差；
- 钻套孔的直径误差。



工件在夹具中装夹示意图

减少夹具带来的误差

- 设计制造夹具时严格规定公差，控制制造误差；
- 采用耐磨材料；
- 采用可拆卸机构，使易磨夹具元件磨损到一定程度时可及时更换。

四、刀具的制造误差和磨损

The manufacturing errors and wear of cutting tool

1、误差来源：刀具的制造误差和磨损。

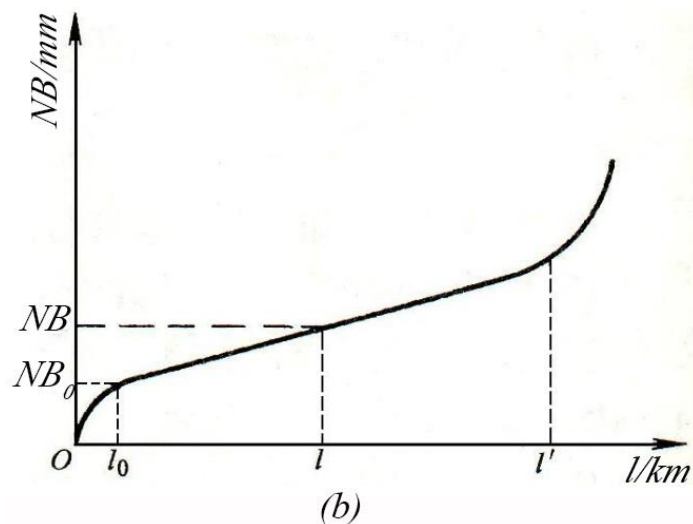
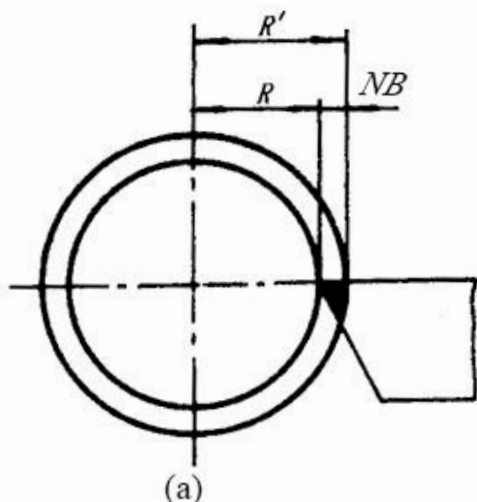
机械加工中常用的刀具：

一般刀具（单刃刀具）

定尺寸刀具（钻头、铰刀、键槽）；

成形刀具（成型车刀、成型铣刀、成型砂轮）；

展成（创成）刀具（齿轮滚刀、花键滚刀）



刀具的尺寸磨损与切削路径的关系

$$NB = NB_0 + \frac{k_{NB}(l - l_0)}{1000} \approx NB_0 + \frac{k_{NB}l}{1000}$$

精车时刀具的初期磨损量 NB_0 和相对磨损量 K_{NB}

工件材料	刀具材料	切削用量			初始磨损 NB_0/mm	相对磨损 $K_{\text{NB}}/\text{mm} \cdot \text{km}^{-1}$
		背吃刀量 a_p/mm	进给量 $f/\text{mm} \cdot \text{r}^{-1}$	切削速度 $v/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$		
45钢	YT60,YT30	0.3	0.1	7.75~8.08	3~4	2.5~2.8
	YT15	<2	<0.3	<1.67~3.33	4~12	8
灰铸铁	YG4	0.5	0.2	1.5	3	8.5
	YG6				5	13
					5	19
	YG8		0.1	1.67	4	13
				2	5	18
				2.33	6	35
合金钢	YT60,YT30	0.5	0.21	2.25	2	2.0~3.5
	YT15				4	8.5
	YG3				5	9.5
	YG4				6	30

2、不同类型的刀具对加工误差的影响是不同的。

- a、定尺寸刀具：将直接影响工件的尺寸和形状精度；
- b、单刃刀具：制造误差对精度没有直接影响；但是使用过程中的磨损会影响工件的尺寸、形状精度。
- c、成形刀具：刀具的形状精度直接决定被加工表面的形状，刀刃形状的制造误差和磨损直接影响工件被加工表面的精度。
- d、展成刀具：刀具的刃口形状及有关尺寸直接影响被加工工件的形状精度。

3、减少误差措施：

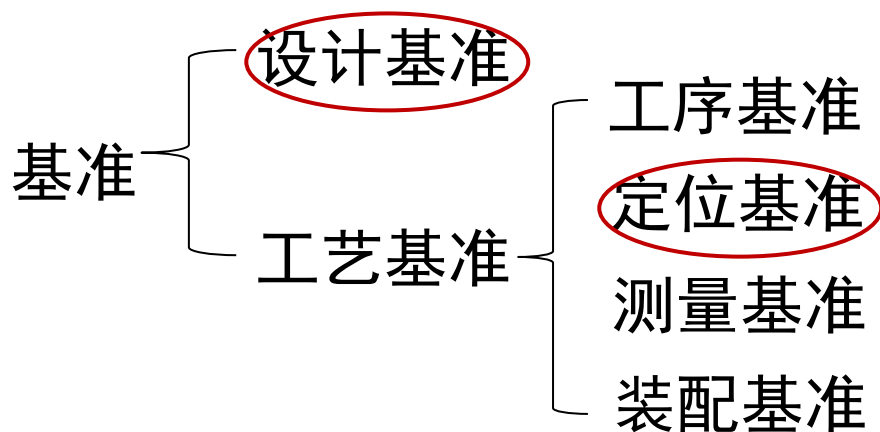
正确地选用刀具材料，合理地选用刀具几何参数和切削用来，正确地刃磨刀具，采用合适的冷却润滑液等，均可有效地减少刀具的尺寸磨损。必要时还可以采用补偿装置对刀具磨损进行自动补偿。

五、工件的装夹误差

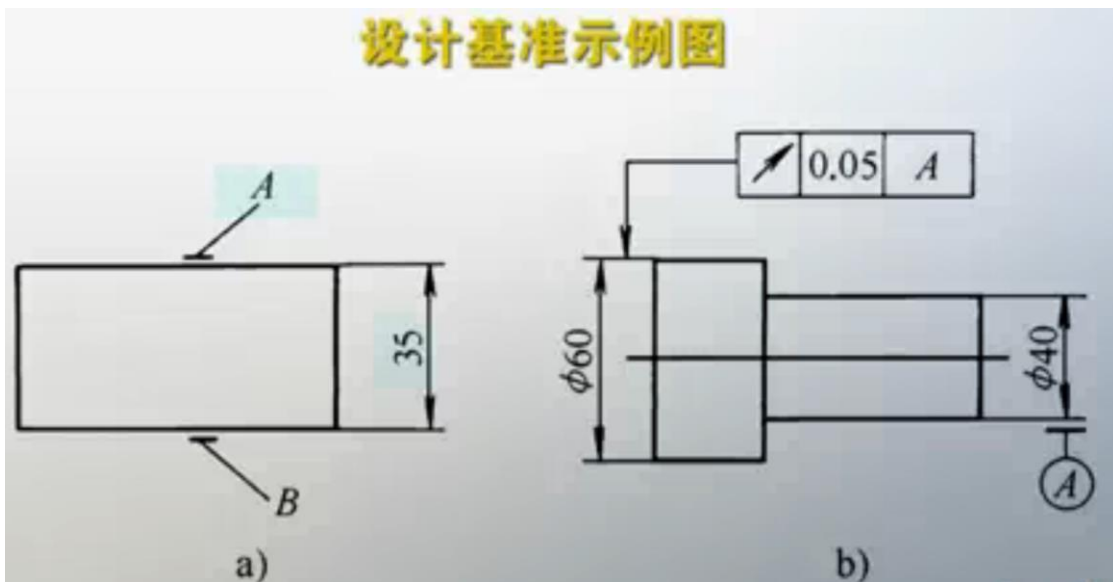
Installation error of work piece

1. 装夹：将工件在机床上或夹具中定位、夹紧的过程；
装夹包括定位和夹紧的整个过程。
2. 装夹误差：与工件在夹具中装夹有关的加工误差；
包括：
 - (1) 定位误差：由于定位不准确所造成的加工误差
 - (2) 夹紧误差：在工件夹紧时由于工件和夹具变形所造成的加工误差。
3. 产生定位误差的原因：
 - (1) 定位基准与设计基准不重合
 - (2) 定位元件和定位基准本身的制造误差。

4、**基准**：用来确定生产对象上几何要素间的几何关系所依据的那些点、线、面。



设计基准示例图



(1) **设计基准**：指设计图样上所采用的基准；

(2) **定位基准**：在加工中用做定位的基准。

5、夹紧误差的来源：

例如着力点及方向不适当、工件的弹性变形、接触变形。

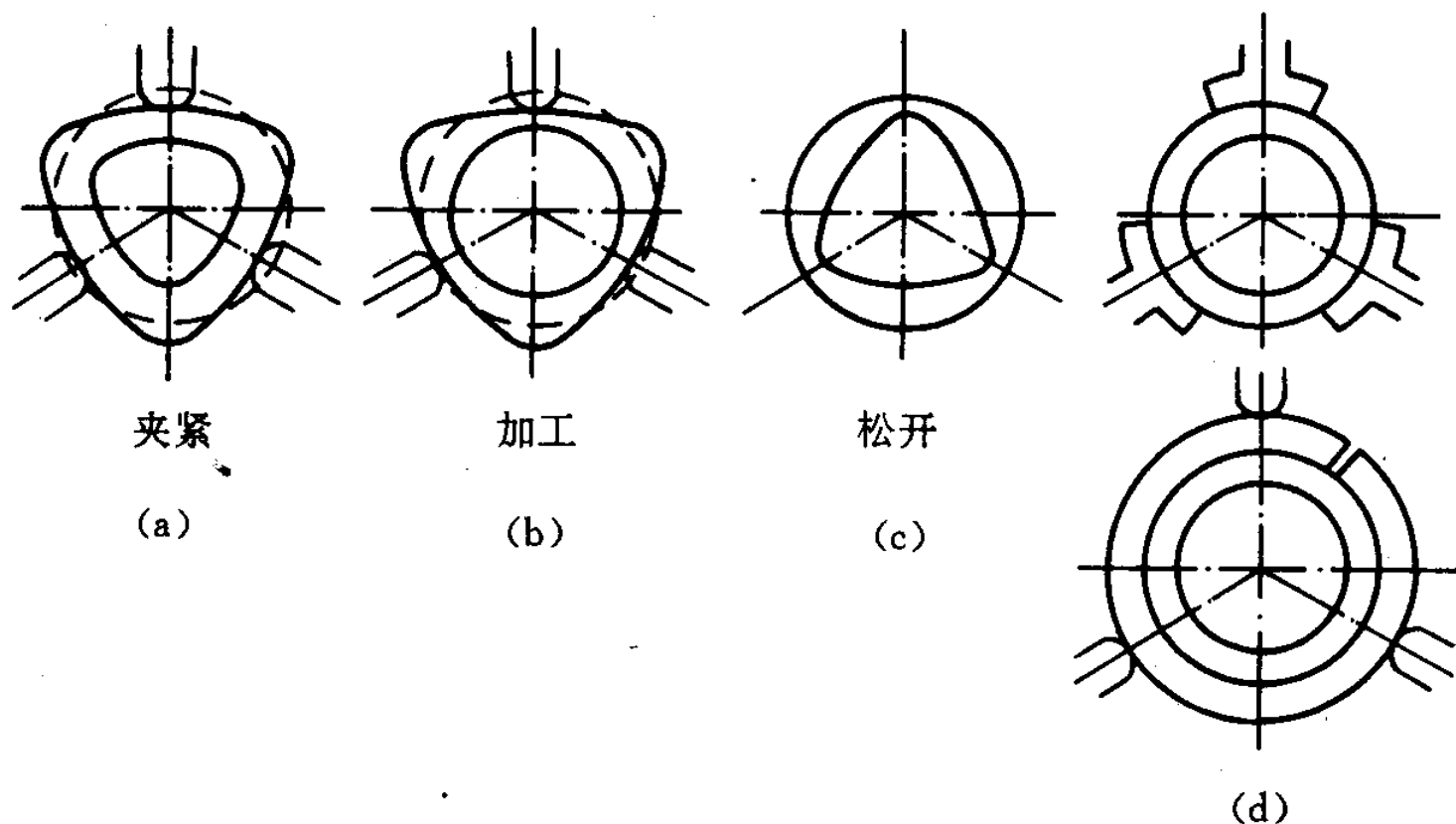


图 6-26 薄壁套筒零件由于夹紧力引起的加工误差

六、工艺系统受力变形所引起的误差

The errors from stress deformation of process system

工艺系统概念：**在机械加工中机床、刀具、夹具和工件的统一体**。它是一个弹性体。



六、工艺系统受力变形所引起的误差

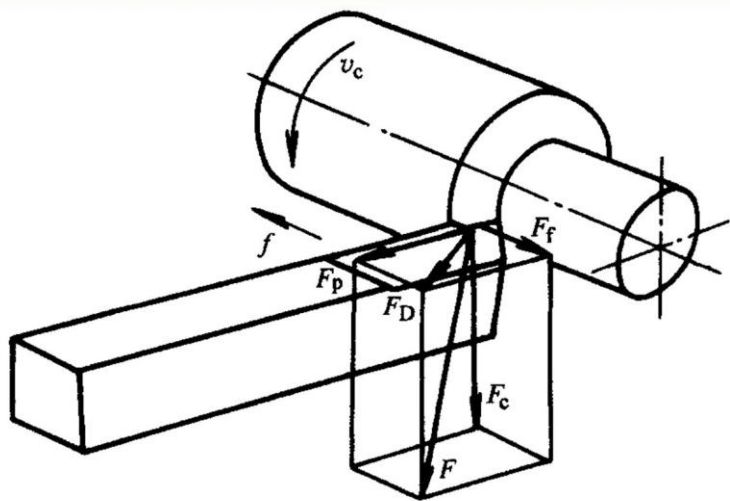
The errors from stress deformation of process system

1、工艺系统刚度的概念

工艺系统刚度 $k_{\text{系}}$ ：垂直作用于工件加工表面（加工误差敏感方向）的径向切削力 F_p 与工艺系统在径向上的变形 y 之间的比值。

$$k_{\text{系}} = \frac{F_p}{y}$$

注： $y = y_{F_f} + y_{F_p} + y_{F_c}$



切削力 F

F_c —主切削力或切向力；

F_f —进给力或轴向力；

F_p —背向力。

负刚度的概念

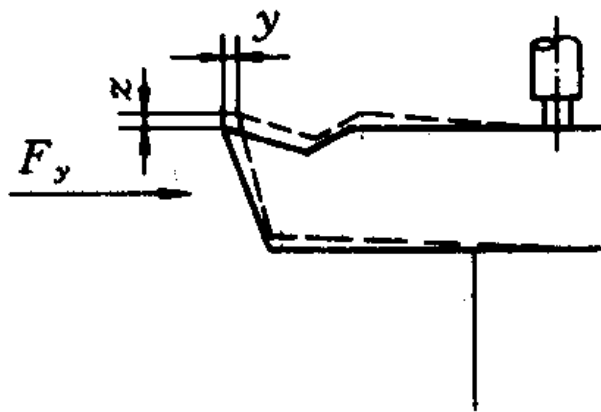


图 6-13 车刀受 F_y 力时同时在 y, z 方向产生变形

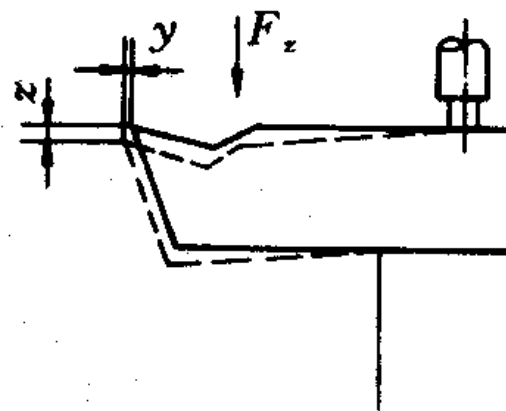
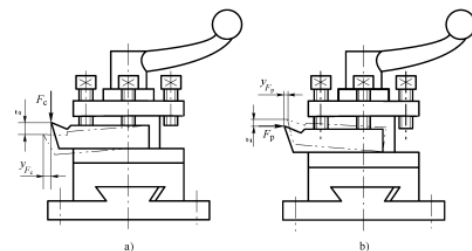


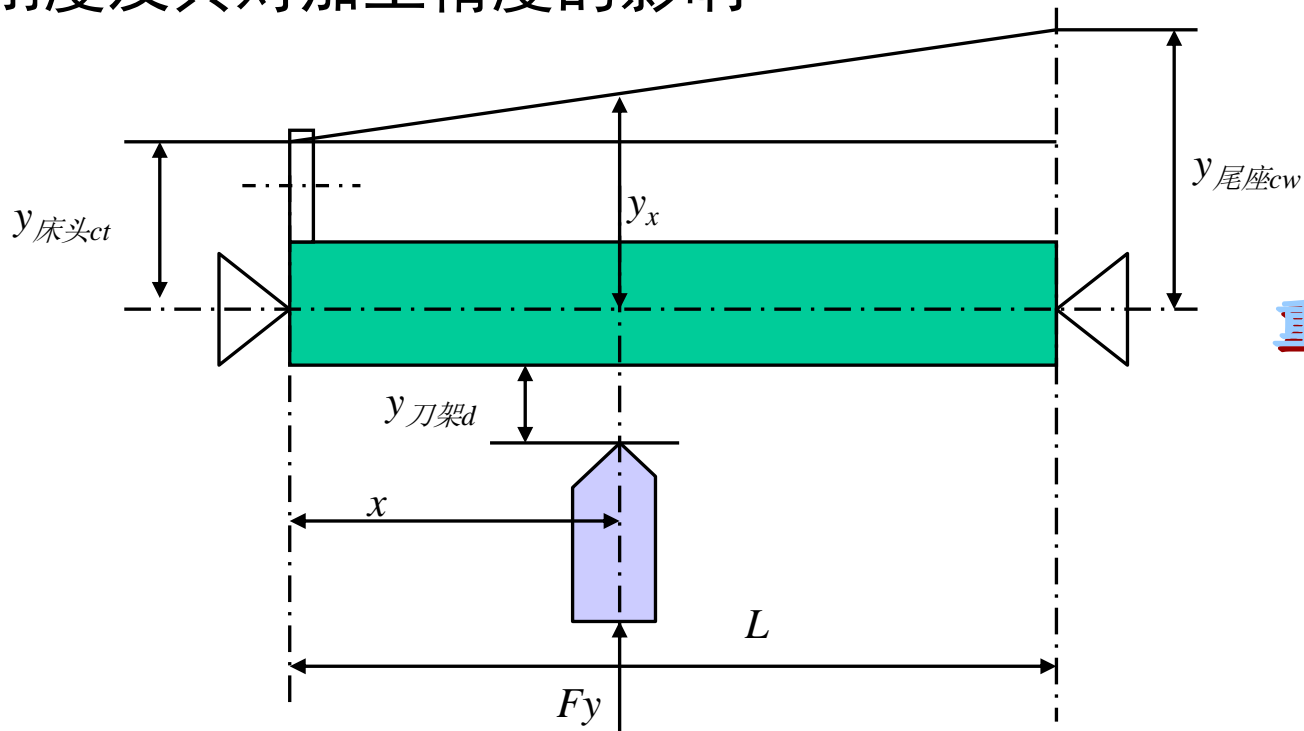
图 6-14 车刀受 F_z 力时同时在 y, z 方向产生变形

将出现 $y < 0$ 的“负刚度”情况，此时车刀刀尖将扎入工件。



2、典型工艺系统的刚度计算

(1) 机床刚度及其对加工精度的影响



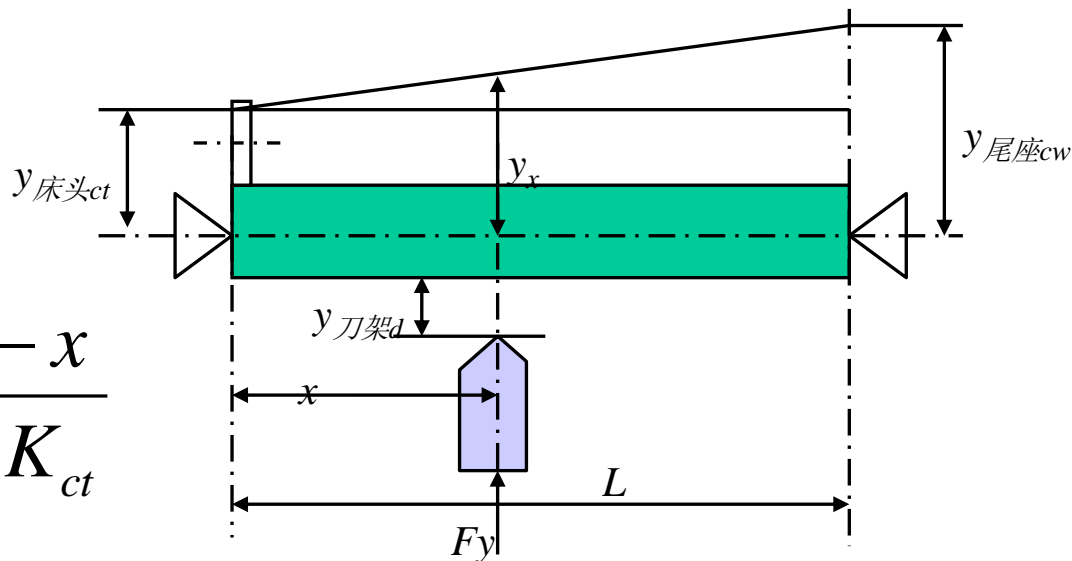
$$\begin{aligned} y_{jc} &= y_d + y_x \\ &= y_d + y_{ct} + (y_{cw} - y_{ct}) \cdot x / L \end{aligned}$$

因为：

$$y_d = F_y / K_d$$

$$y_{ct} = \frac{F_{ct}}{K_{ct}} = F_y \frac{L-x}{L \cdot K_{ct}}$$

$$y_{cw} = \frac{F_{cw}}{K_{cw}} = F_y \frac{x}{L \cdot K_{cw}}$$



代入

$$y_{jc} = y_d + y_{ct} + (y_{cw} - y_{ct}) \cdot x / L$$

得：

$$\begin{aligned} y_{jc} &= F_y \left[\frac{1}{K_d} + \frac{L-x}{L \cdot K_{ct}} + \frac{x}{L} \left(\frac{x}{L \cdot K_{cw}} - \frac{L-x}{L \cdot K_{ct}} \right) \right] \\ &= F_y \left[\frac{1}{K_d} + \frac{(L-x)^2}{L^2 \cdot K_{ct}} + \left(\frac{x}{L} \right)^2 \frac{1}{K_{cw}} \right] \quad (\text{抛物线}) \end{aligned}$$

机床刚度：

$$K_{jc} = F_y / y_{jc} = \frac{1}{\frac{1}{K_d} + \frac{(L-x)^2}{L^2 \cdot K_{ct}} + \left(\frac{x}{L} \right)^2 \frac{1}{K_{cw}}}$$

分析上式可知，工艺系统变形 $y_{\text{系}}$ 随刀架位置 x 变化而变化，在以上车削条件下，即使让切削力 F_y 保持恒定不变，在车刀自右向左进行车削过程中工艺系统变形 $y_{\text{系}}$ 也是处处不同的，这会使工件产生加工误差。

车削外圆时工艺系统受力变形图分析

$$y_{\text{系}} = y_{\text{刀架}} + y_x \approx F_p \left[\frac{1}{k_{\text{刀架}}} + \frac{1}{k_{\text{主轴}}} \left(\frac{l-x}{l} \right)^2 + \frac{1}{k_{\text{尾座}}} \left(\frac{x}{l} \right)^2 \right] \quad k_{\text{主轴}} \text{ 即 } k_{\text{床头}}$$

工艺系统最大变形和最小变形为

$$y_{\text{系min}} = \frac{F_p}{k_{\text{刀架}}} + \frac{F_p}{k_{\text{主轴}} + k_{\text{尾座}}} \quad y_{\text{系max}} = \frac{F_p}{k_{\text{刀架}}} + \frac{F_p}{k_{\text{尾座}}}$$

由于工艺系统刚度随刀架位置变化产生的误差为

$$\Delta_y = y_{\text{系max}} - y_{\text{系min}} = \frac{F_p}{k_{\text{尾座}}} - \frac{F_p}{k_{\text{主轴}} + k_{\text{尾座}}}$$

根据刚度的定义式可改写为：

$$\text{当 } x=0, (\text{刀具在主轴箱处}) \quad y_{\text{系}(0)} = F_p \left(\frac{1}{k_{\text{刀架}}} + \frac{1}{k_{\text{主轴}}} \right)$$

$$\text{当 } x=l, (\text{刀具在尾座处}) \quad y_{\text{系}(l)} = F_p \left(\frac{1}{k_{\text{刀架}}} + \frac{1}{k_{\text{尾座}}} \right)$$

$$\text{当 } x=l/2, (\text{刀具中间处}) \quad y_{\text{系}(l/2)} = F_p \left(\frac{1}{k_{\text{刀架}}} + \frac{1}{4k_{\text{主轴}}} + \frac{1}{4k_{\text{尾座}}} \right)$$

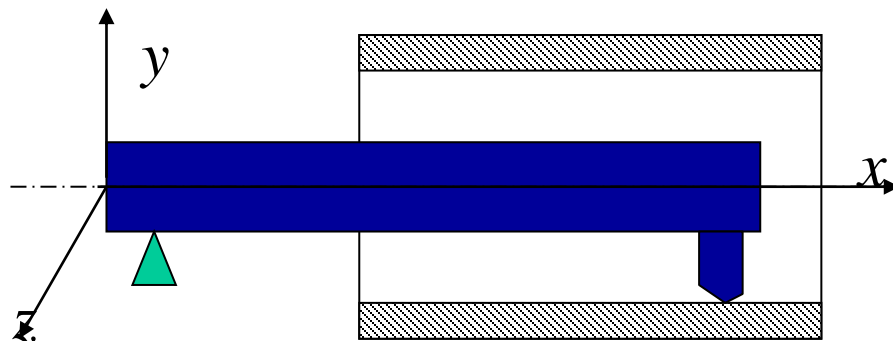
最小变形点发生在当 $x=l/(1+\alpha)$, $\alpha=k_{\text{主轴}}/k_{\text{尾座}}$

$$y_{\text{系}(x)} = F_p \left\{ \frac{1}{k_{\text{刀架}}} + \frac{1}{k_{\text{主轴}}} \left(\frac{l-x}{l} \right)^2 + \frac{1}{k_{\text{尾座}}} \left(\frac{x}{l} \right)^2 \right\}$$

(2) 刀具刚度及其对加工精度的影响

例：卧式镗床镗孔情况

$$y_{tg} = \frac{F_y \cdot L^3}{3E \cdot I}$$



式中：

E ——弹性模数，对于钢件 $E=2.06 \times 10^5 \text{MPa}$ ；

I ——截面惯性矩， mm^4 ；

L ——悬伸长度， mm 。

$$K_{tg} = \frac{F_y}{y_{tg}} = \frac{3EI}{L^3}$$

(3) 工件刚度及其对加工精度的影响

$$y_{gj} = \frac{F_y L^3}{48EI} \quad K_{gj} = \frac{F_y}{y_{gj}} = \frac{48EI}{L^3}$$

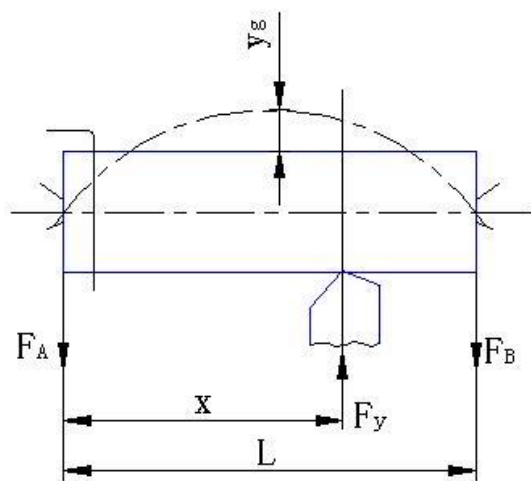


图6-17 车削细长轴时工件的变形

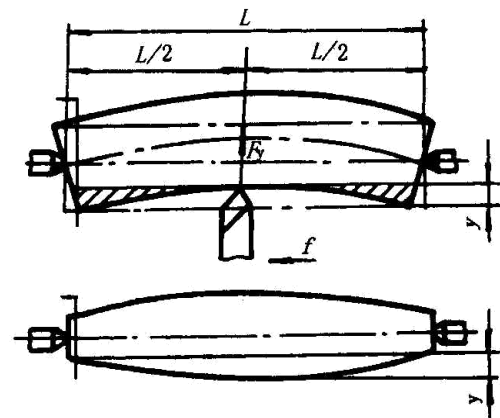


图 2-21 长轴加工时的变形和误差

$$y_g = \frac{F_p}{3EI} \cdot \frac{(L-x)^2 x^2}{L}$$

改进：使用跟刀架，合理切削用量与刀具主偏角。

工件刚度

工件安装在卡盘中加工

最大变形量按悬臂梁公式估算 $y_{\max} = \frac{F_d l^3}{3EI} (\text{mm})$

工件安装在两顶尖之间加工

最大变形量按简支梁公式估算 $y_{\max} = \frac{F_d l^3}{48EI} (\text{mm})$

工件安装在卡盘并用尾顶尖支承加工

最大变形量按静不定梁公式估算 $y_{\max} = \frac{F_d l^3}{CEI} (\text{mm})$

(4) 工艺系统的刚度计算

工艺系统在某一位置受力作用产生的变形量 $y_{\text{系}}$ 应为工艺系统各组成环节在此位置受该力作用产生的变形量的代数和，即

$$y_{\text{系}} = y_{\text{机床}} + \boxed{y_{\text{刀具}} + y_{\text{夹具}}} + y_{\text{工件}}$$

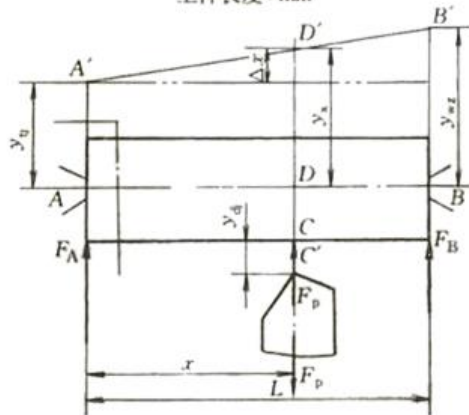
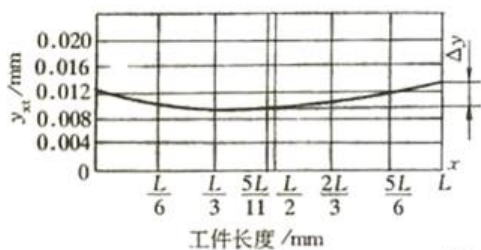
根据刚度定义得到

$$\frac{1}{k_{\text{系}}} = \frac{1}{k_{\text{机床}}} + \boxed{\frac{1}{k_{\text{刀具}}} + \frac{1}{k_{\text{夹具}}}} + \frac{1}{k_{\text{工件}}}$$

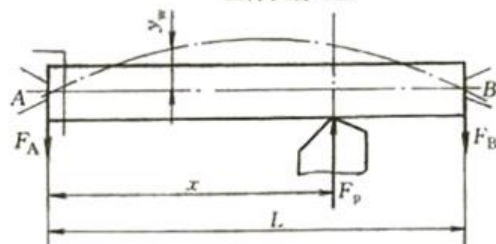
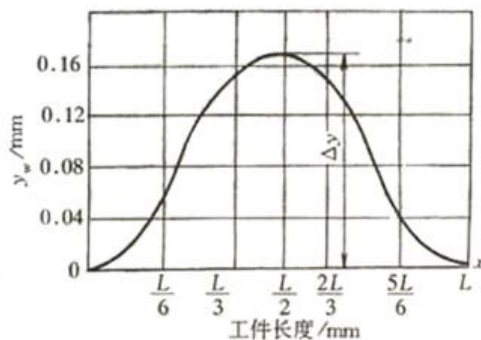
因此，求系统的位移时只考虑机床和工件的位移，这时工艺系统的总位移量和刚度分别为：

$$y_{xt} = F_y \left[\frac{1}{K_d} + \frac{(L-x)^2}{L^2 \cdot K_{ct}} + \left(\frac{x}{L} \right)^2 \frac{1}{K_{cw}} + \frac{1}{K_{gj}} \right] \quad K_{xt} = \frac{1}{\frac{1}{K_d} + \frac{(L-x)^2}{L^2 \cdot K_{ct}} + \left(\frac{x}{L} \right)^2 \frac{1}{K_{cw}} + \frac{1}{K_{gj}}}$$

$$y_{xt} = F_y \left[\frac{1}{K_d} + \frac{(L-x)^2}{L^2 \cdot K_{ct}} + \left(\frac{x}{L} \right)^2 \frac{1}{K_{cw}} + \frac{1}{K_{gj}} \right] \quad K_{xt} = \frac{1}{\frac{1}{K_d} + \frac{(L-x)^2}{L^2 \cdot K_{ct}} + \left(\frac{x}{L} \right)^2 \frac{1}{K_{cw}} + \frac{1}{K_{gj}}}$$



a)



b)

切削力作用点位置的变化对工艺系统变形的影响

a) 车短粗轴 b) 车细长轴

归纳

1) 机床刚度及其对加工精度的影响:

以车床加工光轴为例，刀尖运动轨迹是抛物线。

2) 刀具刚度及其对加工精度的影响:

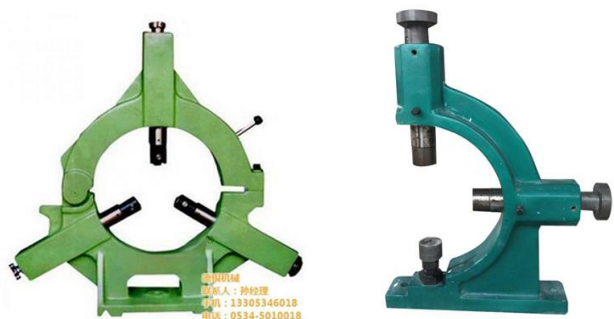
一般不显著，但在某些情况下不可忽略。以卧式镗床镗孔为例。

3) 工件刚度及其对加工精度的影响:

以车床加工长轴为例，工件成鼓形。

改进：使用跟刀架，合理切削用量与刀具主偏角。

*跟刀架的作用



练习题

【例题】 已知车床的主轴箱刚度为300000 N/mm,尾座刚度为56600 N/mm,刀架刚度为30000 N/mm,径向分力为4000 N。设工件刚度、刀具刚度、夹具刚度相对较大,试计算加工一长度为 l 的光轴,由于工艺系统刚度引起的圆柱度误差是多少?

解: 有公式可求得

$$y_{\text{系max}} = F_p \left[\frac{1}{k_{\text{刀架}}} + \frac{1}{k_{\text{尾座}}} \right] = 4000 \times \left(\frac{1}{300000} + \frac{1}{56600} \right) = 0.204\text{mm}$$

$$y_{\text{系min}} = F_p \left[\frac{1}{k_{\text{刀架}}} + \frac{1}{k_{\text{主轴}} + k_{\text{尾座}}} \right] = 4000 \times \left(\frac{1}{300000} + \frac{1}{300000 + 56600} \right) = 0.144\text{mm}$$

由于工艺系统刚度变化引起的工件圆柱度误差:

$$\Delta = y_{\text{系max}} - y_{\text{系min}} = 0.204 - 0.144 = 0.06\text{mm}$$

3、误差复映规律

在加工过程中，由于工件的加工余量发生变化、工件材质不均匀等因素引起切削力变化，使工艺系统发生变形，从而产生加工误差。

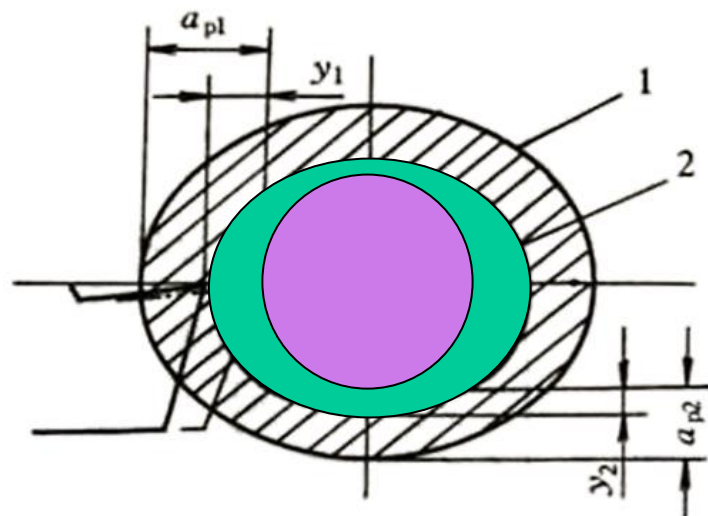
加工后工件表面上保留着与毛坯表面类似的但数值已大大缩小的尺寸或形状误差，这种现象称为“误差复映”。

$$y_1 = \frac{F_{y1}}{K_{xt}} \quad F_{y1} = 0.4C_{fz} a_{p1} f^{0.75}$$

$$d y_1 = \frac{0.4C_{fz} f^{0.75} d a}{K_{xt}}$$

误差复映系数 ε :

$$\frac{d y_1}{d a} = \frac{0.4C_{fz} f^{0.75}}{K_{xt}}$$



毛坯形状误差的复映

1—毛坯表面 2—工件表面

一次走刀不能达到工件精度要求时，可以采用多次走刀来消除毛坯误差所复映的误差。

4、机床变形的原因和提高机床刚度的措施

引起机床变形的主要因素

- 1、接触刚度的影响。
- 2、机床零件中个别薄弱环节的影响。
- 3、零件的夹紧力的影响。
- 4、摩擦力的影响。
- 5、间隙的影响。

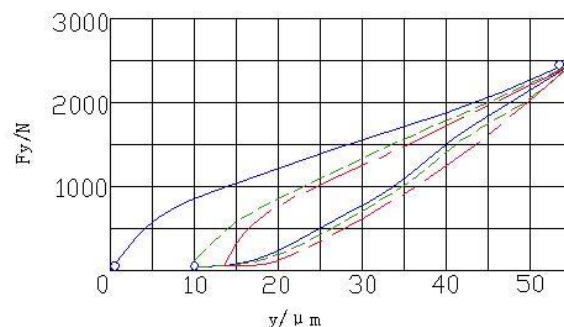
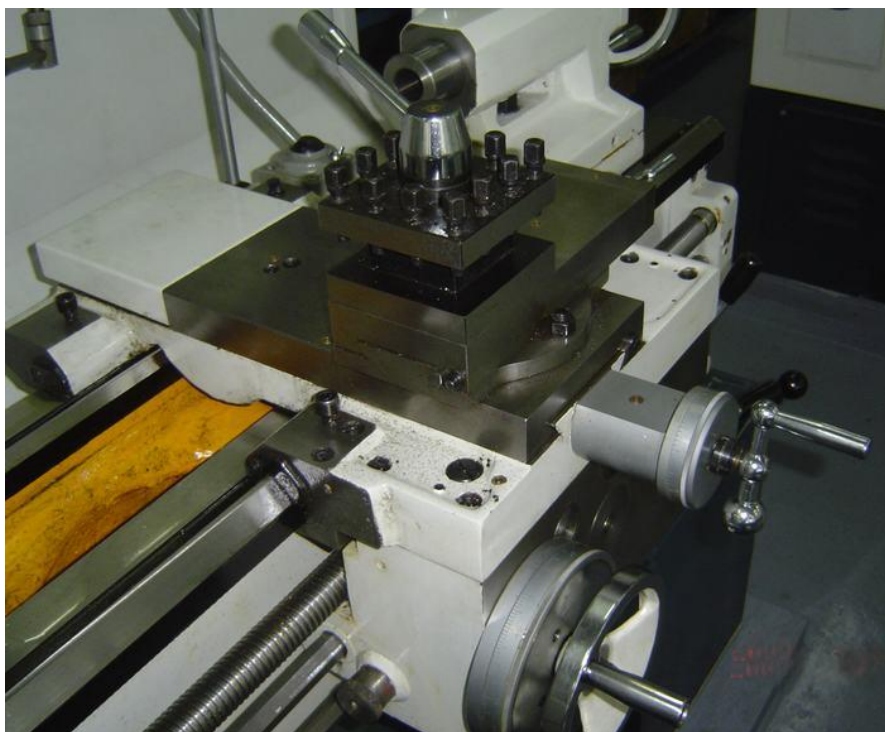


图6-13 车床刀架的静刚度特性曲线

—— 一次加载 - - - 二次加载 - · - 三次加载

- 1、单向静载测力法
- 2、三向静刚度测定法
- 3、工作状态测定法

1、接触刚度的影响。



车床溜板箱

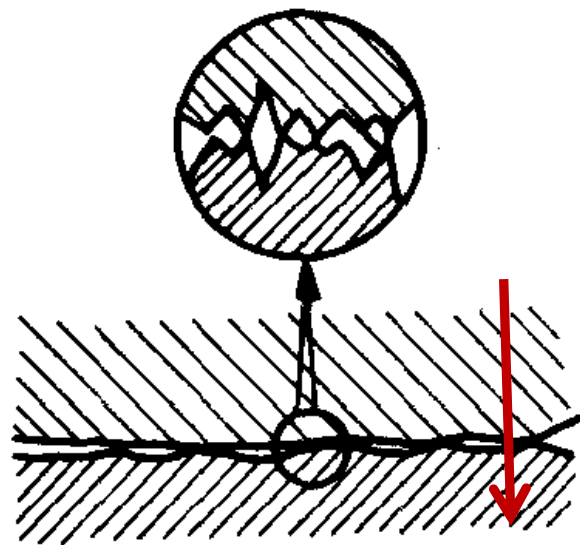


图 6-18 接触面表面质量对
接触刚度的影响

减小连接零件表面的粗糙度可提高机床构件、部件间接触刚度

2、机床零件中个别薄弱环节的影响。

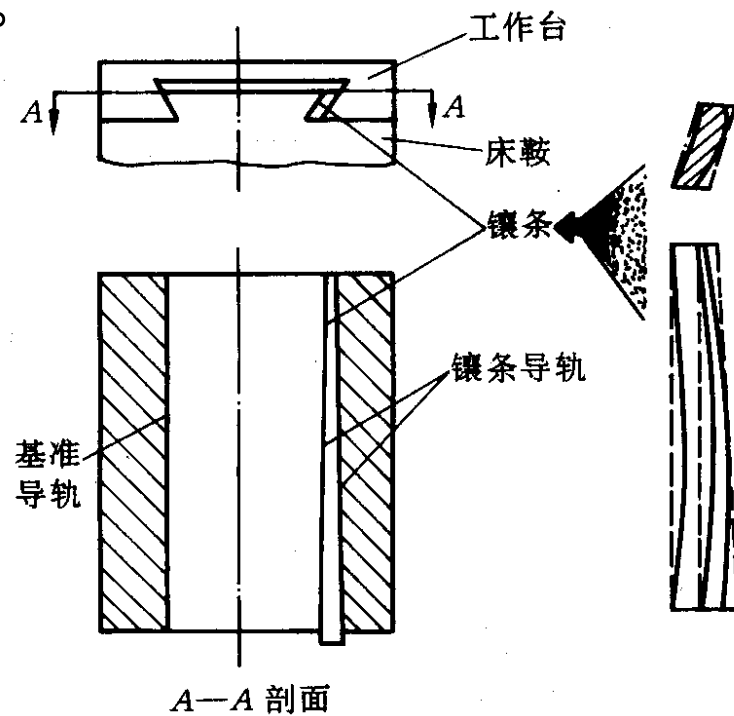
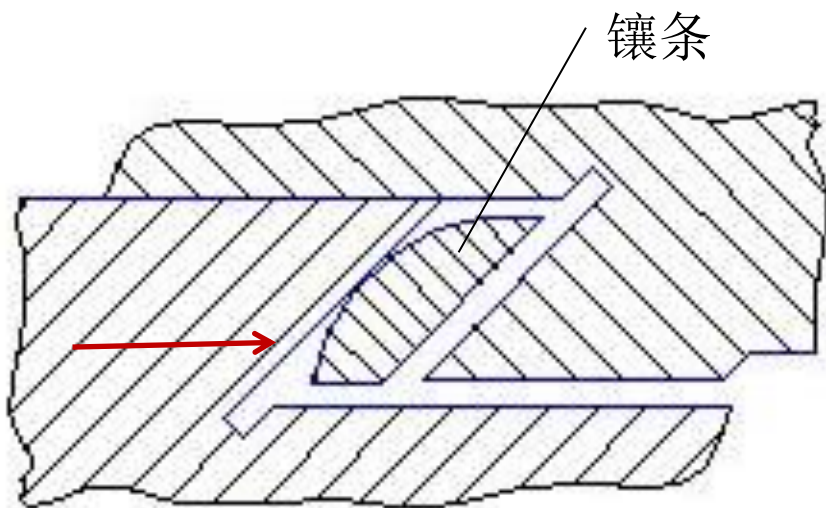
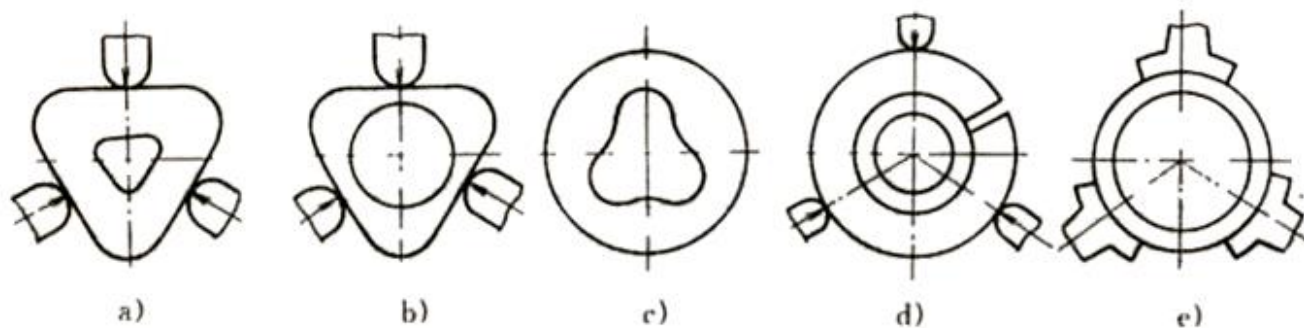


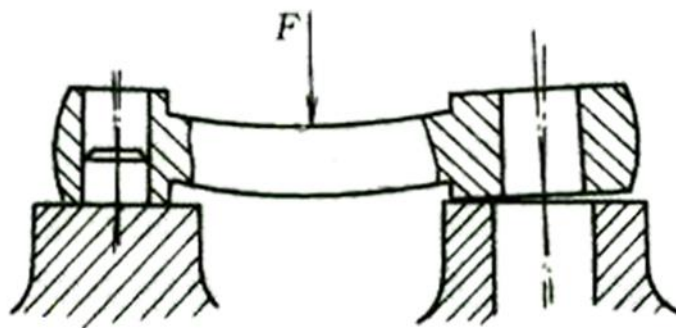
图 6-19 刚度较差的零件——镶条

3、零件的夹紧力的影响。



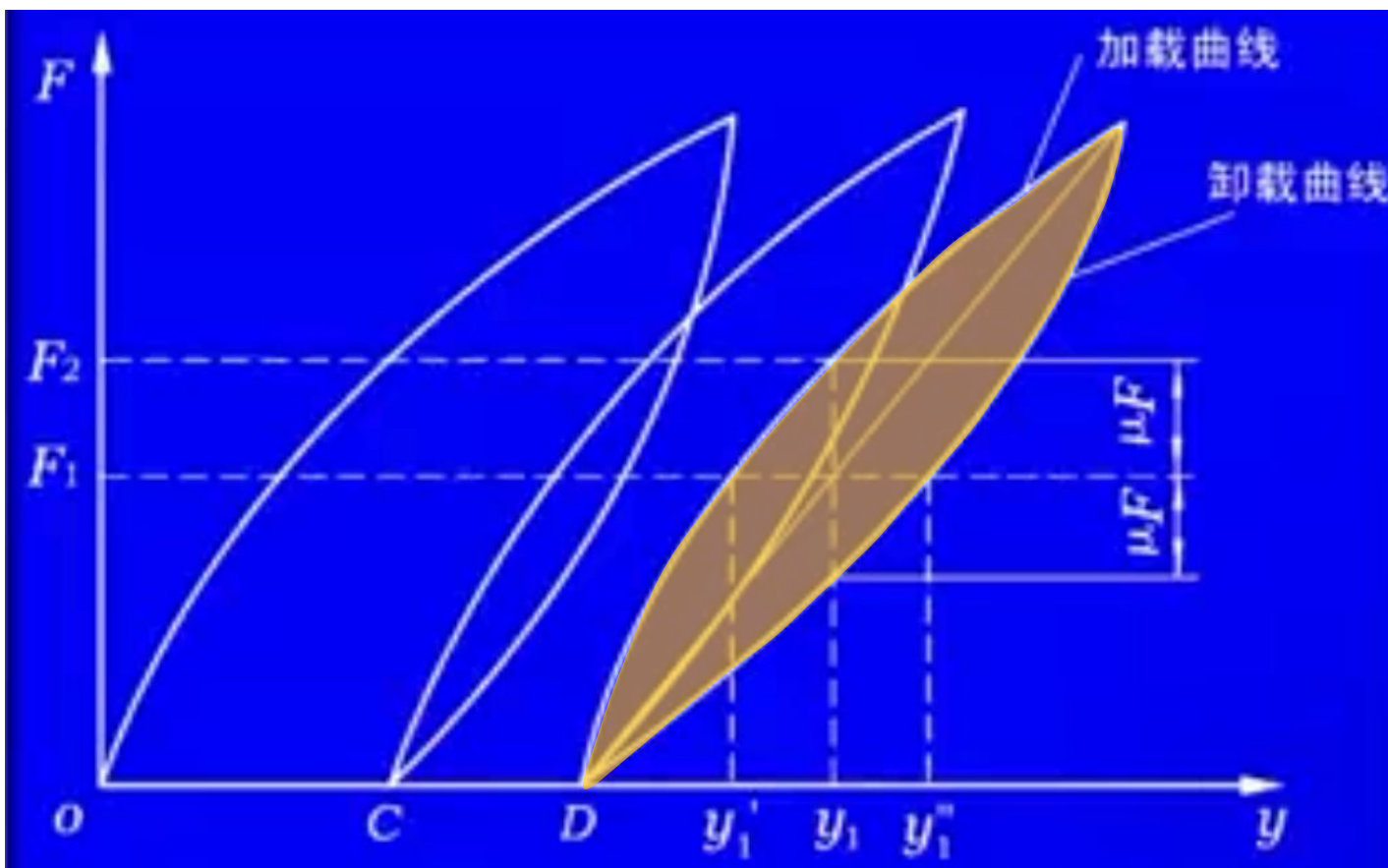
工件夹紧变形引起的加工误差

- a) 用普通三爪直接夹紧套筒变形 b) 将孔镗圆 c) 松开套筒后，孔变形
d) 采用开口夹具夹紧套筒，环变形 e) 采用弧形三爪夹紧，可避免变形



夹紧力作用点不当引起的加工误差

4、摩擦力的影响。



摩擦力对机床部件刚度的影响

5、间隙的影响。

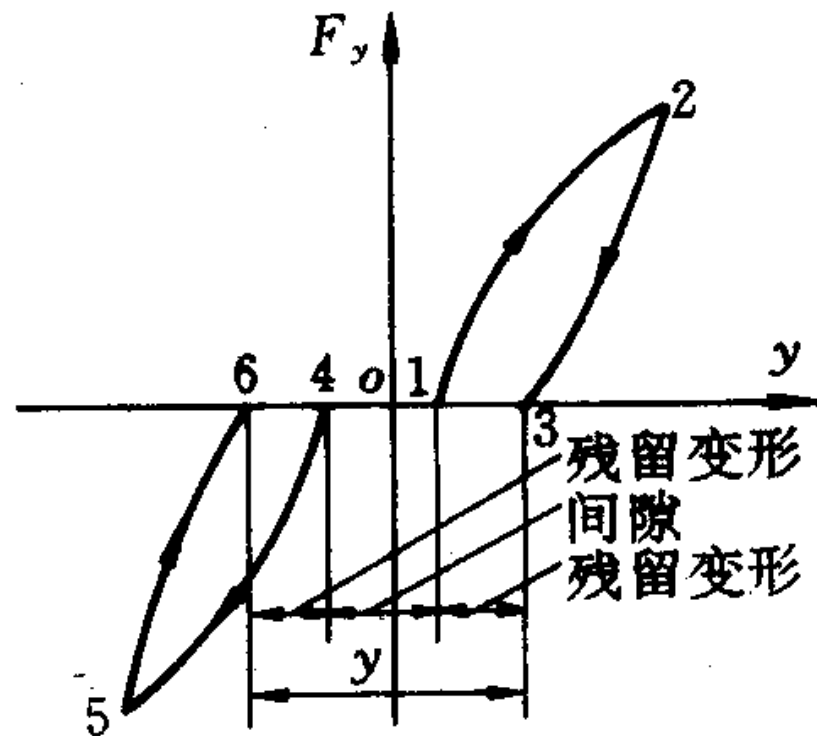


图 6-16 正反加卸载变形曲线

减少工艺系统受力变形的措施

（一）、提高工艺系统刚度

- （1）提高接触刚度
- （2）提高工件刚度，减少受力变形
- （3）提高机床部件刚度，减少受力变形
- （4）合理装夹工件，减少夹紧变形

（二）合理安排工艺路线

（三）减小载荷及其变化

*为什么要提高接触刚度?

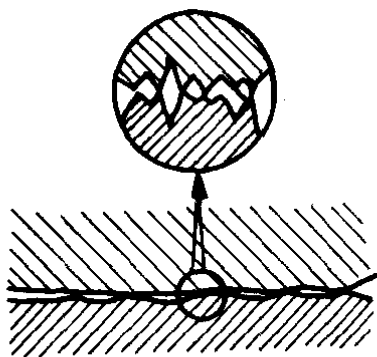


图 6-18 接触面表面质量对接触刚度的影响

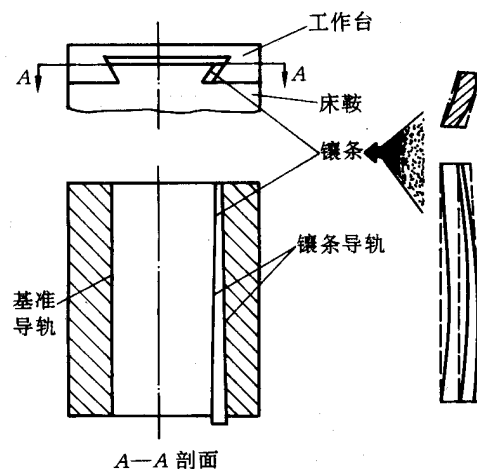


图 6-19 刚度较差的零件——镶条

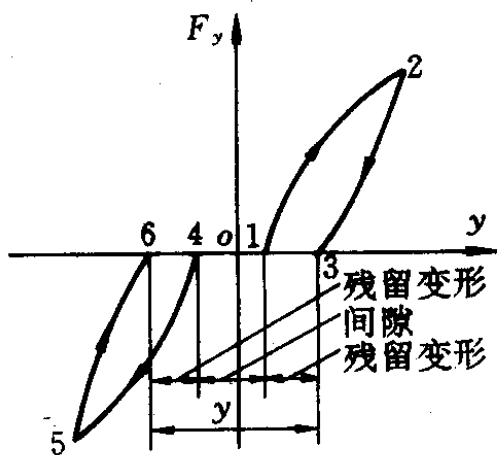


图 6-16 正反加卸载变形曲线

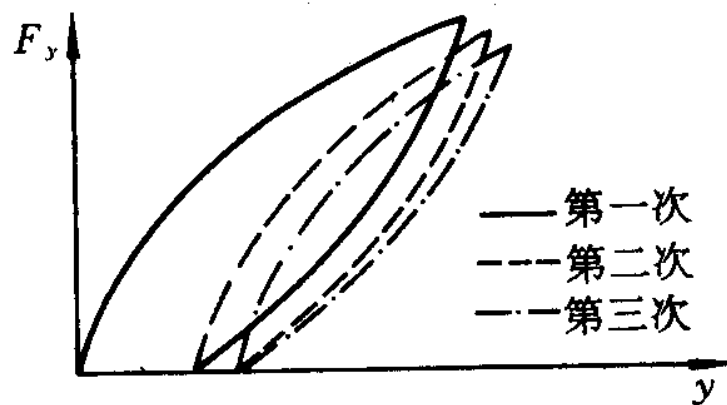
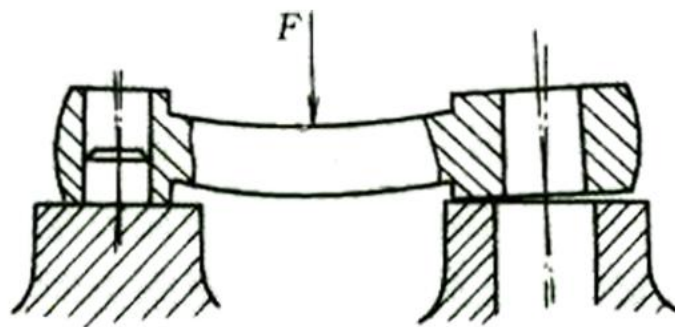


图 6-17 多次重复加卸载变形曲线

*为什么要提高工件刚度?



夹紧力作用点不当引起的加工误差

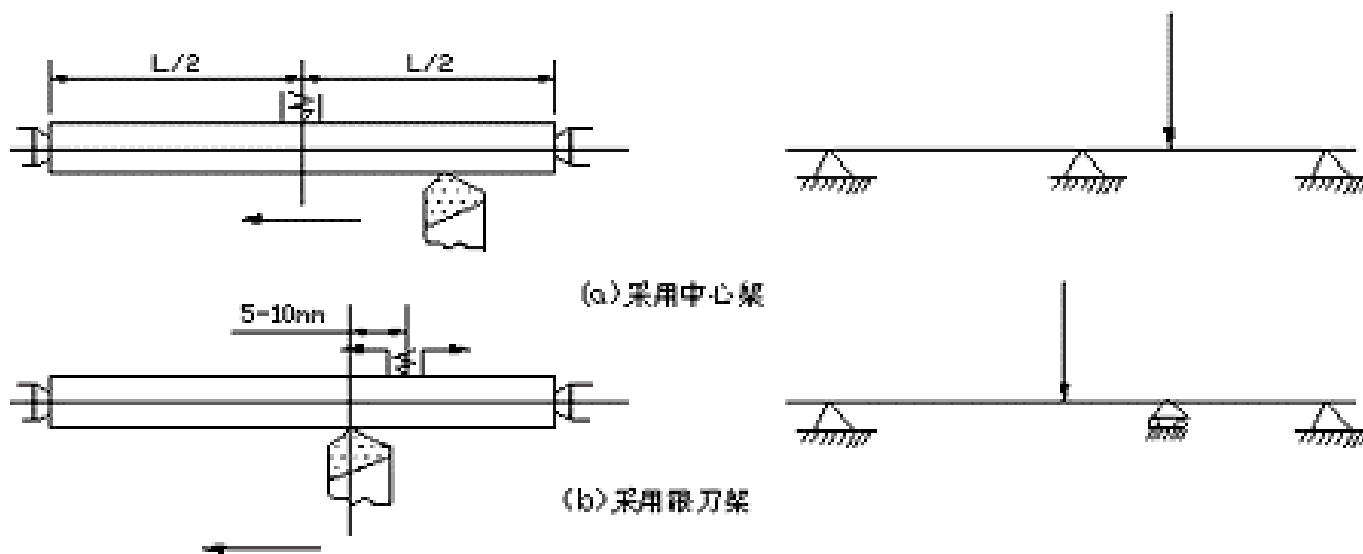


图4-19 增加支撑提高工件刚度

*如何提高机床部件刚度?

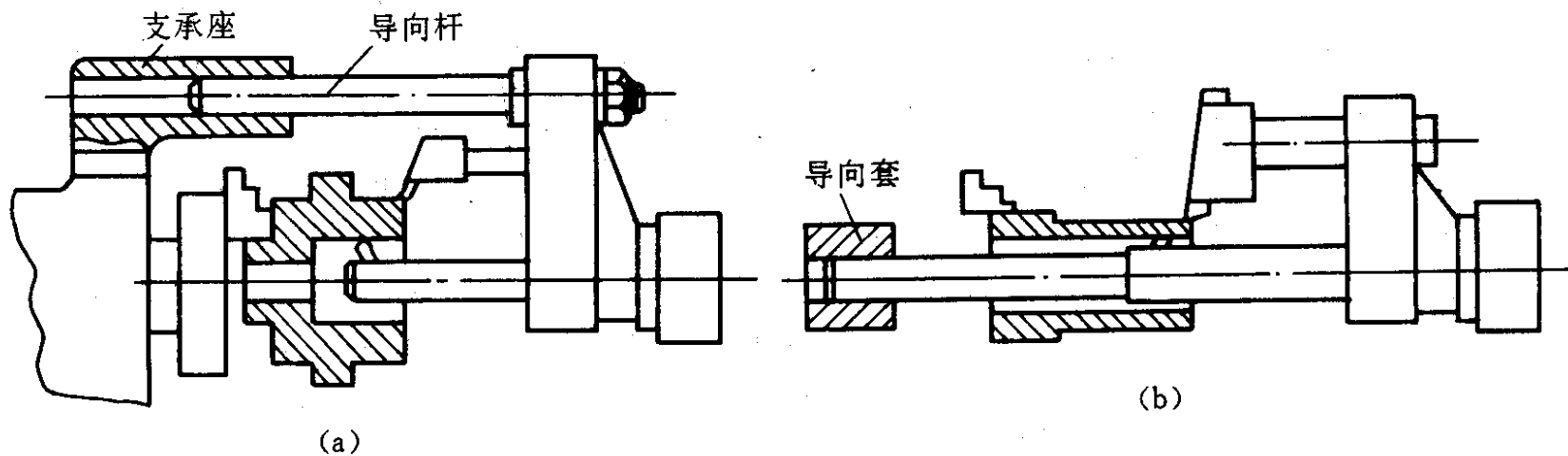
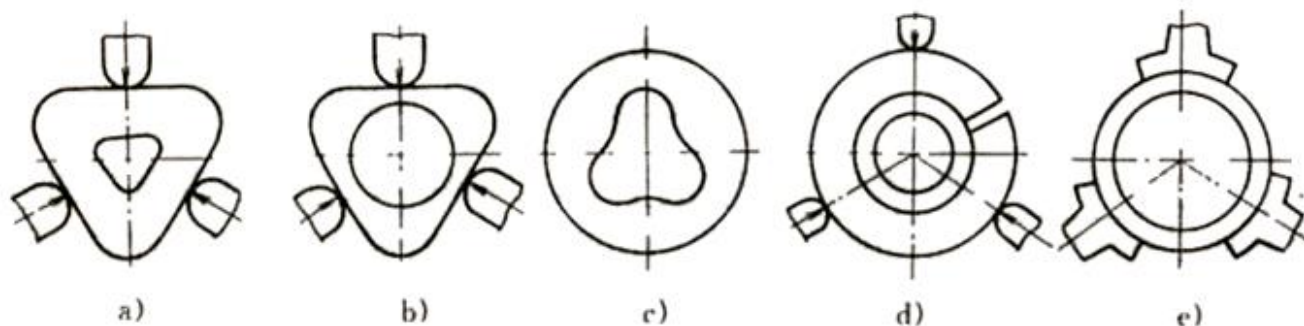


图 6-35 提高加工时刀具的刚度

*如何减少夹紧变形？



工件夹紧变形引起的加工误差

- a) 用普通三爪直接夹紧套筒变形 b) 将孔镗圆 c) 松开套筒后，孔变形
d) 采用开口夹具夹紧套筒，环变形 e) 采用弧形三爪夹紧，可避免变形

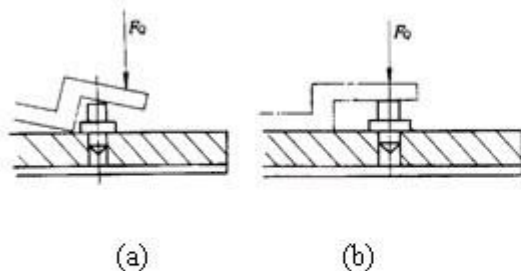


图 3-30 夹紧力作用点应在支承面内

(a) 不合理 (b) 合理

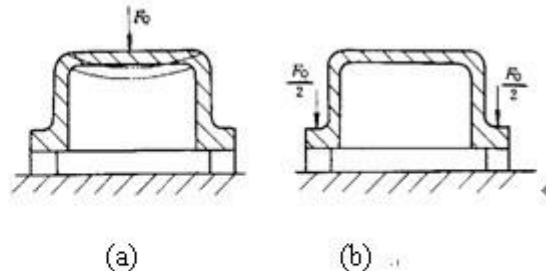
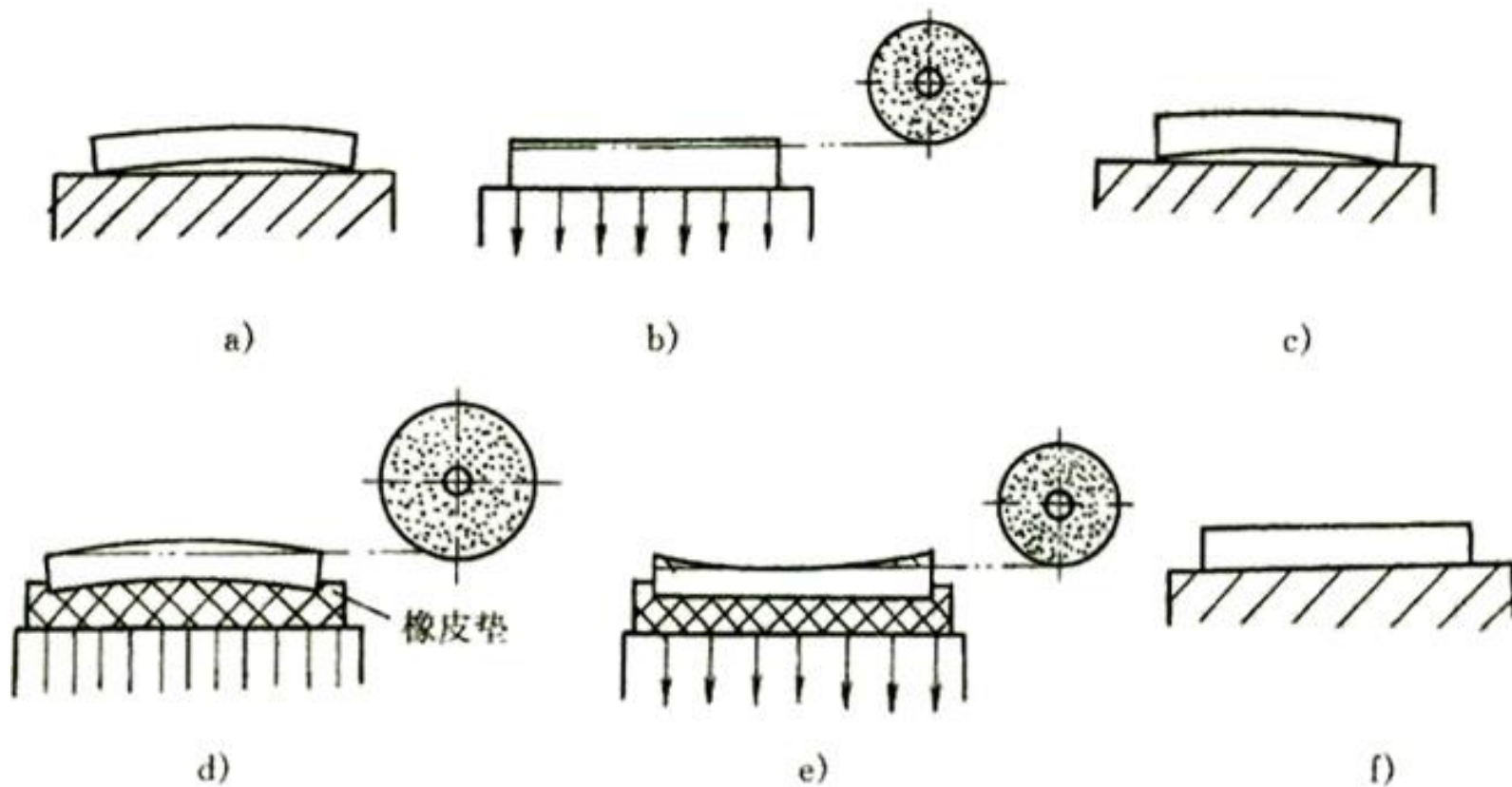


图 3-31 夹紧力作用点应在刚性较好部位

(a) 不合理 (b) 合理

*如何合理安排工艺路线?



薄板工件磨削

a) 毛坯翘曲 b) 吸盘吸紧 c) 磨后松开 d) 磨削凸面 e) 磨削凹面 f) 磨后松开

*如何减小载荷?

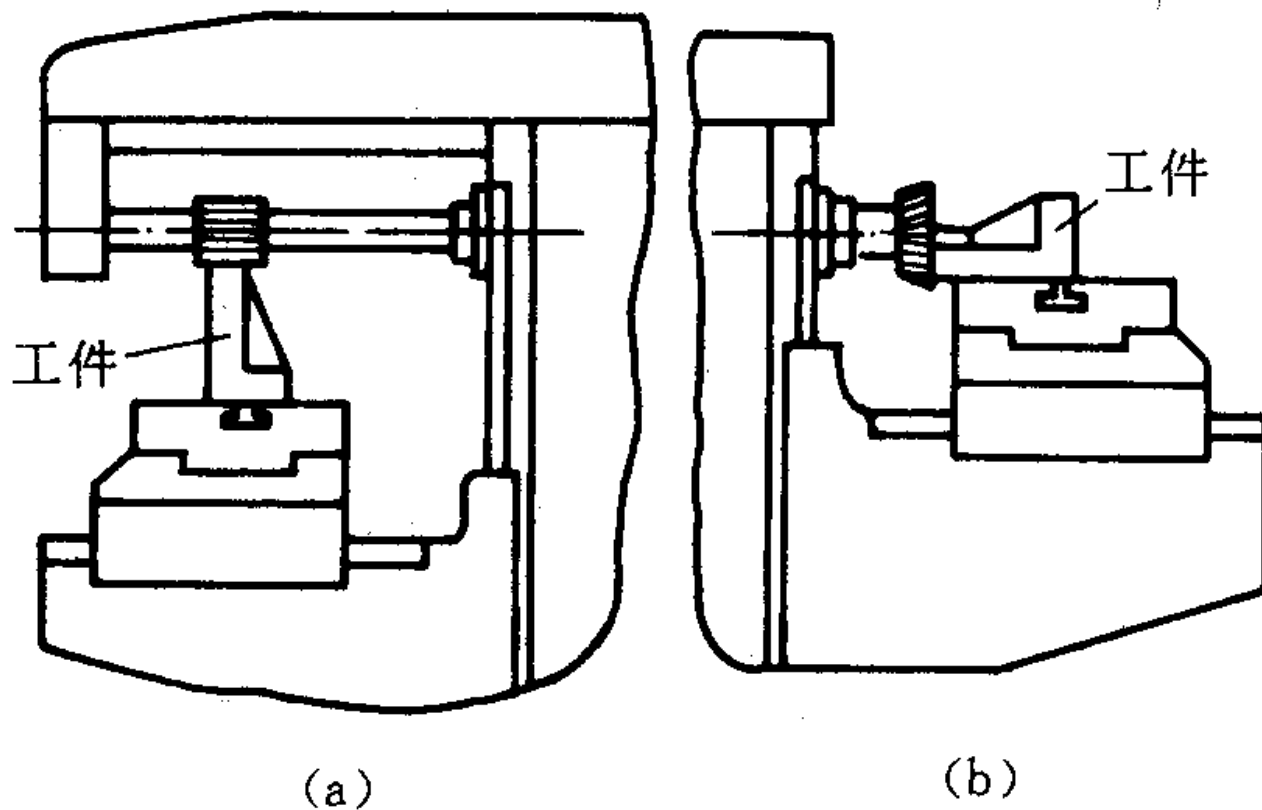
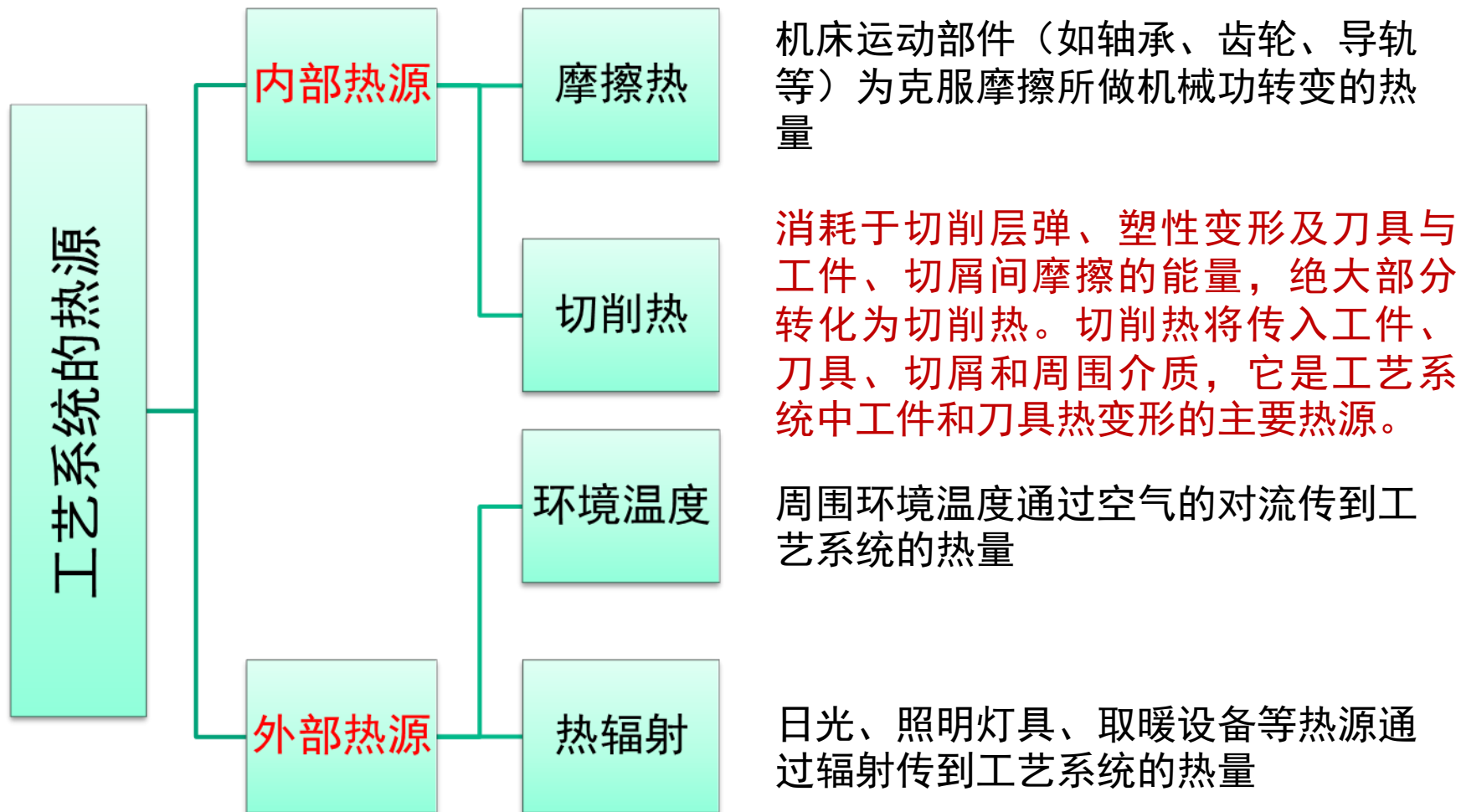


图 6-34 提高工件安装时的刚度

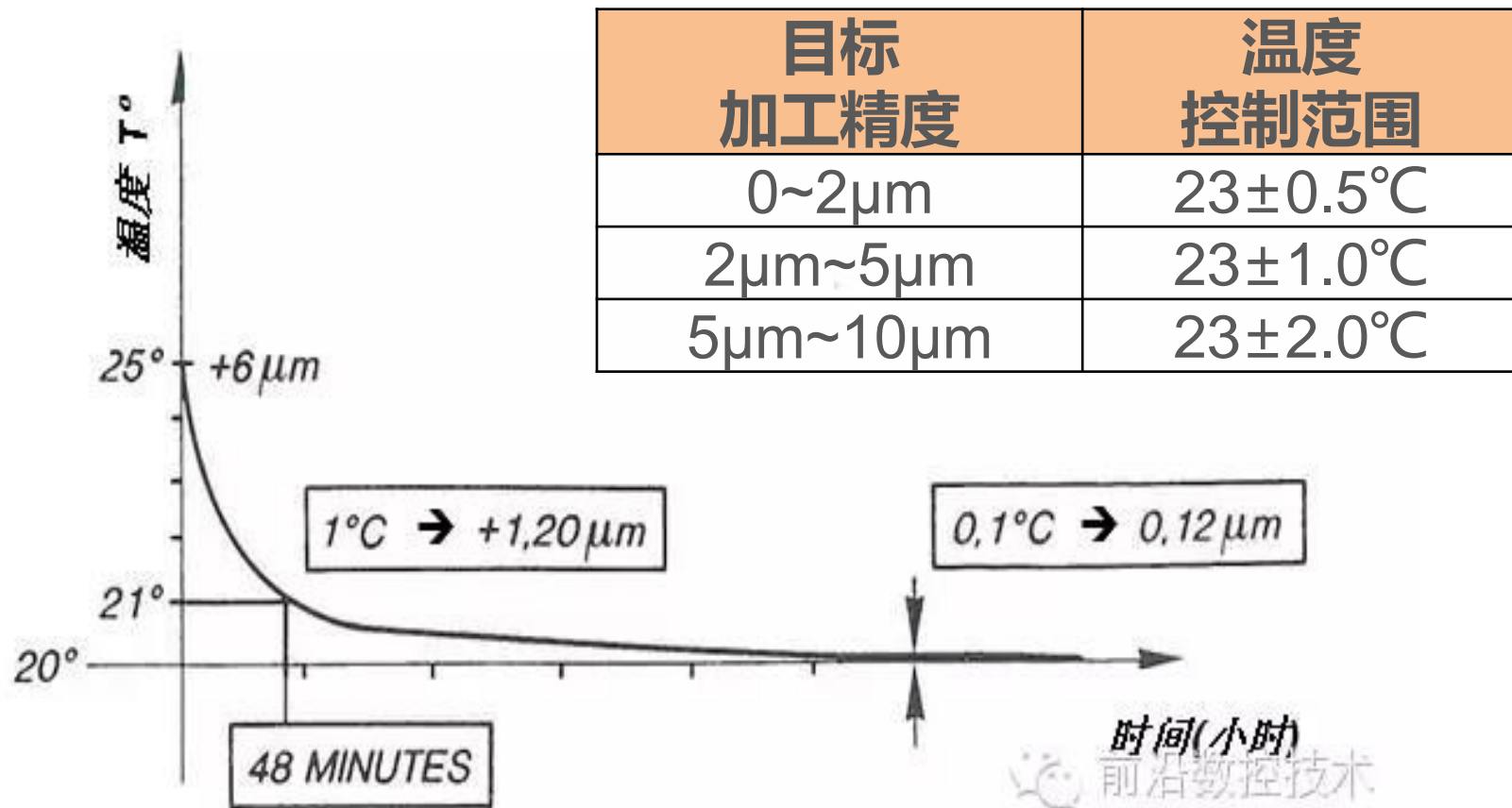
七、工艺系统热变形所引起的误差

The errors from thermal deformation of process system



*实例：温度对精度的影响

钢件：100 x 30 x 20 mm



热稳定（温度对精度的影响）

*实例：温度对精度的影响

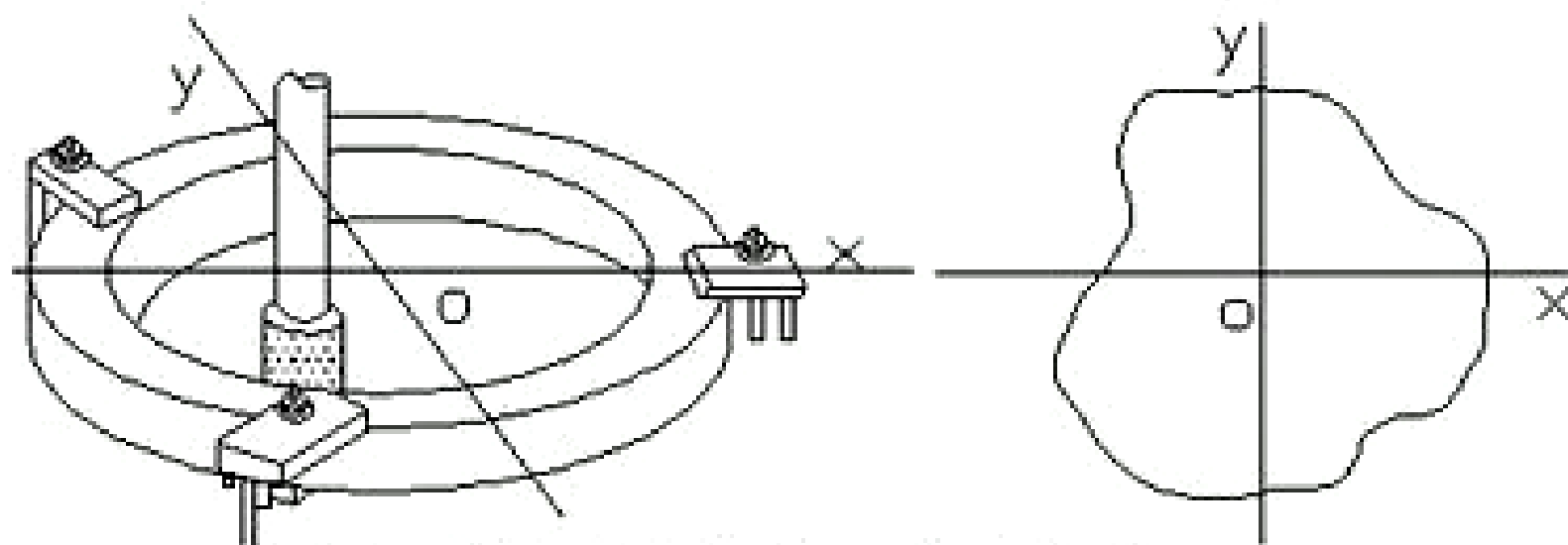


图4-27 薄圆环磨削时热变形的影响

工艺系统的热变形有：**机床热变形、刀具热变形、工件热变形。**

(1) 机床热变形

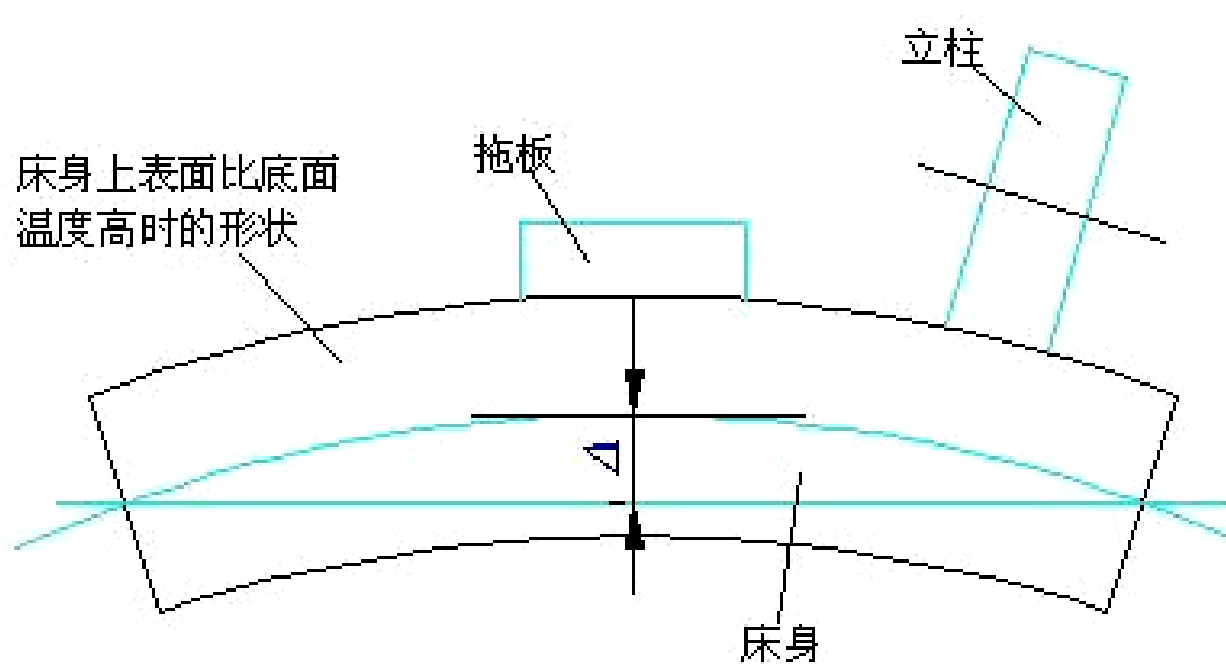
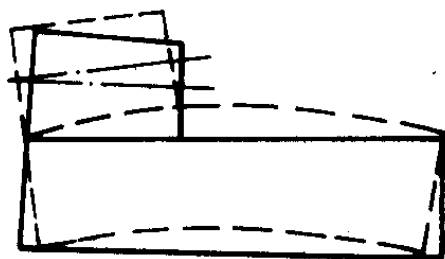


图4-25 床身纵向温度热效应的影响

a、车、铣、钻、镗，机床的主要热源

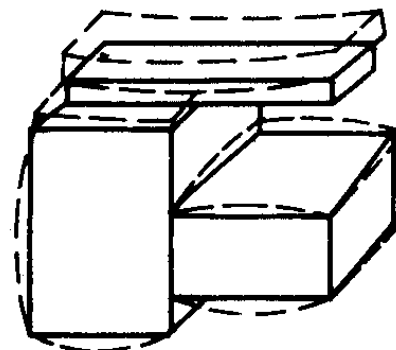
主轴箱轴承的摩擦热及主轴箱中油池的发热。
导致主轴箱及它相连部分的床身温度升高。



(a) 车床



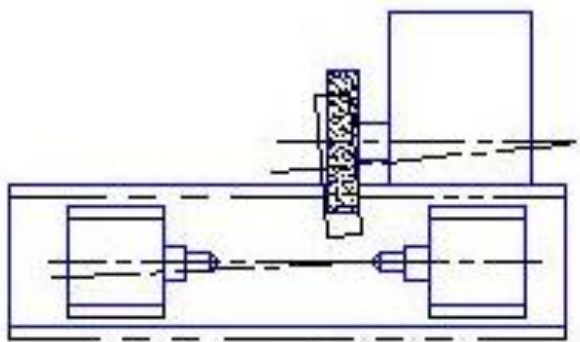
(b) 立铣床



(c) 卧铣床

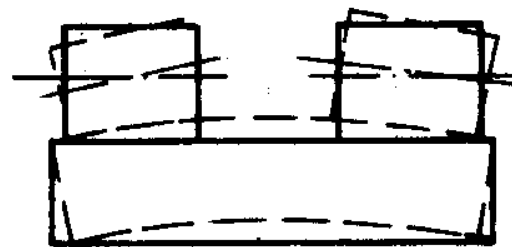
b、磨床类机床的热变形

- 1、液压系统——油池
- 2、高速磨头——砂轮架、工件头架，
- 3、冷却液（磨削热）——床身



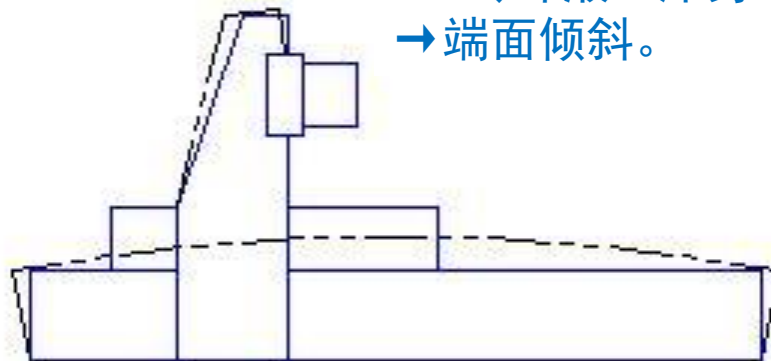
外圆磨床：

- (1) 砂轮架→倾斜→工件直径；
- (2) 工件头架→倾斜→锥度



双端面磨床：

- 1) 砂轮架，
- 2) 冷却液→床身中部→中凸
→端面倾斜。



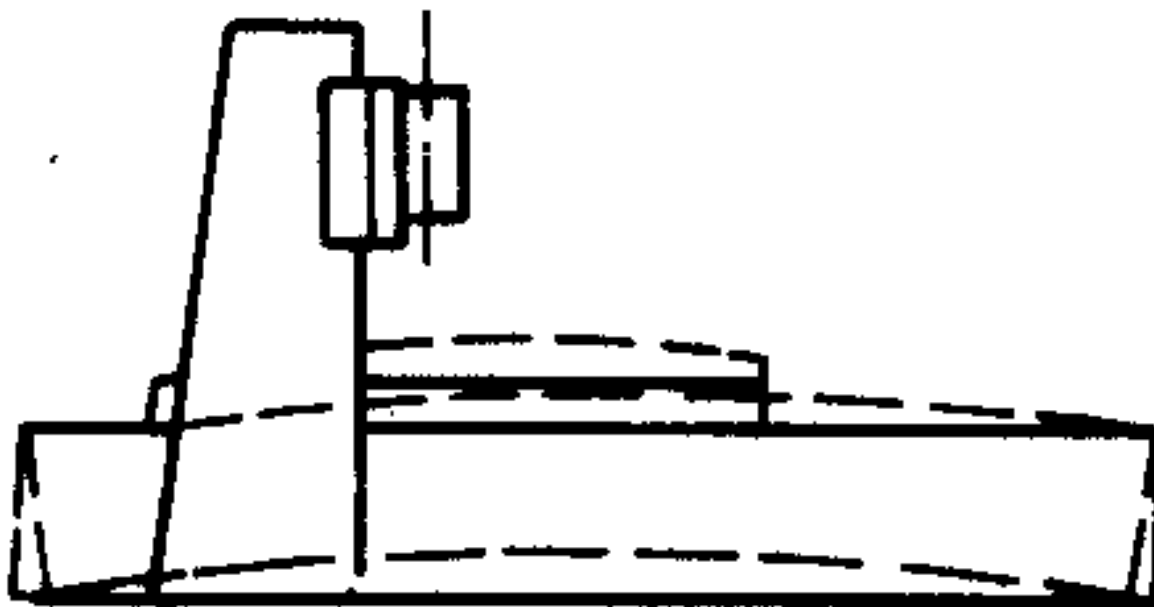
平面磨床：

- (1) 砂轮架→立柱；
- (2) 液压→油池→床身内，下高，中凹；

c、大型机床热变形

龙门铣、刨、导轨磨床→床身较长：

- 1、导轨面磨擦
- 2、环境温度，辐射。



解决措施：

- 1、精加工前空车运转；
- 2、减少停车；
- 3、控制切削用量；
- 4、减少环境温度的影响；
- 5、充分冷却。

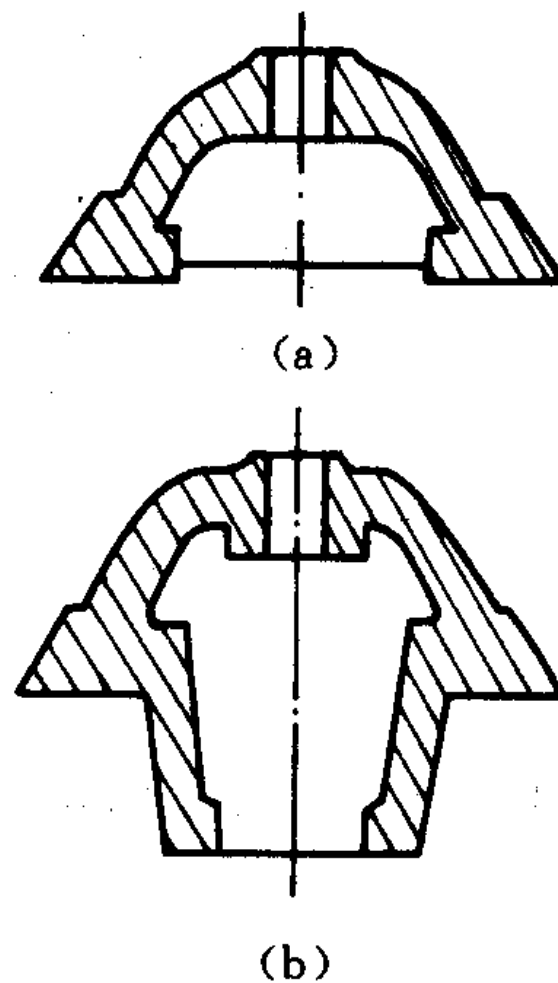


图 6-41 热对称结构

(b) 刀具热变形

刀具的热变形对加工精度的影响与磨损情况相反，但不如磨损显著。

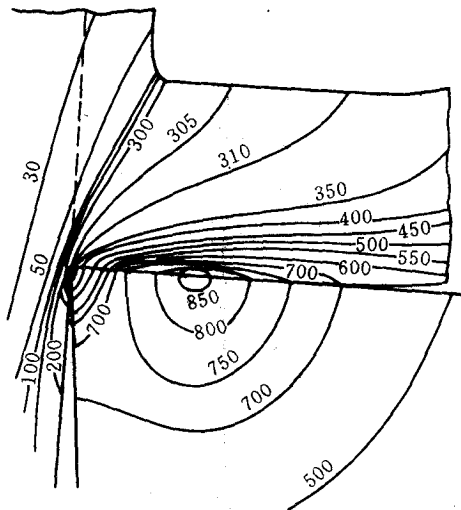


图 2-42 刀具、切屑和工件的温度分布
工件材料: GCr15; 刀具: YT4 车刀, $\gamma_o = 0^\circ$;
切削用量: $b_D = 5.8\text{mm}$, $h_D = 0.35\text{mm}$, $v_c = 80\text{m/min}$

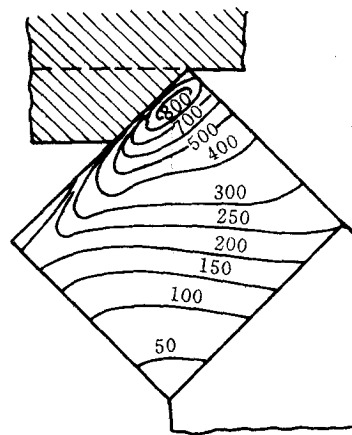


图 2-43 刀具前刀面上的切削温度分布
工件材料: GCr15; 刀具: YT4 车刀;
切削用量: $a_p = 4.1\text{mm}$, $f = 0.5\text{mm/r}$, $v_c = 80\text{m/min}$

解决措施: 改进刀具几何角度, 合理选择切削用量; 减少刀具的伸出长度; 充分冷却。

刀具热变形及其对加工精度的影响

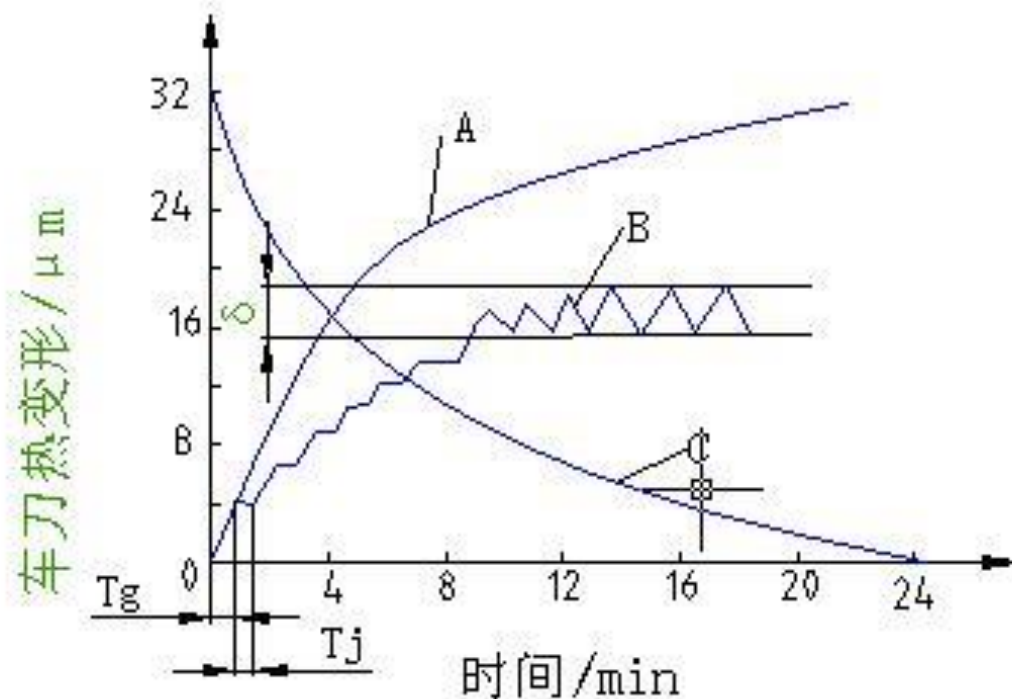


图6-26 车刀热变形

A-连续切削 B-间断切削 C-冷却

T_g -切削时间 T_j -间断时间

(c) 工件热变形

引起工件热变形的热源主要是切削热，有些大型精密件还受环境温度影响。

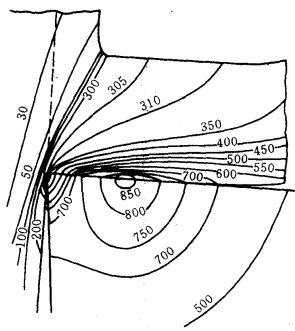


图 2-42 刀具、切屑和工件的温度分布
工件材料: GCr15; 刀具: YT4 车刀, $\gamma_s = 0^\circ$;
切削用量: $b_D = 5.8\text{mm}$, $h_D = 0.35\text{mm}$, $v_c = 80\text{m/min}$

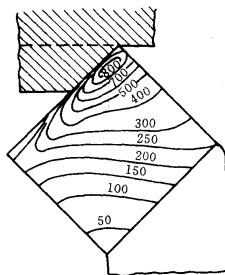
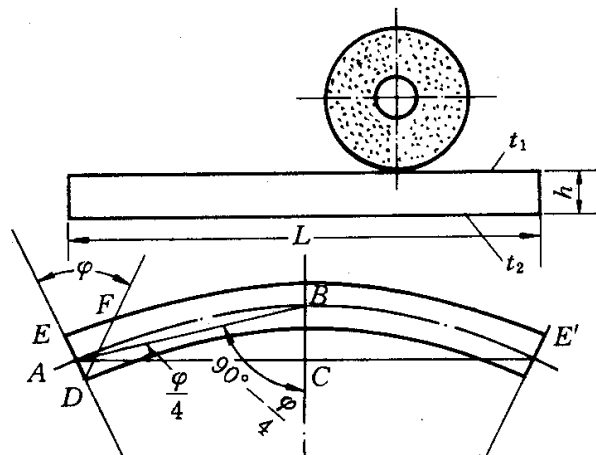


图 2-43 刀具前刀面上的切削温度分布
工件材料: GCr15; 刀具: YT4 车刀;
切削用量: $a_p = 4.1\text{mm}$, $f = 0.5\text{mm/r}$, $v_c = 80\text{m/min}$



工件热变形对加工精度的影响:

- ①工件均匀受热
- ②工件不均匀受热
- ③工件热变形受阻
- ④工件结构和散热条件不同

尺寸误差
形状误差
形状误差
形状误差

工件热变形解决措施：

1. 充分冷却；
2. 提高切削速度或进给速度；
3. 粗加工后停放一段时间后再进行精加工；
4. 刀具或砂轮及时刃磨或修正；
5. 工件在夹紧状态下有伸缩自由。

减少和控制工艺系统热变形的主要途径

（一）合理的结构设计

1、热对称结构

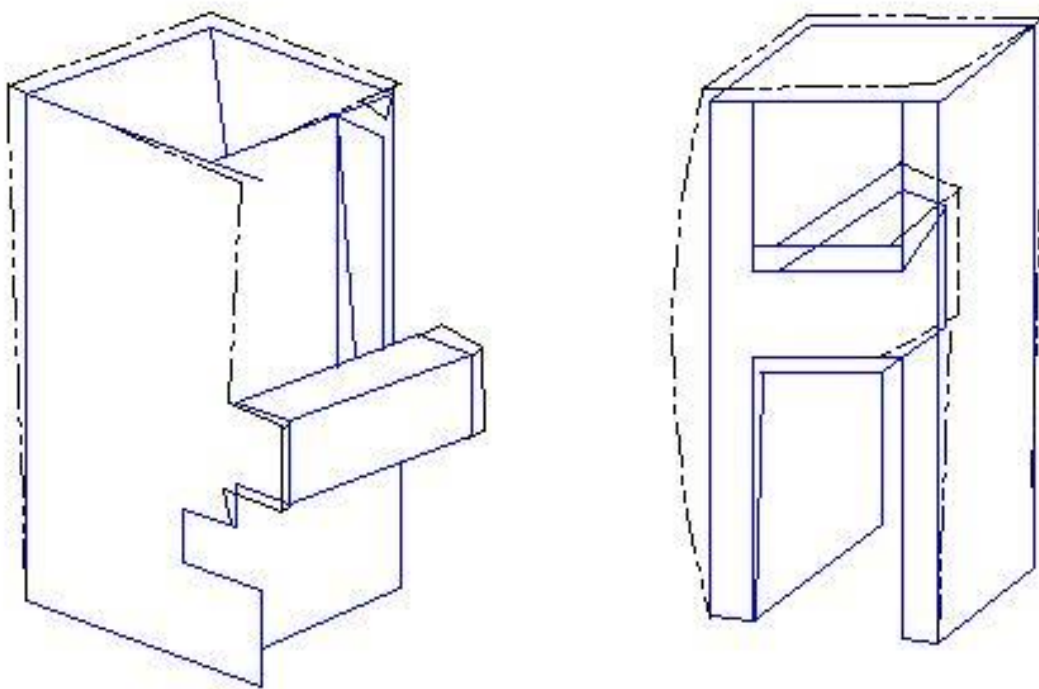


图6-27 加工中心机床立柱的热变形比较

2、合理的装配基准

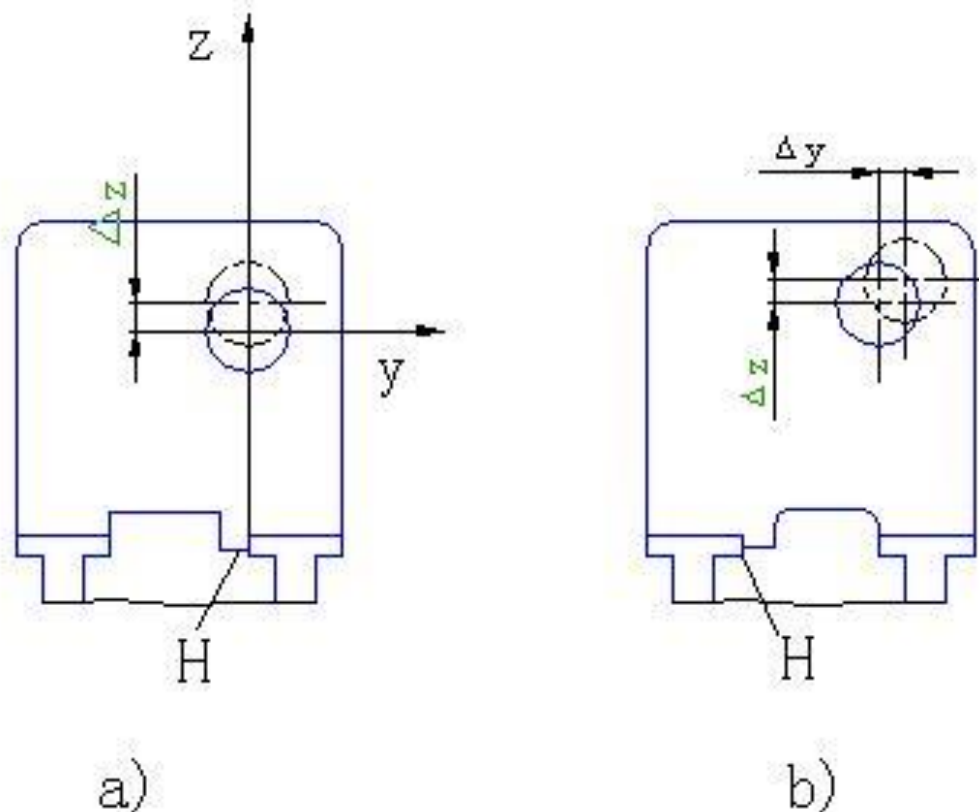


图6-28 车床主轴箱定位面位置对热变形的影响

3、均衡温度场

热空气均衡前后壁温度场

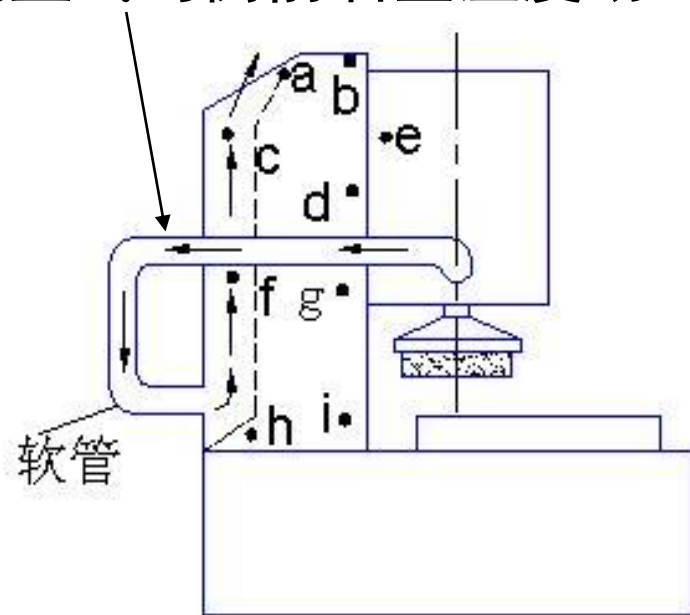


图6-29 均衡立柱前后壁的温度场

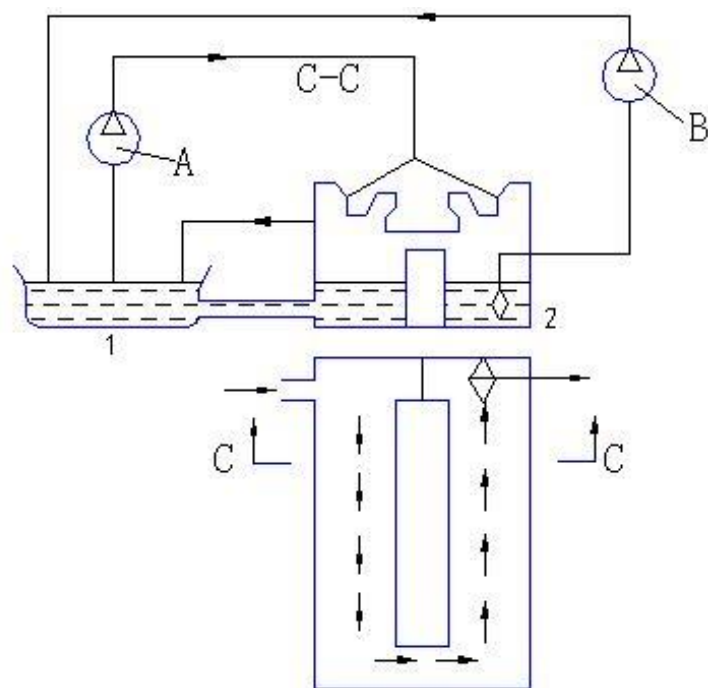


图6-30 M7150A型磨床的热补偿油沟
A、B-液压泵 1-油箱 2-热补偿油沟

(二) 隔热和冷却

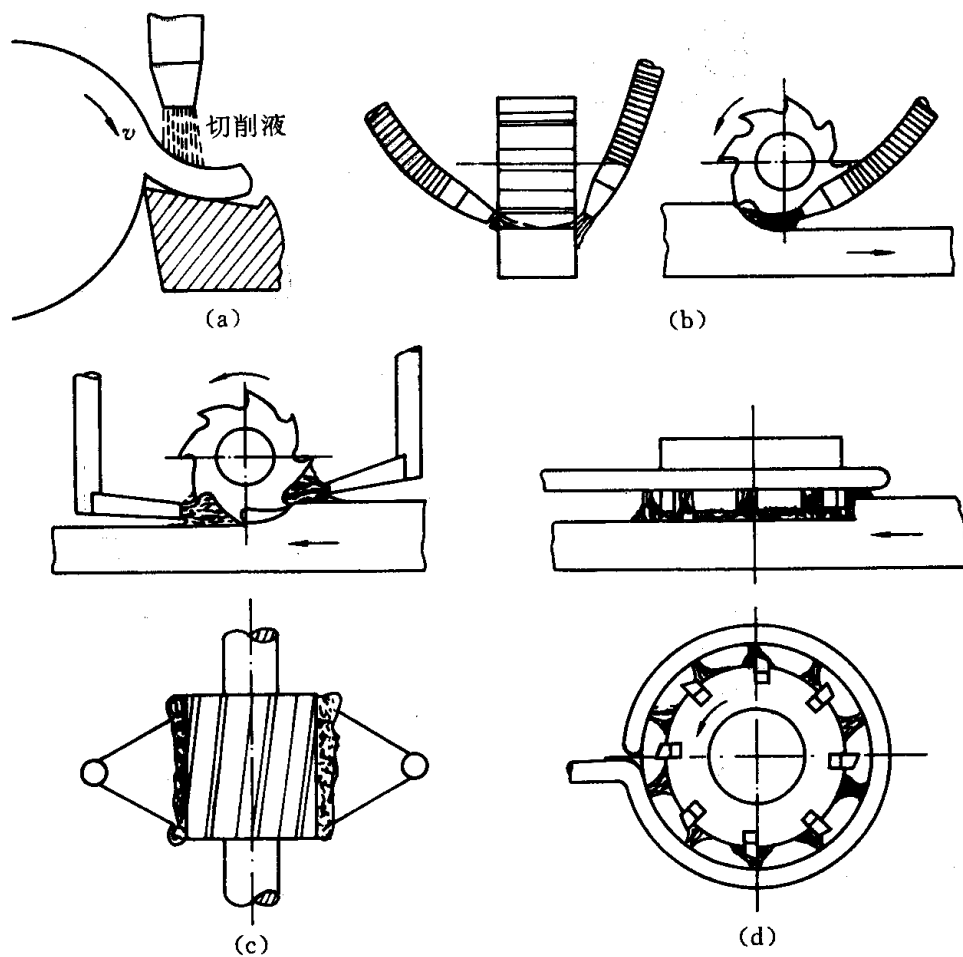


图 2-76 浇注切削液的几种方法

(三) 保持热平衡状态 空转加热，人为加热

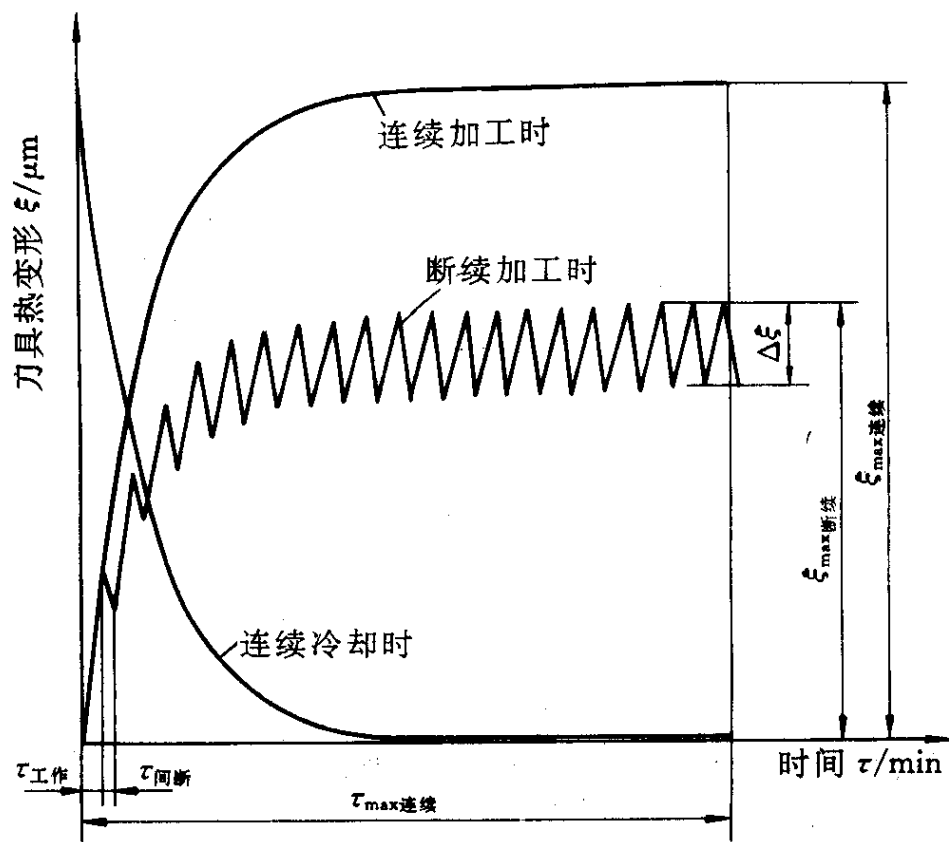
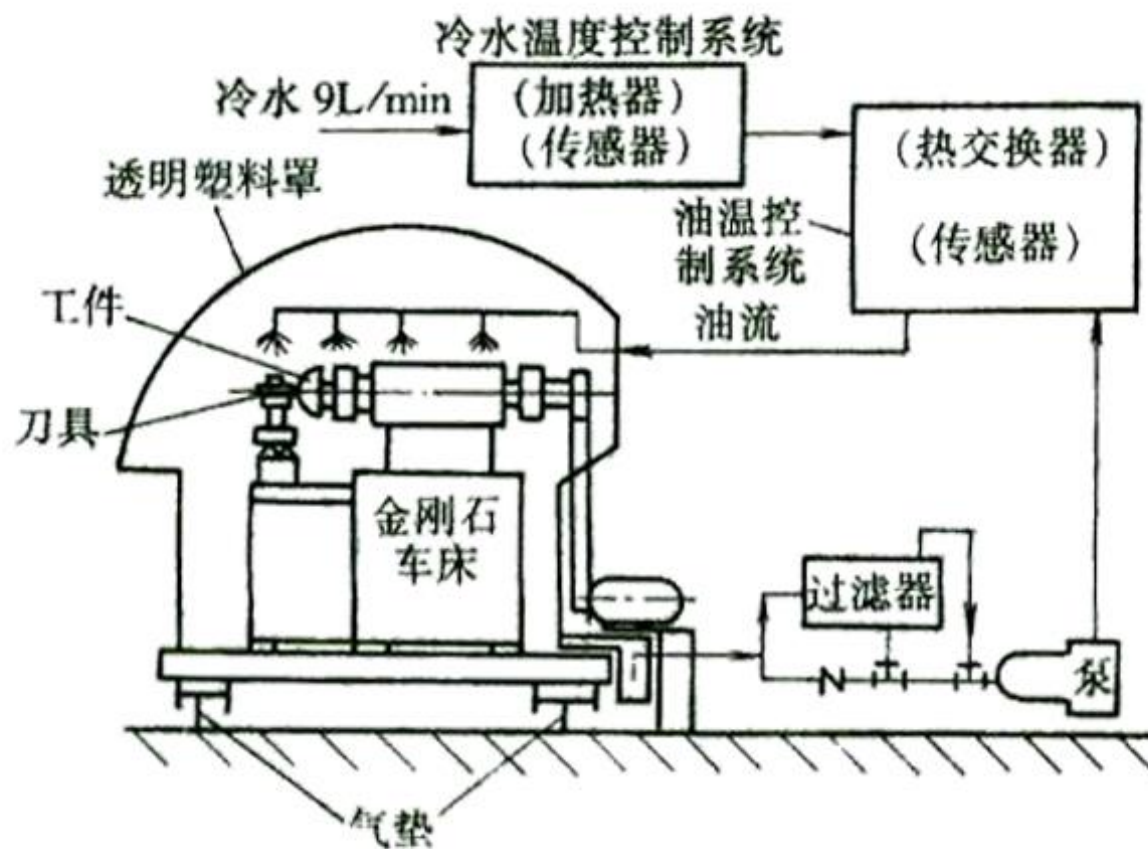


图 6-39 有节奏加工时车刀的温度变形规律

(四) 控制环境温度、恒温。



喷油冷却示意图

八、工件内应力所引起的误差

The errors from internal stress of work piece

1、内应力概念

亦称残余应力，是指在没有外力作用下或去除外力作用后残留在工件内部的应力。

当带有内应力的工件受到力或热的作用时，内应力将重新分布，并伴随有变形发生，使工件产生加工误差。

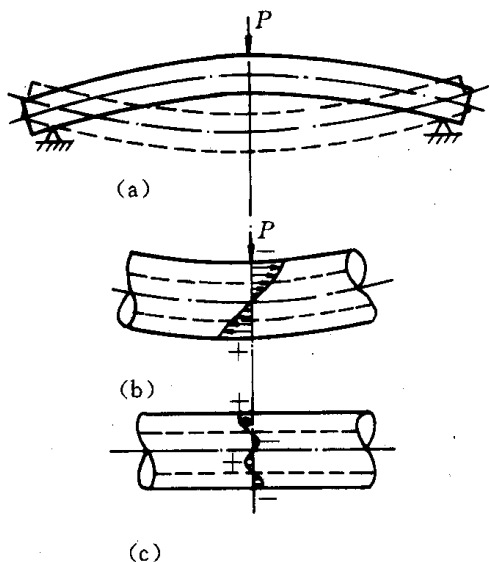


图 6-33 校直引起的内应力

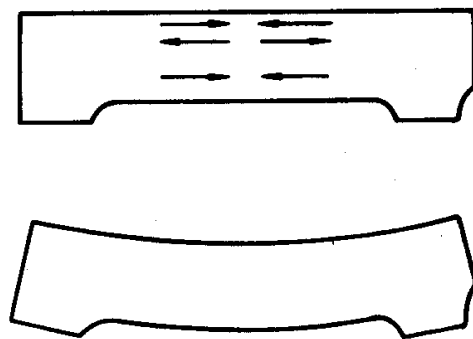
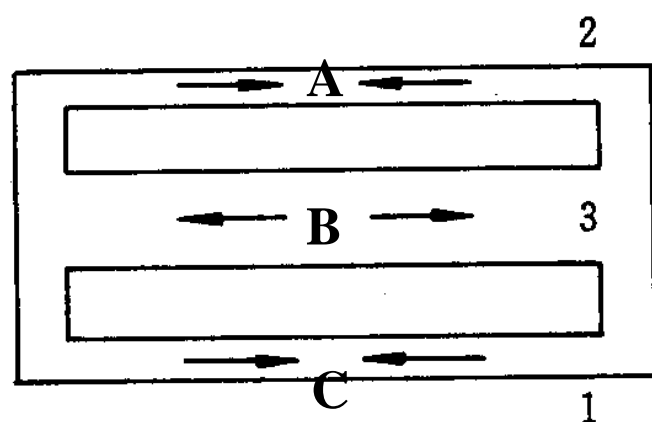


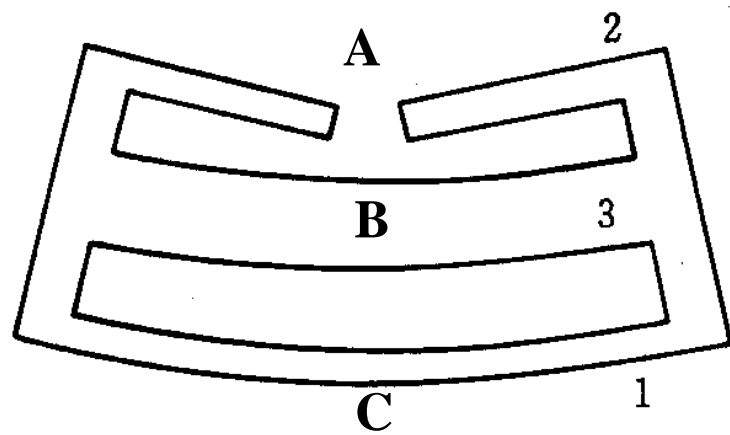
图 6-32 床身因内应力而引起的变形

2、内应力产生的原因：

(1) 毛坯制造中产生的内应力



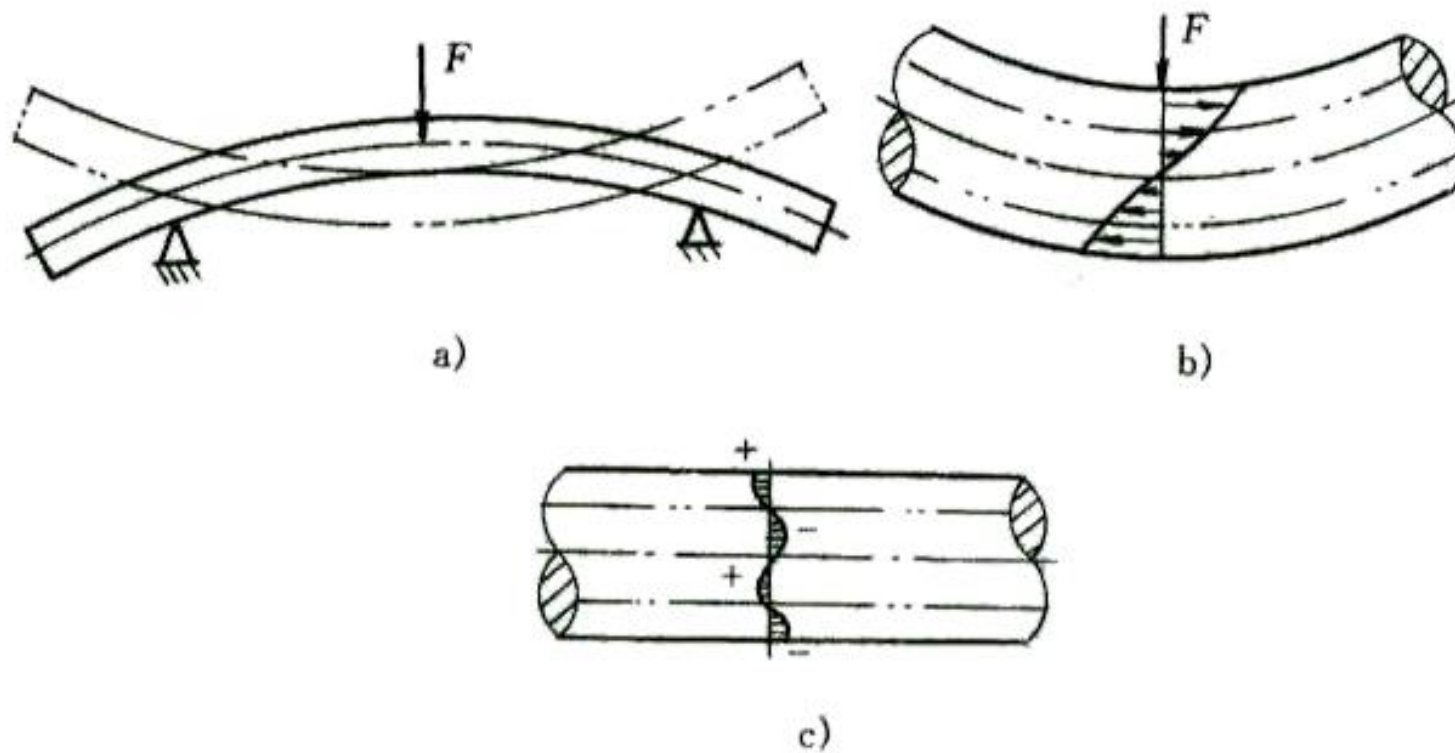
(a)



(b)

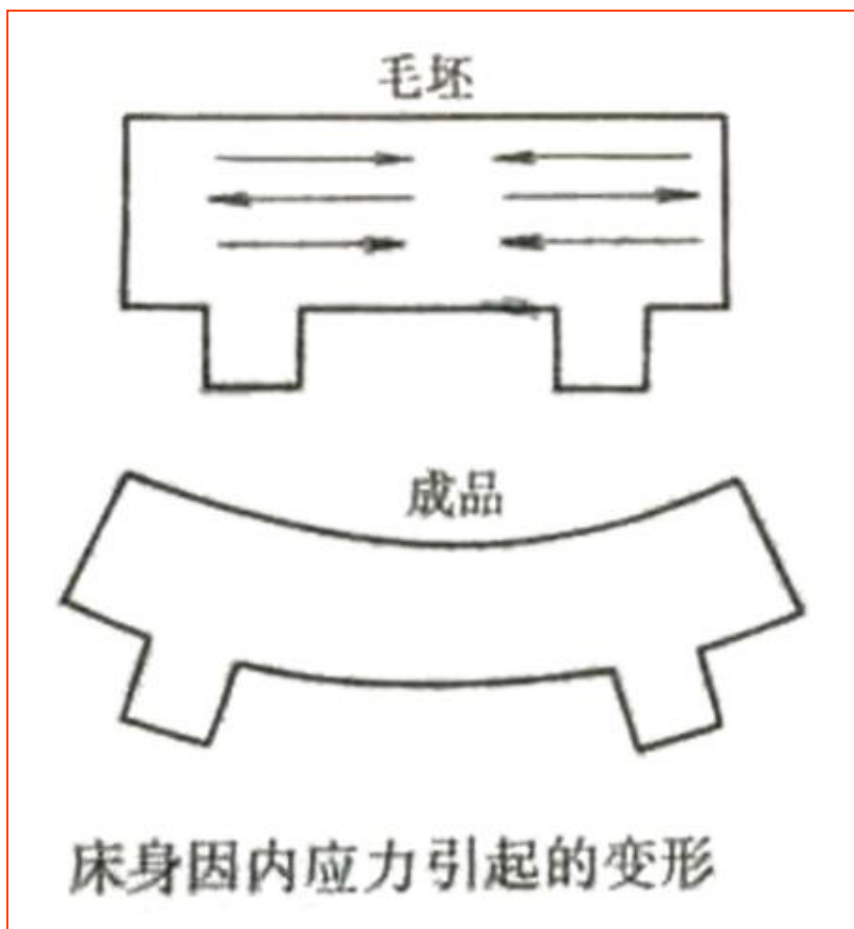
图 6-31 铸件因内应力而引起的变形

(2) 冷校直带来的内应力



冷校直引起的内应力

(3) 切削加工后的内应力



减少或消除内应力的措施

(1) 合理设计零件结构

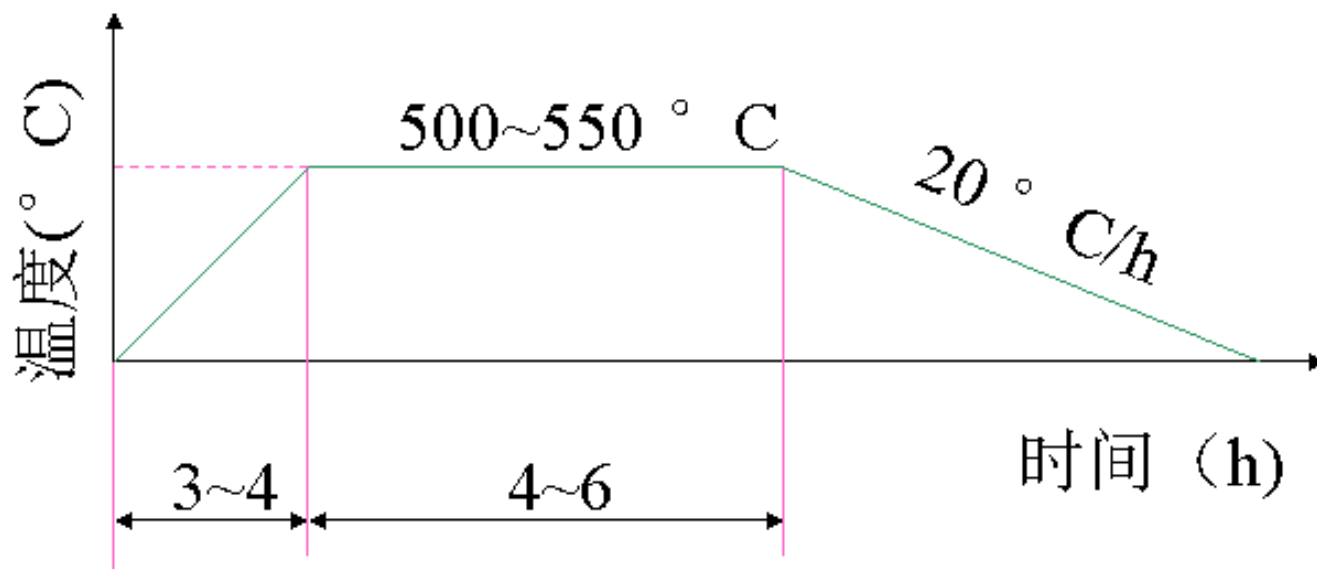
在设计零件结构时，应尽量做到壁厚均匀、结构对称，以减小内应力的产生。

(2) 合理安排工艺过程

工件上一些重要表面的粗、精加工分阶段安排，使工件在粗加工之后能有更多的时间通过变形使内应力重新分布，待工件充分变形之后再进行精加工，以减小内应力对加工精度的影响。

(3) 采取热处理及时效处理

- 铸件、锻件、焊接件在进行机械加工之前，应安排退火、回火；零件淬火后进行回火等热处理工序；
- 对精度要求高的零件如床身、丝杠、精密主轴等粗加工后进行时效处理；
- 对一些要求极高的零件如精密丝杠、标准齿轮、精密床身等要在每次切削加工后都进行时效处理；



九、测量误差和调整误差

Measurement errors and adjustment errors

1、测量误差

为测得值和被测得值之差。测量误差应控制在公差 $1/10 \sim 1/6$ 以内。影响因素很多：仪器、环境、操作者。

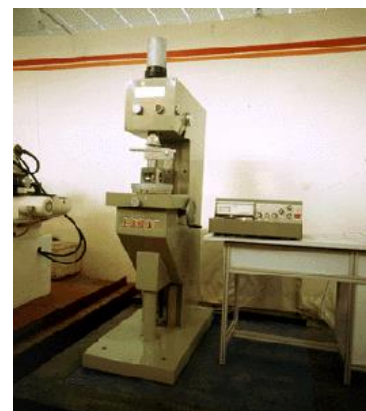
产生测量误差的原因主要由：量具量仪本身的制造误差及磨损，测量过程中环境温度的影响，测量者的测量读数误差，测量者施力不当引起量具量仪的变形等。



百分表



千分尺



园度仪

2、调整误差

为在机械加工过程中由于机床—夹具—刀具—工件工艺系统未调整到应有的正确位置而产生的误差。

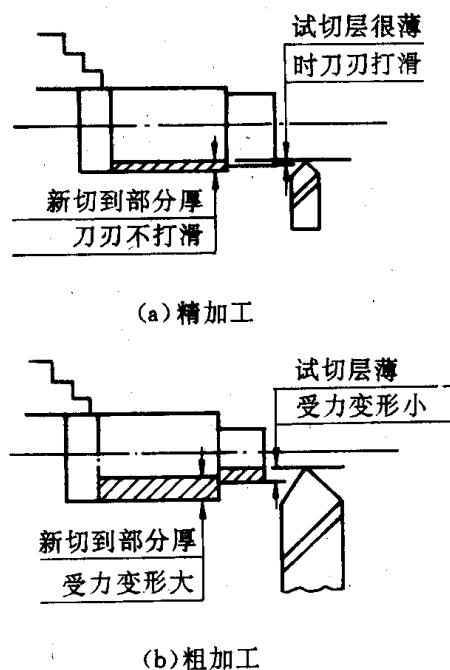


图 6-42 试切调整



解决措施：定位键、锥度配合等夹具定位元件；补充调整；专用调整仪器，主动测量装置。

第三节 机械加工的精度分析

Part 3 Comprehensive analyses of machining errors

回顾

- 系统误差 (systematic error)、
- 随机误差(random error)。

本节介绍

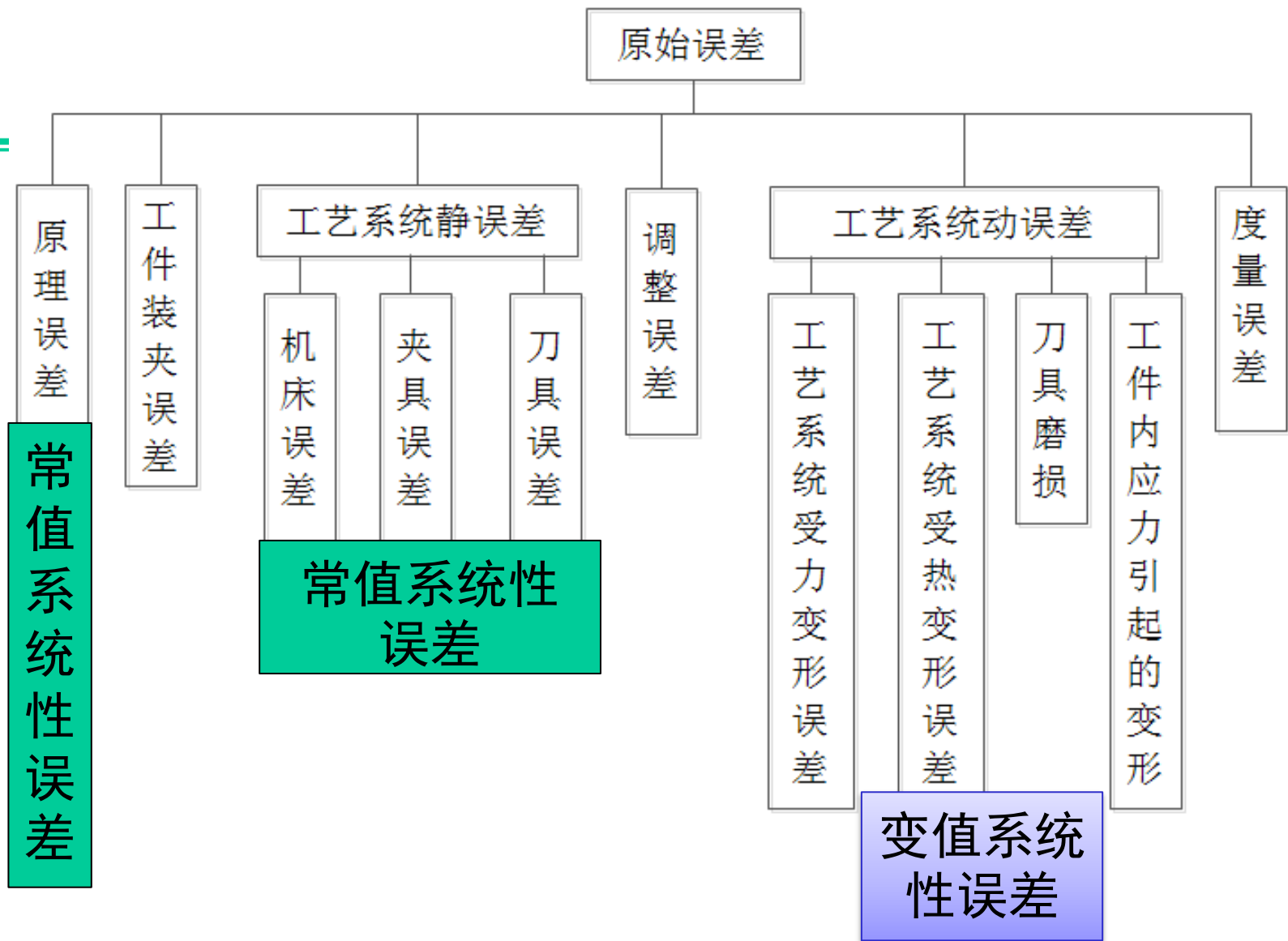
统计分析法

Using statistics



1、分布图分析法

2、控制图分析法



随机误差例如：毛坯误差（余量大小不一、硬度不均匀等）的复映、定位误差（基准面精度不一、间隙影响）、夹紧误差（夹紧力大小不一）、多次调整的误差、残余应力引起的变形误差等，都是随机性误差。

一、分布图分析方法

Analysis of errors according to distribution graph

基本原理

Basics principle

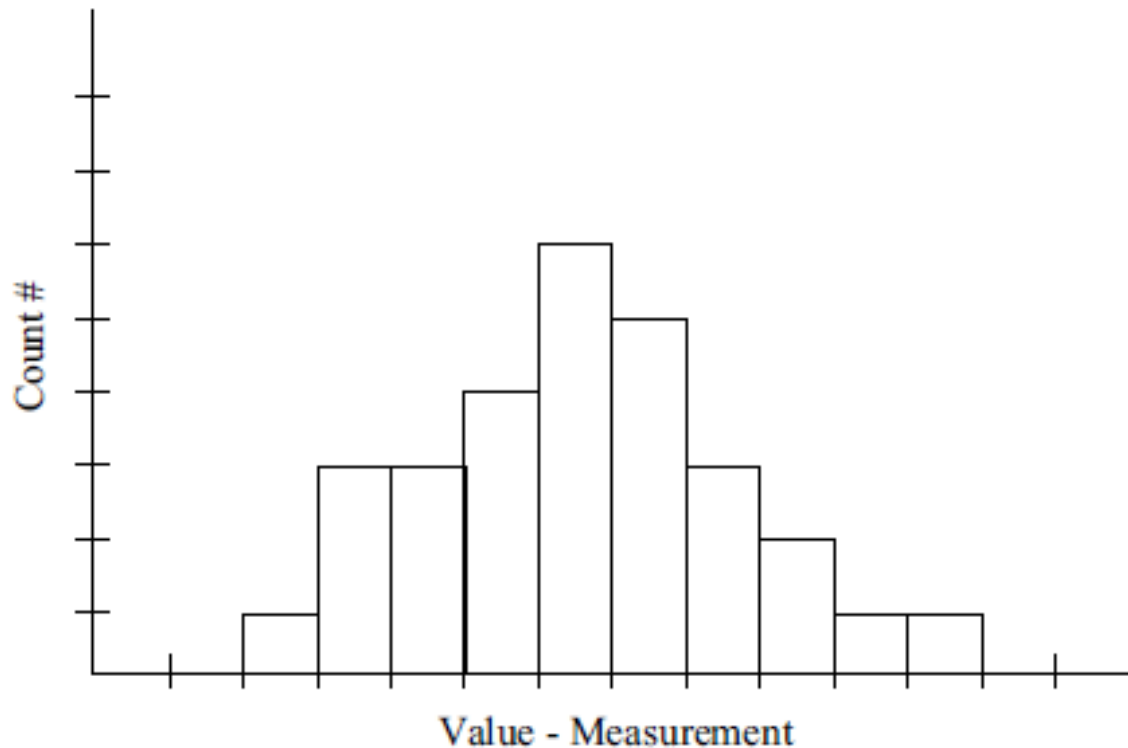


FIGURE Histogram (直方图)

(1) 采集样本

表4-3 测量数据

(单位:mm)

序号	尺寸	序号	尺寸	序号	尺寸	序号	尺寸	序号	尺寸
1	7.920	11	7.970	21	7.985	31	7.945	41	8.024
2	7.970	12	7.982	22	7.992	32	8.000	42	8.028
3	7.980	13	7.991	23	8.000	33	8.012	43	7.965
4	7.990	14	7.998	24	8.010	34	8.024	44	7.980
5	7.995	15	8.007	25	8.022	35	8.045	45	7.988
6	8.005	16	8.040	26	8.040	36	7.960	46	7.995
7	8.018	17	8.080	27	7.957	37	7.975	47	8.004
8	8.030	18	8.130	28	7.975	38	7.994	48	8.027
9	8.068	19	7.965	29	7.985	39	8.002	49	8.055
10	8.142	20	7.972	30	7.992	40	8.015	50	8.017

(2) 剔除异常数据

$$\bar{x} = 7.999875$$

(3) 确定尺寸分组数和组距

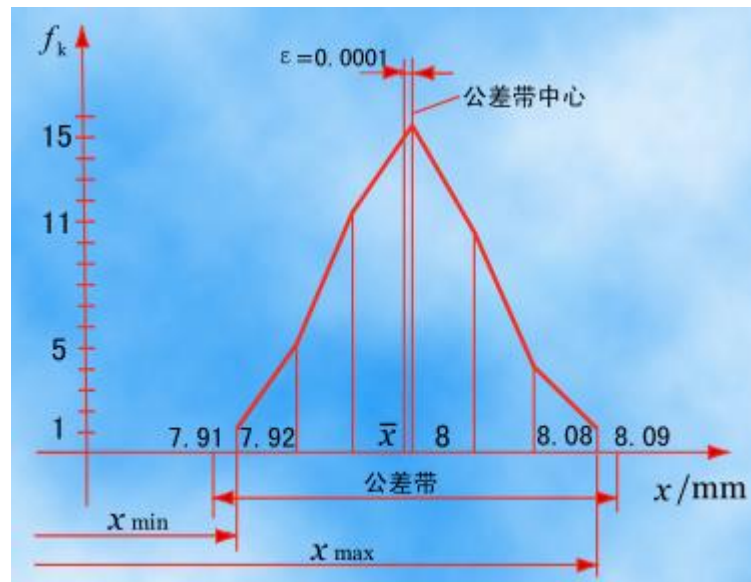
n	25~40	40~60	60~100	100	100~160	160~250	250~400	400~630	630~1000
k	6	7	8	10	11	12	13	14	15

由 $n=48$,取 $k=7$, 则组距

$$h = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{k} = \frac{8.080 - 7.920}{7} = 0.023$$

(4) 画出尺寸分布图

组号	尺寸间隔 $\Delta x/\text{mm}$	尺寸间隔中值 x_k/mm	频数 f_k
1	7.920~7.943	7.9315	1
2	7.943~7.966	7.9545	5
3	7.966~7.989	7.9775	11
4	7.989~8.012	8.0005	15
5	8.012~8.035	8.0235	10
6	8.035~8.058	8.0465	4
7	8.058~8.081	8.0695	2



(5) 判断加工误差性质

- 如果样本工件服从正态分布，就可以认为工艺过程中变值性系统误差很小（或不显著），工件尺寸分散由随机性误差引起，这表明工艺过程处于受控状态中。
- 如果样本工件尺寸不服从正态分布，可根据工件尺寸实际分布图分析是哪种变值性系统误差在显著地影响着工艺过程。
- 如果工件尺寸的实际分布中心与公差带中心有偏移，这表明工艺过程中有常值性系统误差存在。

表 5-1 箱体测量尺寸的变动范围
Table 5-1 Variation range of box measured dimensions

测量尺寸	测量尺寸及变动范围 mm			
	名义尺寸	统计法	变动范围	极值法
Measuring1	90	40.035	89.965~90.035	40.077
Measuring2	1754.05	40.965	1753.435~1754.615	40.1

均值

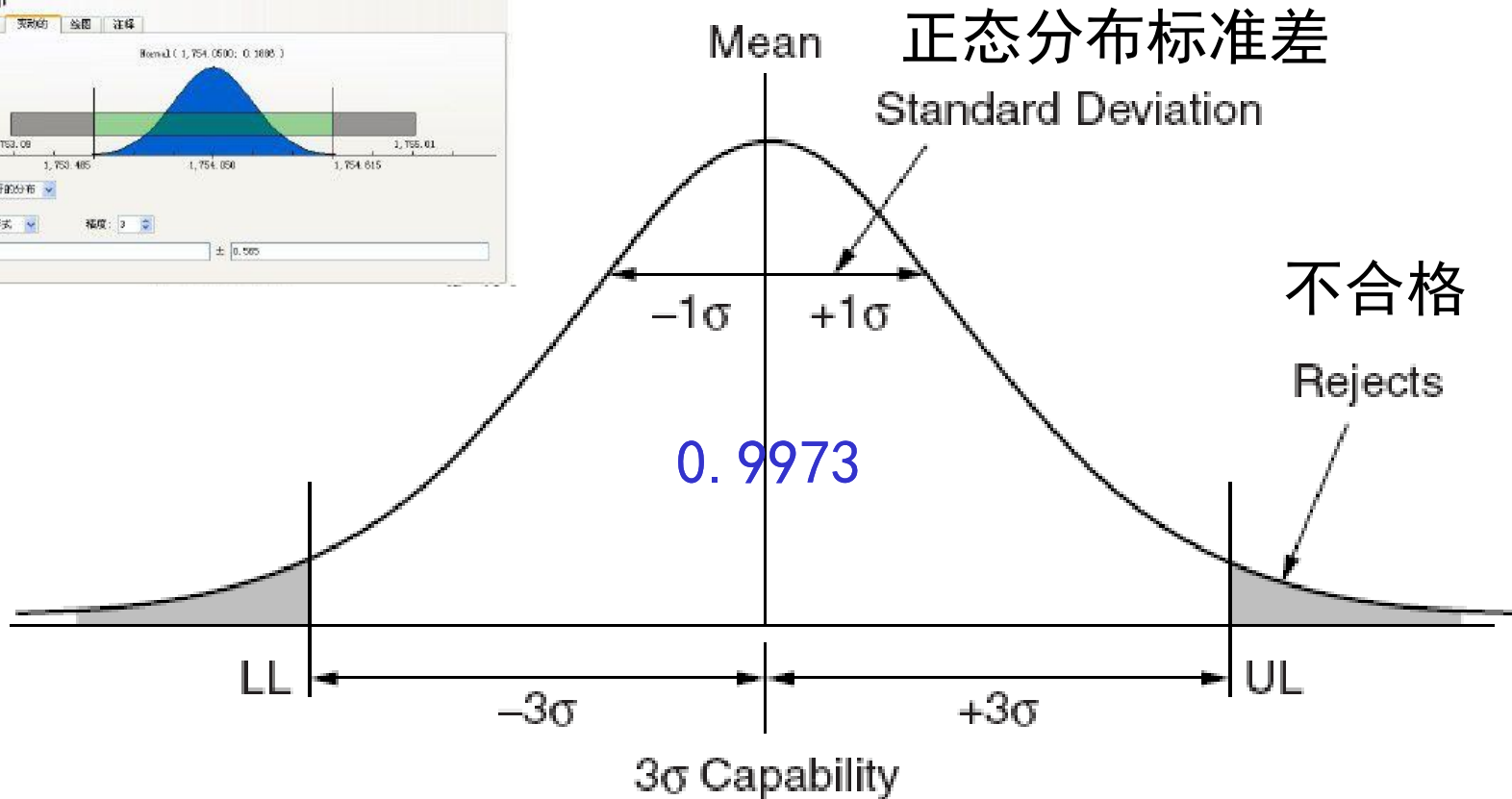
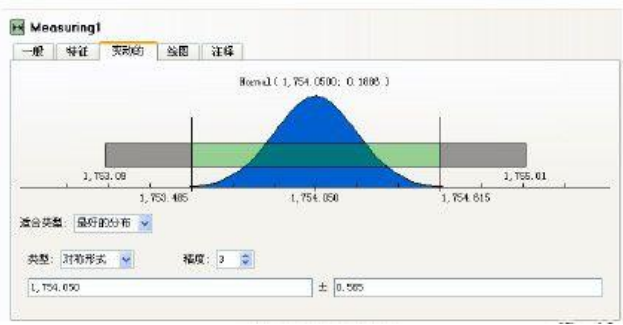


FIGURE Frequency plot of size distribution for a process with random error.

正态分布曲线

(1) 方程:

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}$$

式中 y ——频率

x ——工件尺寸

\bar{x} ——工件算术平均尺寸

σ ——均方根差（标准差）

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

(2) 特征:

① 以 $x = \bar{x}$ 为对称轴， \bar{x} 为总体均值——分布中心；

② 以 σ 为标准偏差， σ 小曲线陡而窄， σ 大，曲线平坦且宽。

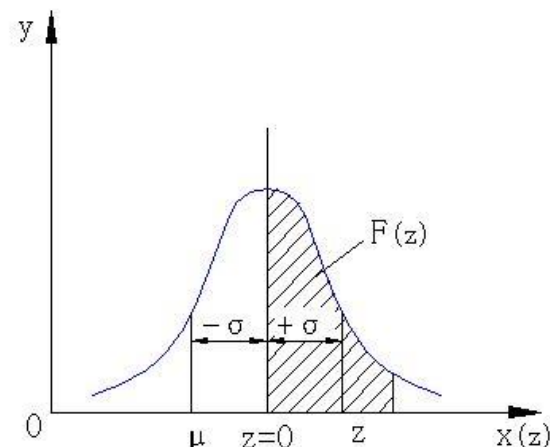


图6-39 正态分布曲线

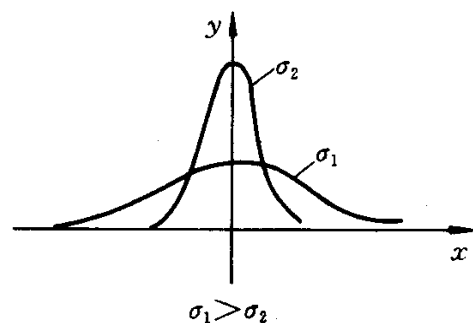


图 6-44 不同 σ 值的分布曲线

标准差大小对零件成品率的影响

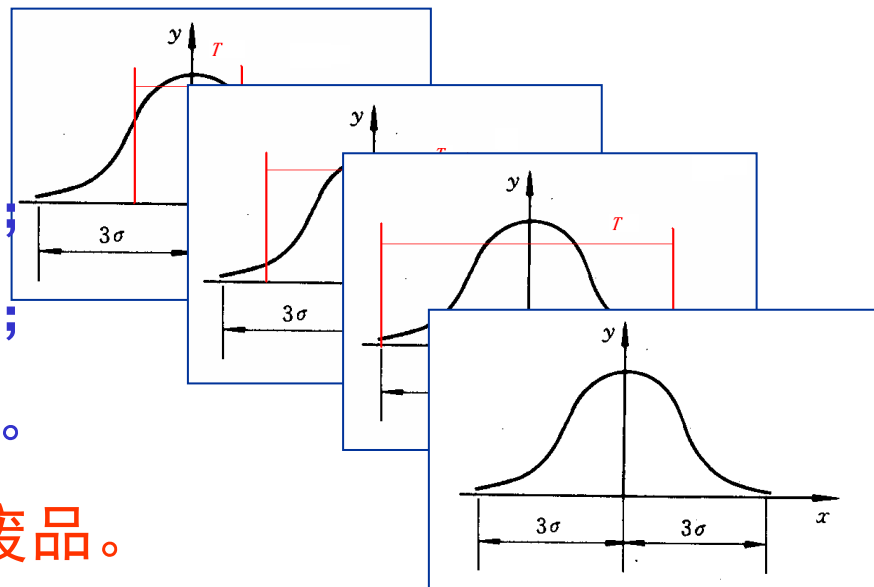
(1) 如果没有系统误差

① $\delta = 2\sigma$ 时，成品率为 0.6826；

② $\delta = 4\sigma$ 时，成品率为 0.9542；

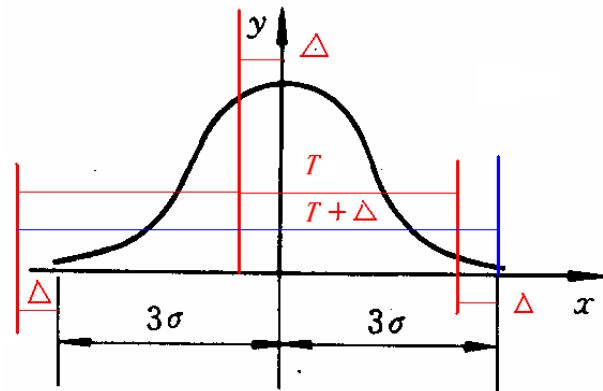
③ $\delta = 6\sigma$ 时，成品率为 0.9973。

④ $\delta \geq 6\sigma$ ：可以认为不会出现废品。

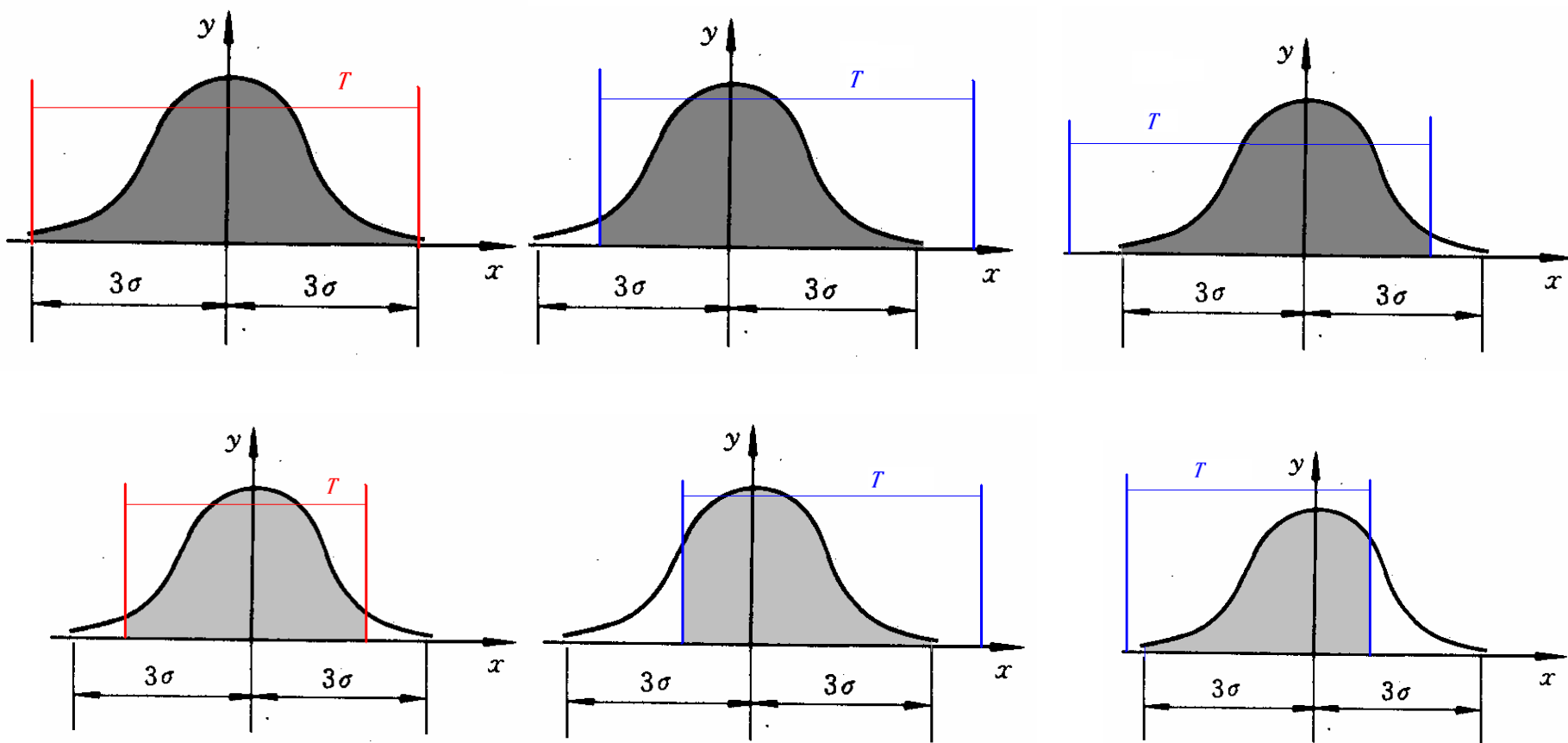


(2) 当有系统误差时

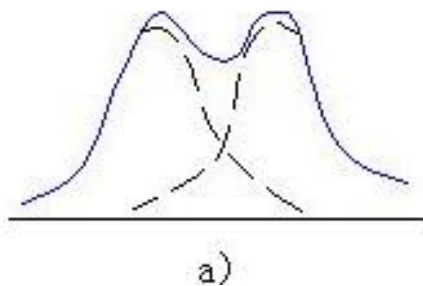
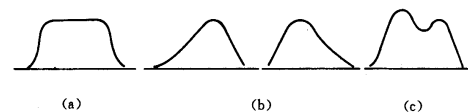
$\delta \geq 6\sigma + \Delta$ (系统误差)，不会出现废品。



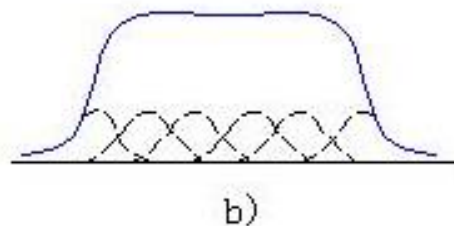
常见误差的形式



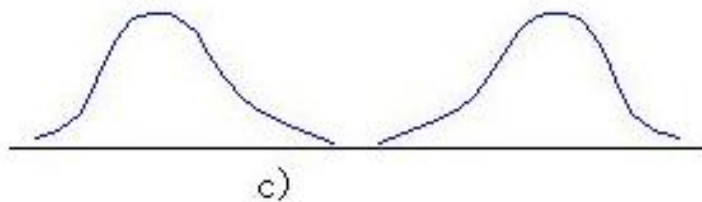
常见误差的其他分布形式



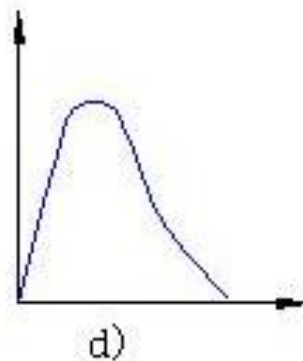
双峰分布：二次调整，二台机床加工，随机误差+常值系统性误差



平顶分布：刀具均匀磨损，随机误差+变值系统性误差。



偏态分布：操作者人为造成，系统未达到热平衡。

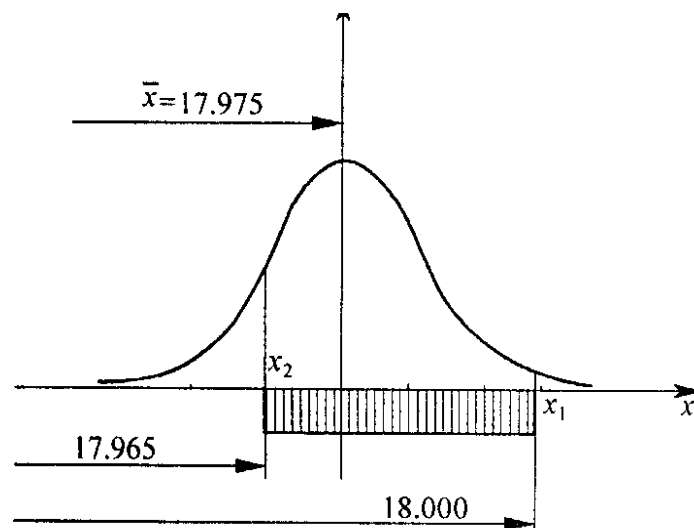


瑞利分布

实例

有一批小轴，其直径尺寸为 $\phi 18_{-0.035}^0$ mm，加工后尺寸属正态分布，测量计算得一批工件直径的平均值为 $\bar{x} = 17.975$ mm，均方差 $\sigma = 0.01$ mm。试计算合格品率和废品率，分析废品产生的原因，指出减少废品率的措施。

解：（1）画尺寸分布曲线与公差带间的关系如图

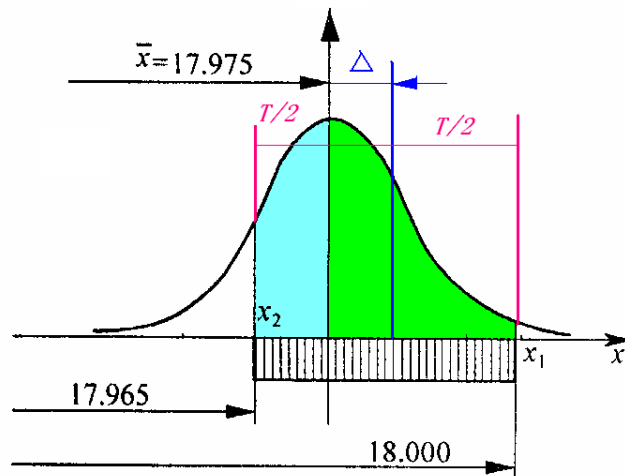


(2) 设计尺寸写成对称形式

$$\phi 18_{-0.035}^0 = \phi 17.9825 \pm 0.0175$$

(3) 计算系统误差

$$\Delta = 17.9825 - 17.975 = 0.0075 \text{ mm}$$



(4) 计算合格品率和废品率

$$x_1 = \frac{T}{2} + \Delta = 0.025 \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad \frac{x_1}{\sigma} = \frac{0.025}{0.01} = 2.5 \quad \Rightarrow \quad A_1 = 0.9876$$

$$x_2 = \frac{T}{2} - \Delta = 0.01 \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad \frac{x_2}{\sigma} = \frac{0.01}{0.01} = 1 \quad \Rightarrow \quad A_2 = 0.6826$$

$$\text{故合格品率为 } A = \frac{1}{2}(A_1 + A_2) = 83.51\% \quad \text{废品率为 } 1 - A = 16.49\%$$

(5) 分析产生废品的原因:

正态分布函数表 (局部)

$\frac{x}{\sigma}$	A	$\frac{x}{\sigma}$	A	$\frac{x}{\sigma}$	A	$\frac{x}{\sigma}$	A
0	0.000 0	0.3	0.235 9	1.5	0.866 4	3.0	0.997 3
0.1	0.074 6	0.5	0.383 0	2.0	0.954 2	3.5	0.999 4
0.2	0.185 6	1.0	0.682 6	2.5	0.987 6	4.0	0.999 9

工序能力指数(Process capability index)

很重要!

(1) 工序能力指数 C_p : 衡量工序能力满足质量要求的程度。

(2) 公式

$$C_p = \frac{T(1-K)}{6\sigma}$$

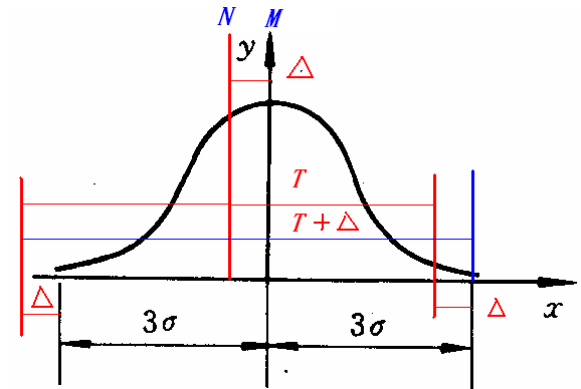
式中

T——工件公差;

K—— $|M-N|/(2T)$;

M——分布曲线中心;

N——公差带中心。



(3) 工序等级及其含义

工序能力系数	工序等级	说明
$C_p > 1.67$	特级	工艺能力高, 可以允许有异常波动, 不一定经济
$1.67 \geq C_p > 1.33$	一级	工艺能力足够, 可以允许有一定的异常波动
$1.33 \geq C_p > 1.00$	二级	工艺能力勉强, 必须密切注意
$1.00 \geq C_p > 0.67$	三级	工艺能力不足, 可能出现少量不合格品
$0.67 \geq C_p$	四级	工艺能力很差, 必须加以改进

实例

$$C_p = \frac{T(1-K)}{6\sigma}$$

已知某批量加工零件，经过测量得出样本均值 $\bar{x}=7.92524$ ，标准差 $\sigma=0.00519$ ，图纸标注尺寸为 $\Phi 8[-0.05, -0.10]$ ，请计算工序能力指数？

解：（1）计算工件的公差
公差带上限： $S_U=8-0.05=7.95$
公差带下限： $S_L=8-0.10=7.90$
工件公差： $T=7.95-7.90=0.05$

（2）计算公差带中心和分布曲线中心

公差带中心： $M=(7.95+7.90)/2=7.925$

分布曲线中心： $\bar{M}=7.92524$

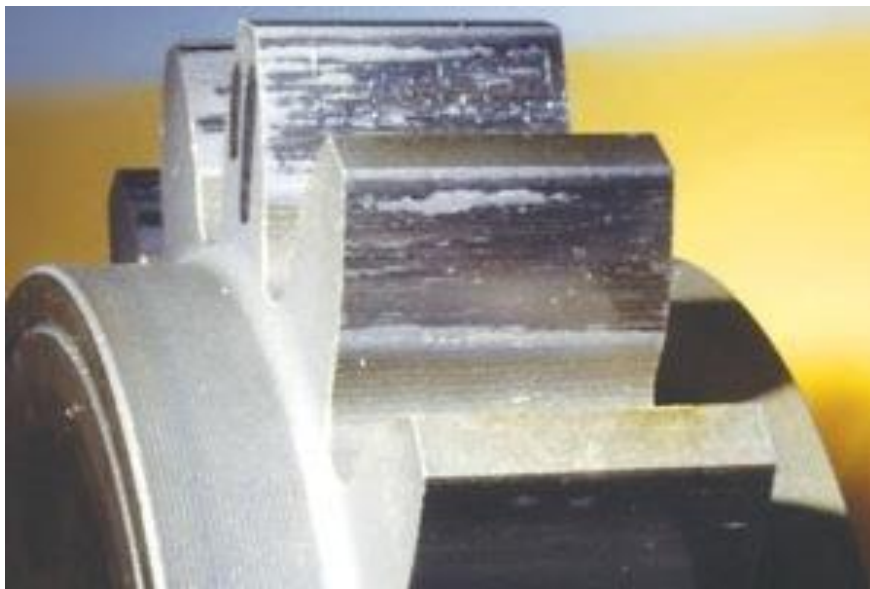
（3）计算偏移系数 $K=|M-\bar{M}|/(2T)=0.00024/0.1=0.0024$

（4）计算工序能力指数

$$C_p=(1-K)T/(6\sigma)=0.9976\times 0.05/(6\times 0.00519)=1.60$$

分布图法的缺点

没有考虑加工顺序，无法将随时间变化的系统误差和随机误差区分开来，只能加工完一批工件后才能分析。而控制图法(点图分析法)可以克服以上的缺点。



二、控制图分析方法

Statistical process control , SPC
(Process Behavior Charts, Control Charts)



什么是控制图？

(1) 各种控制图

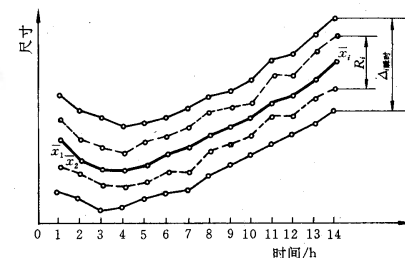
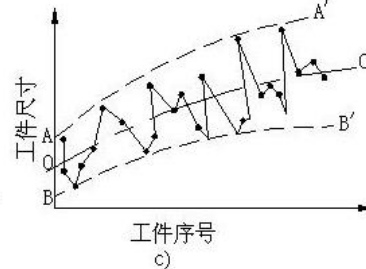
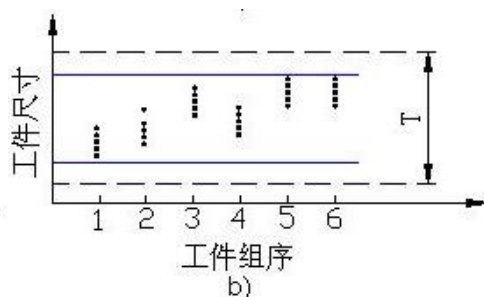
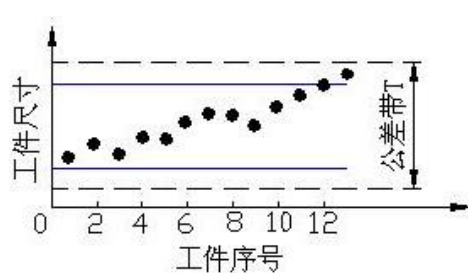


图 6-46 点图

最常用的控制图是均值—极差控制图 ($\bar{x}-R$ 图)

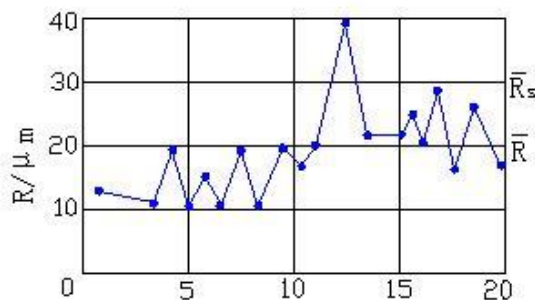
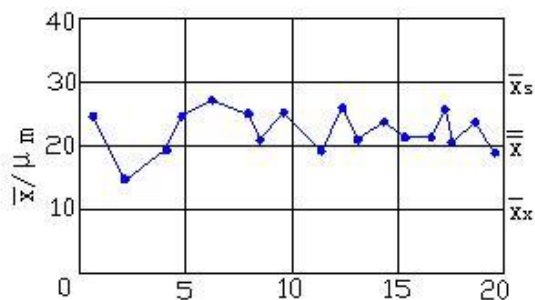
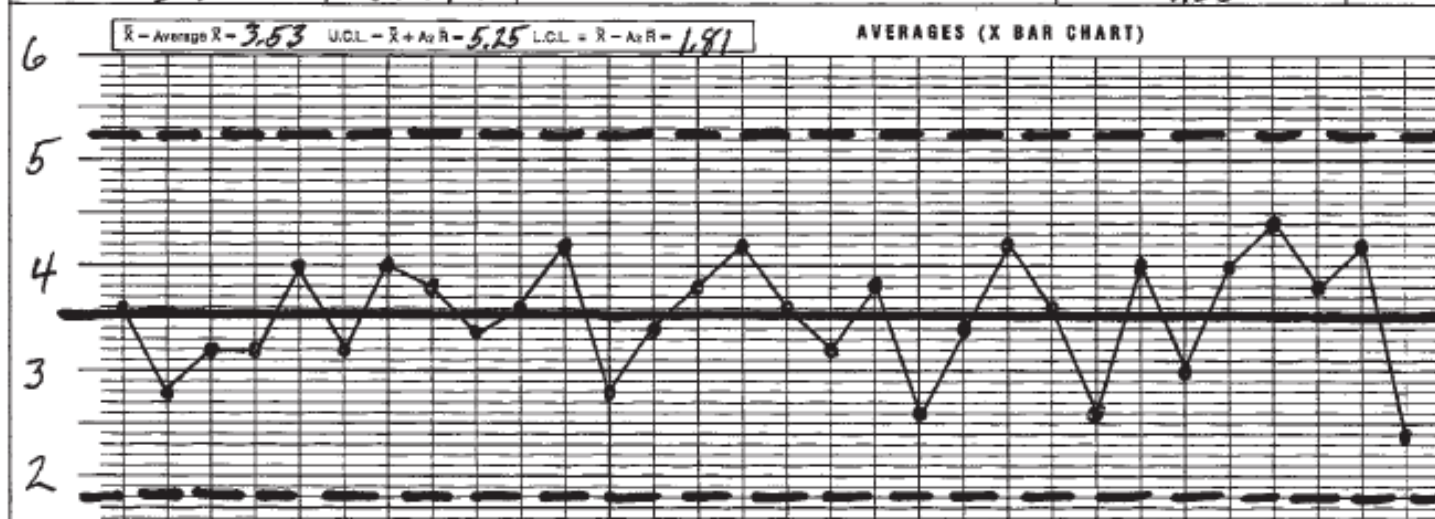


图6-44 $\bar{x}-R$ 点图

包含了平均值控制图 (\bar{x} 图) 和极差控制图 (R 图)

CONTROL CHART

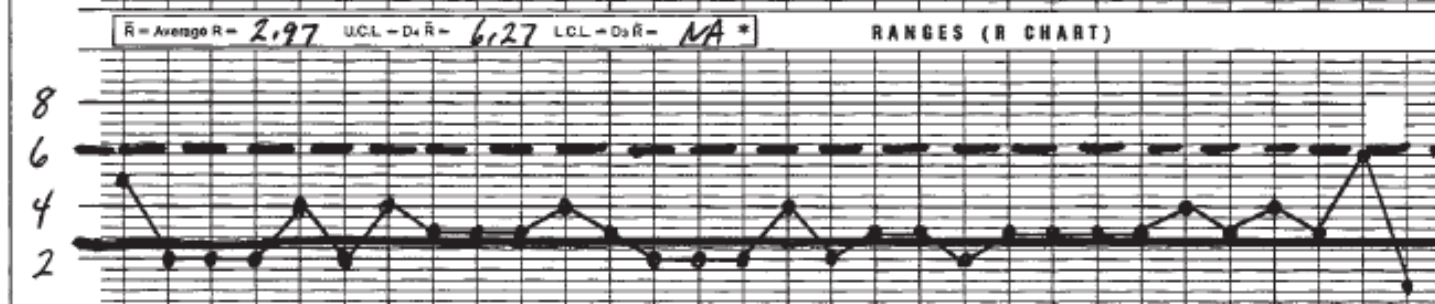
PLANT RAM Q	DEPT Bead Box	OPERATION 001	DATE CONTROL LIMITS CALCULATED 07-14-02	ENGINEERING SPECIFICATION size	PART NO. color	CONTROL ITEM (✓) YES NO
MACH. NO. #2	DATES 07-14-02	CHARACTERISTIC color scale	SAMPLE SIZE/FREQUENCY n=5	PART NAME bead size		



DATE CONTROL LIMITS CALCULATED
07-14-02

ACTION ON SPECIAL CAUSES

- * ANY POINT OUTSIDE OF THE CONTROL LIMITS
- * A RUN OF 7 POINTS-ALL ABOVE OR ALL BELOW THE CENTRAL LINE.
- * A RUN OF 7 INTERVALS UP OR DOWN.
- * ANY OTHER OBVIOUSLY NON-RANDOM PATTERN



ACTION INSTRUCTIONS

-
-
- UCL**
-
- UCL**

SUBGROUP SIZE	A ₂	D ₃	D ₄
2	1.88	*	3.27
3	1.02	*	2.57
4	.73	*	2.28
5	.56	*	2.11
6	.48	*	2.00
7	.42	.08	1.92
8	.37	.14	1.86
9	.34	.18	1.82
10	.31	.22	1.78

DATE	TIME	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
READINGS	1	3	3	4	4	3	4	3	4	4	2	4	4	4	5	3	2	4	5	1	4	5	5	7	3	4	3	2	4	5	2
	2	5	2	3	3	3	2	2	5	3	5	3	1	3	3	4	5	4	5	2	4	2	3	6	4	5	3	4	3	7	2
	3	6	3	3	2	2	4	3	2	2	4	4	4	2	3	5	1	2	4	2	4	5	5	2	6	3	4	5	6	3	2
	4	3	2	2	4	5	3	5	4	5	2	7	4	4	5	4	5	2	3	4	2	4	3	4	3	2	6	6	2	4	3
	5	1	4	4	3	7	3	7	4	3	5	3	1	4	3	5	5	4	2	4	3	5	2	4	4	1	4	5	4	2	3
SUM		18	14	16	16	20	16	20	19	17	18	21	14	17	19	21	18	16	19	13	17	21	18	23	20	15	20	22	19	21	12
\bar{X} - NO. OF		3.6	2.8	3.2	3.2	4.0	3.2	4.0	3.8	3.4	3.6	4.2	2.8	3.4	3.8	4.2	3.6	3.2	3.8	2.6	3.4	4.2	3.6	2.6	4.0	3.0	4.0	4.4	3.8	4.2	2.4
\bar{R} - HIGHEST		5	2	2	2	4	2	4	3	3	3	4	3	2	2	2	4	2	3	3	2	3	3	3	3	4	3	4	3	5	1
LOWEST																															

THE PROCESS MUST BE IN CONTROL BEFORE CAPABILITY CAN BE DETERMINED.

\bar{X} 106
 \bar{R} 89

* For sample sizes of less than seven, there is no lower control limit for ranges.

FIGURE 57.4 X-bar and R chart.

分析步骤

(1) 抽取预备数据

(2) 计算均值 \bar{x} 和极差 R :

$$\bar{\bar{x}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{x}_i$$

$$R = x_{\max} - x_{\min}$$

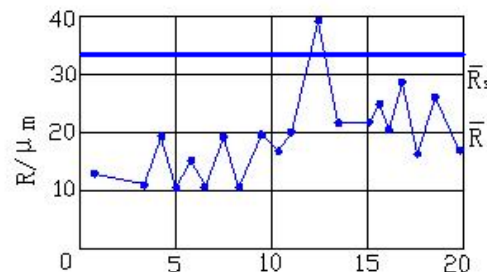
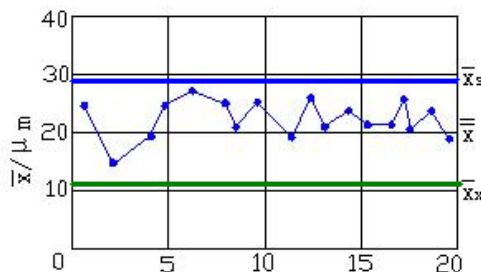


图6-44 \bar{x} - R 点图

(3) 计算均值 \bar{x} 的均值 $\bar{\bar{x}}$, R 的均值 \bar{R} , 以及方差

(4) 计算中心线和控制界限:

平均值控制图:

极差控制图

中心线:

$$CL_X = \bar{\bar{X}}$$

$$CL_R = \bar{R}$$

上控制线:

$$UCL_X = \bar{\bar{X}} + 3\sigma_{\bar{x}}$$

$$UCL_R = \bar{R} + 3\sigma_R$$

下控制线:

$$LCL_X = \bar{\bar{X}} - 3\sigma_{\bar{x}}$$

$$LCL_R = 0$$

(5) 作图

(6) 判断生产过程是否处于统计控制状态

如何判断生产过程是否处于统计控制状态？

表 正常波动与异常波动标志

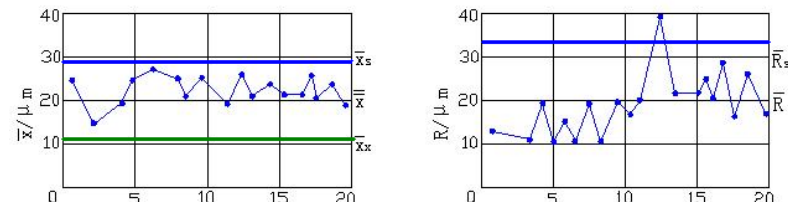
正常波动标志	异常波动标志
<div>1、没有点子超出控制线</div> <div>2、大部分点子在中线上下波动，小部分 点在控制线附近</div> <div>3、点子没有明显的规律性</div> <div></div>	<div>1、有点子超出控制线</div> <div>2、点子密集在中线上下附近</div> <div>3、点子密集在控制线附近</div> <div>4、连续 7 点以上出现在中线一侧</div> <div>5、连续 11 点中有 10 点出现在中线一侧</div> <div>6、连续 14 点中有 12 点以上出现在中线一侧</div> <div>7、连续 17 点中有 14 点以上出现在中线一侧</div> <div>8、连续 20 点中有 16 点以上出现在中线一侧</div> <div>9、点子有上升或下降倾向</div> <div>10、点子有周期性波动</div>

图6-44 \bar{x} -R点图

实例

对某产品的加工质量进行控制，每小时抽检一批，每批抽检5个样品，一共抽检20批，其数据如表所示，试利用平均值-极差控制图法进行分析。

表 某产品的加工质量特性值统计表

批号	测量值					\bar{x}	R
	1	2	3	4	5		
1	4.0	2.6	3.2	3.1	2.1	3.0	1.9
2	3.2	3.3	2.7	3.4	2.1	2.9	1.3
3	3.5	2.8	3.0	2.8	2.4	2.9	1.1
4	3.9	2.4	3.3	3.1	3.2	3.2	1.5
5	3.0	3.0	2.1	2.2	3.3	2.7	1.2
6	3.7	2.0	2.5	2.4	2.4	2.6	1.7
7	3.9	2.1	2.7	3.4	3.0	3.0	1.8
8	3.4	3.6	3.0	2.4	3.5	3.2	1.2
9	4.4	2.4	2.2	2.4	2.5	2.8	2.2
10	3.3	2.4	2.6	2.9	2.8	2.8	0.9

11	3.3	2.8	3.0	3.0	3.1	3.0	0.5
12	3.6	2.5	3.3	3.5	2.8	3.1	1.1
13	3.4	3.3	2.0	3.0	3.1	3.0	1.4
14	3.9	3.1	3.5	2.6	2.8	3.2	1.3
15	4.2	2.7	2.9	2.9	2.5	3.0	1.7
16	3.6	2.6	2.4	2.5	2.2	2.7	1.4
17	4.0	3.2	2.4	3.0	3.0	3.1	1.6
18	3.1	2.9	3.5	2.3	2.8	2.9	1.2
19	4.6	3.7	3.4	2.2	2.5	3.3	2.4
20	3.9	3.0	3.0	3.2	2.6	3.1	1.3

- 解： (1) 计算均值 $\bar{\bar{x}}$ 和极差 \bar{R} ，将结果填入表中。
(2) 计算均值 $\bar{\bar{x}}$ 的均值， \bar{R} 的均值，以及方差

$$\bar{\bar{x}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^K \bar{x}_i = \frac{1}{20} (3.0 + 2.9 + \cdots + 3.1) = 2.98$$

$$\bar{R} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^K R_i = \frac{1}{20} (1.9 + 1.3 + \cdots + 1.3) = 1.44$$

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{x}_i - \bar{\bar{x}})^2} = 0.19 \quad \sigma_R = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2} = 1.44$$

- (3) 计算中心线和控制界限：

平均值控制图：

极差控制图

上控制线： $UCL_X = \bar{\bar{X}} + 3\sigma_{\bar{x}} = 2.98 + 3 \times 0.19 = 3.55$

$$UCL_R = \bar{R} + 3\sigma_R = 1.44 + 3 \times 0.44 = 2.76$$

中心线： $CL_X = \bar{\bar{X}} = 2.98$

$$CL_R = \bar{R} = 1.44$$

下控制线： $LCL_X = \bar{\bar{X}} - 3\sigma_{\bar{x}} = 2.98 - 3 \times 0.19 = 2.41$

$$LCL_R = \bar{R} - 3\sigma_R = 1.44 - 3 \times 0.44 = 0.12$$

(5) 作图

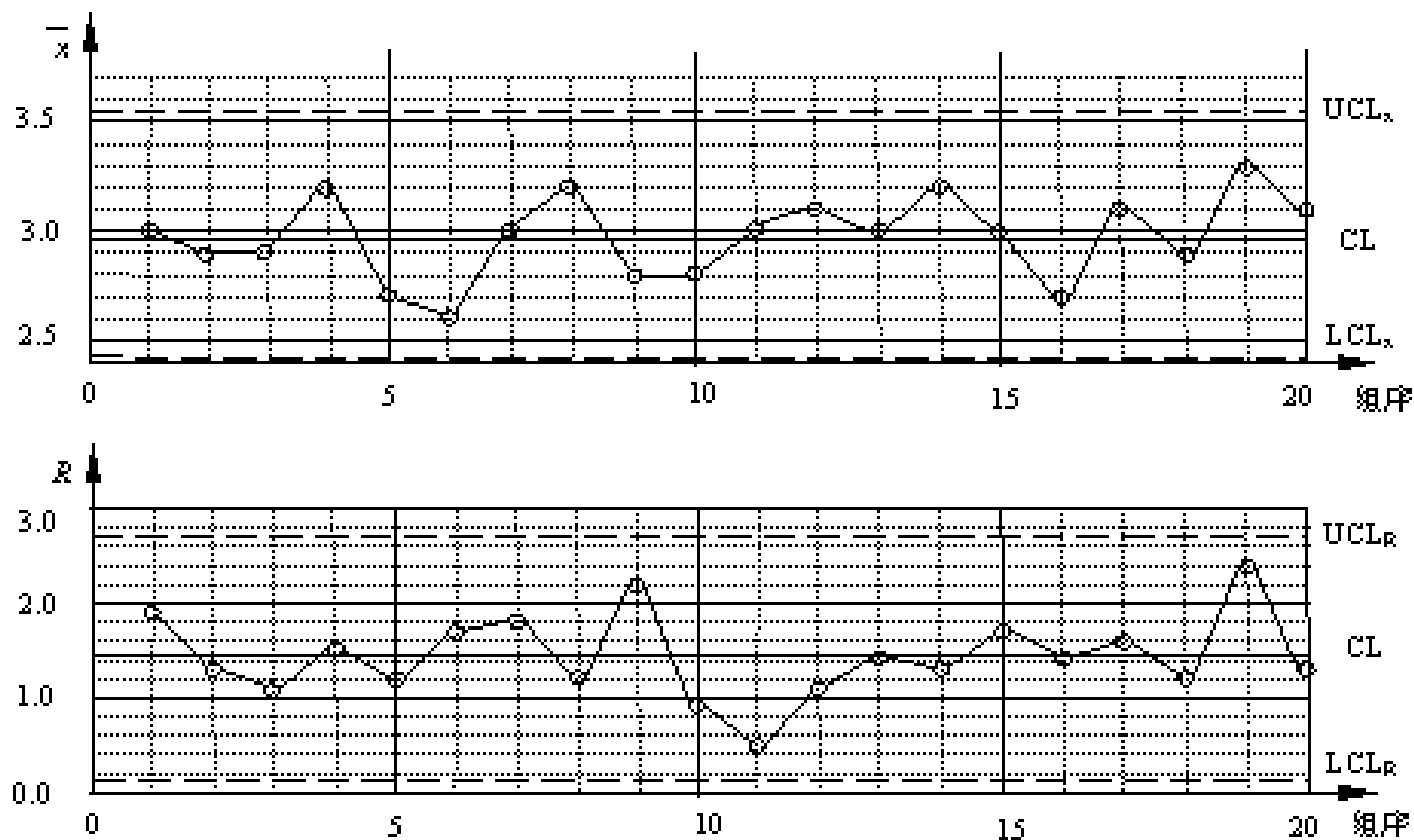
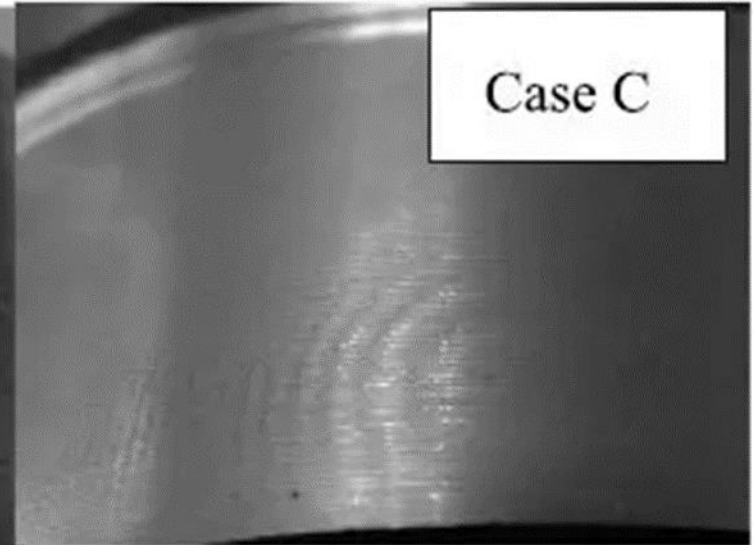
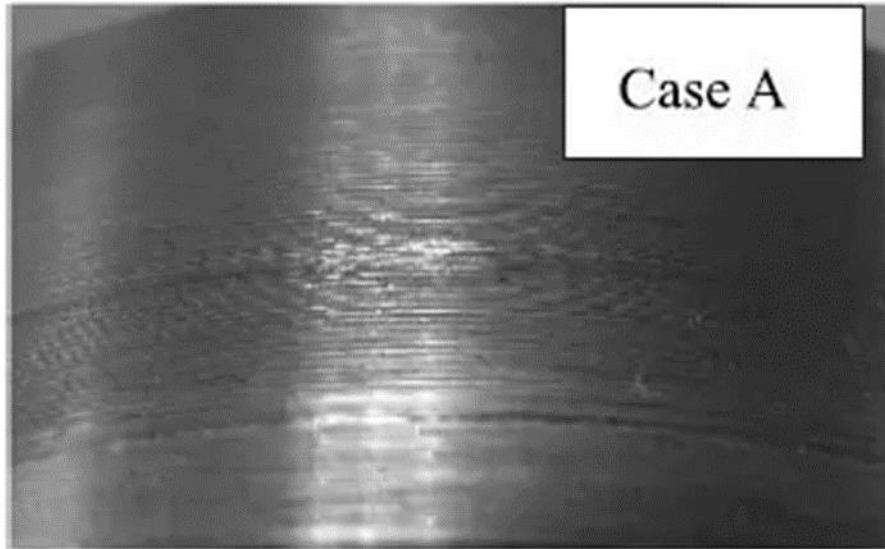


图3-56 例题中的均值—极差控制图

(6) 判断生产过程是否处于统计控制状态

第四节 机械加工表面质量的基本概念

Part 4 Basic concepts of surface quality in mechanical manufacture

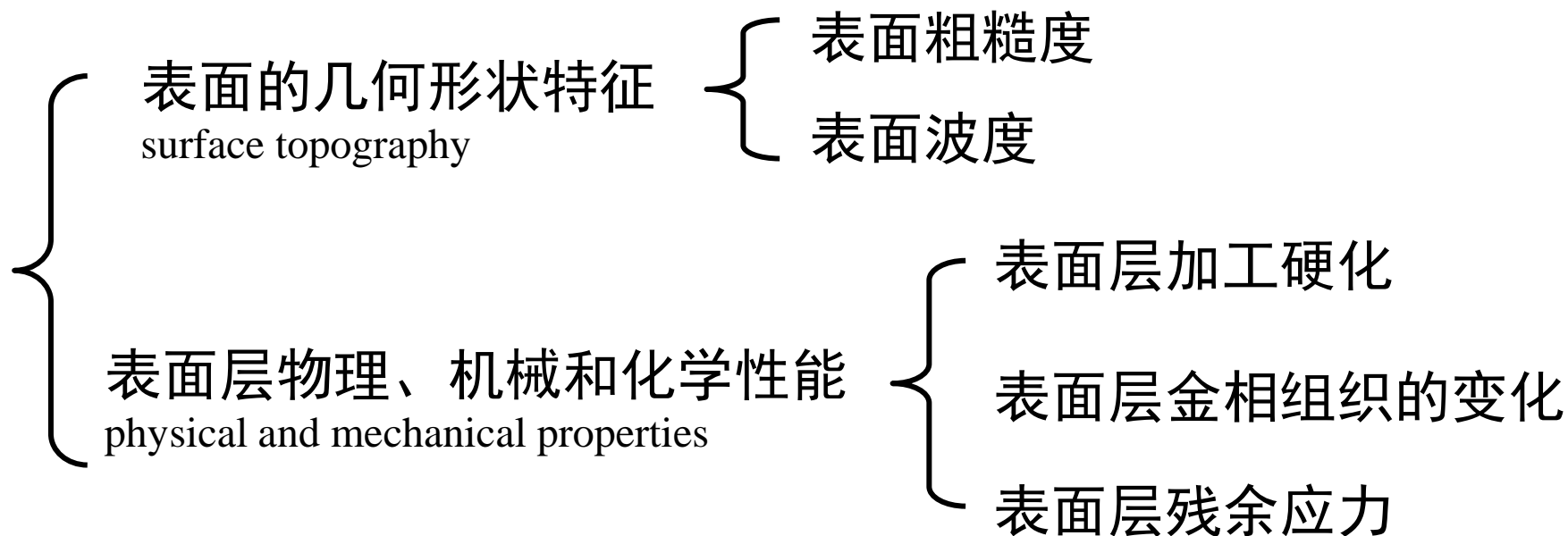


一、表面微观几何特性和表面层性能

1、表面质量(Surface quality)定义

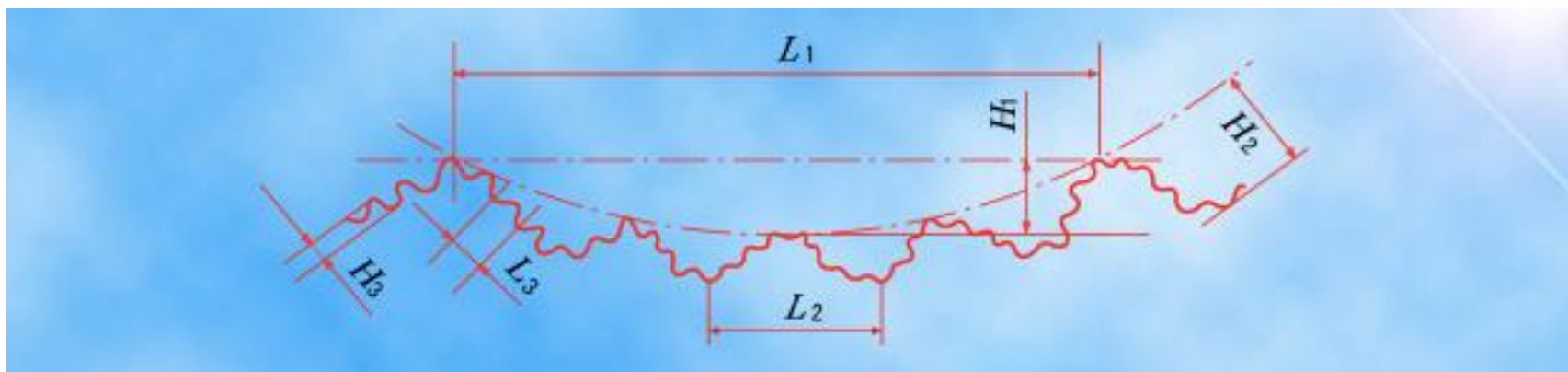
表面质量是指机械零件在加工后的表面层状况与表面层技术要求的符合程度。

2、表面质量包括的内容：

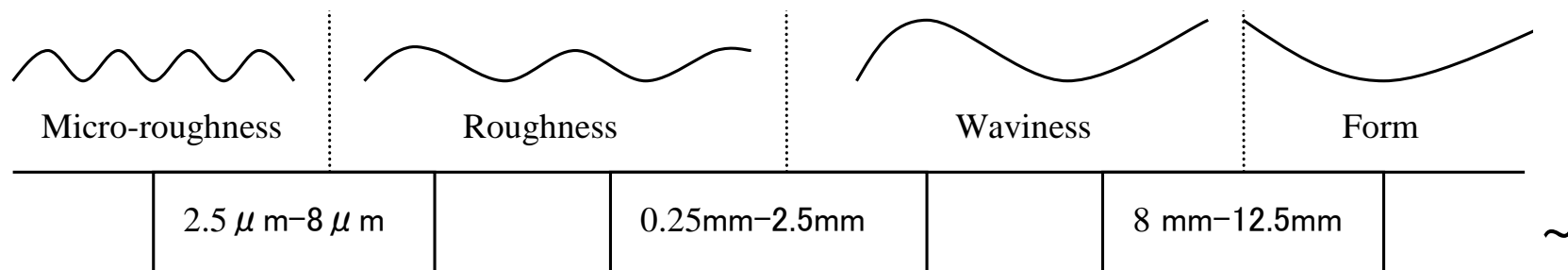


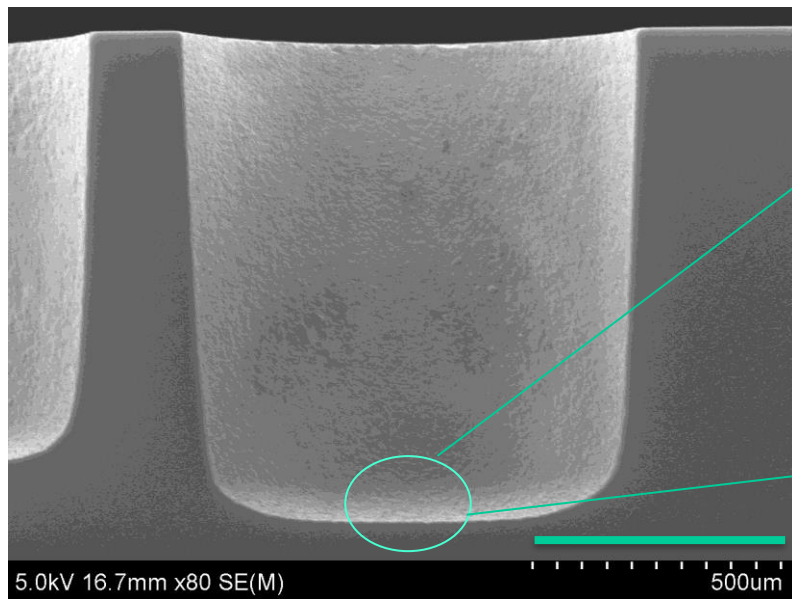
加工表面的几何形貌

Surface topography

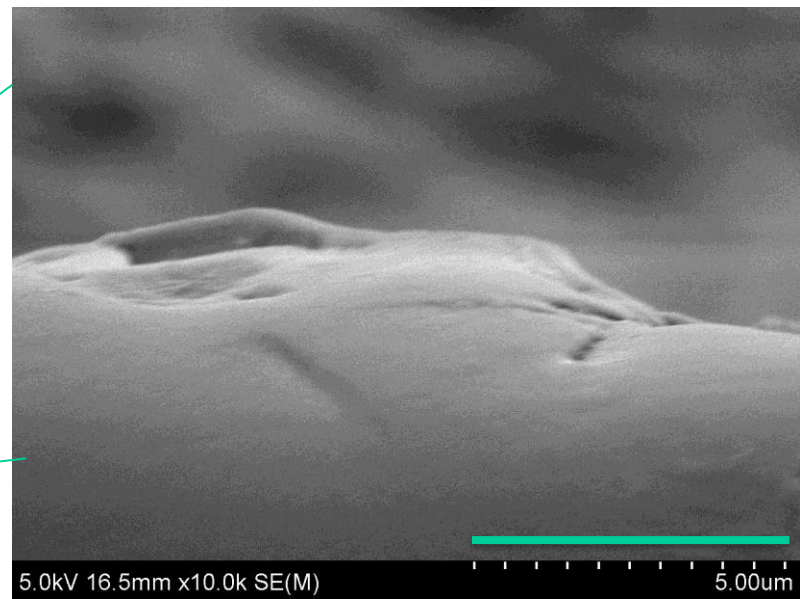


根据加工表面轮廓的特征（波距 L 与波高 H 的比值），可将表面轮廓分为以下三种： $L/H > 1000$ 称为宏观几何形状误差，例如圆度误差、圆柱度误差等，它们属于加工精度范畴； $L/H = 50 \sim 1000$ ，称为波纹度，它是由机械加工振动引起的； $L/H < 50$ ，称为微观几何形状误差，亦称表面粗糙度。





宏观表面轮廓特征



微观表面轮廓特征

$$R_a \approx 0.7\mu\text{m}$$

不同加工方法所能达到的表面粗糙度

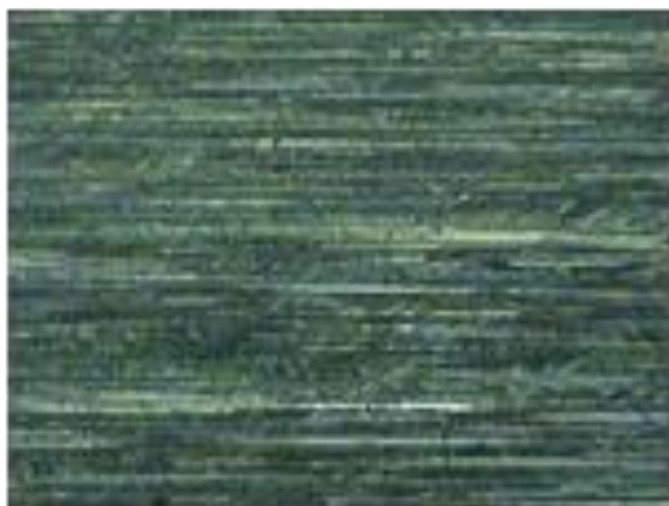
表面特征	表面粗糙度(Ra)数值	加工方法举例
明显可见刀痕	Ra100、Ra50、Ra25	粗车、粗刨、粗铣、 钻孔
微见刀痕	Ra12.5、Ra6.3、 Ra3.2	精车、精刨、精铣、 粗铰、粗磨
看不见加工痕迹， 微辨加工方向	Ra1.6、Ra0.8、Ra0.4	精车、精磨、精铰、 研磨
暗光泽面	Ra0.2、Ra0.1、 Ra0.05	研磨、珩磨、超精磨、 抛光



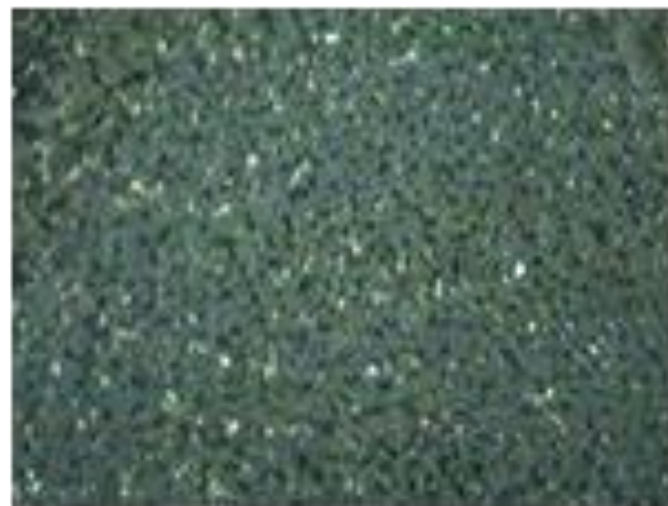
a 机械磨削



b 精密电火花加工



c 电化学抛光前



d 电化学抛光后

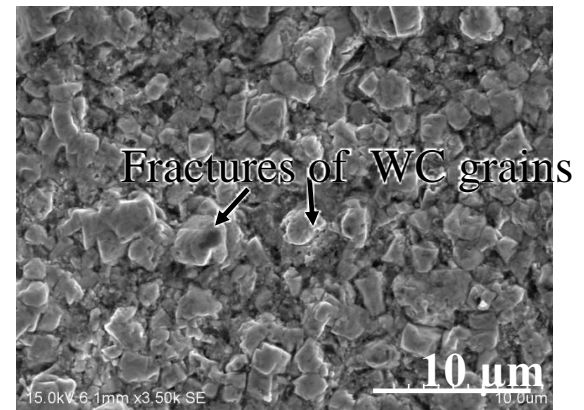
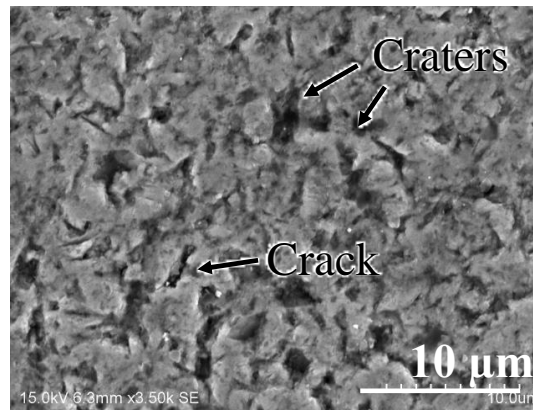
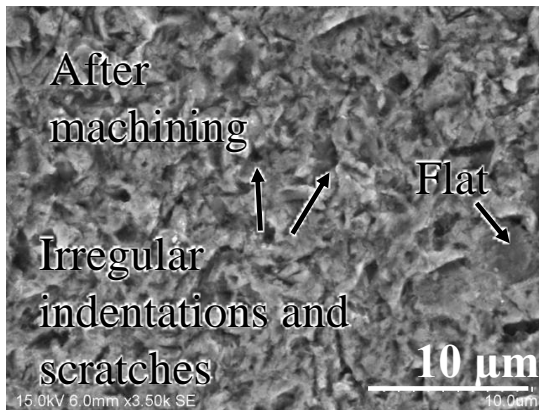
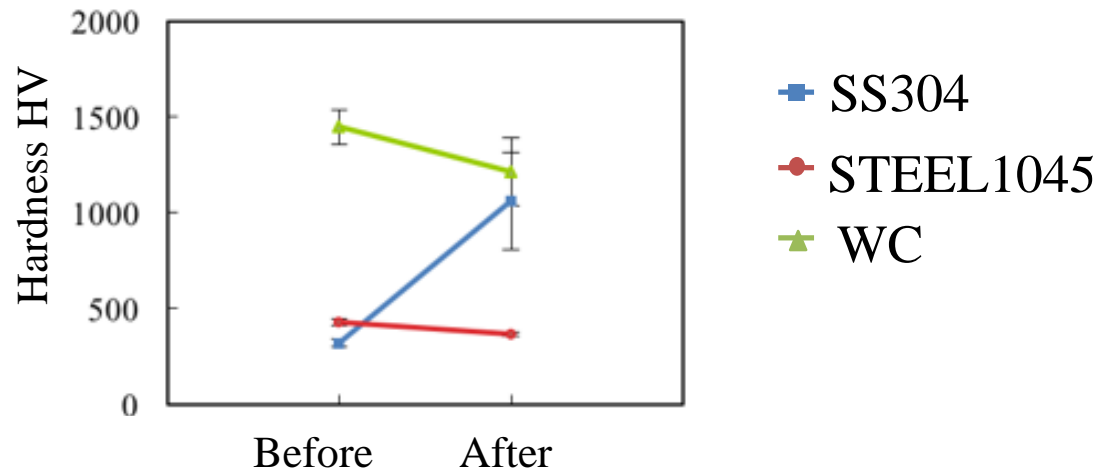
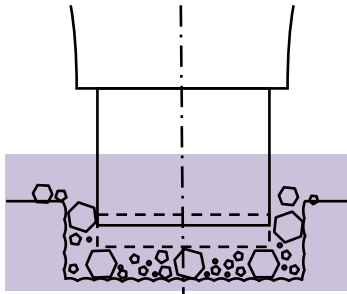
各种加工方法所得表面形貌对比

表面层物理、力学和化学性能

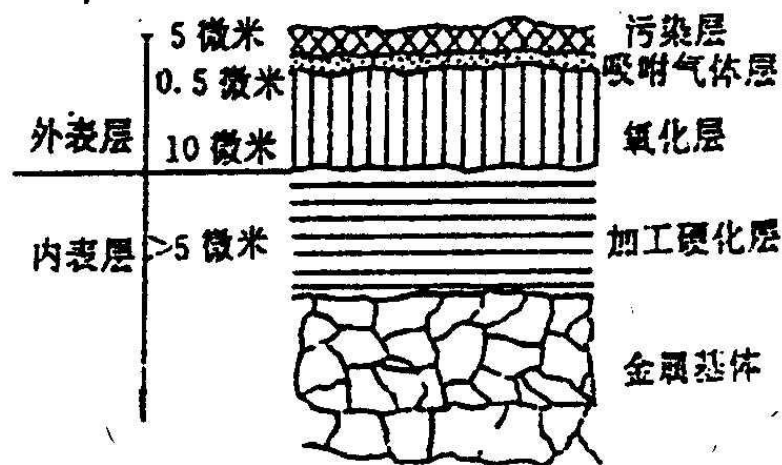
Physical, chemical and mechanical properties

表面层冷作硬化

机械加工过程中表面层金属产生强烈的塑性变形，使表面层的硬度、强度增加，塑性减小，统称为冷作硬化。



①加工表面：

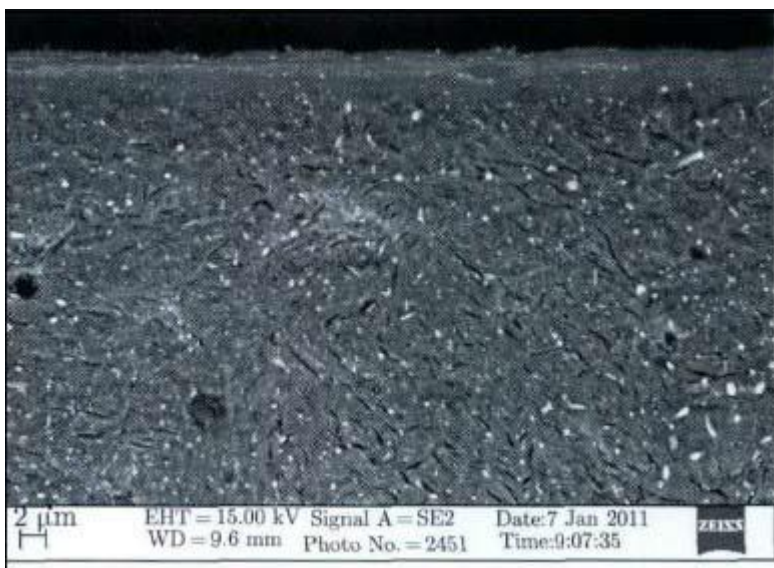


金属表面的表层组成的示意图

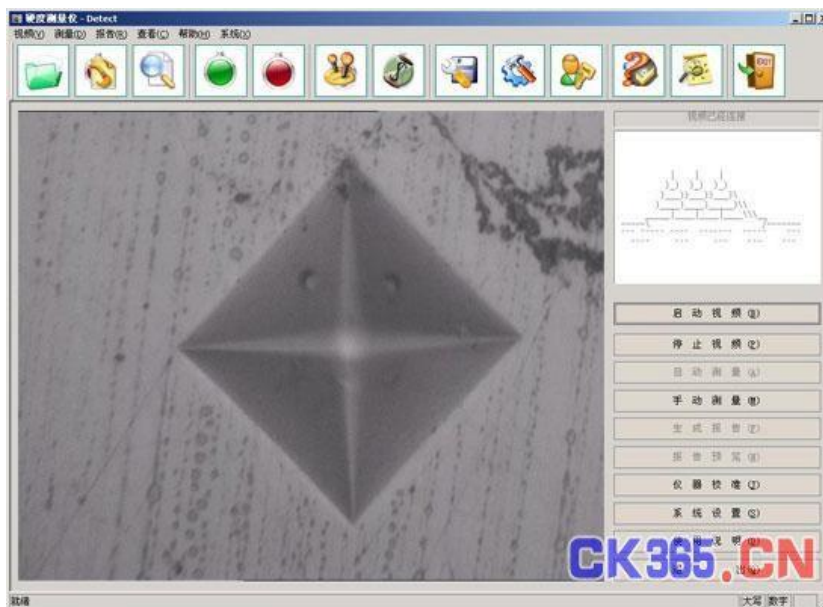
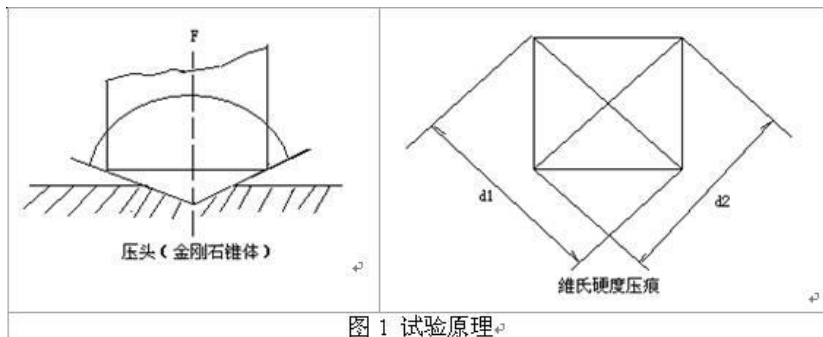
②表面层显微硬度 H 、硬化层深度 hd 、硬化程度 N :

N : 加工表面的显微硬度增加值对原始基体显微硬度比值的百分数。

$$N = \frac{H_{Surface} - H_{Substrate}}{H_{Substrate}}$$



轴承钢磨削表面



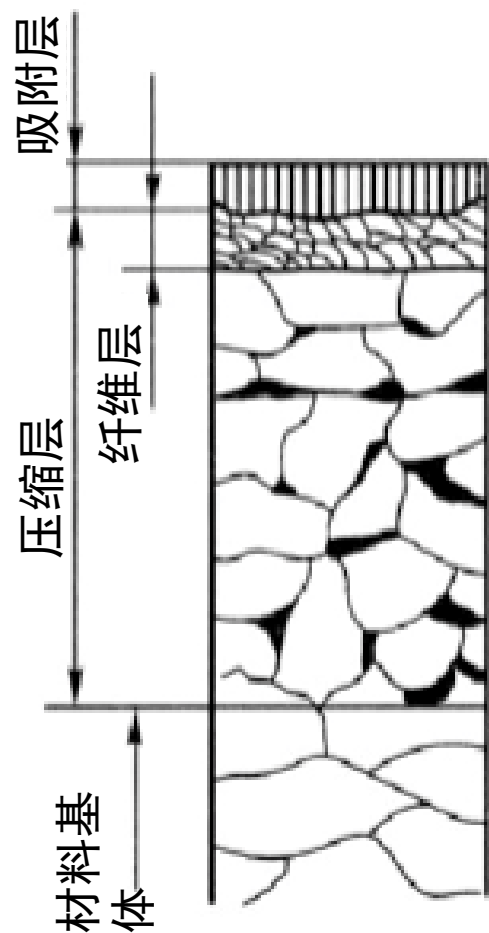
维氏硬度测量

表面层金相组织变化

机械加工过程中，在工件的加工区域，温度会急剧升高，当温度升高到超过工件材料金相组织变化的临界点时，就会发生金相组织变化。如磨削时常发生的磨削烧伤。

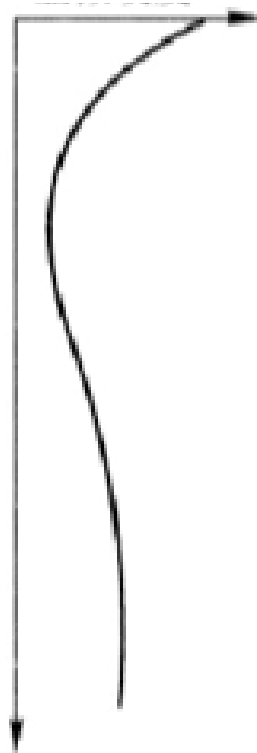
表面层残余应力

指机械加工过程中由于切削变形和切削热等因素的作用在工件表层材料中产生的内应力。残余应力超过材料强度极限就会产生表面裂纹。



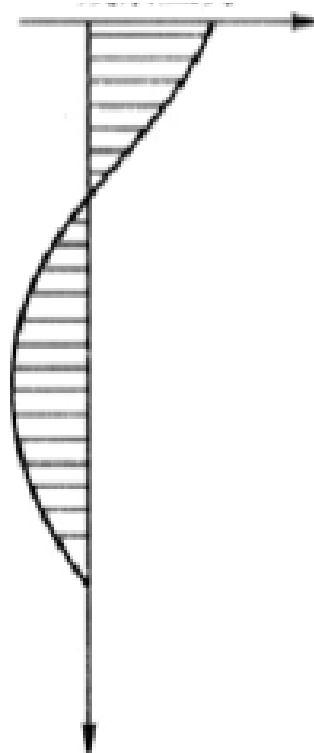
表面金相组织变化

显微硬度



表面层冷作硬化

残余应力



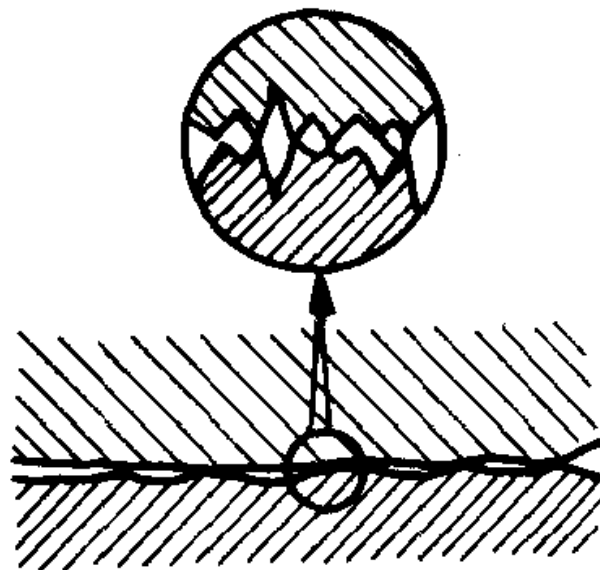
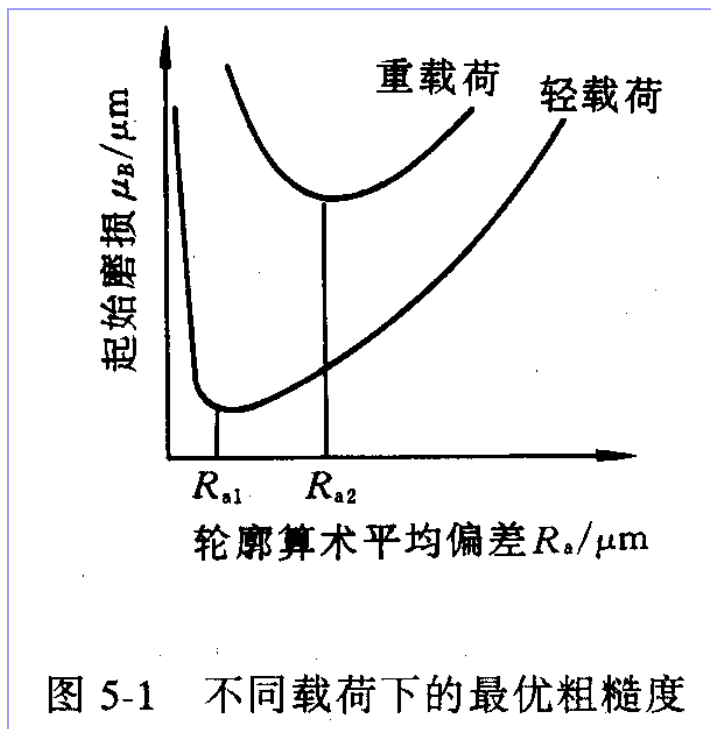
表面层残余应力

二、机械加工表面质量对零件使用性能的影响

1、表面质量对零件耐磨性的影响

Surface roughness influences on the anti-wear properties of work piece

①初始粗糙度的影响：最佳值 $0.32\sim 1.2\mu\text{m}$



②表面层加工硬化的影响

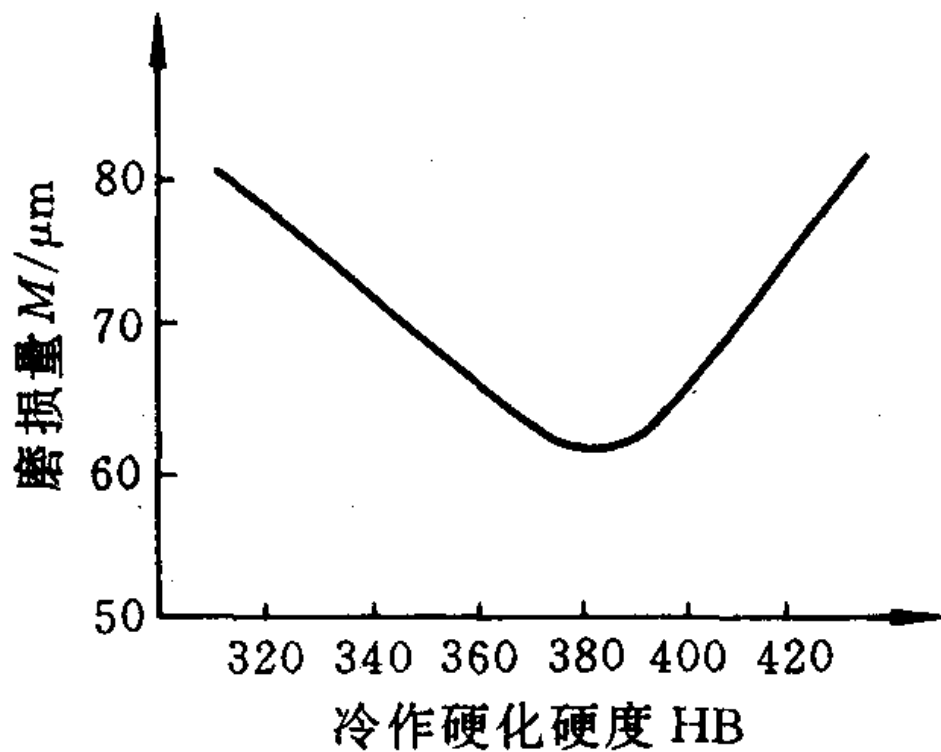
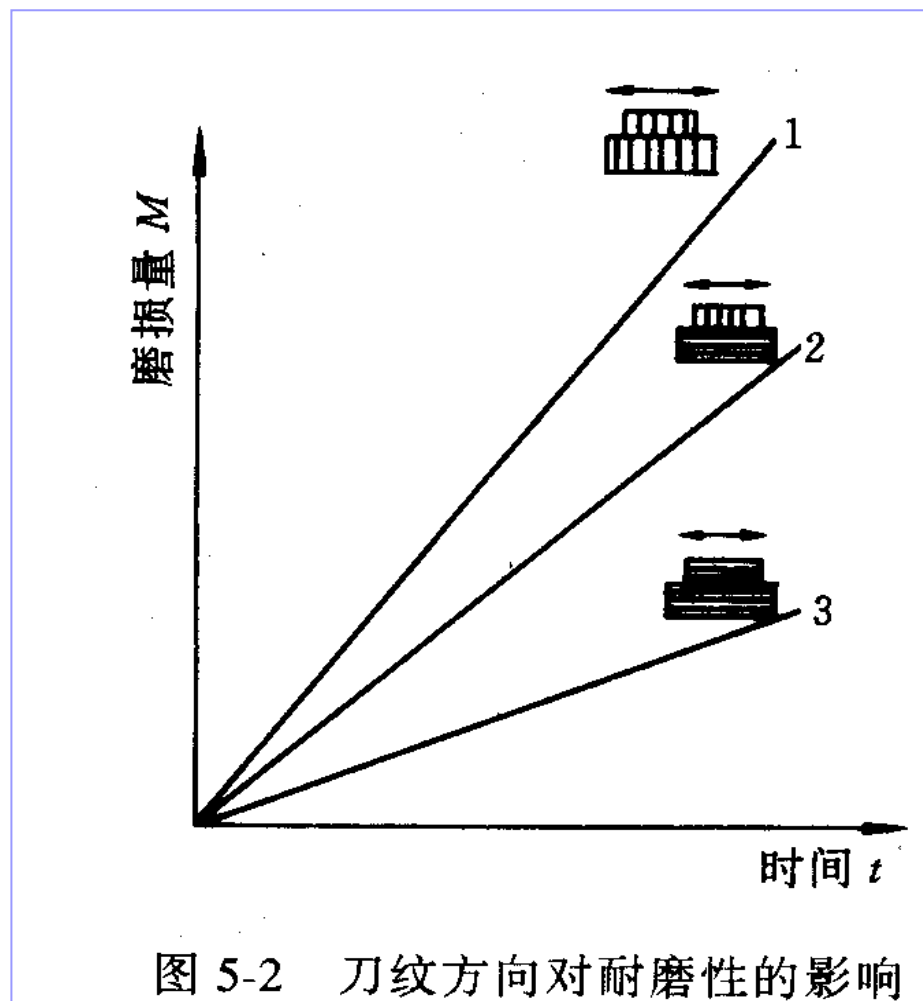


图 5-3 冷作硬化对耐磨性的影响

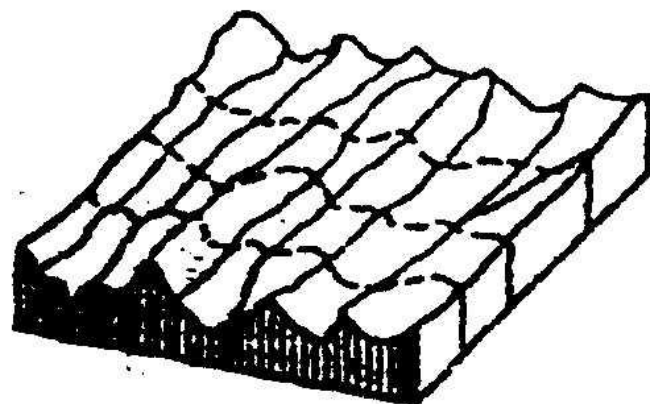
③表面纹理对耐磨性的影响



2、表面质量对零件耐腐蚀性的影响

Surface qualities influence on the anti-corrosion properties of work piece

- (1) 粗糙表面的凹谷处容易积聚腐蚀性介质而发生化学腐蚀。
- (2) 粗糙表面的凸峰容易产生电化学作用而引起电化学腐蚀。
- (3) 零件在应力状态作用时，也会产生应力腐蚀，加速腐蚀作用。



三维表面形貌

3、表面质量对疲劳强度的影响

Surface qualities influence on the fatigue strength of work piece

- (1) 表面粗糙度对疲劳强度的影响
- (2) 表面残余应力对疲劳强度的影响
- (3) 表面冷硬对疲劳强度的影响

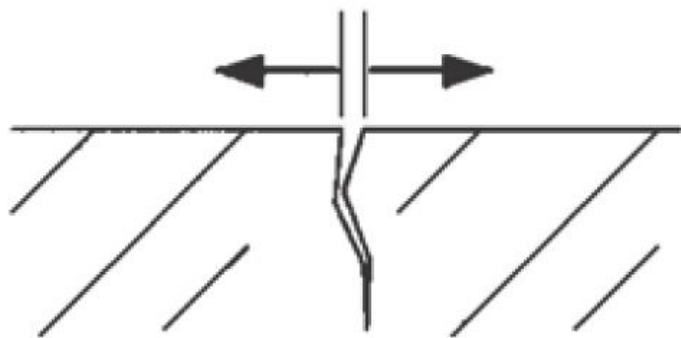


Figure 3 Crack Initiation and Growth Through Tensile Stress

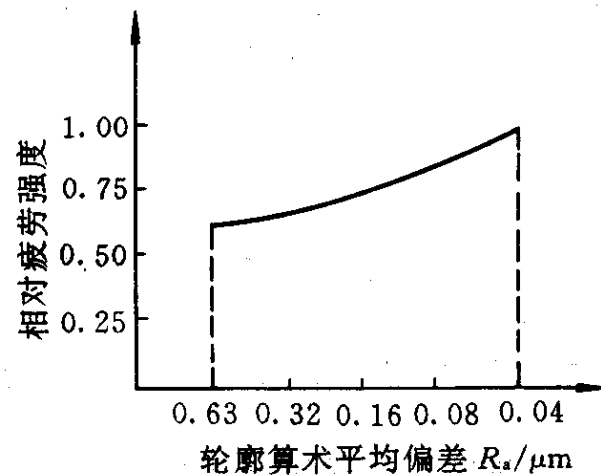
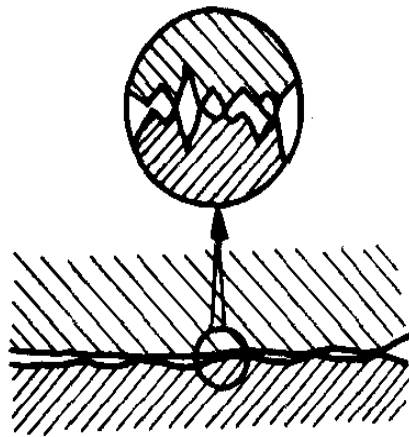


图 5-4 表面粗糙度对耐疲劳性的影响

4、表面质量对配合精度的影响

Surface qualities influence on the matching/ fitting quality of work piece

分析：粗糙度对间隙配合和过盈配合的影响



对于间隙配合，零件表面越粗糙，磨损越大，使配合间隙增大，降低配合精度。

对于过盈配合，两零件粗糙表面相配时凸峰被挤平，使有效过盈量减小，将降低过盈配合的连接强度。

第五节 影响表面质量的因素及其分析

Part 5 Factors that influence the surface quality and analyses

什么是理论粗糙度？



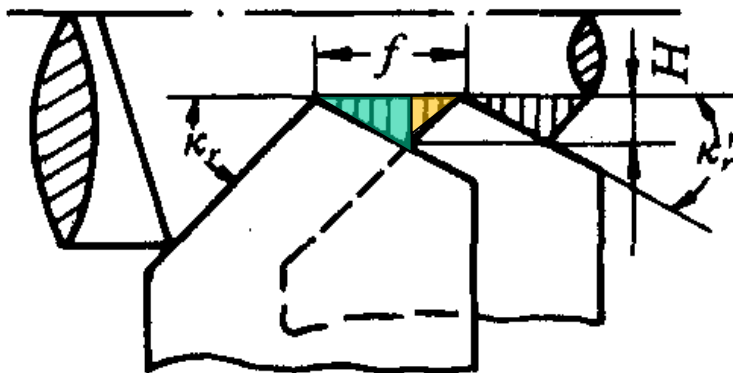
图 5-6 加工后表面的实际轮廓和理想轮廓

一、表面粗糙度影响因素及控制方法

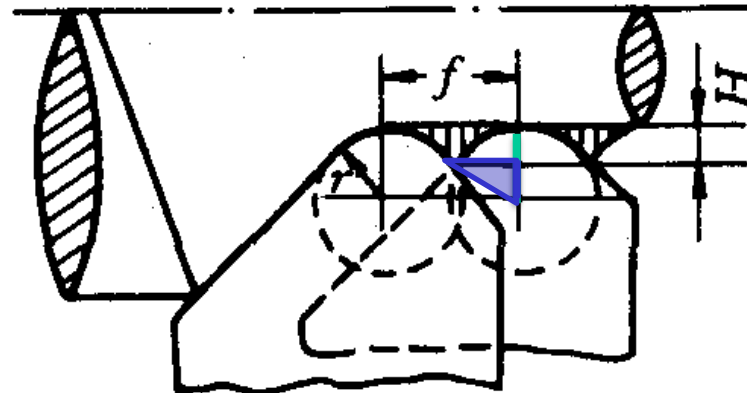
Influence factors and controlling methods of the surface roughness

1、切削加工的表面粗糙度影响因素

(1) 几何因素的影响



$$R_{\max} = \frac{f}{\operatorname{ctg} k_r + \operatorname{ctg} k_r'}$$



$$R_{\max} = \frac{f^2}{8r_e}$$

刀尖圆弧半径 r_e 、主偏角 k_r 、副偏角 k_r' 、进给量 f

推导过程：

$$R_{\max} = r_e - \sqrt{r_e^2 - \left(\frac{f}{2}\right)^2}$$

$$R_{\max}^2 + r_e^2 - 2R_{\max}r_e = r_e^2 - \frac{f^2}{4} \quad \gamma_\epsilon \gg R_{\max}$$

(2) 塑性变形的影响

① 积屑瘤的产生

塑性变形因素的影响主要表现在积屑瘤、鳞刺、表面划伤等现象的出现。

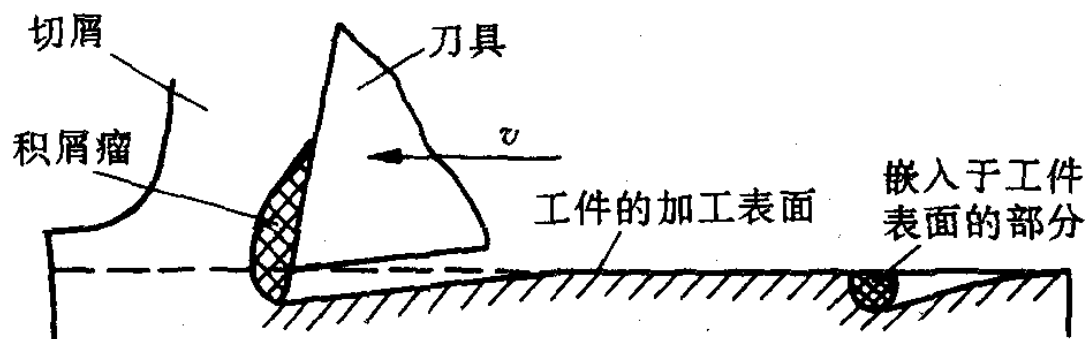
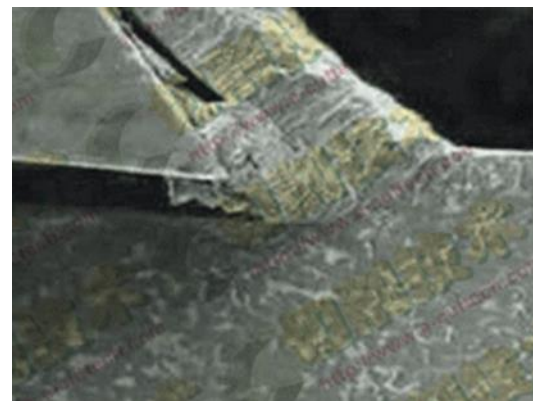
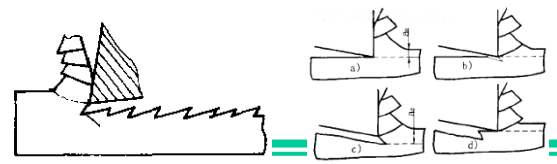


图 5-7 积屑瘤对工件表面质量的影响

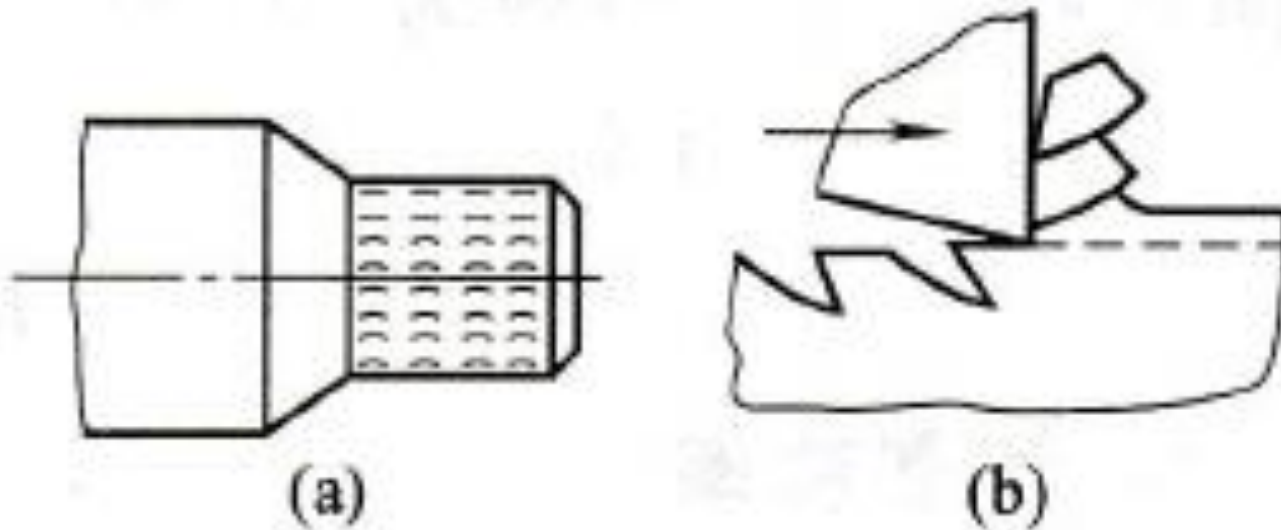


问题1： 塑性较大的材料粗糙度大，还是脆性较大的材料粗糙度大？原因是什么？

问题2： 刀具的前角、刀尖圆角、润滑液对积屑瘤产生有何影响？



② 鳞刺的产生



鳞刺是由于切屑在前刀面上摩擦和冷焊作用造成周期性地停留、代替刀具推挤切削层造成切削层相工件之间出现撕裂现象。

② 切屑拉毛或刮伤加工后表面

(3) 振动的影响（后面专门介绍）

机械加工过程中产生的振动是一种破坏正常切削过程的极其有害的现象。

当切削振动加大时，工件表面产生明显的振纹，对加工精度，刀具寿命都会带来不利的影响。

2、表面粗糙度控制方法

(1) 合理选择刀具几何参数

从几何因素来看，适量增加刀尖圆弧半径会减小加工表面粗糙度值。减小主偏角和副偏角，可减小加工表面粗糙度值。减小切削进给量有助于降低表面粗糙度。

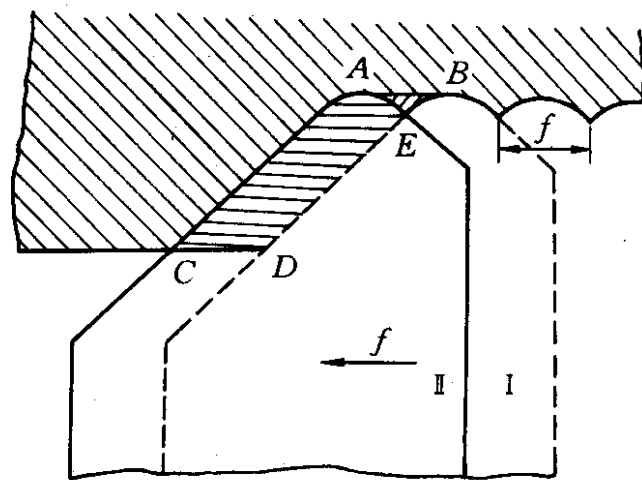
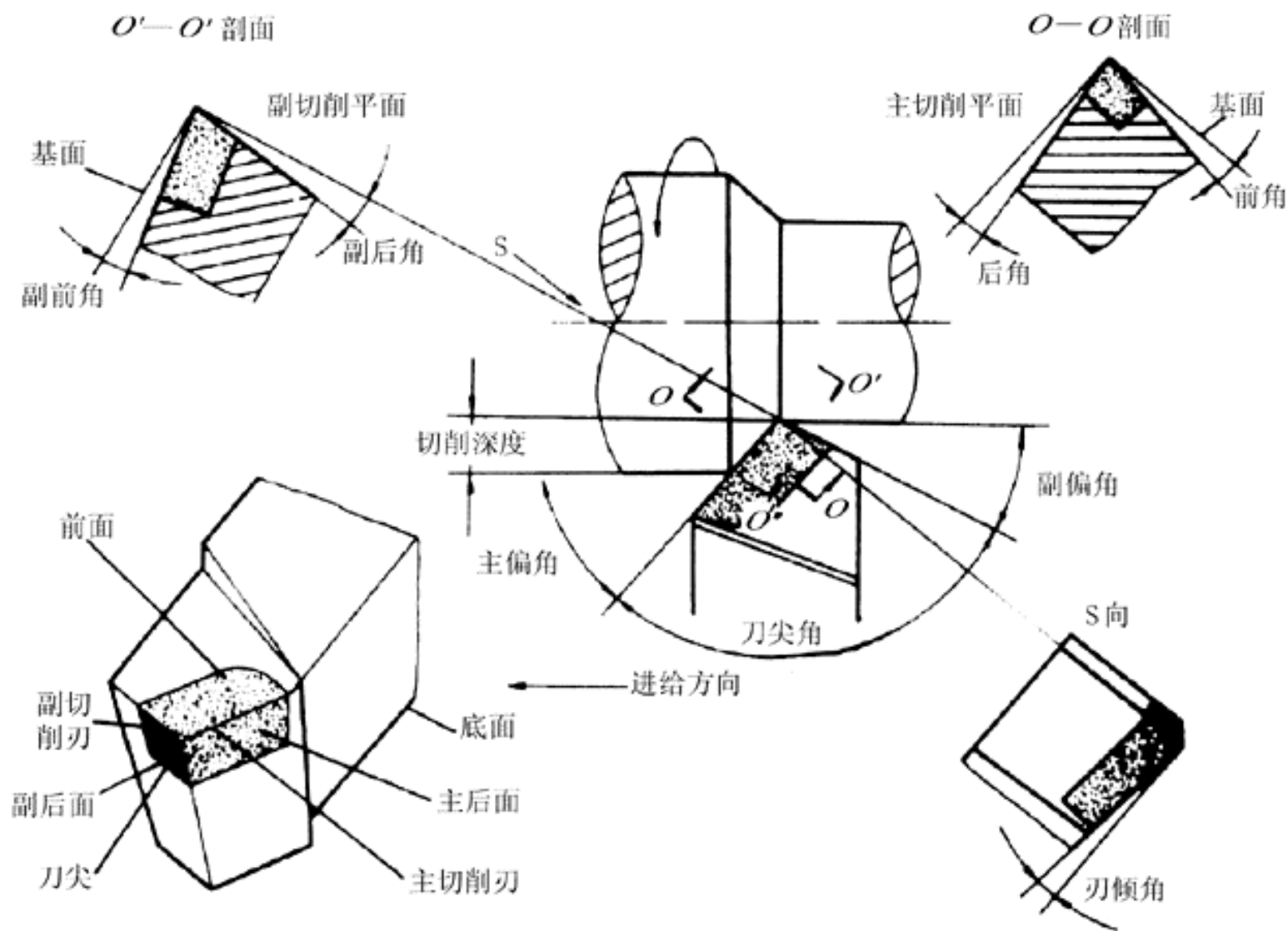


图 1-31 切削面积和残留面积

适当增大刀具的前角，有利于减小表面粗糙度值。但是前角太大，表面粗糙度值将会增加

当前角一定时，后角越大，有利于减小表面粗糙度值。但后角太大时，积屑瘤易于流到后刀面；同时，后角大容易产生切削振动，加工表面粗糙度值反而增加。



(2) 合理选择切削用量

进给量的 f 影响：当 $f > 0.15 \text{ mm/r}$ 时，对表面粗糙度影响很大；当 $f < 0.15$ 时，随着 f 的进一步减小不会引起 R_z 明显降低。

切削速度 v 的影响：

切削脆性材料（如铸铁）不容易产生积屑瘤，粗糙度与切削速度的关系较小。

切削塑性材料，切削速度对积屑瘤的产生影响很大，因此对表面粗糙度影响也很大。 v 较小时，没有积屑；当 v 提高到一定范围时，容易产生积屑，粗糙度增大； v 进一步提高，积屑减小并逐渐消失，粗糙度降低。

切削深度的影响：影响不明显。当它小于 $0.02 \sim 0.03 \text{ mm}$ 时，表面粗糙度增大。

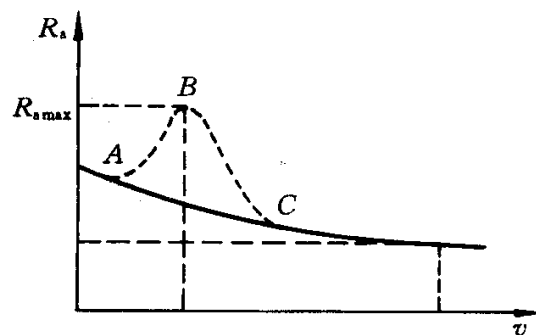
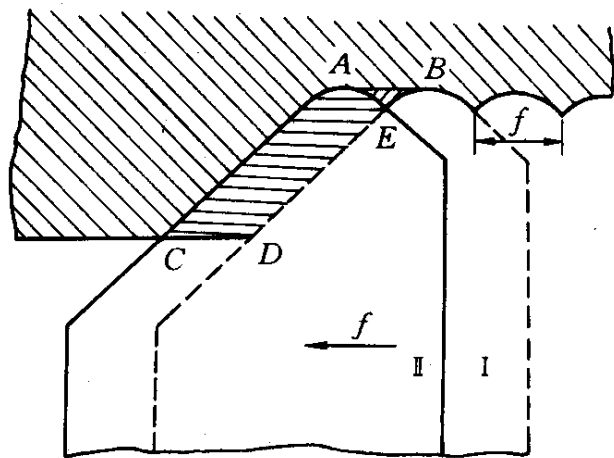
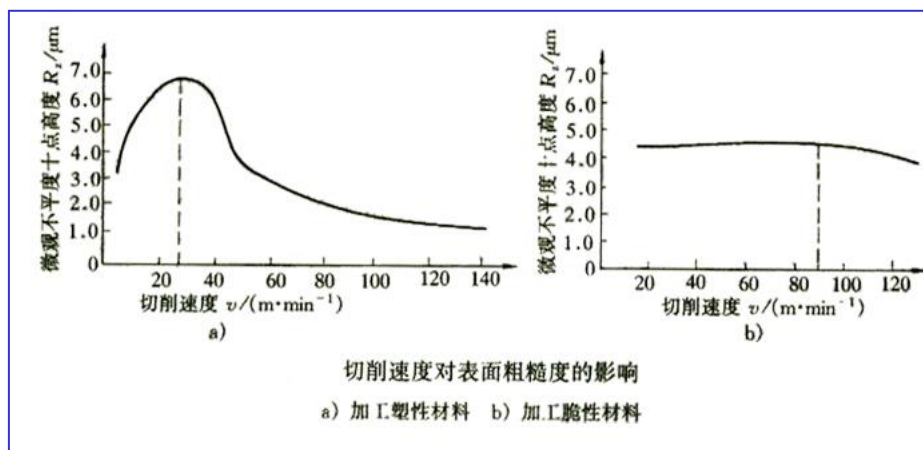


图 5-9 切削速度对表面粗糙度的影响

(3) 合理选择工件材料

①**韧性（塑性）**大材料，加工后的表面粗糙度值也愈大。



②相同材料，**晶粒组织**愈是粗大，加工后的表面粗糙度值也愈大。为减小加工表面粗糙度值，常在切削加工前对材料进行调质或正火处理，以获得均匀细密的晶粒组织和较高的硬度。

③刀具材料和工件材料的**匹配**：亲和度、摩擦系数、硬度、粗糙度等。

热硬性高的材料耐磨性好，易于保持刃口的锋利。

摩擦系数小的材料有利于排屑。

与被加工材料亲和力小的材料不易于产生积屑瘤和鳞刺。

因此，金刚石刀具、立方氮化硼等超硬材料刀具优于硬质合金刀具（W、Ti碳化物+Co/Mg/Ni高温高压烧结），硬质合金刀具优于高速钢刀具（含W、Cr、Mo、V等合金元素的合金工具钢），高速钢刀具优于碳素工具钢刀具（含碳量0.7%~1.2%的高碳工具钢）。

(4) 改善加工条件



冷却条件

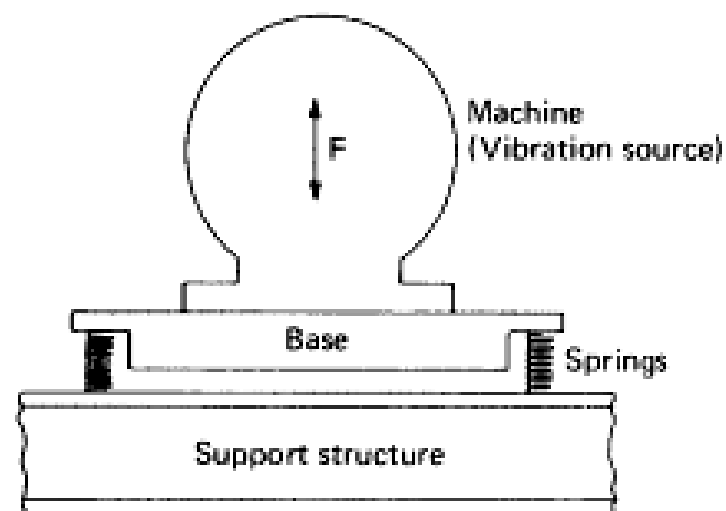
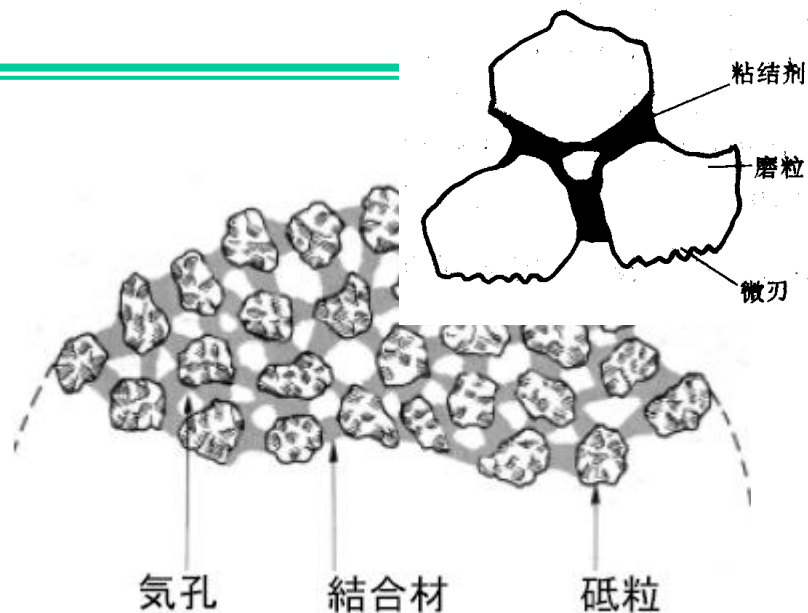


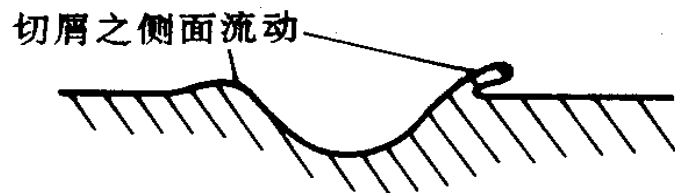
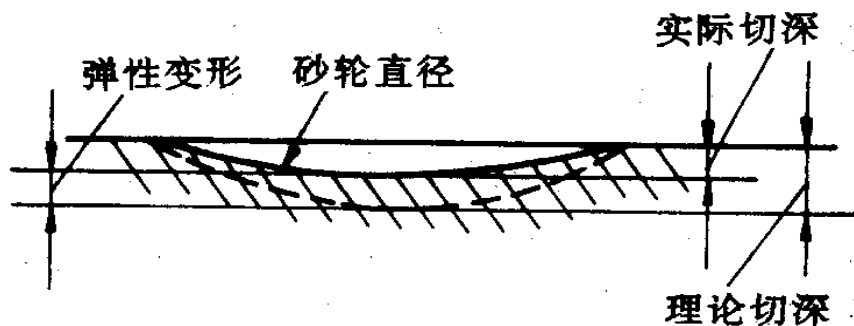
FIGURE 4.105 Conceptual sketch of isolation of vibration source.

振动条件

3、磨削加工的表面粗糙度影响因素

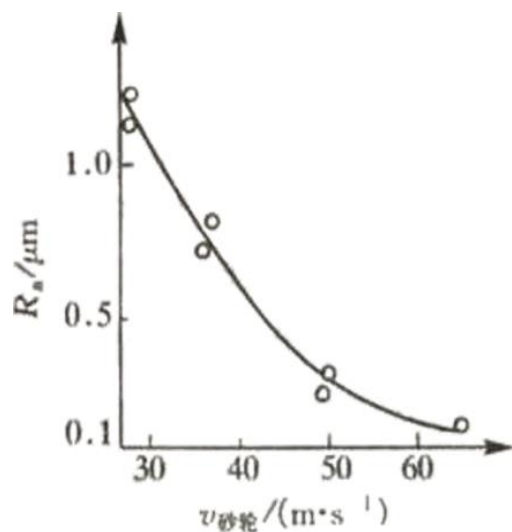
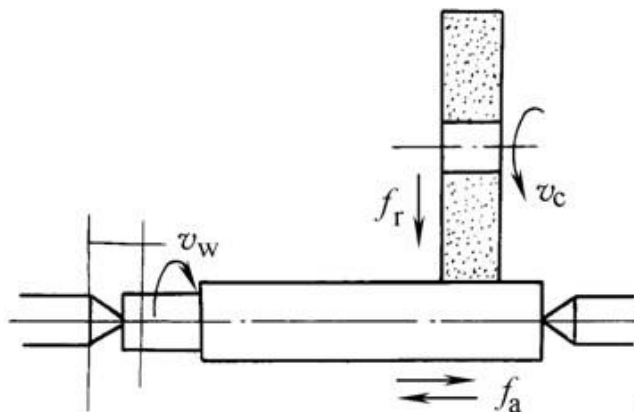


磨粒在工件表面上滑擦，耕犁和切下切屑
同时磨粒对加工表面挤压，使表面形成塑性变形

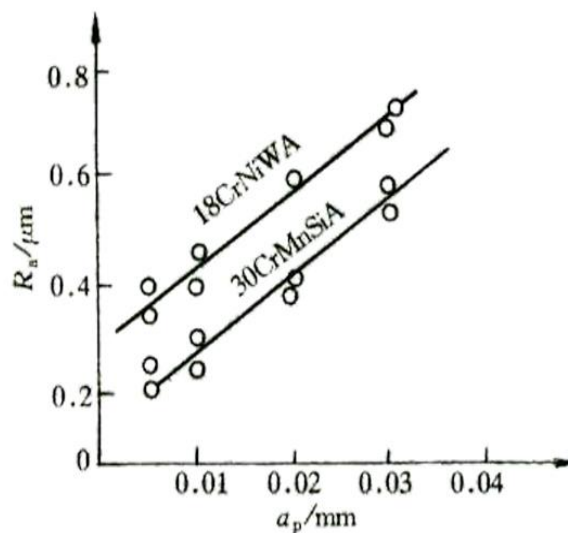


磨削表面粗糙度受到磨削用量、砂轮特性等因素影响

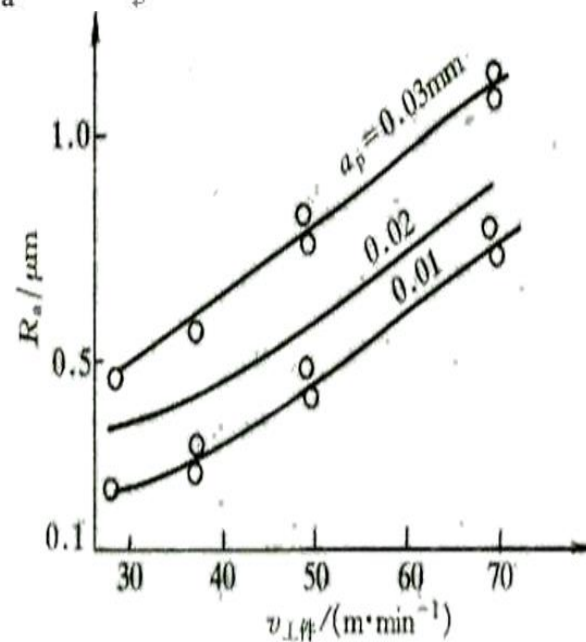
①磨削用量的影响



砂轮线速度对表面粗糙度的影响



磨削深度对表面粗糙度的影响



提高砂轮线速度

减小磨削深度

减小工件线速度

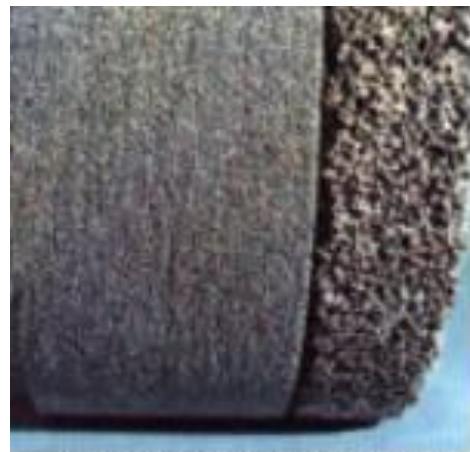
②砂轮的影响

砂轮粒度越细（粒度号大），磨削表面粗糙度值越小。

普通砂轮：8 # ~ 80 # ，

一般磨削：46 # ~ 60 # ，

精密磨削：60 # ~ 100 #



彩图 3-9 砂轮粒度对比

砂轮的硬度应适宜。

砂轮太硬——→ 加工表面粗糙度增大或烧伤加工表面；

砂轮太软——→ 磨损不均匀，加工表面粗糙度增大。

砂轮应及时修整。

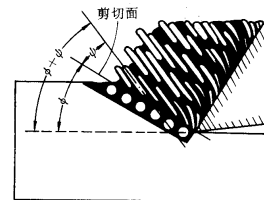
去除外层已钝化或被磨屑堵塞的磨粒，以保证切削微刃的等高性和锋利性。

二、表层物理—力学性能的影响因素及控制方法

Influence factors and controlling methods of the surface physical and mechanical properties

1、表面层的加工硬化

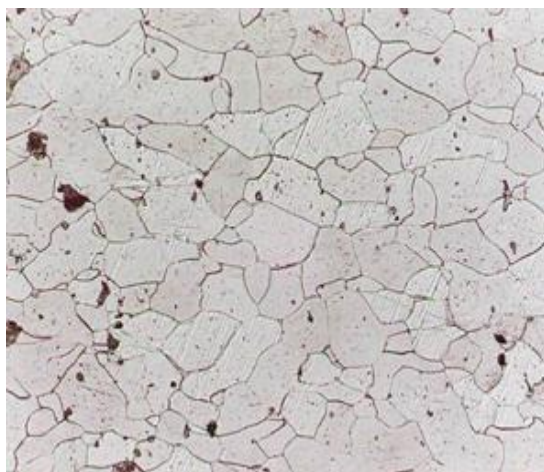
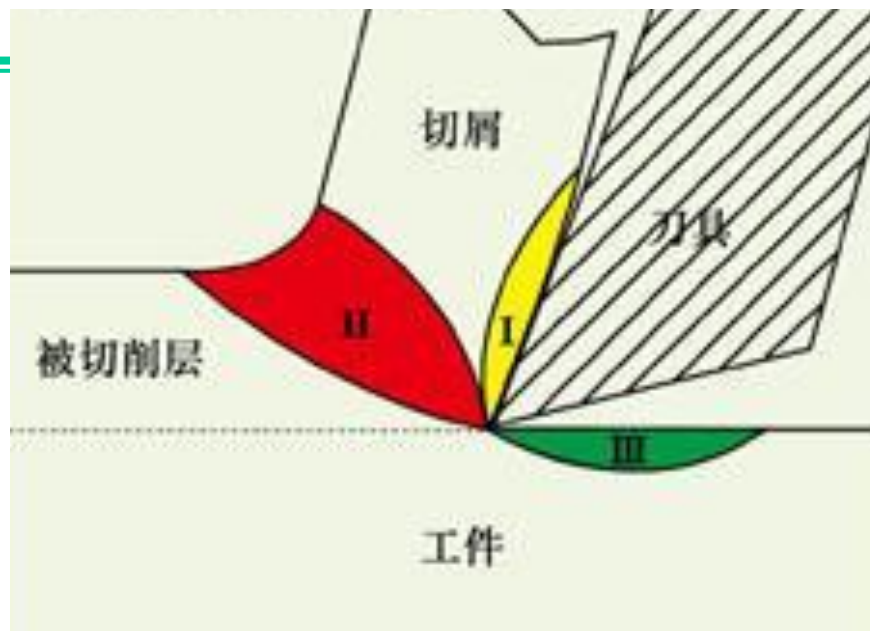
Work hardening of surface layer



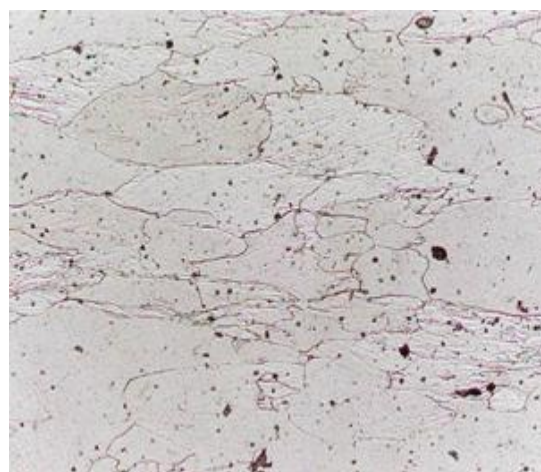
机械加工时，工件加工表面层金属受到切削力的作用，产生塑性变形，使晶体产生剪切滑移，晶格被拉长、扭曲，甚至破碎而引起材料的强化，这时它的硬度和强度都有所提高，这种现象称为**加工硬化**（也称**冷作硬化**）。

另一方面，机械加工中产生的切削热在一定条件下会使已产生硬化的金属回复到原来的状态，即**回复现象**。

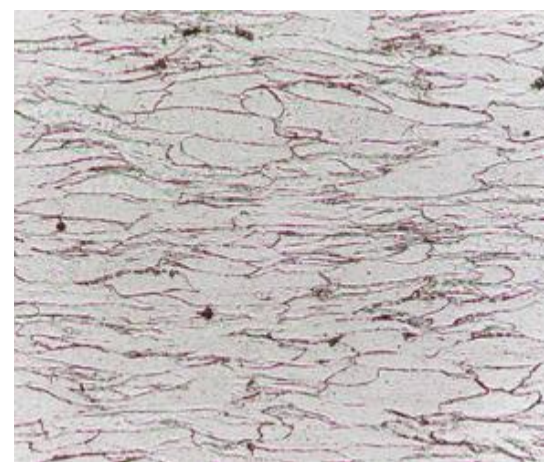
因此，表面层最后的加工硬化程度取决于硬化速度与回复速度的比率。



工业纯铁20%形变



工业纯铁40%形变



工业纯铁60%形变

(2) 刀具的影响
措施：增大前角、减小圆角半径等。

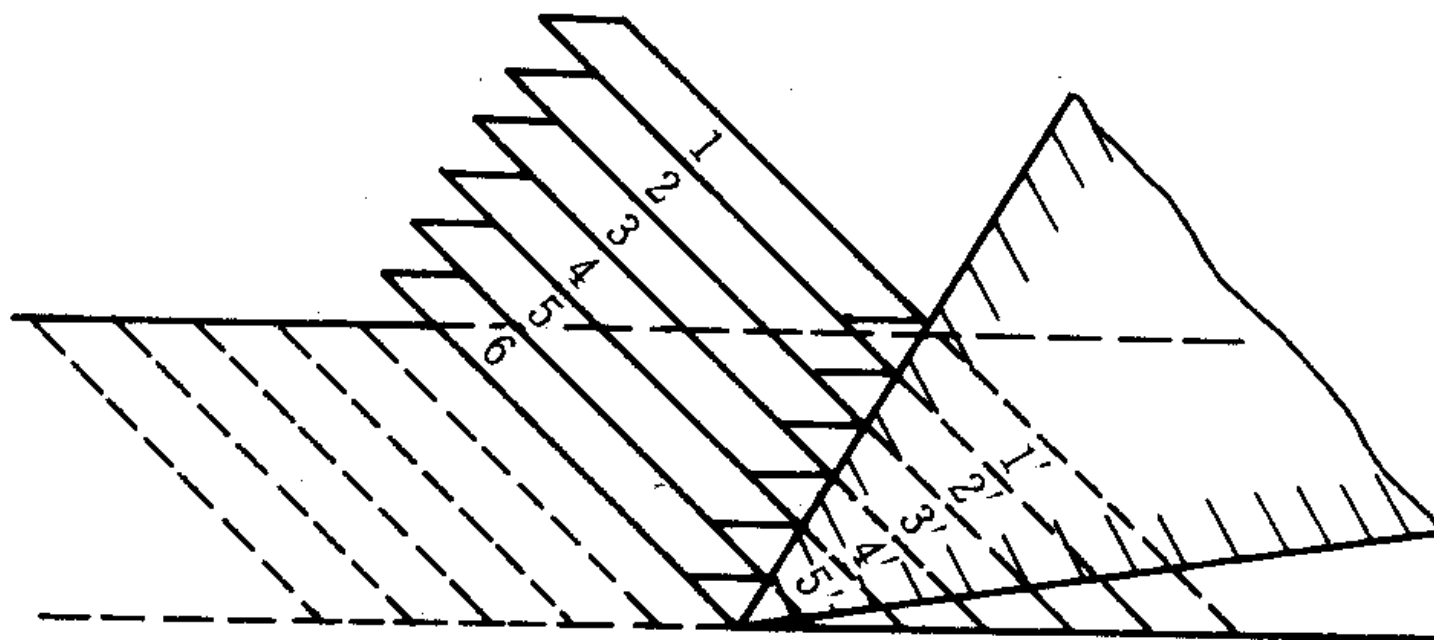


图 2-3 金属切削变形过程示意图

(3) 切削用量的影响

- ①切削力：切削力越大，则塑性变形越（ ），加工硬化越（ ）。
- ②切削温度：切削温度越高，则软化作用越（ ），硬化程度越（ ）。
- ③切削速度：当切削速度很高时，则产生的加工硬化较（ ）。

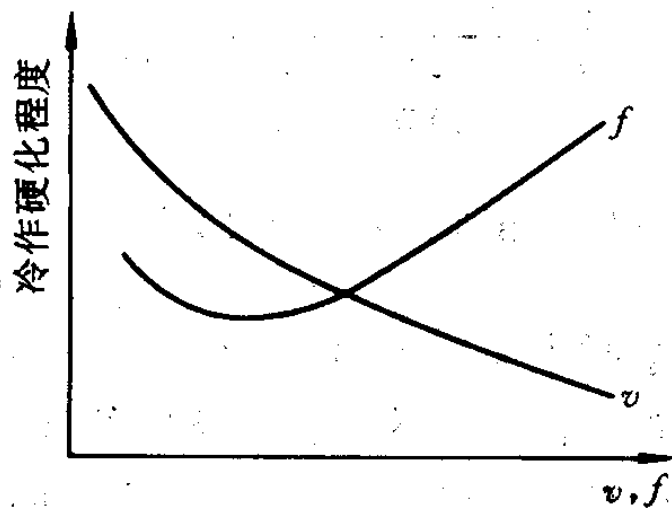


图 5-13 切削速度与进给量对冷作硬化的影响

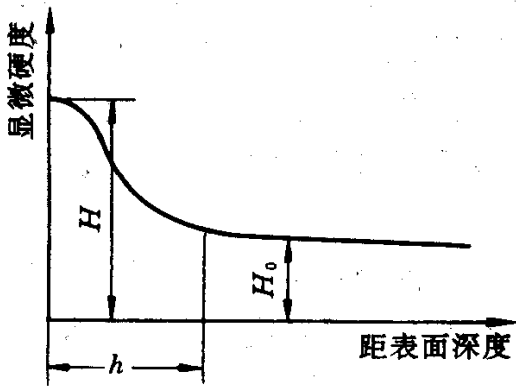
大，严重
大，低
较小

不同加工方法对比：

$$N = \frac{H_{Surface} - H_{Substrate}}{H_{Substrate}}$$

表 各种加工方法加工钢件时硬化情况

加工方法	硬化层深度 h/μm		硬化程度 N（%）	
	平均值	最大值	平均值	最大值
车削	30-50	200	20-50	100
精细车削	20-60	--	40-80	120
端铣	40-100	200	40-60	100
圆周铣	40-80	110	20-40	80
钻孔、扩孔	180-200	250	60-70	--
拉孔	20-75	--	50-100	--
滚齿、插齿	120-150	--	60-100	--
外圆磨低碳钢	30-60	--	60-100	150
外圆磨未淬硬中碳钢	30-60	--	40-60	100
外圆磨淬火钢	20-40	--	25-30	--
平面磨	16-25	--	50	--
研磨	3-7	--	12-17	--



5-12 切削加工后表面层的冷硬

2、表面晶相组织变化

Change of crystalline phase structure of surface layer

(1) 现象

机械加工→热量→加工表面出现温度升高（超过相变温度）
→金相组织变化

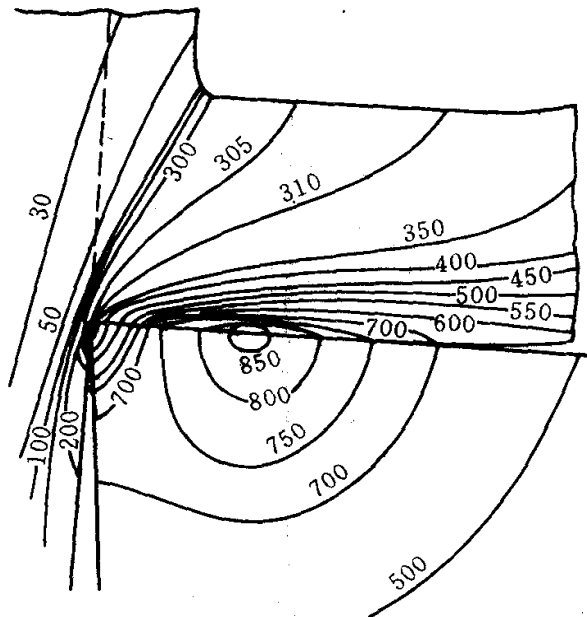


图 2-42 刀具、切屑和工件的温度分布

工件材料: GCr15; 刀具: YT4 车刀, $\gamma_o = 0^\circ$;

切削用量: $b_D = 5.8\text{mm}$, $h_D = 0.35\text{mm}$, $v_c = 80\text{m/min}$

(2) 结果之一——硬度变化

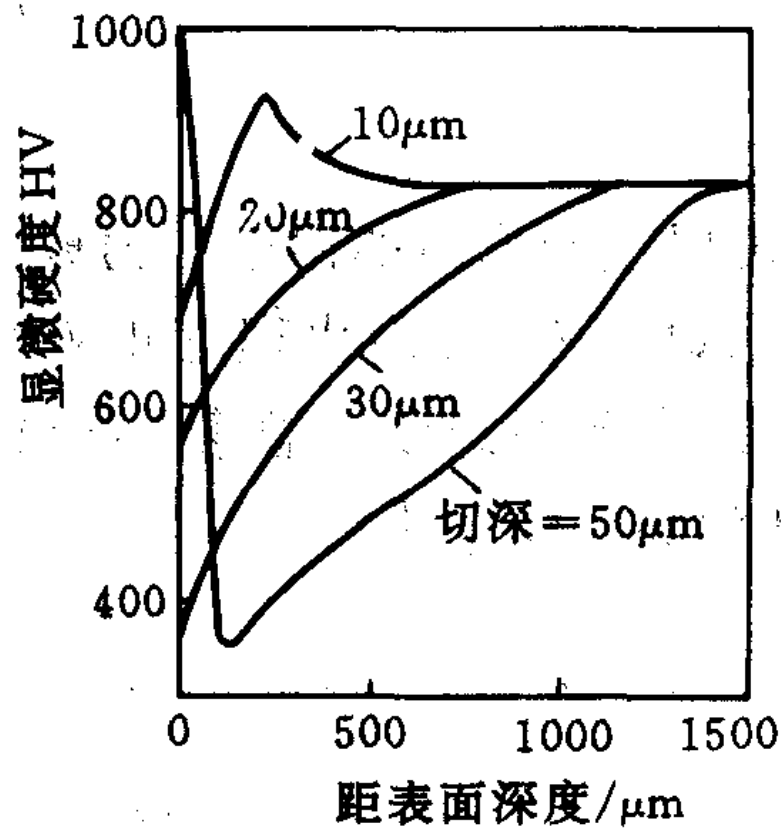


图 5-14 磨削加工表面的硬度分布

(3) 结果之二——残余应力变化

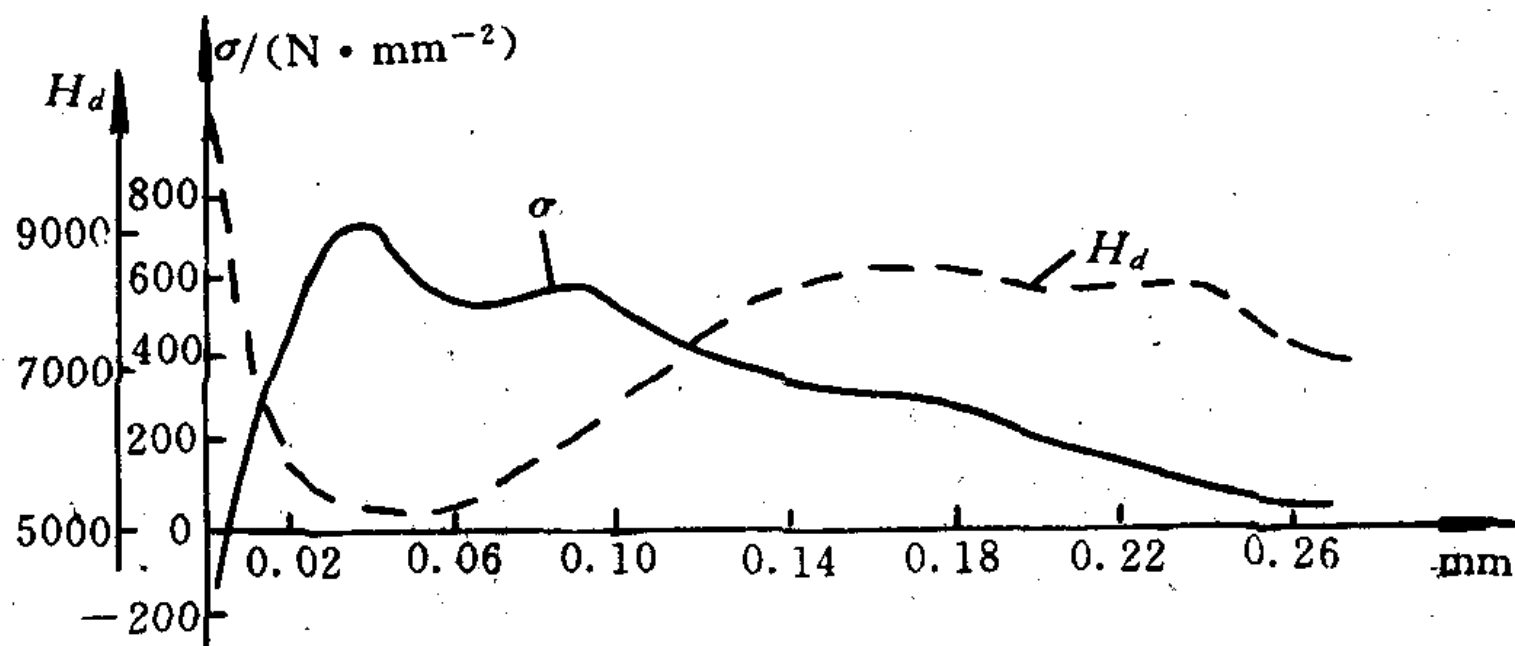


图 2-7 淬火钢 T8 磨削后表面残余应力和显微硬度变化

$v(\text{工件}) = 0.125 \text{ m/s}$; $f = 3750 \text{ mm/min}$; $a_p = 0.05 \text{ mm}$

(4) 结果之三——材料烧伤

(1) 淬火烧伤 表层→二次淬火马氏体

(2) 回火烧伤 表层马氏体→回火屈氏体或索氏体

(3) 退火烧伤 表层会被退火

影响磨削烧伤的因素有磨削用量、工件材料、砂轮性能及冷却条件等。

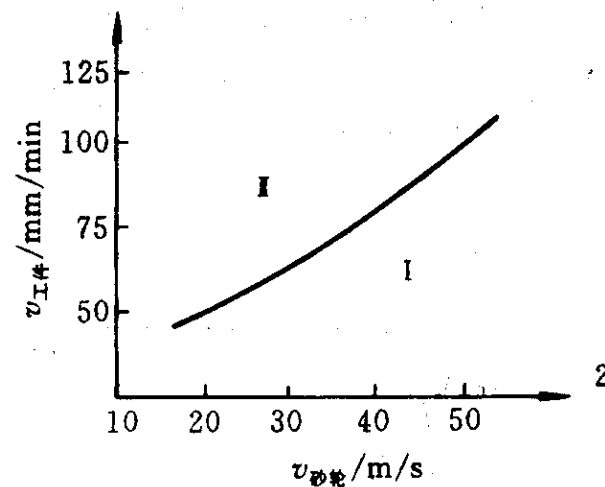


图 5-20 工件和砂轮速度的无烧伤临界比值曲线

磨削淬火钢时产生的三种烧伤

(1) 回火烧伤

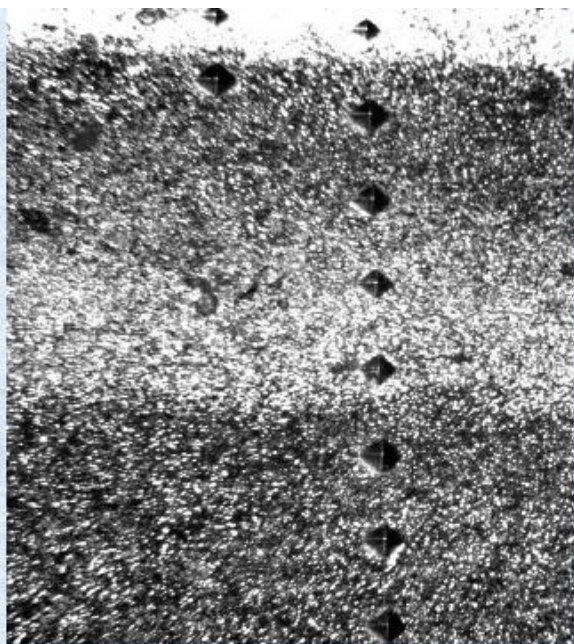
如果磨削区超过马氏体转变温度而未超过相变临界温度（碳钢的相变温度为 723°C ），这时工件表层金属的金相组织，由原来的马氏体转变为硬度较低的回火组织（索氏体或托氏体），这种烧伤称为回火烧伤。

(2) 淬火烧伤

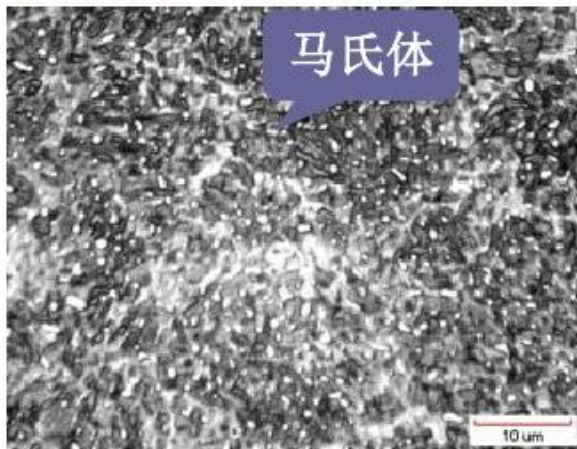
如果磨削区温度超过了相变温度，马氏体发生相变转为奥氏体。在切削液急冷作用下，使表层金属发生二次淬火，硬度高于原来的回火马氏体，里层金属则由于冷却速度慢，出现了硬度比原先的回火马氏体低的回火索氏体和托氏体，这种烧伤称为淬火烧伤。由于二次淬火层极薄，所以表面总的硬度是降低的。

(3) 退火烧伤

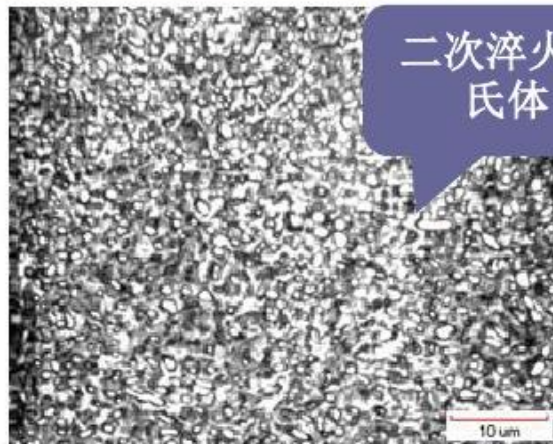
工件表层温度超过相变温度，马氏体发生相变转变为奥氏体。而磨削区又没有冷却液进入，表层金属产生退火组织，硬度急剧下降，称之为退火烧伤。



工件基体的金相组织

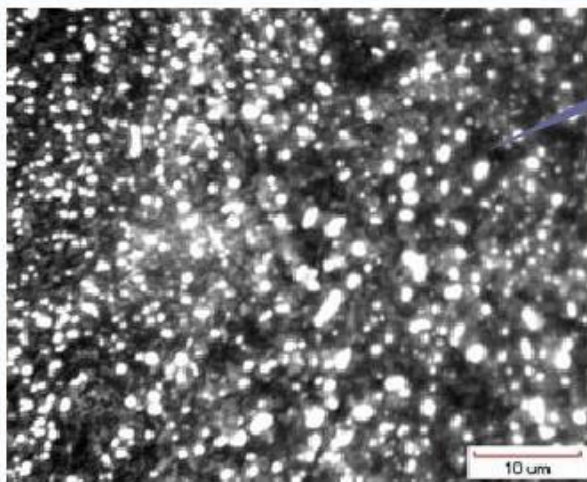


马氏体



二次淬火马氏体

磨削白层的金相组织



暗层的金相组织

索氏体

暗层组织由回火屈氏体、回火马氏体组成，其中靠近白层处为回火屈氏体并含少量的黑色团状索氏体

控制磨削烧伤的途径

(1) 磨削用量

- | | | |
|------------|-------|--------|
| 1. 砂轮速度增大 | ————→ | 磨削烧伤增大 |
| 2. 径向进给量增大 | ————→ | 磨削烧伤增大 |
| 3. 工件速度增大 | ————→ | 磨削烧伤减小 |

减轻磨削烧伤措施

- 适当减小切深
- 增大工件速度
- 降低砂轮转速
- 但工件速度过大会导致粗糙度值变大，而砂轮速度低会影响加工效率，因此应综合考虑

(2) 砂轮

(1) 砂轮的组成

一般采用立方碳化硼砂粒和弹性粘结剂组成的砂轮，其和铁族元素化学反应倾向小，磨削温度低，不易产生磨削烧伤。

(2) 砂轮的硬度

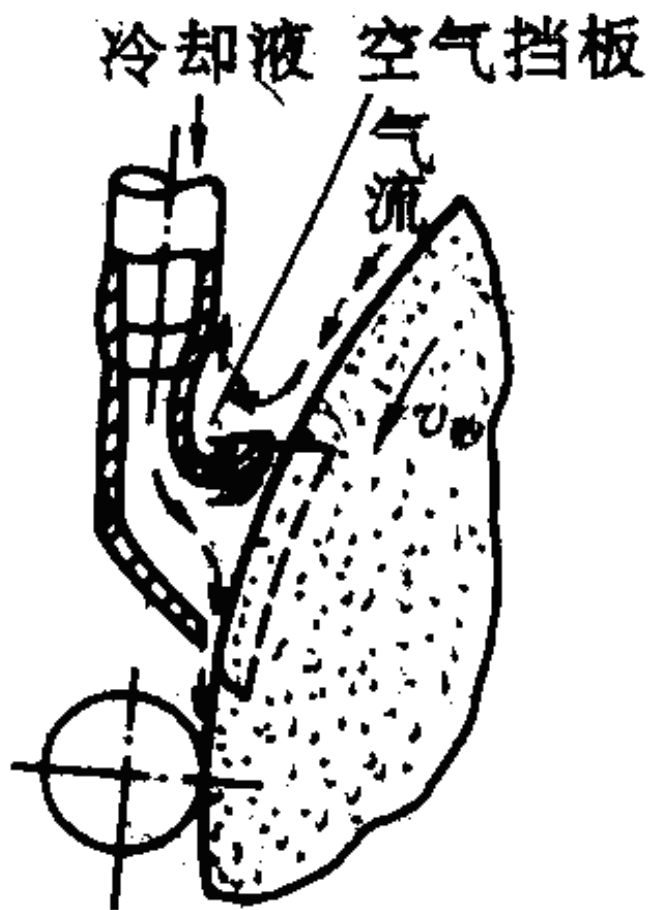
砂轮太硬，磨粒钝化后不易脱落，自锐性不好，易产生烧伤，所以用软砂轮较好。

(3) 工件材料

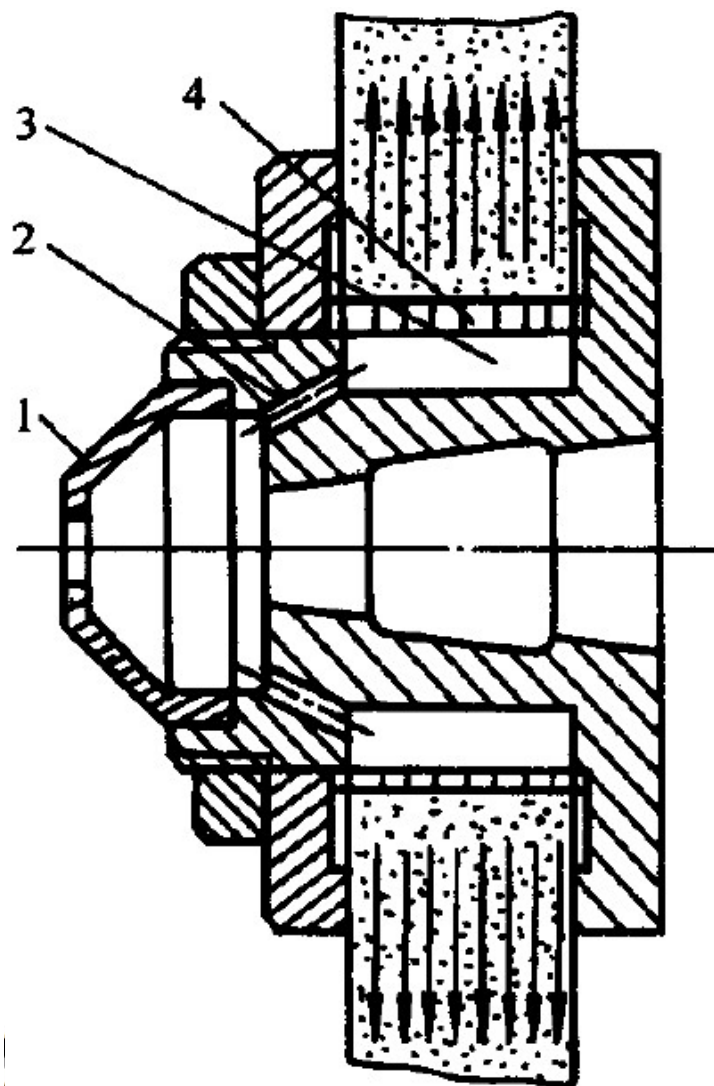
硬度高、强度高、韧性大、导热性差的材料都会使磨削区温度升高，易产生磨削烧伤。

(4) 冷却方法

采用切削液冷却。采用内冷却砂轮、浸油砂轮，采用高压大流量切削液并安装空气挡板的切削液喷嘴等强化冷却效果。



带空气挡板的冷却喷嘴



内冷却装置

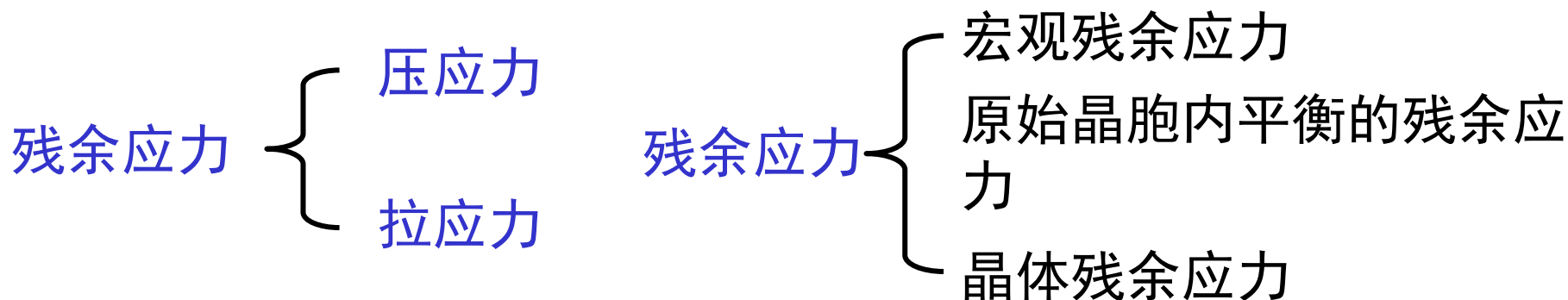
- 1—锥形盖 2—通道孔 3—砂轮中心孔
4—有径向小孔的薄壁套

三、表面层的残余应力

Residual stress of surface layer

1、什么叫表面残余应力

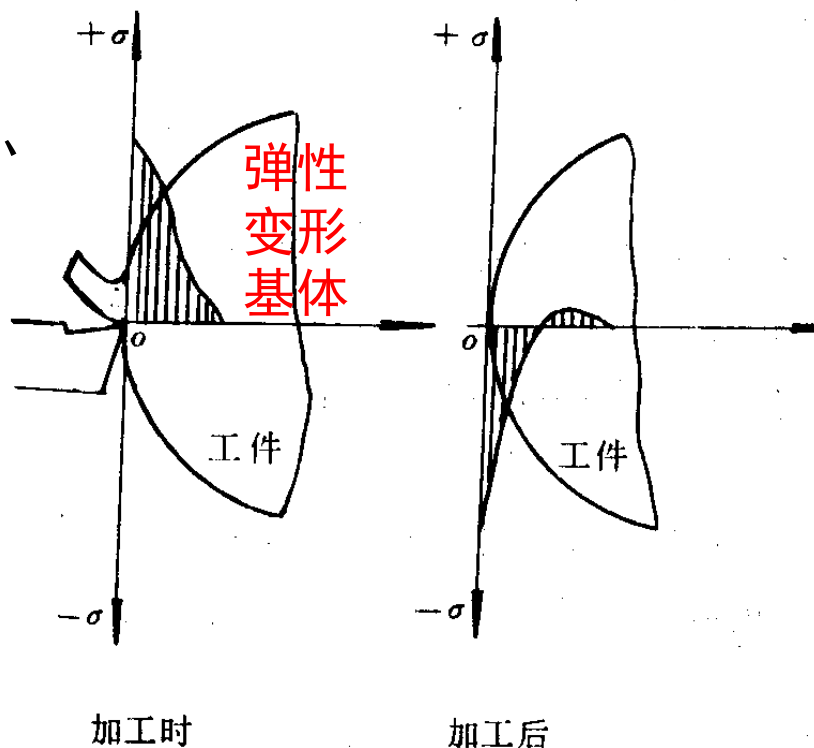
切削和磨削加工中，加工表面层材料组织相对基体组织发生形状、体积变化或金相组织变化时，在加工后工件表面层及其与基体材料交界处就会产生相互平衡的应力，即表面层残余应力。



2、加工表面产生残余应力的原因

(1) 冷态塑性变形引起的表面残余应力

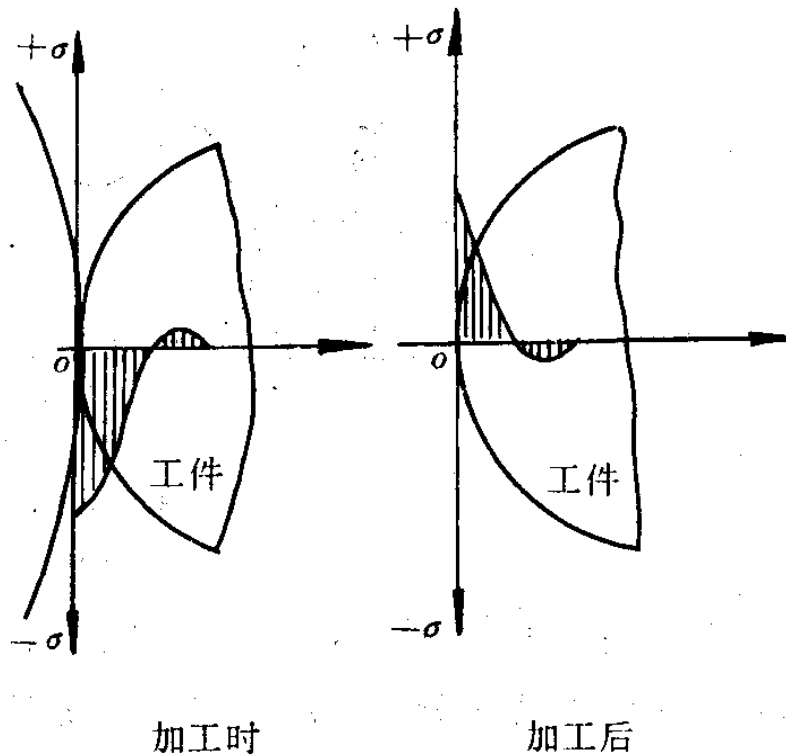
切削加工时，表面受到刀具挤压、摩擦，表面层产生伸长塑性变形



加工后，基体趋于弹性恢复，但受到已产生塑性变形的表面层金属牵制

(2) 热态塑性变形引起的表面残余应力

磨削加工时，表面在磨削热作用要产生膨胀，但是基体温度较低，阻碍其膨胀，表面产生热压应力



加工后，表面温度下降出现收缩倾向，受到里层材料牵制

(3) 金相组织变化引起的表面残余应力

金相组织的变化产生材料密度的变化，必然导致内应力的产生。

- 当表面层金属体积膨胀时，表层金属产生残余压应力，里层金属产生残余拉应力；
- 当表面金属体积缩小时，表层金属产生残余拉应力，里层金属产生残余压应力。

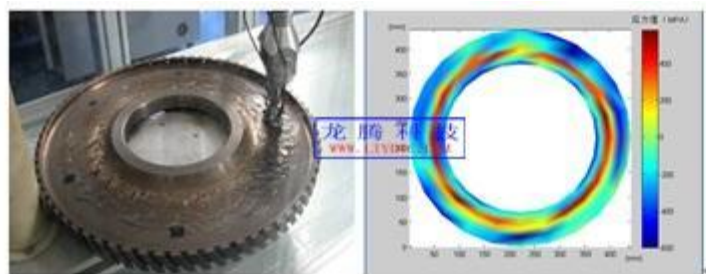


图3 齿轮齿根残余应力超声无损检测现场

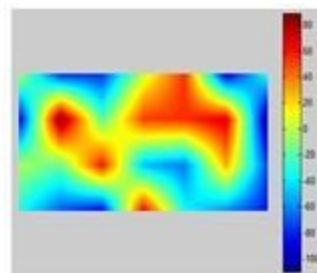
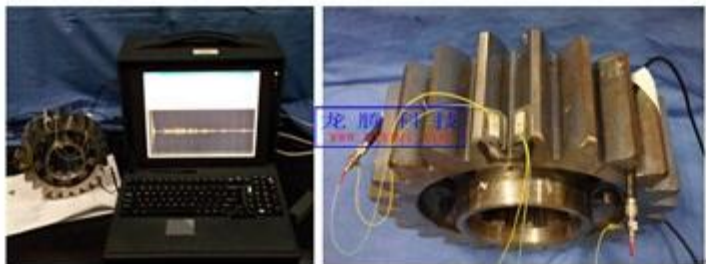


图1 N2310EM 型轴承内滚道残余应力分布

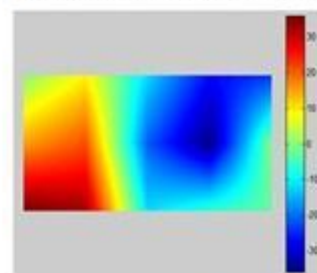


图2 32610H 型轴承外滚道残余应力分布

超声波残余应力检测仪

3、减小残余拉应力措施

- (1) 提高冷却效果
- (2) 改善砂轮的磨削性能
- (3) 选择合适的加工用量

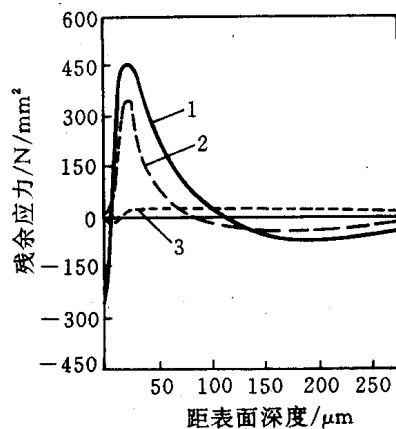


图 5-18 磨削切深对残余应力的影响

曲线 1——切深 0.05mm/行程； 曲线 2——切深 0.025mm/行程； 曲线 3——低残余应力

①采用小的切深

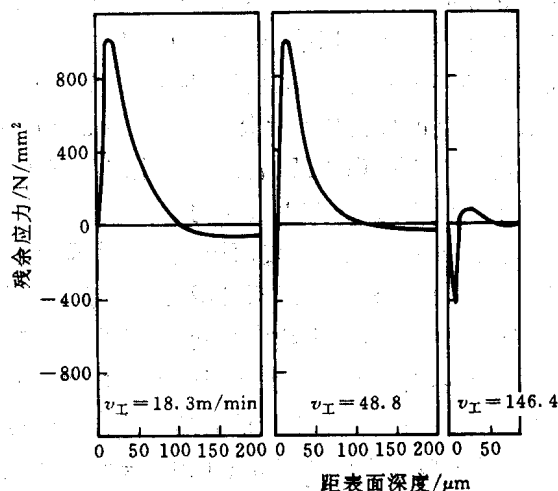


图 5-17 工件速度对残余应力的影响

②提高工件速度

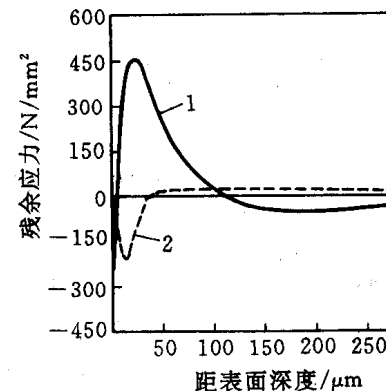


图 5-19 砂轮速度对残余应力的影响

曲线 1—— $v = 30\text{m/s}$ ； 曲线 2—— $v = 10\text{m/s}$

③降低砂轮速度，
但影响加工效率

第六节 机械加工振动及抑制振动的途径

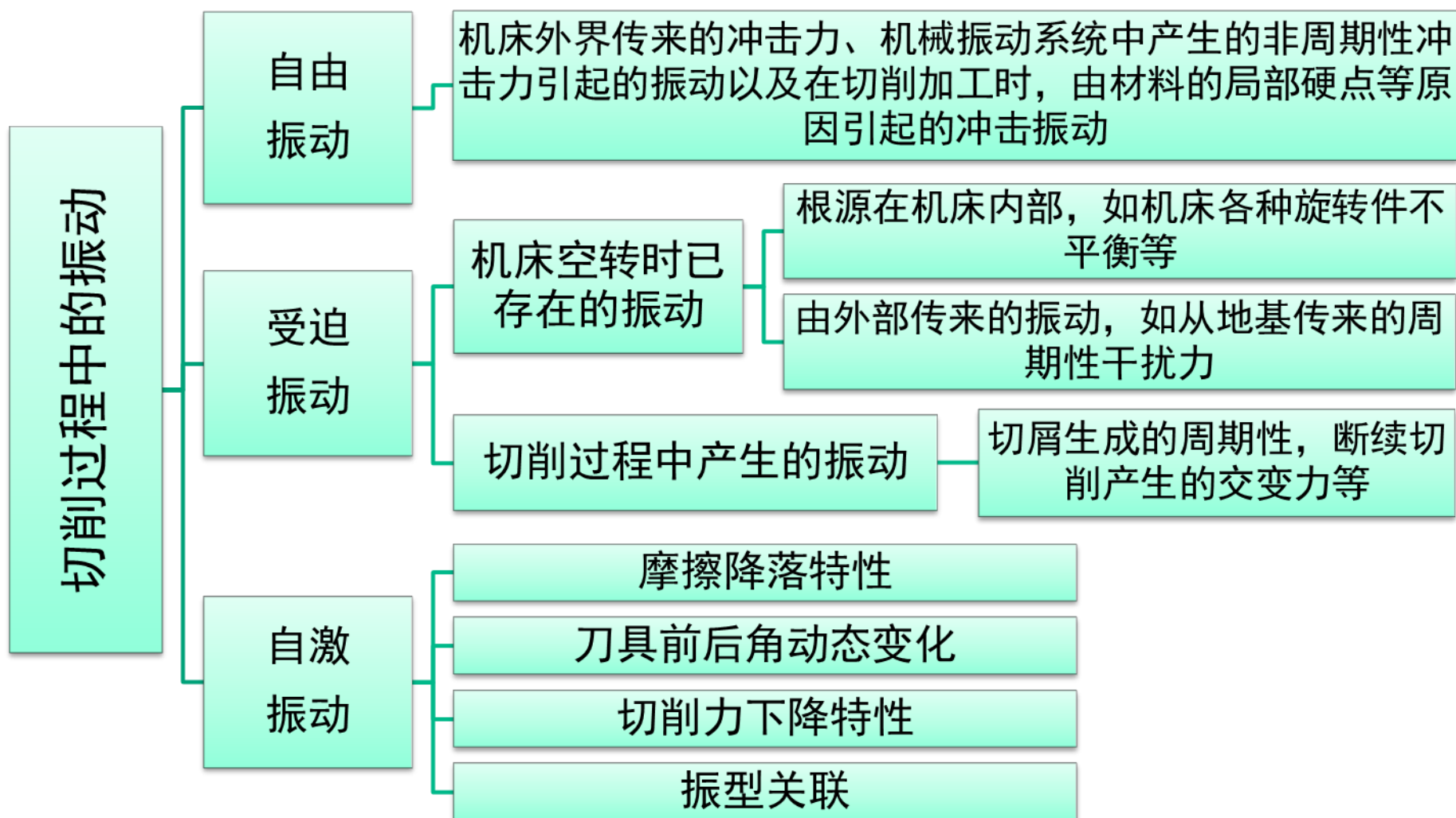
Part 6 The vibration during mechanical manufacturing and its suppression

机械加工中的振动对于加工质量和生产效率有很大影响，通常来讲是十分有害的。

随着机械加工研究深入，对切削机理得到这样的观点：即在切削过程中，切屑不是根据刀尖与工件间的静力学关系形成，而是由连续地产生与一次冲击破坏机理相类似的动力学关系而形成的。

因此，发展了利用振动来更好地切削，如振动磨削、振动研抛、超声波加工等，都是利用振动来提高表面质量或生产率。

机械加工过程中产生的振动，按其性质可以分为：



自由振动

Free vibration

(1) 由偶然的干扰力引起，靠系统弹性恢复力维持的振动，会逐渐衰减，因此对机械加工影响不大。

Concept of Free vibration : When a structure vibrates without any externally applied forces, such as when it is pulled out of position, and then released.

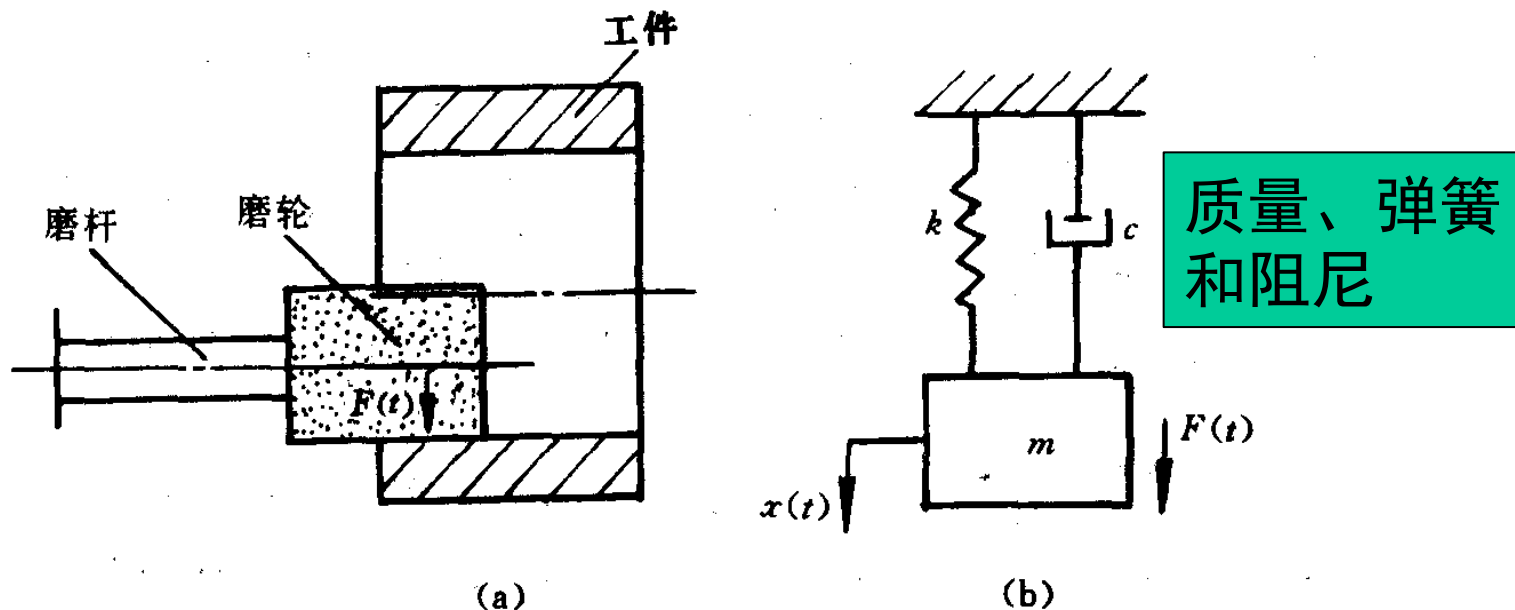


图 2-15 内圆磨削系统及其力学模型

(a) 内圆磨削示意图； (b) 简化力学模型

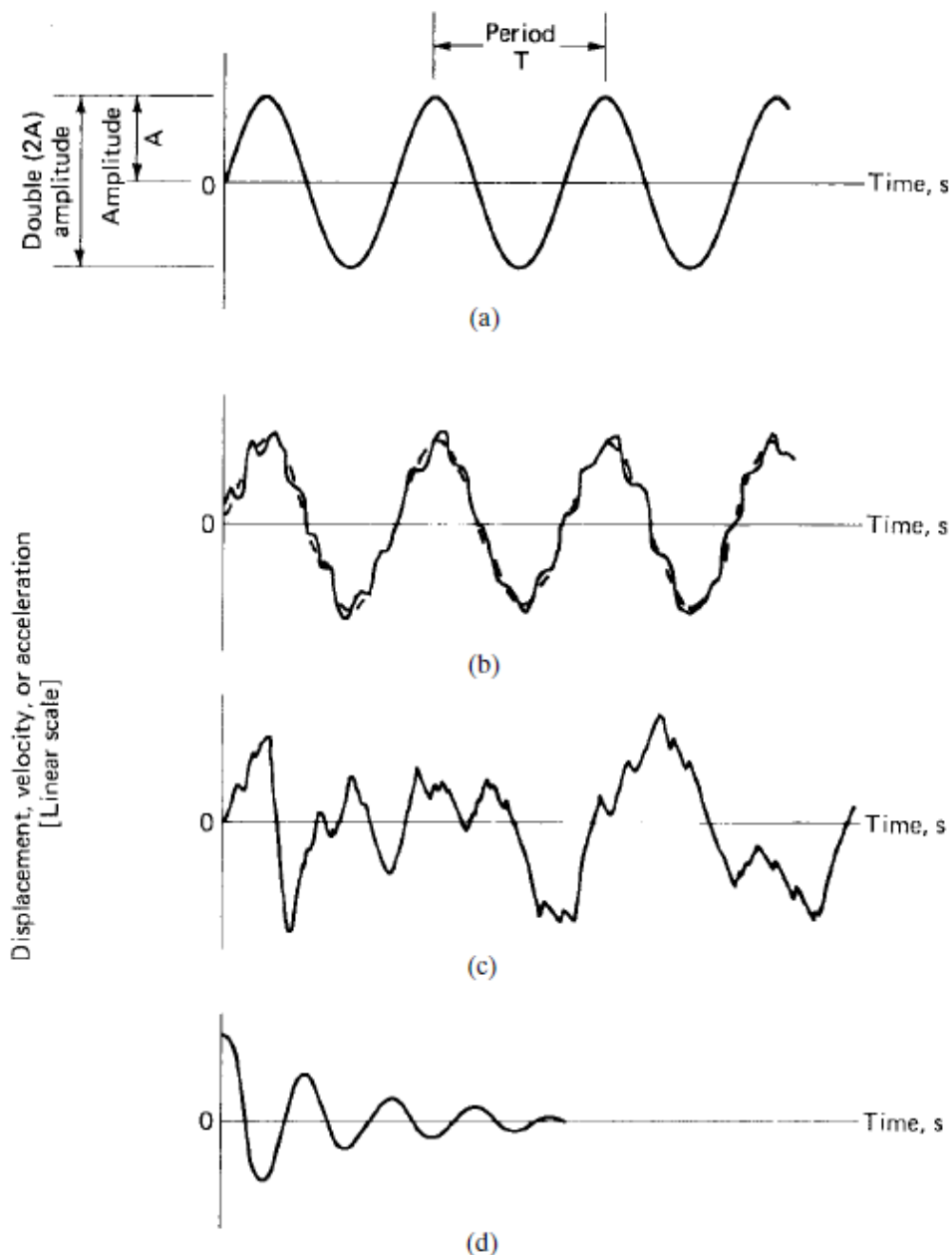
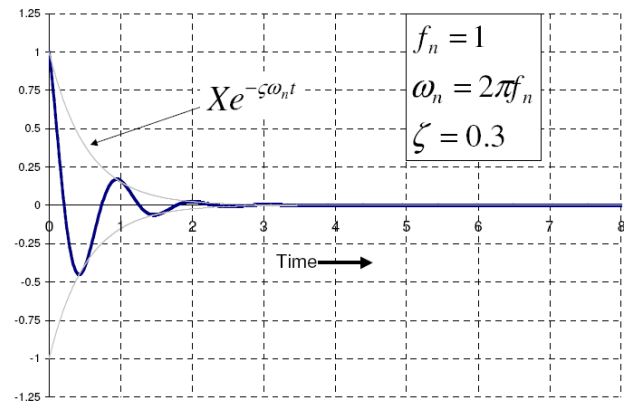
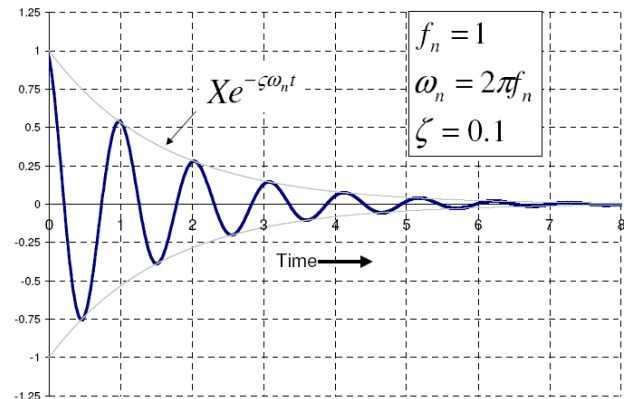
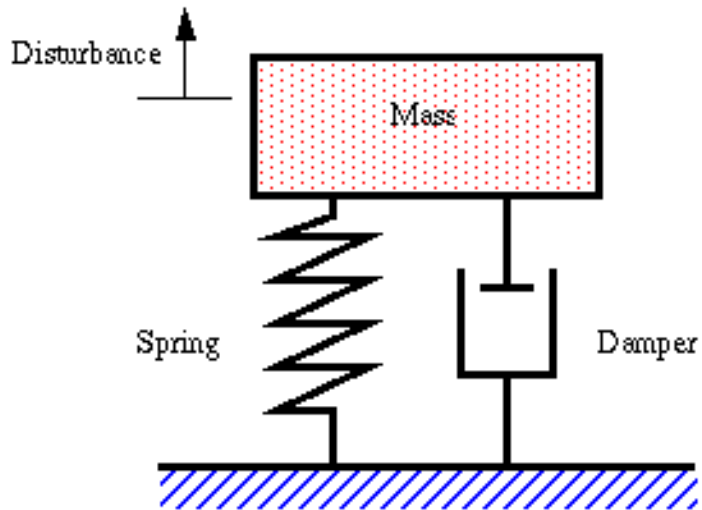


FIGURE 4.103 Typical vibration records: (a) steady sinusoidal or simple harmonic vibration; (b) steady multifrequency vibration; (c) irregular (nonperiodic) vibration; (d) decaying transient single-frequency vibration.

What is Damping (阻尼)



一、机械加工中的受迫振动

Forced vibration

受迫振动概念: 受迫振动（又称强迫振动）是由外界周期性干扰力作用而引起的振动。

Forced vibration: When a structure vibrates under the influence of an external force.



1、受迫振动特点

(1) 受迫振动是由周期性激振力引起的，不会被阻尼衰减掉，振动本身也不能使激振力变化。

(2) 在振动过程中，系统振动频率和激振力频率相同或者是它的倍数，易于识别与解决。

(3) 受迫振动的幅值和干扰力幅值和频率，以及系统的刚度和阻尼有关。它在很大程度上取决于干扰力频率与系统固有频率的比值 ($\lambda = \omega / \omega_0$)，当干扰力频率接近系统固有频率时 ($0.7 \leq \lambda \leq 1.3$)，会产生共振现象，导致受迫振动的幅值大幅度升高。

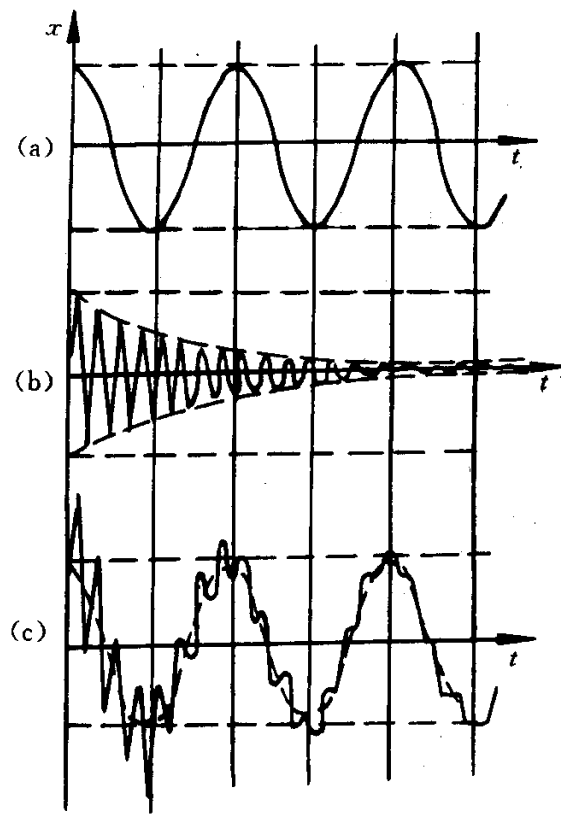


图 2-16 受迫振动的初时响应过程

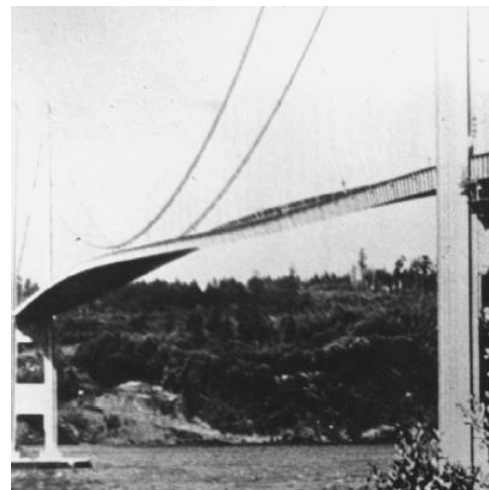
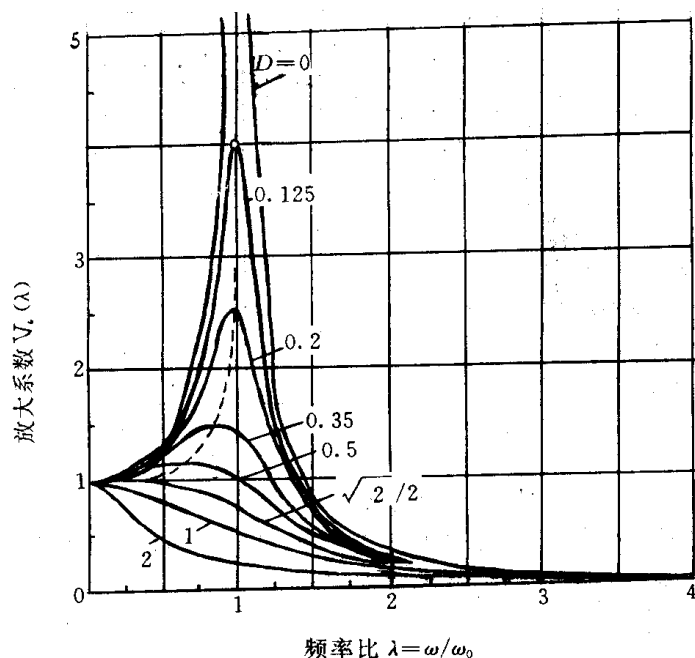
(a)受迫振动； (b)阻尼自由振动；

(c)受迫振动和阻尼自由振动的合成

受迫振动的幅—频曲线和共振 (Resonances) 现象

共振：当外激振力作用频率接近结构自振频率时，振动幅值大幅度增加的现象。

Resonances : The amplification of response that occurs under forced vibration when the period of the applied force is close to the natural period of the structure.



THE POWER OF RESONANCE CAN DESTROY A BRIDGE. ON NOVEMBER 7, 1940, THE ACCLAIMED TACOMA NARROWS BRIDGE COLLAPSED DUE TO OVERWHELMING RESONANCE.

受迫振动的产生原因

(1) 机床**内部振源**有：机床高速旋转件不平衡运动时产生周期性变化的干扰力；机床传动机构的缺陷、振动；切削过程冲击和往复运动部件的惯性力。

(2) 机床**外部振源**多半是由基地传给机床的。

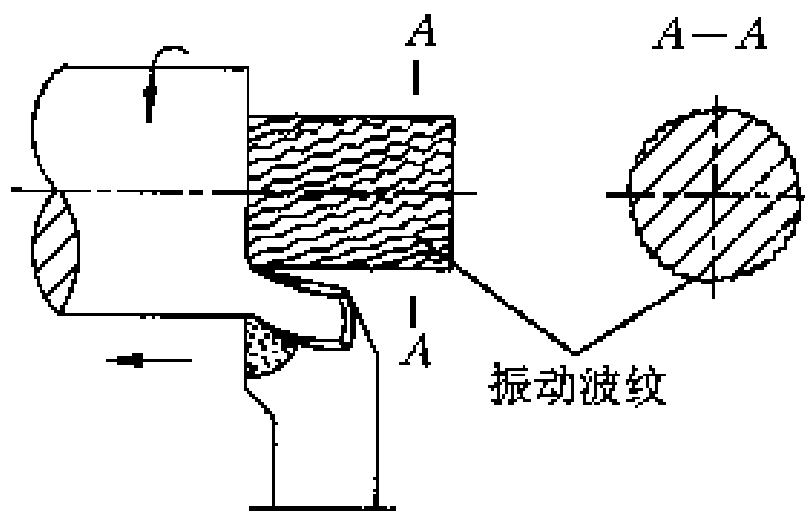
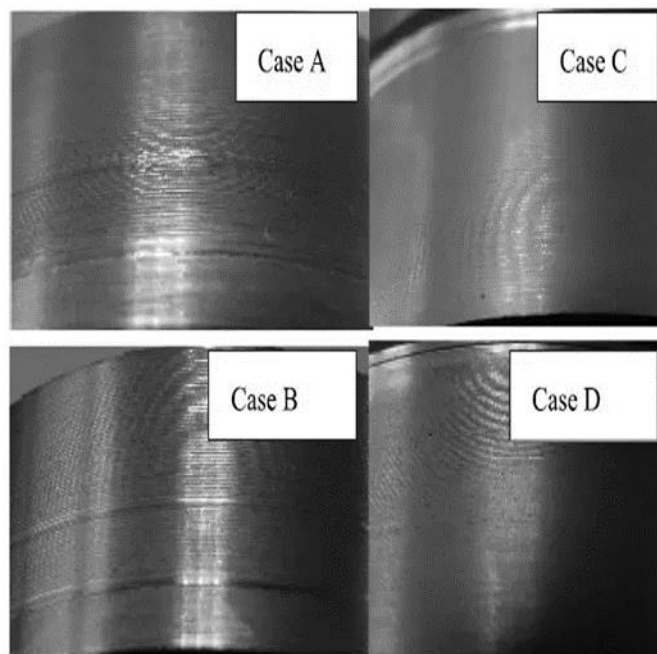


图 1-87 加工表面的振动波纹



2、减小或消除受迫振动的途径

(1) 消除或减小激振力

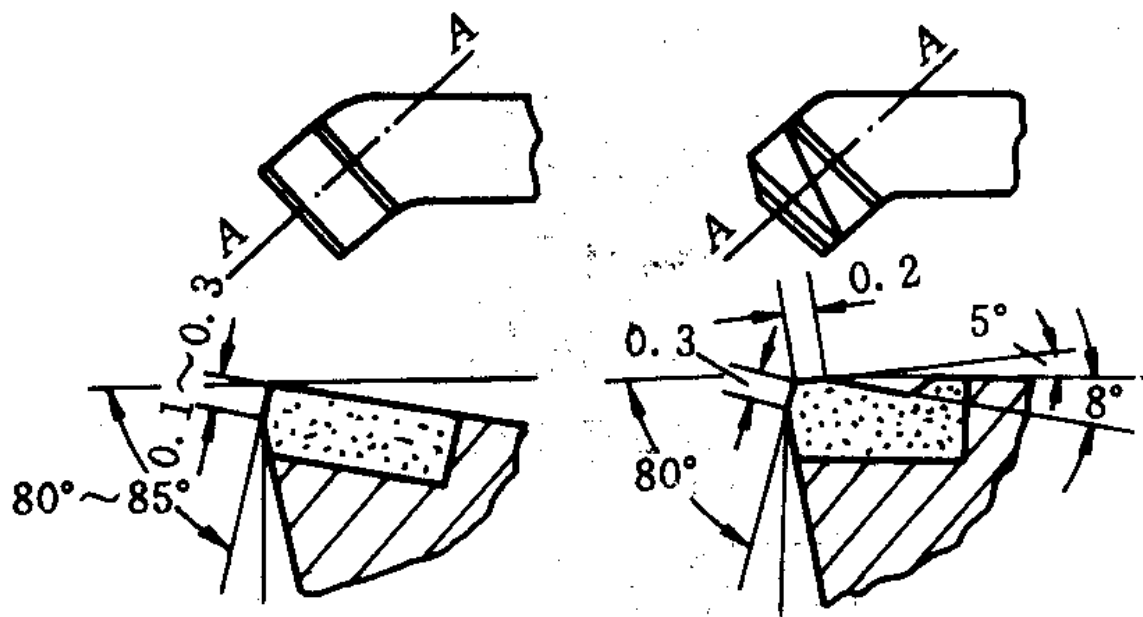
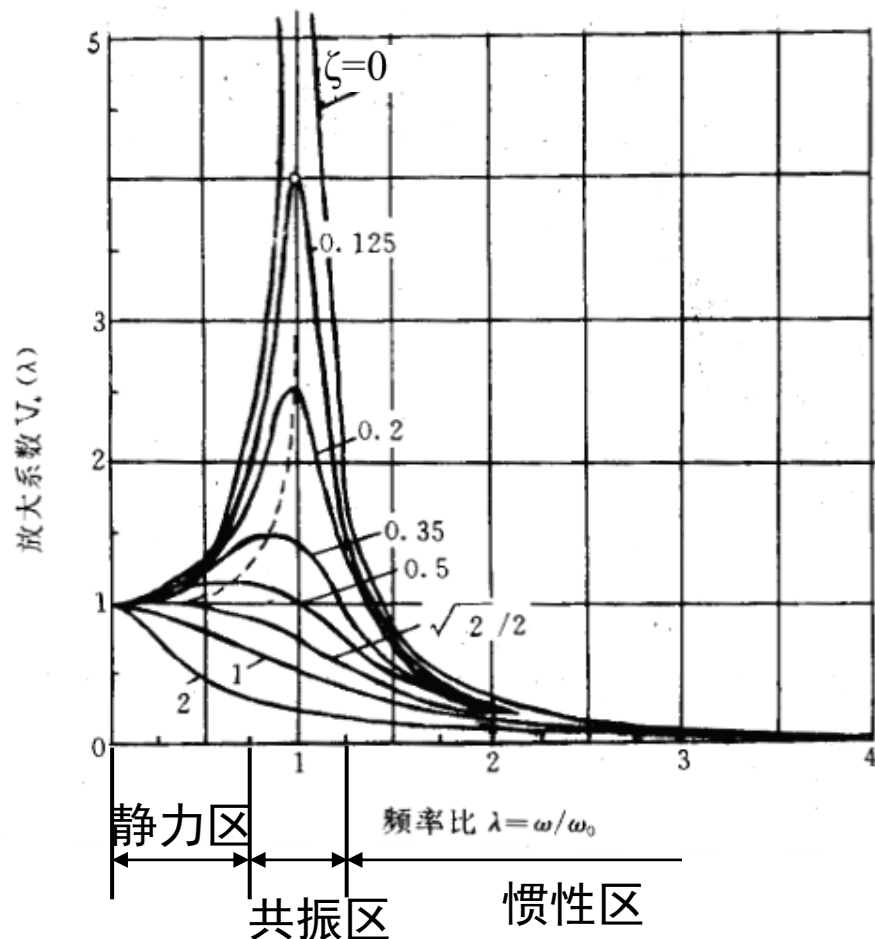


图 5-25 防振车刀

(2) 改善加工系统的动态特性

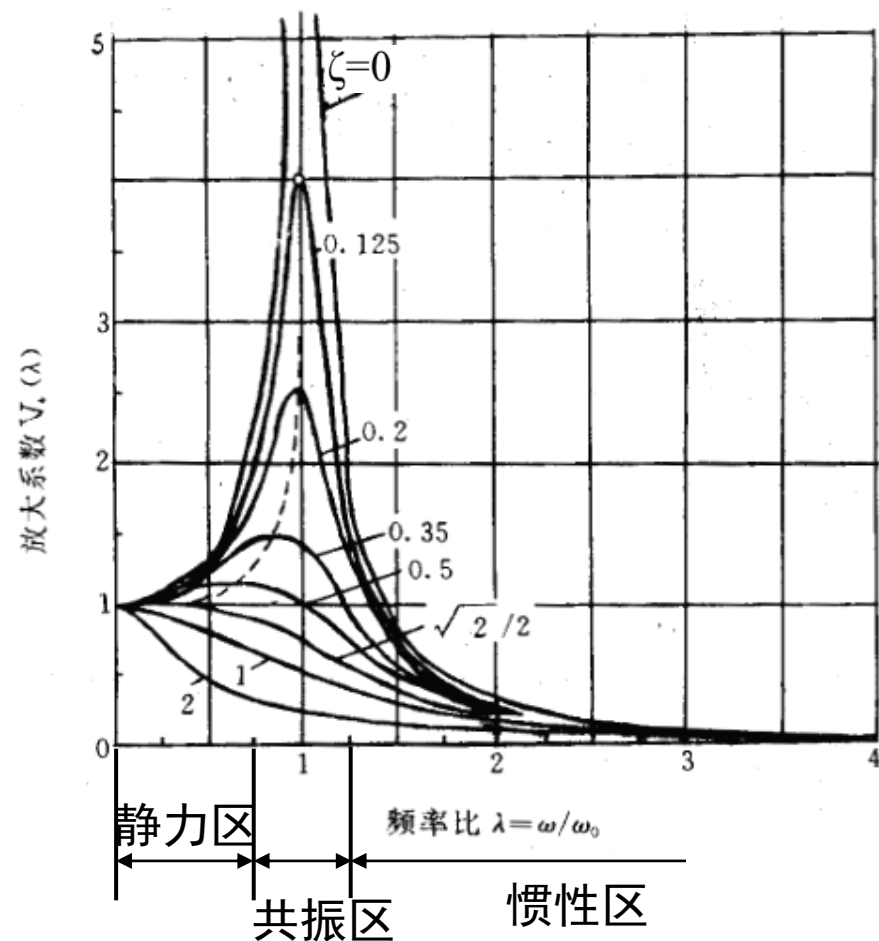
- 当激振力的频率很小 ($\omega=0$ 或 $\lambda=\omega/\omega_0 \ll 1$) 时, 振幅放大系数趋近于1, 此时的振幅相当于把激振力作为静载荷加载系统上, 使系统产生静位移。这种现象发生在 $0 \leq \lambda \leq 0.7$ 的范围, 称此范围为**准静态区**。

在该区内增加系统的静刚度即可减少振动。



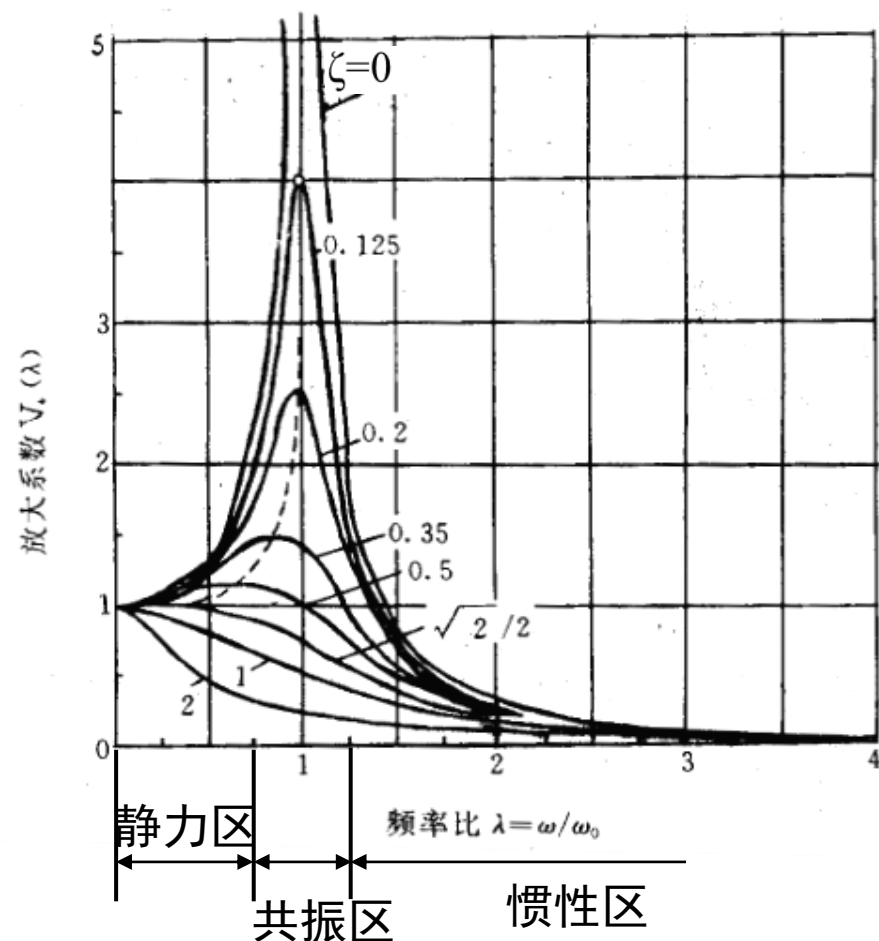
- 当激振力的频率增大时， λ 也逐渐增大，振幅迅速增大。
- 当 λ 接近或等于1时，振幅急剧增加，产生共振，将 $0.7 \leq \lambda \leq 1.3$ 的区域称为共振区。工程上通常把固有频率前后20%~30%的区域作为禁区以免共振。

改变系统固有频率、改变激振力的频率、提高阻尼比、增加静刚度等，均有消振的作用。



- 当激振频率增大到 $\lambda \gg 1$ 时，振幅放大系数趋近于0，振幅迅速下降，甚至振动消失。这表明振动系统的惯性跟不上快速变化的激振力，这个区域称为**惯性区**，范围为 $\lambda \geq 1.3$ 。

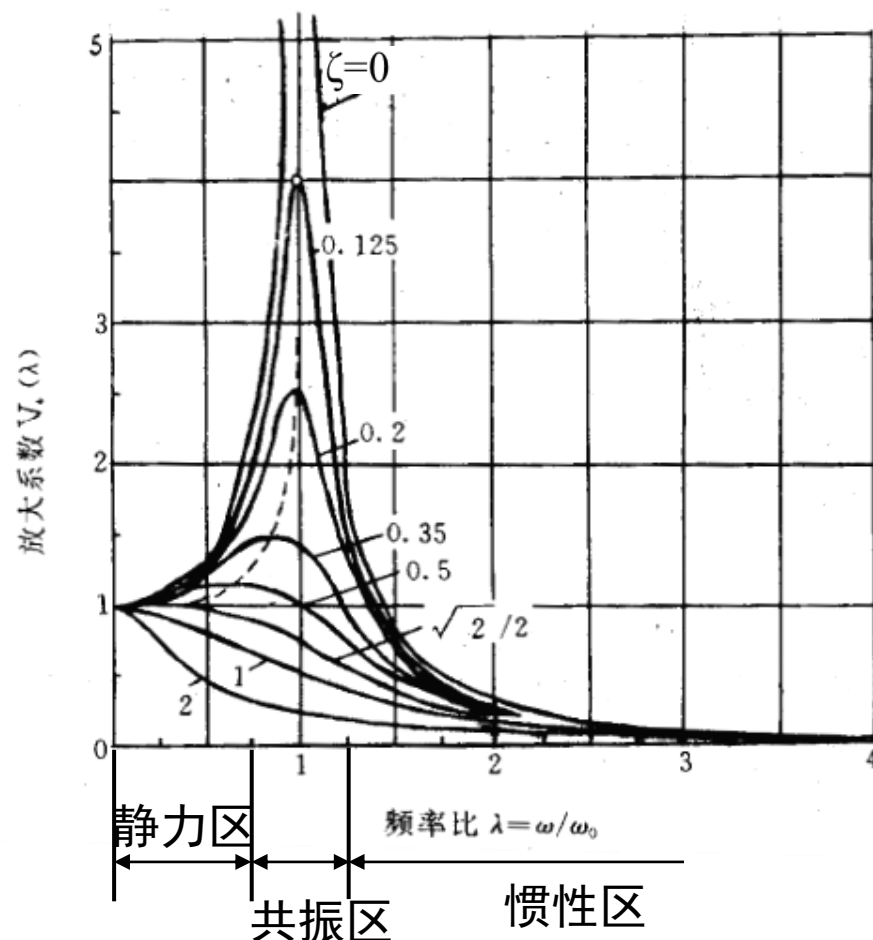
在惯性区内，阻尼的影响大大减小，系统的振幅小于静位移，并且可用增加系统的质量来提高系统的抗振性。



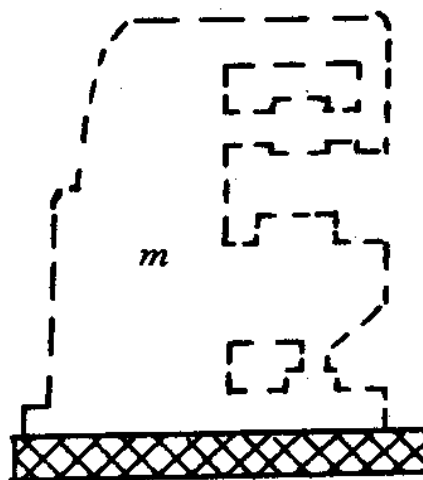
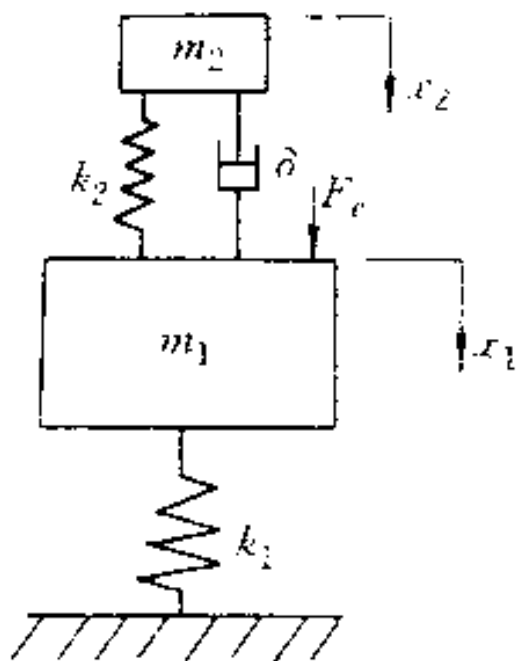
动刚度的概念：当系统在周期性动载荷作用下，交变力的幅值与振幅（动态位移）之比。

$$k_d = F/A = k\sqrt{(1-\lambda^2)^2 + (2\zeta\lambda)^2}$$

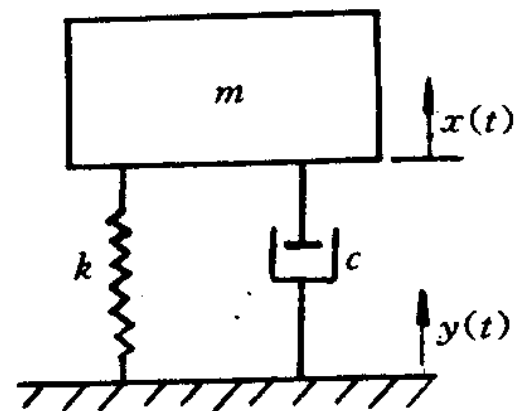
- 当激振频率 $\omega=0$ （即 $\lambda=0$ ）时，动载荷变为静载荷，且 $k_d=k$ ，系统产生静位移 A_0 ；
- 当 $\omega=\omega_0$ 共振时， k_d 出现最小值。在相同频率比的条件下，随着阻尼比 ζ 增大，系统的动刚度增大，则系统的抗振性增强。



(3) 采用减振和隔振装置



(a)



(b)

图 2-23 单自由度隔振系统

图 动力式减振器构造原理



机械垫铁

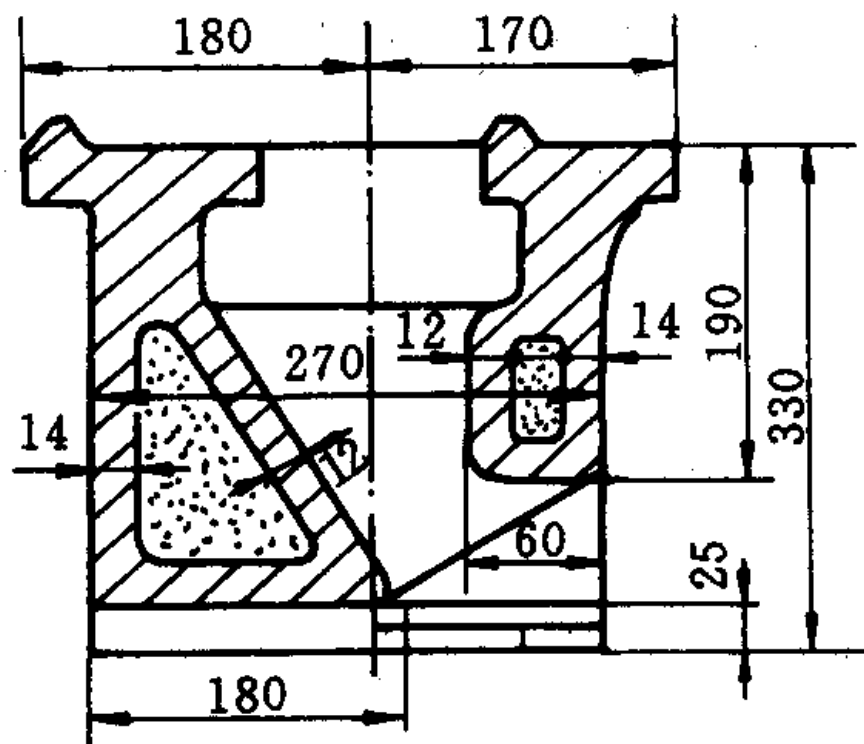


图 5-26 薄壁封砂床身

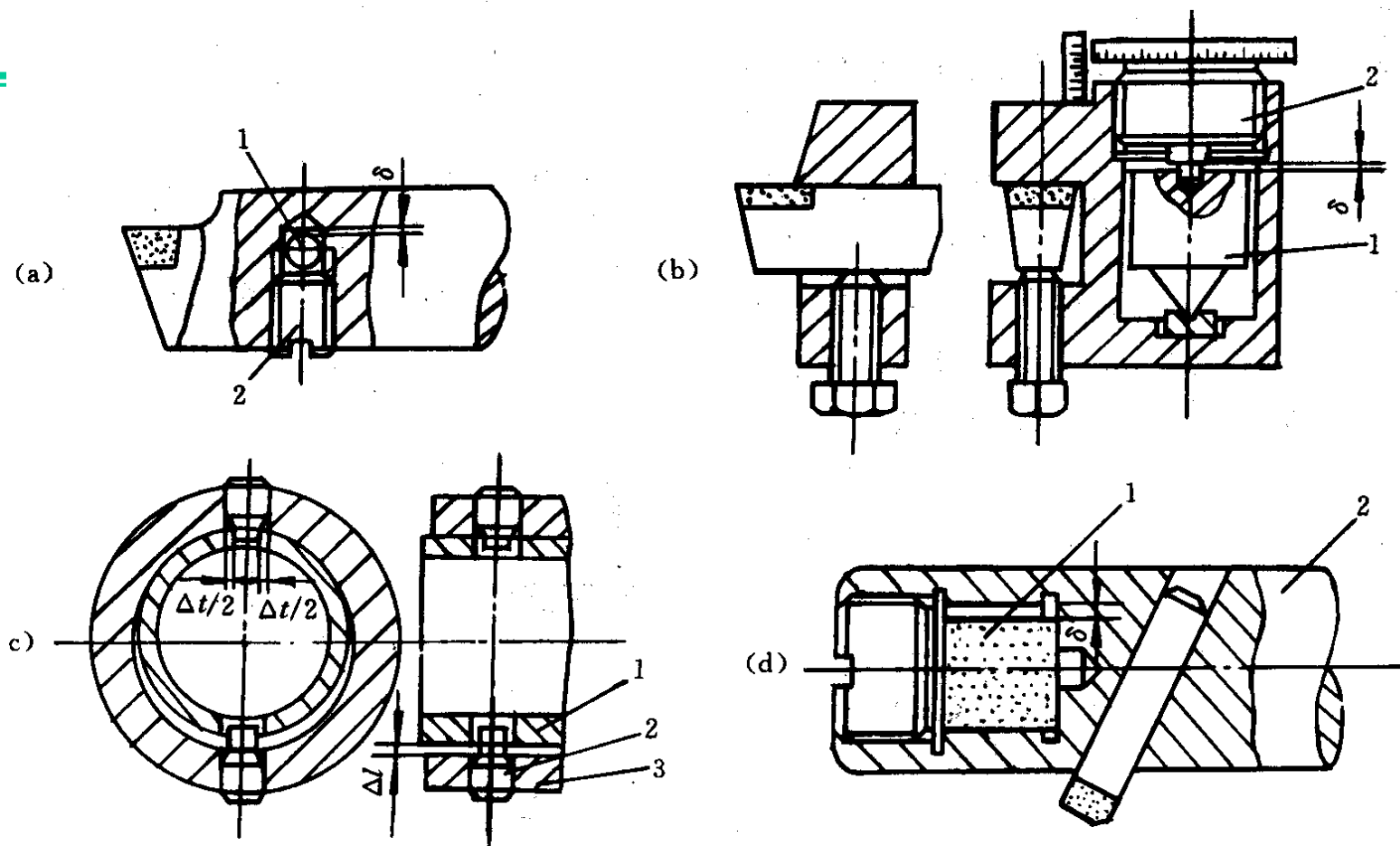


图 2-27 冲击减振器应用实例

(a) 冲击消振镗刀

1—冲击块； 2—螺塞

(b) 冲击消振车刀

1—冲击块； 2—螺塞

(c) 消除扭转振动和横向振动的冲击减振器

1—壳体； 2—碰钉； 3—冲击块

(d) 冲击减振镗杆

1—冲击块； 2—镗杆

二、机械加工中的自激振动

Self-excited vibration in mechanical manufacturing

自激振动概念和原理：自激振动是在加工过程中，在外界偶然因素激励下产生的振动，但维持振动的能量来自振动系统的本身，并与切削过程密切相关。切削停止后振动即消失，维持振动的激振力也消失。自激振动在加工过程中大量出现，有调查表明车床自激振动达65%，而受迫振动占30%。

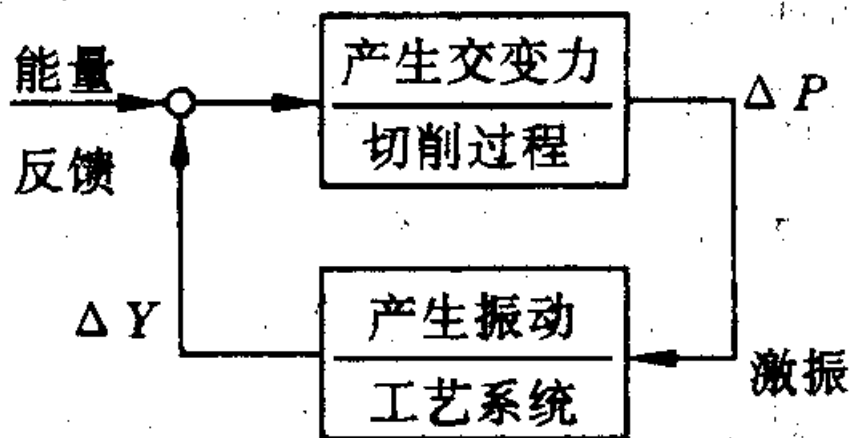
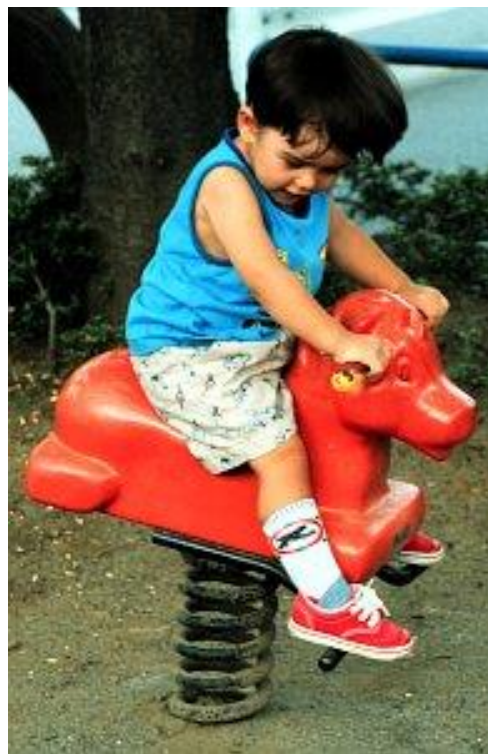
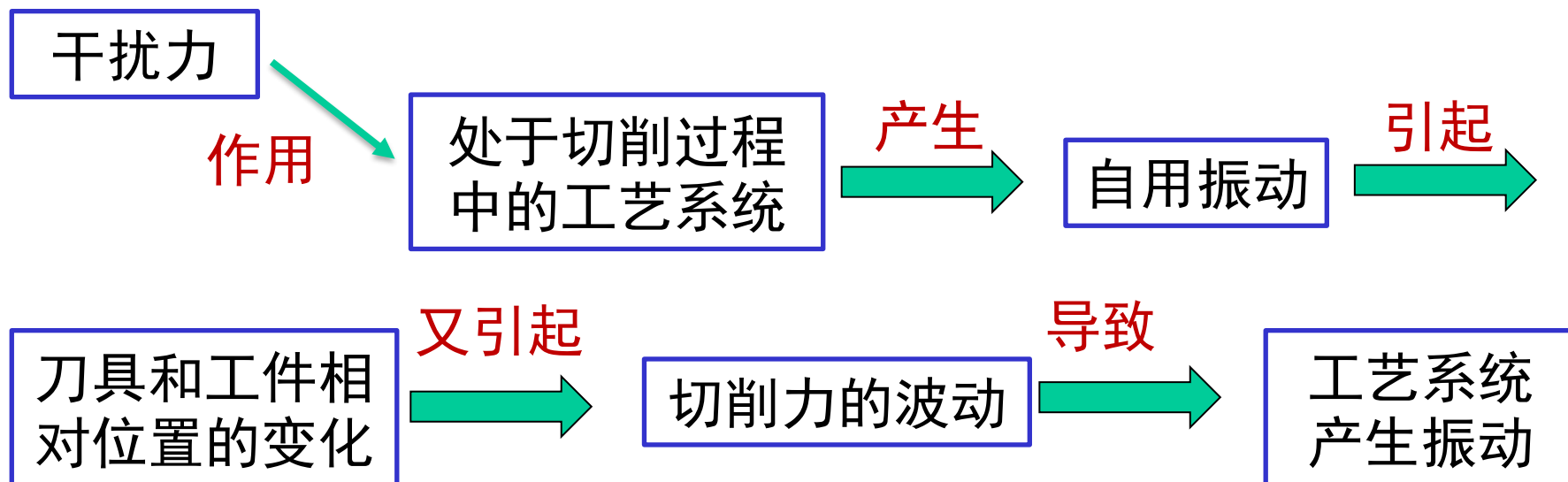


图 5-23 机床自激振动系统



自激振动的产生条件和特性

1、自激振动的产生



2、自激振动的组成

- 切削过程产生交变力 (ΔP) 使工艺系统产生振动位移(ΔY)
- 振动位移反馈给切削过程使切削力产生变化

一个闭环系统

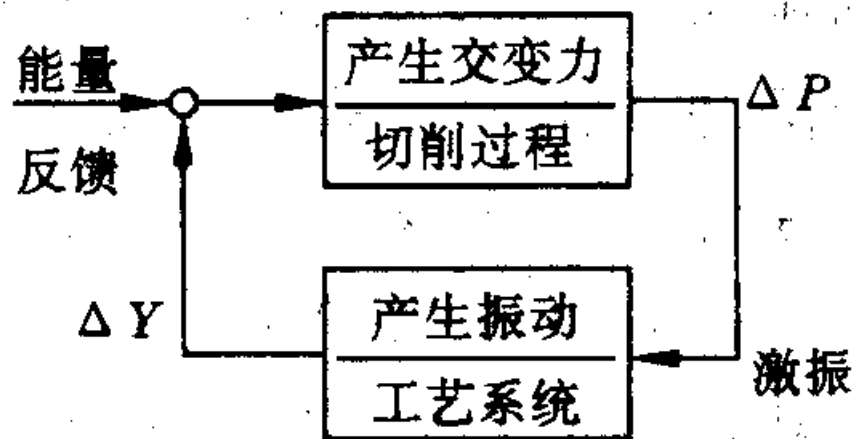


图 5-23 机床自激振动系统

自激振动特点

(1) 自激振动的形成与持续是由于加工过程本身产生的激振与反馈作用。外部振源在最初起触发作用，但**维持振动的能量来自振动系统的本身**。在切削过程中，停止切削运动，自激振动即停止。

(2) **自激振动频率一般接近于加工系统薄弱环节固有频率**，和机床加工系统的固有特性关系密切。

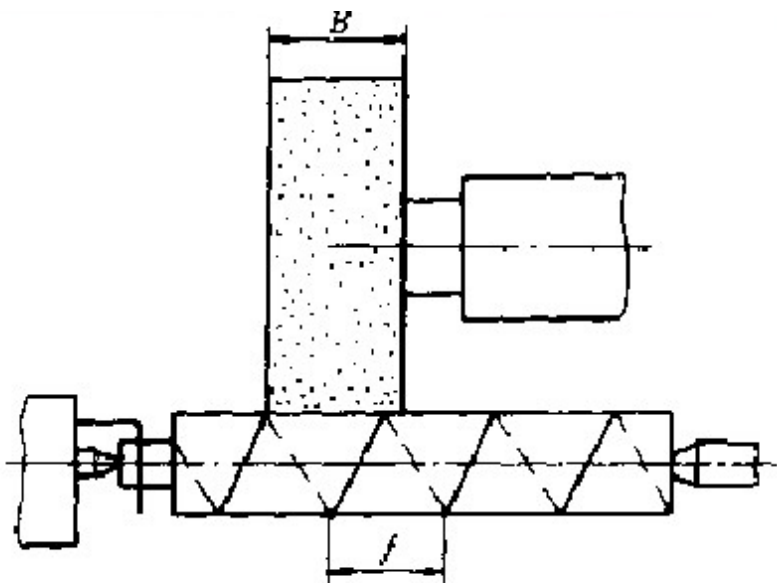
(3) 自激振动是否产生取决于一个振动周期内，输入振动系统的能量 E_+ 是否等于振动系统所消耗的能量 E_- 。**自激振动振幅大小和输入振动系统的能量多少关系密切**。如果吸收能量大于消耗能量，则振动会不断加强；如果吸收能量小于消耗能量，则振动将不断衰减而被抑制。

自激振动机理

1、再生颤振机理

Principle of regenerative chatter/flutter

在机械加工过程中由于刀具进给量一般不大，刀具必然与已切过的上一转表面接触，即产生重叠切削。

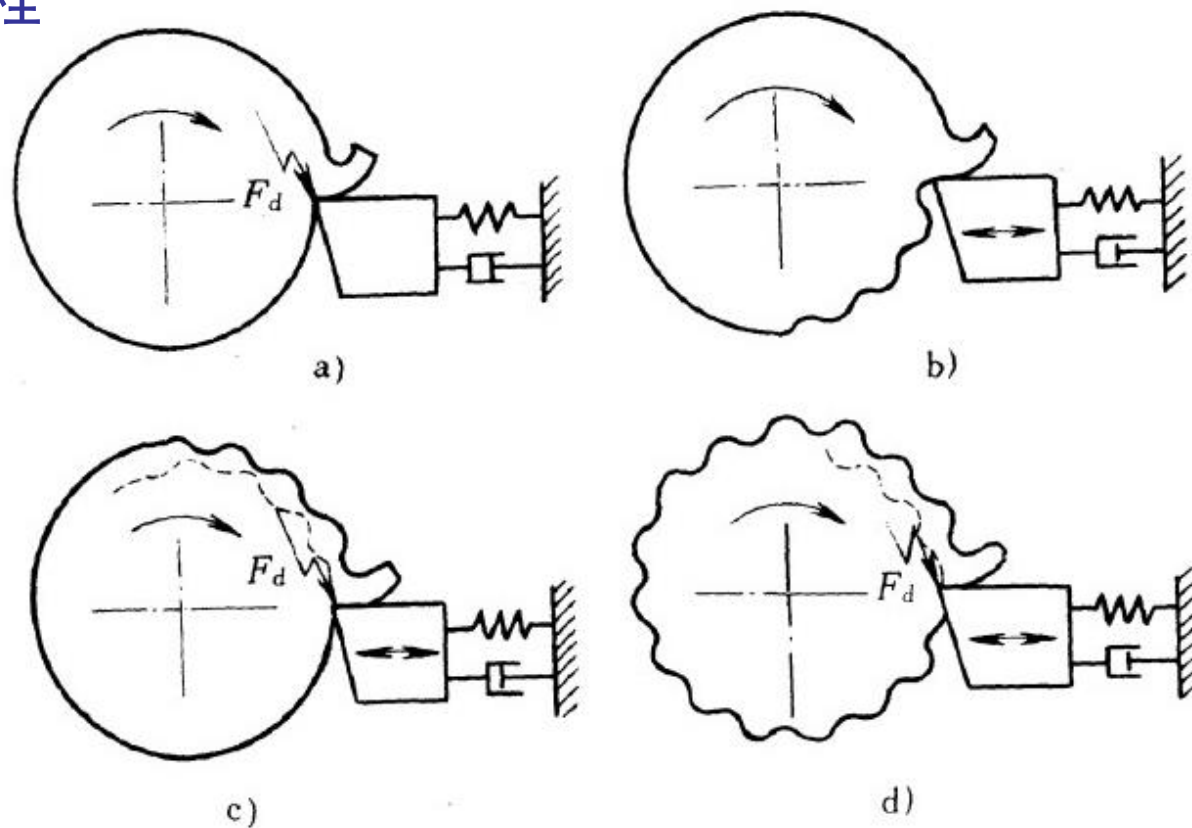


磨削时重叠切削示意图

设砂轮宽度为 B ，工件进给量为 f ，工件前后相邻两转的磨削区有重叠部分，其大小用重叠系数表示：

$$\mu = \frac{B-f}{B} \quad (0 \leq \mu \leq 1)$$

再生颤振产生过程



再生型颤振的产生过程

切削到重叠部分的振纹使切削厚度发生变化，从而引起切削力的周期改变，使刀具产生振动，在加工表面上留下新的振纹，这个振纹又影响到下一转的切削，从而引起持续的再生颤振。

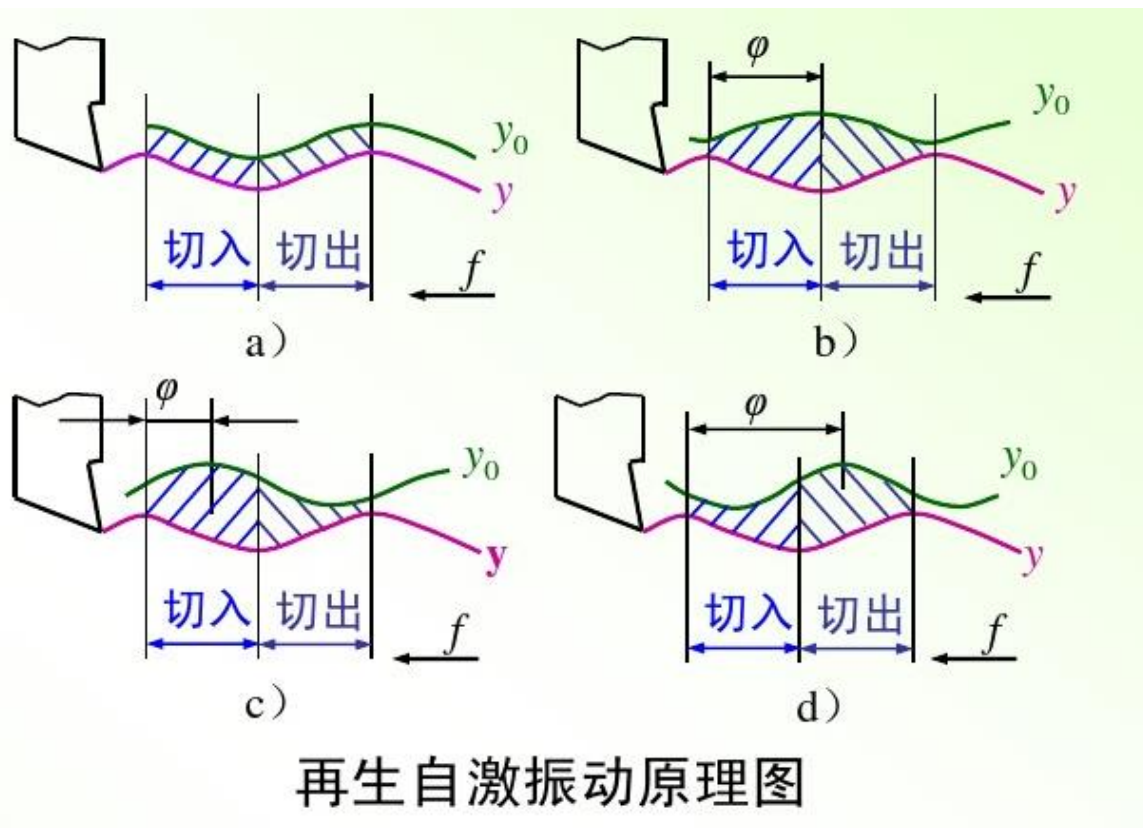
切入阶段，做负功，振动能量消耗在切削过程中；
切出阶段，做正功，切削过程部分能量输入到刀具振动系统中。



能量大小与切削力大小成正比



切削厚度越大切削力越大



所以，当切入阶段的切削厚度小于切出阶段的切削厚度，振动系统被输入的能量大于消耗能量，系统将产生再生颤振现象。

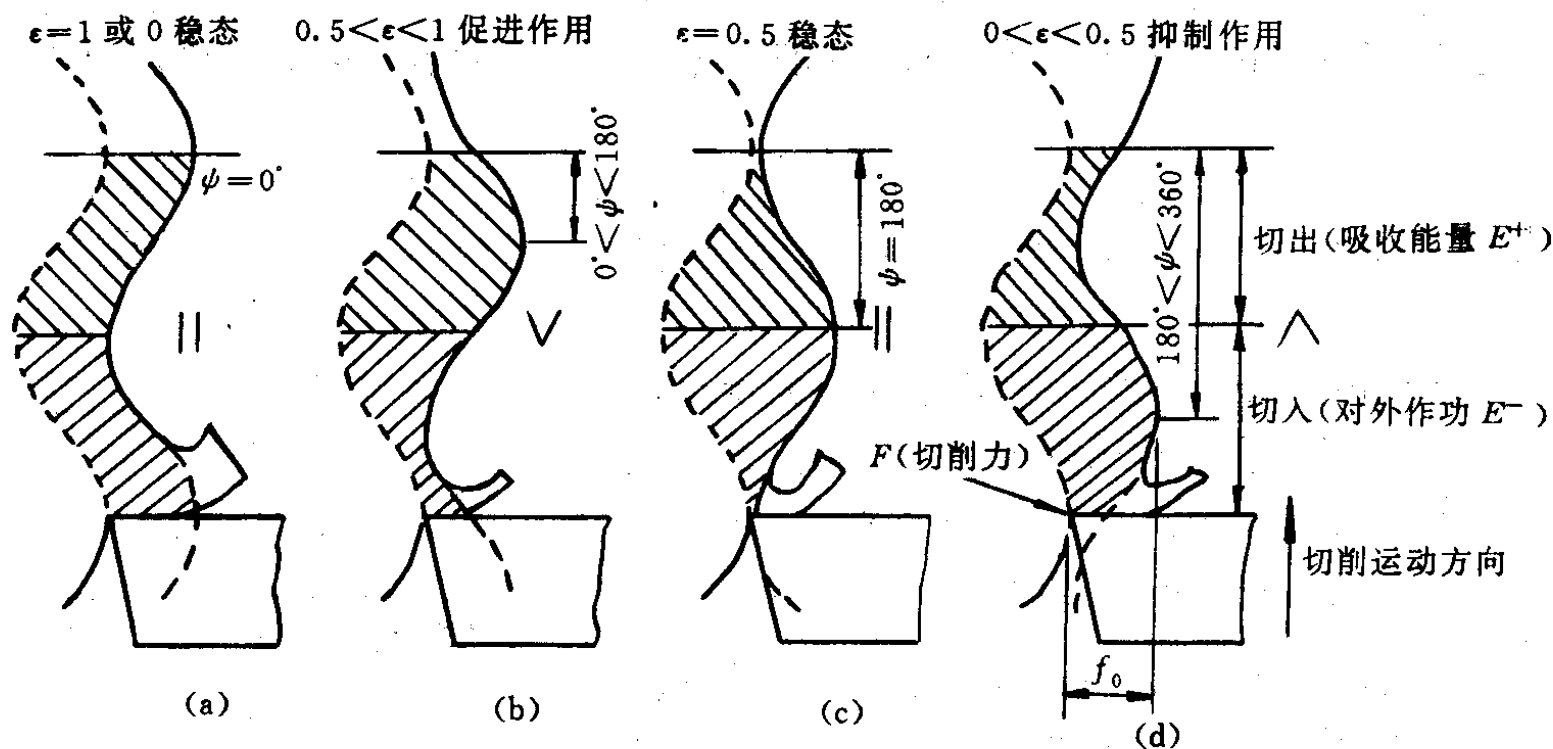


图 2-34 相位差 ψ 与振动系统能量关系

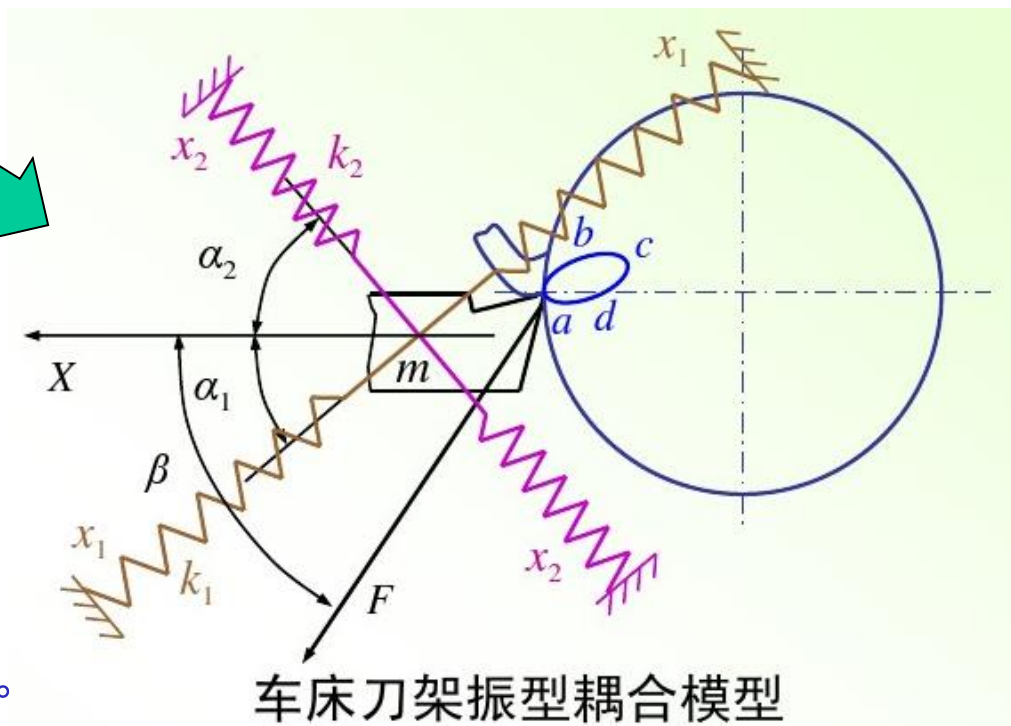
- a) 相位差为 0 ，切入与切出面积相等，系统无能量获得，不会产生颤振。
- b) 相位差 $0 \sim 180^\circ$ ，切入小于切出面积，系统有能量获得，产生颤振。
- c) 相位差为 180° ，切入与切出面积相等，系统无能量获得，不产生颤振。
- d) 相位差 $180^\circ \sim 360^\circ$ ，切入大于切出面积，系统无能量获得，不产生颤振。

2、振型耦合机理

Principle of coupled modes chatter/flutter

振动耦合理论是将工艺系统看做是两个自由度的振动系统

将车床刀架简化为两自由度振动系统，等效质量 m 用相互垂直的等效刚度分别为 k_1 、 k_2 两组弹簧支撑



a) $k_1=k_2$ ，轨迹为直线，无能量输入。

b) $k_1 < k_2$ ，轨迹 $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d$ 为一顺时针方向椭圆，切入半周期内的平均切削厚度比切出半周期内的小，系统有能量输入，振动能够维持。

c) $k_1 > k_2$ ，轨迹 $a \rightarrow d \rightarrow c \rightarrow b$ ，且切入半周期内的平均切削厚度比切出半周期内的大，系统无能量输入。

2、抑制自激振动的途径

(1) 改善工艺参数

适当增大刀具的主偏角 κ_r 和前角 γ

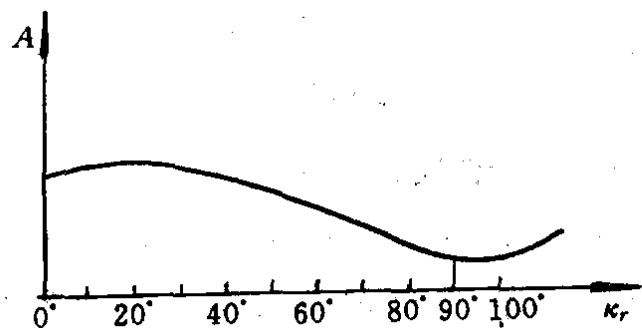


图 2-48 主偏角对振动的影响

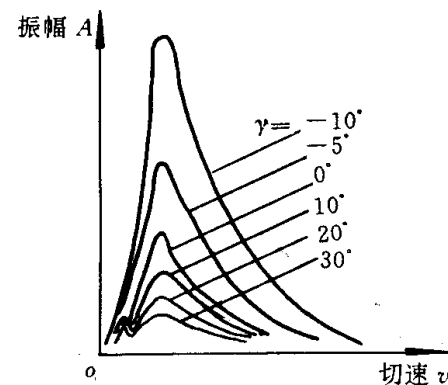
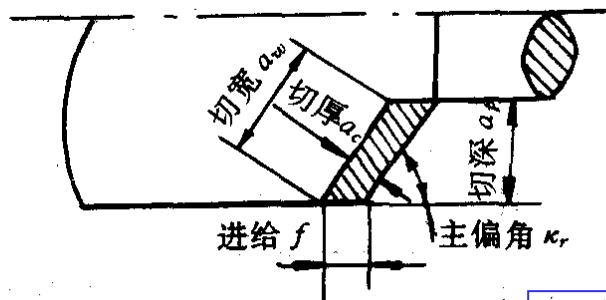


图 2-47 前角对振动的影响

后角取 $2^{\circ} \sim 3^{\circ}$ ，或磨出 $0.1 \sim 0.3$ mm的负倒棱

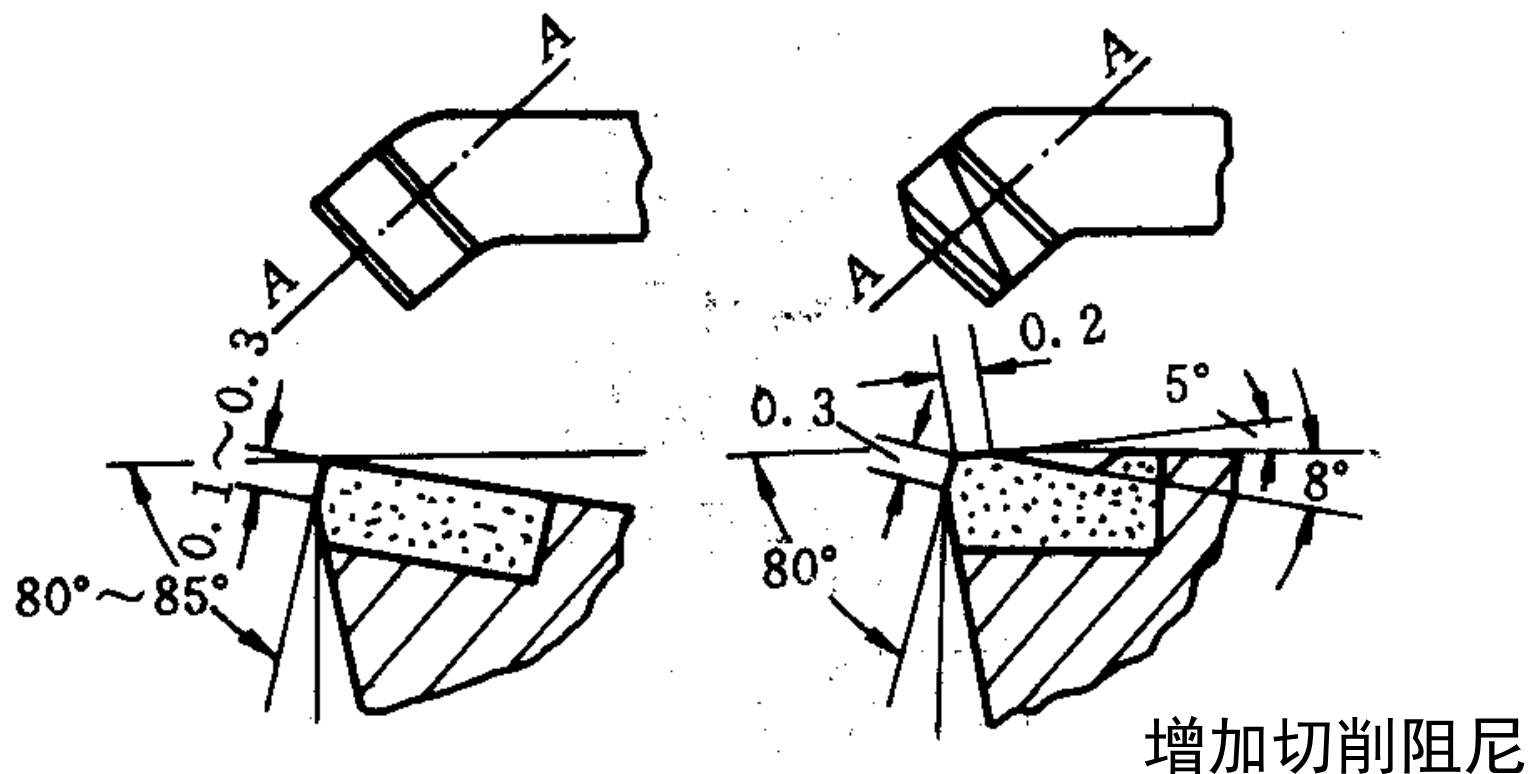
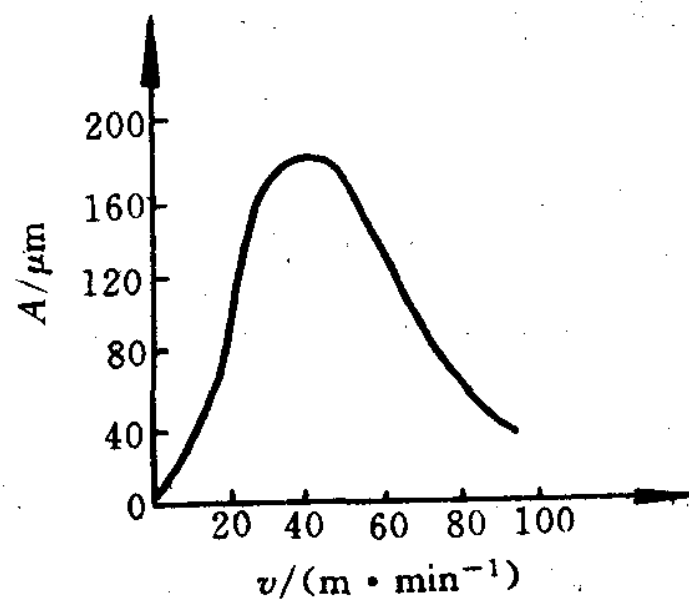
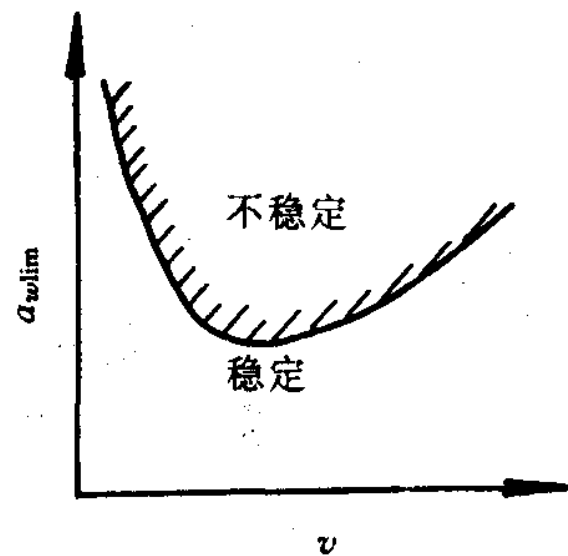


图 5-25 防振车刀

选择高速或低速切削（避开20~70 m/min）



(a)

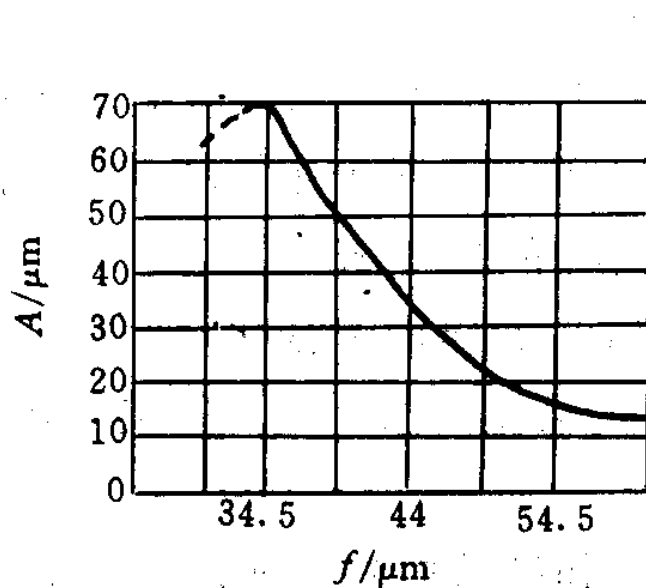


(b)

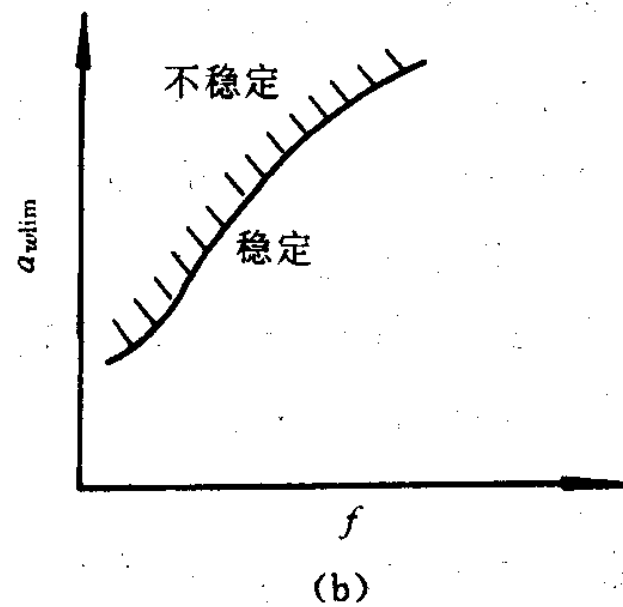
图 2-44 车削速度对切削稳定性的影响

(a) 切速 v 与振幅 A 的关系曲线； (b) v 与 $a_{w\text{lim}}$ 的关系曲线

f 的增加振幅减小



(a)



(b)

图 2-45 进给量 f 对切削稳定性的影响

(a) f 与 A 的关系曲线; (b) f 与 $a_{w\text{lim}}$ 的关系曲线

减小重叠系数 μ

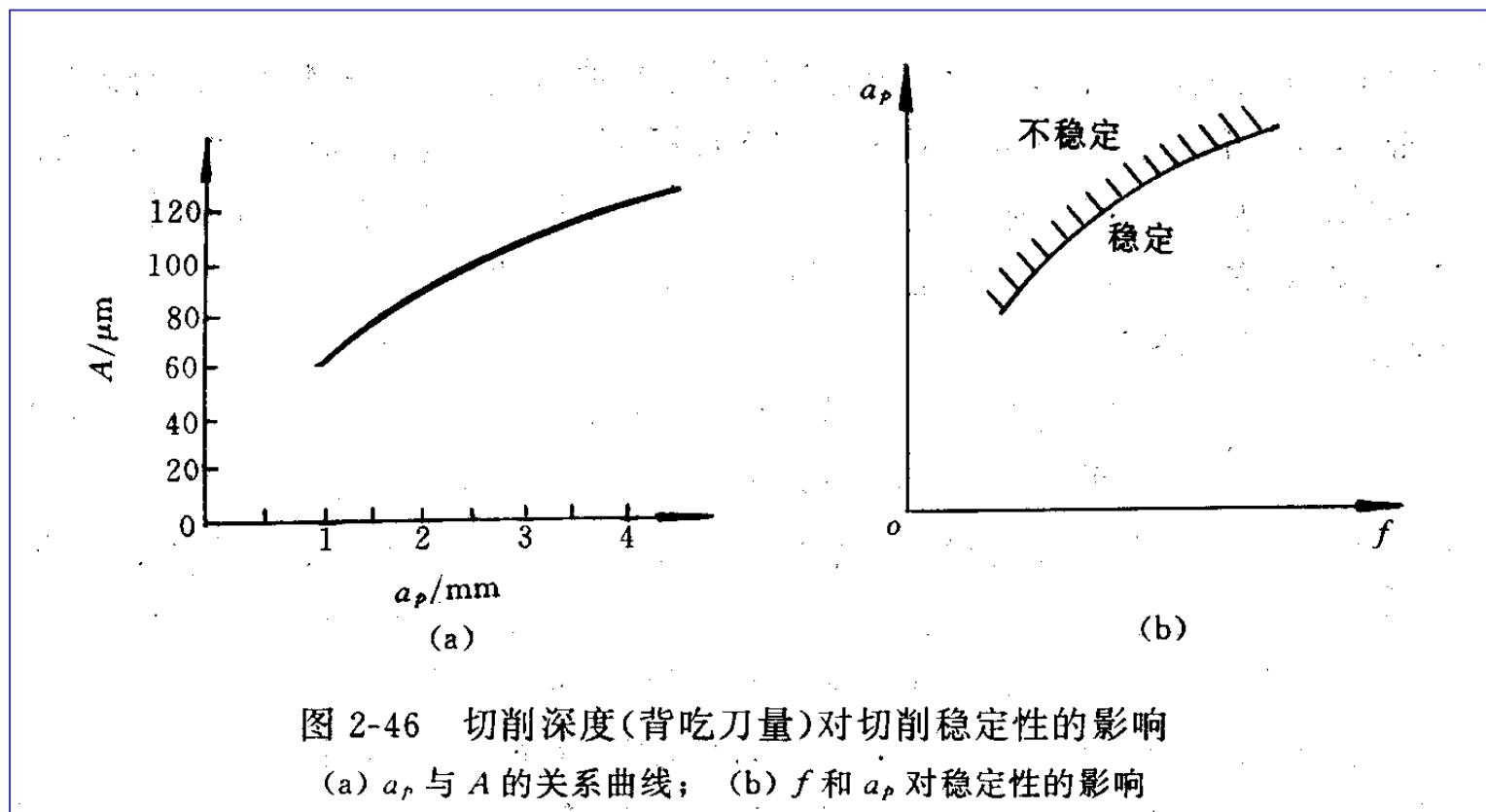
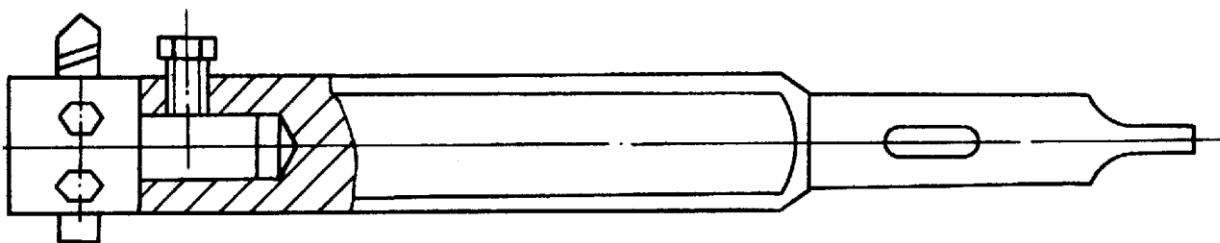


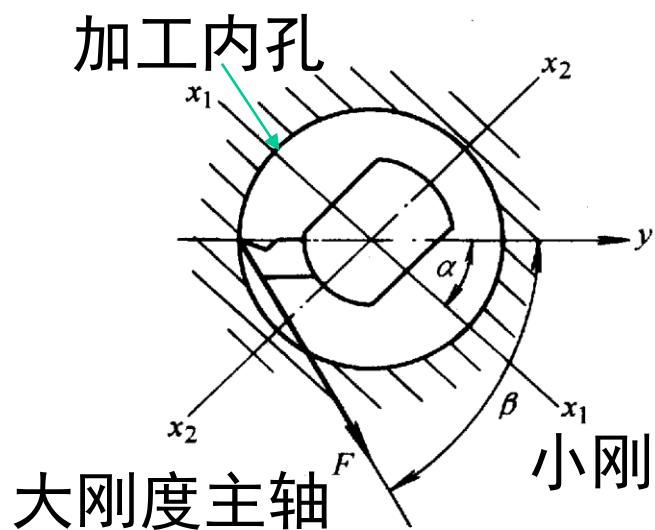
图 2-46 切削深度(背吃刀量)对切削稳定性的影响

(a) a_p 与 A 的关系曲线; (b) f 和 a_p 对稳定性的影响

(2) 改进系统结构: 提高系统的刚度和调整刚度轴方向

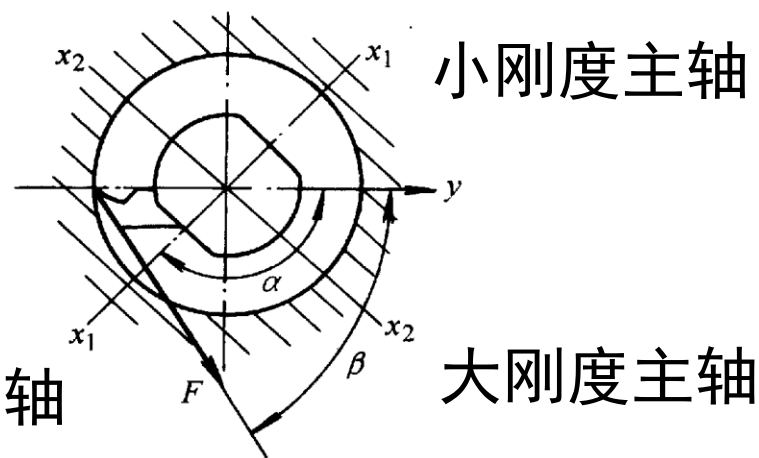


a)



b)

容易颤振



c)

削扁镗杆

(3) 采用减振装置

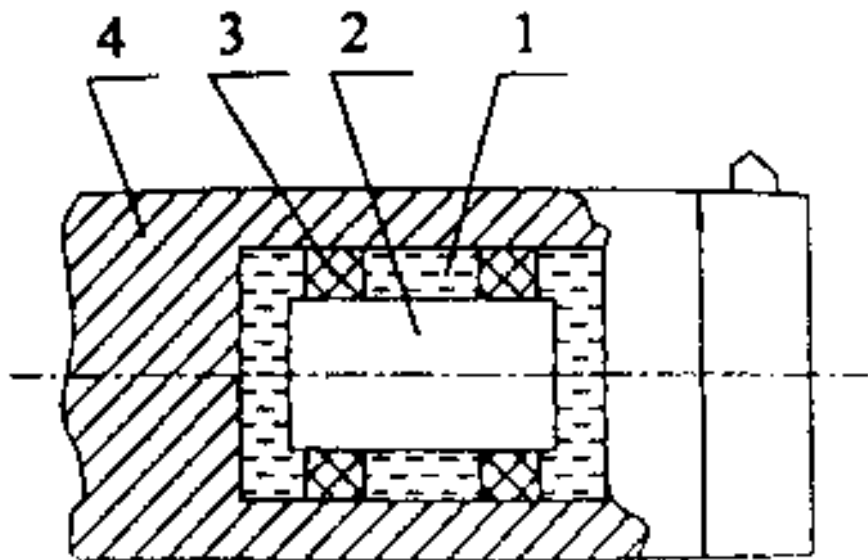


图 阻尼式消振镗杆
1—粘性机油；2—冲击块；3—
橡皮环；4—镗杆

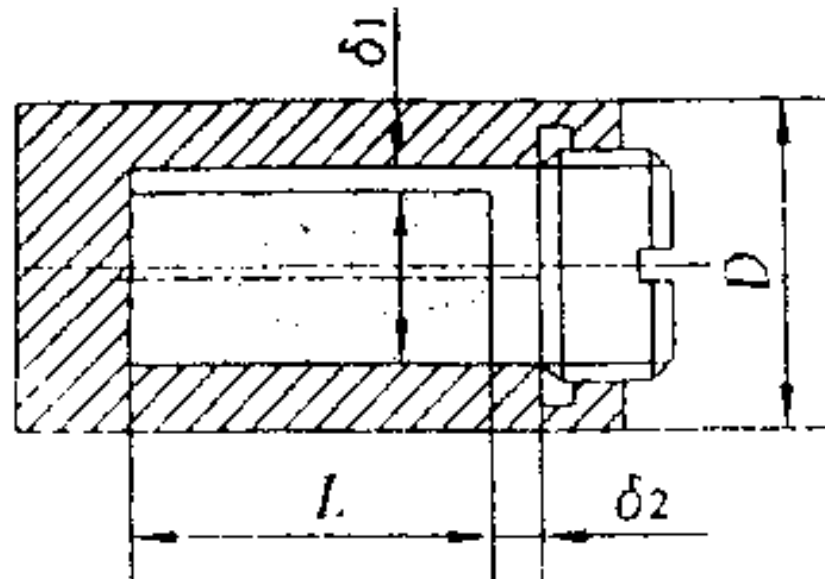


图 冲击式消振镗杆
1—镗杆；2—冲击块

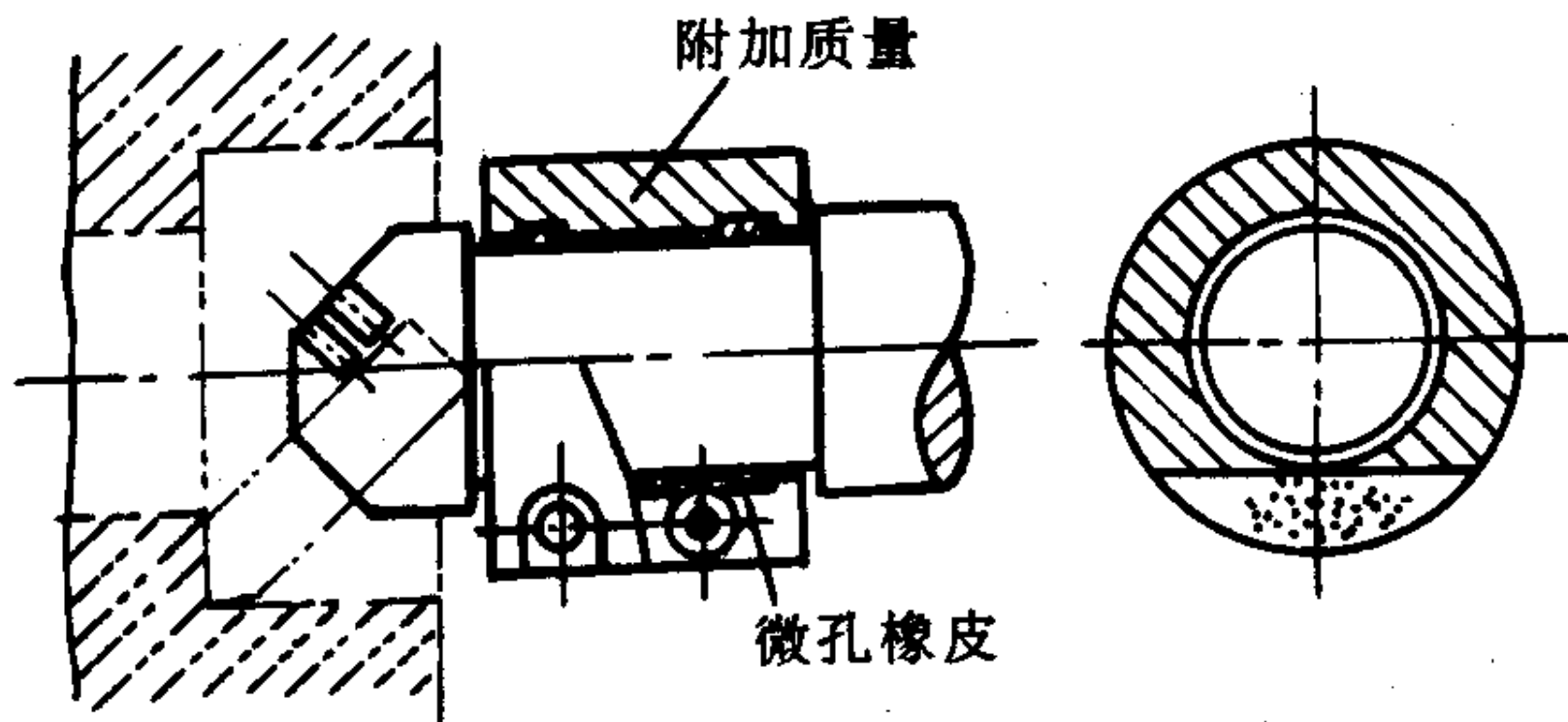


图 动力式减振镗杆

Thanks for your attention!

进入下一章节

船机制造工艺学

Shipping machinery manufacture process

教师：王静思

大连海事大学轮机工程学院

Lecturer: Jingsi Wang

Marine engineering college of DMU

第二章 零件的定位与机床夹具

Chapter 2 Theory of jig design for machine tool

内容回顾：

内容提要：

第一节 工件的定位原理

第二节 定位基准和定位元件

第三节 定位误差分析

第四节 工件的夹紧和夹紧机构

第五节 各类机床夹具

概述

Introduction to the machine tool jigs and fixtures

一、定位(Positioning/locating) 和夹紧(clamping)

(**定位**) 是指工件在加工前相对于机床和刀具占有正确的加工位置。

工件定位后，将工件固定，保证其在加工过程中位置不变，这个过程称为 (**夹紧**) 。

定位过程和夹紧过程两者的综合，即 (**装夹**) 。

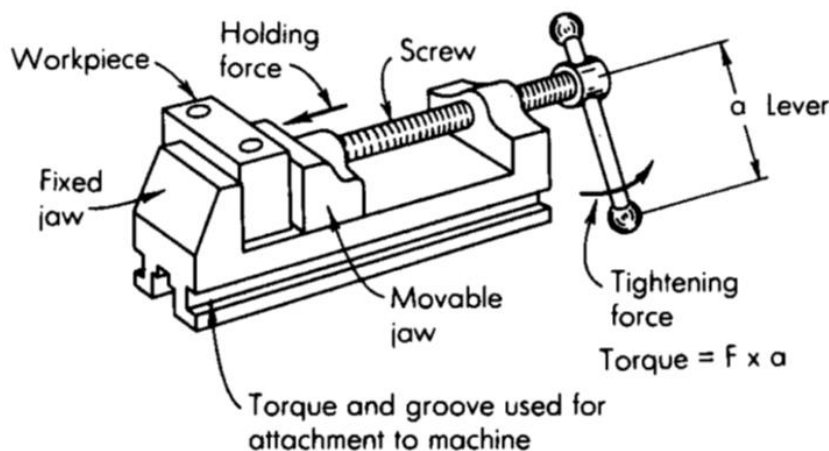
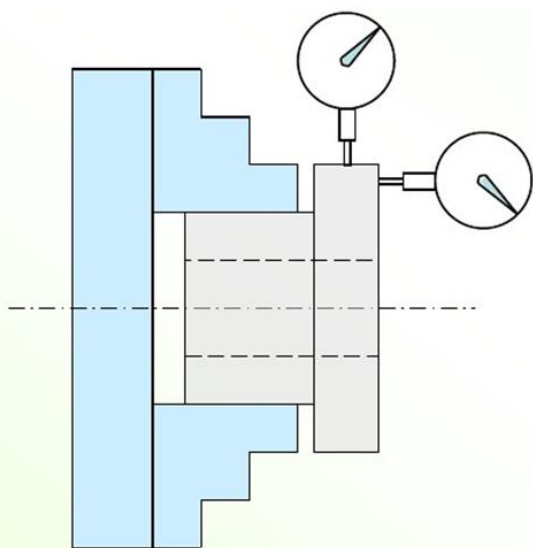


Figure 4-3. Elementary workholder (vise).

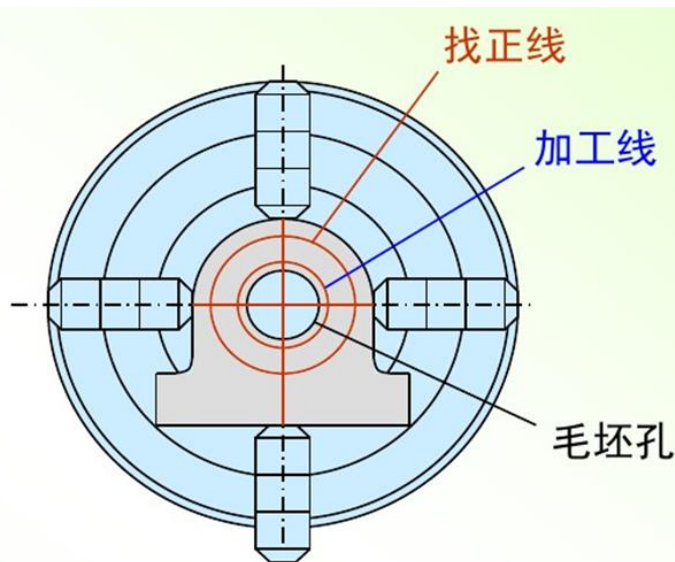
工件在机床上的装夹方法

1、直接找正装夹 利用千分表等测量工具在机床上直接找正工件位置，工件一般安装在通用夹具上。其特点是：找正精度高，但效率低，对工人技术水平要求高。

2、画线找正装夹 在毛坯上划出中心线、对称线及各待加工位置线，工件一般也安装在通用夹具上。然后按照划好的线找正工件在机床上的位置。其特点是：简便易行，但效率低，劳动强度大，精度不稳定。

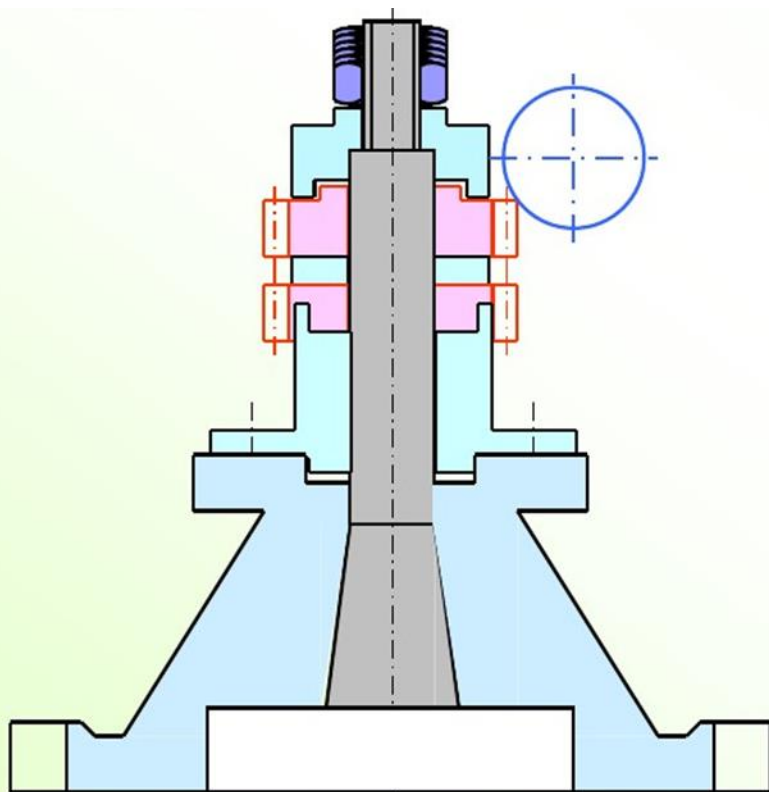


直接找正安装

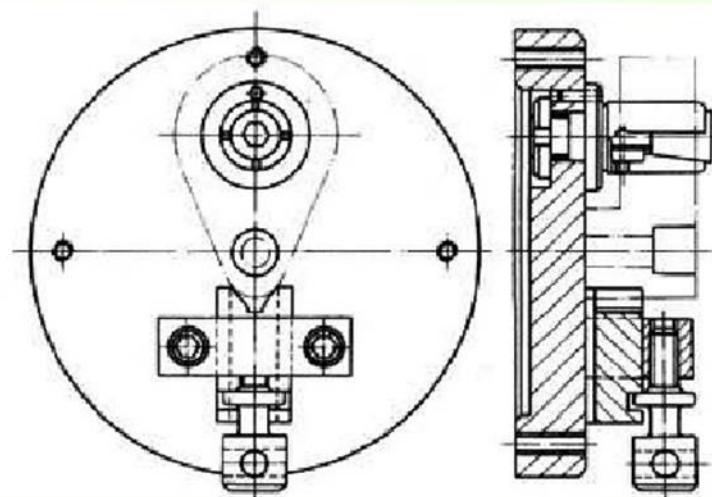


划线找正安装

3、机床专用夹具装夹 指为某个零件的某道工序专门设计制造一套夹具，夹具以一定位置安装在机床上，工件按定位原则定位并夹紧在夹具中。其特点是：使用方便迅速，效率高，精度稳定，但夹具制造周期长，灵活性低。



工件在夹具上装夹（滚齿夹具）

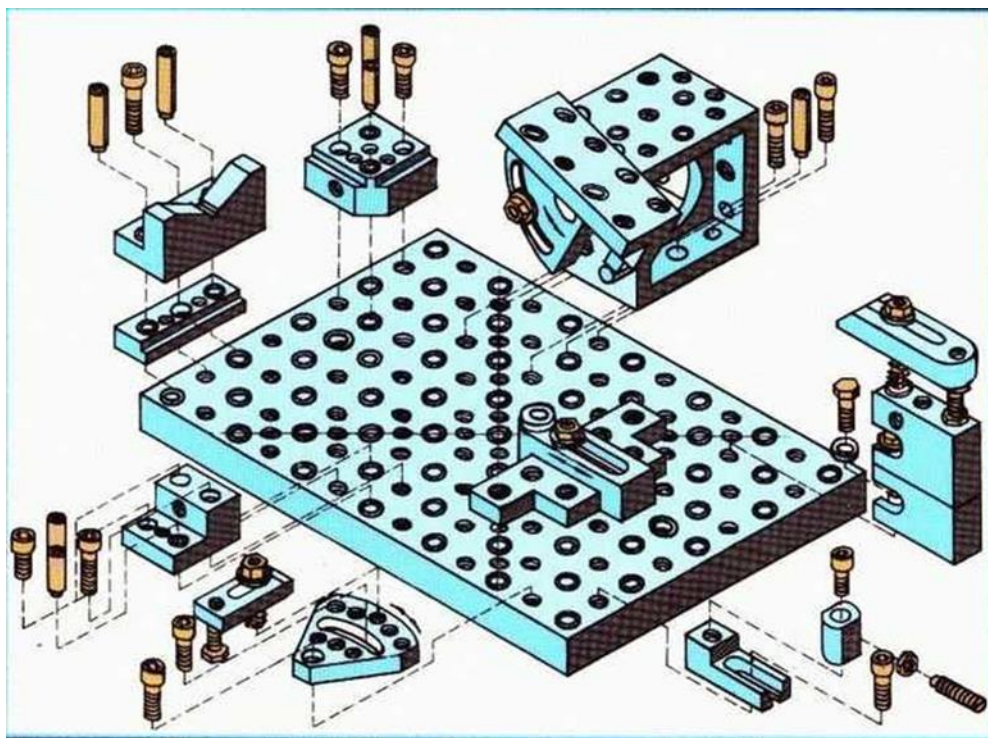


车床夹具

二、机床夹具 (machine tool fixture / jig)

机床上用来安装工件的工艺装备，称为（ 夹具 ）。

devices that hold, grip, or chuck a workpiece to perform a manufacturing operation.



1、夹具的作用

Purpose & Function of Work Holder

- (1) **定位Location**: Correctly locate the workpiece with respect to the tool
- (2) **夹紧Clamping**: Securely clamp and rigidly support the workpiece during the operation
- (3) **引导刀具Guide the tool**:

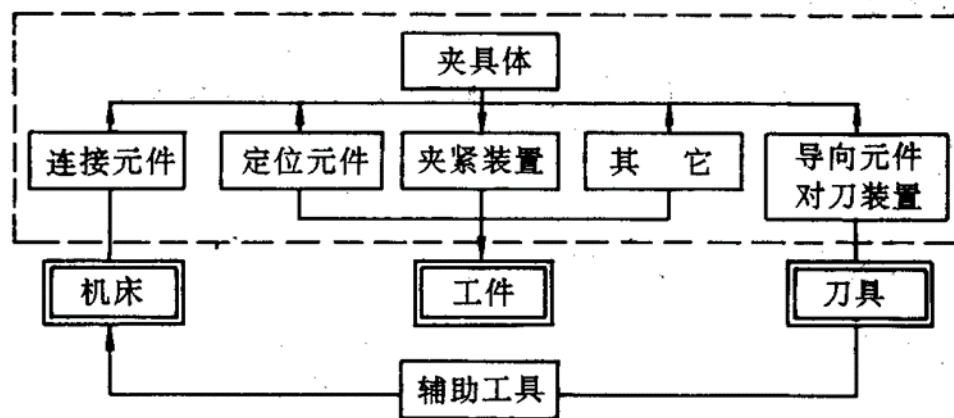


图 4-3 机床夹具和机床、刀具、工件之间的关系

保证加工精度、降低工人技术等级；
提高劳动生产率，降低生产成本；
扩大机床工艺范围（曲轴夹具）；
减轻工人劳动强度（电动，气动夹紧）。

Advantages

- Minimize tool breakage
- Minimize the possibility of human error
- Permit the use of less skilled labor
- Reduce manufacturing time
- Eliminate retooling for repeat orders

2、夹具的分类

1. 按夹具的通用特性分类：

通用夹具、专用夹具、可调夹具、组合夹具和随行夹具等

2. 按使用的机床分类

车床夹具、铣床夹具、钻床夹具、镗床夹具、磨床夹具以及其它机床夹具等。

3. 按夹紧的动力源分类

手动夹具、气动夹具、液压夹具、气液增力夹具、电动夹具、电磁夹具、真空夹具、离心力夹具等。

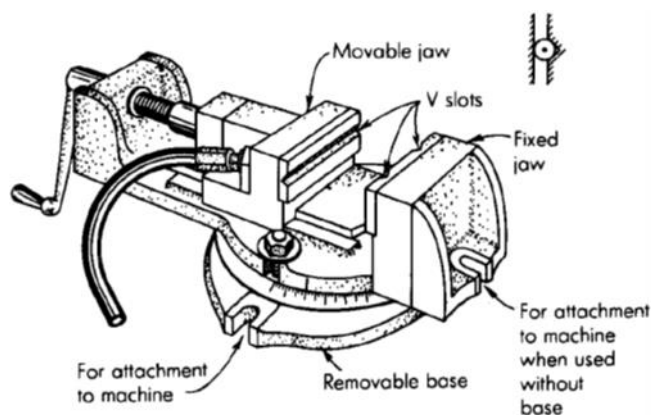


Figure 4-4. Vise with hydraulic clamping.

3、夹具的组成

- 1、定位元件 (Locators: setting element) 用来确定工件正确位置的元件。被加工工件的定位基面与夹具定位元件直接接触或相配合。
- 2、夹紧机构 (Clamps: fastening device) 是使工件在外力作用下仍能保持其正确定位位置的装置。
- 3、夹具体(Jig body) 是用于连接夹具元件和有关装置使之成为一个整体的基础件，夹具通过夹具体与机床连接。
- 4、导向和对刀元件 (Guiding element, bushes) 导向元件是指夹具中用于确定（或引导）刀具相对于夹具定位元件具有正确位置关系的元件，例如钻套、镗模等；对刀元件为校正刀具与夹具相对位置的元件，如对刀块等。
- 5、连接元件 (Connecting element) 是指用于确定夹具在机床上具有正确位置并与之连接的元件，例如安装在铣床夹具底面上的定位键等。
- 6、其它元件及装置 (Others) 根据加工要求，有些夹具尚需设置分度转位装置、靠模装置、工件抬起装置和辅助支撑等装置。

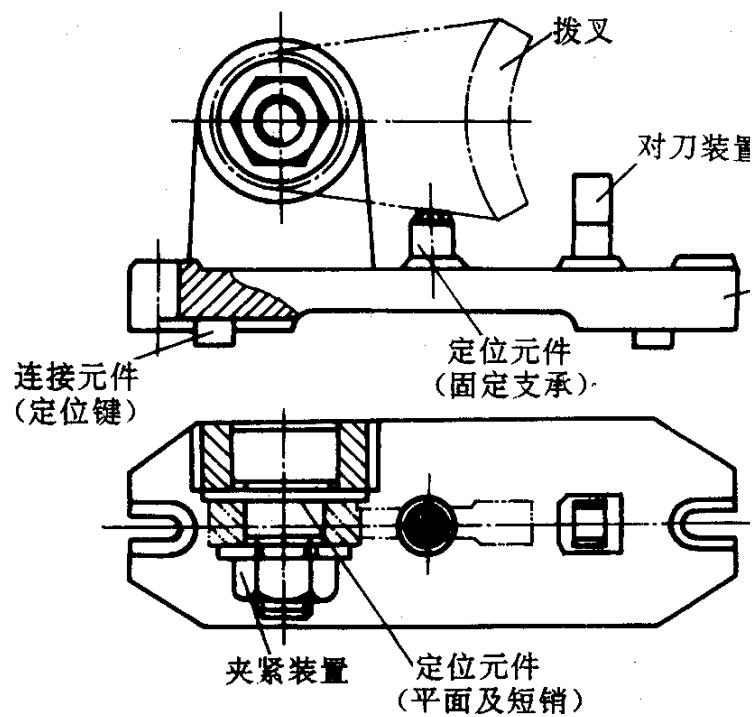


图 4-1 铣床夹具

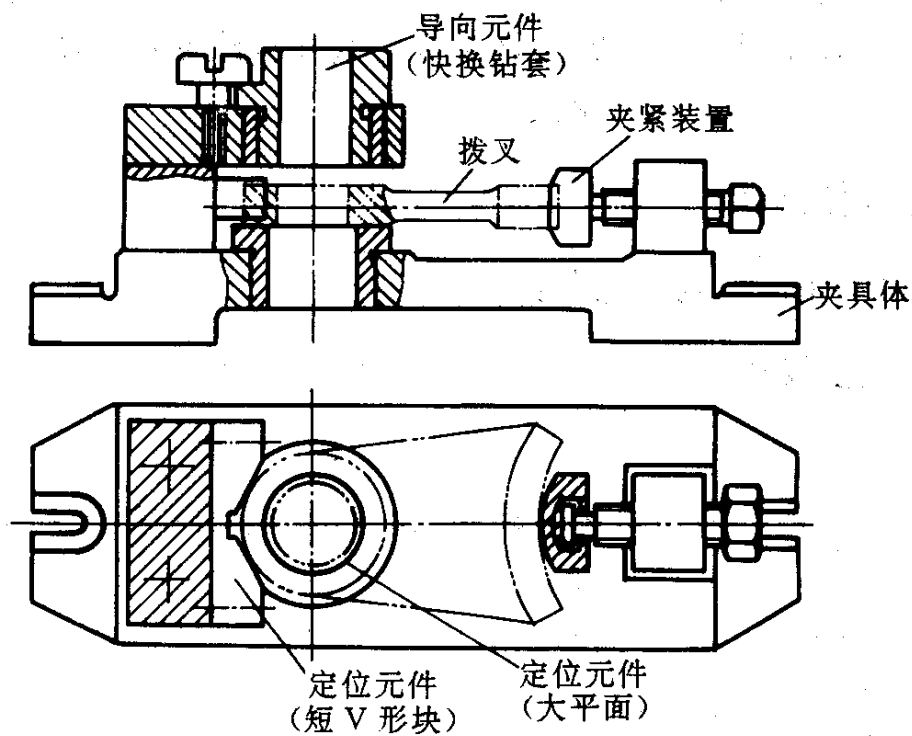


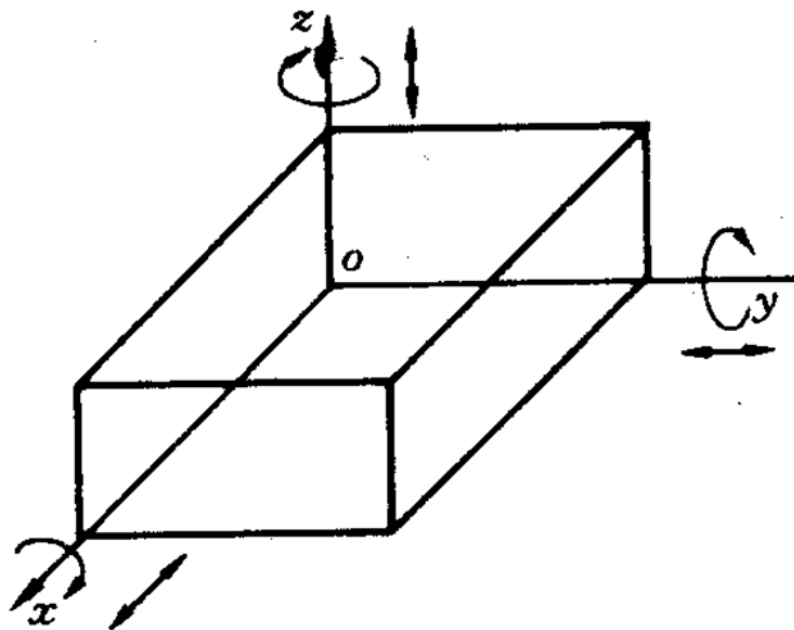
图 4-2 钻床夹具

第一节 工件的定位原理

Part 1 Positioning principle

一、工件定位需要解决什么问题？

What's the concept of freedom?



\vec{x} \vec{y} \vec{z} \hat{x} \hat{y} \hat{z}

图 4-7 自由度示意图

第二节 工件的定位原理

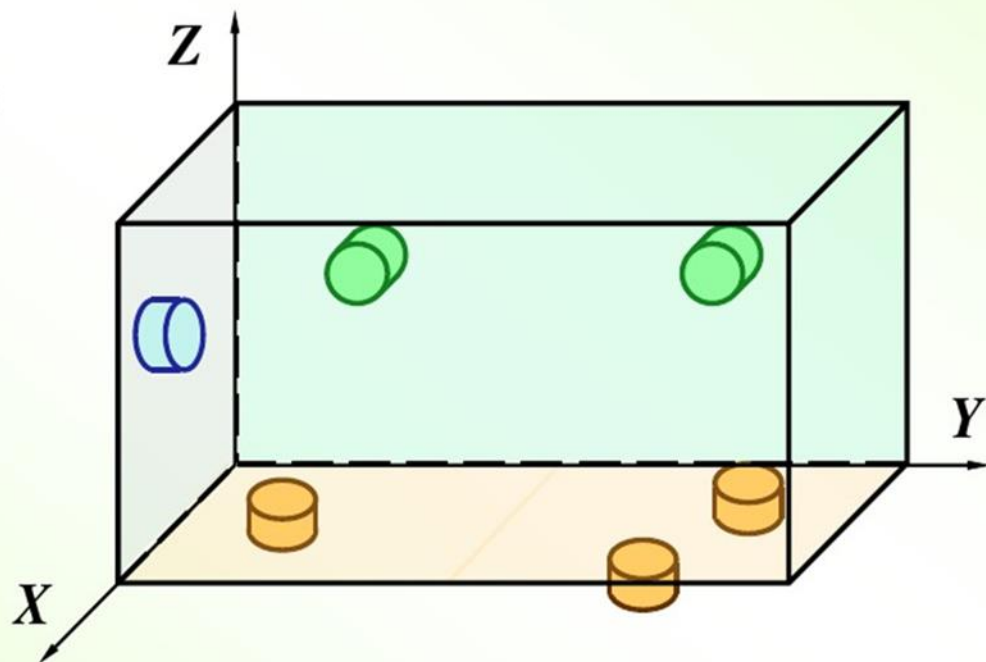
Positioning principle

一、工件的六点定位原理

任何一个物体在空间直角坐标系中都有6个自由度，即3个坐标轴平移方向以及绕3个坐标轴转动方向。

要完全确定其空间位置，就需要限制其6个自由度。

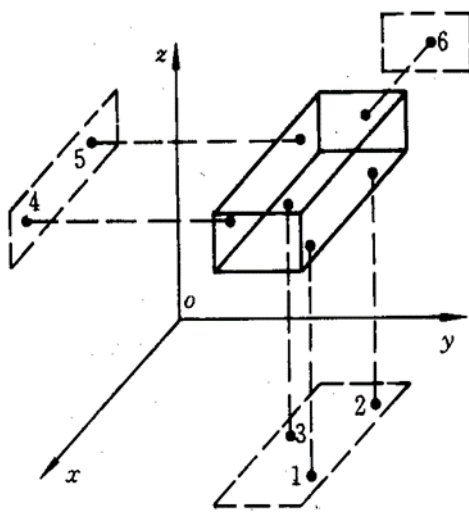
将6个支撑抽象为6个点，6个点限制了工件的6个自由度，这就是六点定位原理。



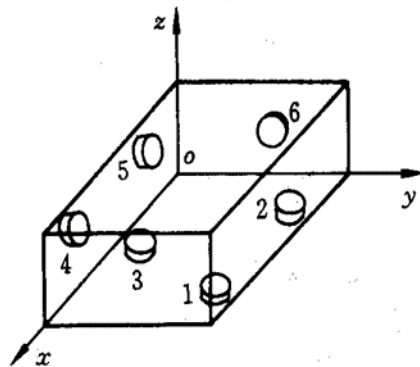
六点定位原理

二、完全定位和不完全定位

完全定位(Complete positioning) 6个定位支承点限制了工件的全部不定度，称为完全定位。



(a)



(b)

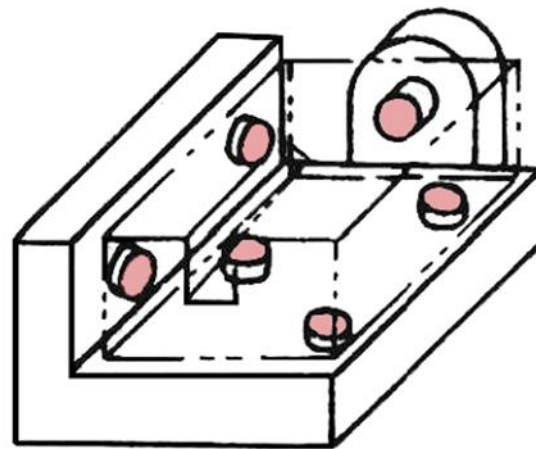
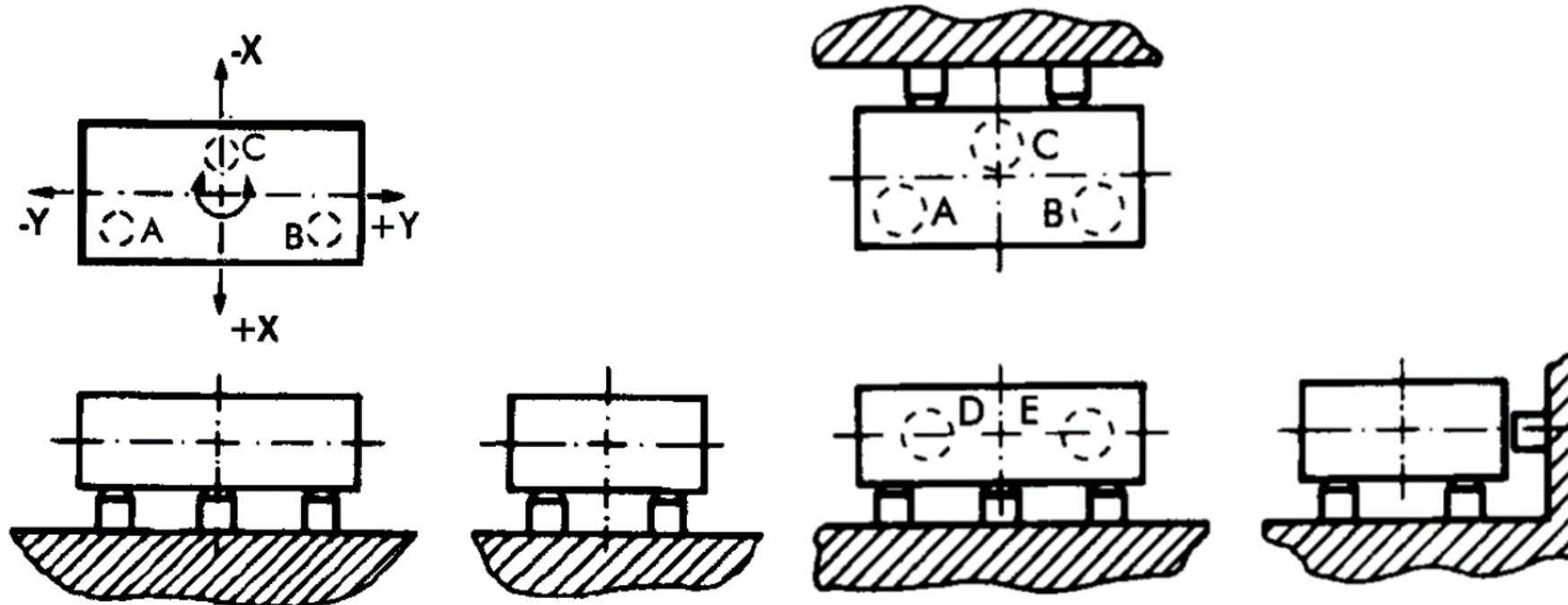
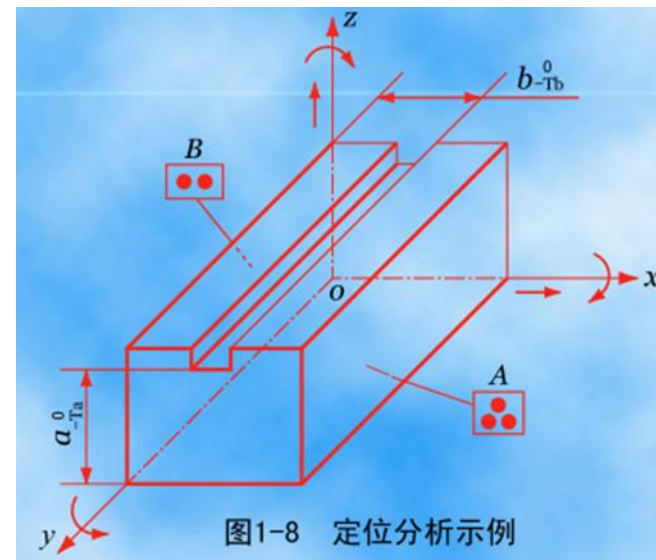
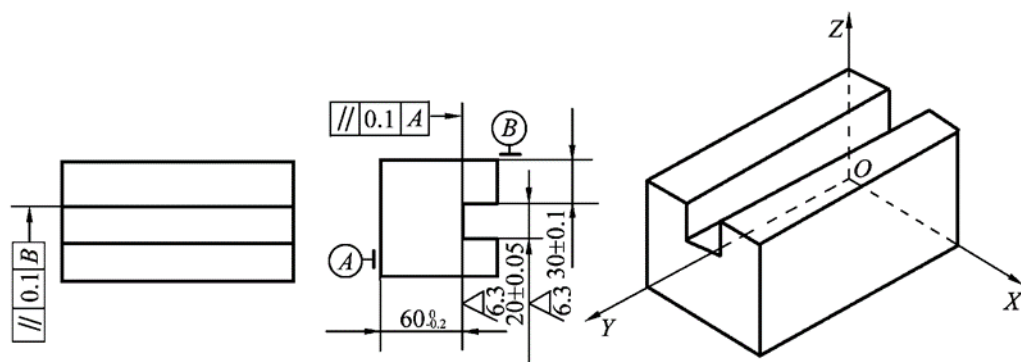


图 4-8 长方体工件的定位分析

不完全定位(Incomplete positioning) 工件定位时，按加工要求，允许有一个或几个自由度不被限制的定位。



不完全定位例子



工件在机床夹具定位究竟需要限制哪几个自由度，可根据工序的加工要求确定。

三、欠定位与过定位

欠定位(Under positioning)：是指工件定位时，支承点所限制的自由度数少于工件的工序加工要求必需限制的自由度数。欠定位无法保证该工序的加工要求。

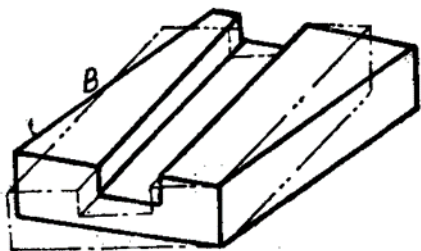
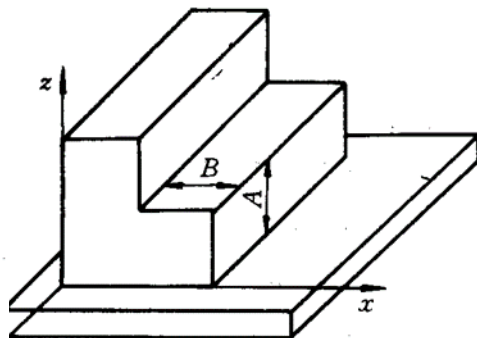
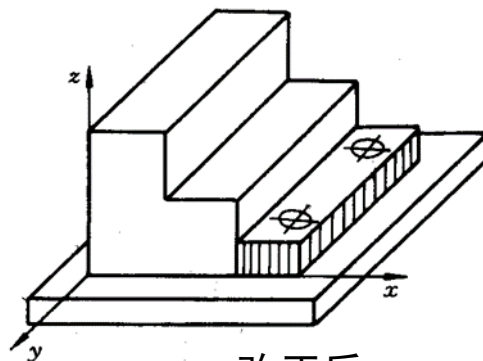


图4-6 欠定位

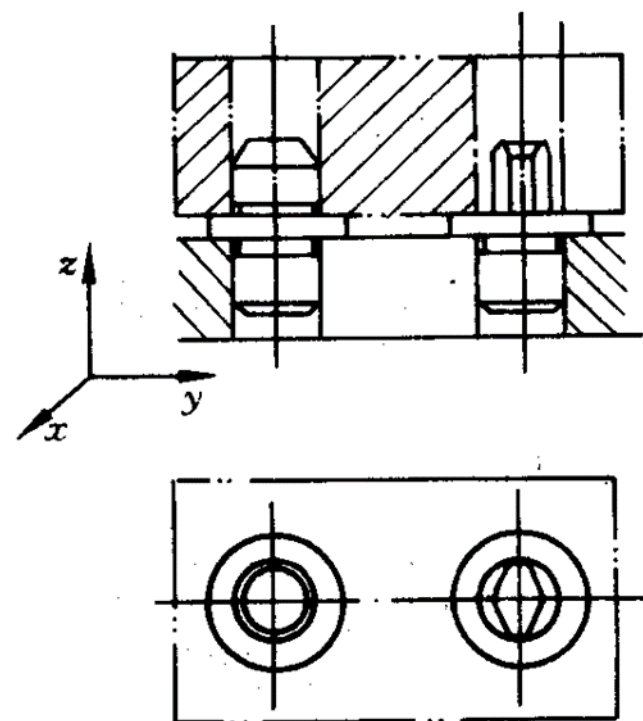
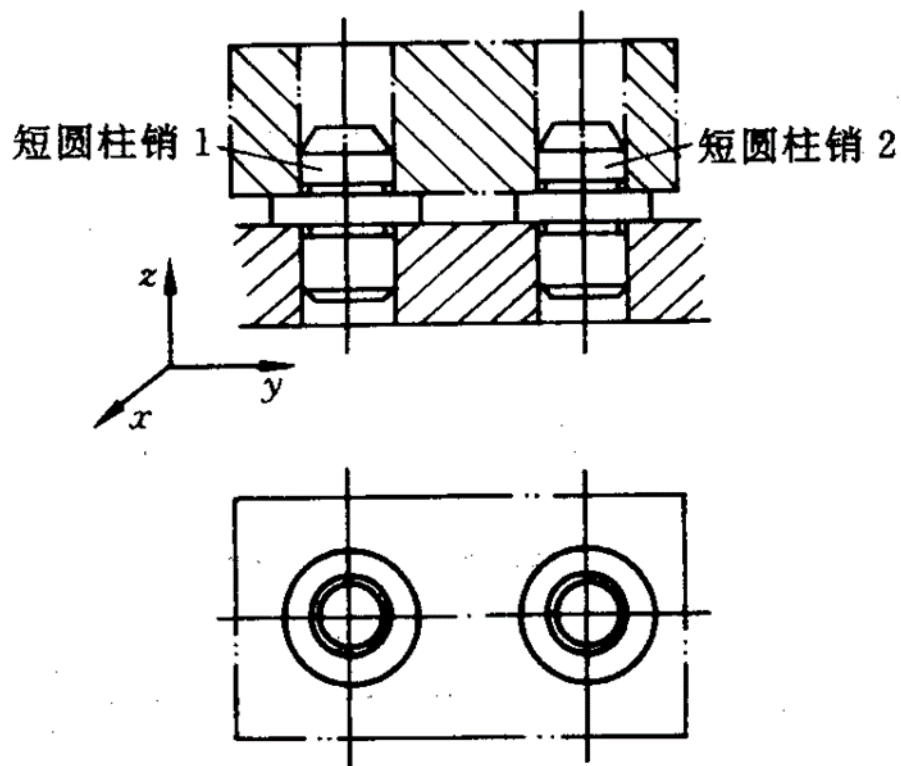


(a) 欠定位



(b) 改正后

过定位(Redundant locators / over positioning)：是指工件上的某一个自由度被几个点支承重复限制的现象。



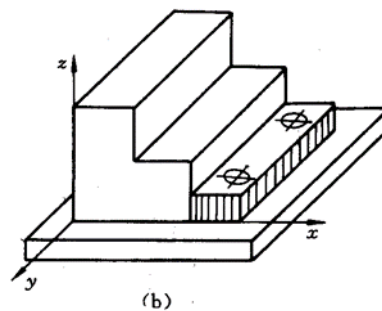
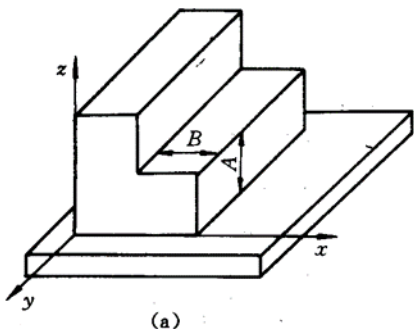
四、归纳：定位原理

- 1) 工件在夹具中的位置变动用定位支承来限制工件自由度方式来分析。
- 2) 工件在夹具中定位，是指工件在该坐标参数方向上有了确定的位置。而不是指工件在外力作用下被固定。
- 3) 工件放置在夹具中的位置有六个不定度，这六个不定度需要用夹具上按一定要求分布的六个支承点来消除，其中每个支撑点相应地消除一个不定度。所以又称为“六点定位原理” (theory of six-point locating of work piece)。
- 4) 工件定位时应该被限制的不定度数，完全由工件在该工序中的加工要求所决定的。

五、应注意的问题

1、有关欠定位的问题：

1) 欠定位的真正含义



2) 例外情况：

单件小批量生产情况下，
为了简化夹具结构或其他原因，有意欠定位设计夹具。

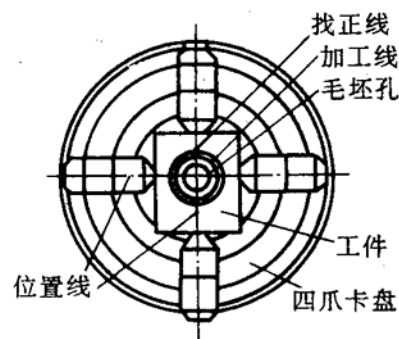
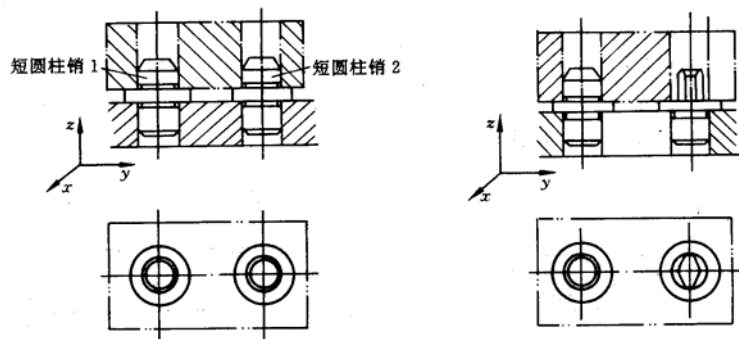


图 4-6 按划线找正安装

2、有关过定位的问题：

1) 过定位的真正含义



2) 例外情况：

支承点之间并未互相干涉。其目的是提高工件在加工中的刚性和稳定性，保证加工精度。

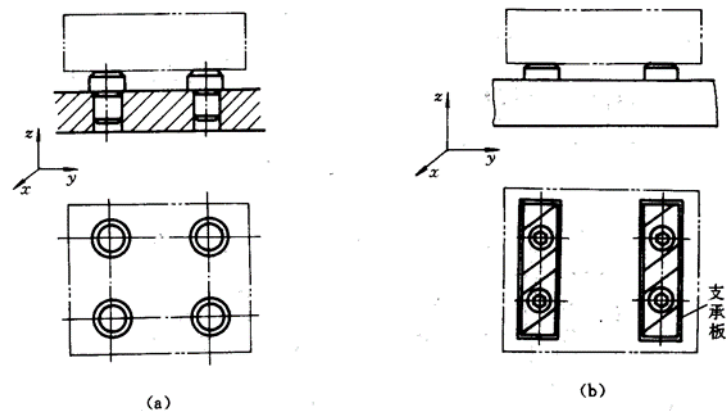
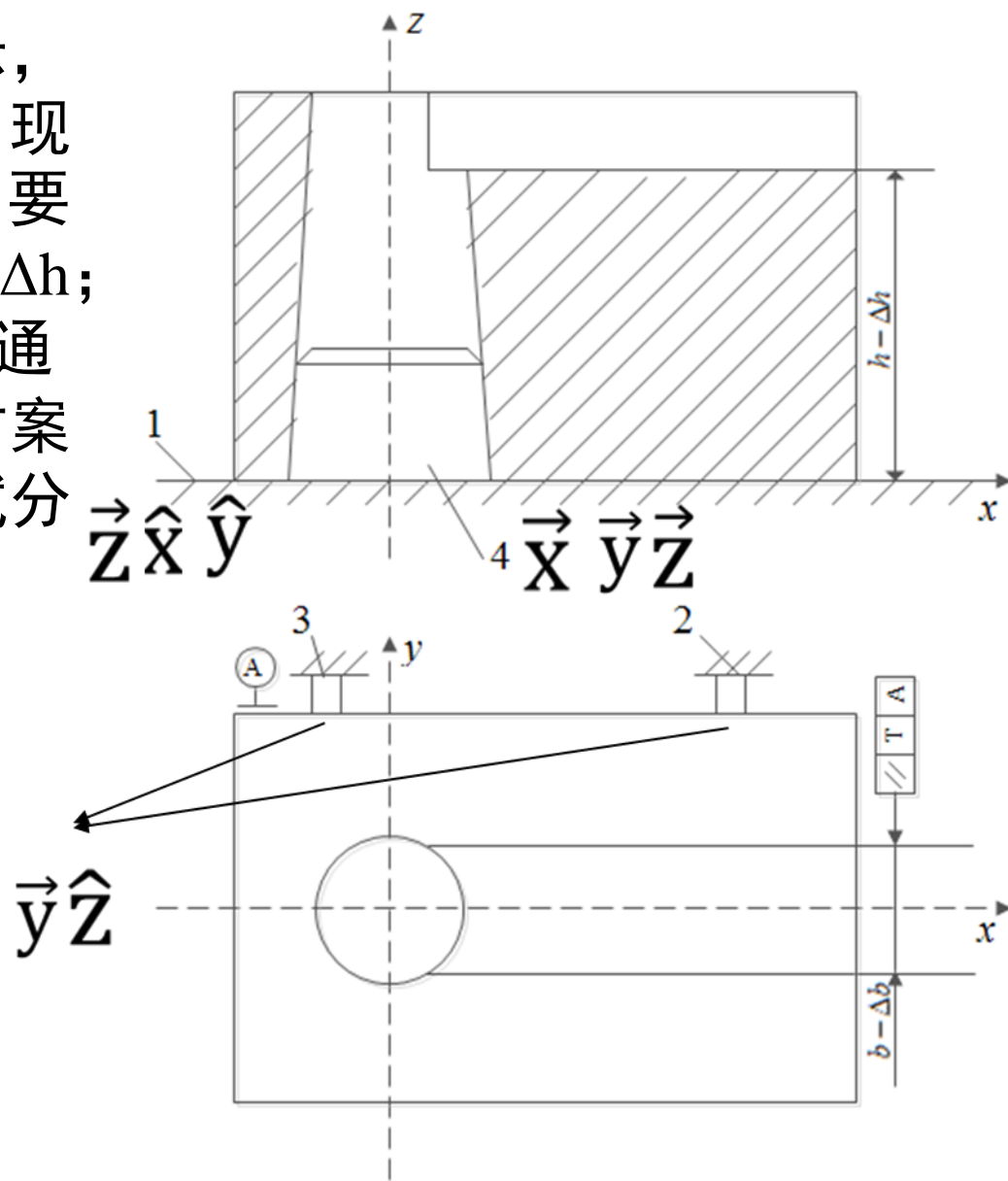


图 4-13 平面定位的过定位举例

【例题】有一批工件如图所示，锥孔和各平面均已加工合格，现在铣床铣宽度为 $b-\Delta b$ 的键槽。要求保证槽底到底面的距离为 $h-\Delta h$ ；槽侧面与A面平行；槽对称线通过锥孔轴线，问图示的定位方案是否合理？有无改进之处？试分析。



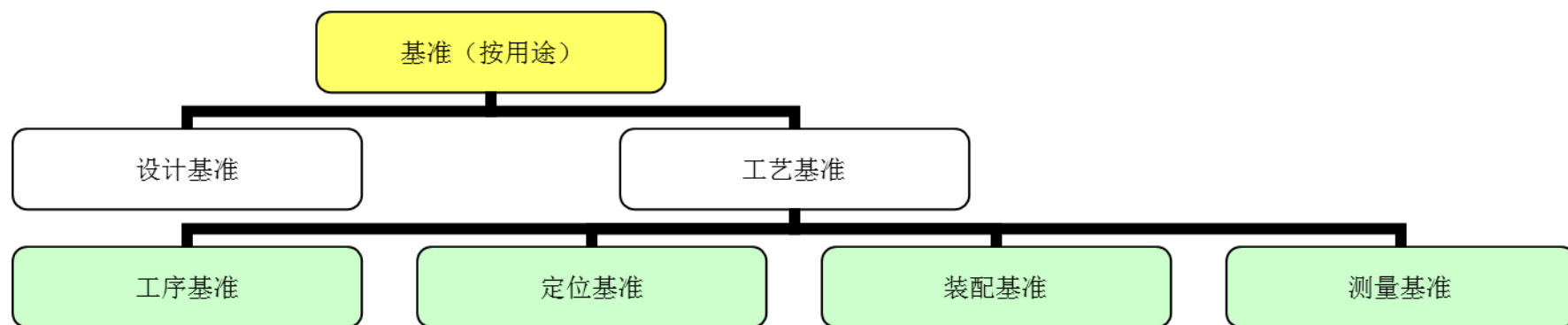
第二节 定位基准和定位元件

The locating datum and locating element

一、定位基准

Locating datum

基准是用来确定零件上几何要素间的几何关系所依据的哪些点、线、面。



基准（按基面几何形状）
The locating datum
surfaces of workpieces

平面
Flat surfaces

外圆柱面
Cylindrical outer surface

内圆柱面
Cylindrical inner surface

不规则表面
Irregular surfaces

DIFFERENT METHODS USED FOR LOCATION

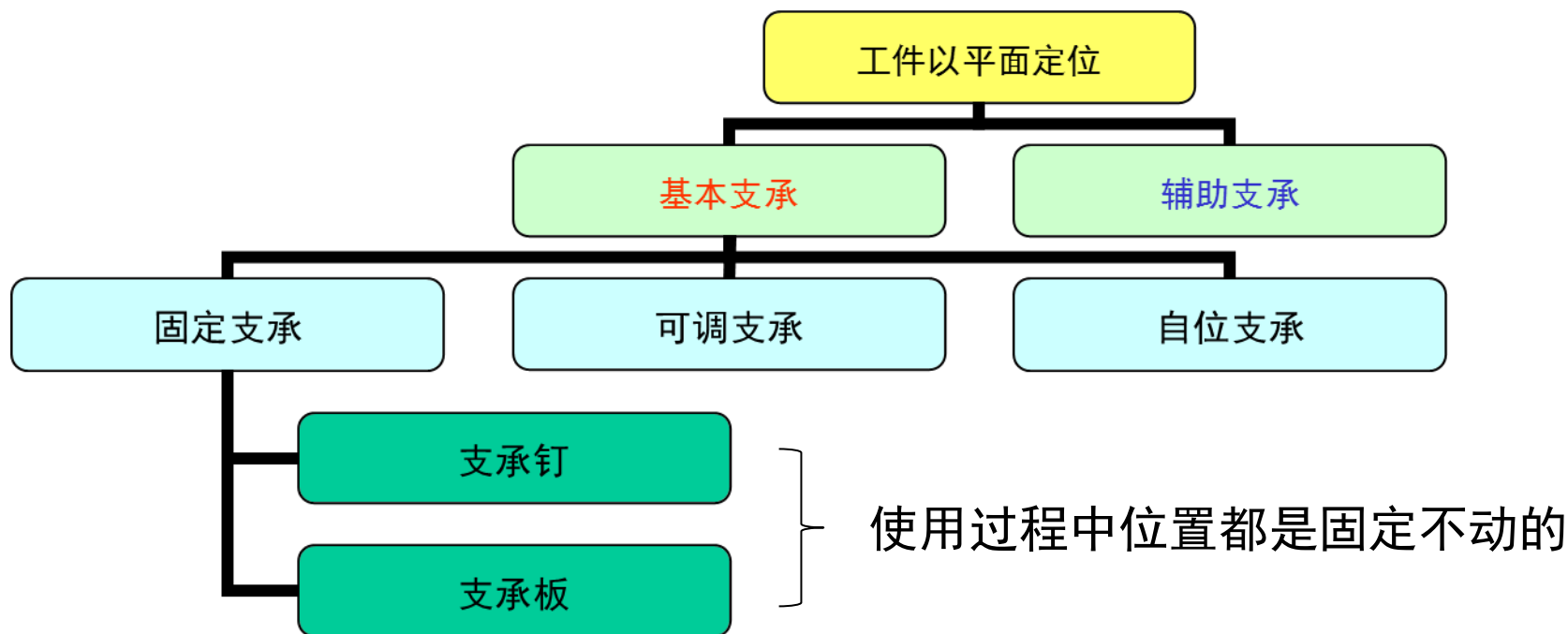
二、定位元件的选择

Locating element

1、工件以平面定位(Plane Location , Flat Locators)

基本支承(Basic support) 用来限制工件的自由度，具有独立的定位作用；

辅助支承(Auxiliary support) 可以减少工件变形或增加加工过程中的稳定性，但不起限制自由度的作用。



(1) 基本支承

①固定支承(Fixed support)

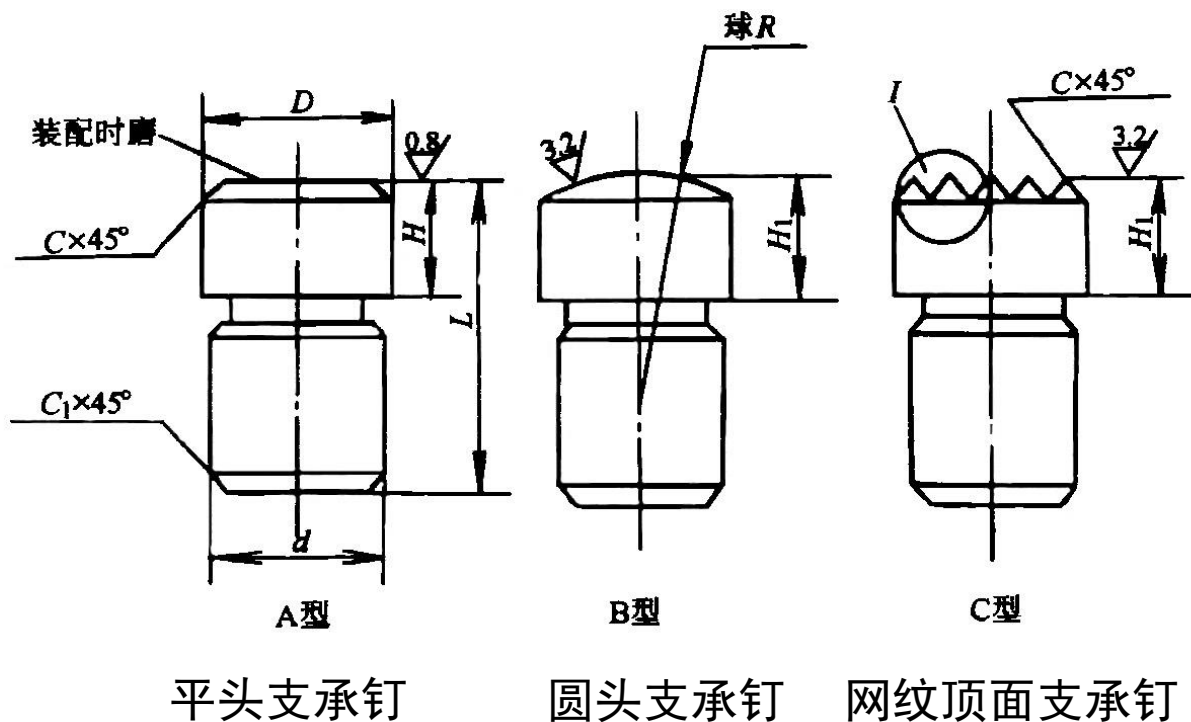
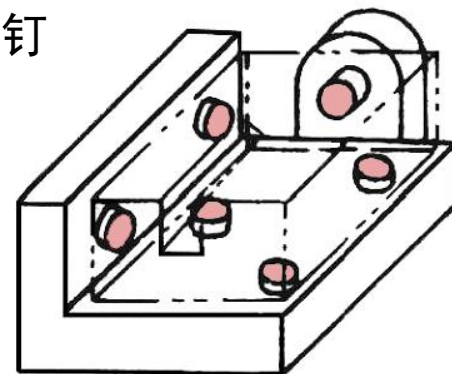
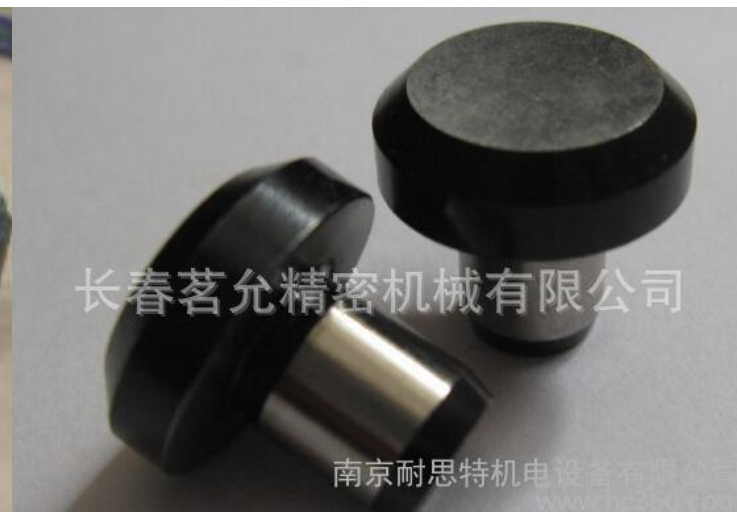


图 支承钉

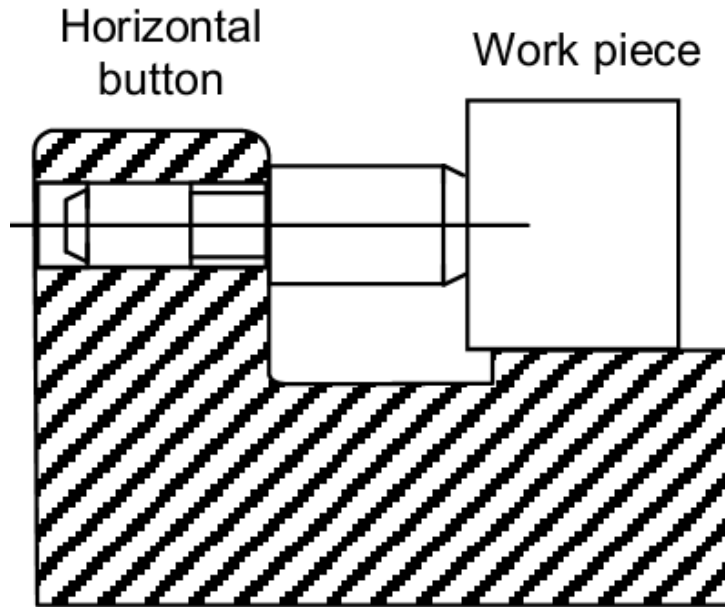
Locating pins



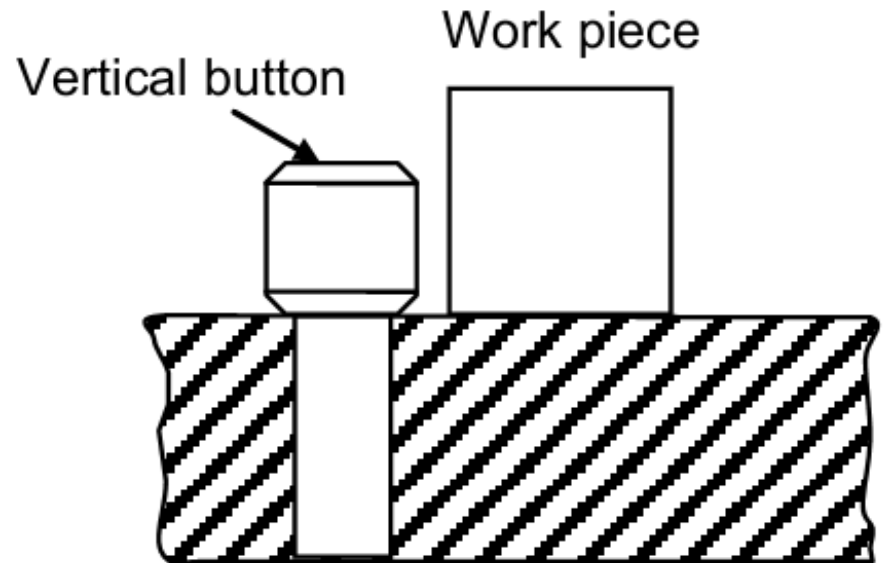
*支承钉实物



*支承钉作用举例



Location by Horizontal
Button Type Jig



Location by Vertical
Button Type

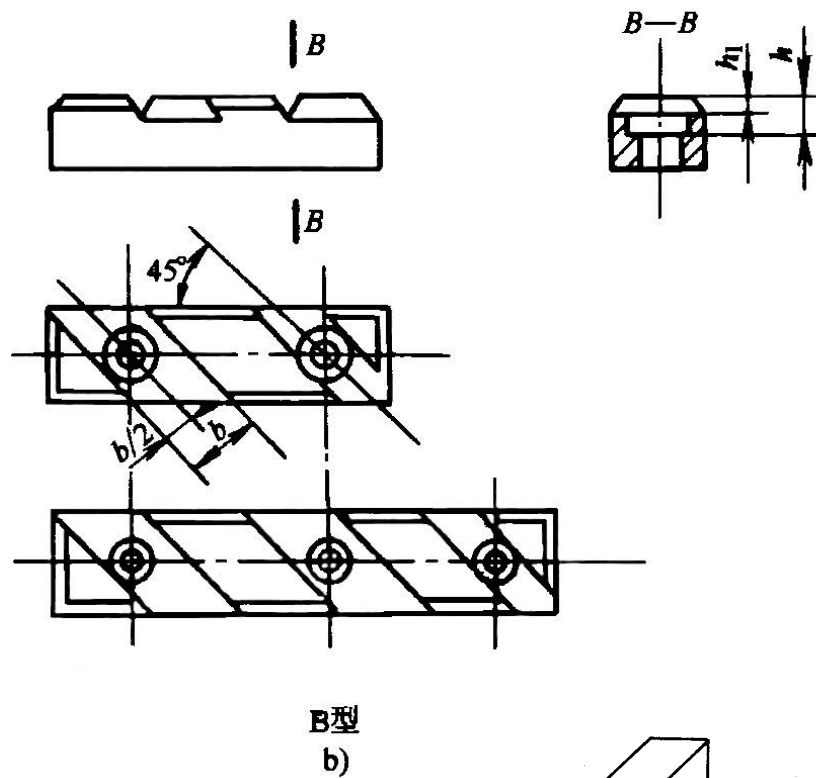
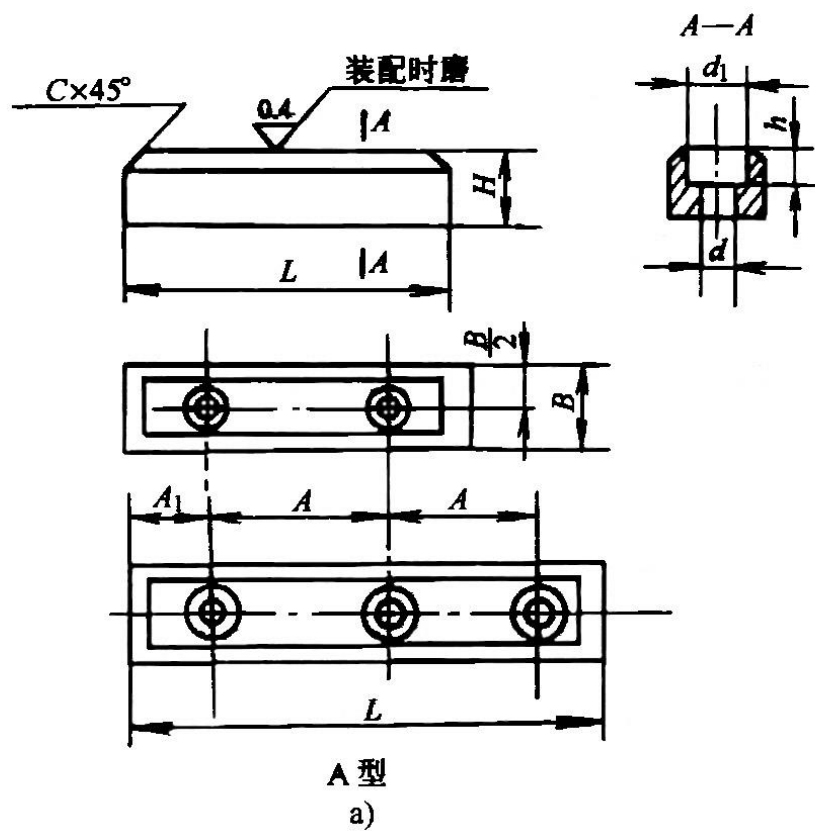
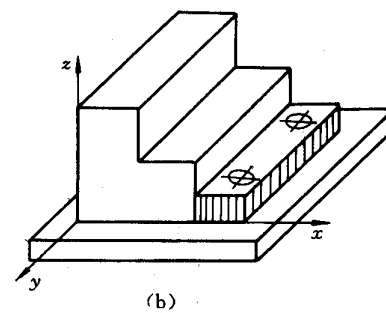


图 支承板



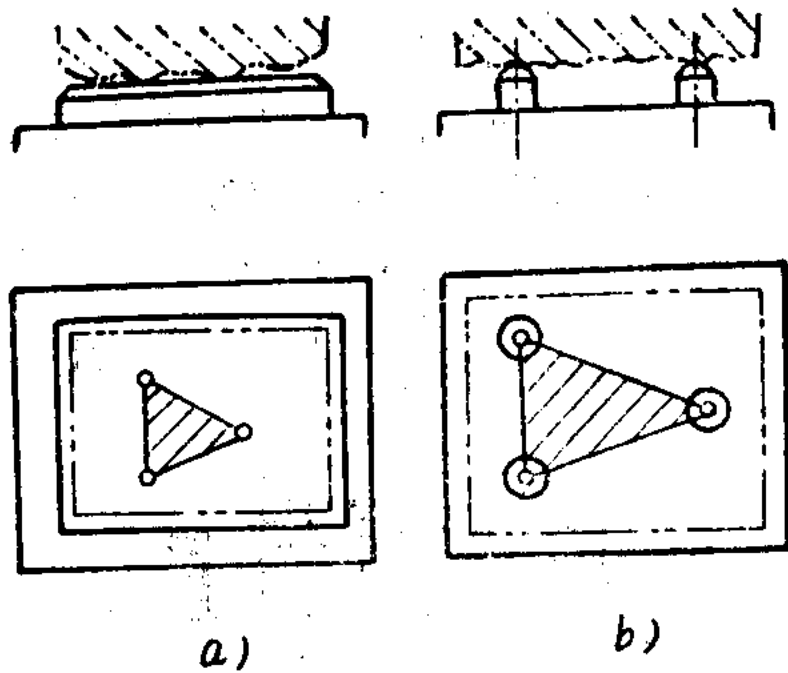
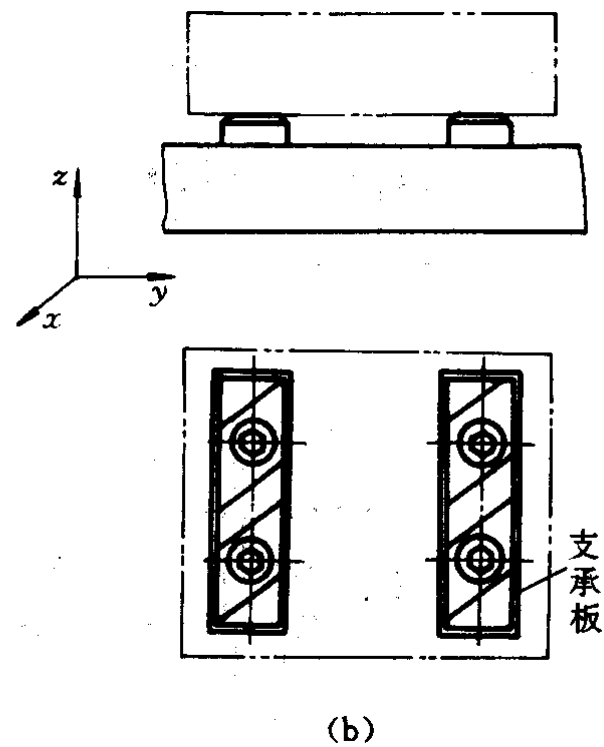
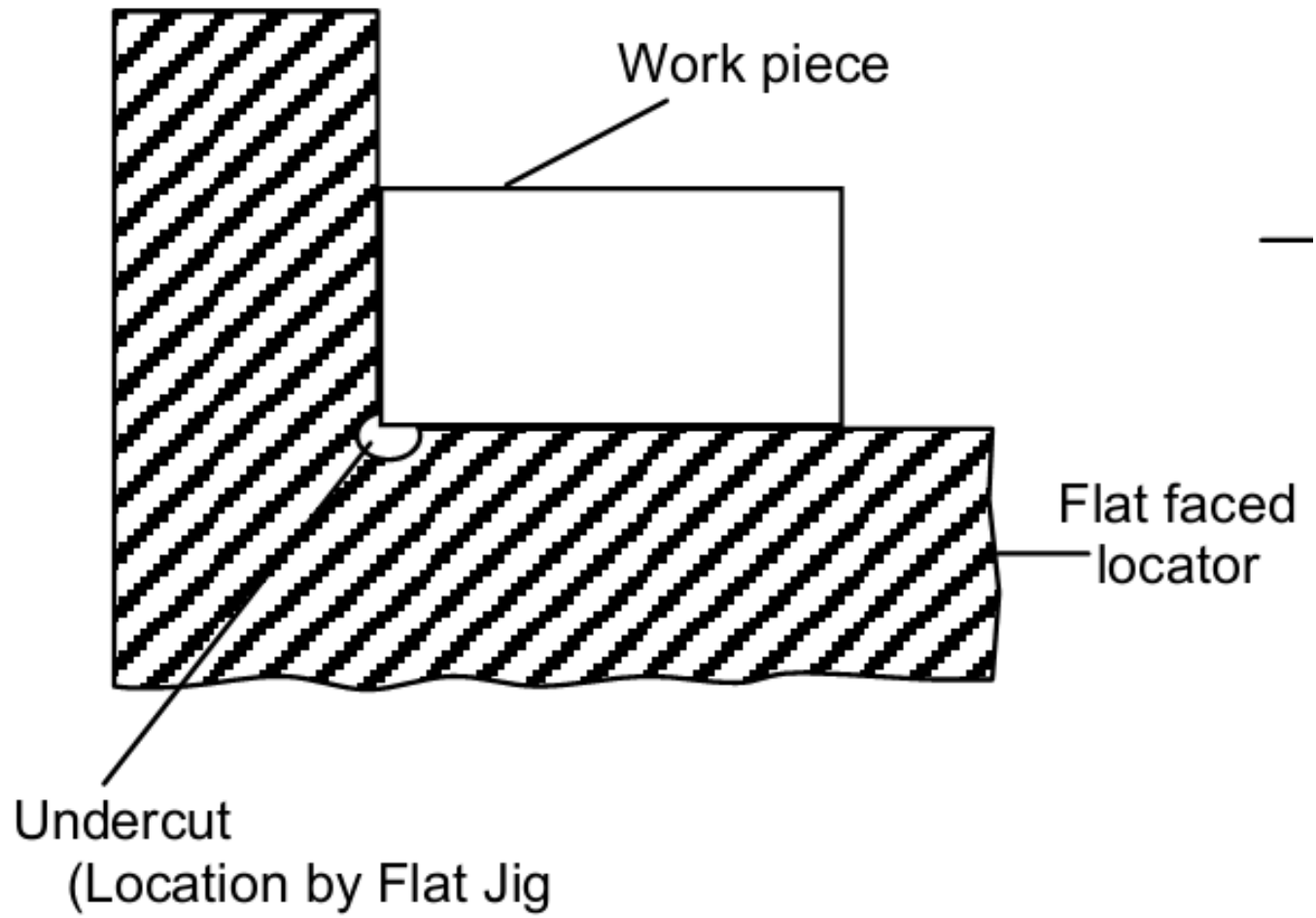


图4-9 粗基准定位时的支撑三角形





②可调支承 (Adjustable Locators)

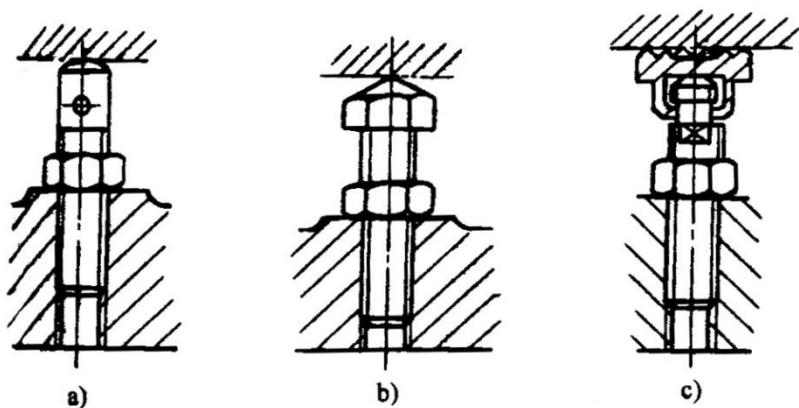


图5-13 可调节支承

可调支承是指高度可以调节的支承。

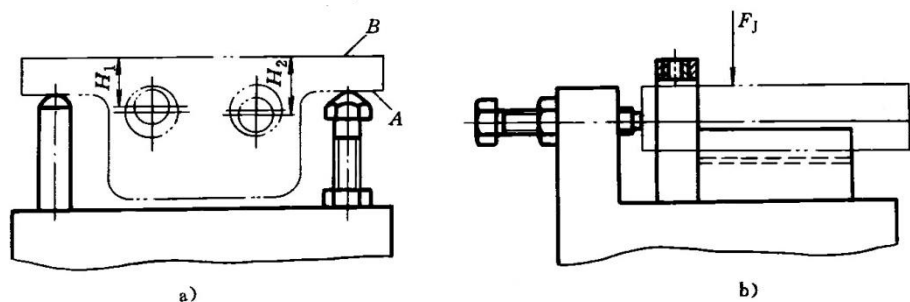


图5-14 可调节支承的应用

可调支承主要用在毛坯质量不高，而又以粗基准定位时。特别适用于中小批生产或者生产系列化产品。

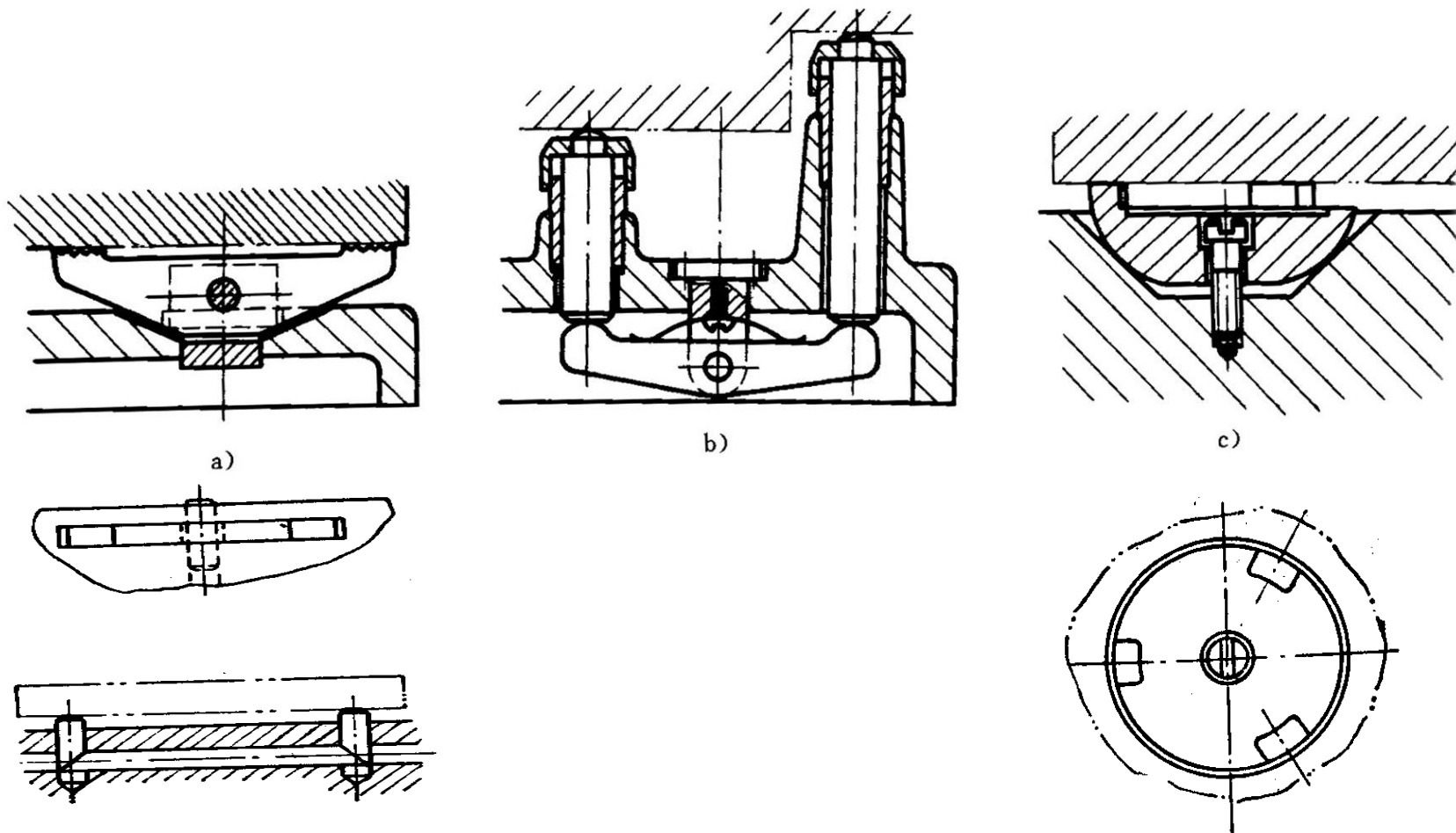
*可调支承实物



③自位支承 (Equalizing type locator, 浮动支承)

自位支承用于粗基准定位。

能自动调节位置，只限制一个自由度。



(2) 辅助支承 (Auxiliary support)

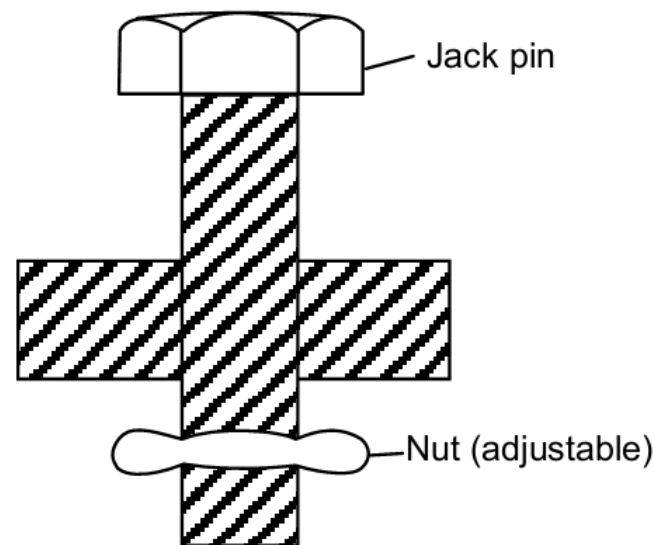
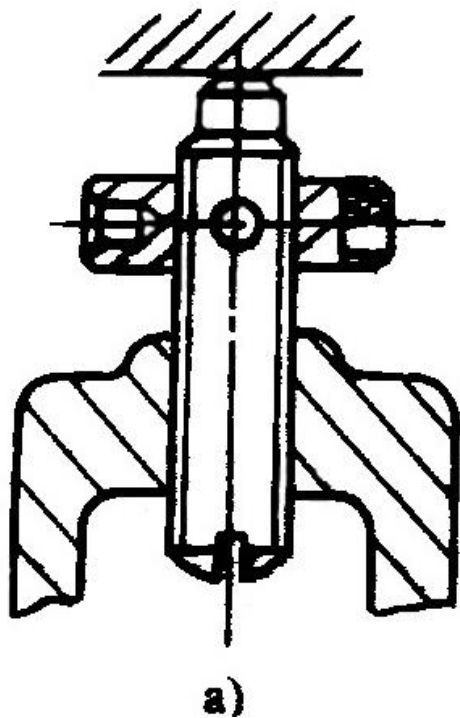


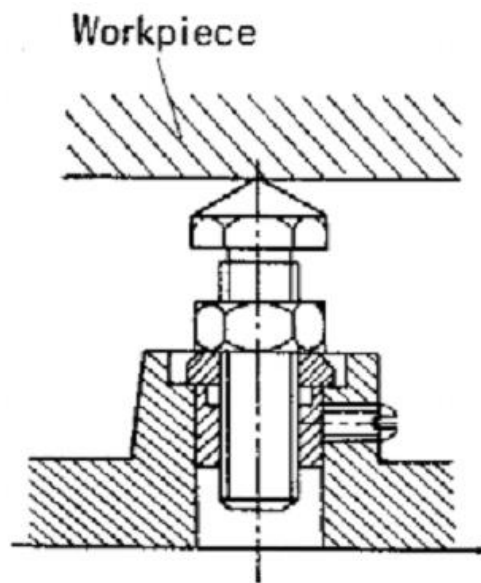
Figure 4.6 : Jack Pin Locator

注意点：

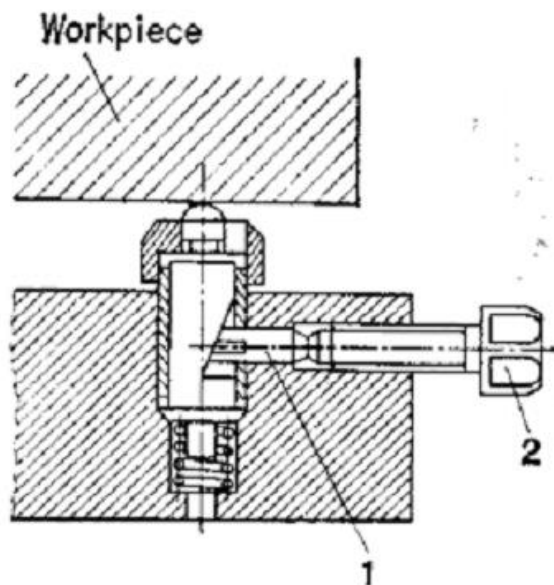
- ① 提高装夹刚度和稳定性，不起定位作用。
- ② 在工件定位后才与工件接触，然后锁紧，否则会产生过定位。

*辅助支承实例

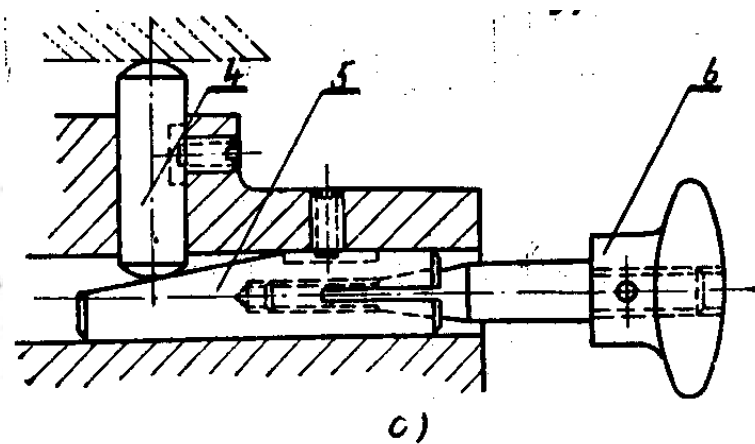




螺旋式辅助支承



自位式辅助支承



推引式辅助支承

辅助支承的形式

*辅助支承实例



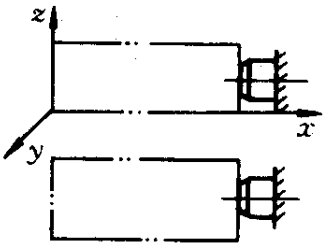
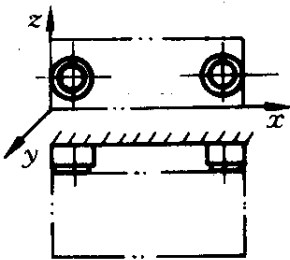
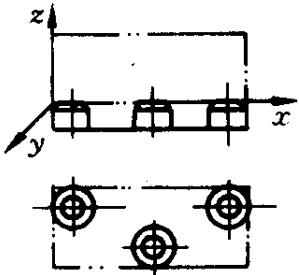
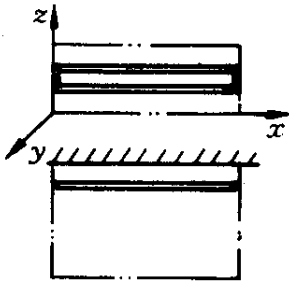
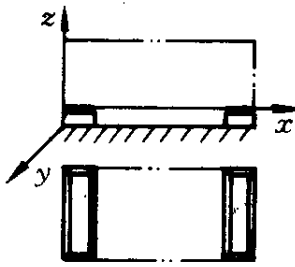
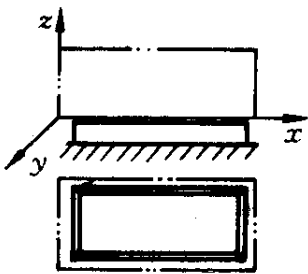
2010-03-09 曲轴磨床上的辅助支承-董氏镀铁

*辅助支承实例



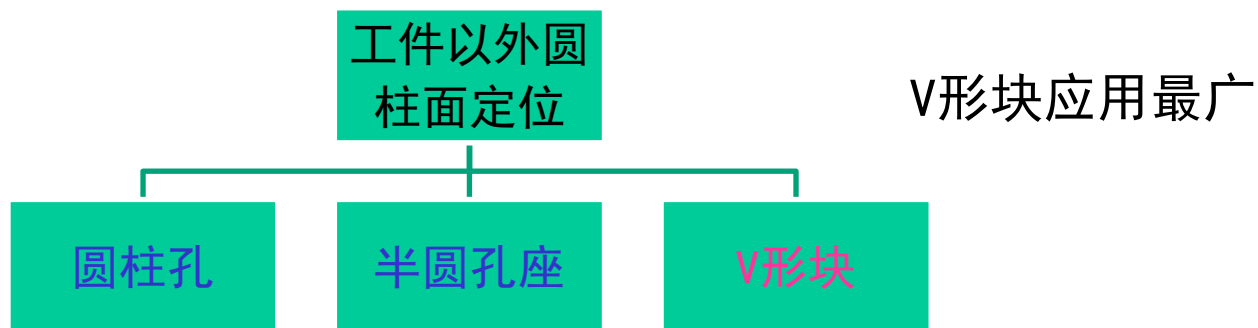
2010-03-09 曲轴磨床上的辅助支承-董氏镀铁

(3) 典型定位元件的定位分析(平面定位)

平面	支承钉	定位情况	1 个支承钉	2 个支承钉	3 个支承钉
		图示			
		限制的自由度	\vec{X}	$\vec{Y} \quad \vec{Z}$	$\vec{Z} \quad \vec{X} \quad \vec{Y}$
平面	支承板	定位情况	一块条形支承板	二块条形支承板	一块矩形支承板
		图示			
		限制的自由度	$\vec{Y} \quad \vec{Z}$	$\vec{Z} \quad \vec{X} \quad \vec{Y}$	$\vec{Z} \quad \vec{X} \quad \vec{Y}$

2、工件以外圆柱面定位

Work piece positioning with cylindrical outer surface (Cylindrical Locators)



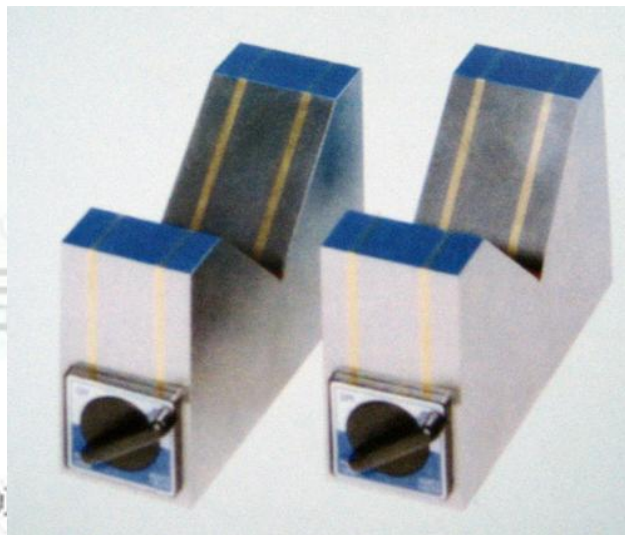
(1) V形块 (V block) 材料

① 20钢 → 渗碳淬火 → ~HRC60。

② 直径很大：用铸铁作底座，在定位面上镶装淬硬支承板或硬质合金。



*V形块实物



(2) V形块形状

The shape of V block

V形块两斜面夹角有 60° 、 90° 和 120° 几种， 90° 最常用。
V形块安装尺寸T是其检验和调整的依据：

V形块安装尺寸T：

$$T = H + \left[\frac{D}{\sin \frac{\alpha}{2}} - \frac{N}{\tan \frac{\alpha}{2}} \right]$$

$$T = H + 0.707D - 0.5N \quad \alpha = 90^\circ$$

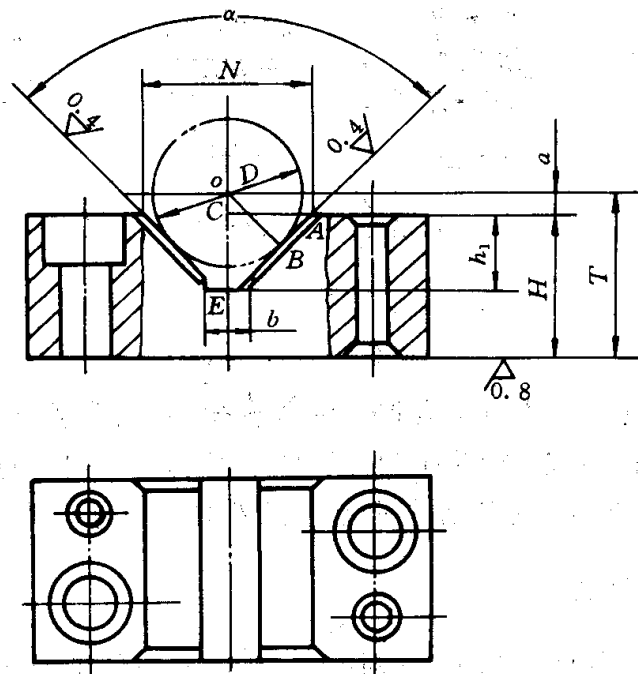


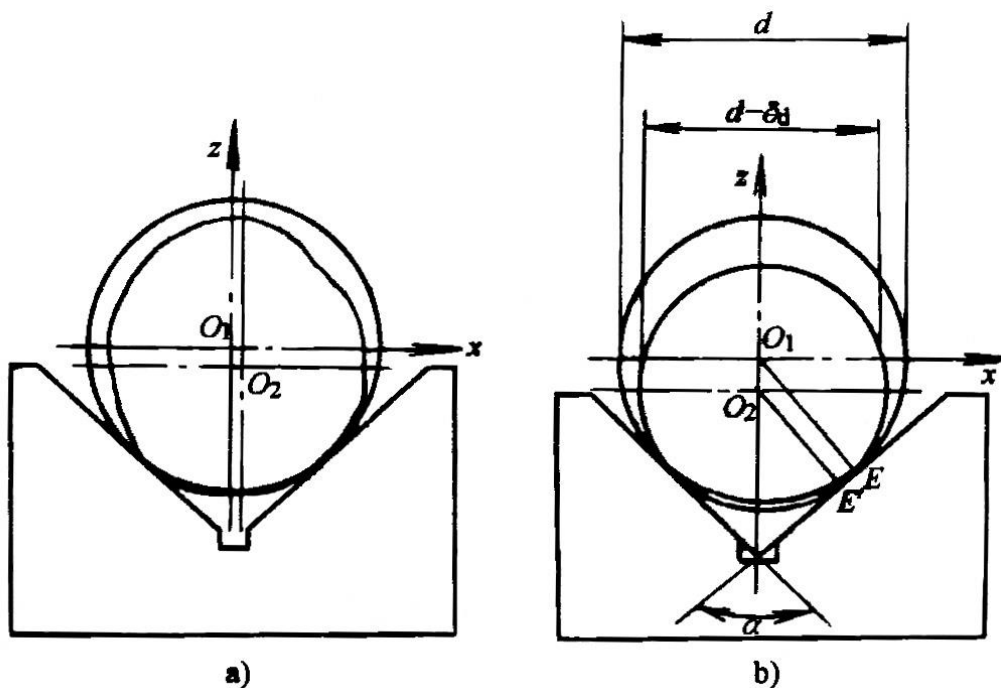
图 4-23 V 形块

(3) V形块特点和定位分析

The properties and positioning analysis of V block

V型块 对中心性好，适用于粗、精基准面，圆柱面和圆弧面

V形块具有对中作用，工件水平方向没有定位误差。但在垂直方向则不然。



问题：

用V形块定位时，若圆柱表面与V形块接触线较长，则限制_____个不定度，若接触线较短，则限制_____个不定度。

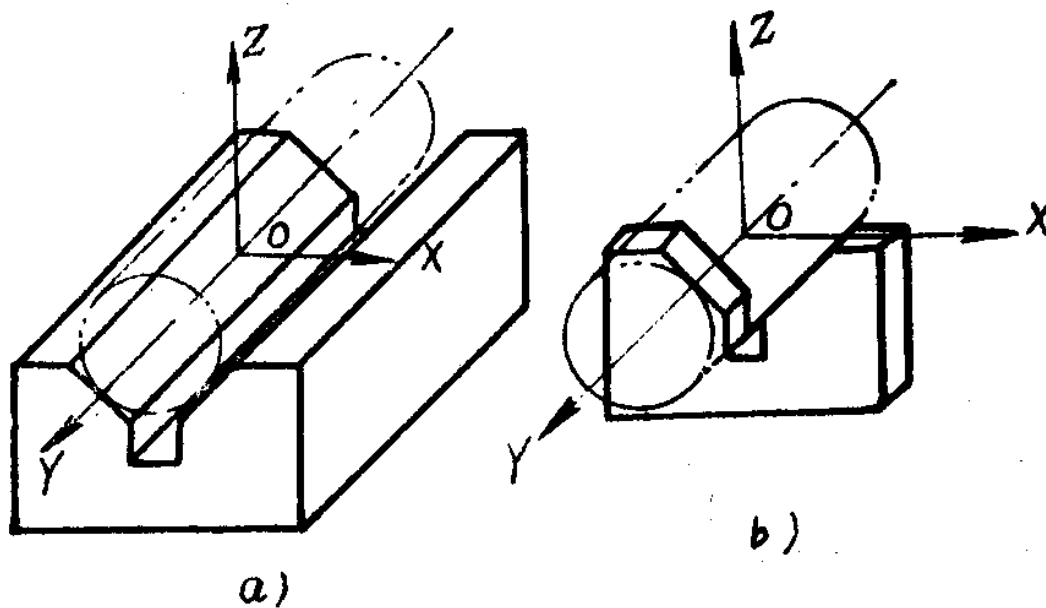


图4-17 V形块定位分析

*V型块组合定位实例

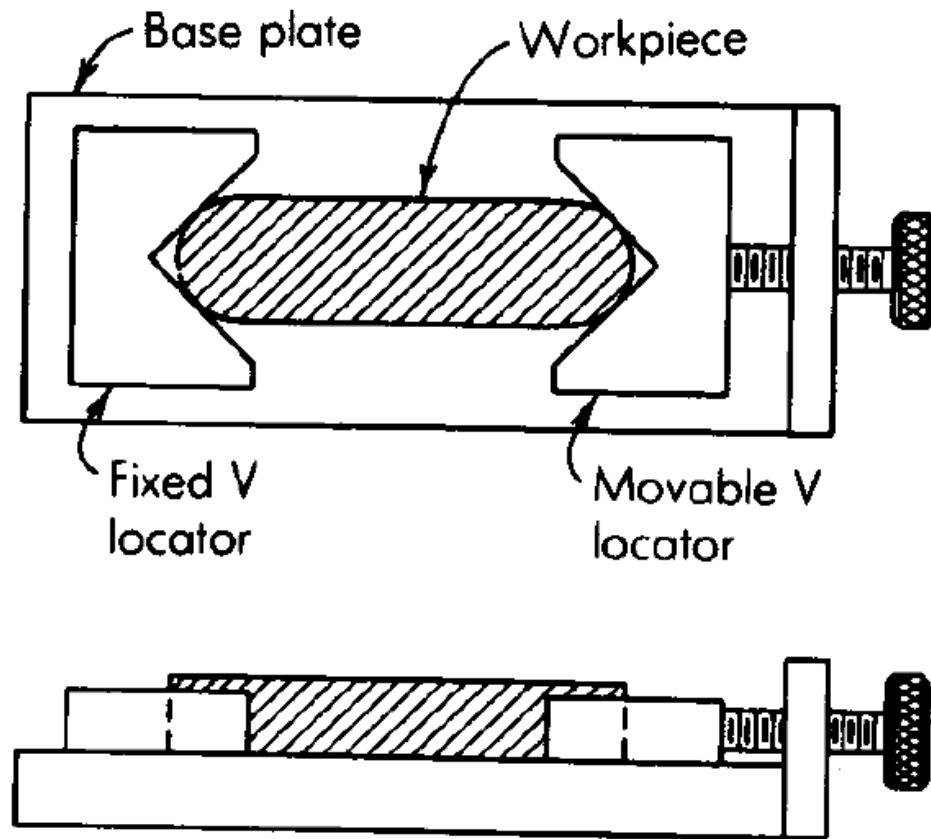


Figure 4-26. Workholder with multiple V locators.

(4) 圆柱孔、半圆孔座和其他外表面定位

Positioning analysis of cylindrical bore, semicircle bore etc.

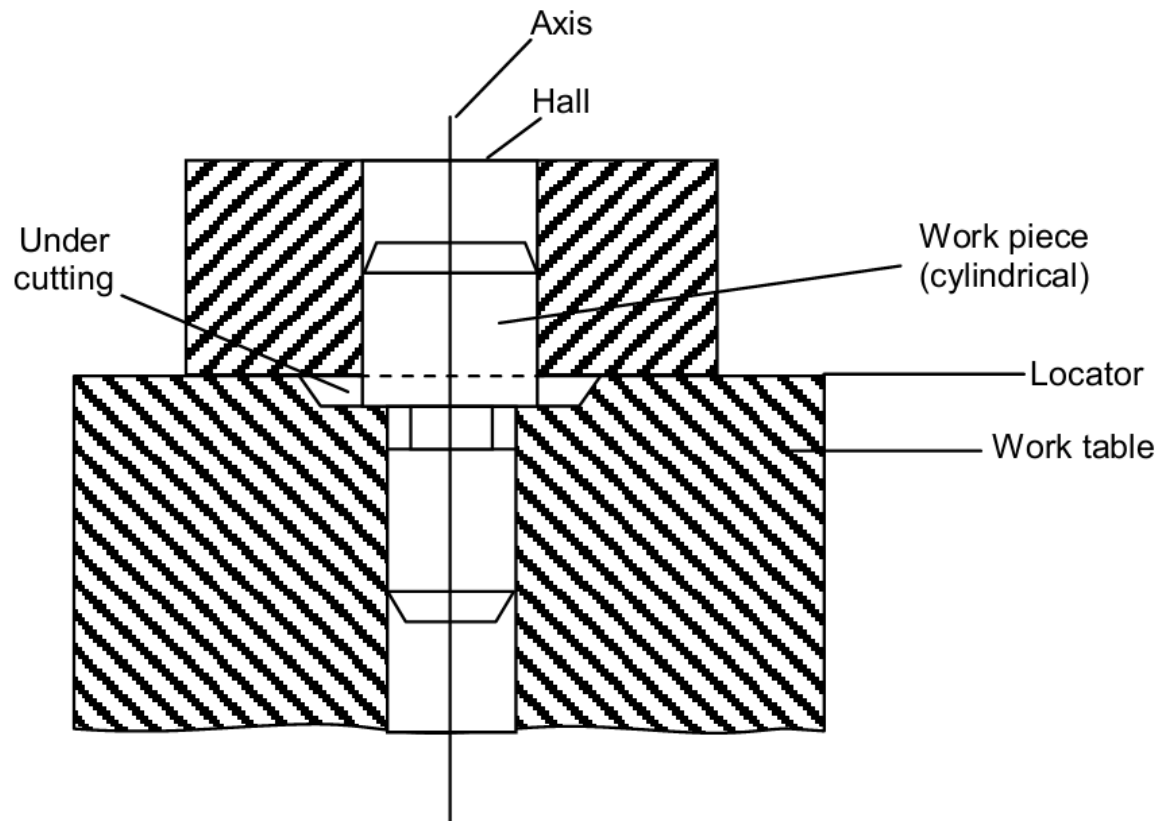


Figure 4.4 : Cylindrical Locator

*圆柱孔、圆锥孔定位实例

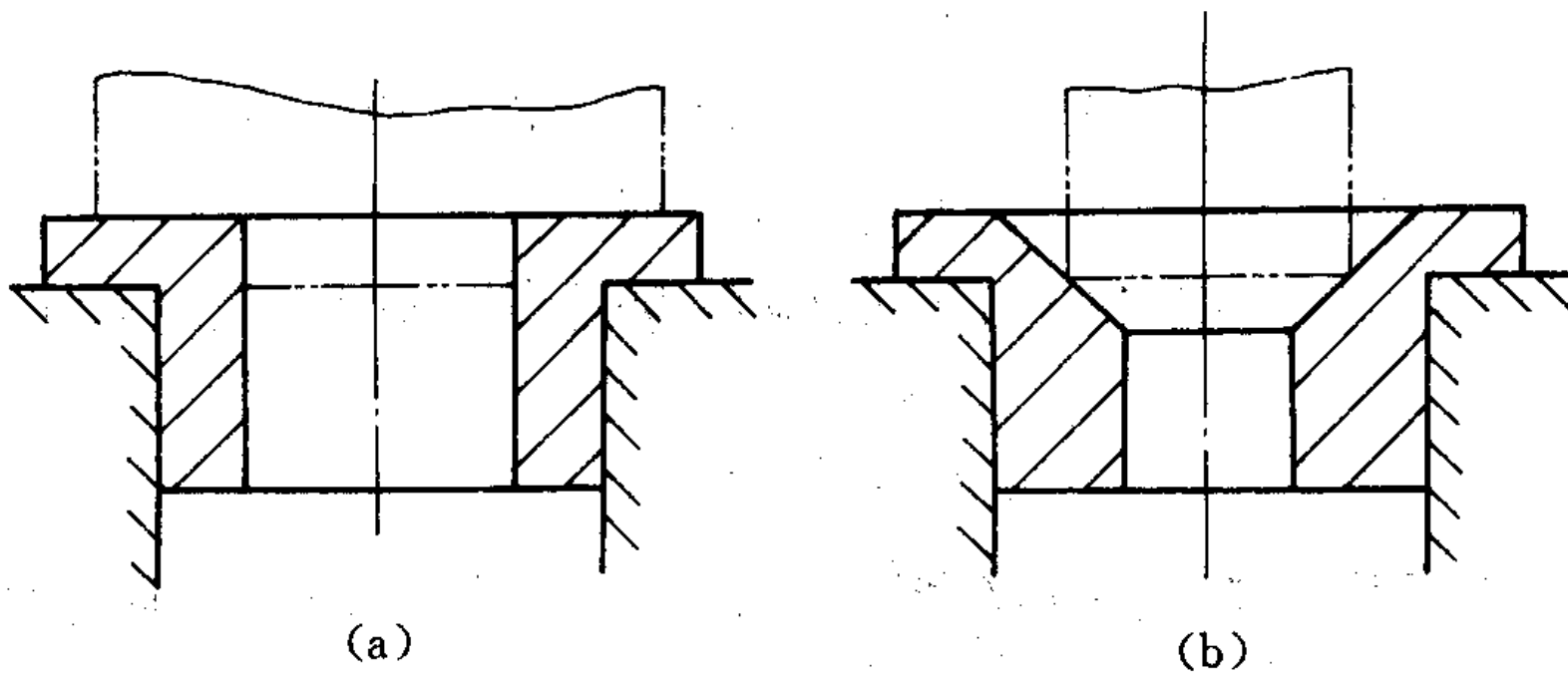
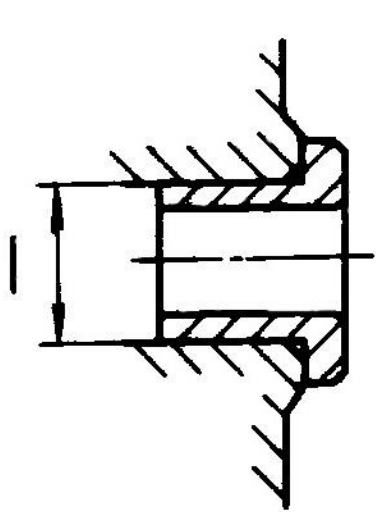
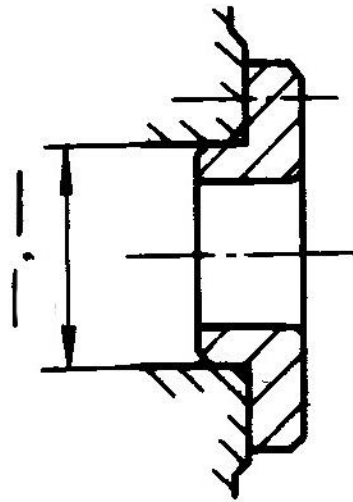


图 4-22 工件外圆以套筒和锥套定位

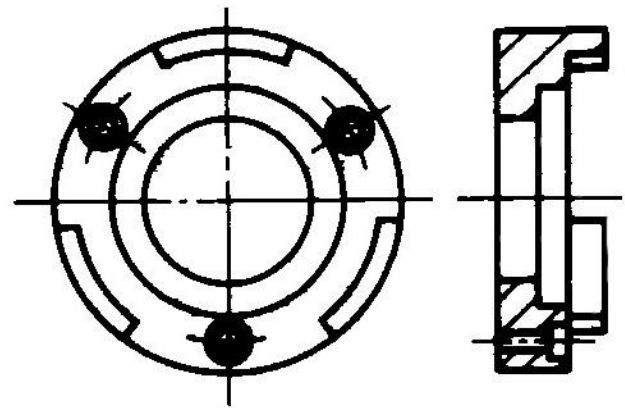
*圆柱孔、圆锥孔定位实例



a)

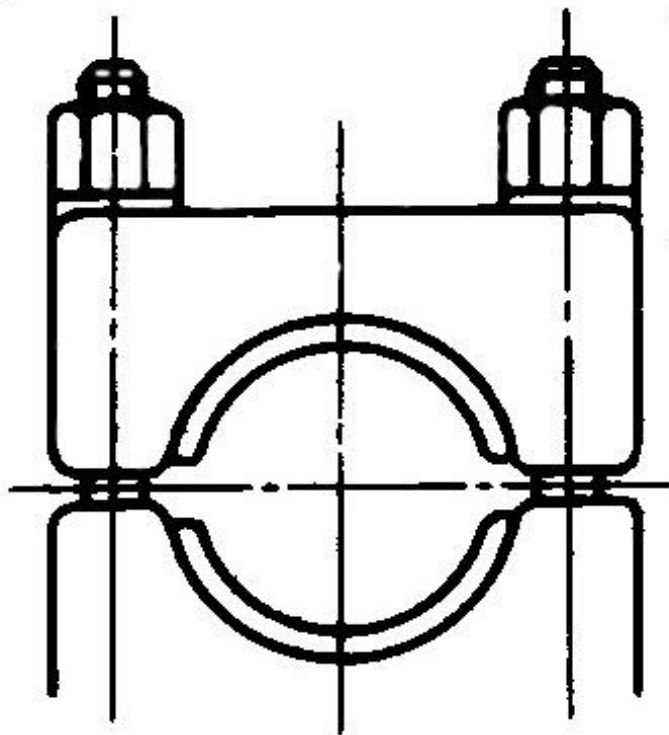


b)

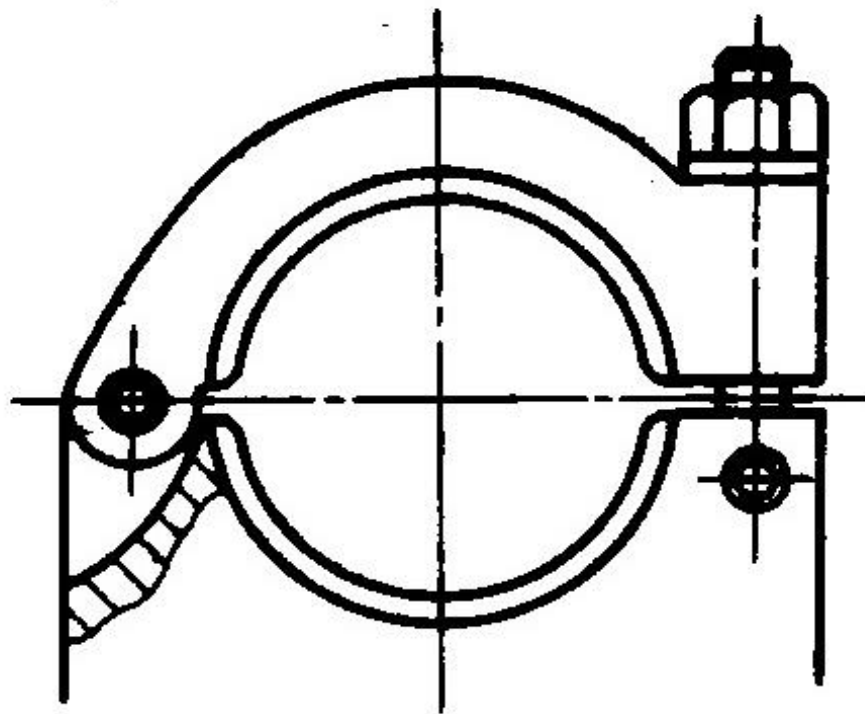


c)

*圆柱孔定位实例



a)



b)

*其他定位实例

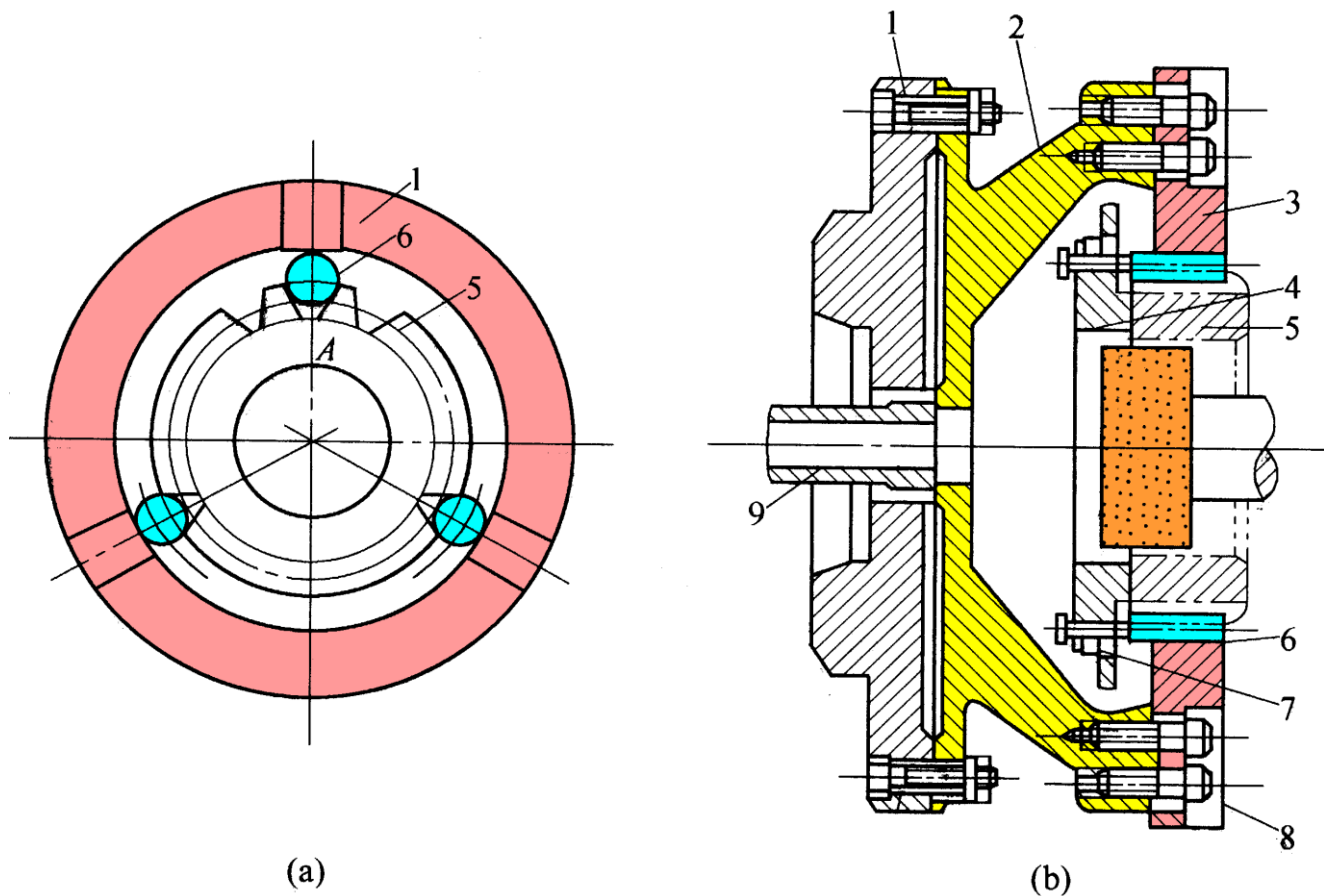


图 2 - 119 工件以渐开线齿面定位

1—夹具体 2—弹性薄膜盘 3—卡爪 4—保持架 5—工件(齿轮)

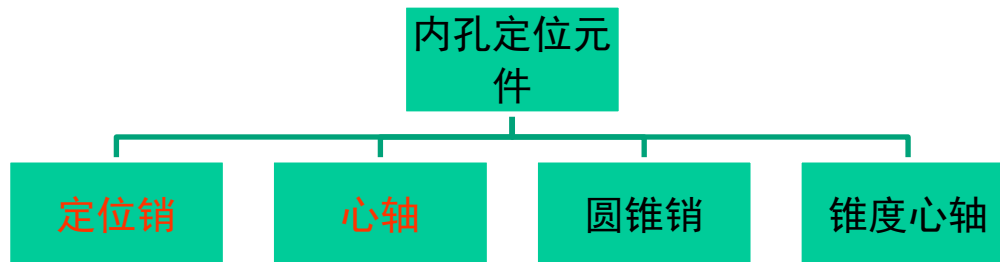
6—定心圆柱 7—弹簧 8—螺钉 9—推杆

(5) 典型定位元件的定位分析(外圆表面定位)

外 圆 柱 面	V 形 块	定位情况	一块短 V 形块	两块短 V 形块	一块长 V 形块
		图示			
		限制的自由度	$\bar{X} \quad \bar{Z}$	$\bar{X} \quad \bar{Z} \quad \bar{X} \quad \bar{Z}$	$\bar{X} \quad \bar{Z} \quad \bar{X} \quad \bar{Z}$
	定 位 套	定位情况	一个短定位套	两个短定位套	一个长定位套
		图示			
		限制的自由度	$\bar{X} \quad \bar{Z}$	$\bar{X} \quad \bar{Z} \quad \bar{X} \quad \bar{Z}$	$\bar{X} \quad \bar{Z} \quad \bar{X} \quad \bar{Z}$

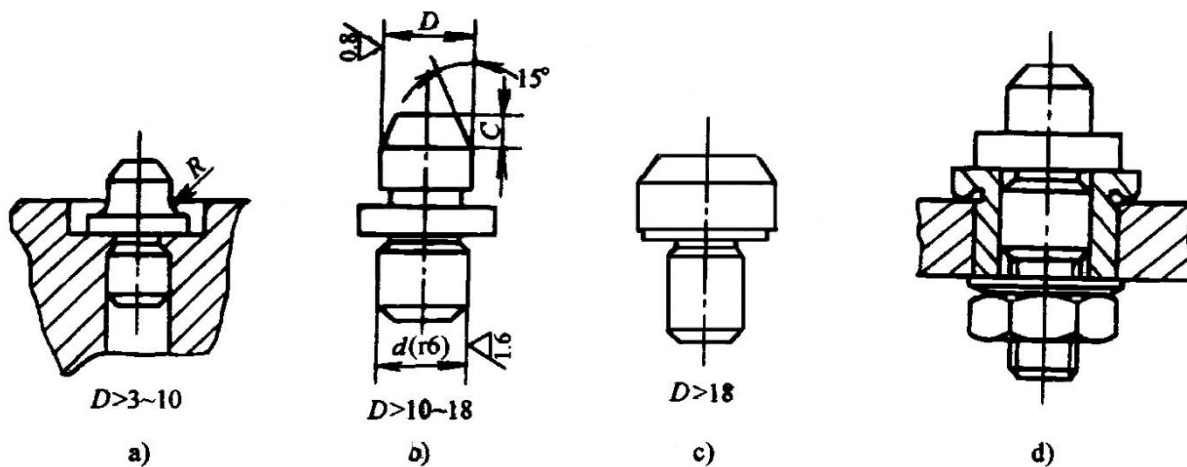
3、工件以内孔定位

Work piece positioning with cylindrical inner surface

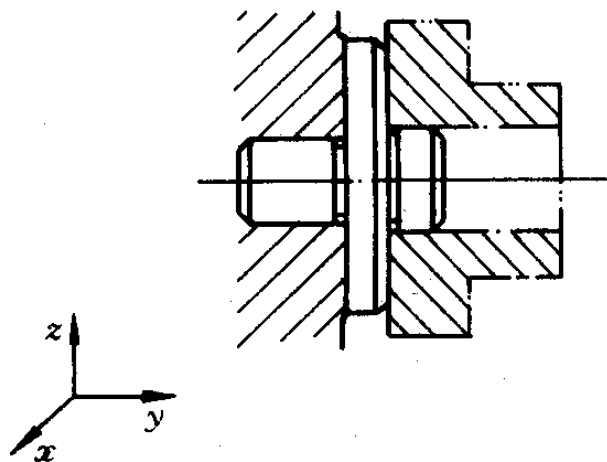


(1) 圆柱定位销(location pin/ dowel pin)

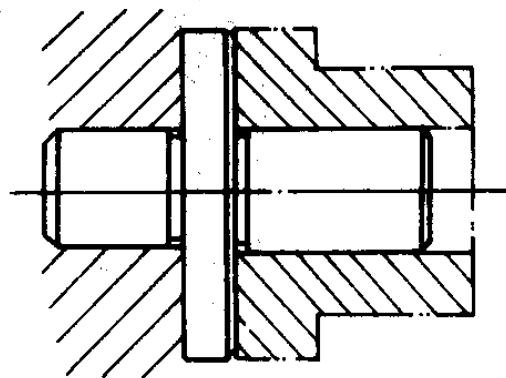
固定式和可换式



(2) 圆柱定位销的自由度

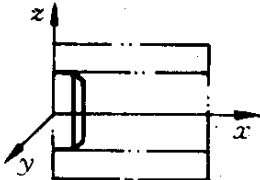
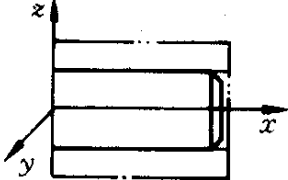
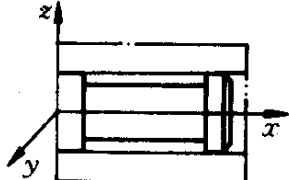
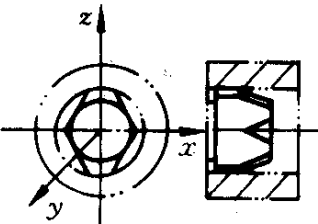
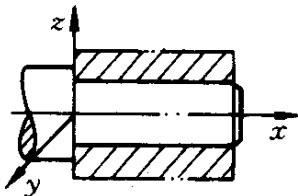
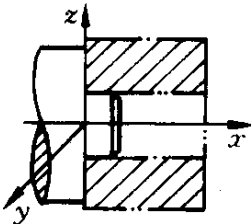


短定位销，限制 $\vec{X} \vec{Z}$



长定位销，限制 $\vec{X} \vec{Z} \hat{x} \hat{z}$

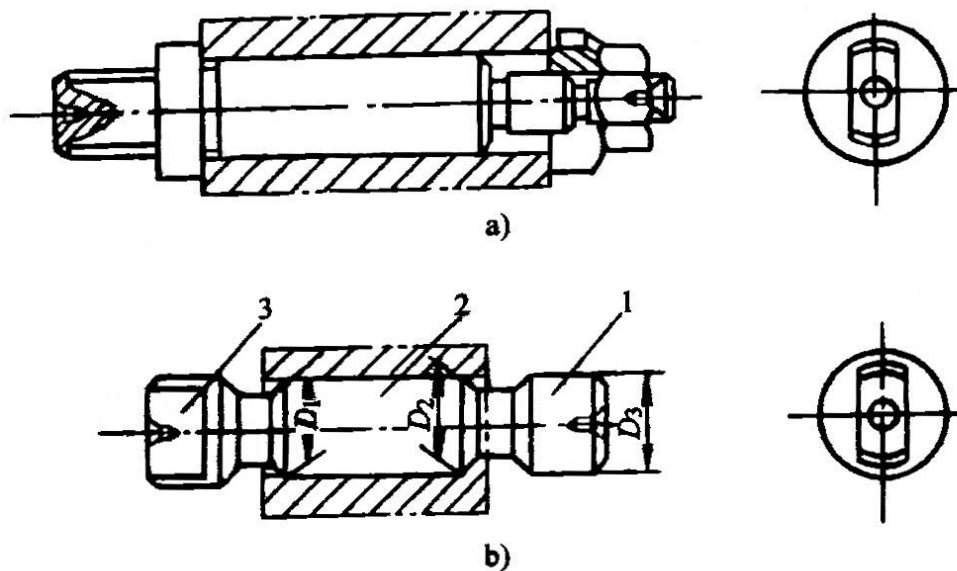
(3) 圆柱定位销的定位形式

圆 柱 销	圆 柱 销	定位情况	短圆柱销	长圆柱销	两段短圆柱销
		图示			
		限制的自由度	$\bar{Y} \quad \bar{Z}$	$\bar{Y} \quad \bar{Z} \quad \bar{Y} \quad \bar{Z}$	$\bar{Y} \quad \bar{Z} \quad \bar{Y} \quad \bar{Z}$
		定位情况	菱形销	长销小平面组合	短销大平面组合
	圆 柱 销	图示			
		限制的自由度	\bar{Z}	$\bar{X} \quad \bar{Y} \quad \bar{Z} \quad \bar{Y} \quad \bar{Z}$	$\bar{X} \quad \bar{Y} \quad \bar{Z} \quad \bar{Y} \quad \bar{Z}$

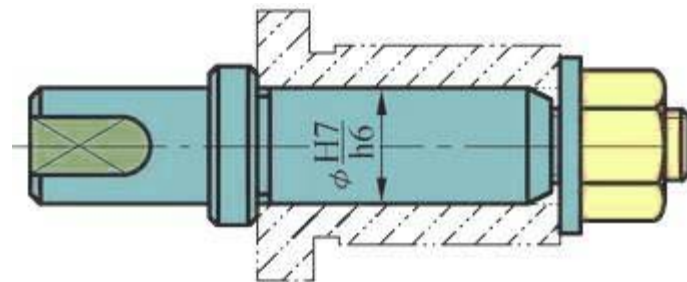
(4) 心轴(mandrel/ spindle shaft)

心轴两端有带护锥的顶尖孔，用以支承在机床上的顶尖上。

公差一般按h6、g6或f6制造，这种心轴装卸方便，但定心精度不高。



*心轴定位实例



为了消除间隙，提高定位精度，心轴可以用带有锥度的，但轴向位移大。

锥度通常做成 $1/5\ 000 \sim 1/1\ 000$ ，定心精度可达 $0.005 \sim 0.01\ \text{mm}$ 。

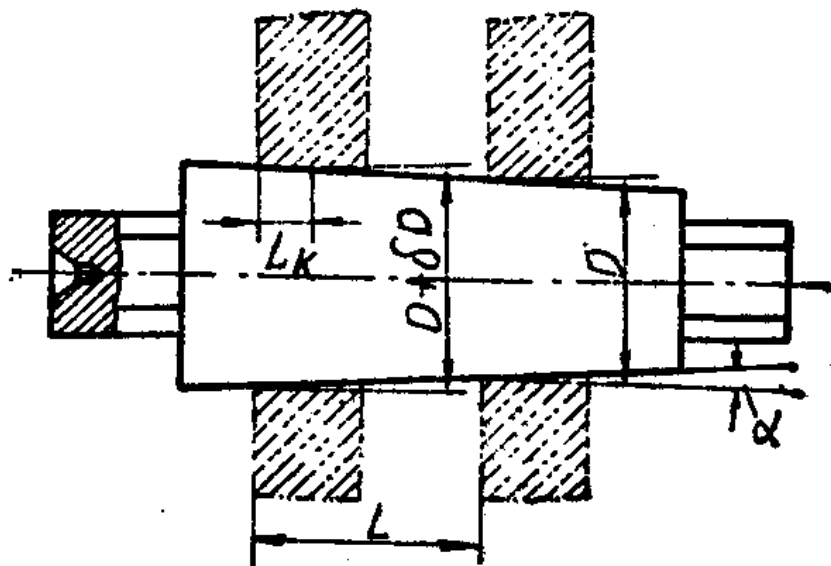
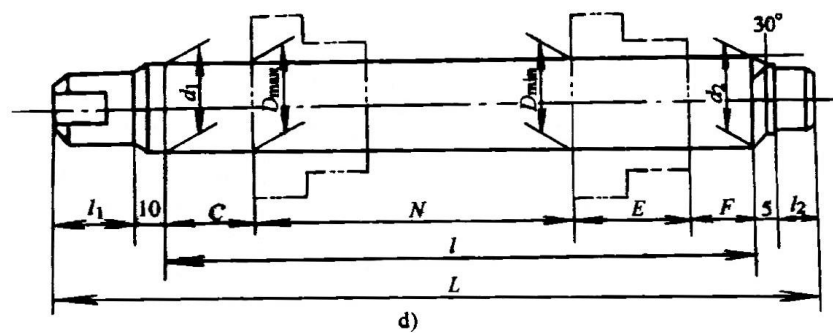
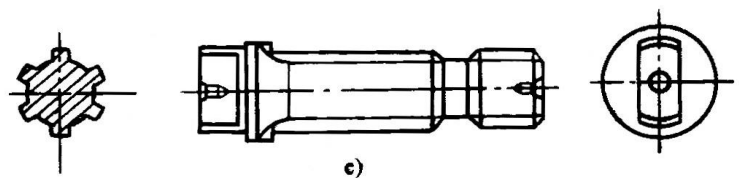
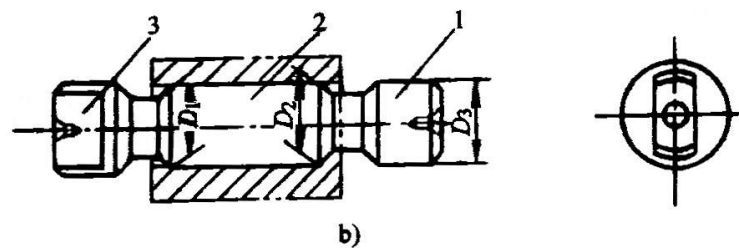
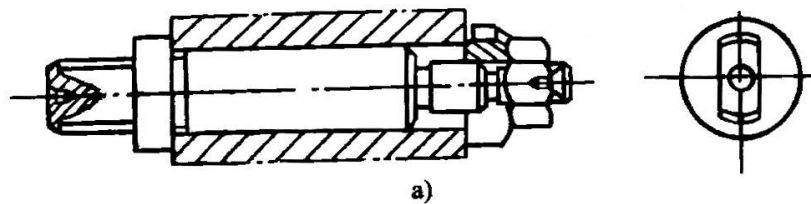
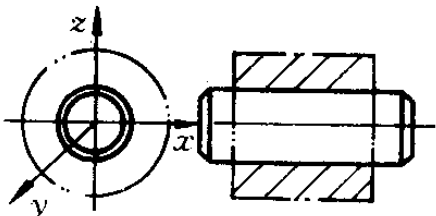
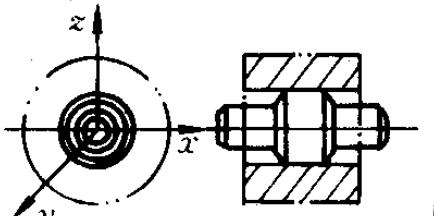
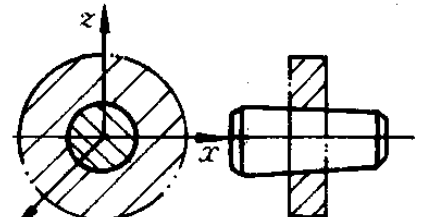


图4-24 圆锥心轴

间隙配合心轴、过盈配合心轴、花键心轴和锥度心轴



(5) 心轴定位分析

心 轴	定位情况	长圆柱心轴	短圆柱心轴	小锥度心轴
	图示			
	限制的自由度	\vec{X} \vec{Z} \vec{X} \vec{Z}	\vec{X} \vec{Z}	\vec{X} \vec{Z}

(6) 圆锥销 (cone) 限制三个自由度。

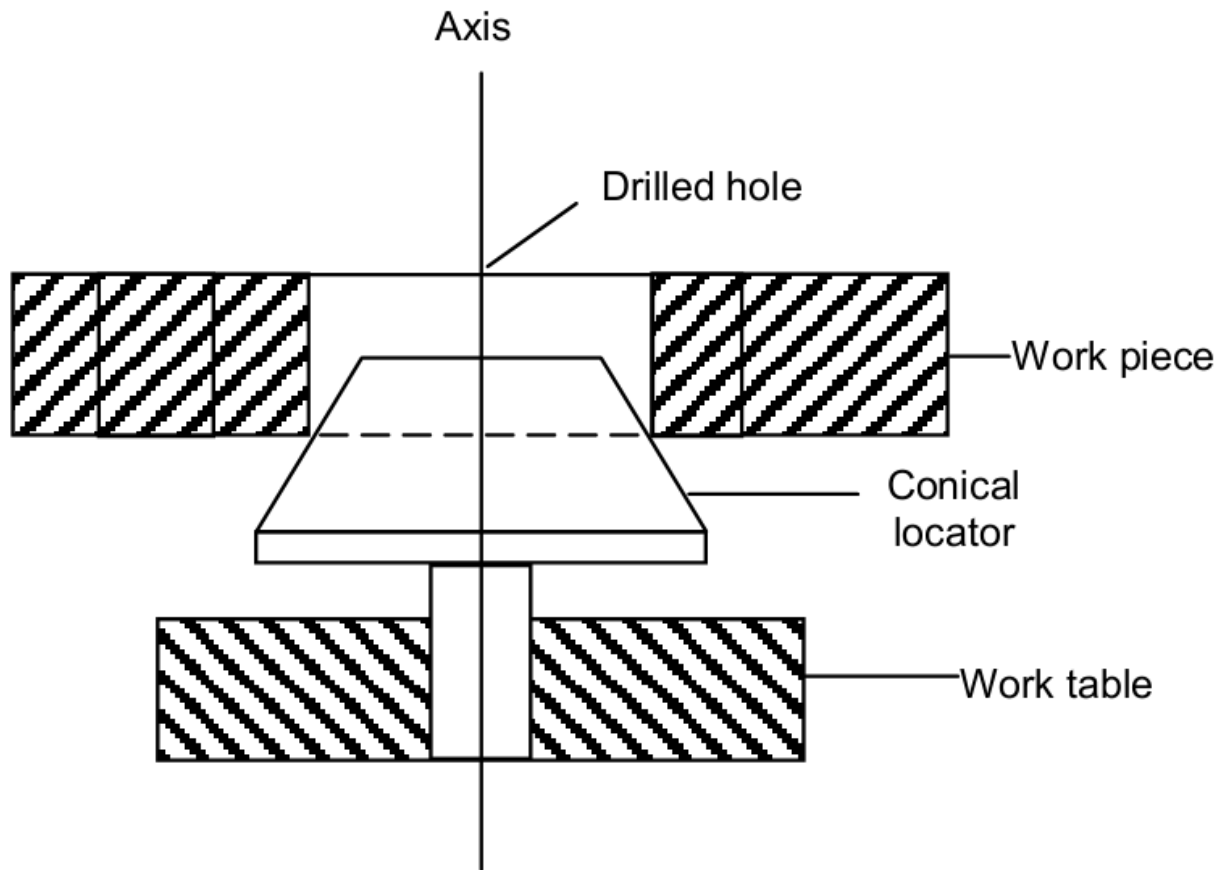


Figure 4.5 : Conical Locator

*圆锥销实物



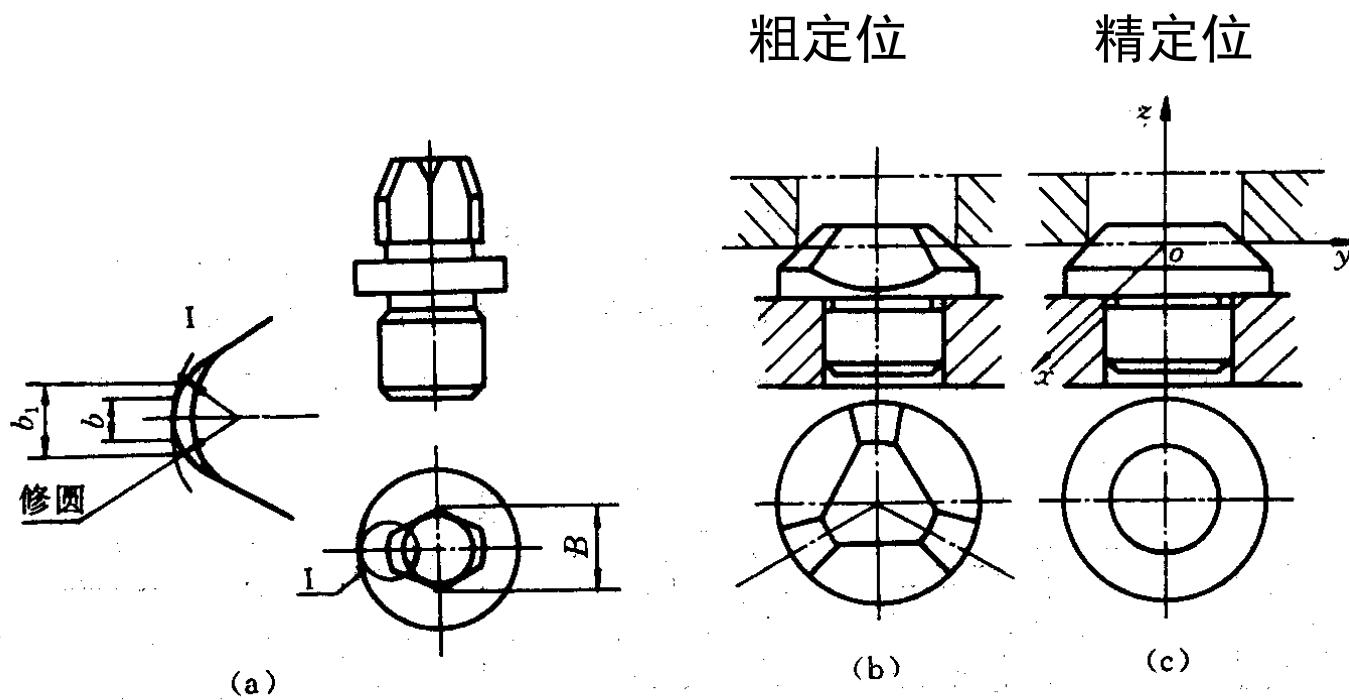
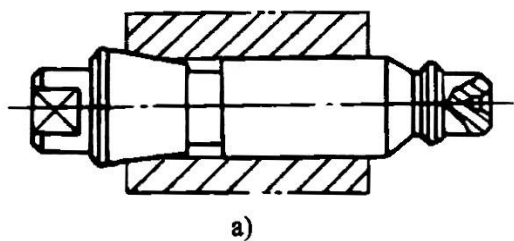


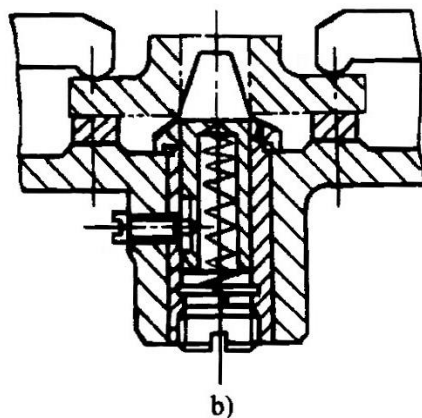
图 4-21 锥形销与圆锥销

单独定位易倾斜，一般由其它元件组合定位，定心精度高。

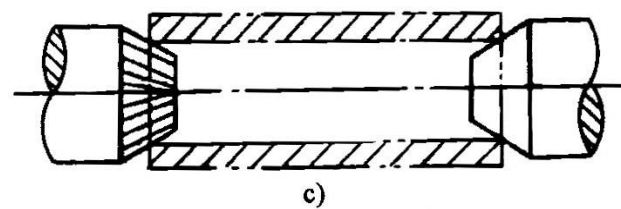
(7) 圆锥销应用实例



圆锥-圆柱组合
心轴定位



圆锥销可活动，
保证定位准确



双圆锥销

(8) 圆锥销 定位分析

夹 具 的 定 位 元 件				
圆锥销	定位情况	固定锥销	浮动锥销	固定锥销与浮动锥销组合
	图示			
圆锥销	限制的自由度	$\vec{X} \quad \vec{Y} \quad \vec{Z}$	$\vec{Y} \quad \vec{Z}$	$\vec{X} \quad \vec{Y} \quad \vec{Z} \quad \vec{Y} \quad \vec{Z}$

(9) 其它内表面定位

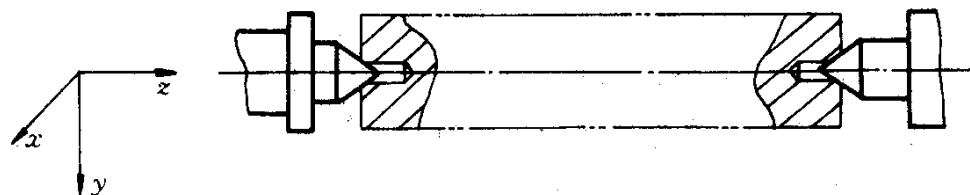


图 4-26 工件在两顶尖上的定位



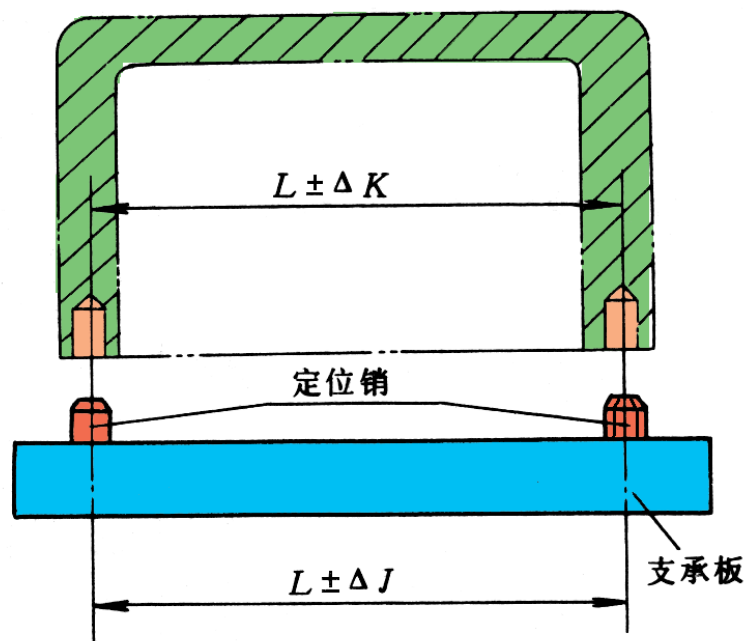
圆锥孔	锥顶尖和锥度心轴	定位情况	固定顶尖	浮动顶尖	锥度心轴
		图示			
		限制的自由度	$\bar{X} \quad \bar{Y} \quad \bar{Z}$	$\bar{Y} \quad \bar{Z}$	$\bar{X} \quad \bar{Y} \quad \bar{Z} \quad \bar{Y} \quad \bar{Z}$

4、以工件上的一面两孔定位

Work piece positioning with two holes and one plane surface

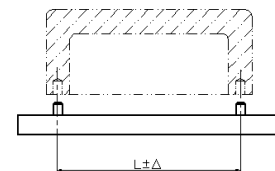
(1) “一面两孔”定位

应用工件上的两个轴线平行的孔和一个与孔轴线垂直的端平面进行组合定位，简称“一面两孔”定位。



“一面二孔”的组合定位

“一面两孔”定位时，
平面用支承板定位，两
孔用定位销定位。



(2) 误差来源

定位销1的最大直径： $d_1 = D_1 - \Delta_1$

定位销2的最大直径： $d_2 = D_2 - \Delta_2 - 2(\delta L_D - \delta L_d)$

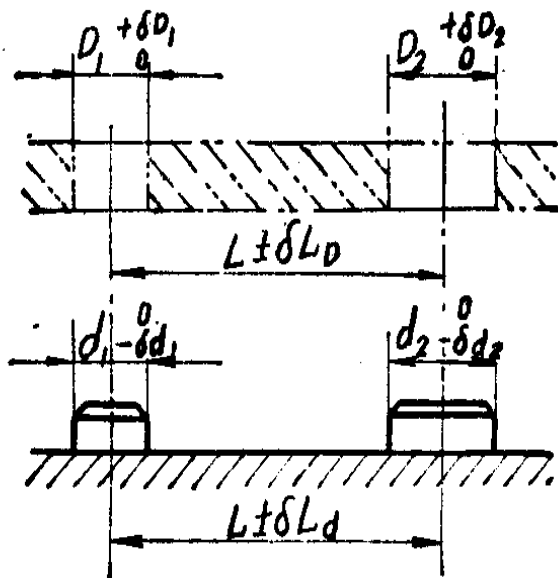


图4-25 两圆柱销定位

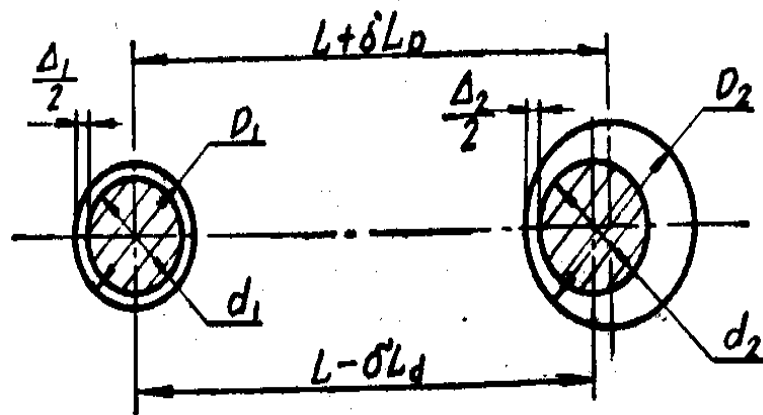


图4-26 两圆柱销直径变化情况

(3) 一面二孔组合定位的解决方案

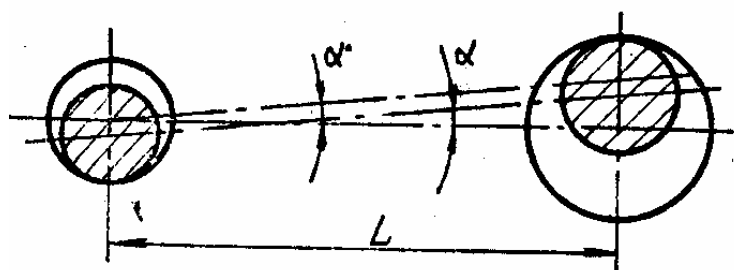


图4-27 两圆柱销定位角度误差

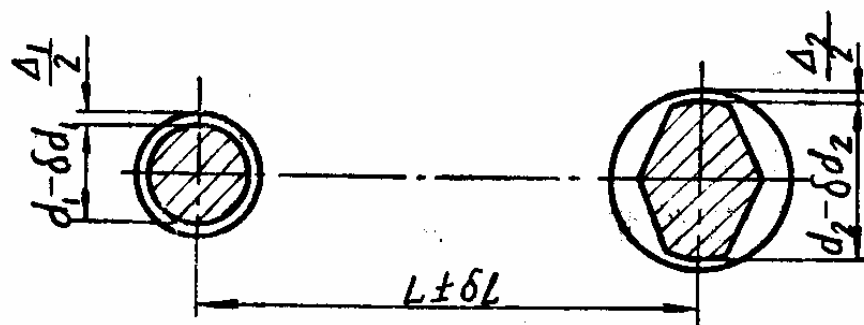
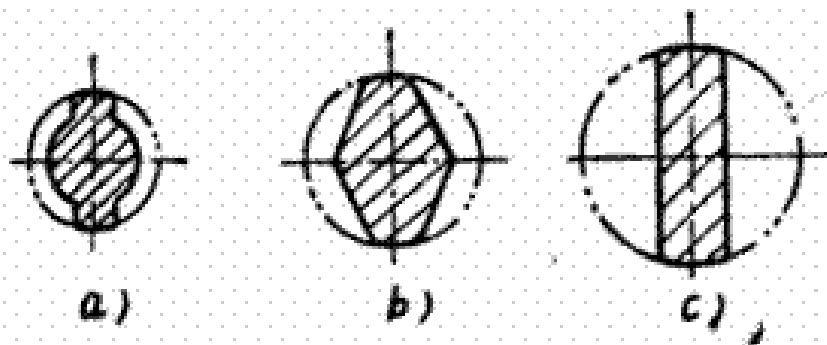


图4-28 一圆柱销一菱形销定位



*实例

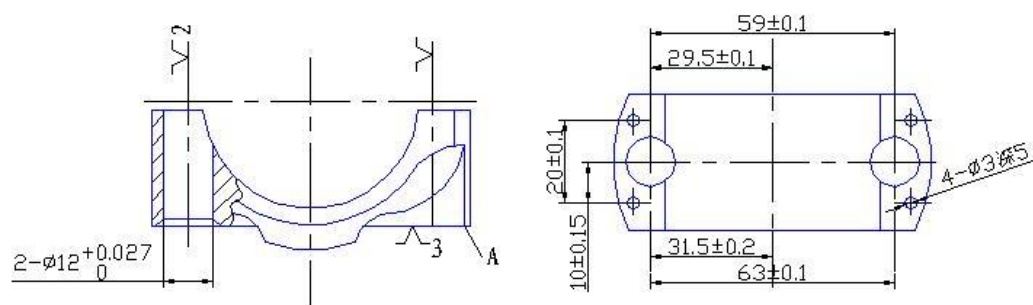


图3-21 连杆盖工序图

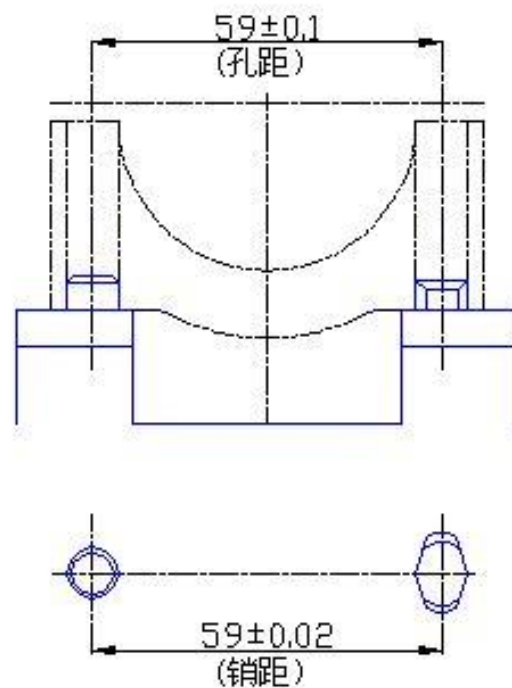
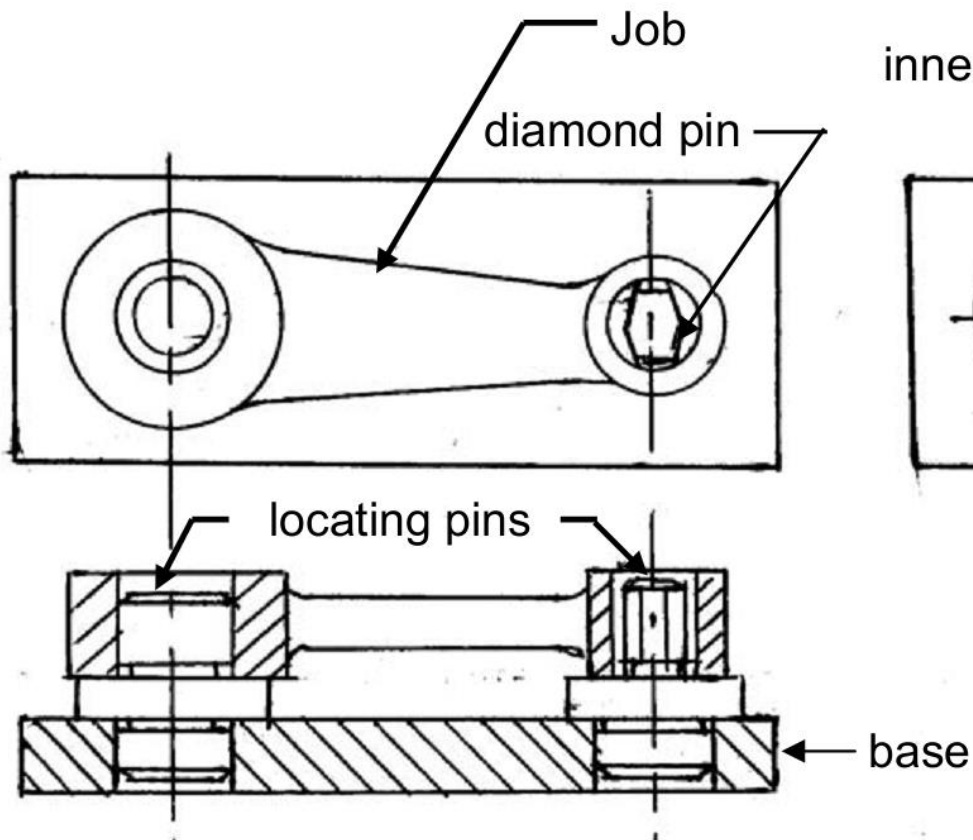
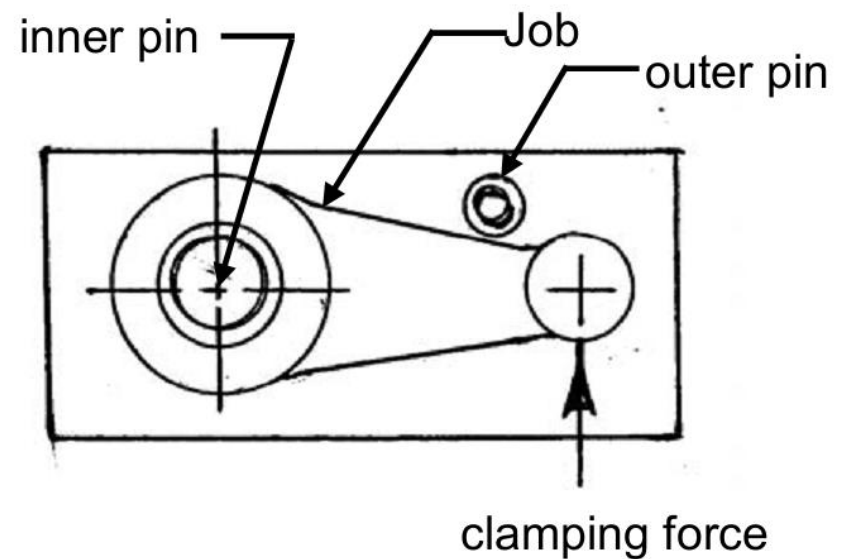


图2-9 一面两孔定位方式

*实例



(a) locating by two holes



(b) locating by one hole

Fig. 8.1.9 Locating by holes.

*实例

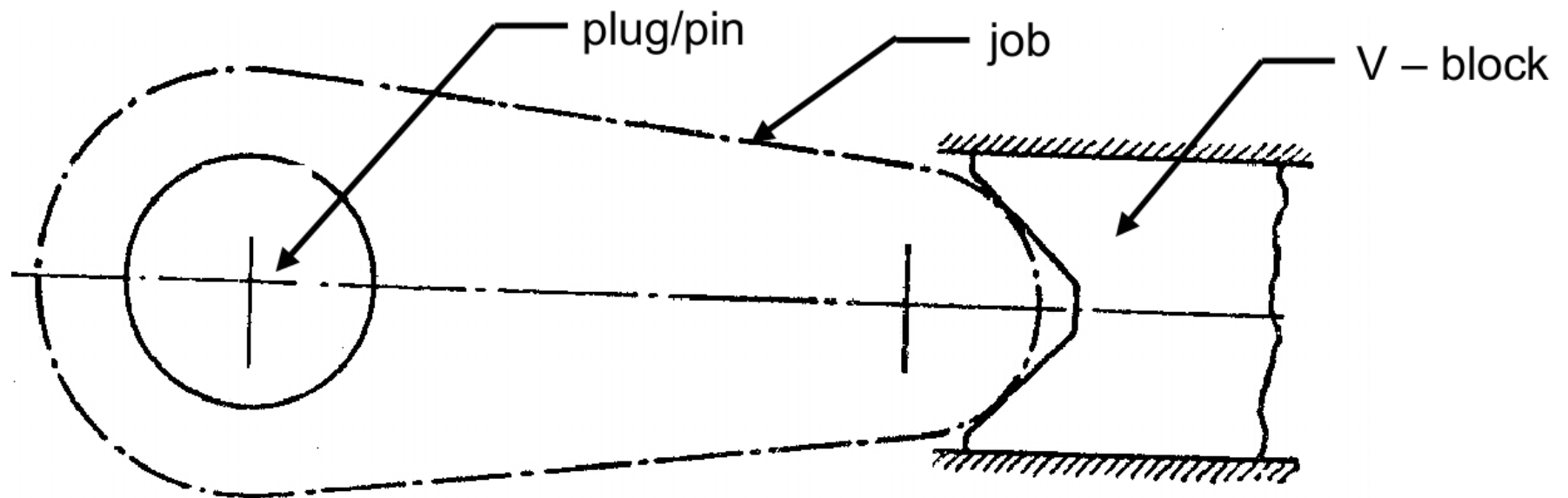
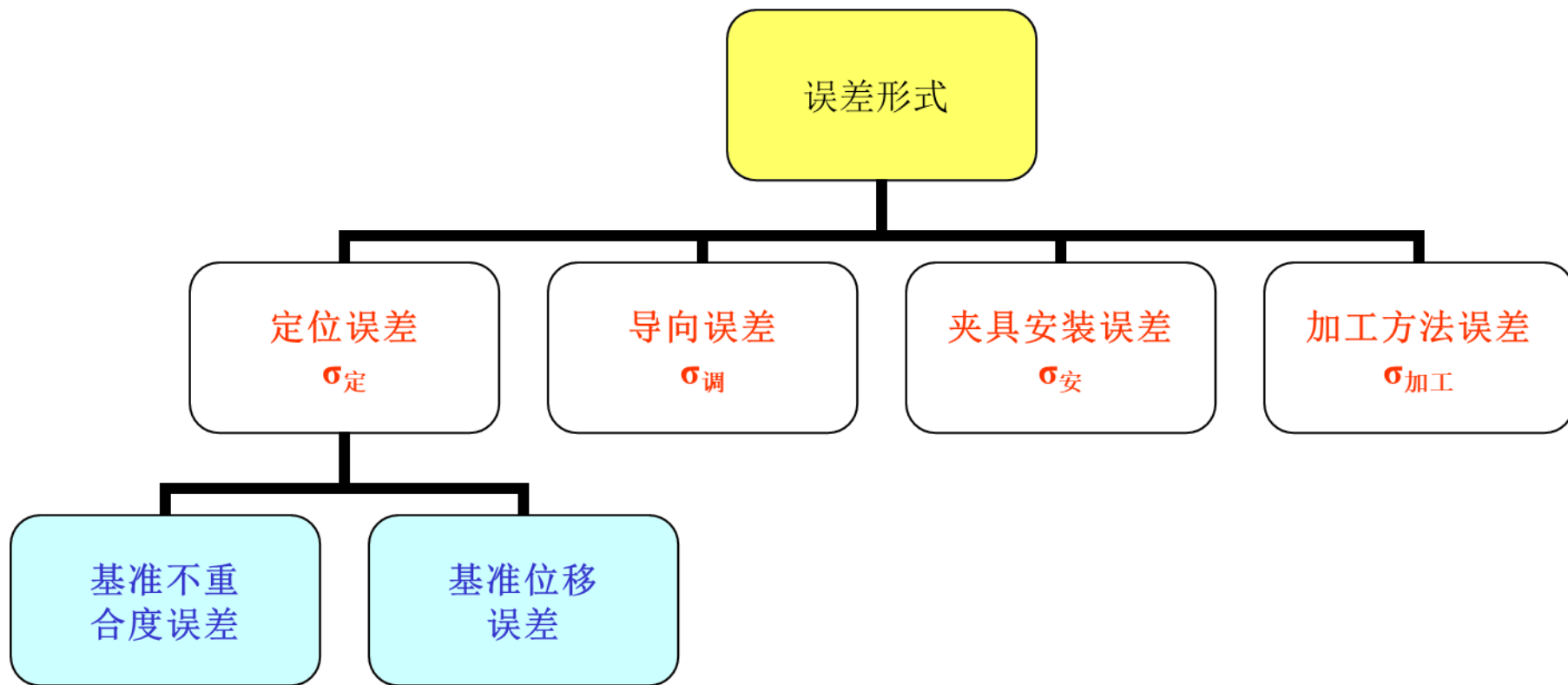


Fig. 8.1.10 Locating by a pin and Vee block.

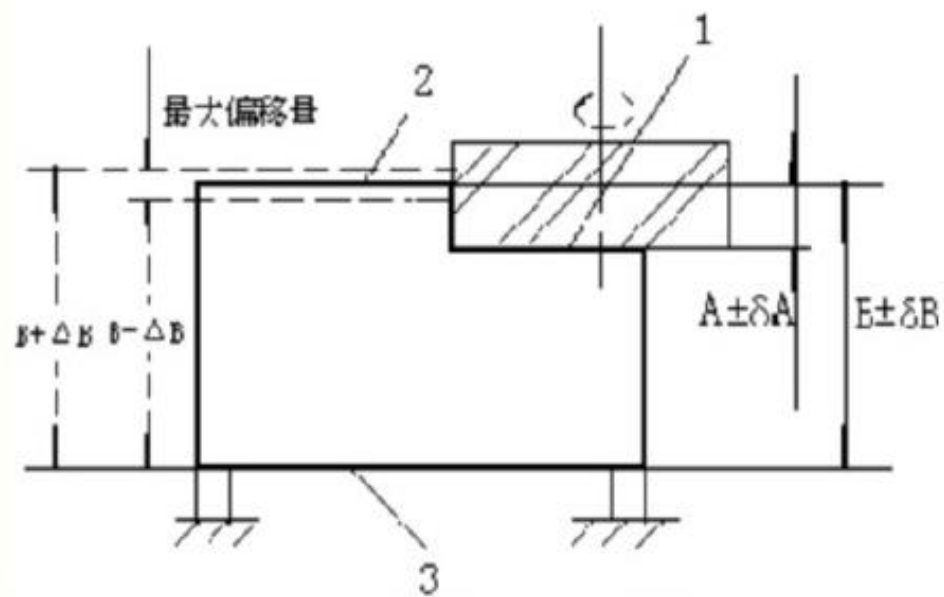
第三节 定位误差分析

Positioning errors

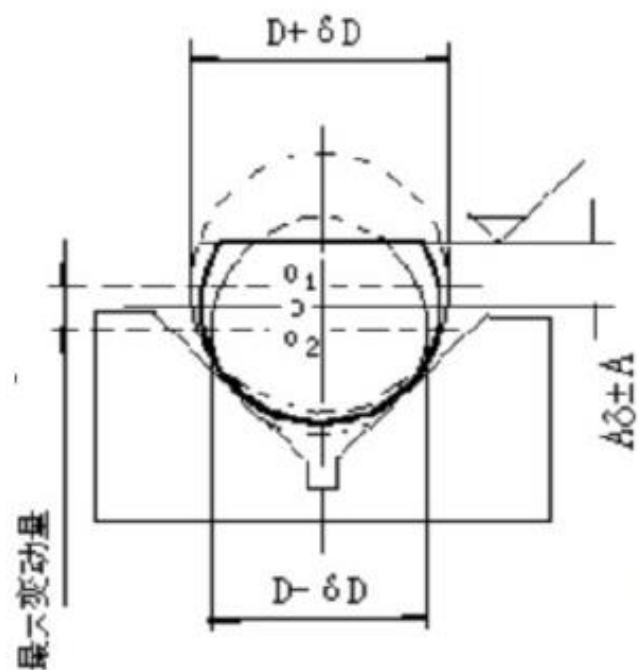


定位误差(Positioning errors)：一批工件在夹具中定位时，由于定位不准确而造成的设计基准相对加工面的位置变动。

- **基准不重合度误差**(datum misalignment error) 是指由于**定位基准与设计基准(或工序基准)**不重合，引起一批工件的设计基准相对于定位基准的尺寸变动。
- **基准位移误差**(datum displacement error) 由于工件定位基准和夹具定位元件的定位面的**制造误差和配合间隙**，引起的定位基准相对于其理想位置的尺寸变动。



基准不重合

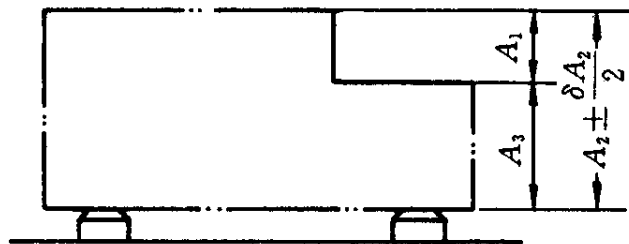


基准位移

一、工件以平面定位的误差分析



基准不重合情况

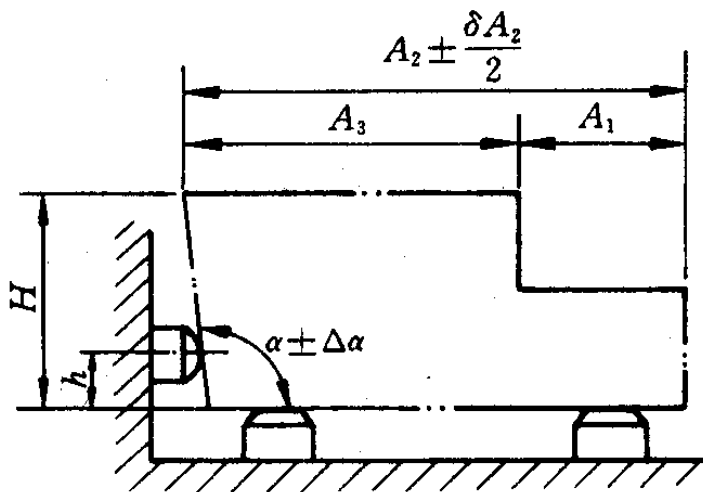


定位基准与设计基准之间位移的变化量

$$\delta_{\text{定}} = \delta_{A_2}$$



基准位移情况



定位面制造误差引起位移的变化量

$$\delta_{\text{定}} = 2(H - h) \tan \Delta\alpha$$

综合情况：

$$\delta_{\text{定}} = \delta_{A_2} + 2(H - h) \tan \Delta\alpha$$

二、工件以外圆表面定位的误差分析



V型块定位误差分析

(1) 按尺寸 H_1 标注工序尺寸的情况

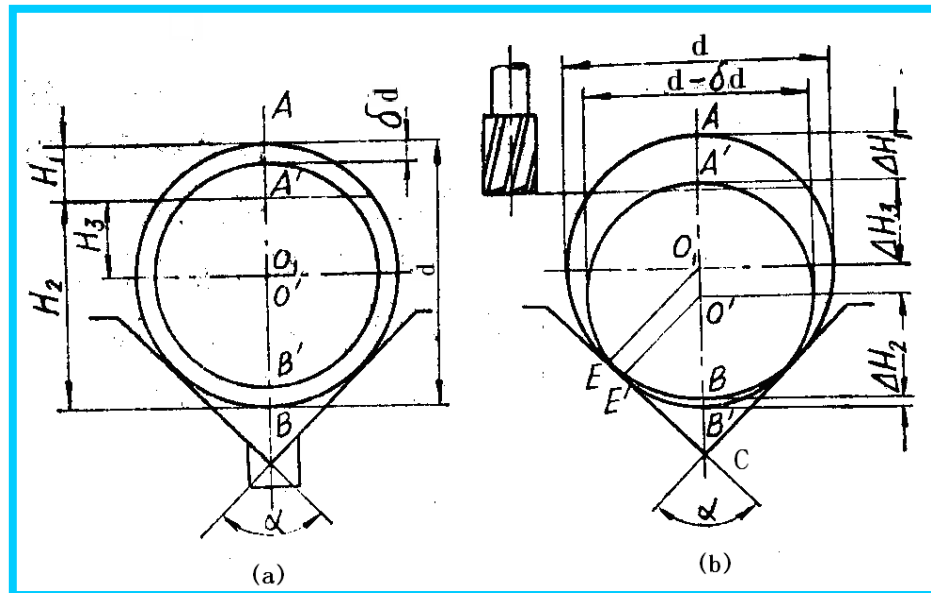
$$CA = OA + CO = \frac{d}{2} + \frac{d}{2} \cdot \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{d}{2} \left(1 + \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right)$$

$$\Delta_{H1} = \delta_{OA} + \delta_{CO} = \frac{\delta d}{2} \left(1 + \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right)$$

(2) 按尺寸 H_2 标注工序尺寸的情况

$$CB = CO - BO = \frac{d}{2} \cdot \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - \frac{d}{2} = \frac{d}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right)$$

$$\Delta_{H2} = \delta_{CO} - \delta_{BO} = \frac{\delta d}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right)$$



(3) 按尺寸 H_3 标注工序尺寸的情况

$$CO = \frac{d}{2} \cdot \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{d}{2} \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}}$$

$$\Delta_{H3} = \delta_{CO} = \frac{\delta d}{2} \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}}$$

$$\Delta H_1 > \Delta H_3 > \Delta H_2$$

三、工件以内孔表面定位的误差分析



定位销定位

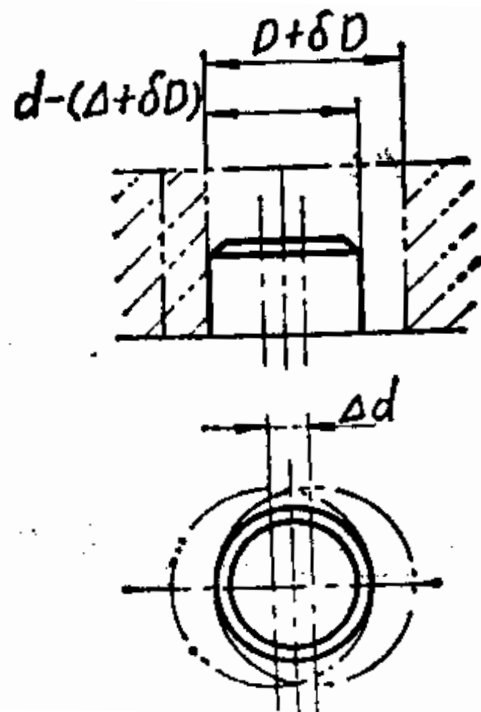
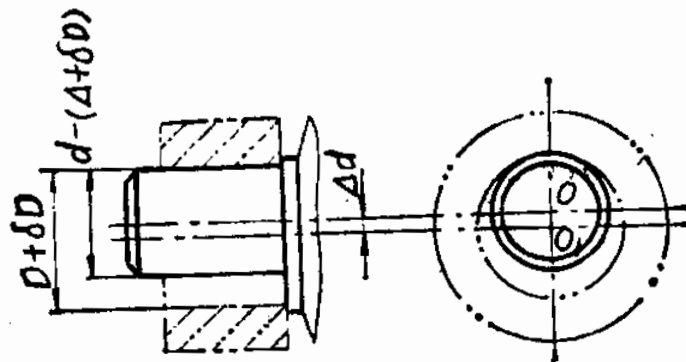
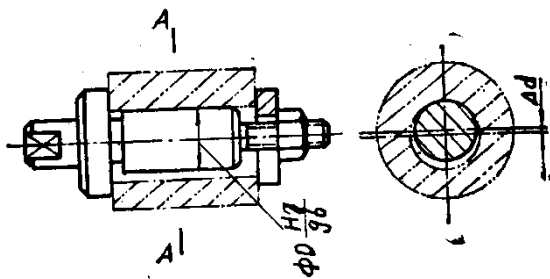
定位销水平放置时，定位误差为：

$$\Delta d = \frac{1}{2}(\delta D + \delta d + \Delta)$$

定位销垂直放置时，定位误差为：

$$\Delta d = \delta D + \delta d + \Delta$$

采用心轴时的定位误差分析相似



四、工件以一面两孔定位的误差分析



定位的误差

①任意方向上的基准位移误差

$$\delta_{\text{基准位移}} = \delta D_1 + \delta d_1 + \Delta_1$$

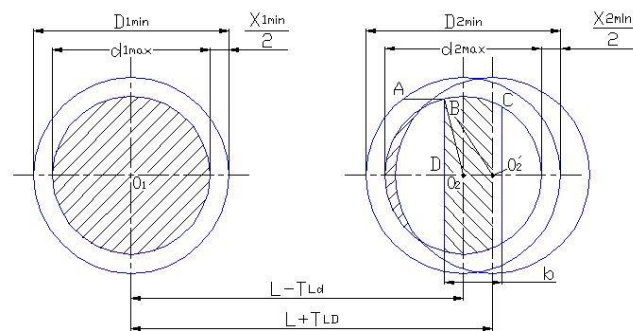
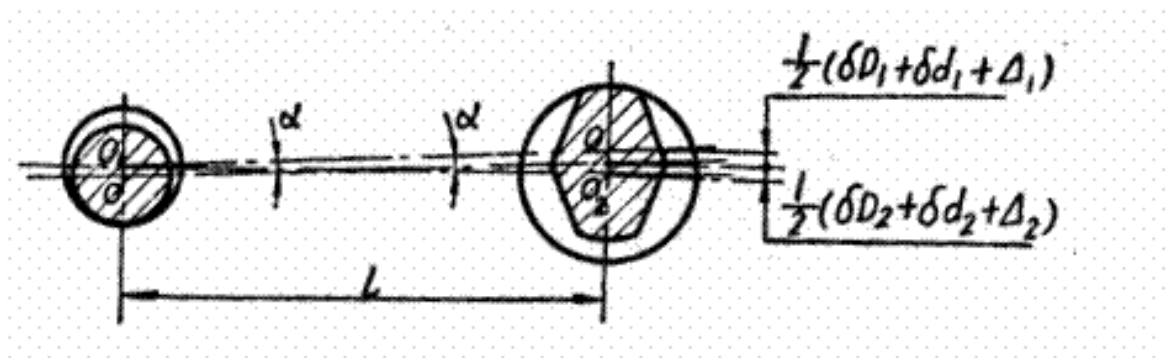


图3-20 削边销尺寸计算

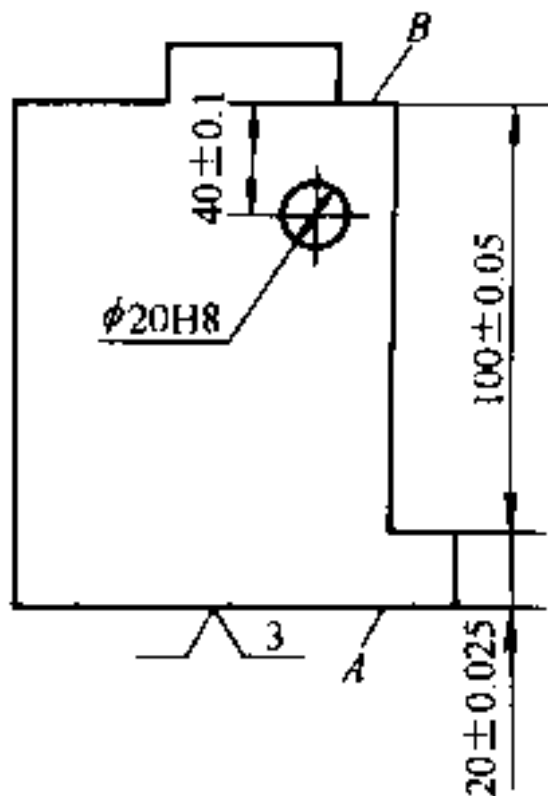
②最大转角误差



$$\tan \alpha_{\max} = \frac{\delta D_1 + \delta d_1 + \Delta_1 + \delta D_2 + \delta d_2 + \Delta_2}{2L}$$

课堂练习题

例 1.如下图所示，以A 面定位加工 $\phi 20H8$ 孔，求加工尺寸 $40 \pm 0.1\text{mm}$ 的定位误差。



工序基准B与定位基准A不重合，因此存在基准不重合误差。

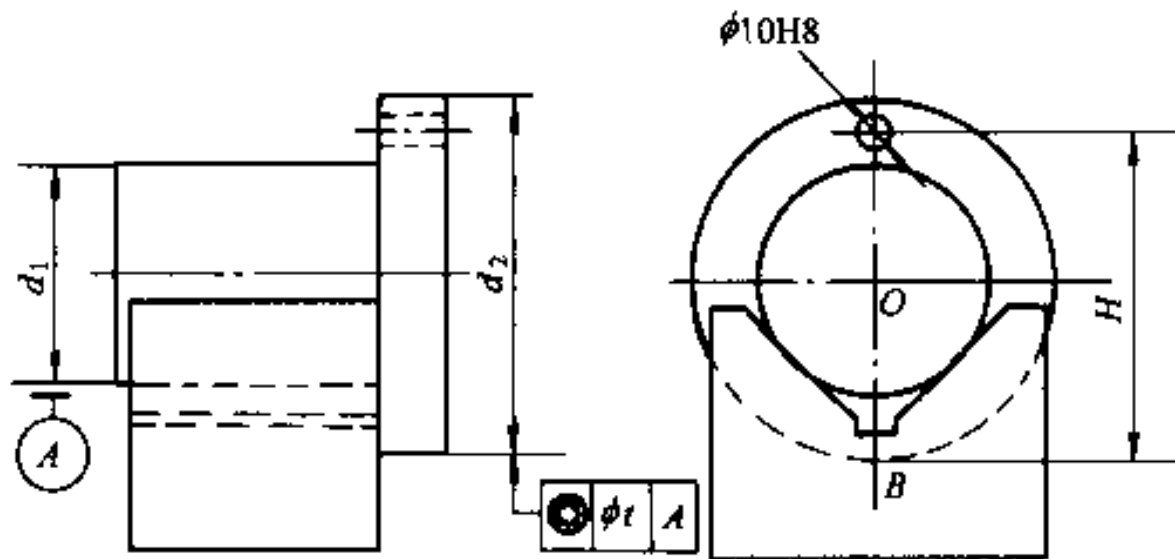
$$\Delta B = 0.05 + 0.1 = 0.15$$

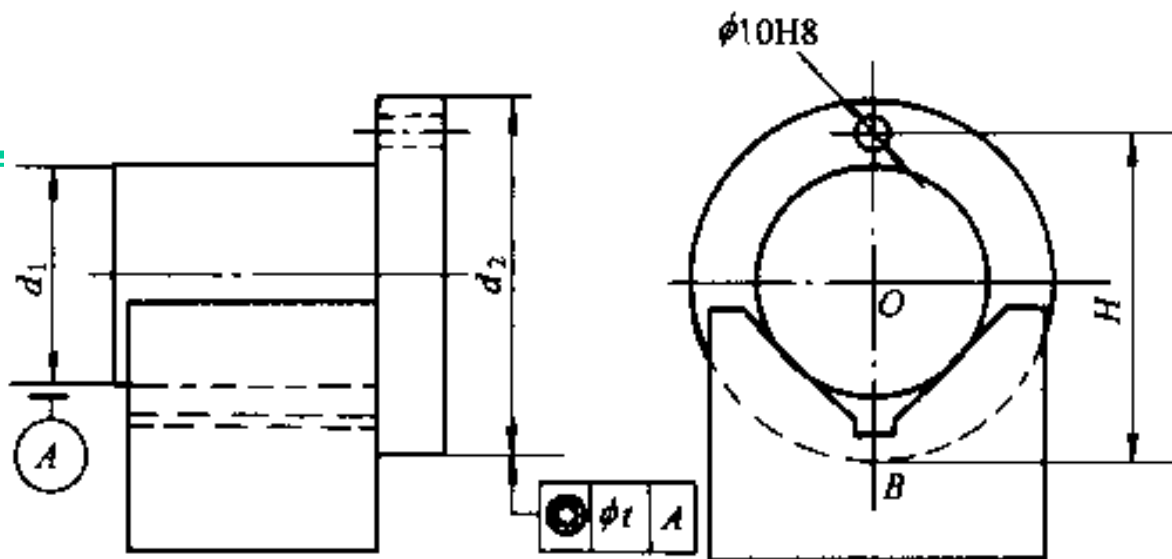
定位基面为平面，接触较好，基准位移误差为0。

定位误差 $\Delta D = \Delta B = 0.15$ 。

例2.如下图所示，工件以 d_1 外圆定位，加工 $\phi 10H8$ 孔。已知：

$d_1 = \phi 30_{-0.01}^0 \text{mm}$, $d_2 = \phi 55_{-0.056}^{-0.010} \text{mm}$, $H = 40 \pm 0.15 \text{mm}$,
 $t = \phi 0.03 \text{mm}$, 求加工尺寸 $40 \pm 0.15 \text{mm}$ 的定位误差。





$$d_1 = \phi 30_{-0.01}^0 \text{mm},$$

$$d_2 = \phi 55_{-0.056}^{-0.010} \text{mm},$$

$$H = 40 \pm 0.15 \text{mm},$$

$$t = \phi 0.03 \text{mm},$$

工序基准B与定位基准A不重合，因此存在基准不重合误差。

$$\Delta B = \frac{0.046}{2} + 0.03 = 0.053$$

以V形块定位存在基准位移误差

$$\Delta Y = \frac{0.01}{2 \sin (\alpha / 2)} = 0.007$$

定位误差

$$\Delta D = \Delta B + \Delta Y = 0.06$$

第四节 工件的夹紧和夹紧机构

Workpiece clamping and clamping device

一、工件夹紧的基本要求

Basic demands

基本要求：夹得稳、夹得牢、夹得快

- (1) 夹紧时不应破坏工件的正确定位；
- (2) 夹紧后保证工件在加工中位置稳定、振动小，同时工件变形小；
- (3) 夹紧机构设计要安全、迅速和省力，且应具有自锁性；
- (4) 夹紧装置自动化程度应与生产类型相适应，在保证效率的前提下，结构尽量简单，便于制造和维修。

什么是夹紧力的“三要素” (Three essential factors) ?

夹紧力的作用方向、作用点和夹紧力的大小。

The direction, position and magnitude of the clamping force.

1、夹紧力作用方向 (the direction of clamping force)

3个原则

- (1) 夹紧力的作用方向应不破坏工件定位的准确性；
- (2) 夹紧力的作用方向应使工件变形尽可能小；
- (3) 夹紧力的作用方向使所需夹紧力尽可能小些。

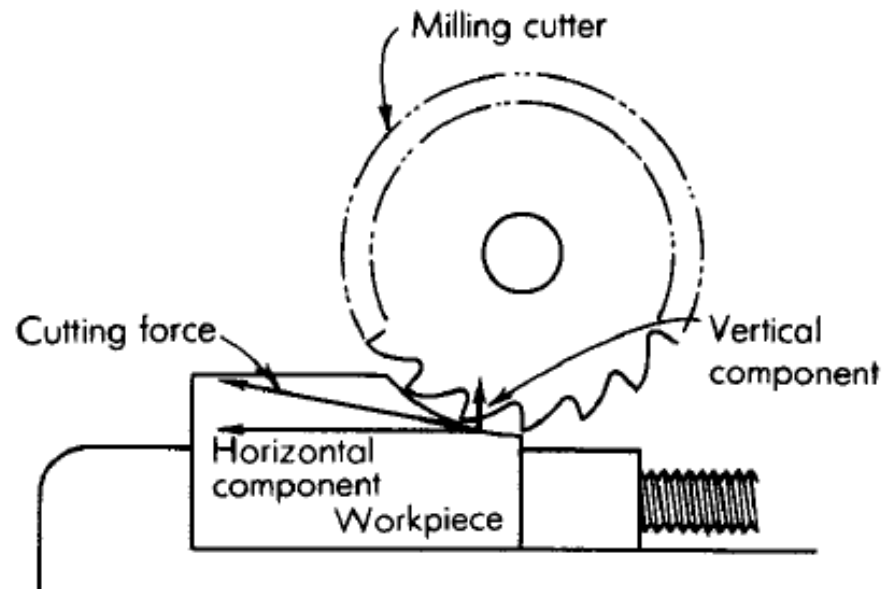


Figure 4-63. Cutting force resisted by solid jaw of vise.

Which clamping method is better?

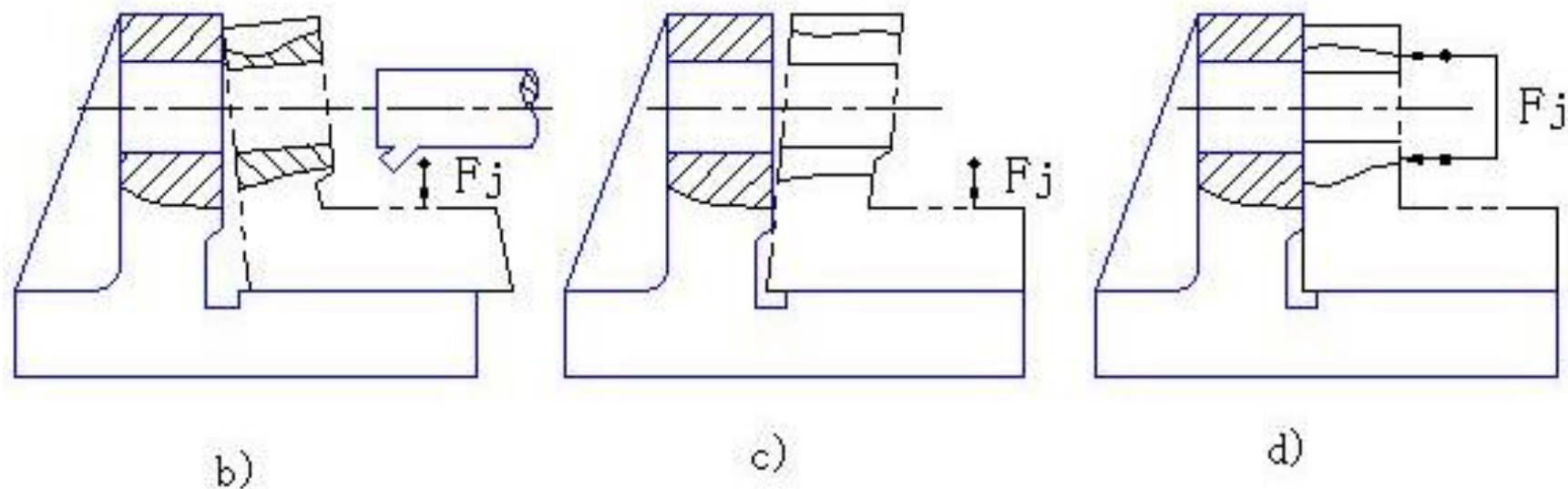


图3-28 夹紧力应指向主要定位基面

Which clamping method is better?

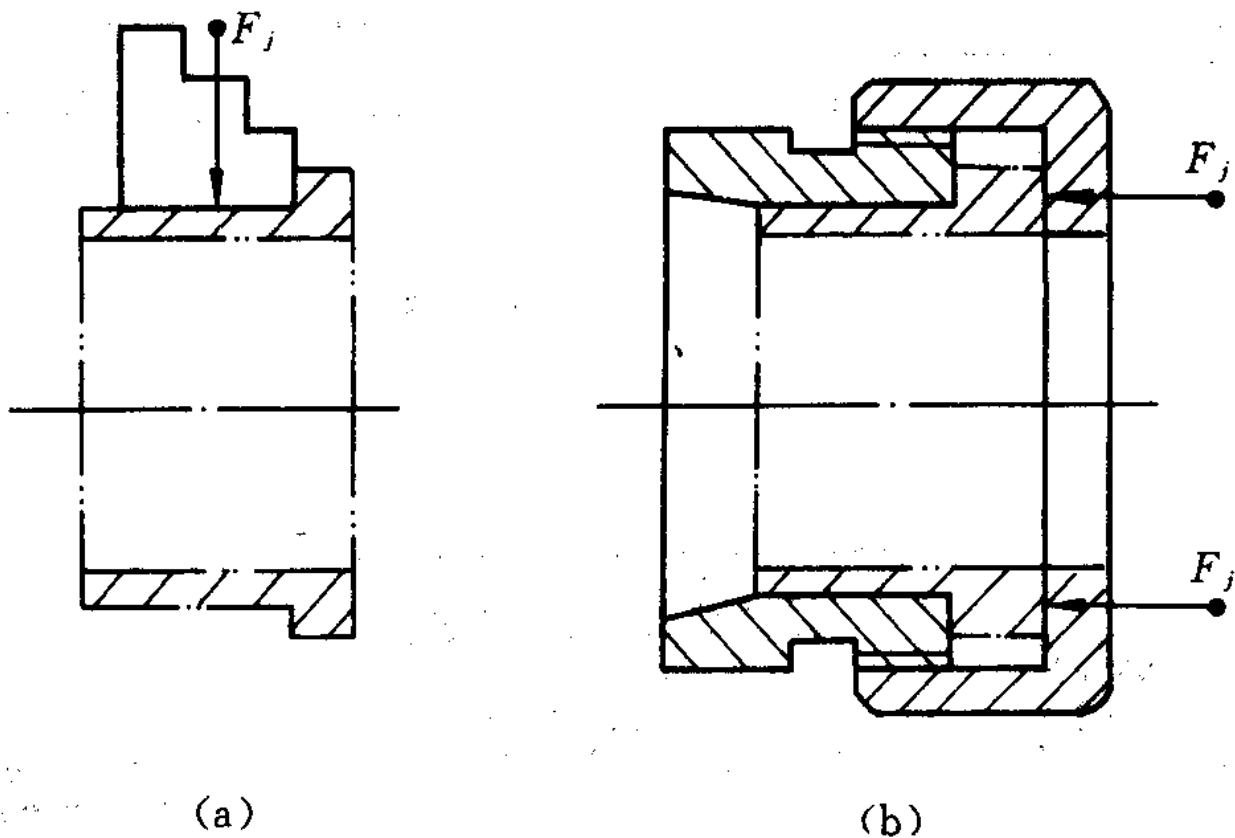


图 4-34 薄壁套筒的夹紧

Which clamping method is better?

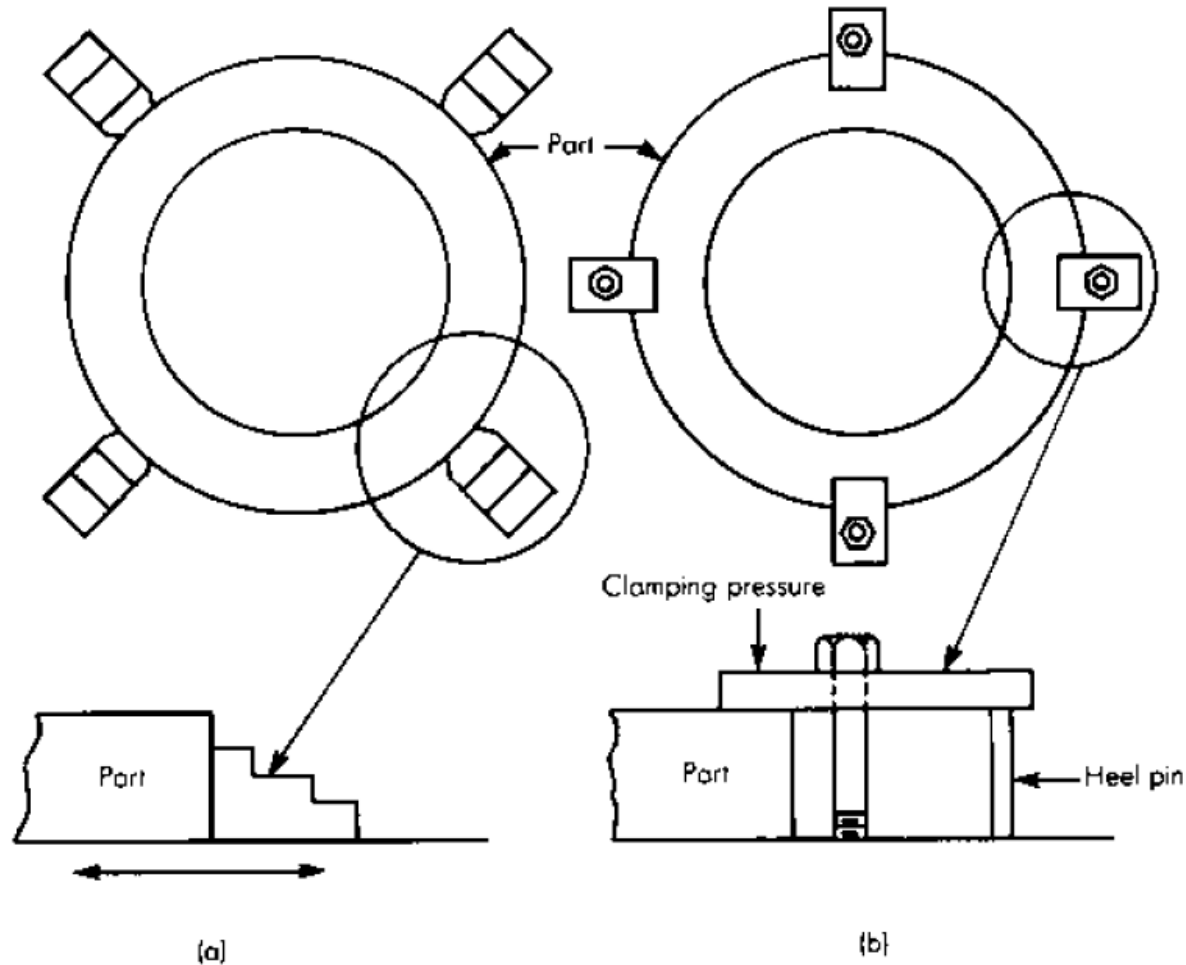


Figure 4-67. Clamping large rings.

Explain if the method is reasonable

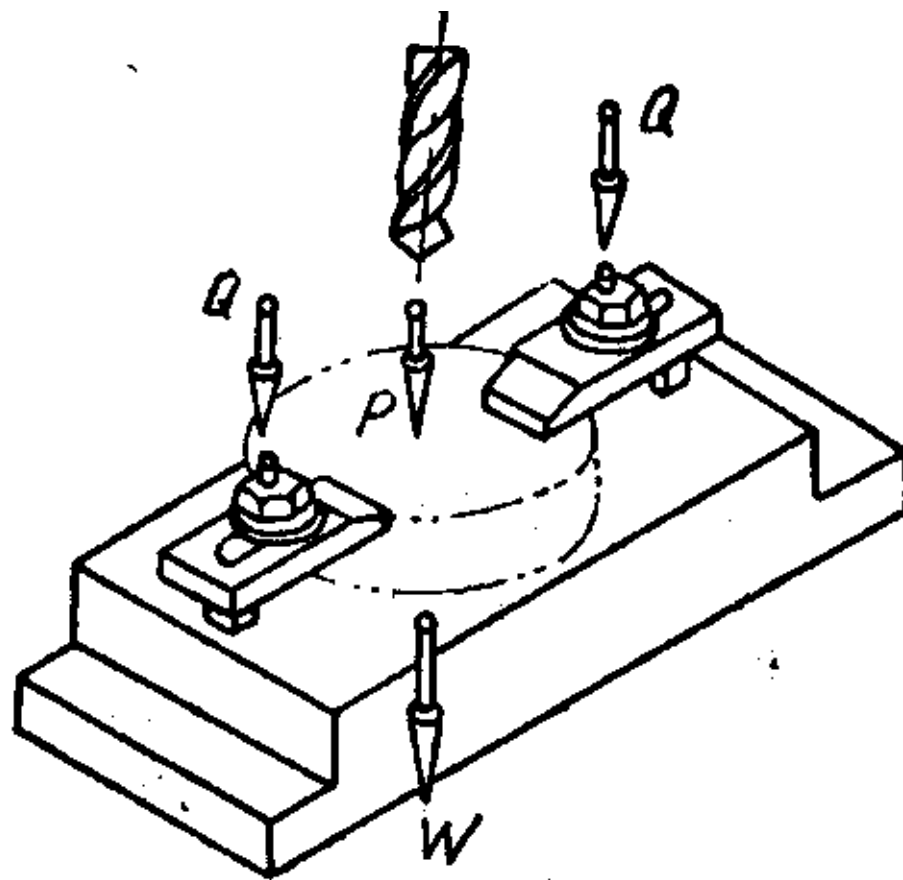


图4-32 夹紧力方向与切削力、重力方向一致

Explain if the method is reasonable

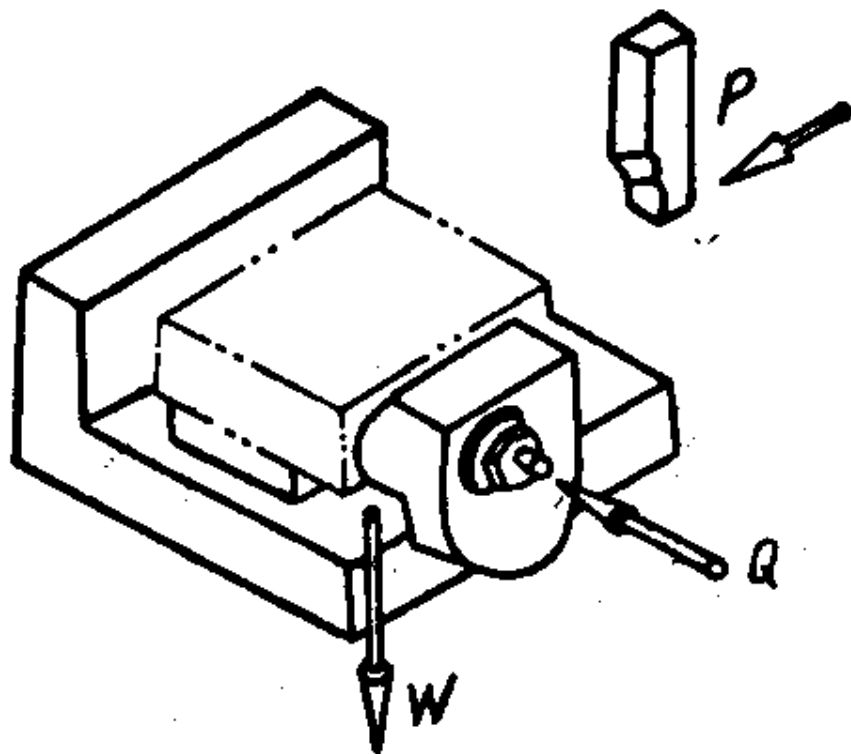


图4-33 夹紧力、切削力、重力方向相互垂直

Explain if the method is reasonable

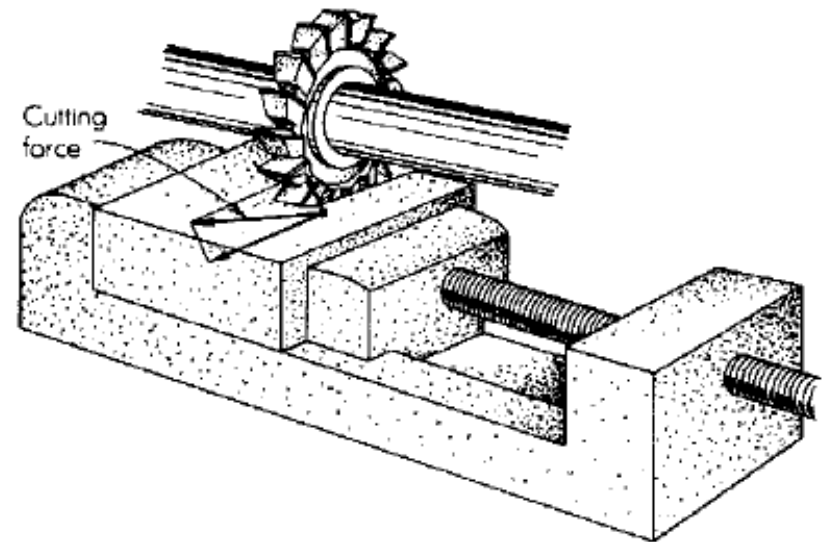
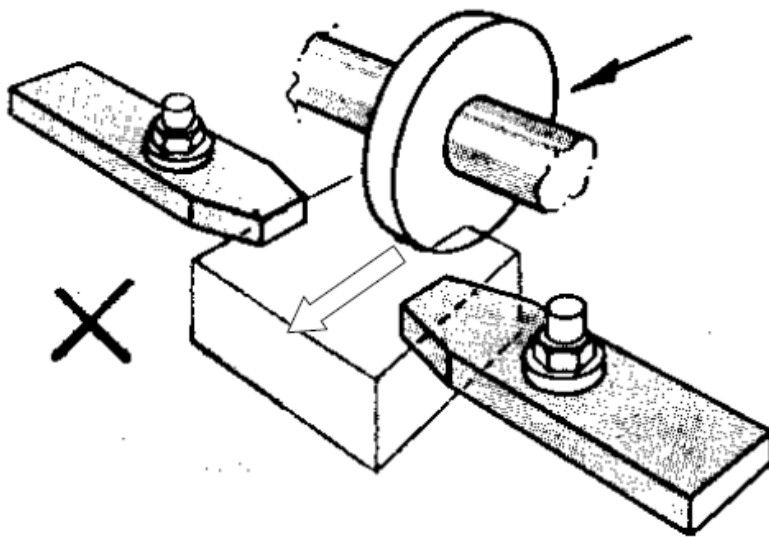
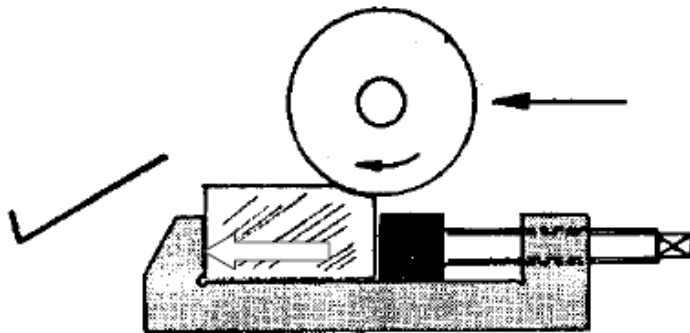
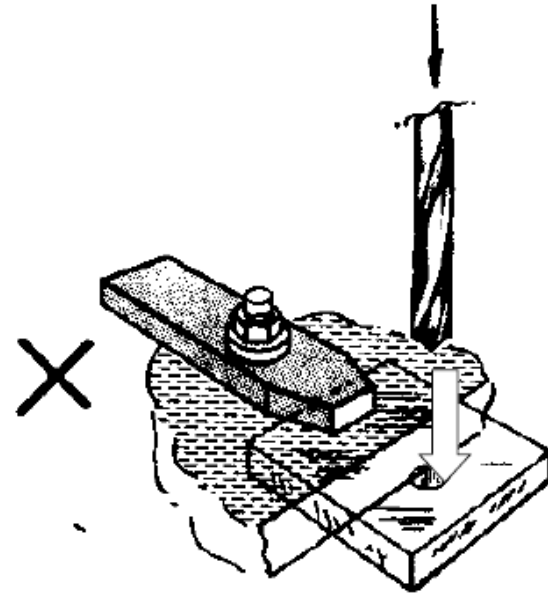
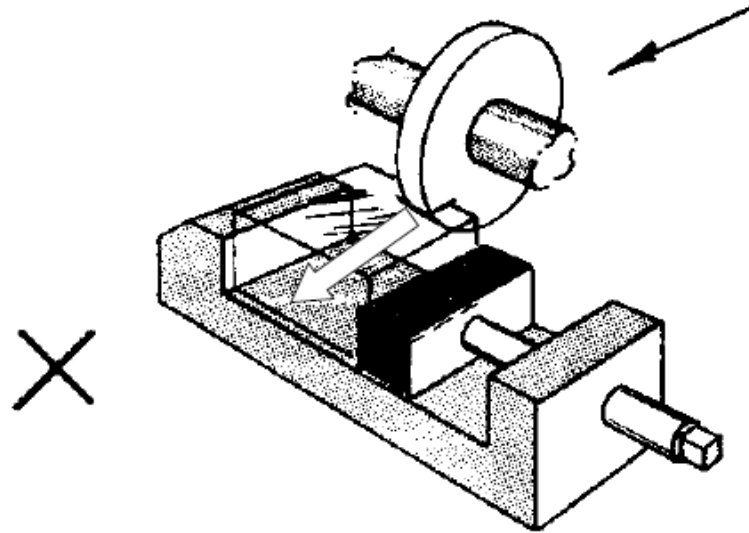
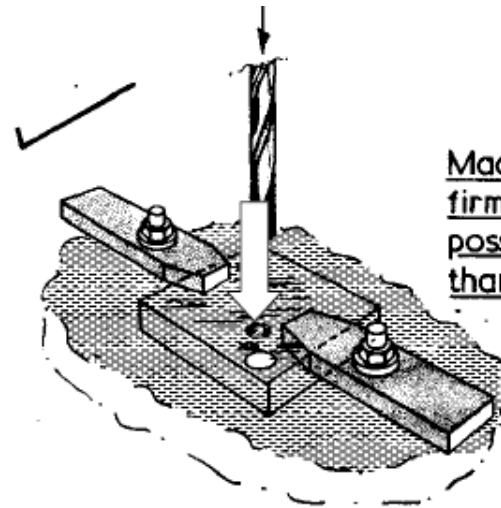


Figure 4-64. Cutting force resisted only by friction.

Explain if the method is reasonable



Cutter action should always be
against FIXED jaw or location



Machining action should be
firmly backed up and where
possible clamped in more
than one position

Which clamping method is better?

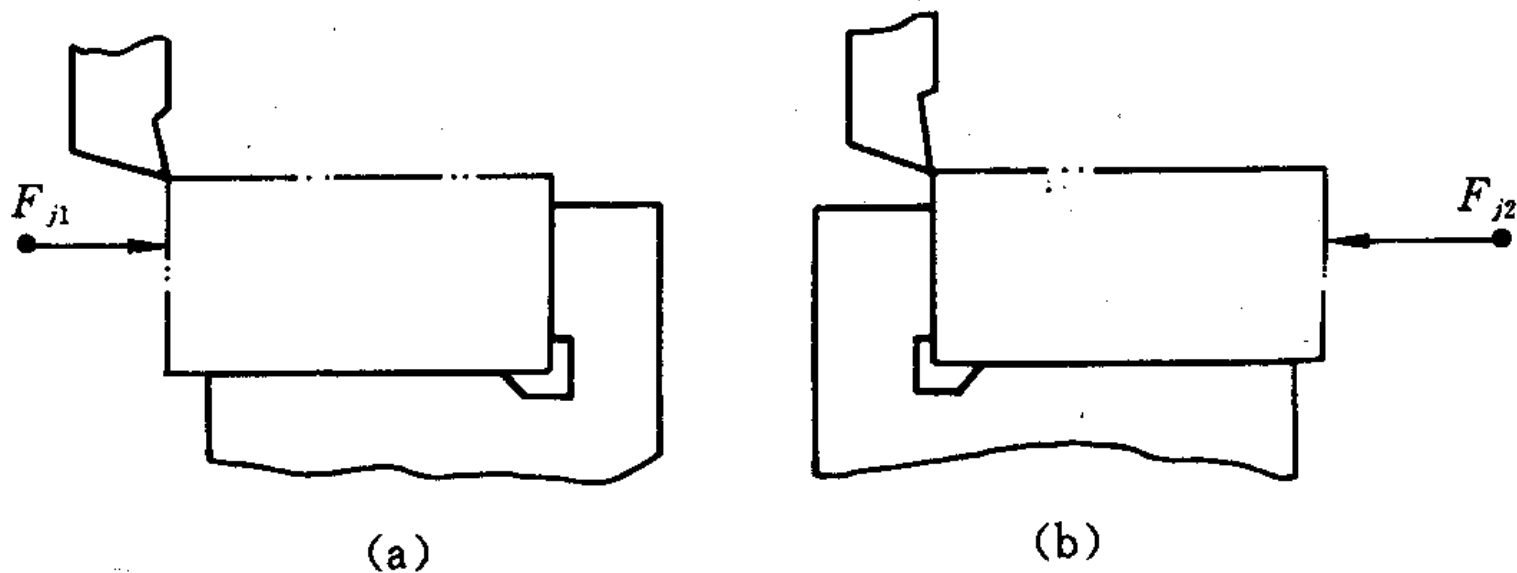
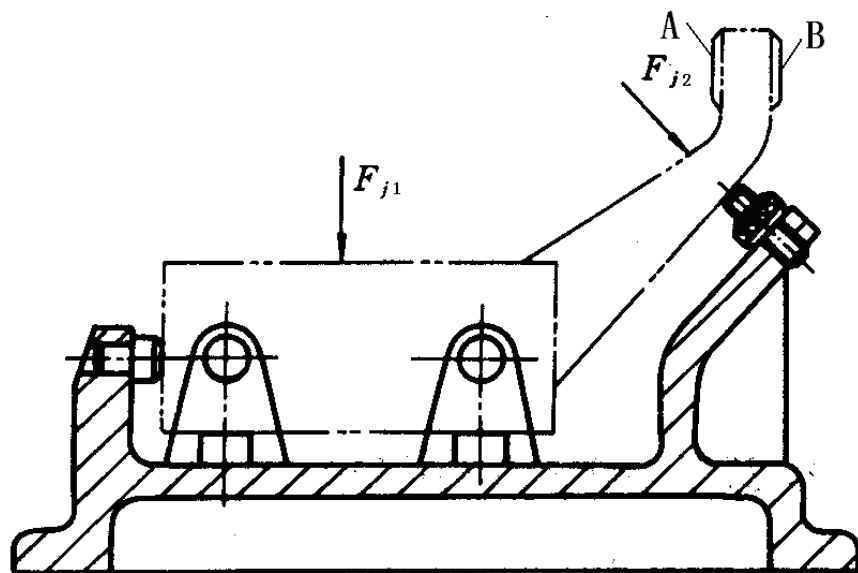


图 4-35 夹紧力与切削力方向

2、夹紧力的作用点

3个原则

- (1) 夹紧力的作用点应落在支承元件上或几个支承元件形成的支承面内；
- (2) 夹紧力的作用点应落在工件刚性较好的部位上；
- (3) 夹紧力的作用点应尽量靠近工件的加工面。



Explain if the method is reasonable?

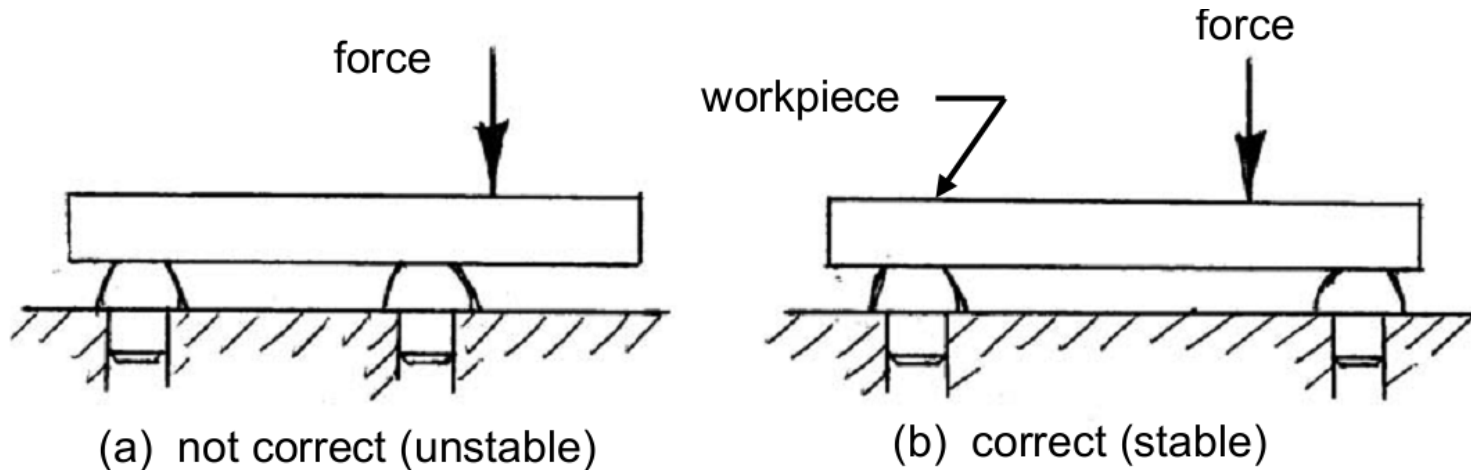


Fig. 8.1.13 Stability in supporting.

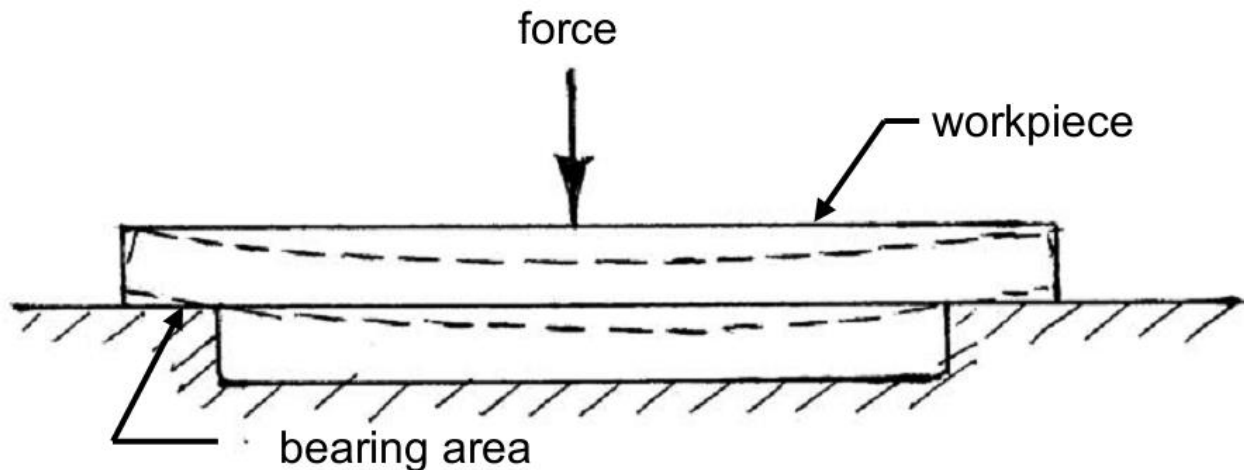
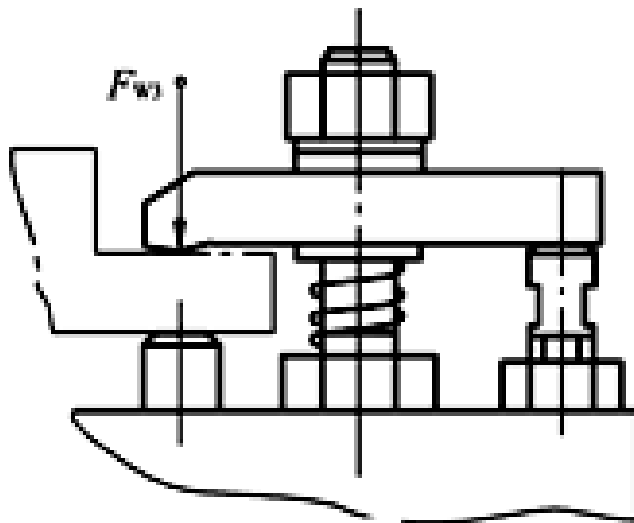
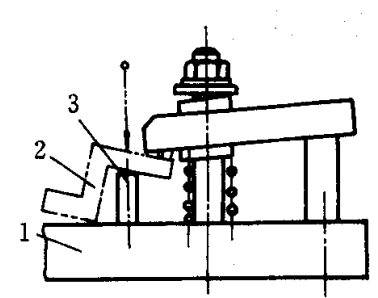
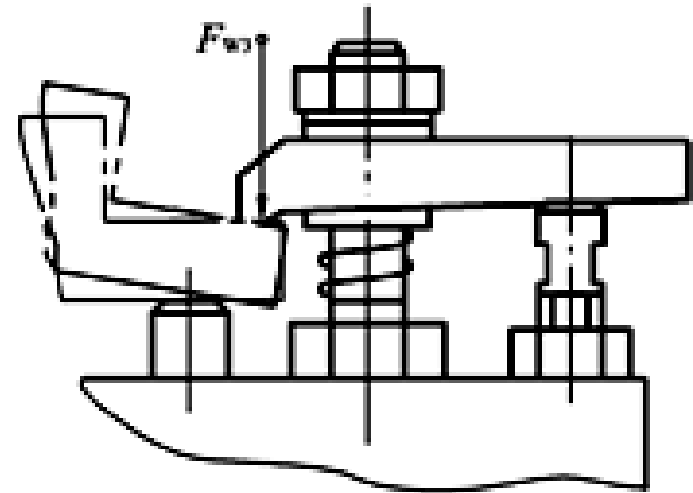


Fig. 8.1.12 Deflection due to force(s) for wide gap in between supports.

Explain if the method is reasonable?

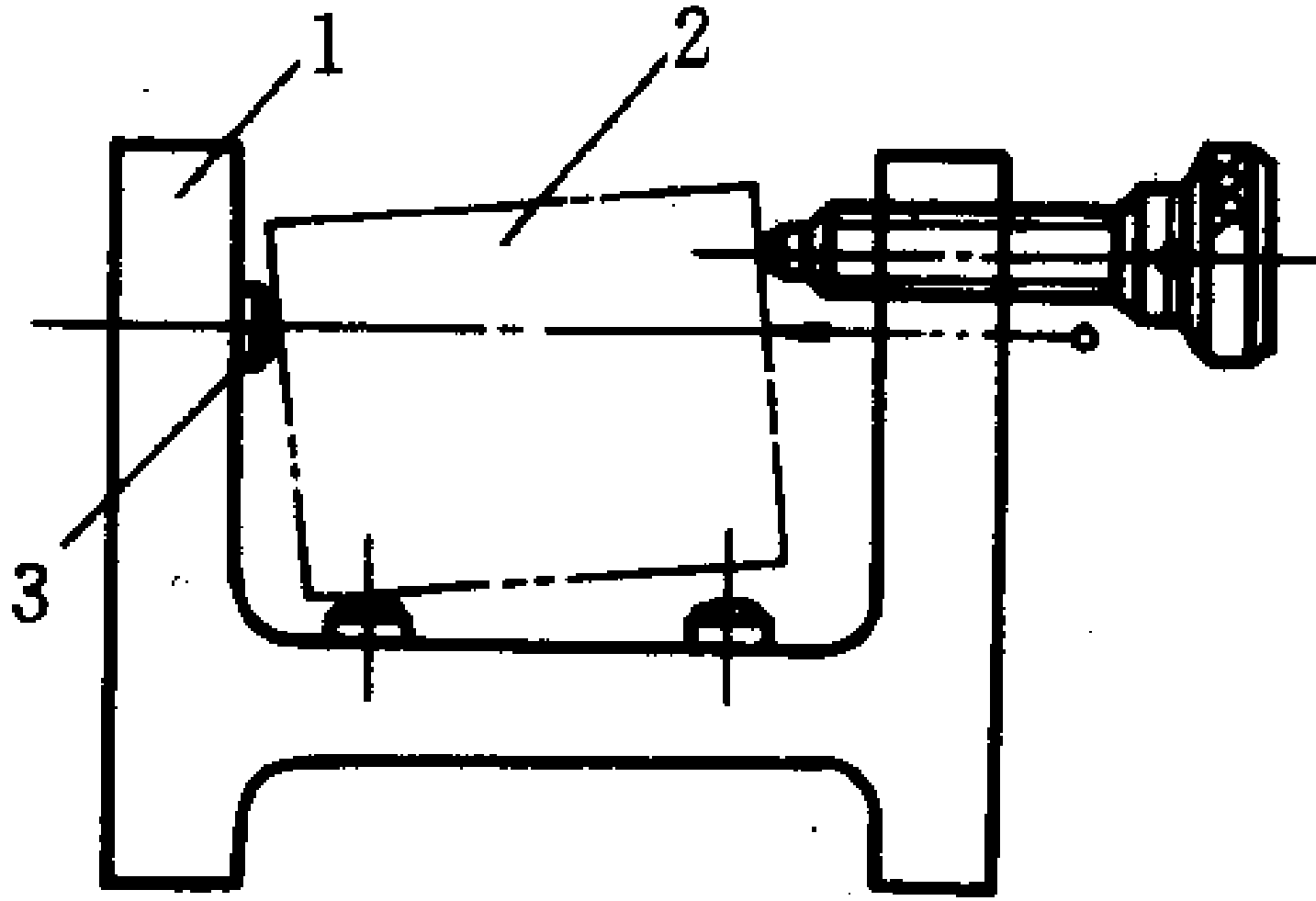


(a)

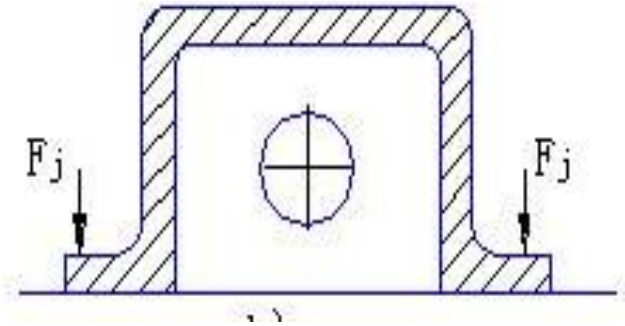
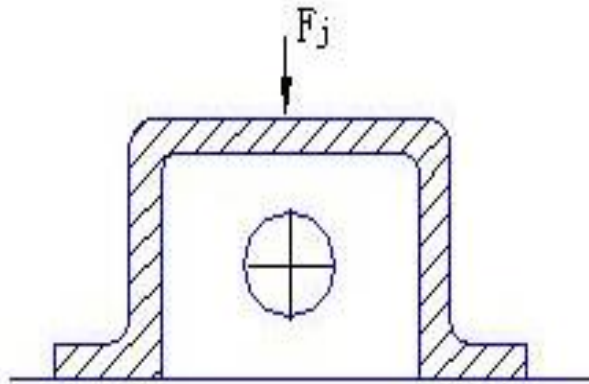


(b)

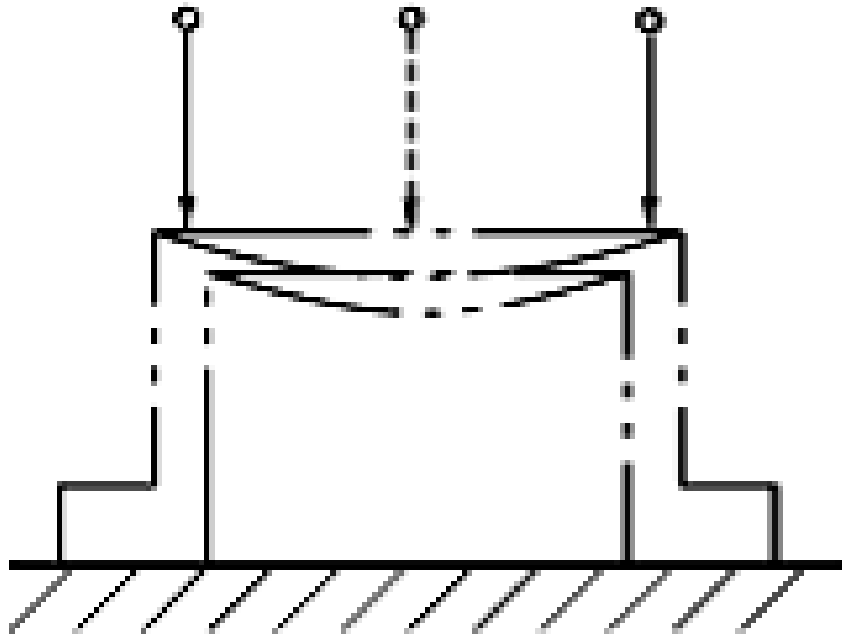
Explain if the method is reasonable?



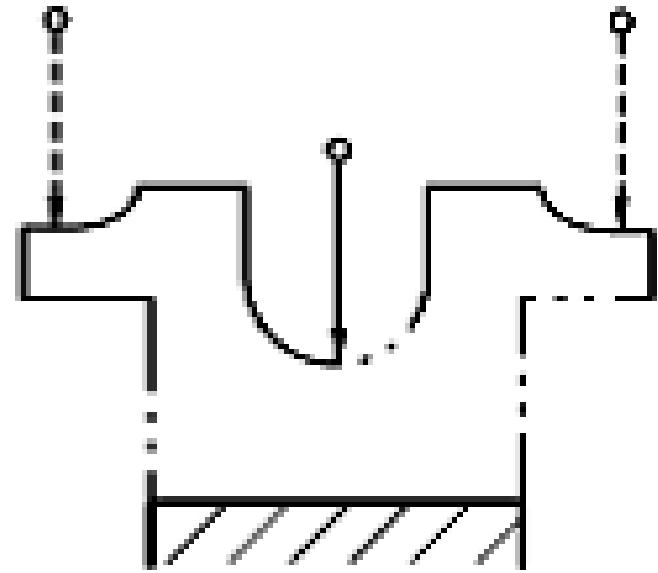
Explain if the method is reasonable?



Explain if the method is reasonable?



a)



b)

3、夹紧力的大小

确定方法：

- ①按类比法进行经验估算
- ②静力平衡计算

三爪卡盘夹紧工件实例

静力平衡
$$F_c \frac{d}{2} = 3F_{j\min} \mu \frac{d_0}{2}$$

$$\Rightarrow F_j = k \frac{F_c d}{3d_0 \mu} \quad k = 1.5 \sim 2.5$$

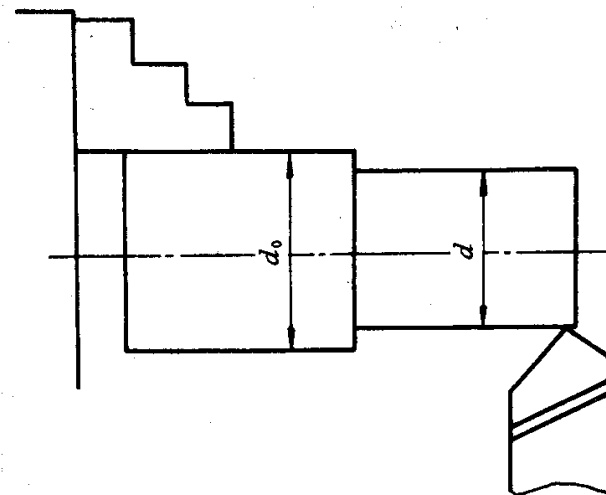
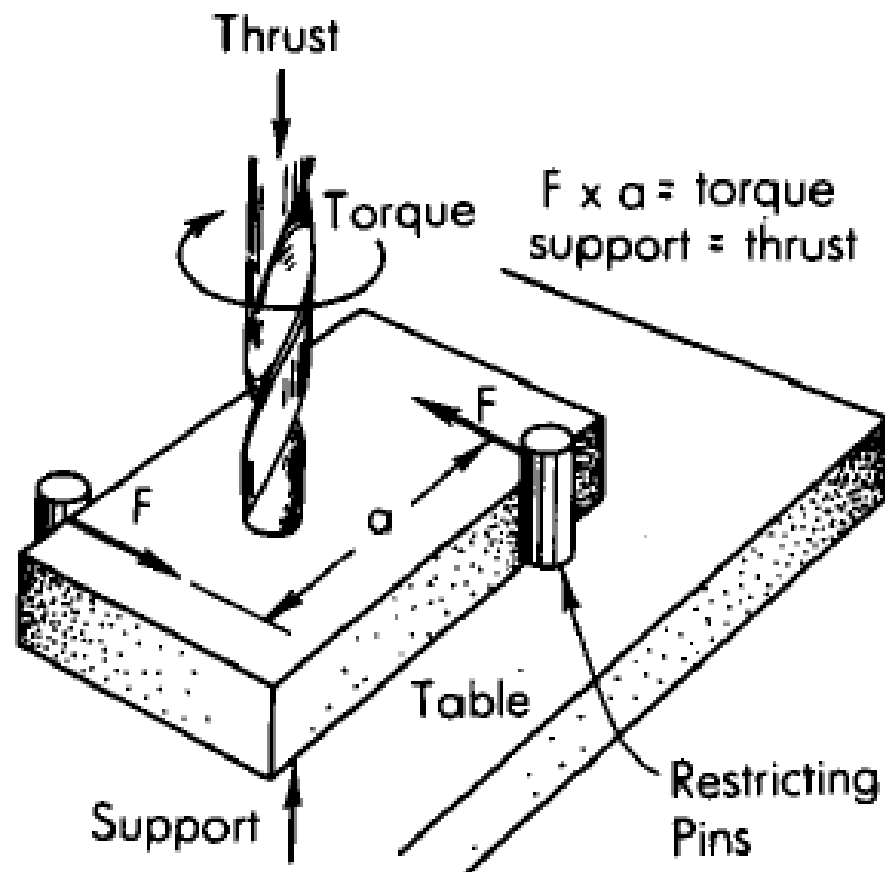


图 4-39 车削时夹紧力的估算

夹紧力计算实例



4-60. Pin-type drill fixture resisting torque and thrust.

二、夹紧机构

Common clamping devices

(1) 斜楔夹紧机构 (Wedge action clamp)

(2) 螺旋夹紧机构 (Screw clamps)

1) 单个螺旋夹紧机构

2) 螺旋压板夹紧机构 (Screw and Strap Clamps)

(3) 偏心夹紧机构 (Cam clamping)

(4) 定心夹紧机构 (auto-centering clamping devices)

(5) 动力夹紧装置 (Power clamping device)

(1) 斜楔夹紧机构 (Wedge action clamp)

斜楔机构的结构特点：

- 1) 斜楔机构具有自锁的特性
- 2) 斜楔机构具有增力特性
- 3) 斜楔机构的夹紧行程小
- 4) 斜楔机构可以改变夹紧力作用方向

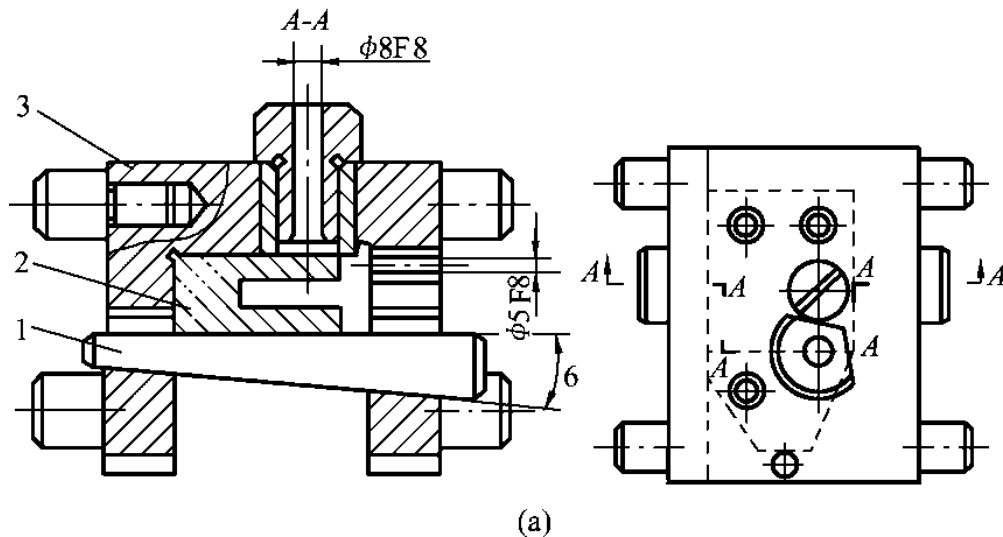
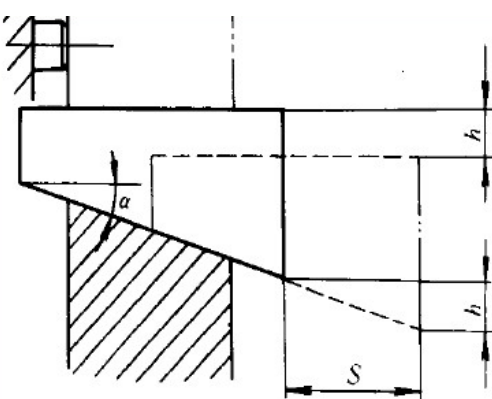
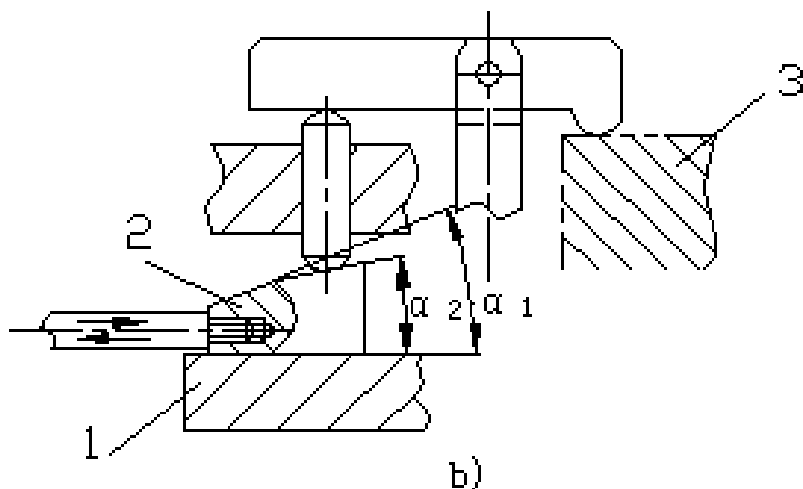


图 手动斜楔夹紧机构
1—斜楔 2—工件 3—夹具体

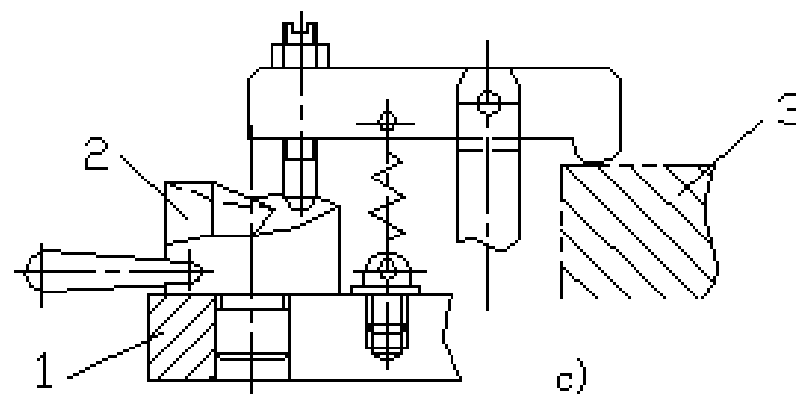


$$i_s = \frac{h}{s} = \tan a$$

斜楔机构的夹紧行程(h)小、操纵费时，所以实际很少直接采用，而是将其与其他夹紧机构联合起来使用：



斜楔与滑柱合成



端面斜楔压板组合

图 常见斜楔夹紧机构
1—夹具体 2—斜楔 3—工件

(2) 螺旋夹紧机构(Screw clamps)

1) 单个螺旋夹紧机构

特点：

- ①作用原理与斜楔是一样的
- ②摆动压块可以防止螺钉转动损伤工件表面或带动工件旋转
- ③增力比大，夹紧行程不受限制
- ④夹紧动作慢、辅助时间长，效率低

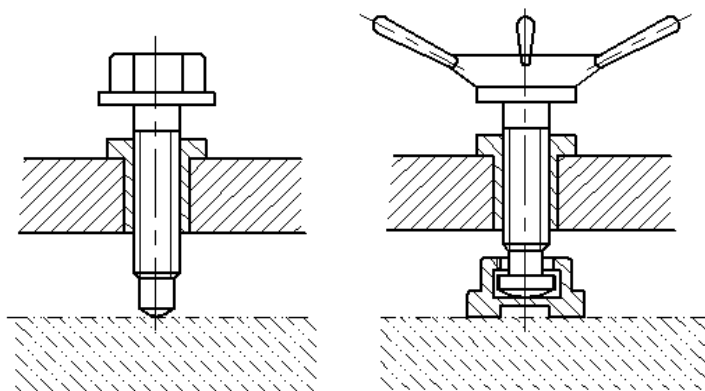
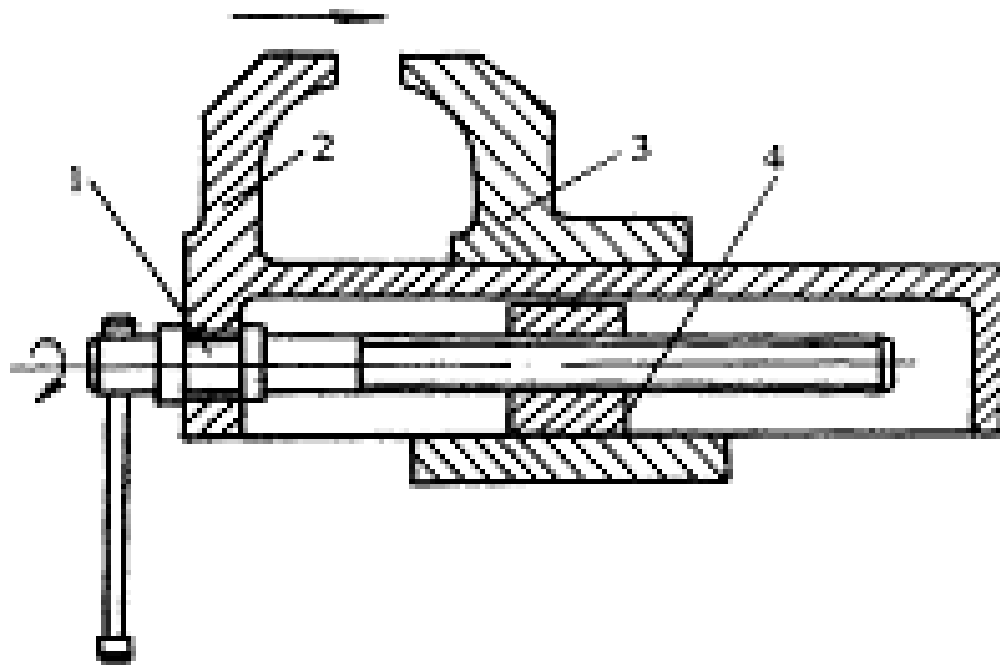
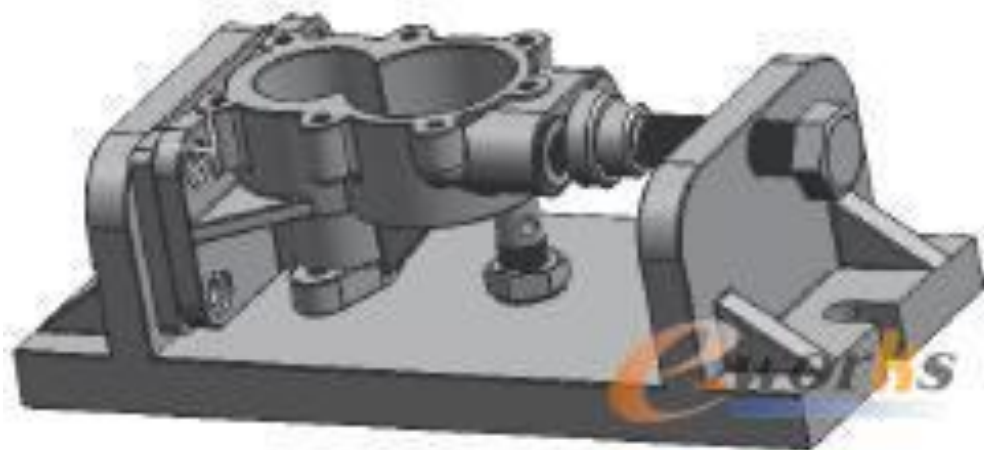


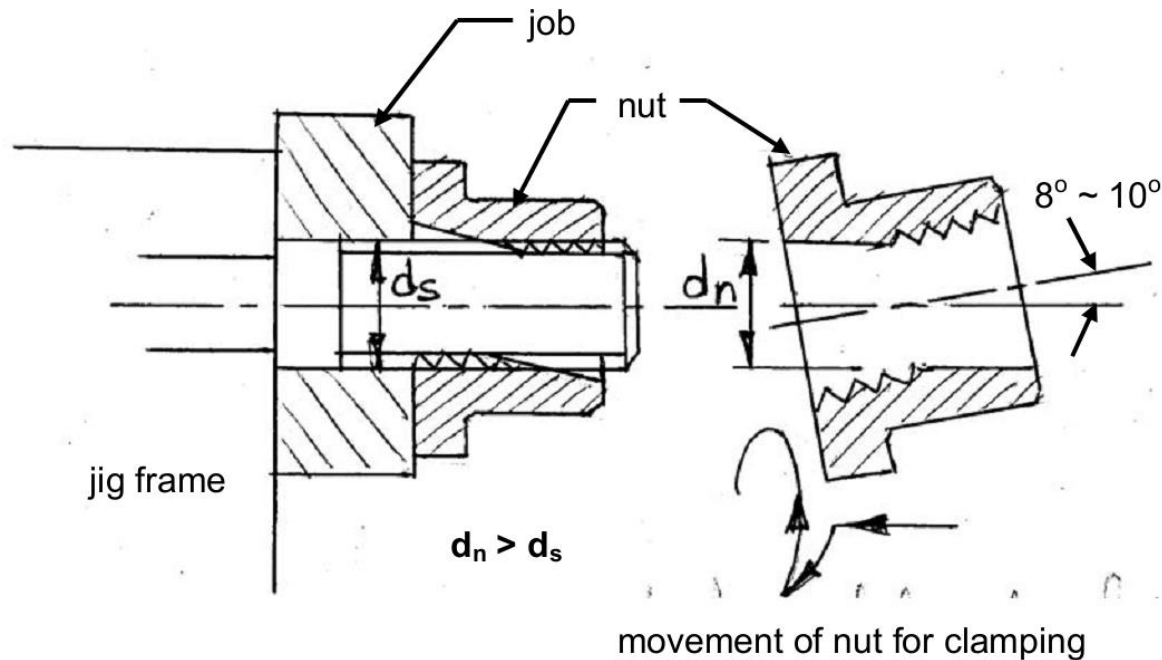
图 单个螺旋夹紧机构

*螺旋夹紧机构实例



*螺旋夹紧机构实例

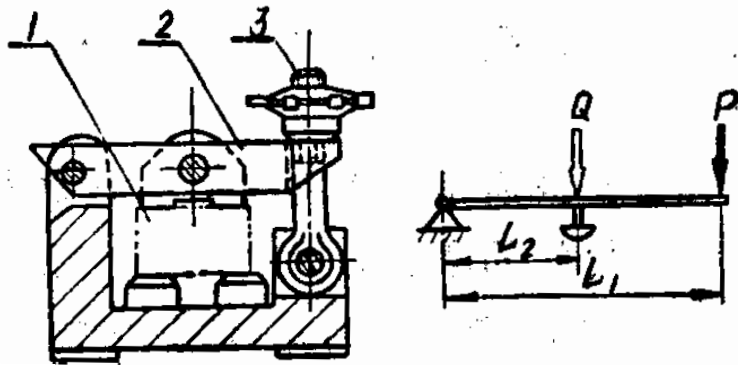
Use of quick acting nut – a typical of such nut and its application is visualized schematically in Fig. 8.1.20



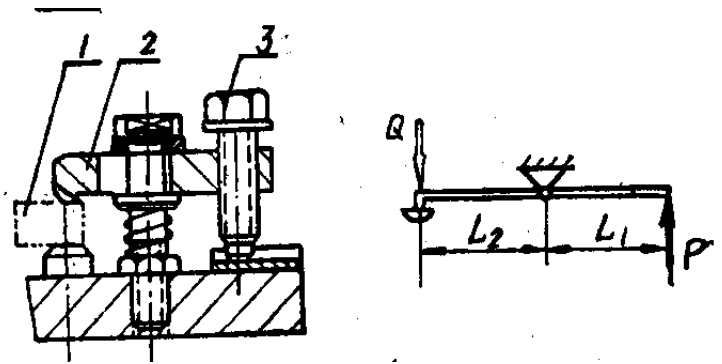
Quick acting nut for rapid clamping.

2) 螺旋压板夹紧机构 (Screw and Strap Clamps)

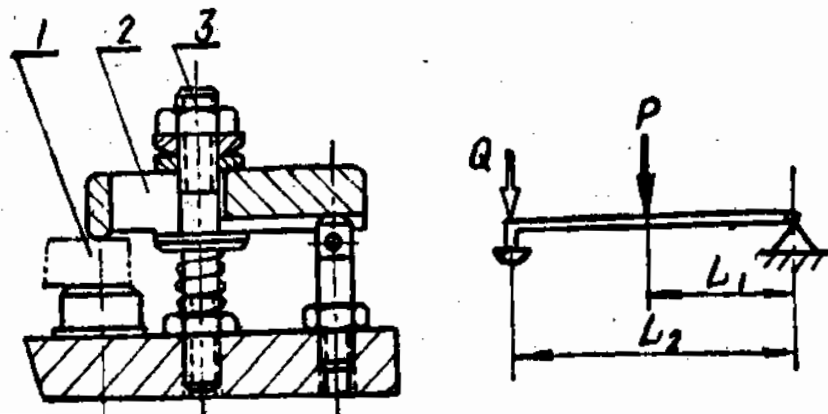
螺旋压板夹紧机构三种基本型式



(a) 夹紧点在压板中间的螺旋压板



(b) 支点在压板中间的螺旋压板



(c) 加力点在压板中间的螺旋压板

*螺旋压板夹紧机构实例

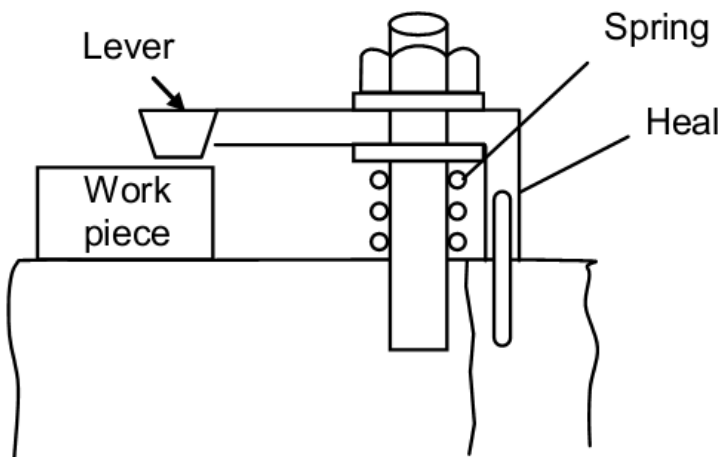


Figure 4.9 : Heel Clamp

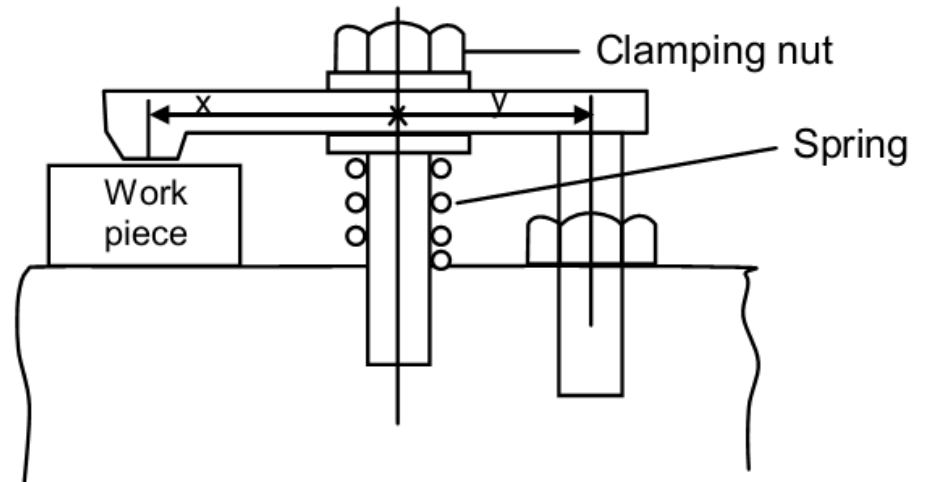
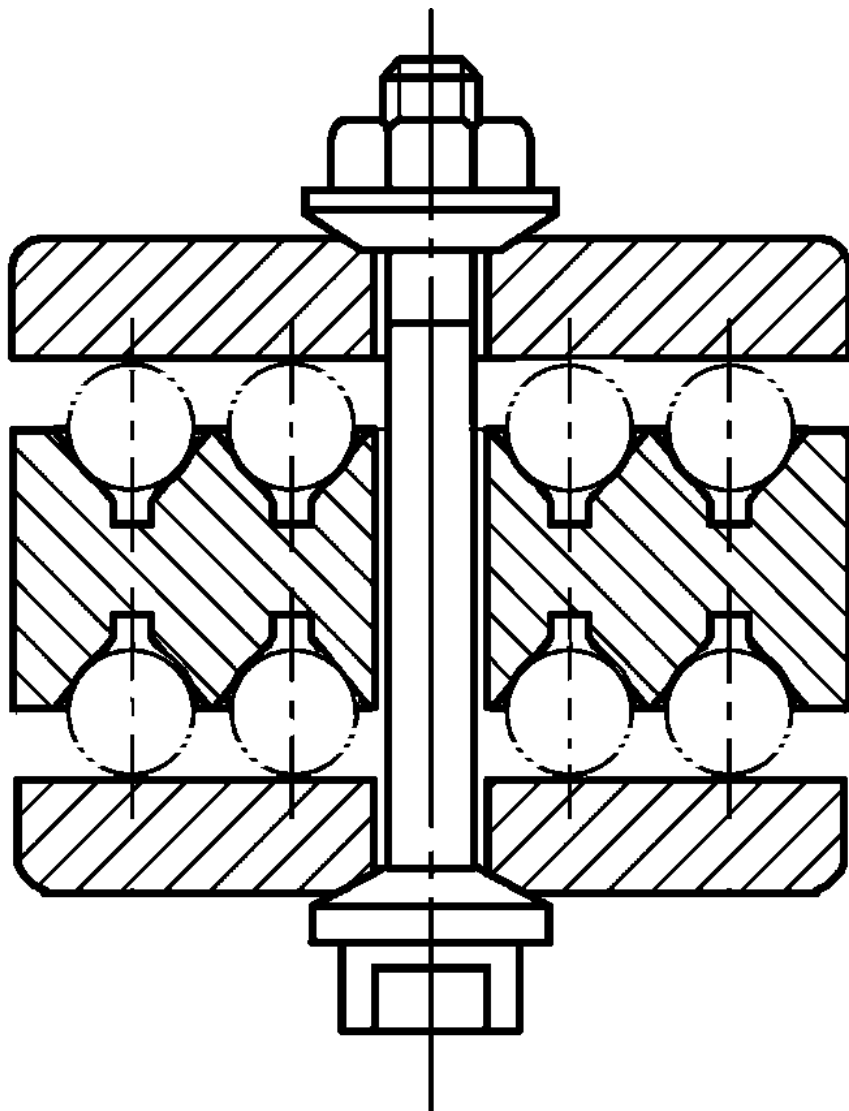


Figure 4.10 : Bridge Clamp

图示的夹紧机构是否合理？怎样改进？



解决方案

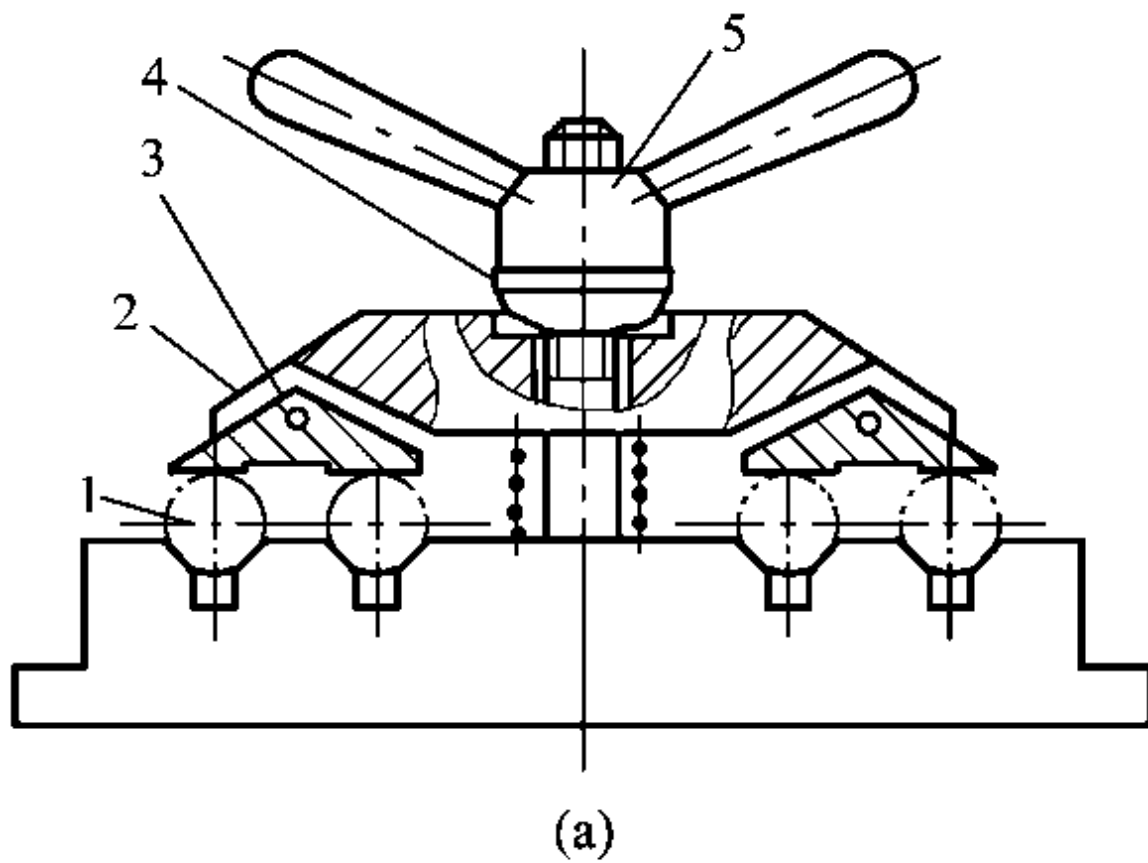


图 平行式多件联动夹紧机构

解决方案

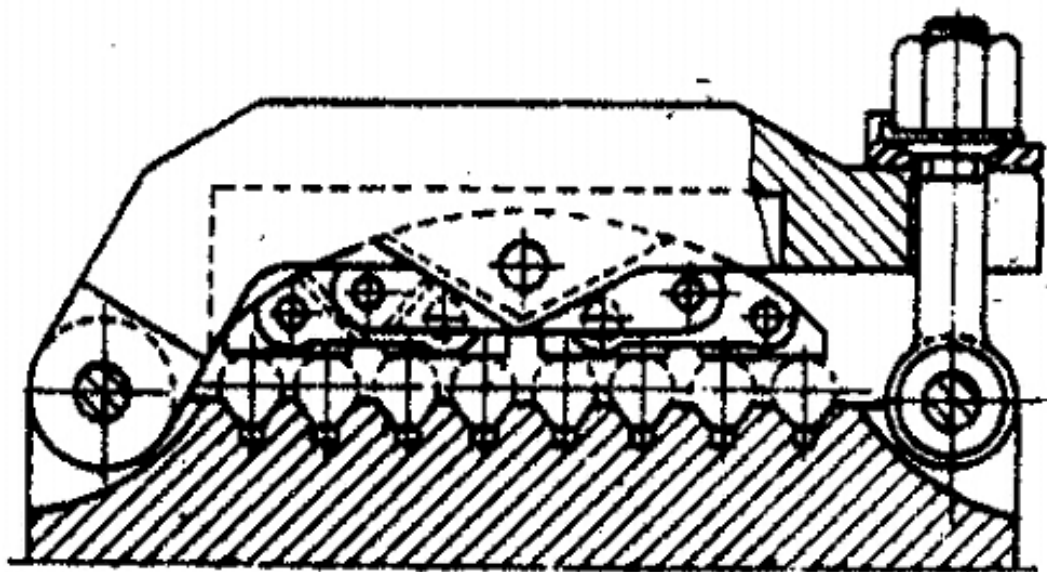


Fig. 8.1.22 Quick multiple locating and clamping of cylindrical jobs.

(3) 偏心夹紧机构 (Cam clamping)

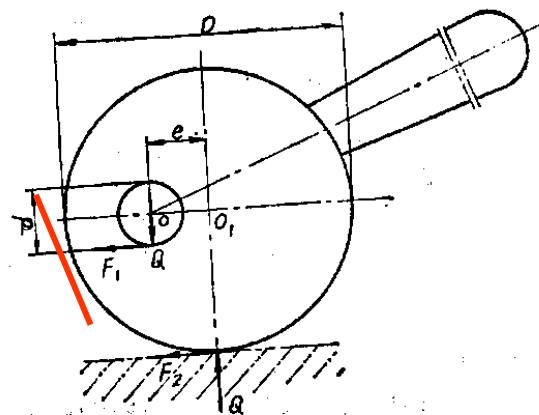
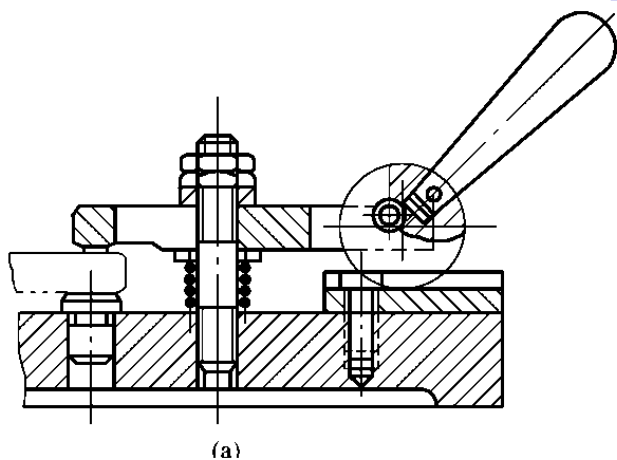


图4-42 圆偏心轮自锁条件

图 偏心夹紧机构实例

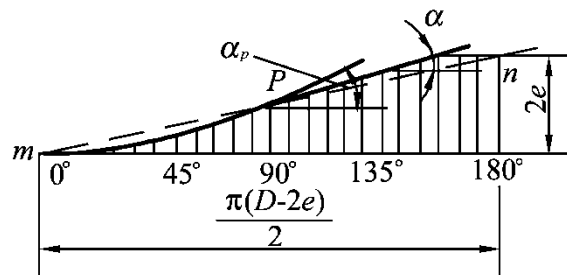
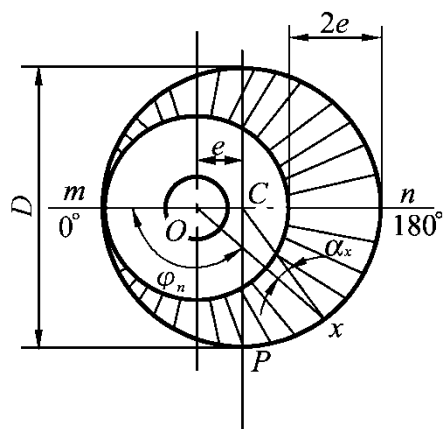
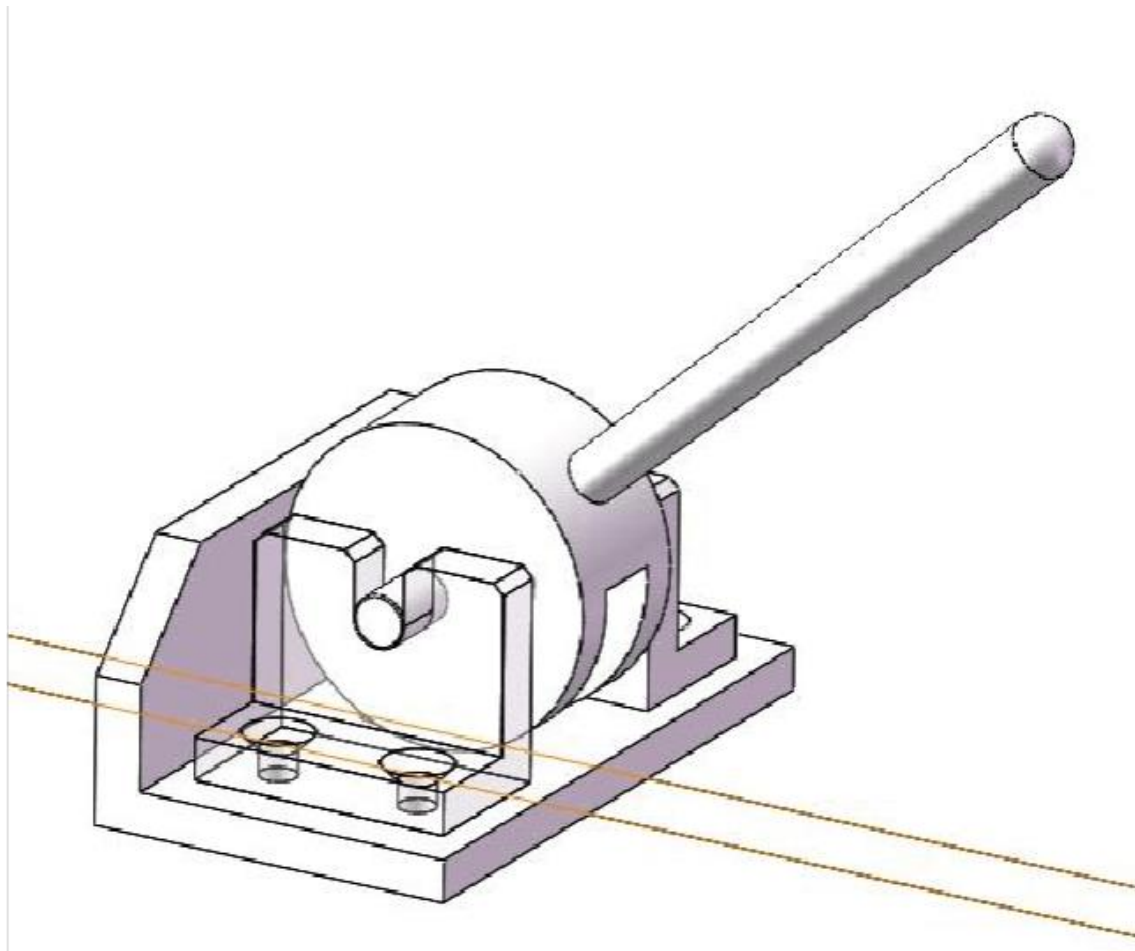
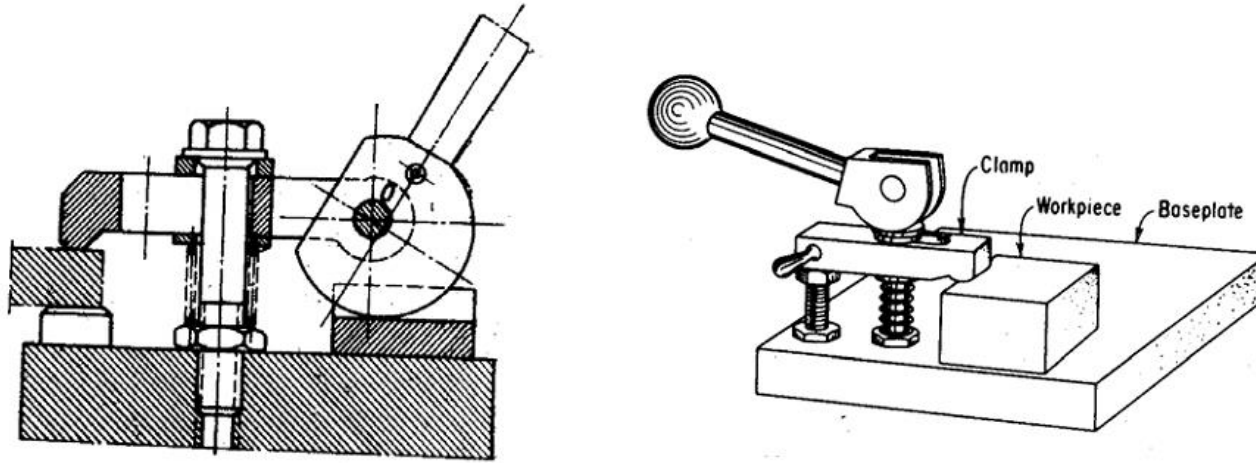


图6-45 圆偏心特性及工作段

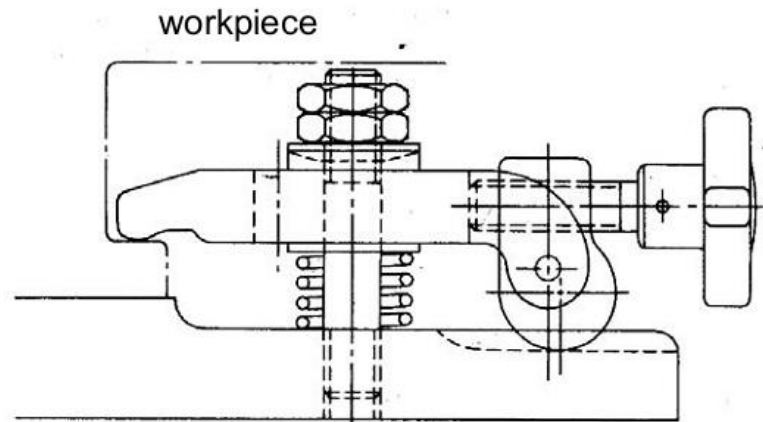
*偏心夹紧机构实例



*偏心夹紧机构实例



(a) clamping by cam



(b) screw and cam clamping from distance

Quick clamping by cams.

(4) 定心夹紧机构(auto-centering clamping devices)

定义：定位和夹紧两作用在工件夹紧过程中同时实现

定心夹紧机构：

等速移动定心夹紧机构，
均匀变形定心夹紧机构。

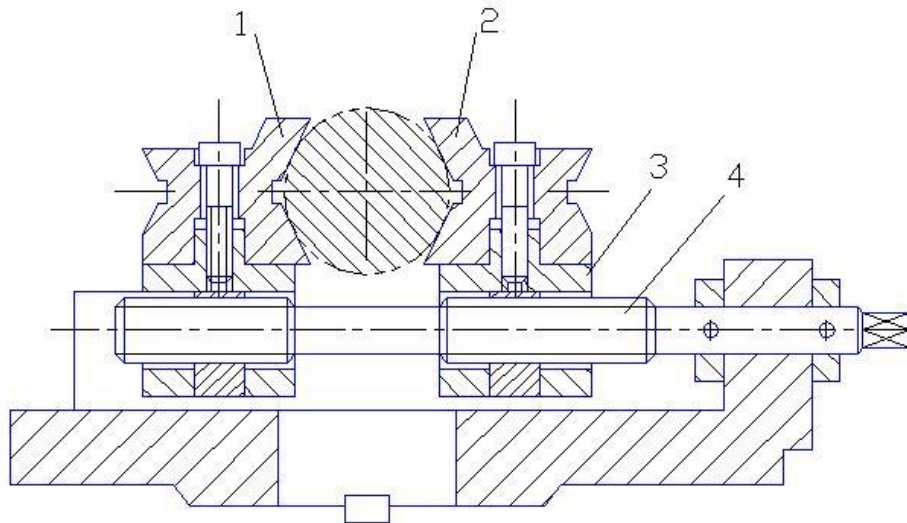


图3-44 螺旋式定心夹紧机构

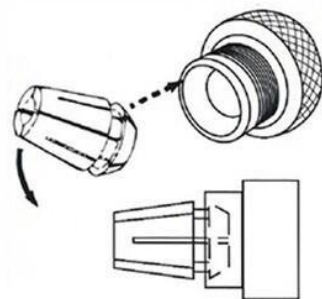
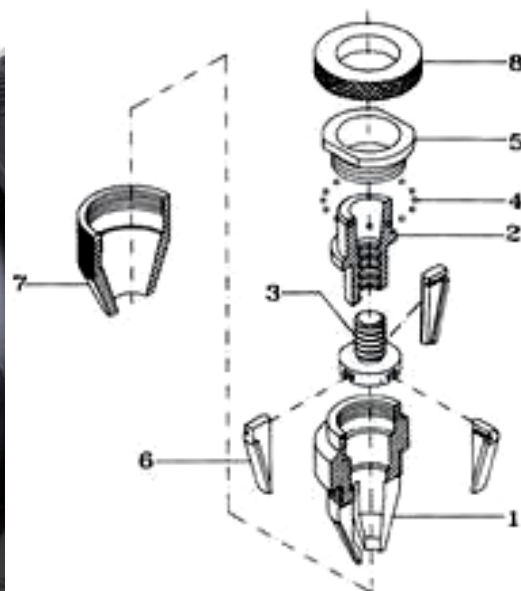
1、2-V型钳口 3-滑铁 4-双向螺杆

*定心夹紧机构实例

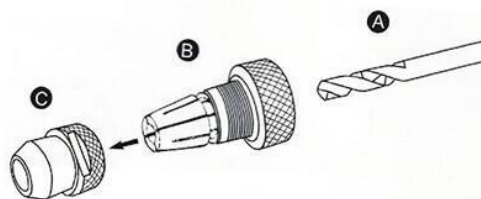
<https://haokan.baidu.com/v?vid=8391045239839790894&pd=bjh&fr=bjhautohor&type=video>



☞ 微信号: safasata



图一



图二



效果图

Fig.1

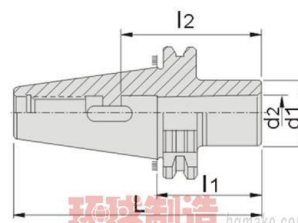
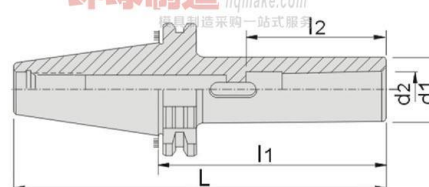


Fig.2



*定心夹紧机构实例

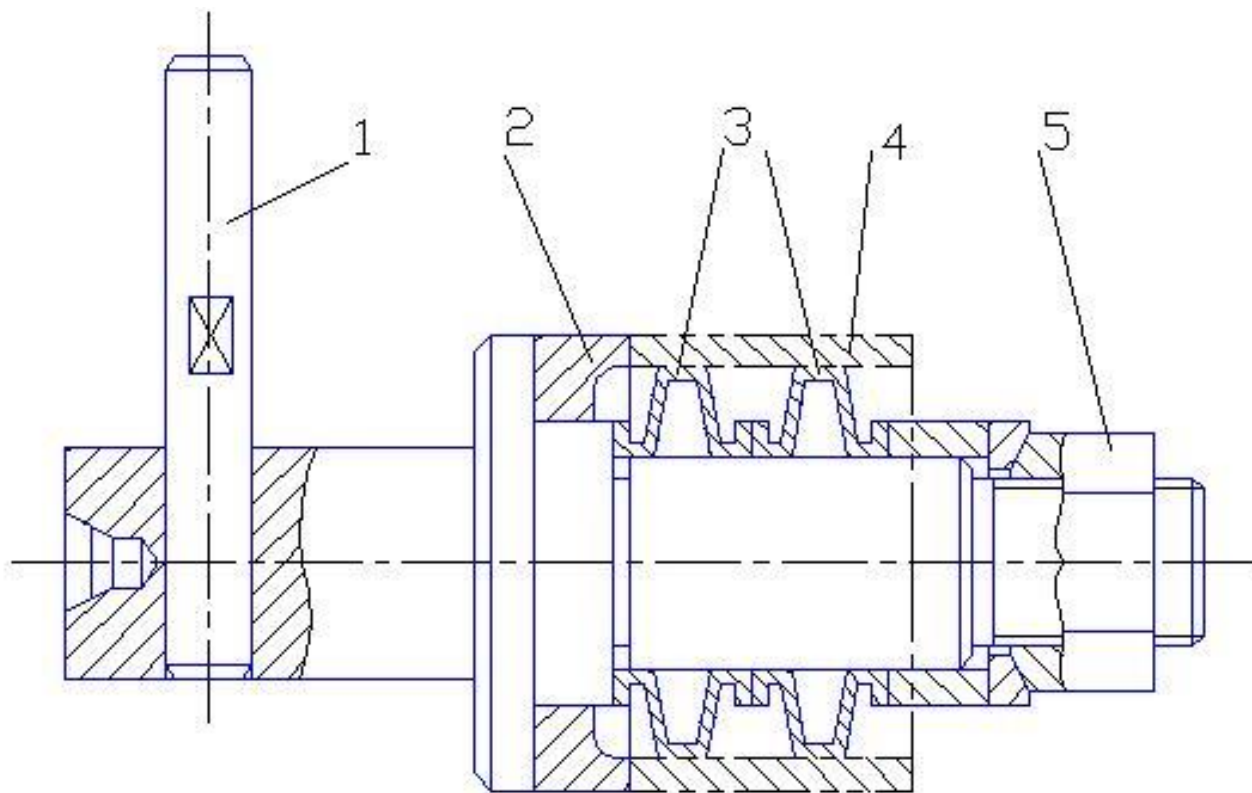


图3-49 波纹套心轴

1-拨杆 2-支承圈 3-波纹套 4-工件 5-螺母

螺母5→波纹套3→胀开→夹紧工件。结构简单安装方便，
定心精度达 $\Phi 0.005 \sim 0.01$,精加工。

*定心夹紧机构实例

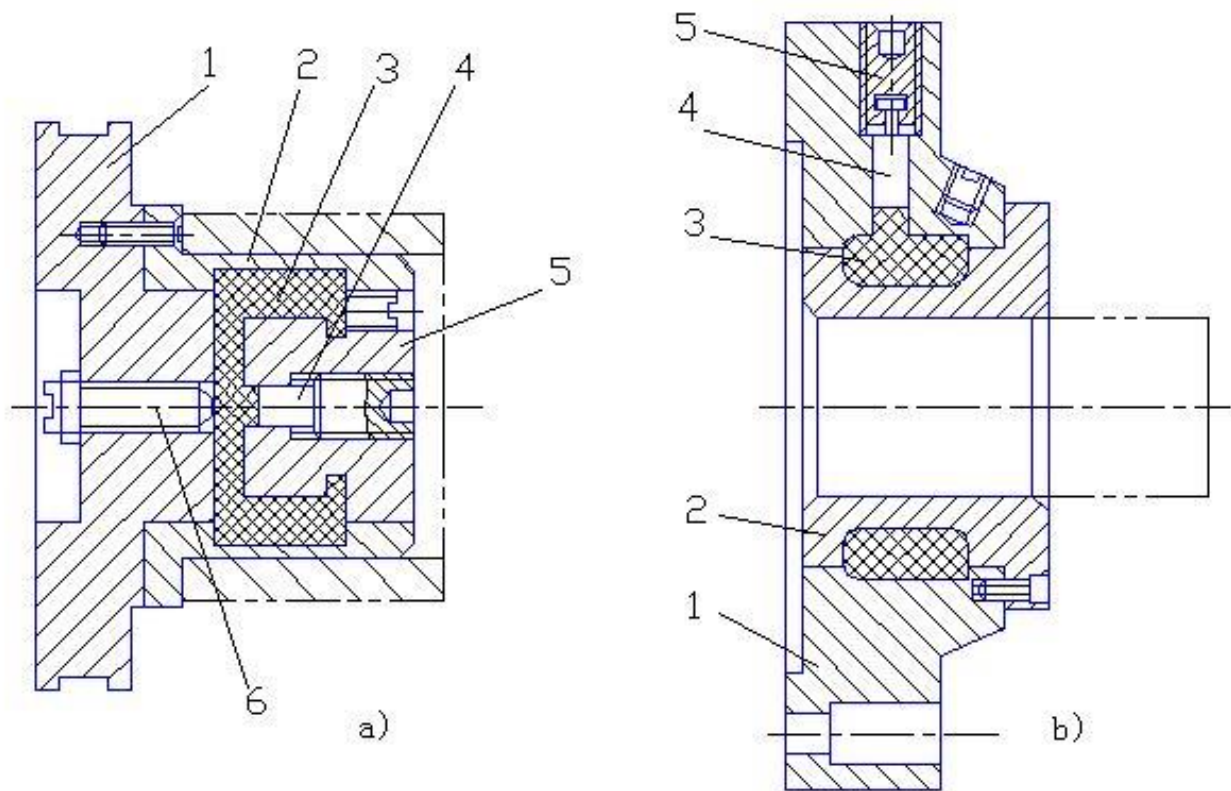


图3-50 液性塑料定心夹紧机构

1-夹具体 2-薄壁套筒 3-液性塑料 4-柱塞 5-螺钉 6-限位螺钉

螺钉→柱塞→液体→薄壁套筒→工件。结构紧凑，
操作方便，定心高 $\Phi 0.005 \sim 0.01\text{mm}$ ，精加工，半
精加工。

*定心夹紧机构实例

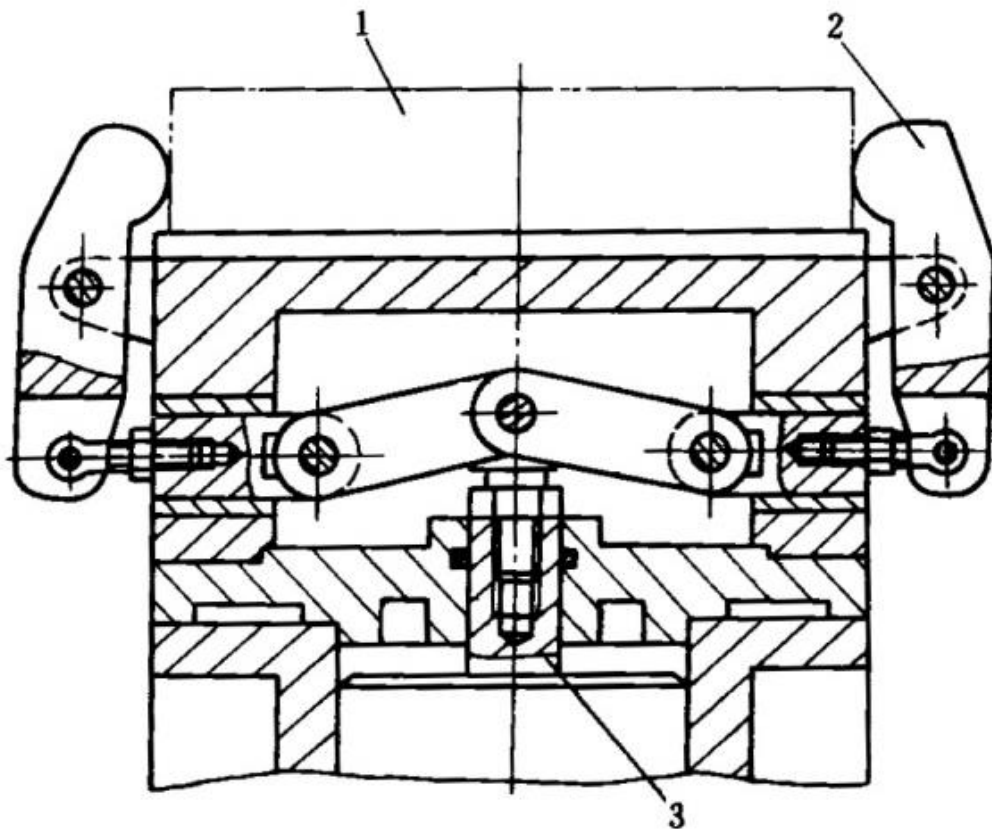


图 两点对向联动夹紧机构
1—工件 2—浮动压板 3—活塞杆

(5) 动力夹紧装置(Power clamping device)

气动、液压、电磁、真空等动力装置

Pneumatic, Hydraulic, Electromagnetic, Vacuum etc.

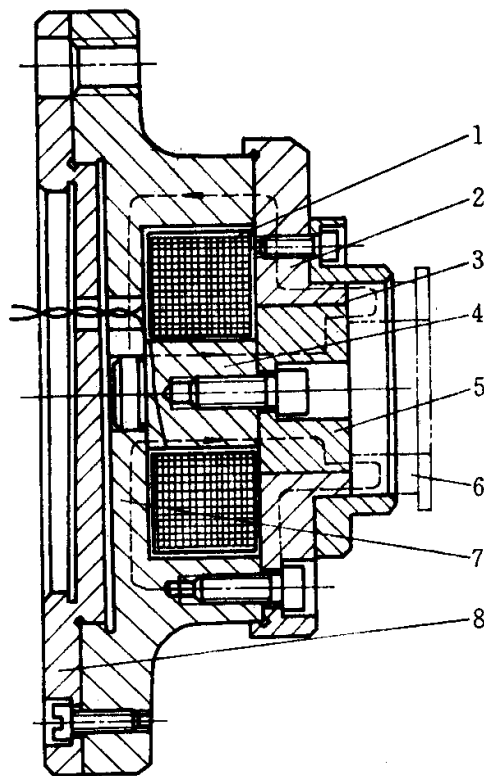
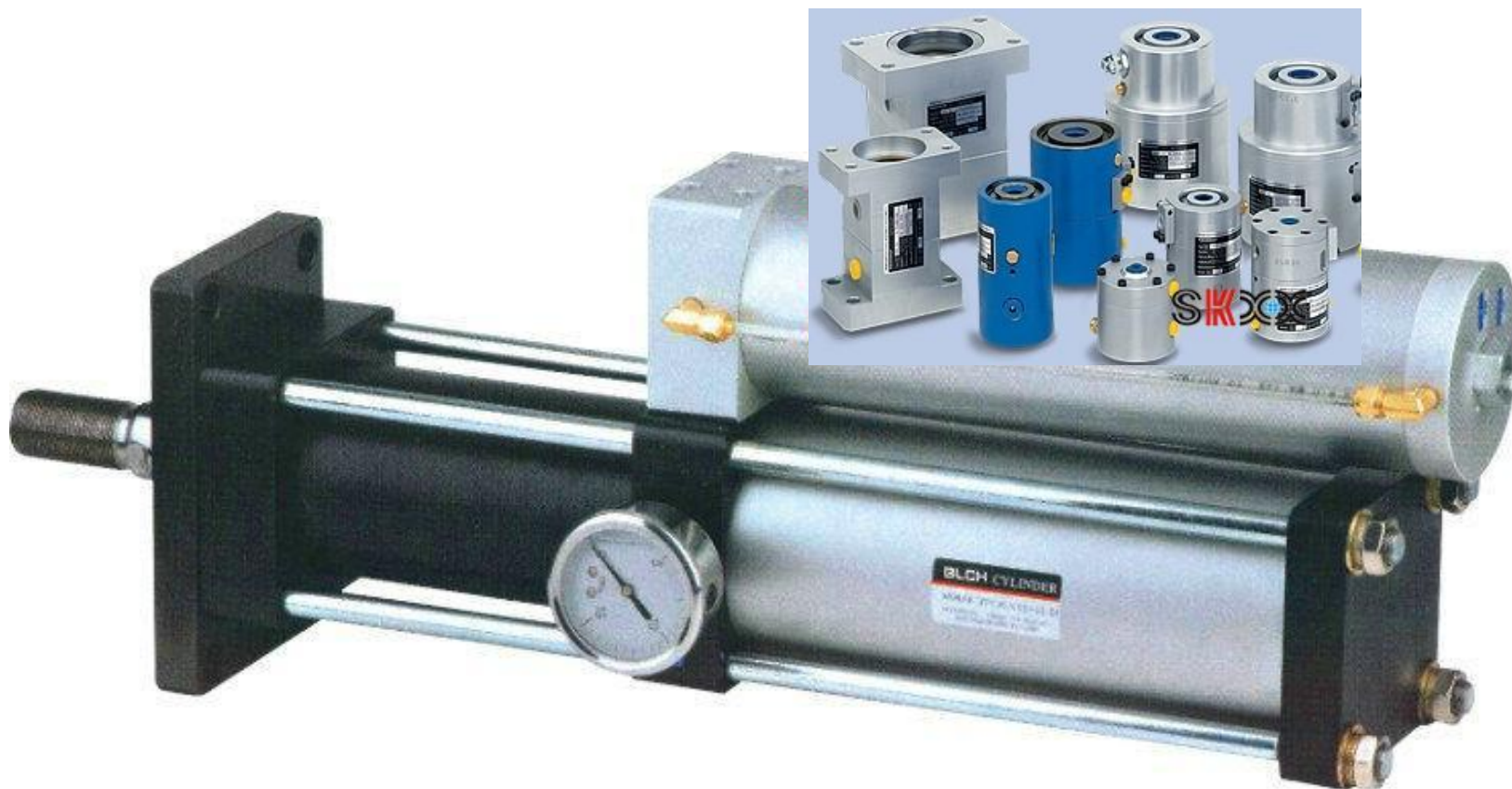


图 4-60 电磁卡盘

- 1——线圈； 2——吸盘； 3——隔磁体；
4——铁芯； 5——导磁体； 6——工件；
7——夹具体； 8——过渡盘

*气动夹紧机构实例



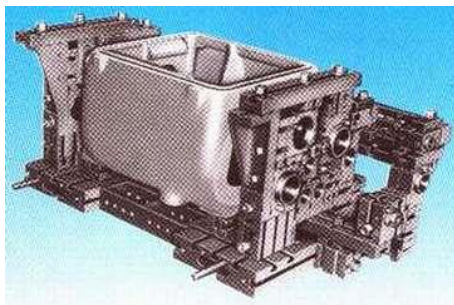
*液压夹紧机构实例



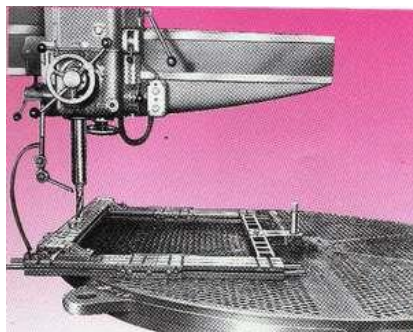
china.makepolo.com

第五节 各类机床夹具

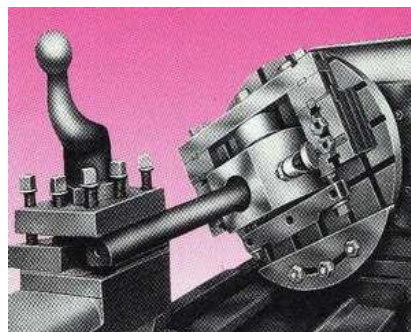
Miscellaneous jigs and fixtures



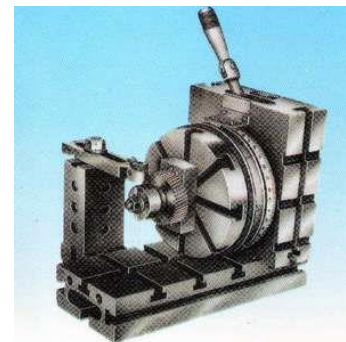
C618K箱体多孔镗夹具
A Fixture for Boring Multiple
Holes on C618K Box



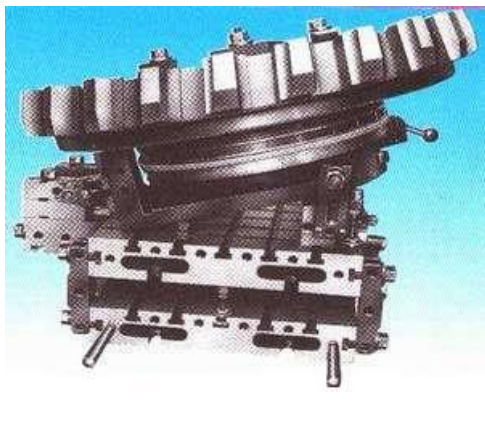
移动式盖板钻模在钻床上的应用
A Movable Plate-type Drill Jig
being used on a Drilling Machine



组合夹具在车床上的应用
A Built-up Fixture on lathe



水平分度钻夹具



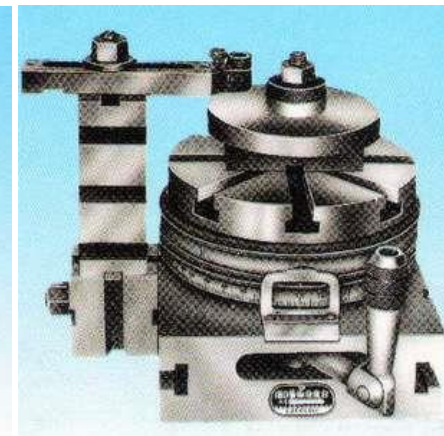
铣立体二十四等分槽夹具
A Fixture for Milling 24 Equal
Slots on a Cutter Body



45° 斜孔分度钻夹具



回转铣两侧面夹具



齿轮径向分度钻夹具

一、车床和内、外圆磨床夹具

Lathe and grinding Fixtures

(1) 有哪些夹具？

通用夹具：三爪卡盘、四爪卡盘、顶尖、花盘等专用夹具。

Example: 车床夹具 (lathe fixture)

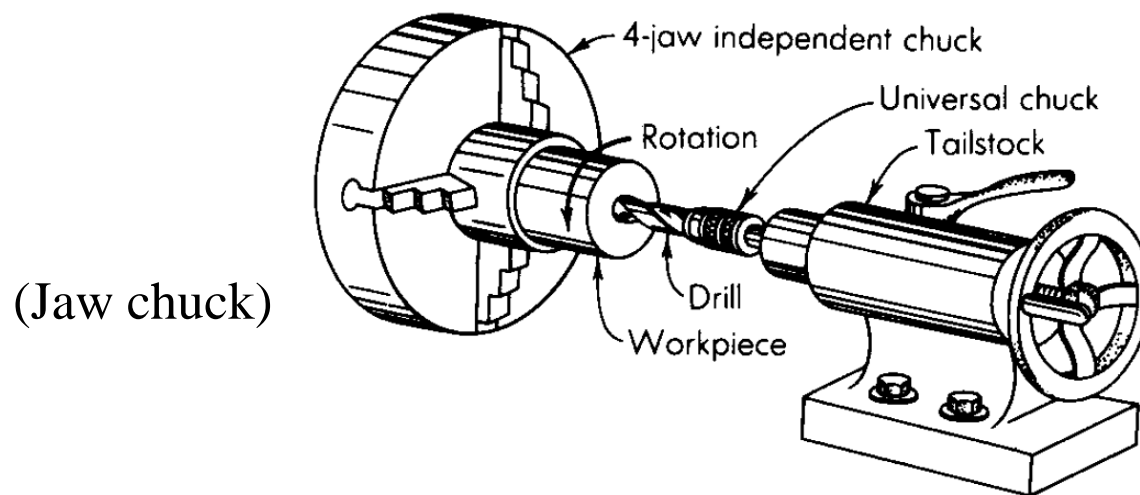


Figure 4-5. Holding (chucking) a round workpiece.

万能卡盘，自动定心卡盘

(2) 要求:

(1) 由于整个夹具随机床主轴一起回转，结构紧凑、轮廓尺寸尽可能小，重量轻，重心尽可能靠近回转轴线，以减少惯性力和回转力矩。

(2) 对于回转轴线不规则工件，应有平衡措施，消除回转不平衡产生的振动现象。

(3) 夹具与机床主轴连接方式，其结构及尺寸规格，随夹具使用的机床而异。

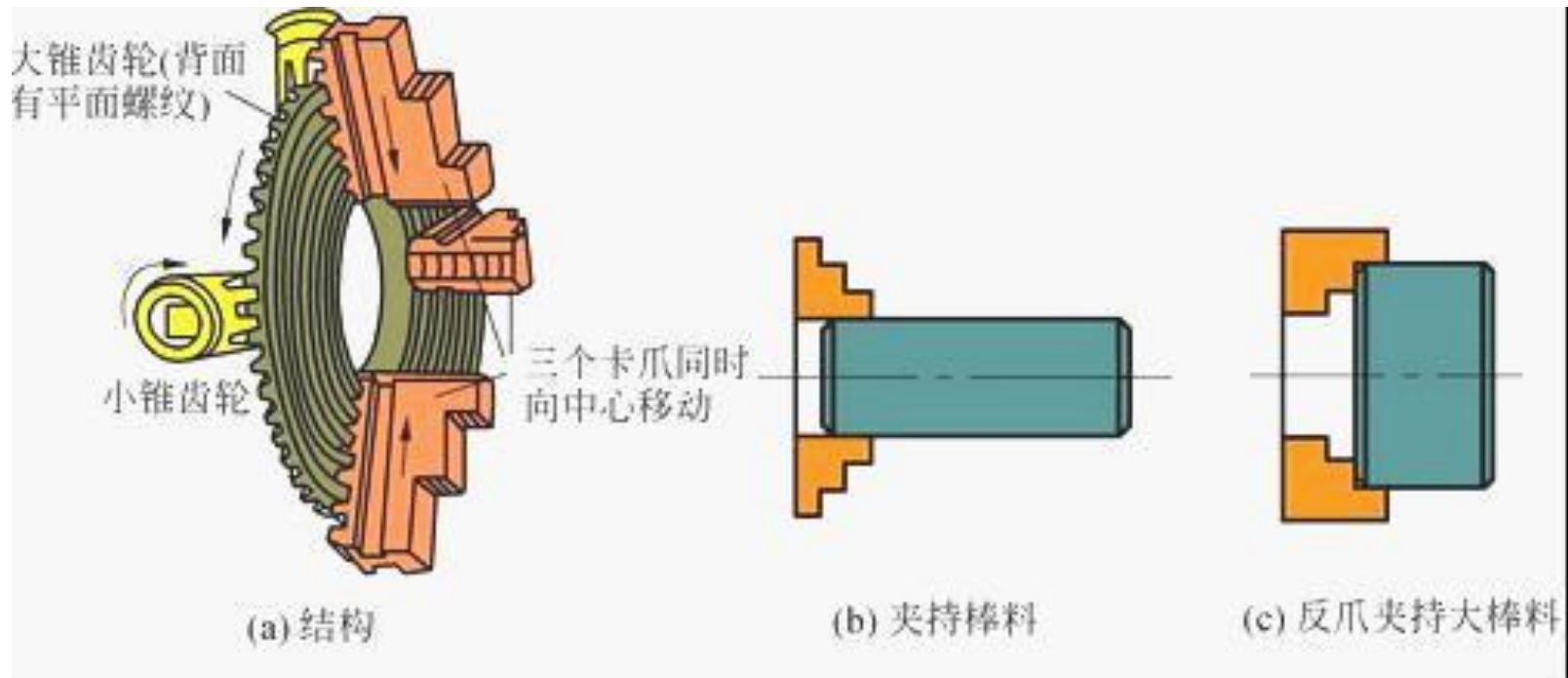


车床

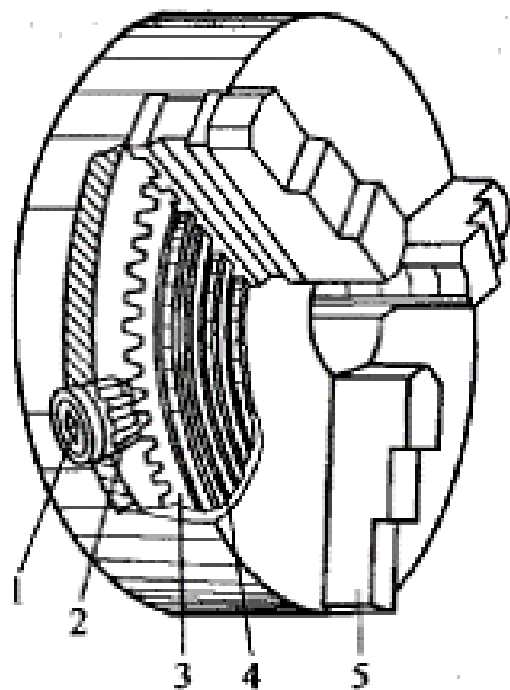


内圆磨床

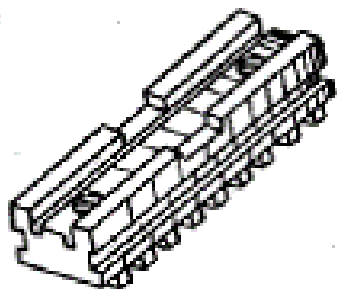
(3) 三爪自定心卡盘 Three-jaw chucks



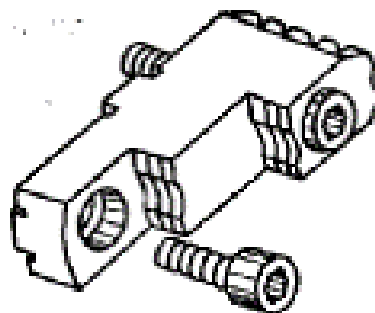
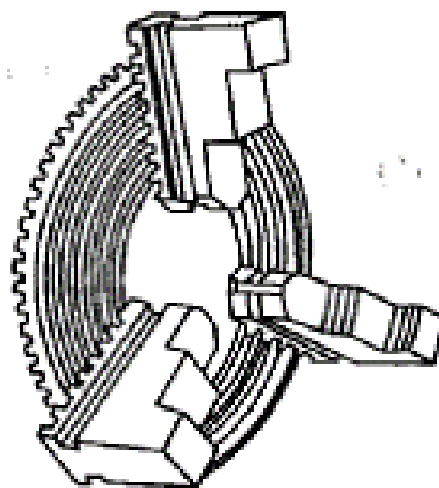
*结构原理



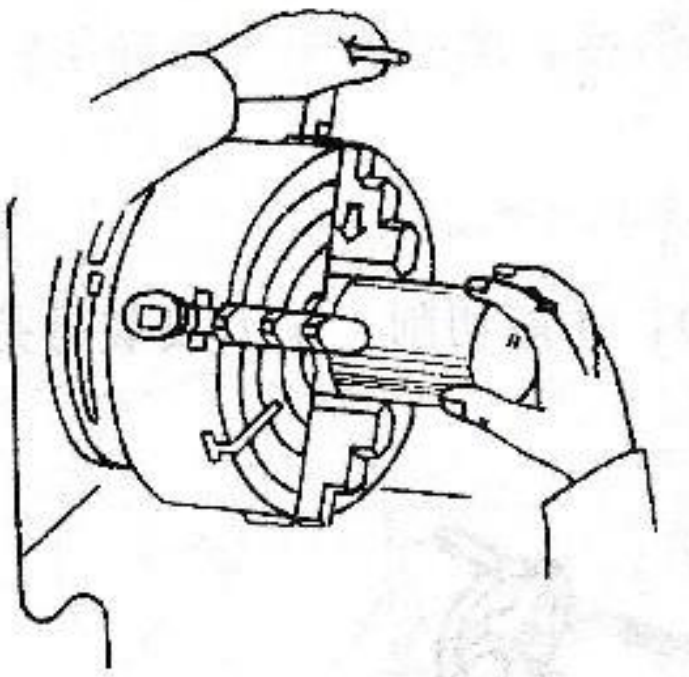
(a)



(b)



(4) 四爪单动卡盘 Four-jaw independent chucks



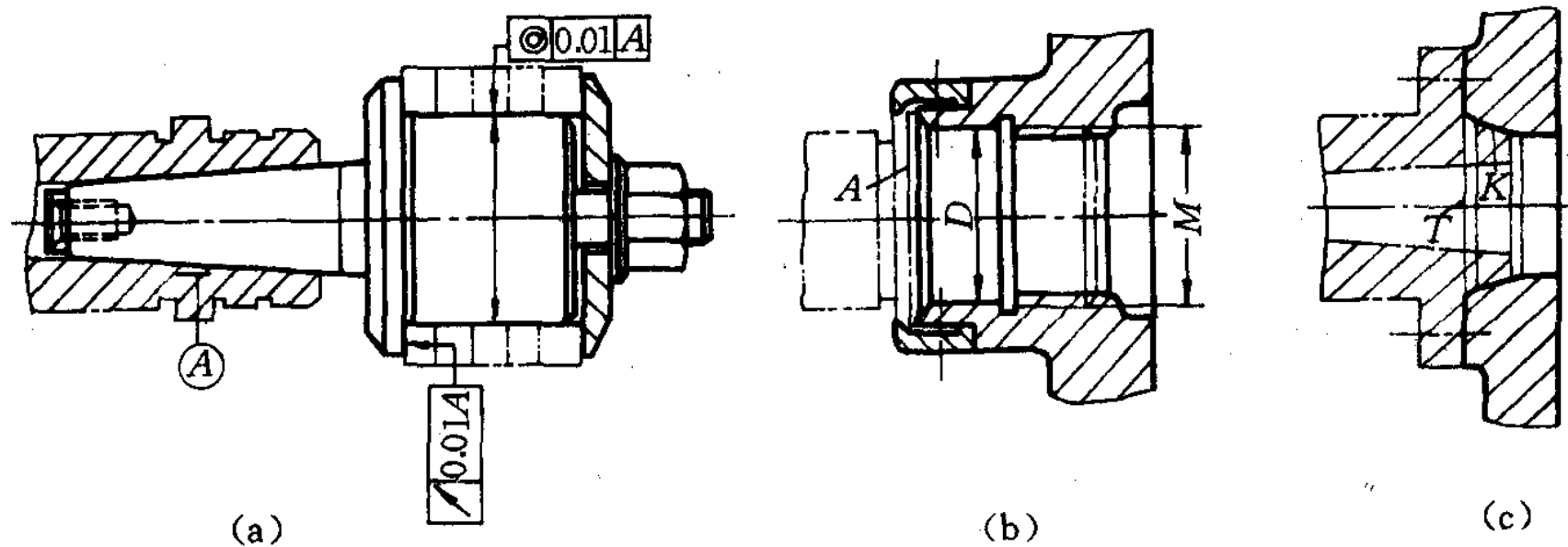
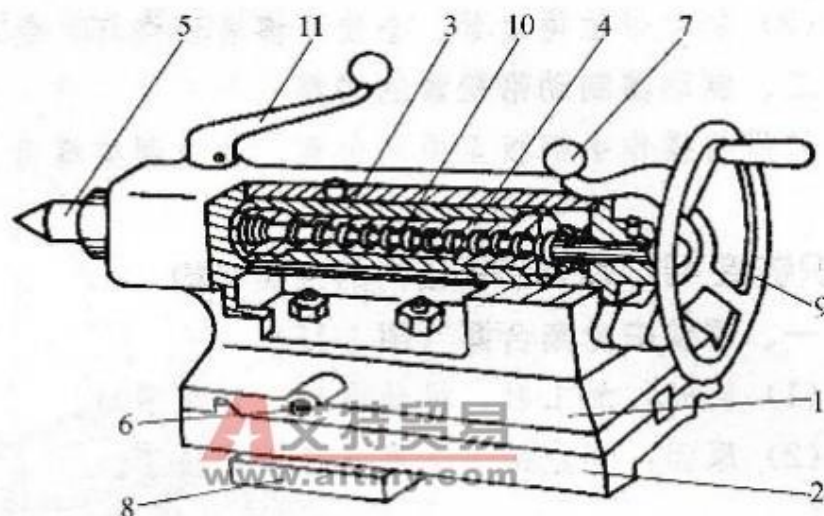
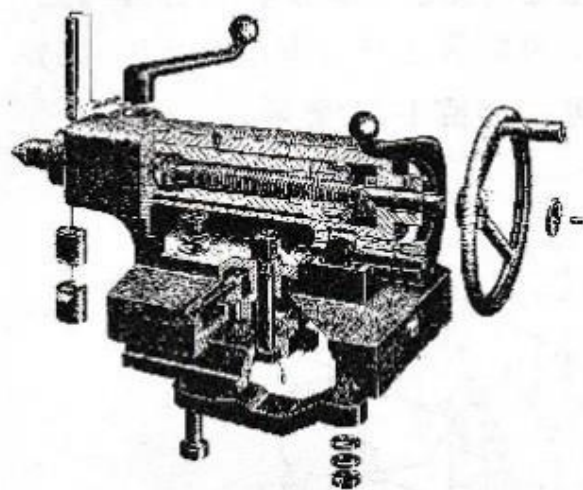
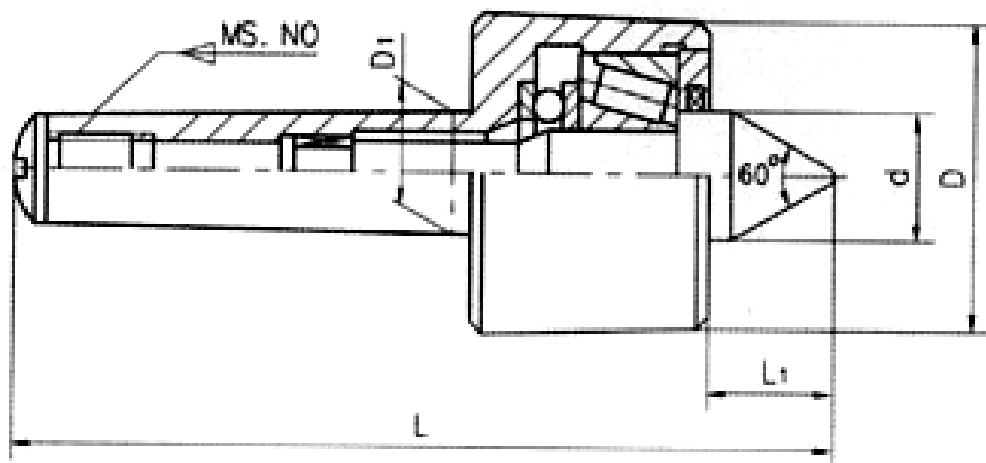
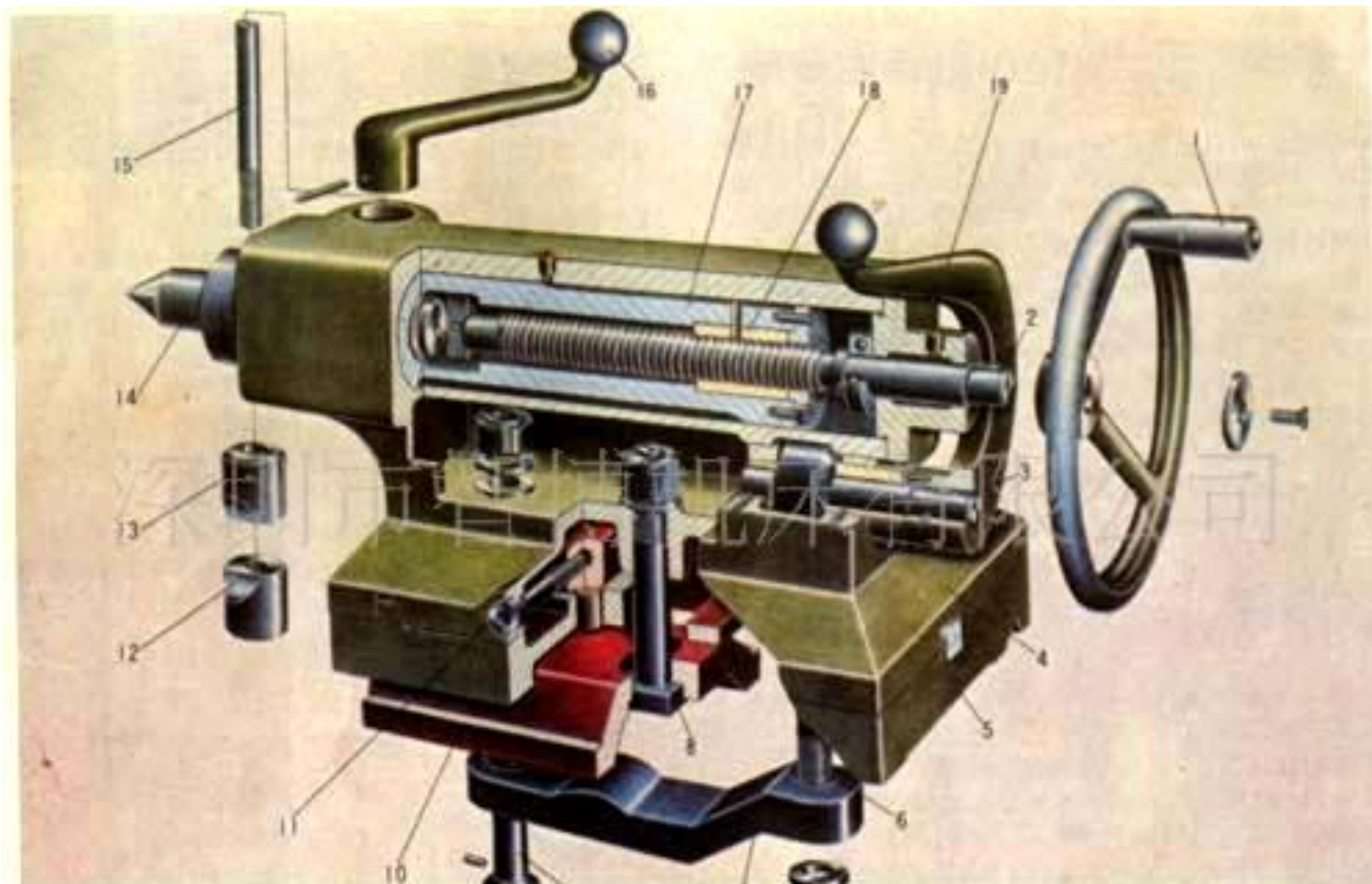


图 4-61 夹具在机床主轴上的安装

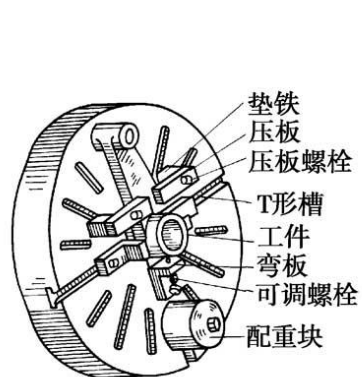
(5) 回转顶尖 (live center)



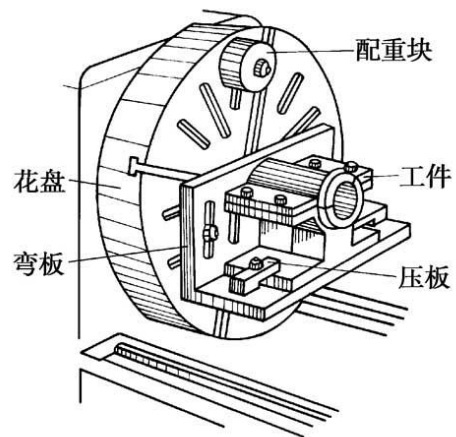
*结构原理



(6) 花盘 (disc chuck)



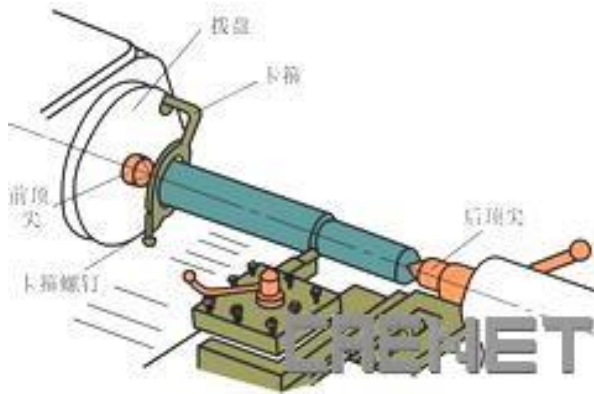
(a) 花盘上装夹工件



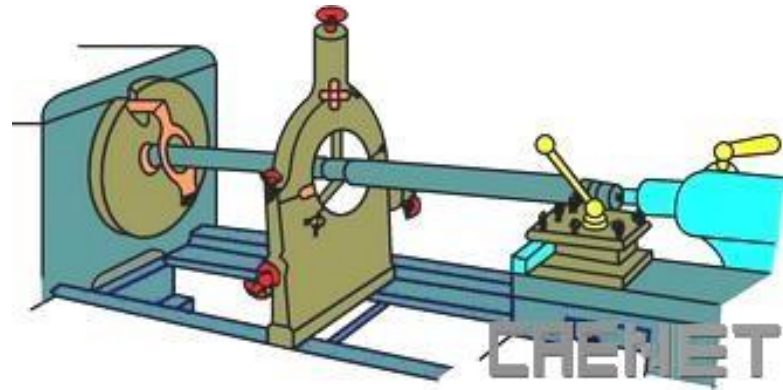
(b) 花盘与弯板配合装夹工件



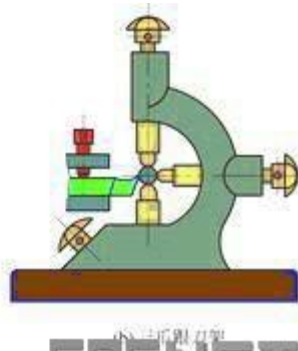
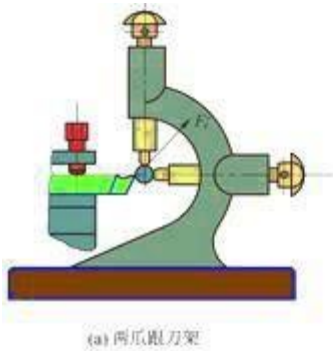
*车床上其他定位夹具



用顶尖安装工件



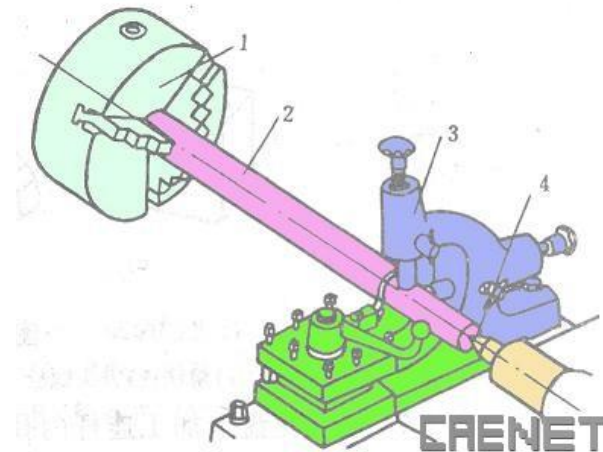
用中心架支承车削细长轴



跟刀架

跟刀架使用

1.三爪卡盘 2.工件 3.跟刀架 4.顶尖



二、钻床夹具 (钻模, Drill Jigs)

Question: What are the purposes of using drill jigs?

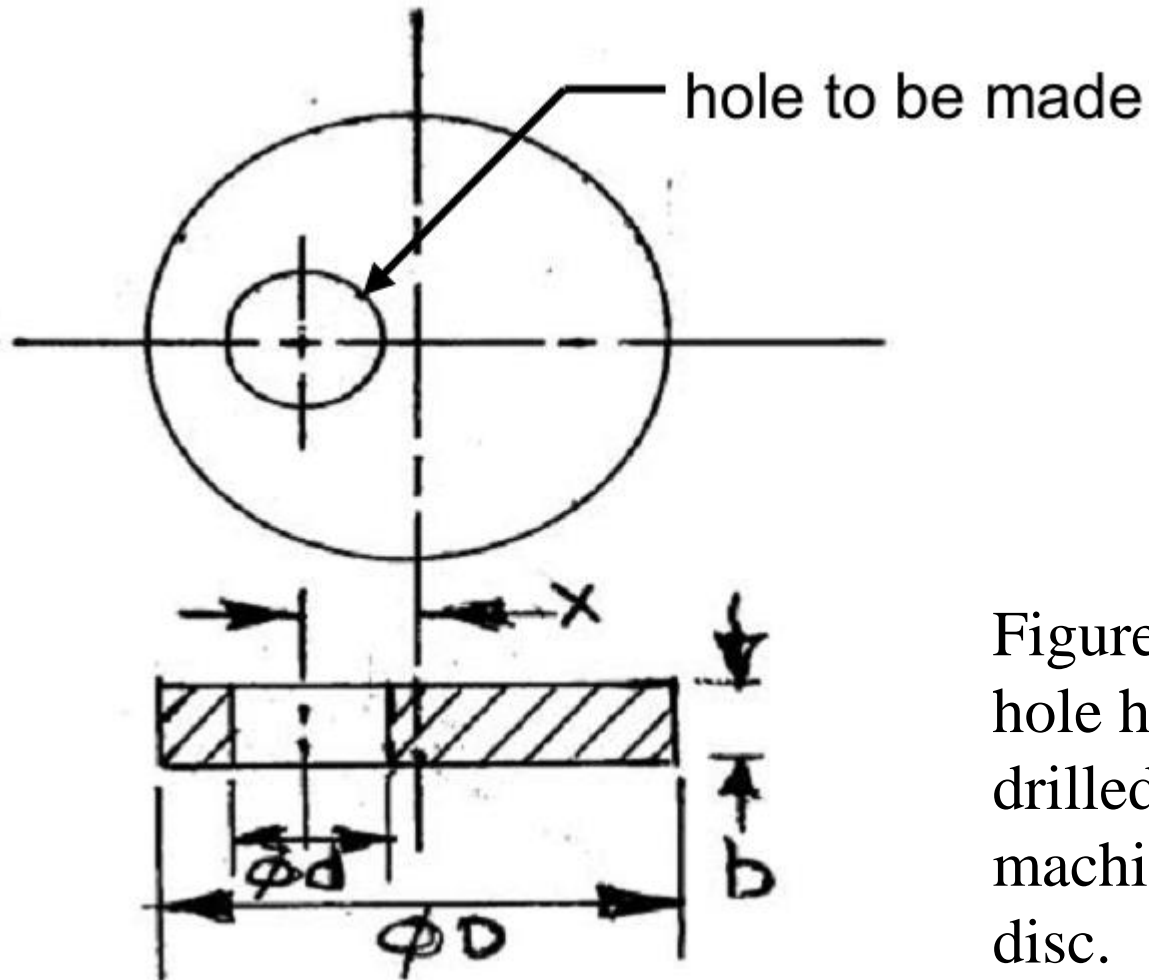
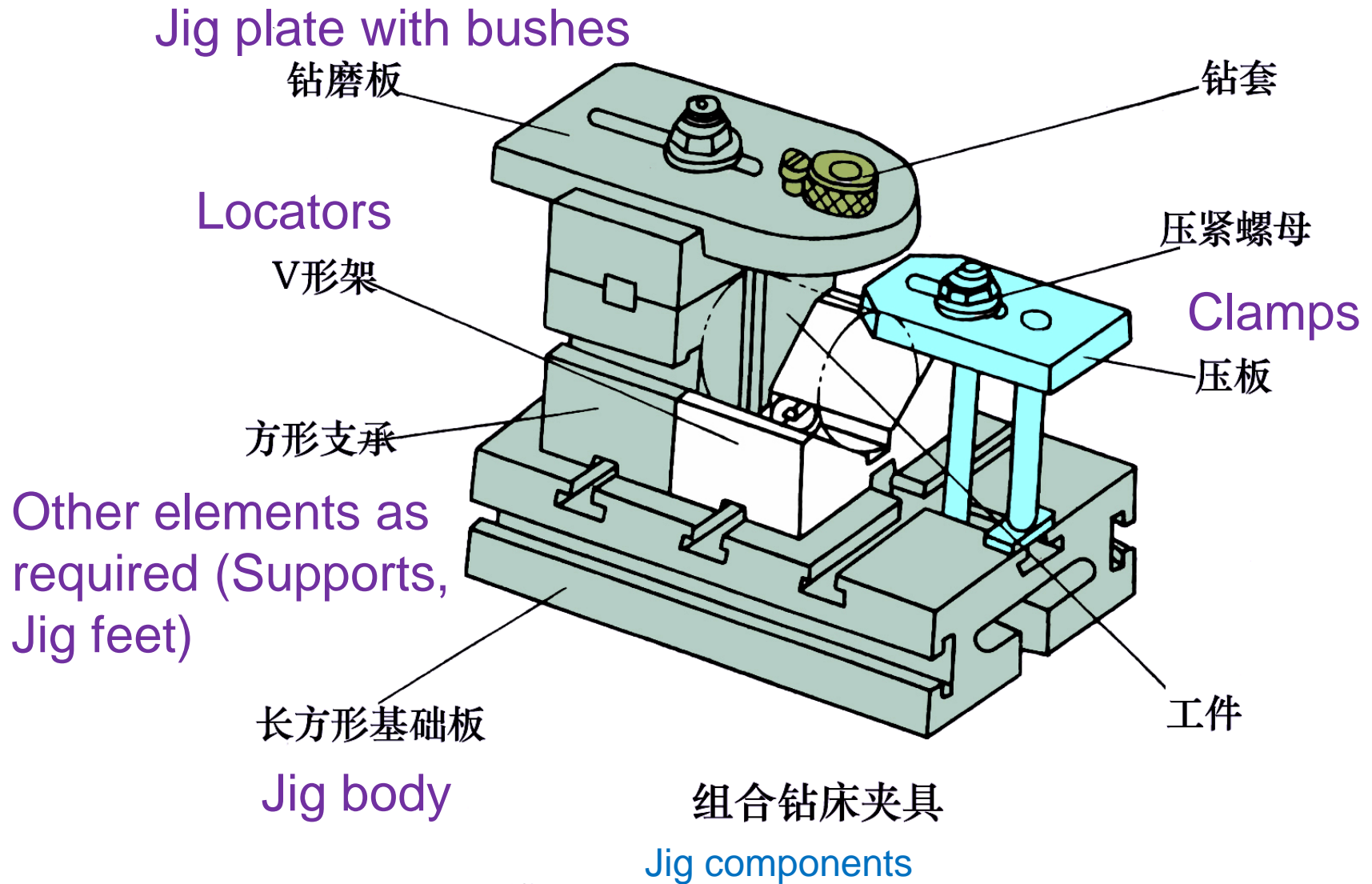
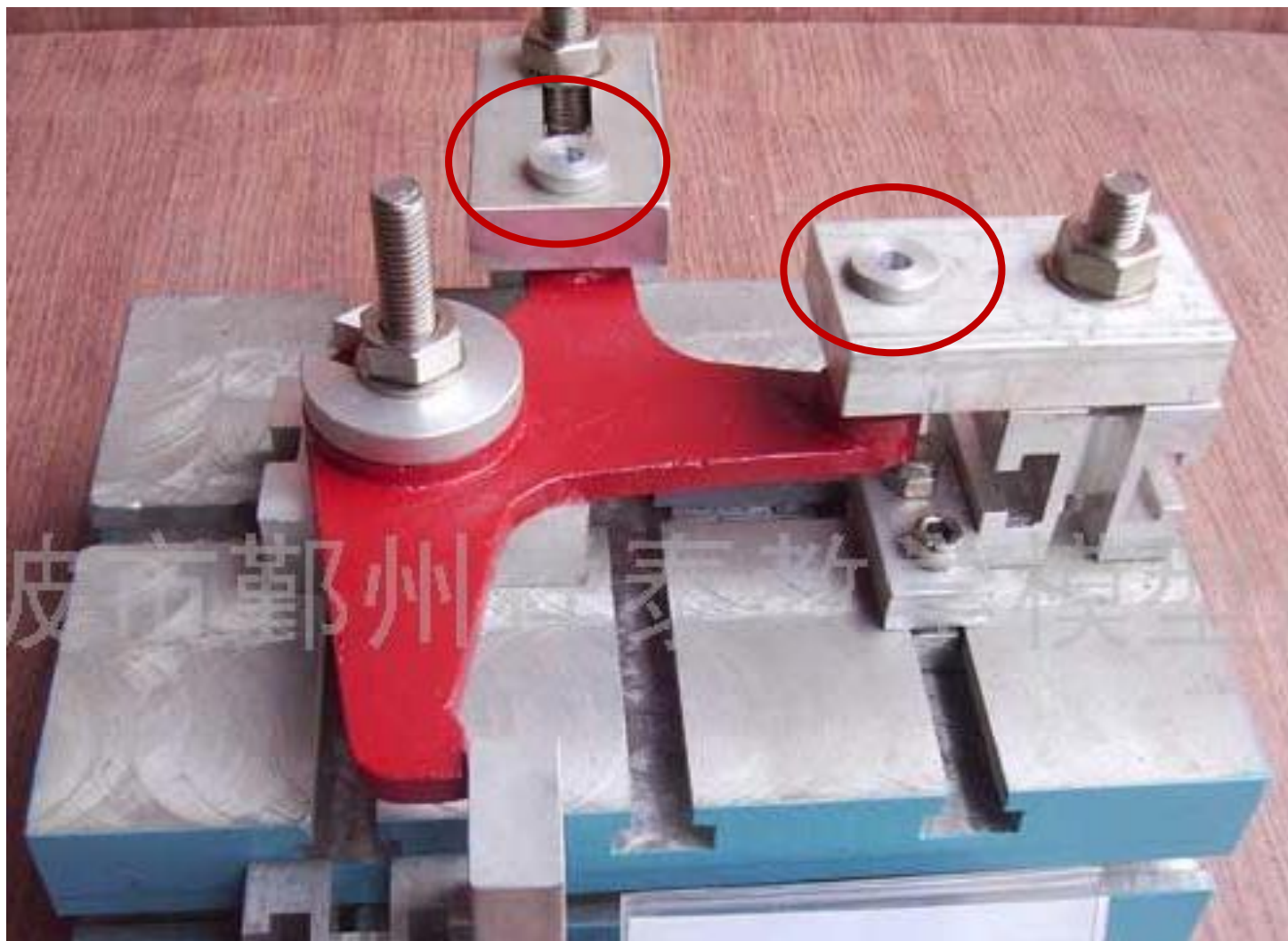


Figure : A through hole has to be drilled in a pre-machined mild steel disc.

钻床夹具结构



*钻床夹具结构实例



钻套(Jig Bushes)

钻套：安装在钻模板或夹具体中，作用：确定加工孔位置，引导钻头，提高刚性，防止振动。

问题：钻套可分为：（ ） 、（ ） 、（ ） 和特殊钻套。

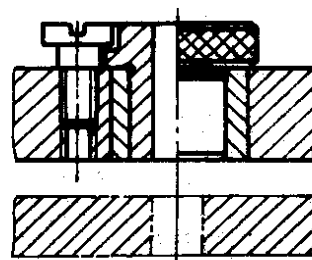
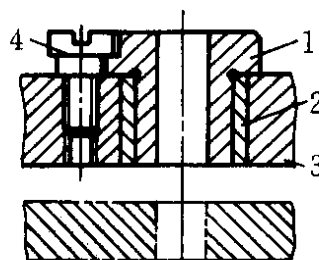
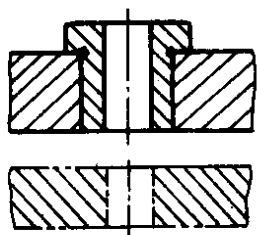
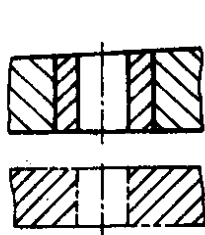
答案：**固定钻套，可换钻套，快换钻套**

Headless
Bush

Headed drill bush

renewable bush

Slip renewable bush



(a)

(b)

(c)

图 钻套

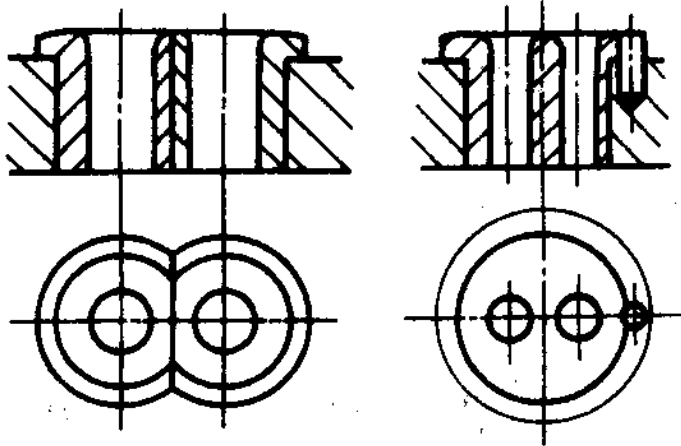
(a) 固定钻套；(b) 可换钻套；(c) 快换钻套

1—钻套；2—衬套；3—钻模板；4—螺钉

Used for multiple operations such as drilling followed by reaming

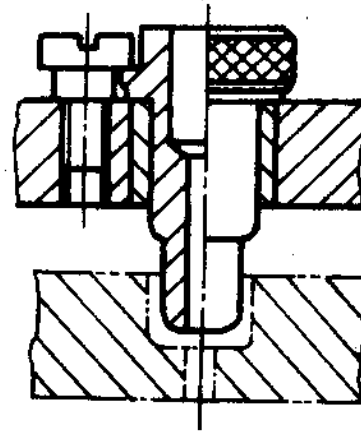
特殊钻套

Use of two
holes in one
bushing



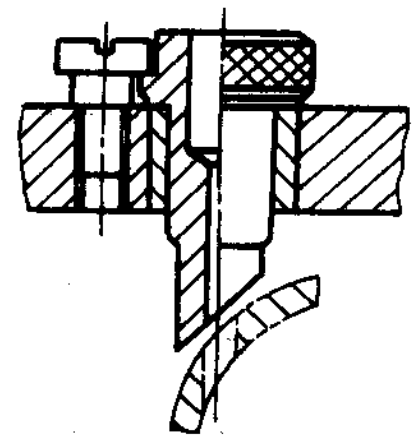
(a)

Modification of
standard bushings
for close hole drilling



(b)

Extended
drill bush



(c)

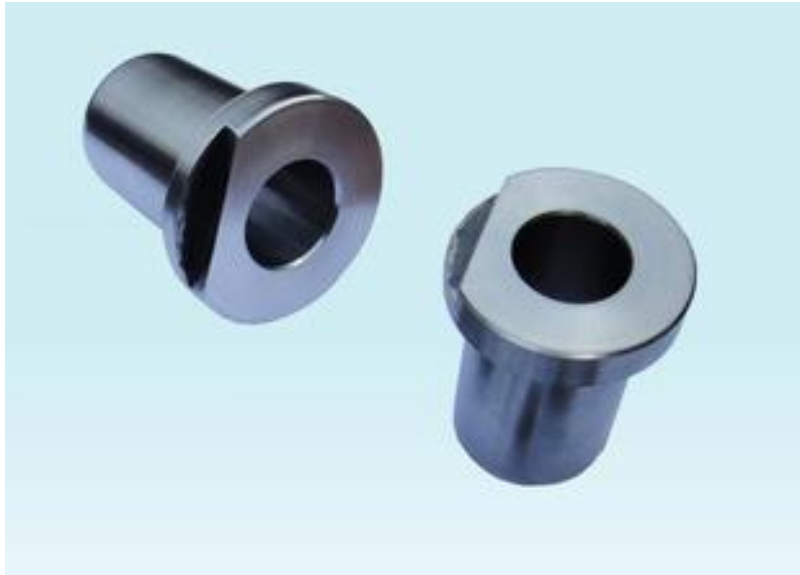
Shaped drill
bush

特殊钻套图

Figure of special drilling jigs

(a)小孔距钻套, (b) 加长钻套, (c) 斜/弧面钻套,

*钻套实例



钻套相对工件的位置

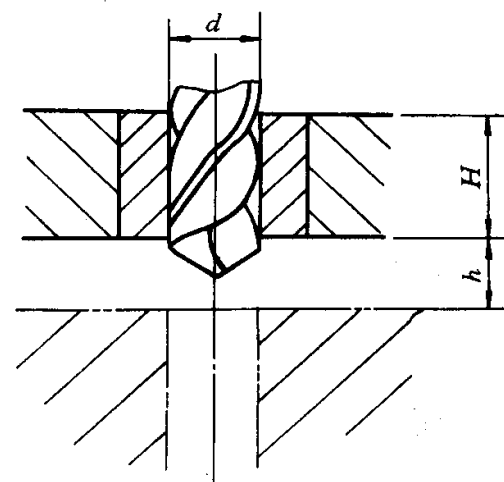
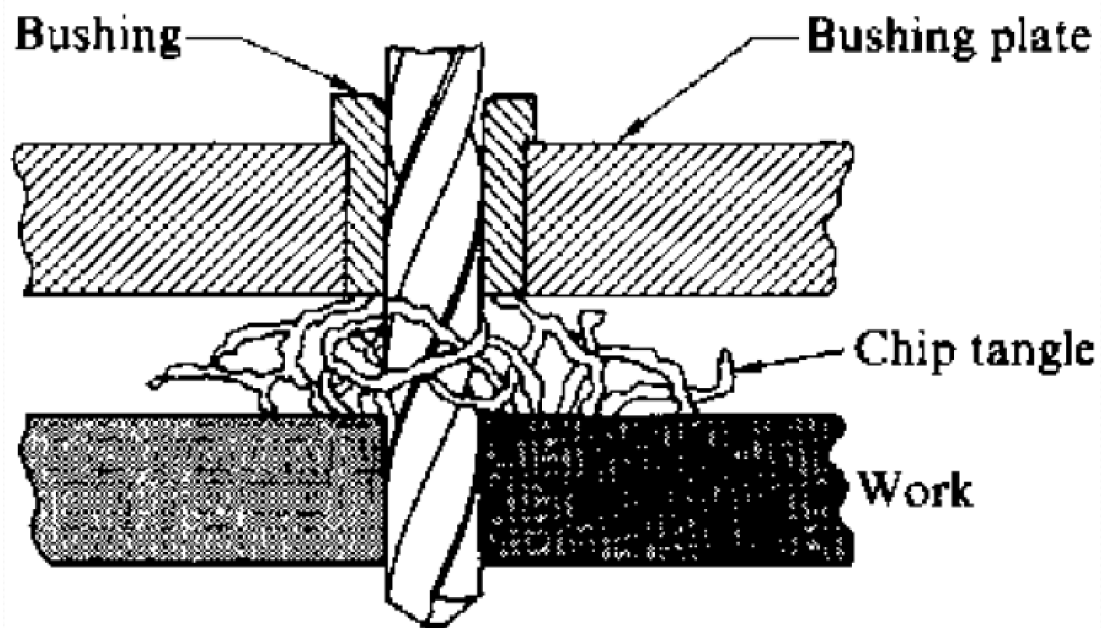
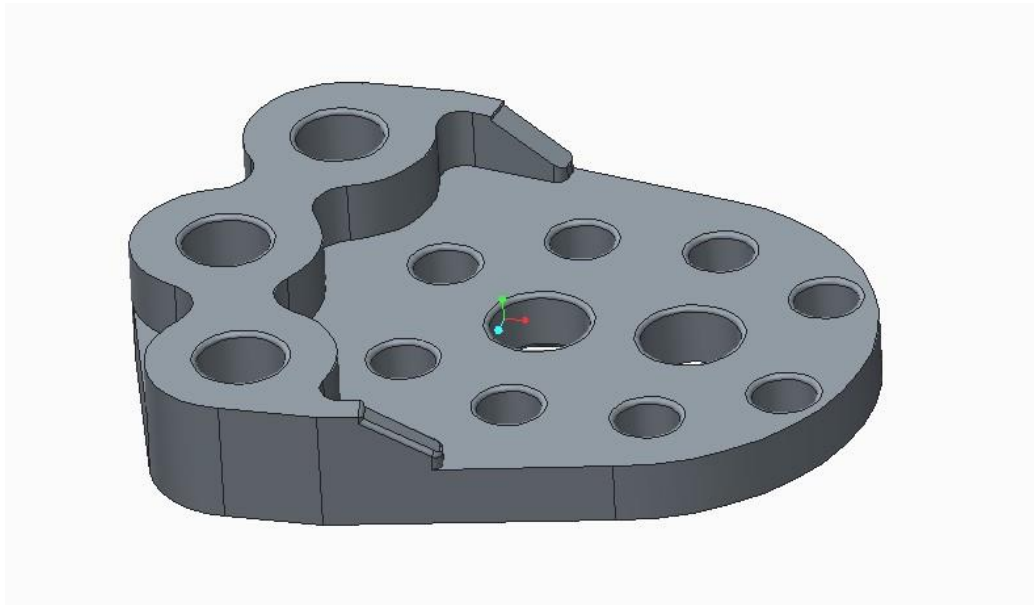


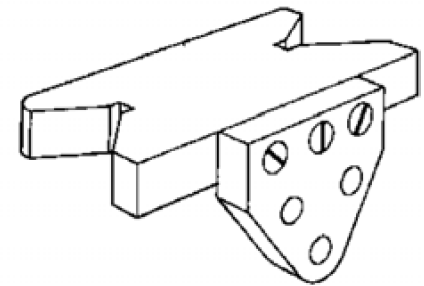
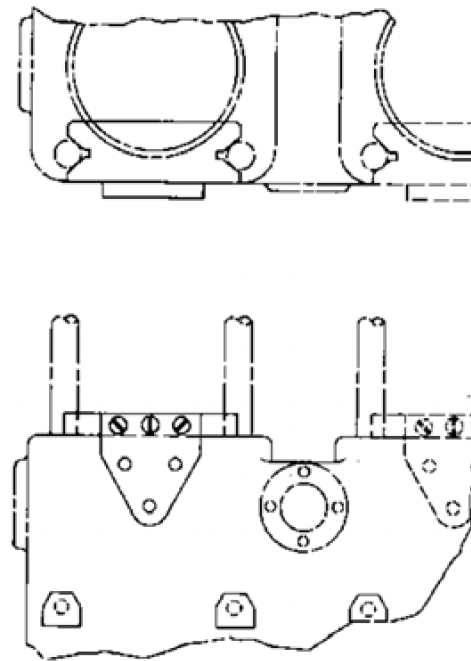
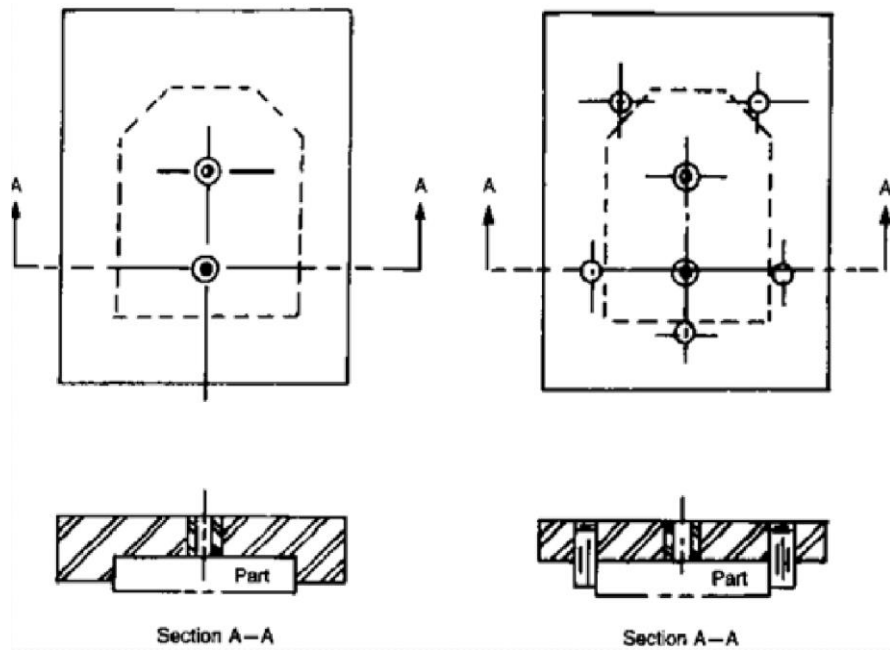
图 4-47 钻套高度与容屑间隙

Clearance between
bush and part

钻模板 (plate jigs)

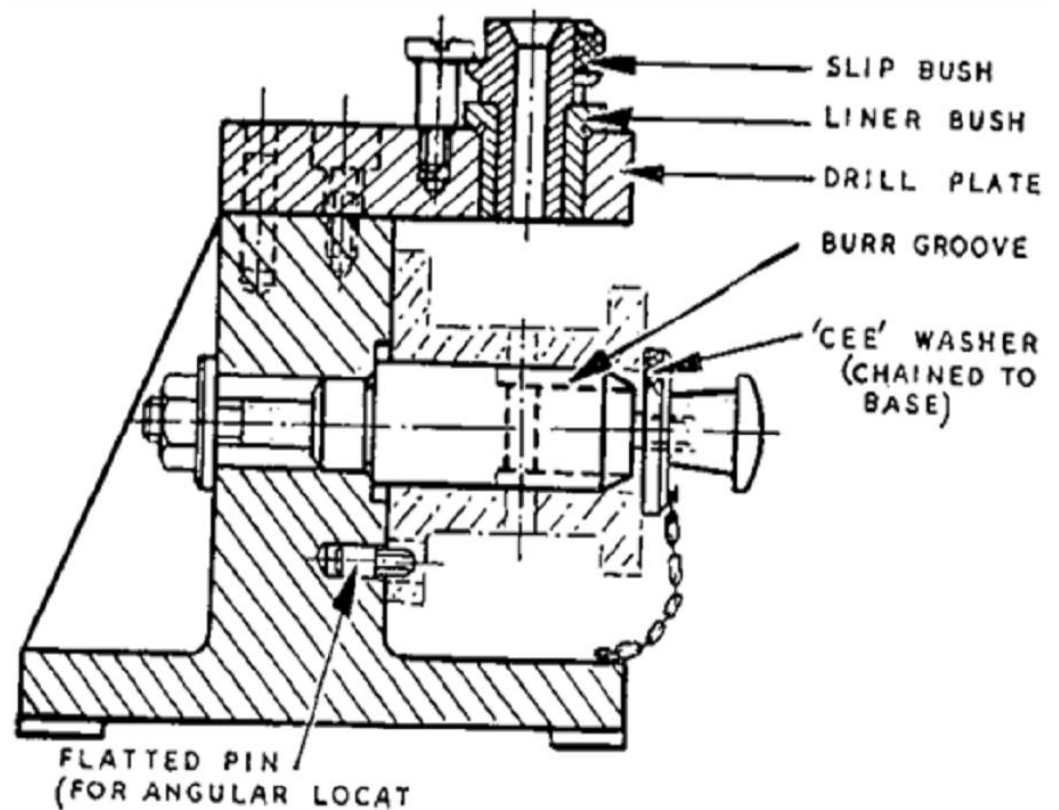
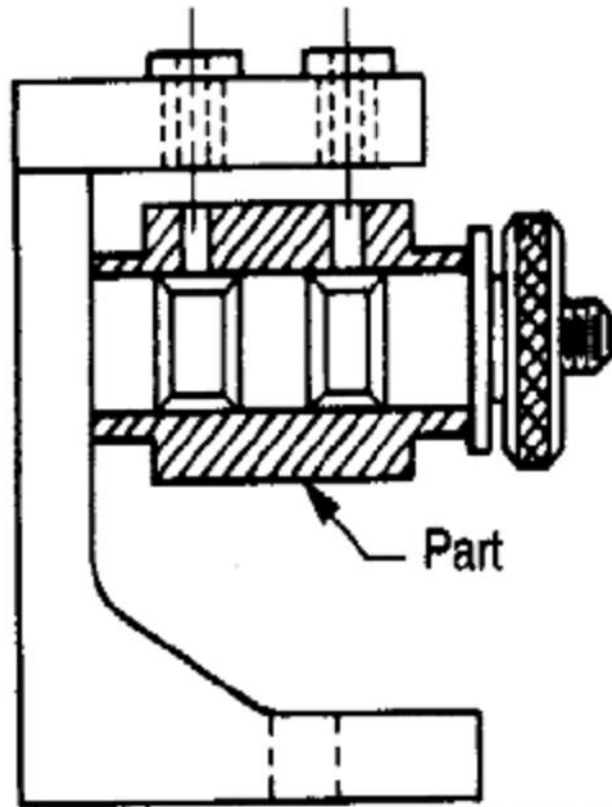
钻模板：固定式、回转式、移动式、翻转式、盖板式和滑柱式等。





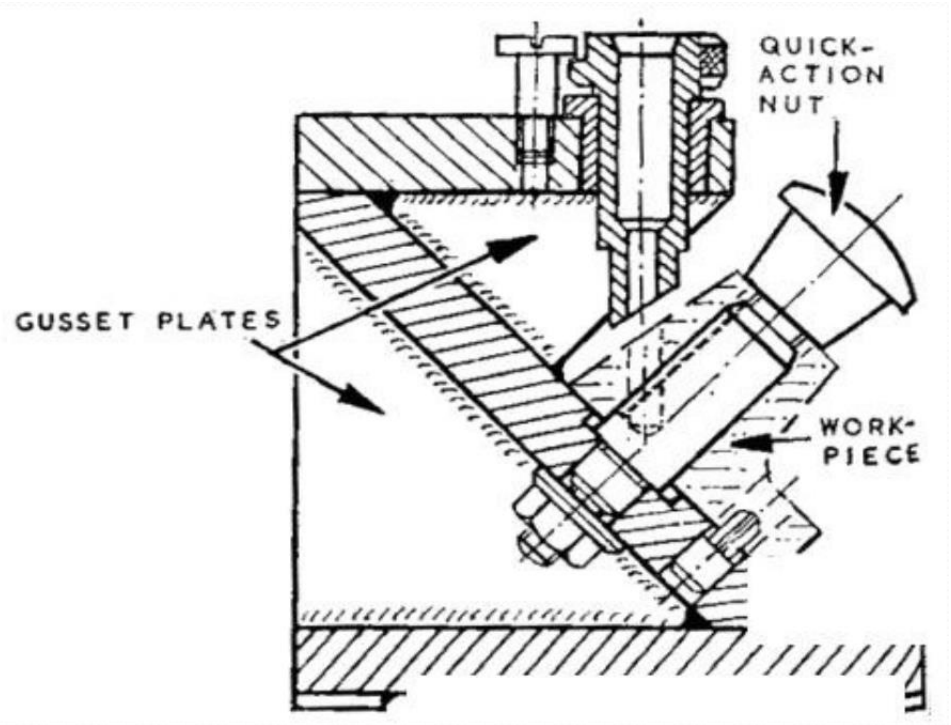
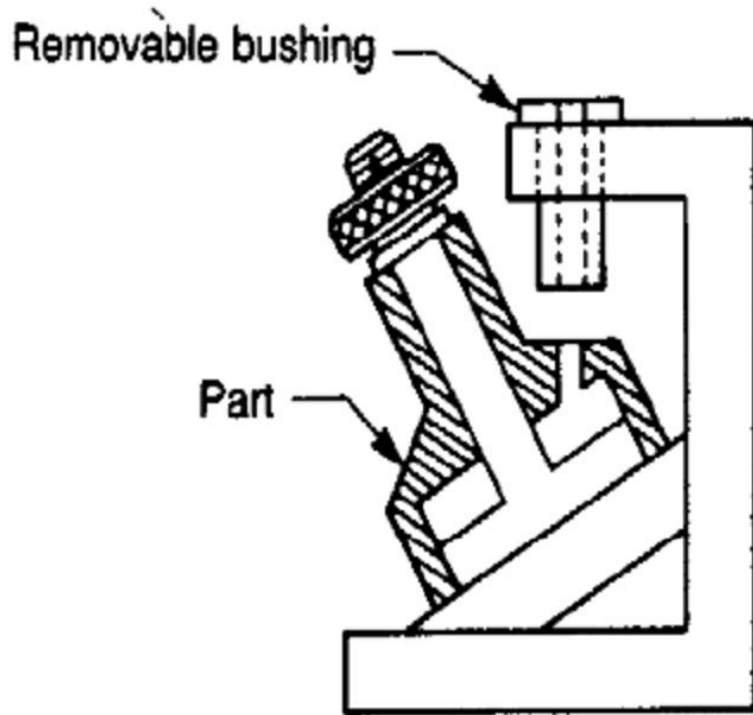
Template Jig

*固定式钻模板



固定式钻模板

*固定式钻模板



固定式钻模板

*回转式钻模板

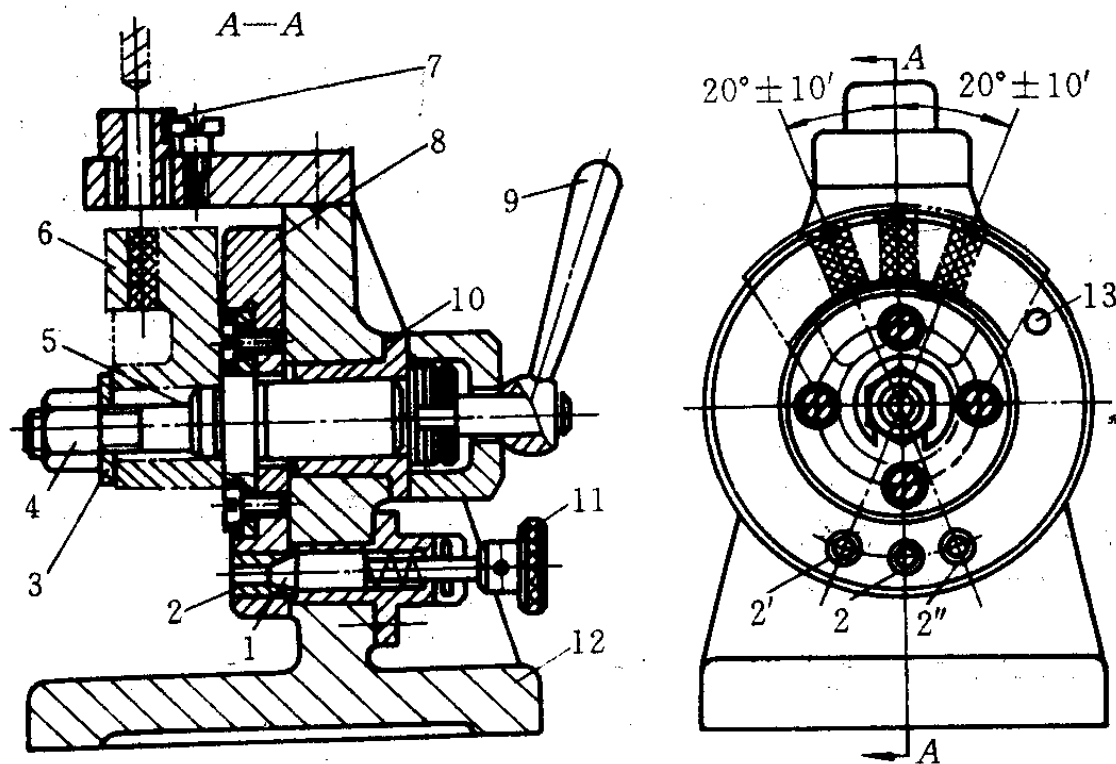
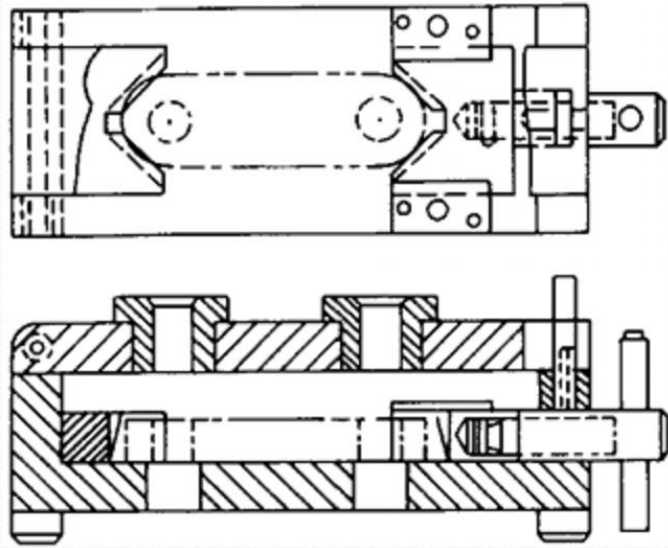


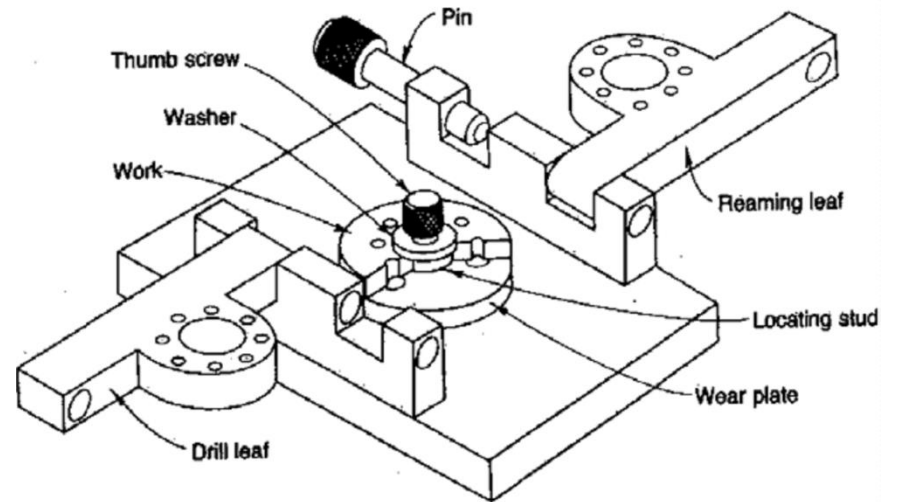
图 4-41 回转式钻模

- 1——定位销； 2——定位套； 3——开口垫圈； 4——螺母；
5——定位销； 6——工件； 7——钻套； 8——分度盘； 9——手柄；
10——衬套； 11——捏手； 12——夹具体； 13——挡销

*翻转钻模板



Swinging Leaf Type Jig



Double leaf jig

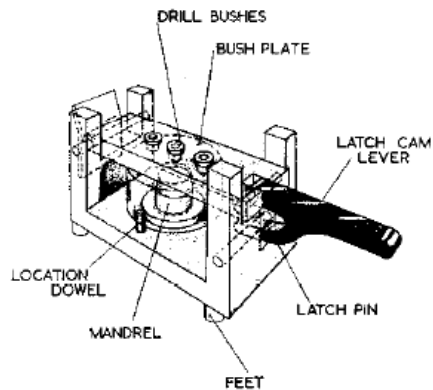


Fig. 21 Drill jig with swinging bush plate
a latch cam closure

*盖板式钻模板

Plate jig

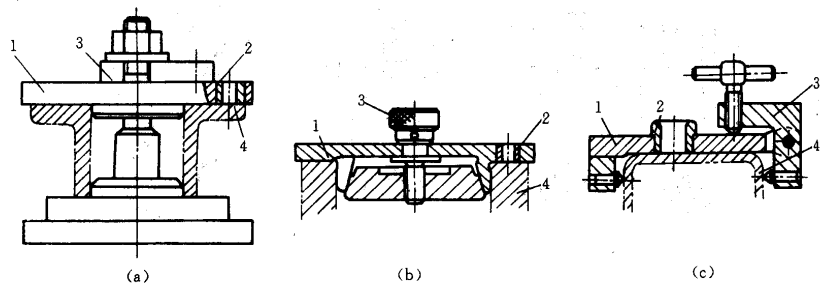
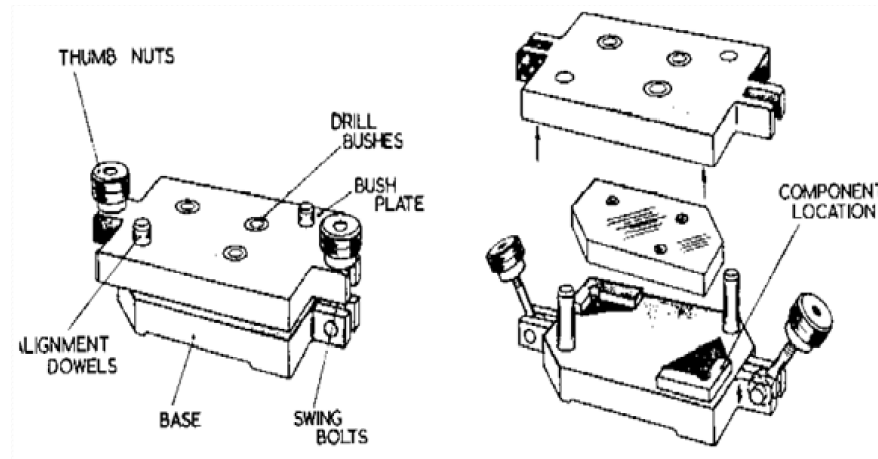
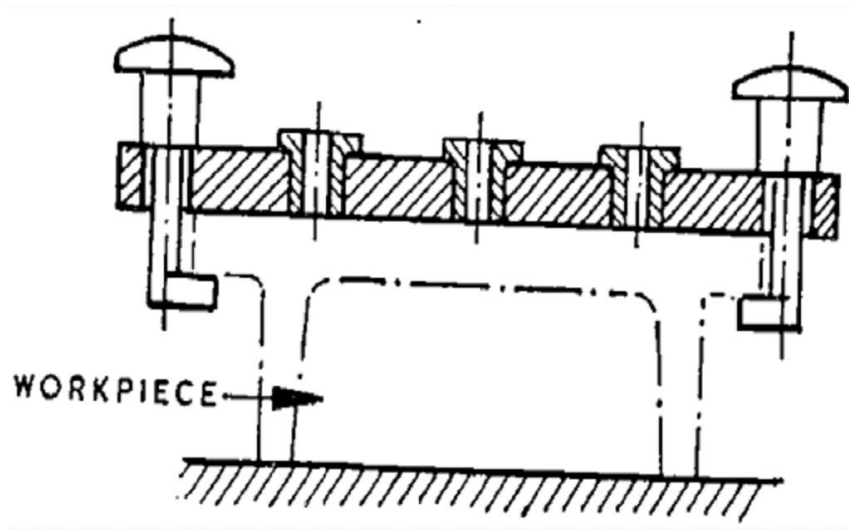


图 4-48 分离式钻模板

1——钻模板； 2——钻套； 3——夹紧元件； 4——工件

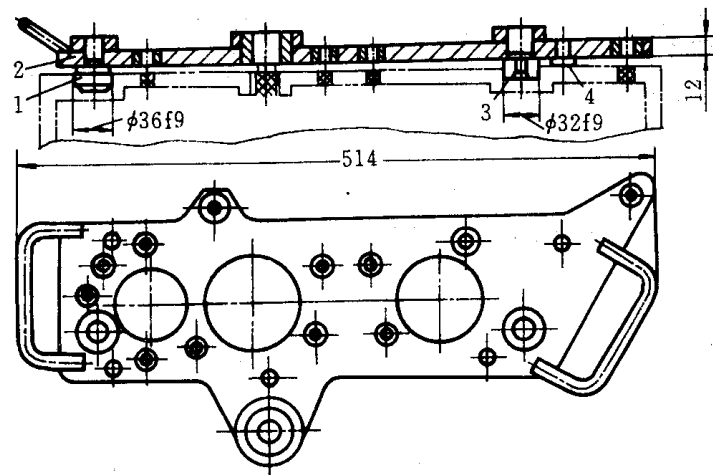
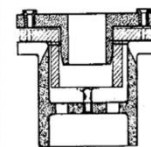


图 4-42 盖板式钻模

1——圆柱销； 2——钻模板； 3——菱形销； 4——支撑钉

*其他形式钻模板



Condition (a)
Holes drilled relative to
component bore

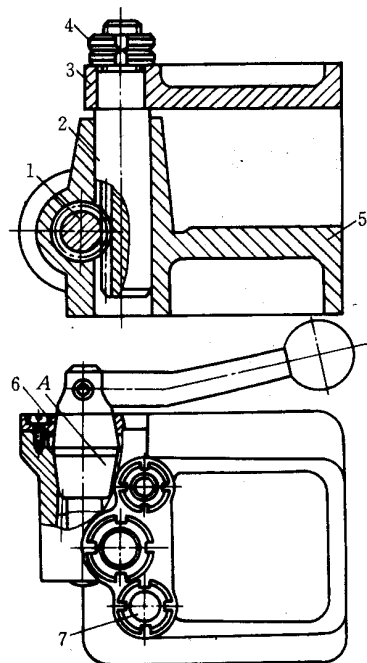


图 4-43 手动滑柱式钻模

1——斜齿齿轮； 2——齿条轴； 3——钻模板；
4——螺母； 5——夹具体； 6——锥套； 7——滑柱

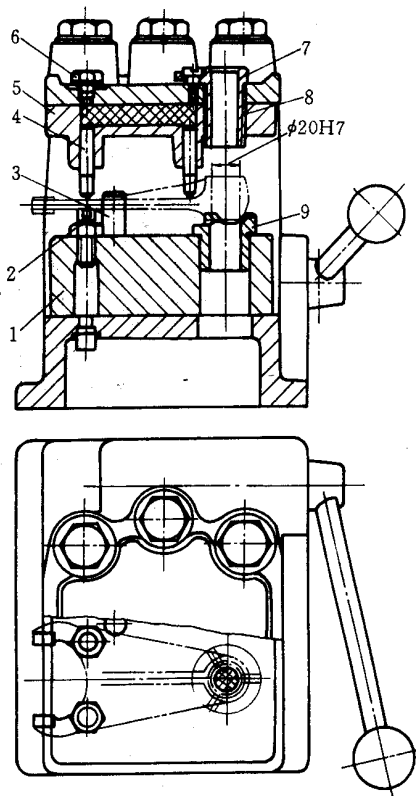


图 4-44 滑柱式钻模实例

1——底座； 2——可调支撑； 3——挡销； 4——
柱； 5——压柱体； 6——螺塞； 7——钻套
8——衬套； 9——定位锥套

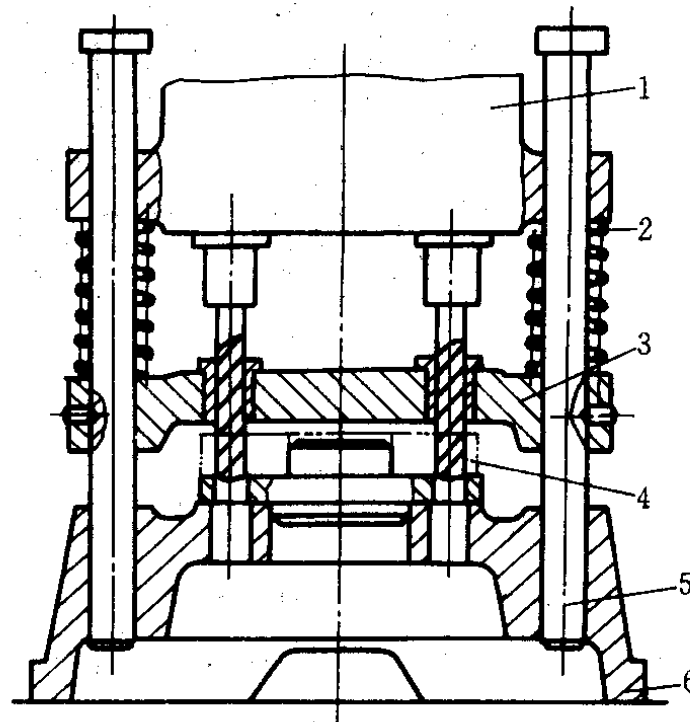


图 4-49 悬挂式钻模板

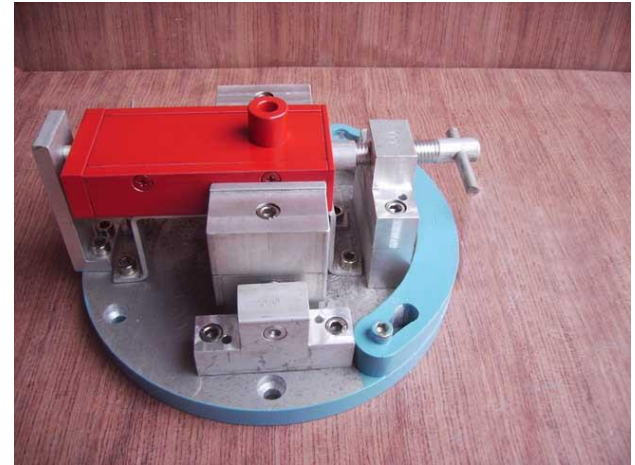
1——横梁； 2——弹簧； 3——钻模板；
4——工件； 5——滑柱； 6——夹具体

三、镗床夹具

jig used for boring operation



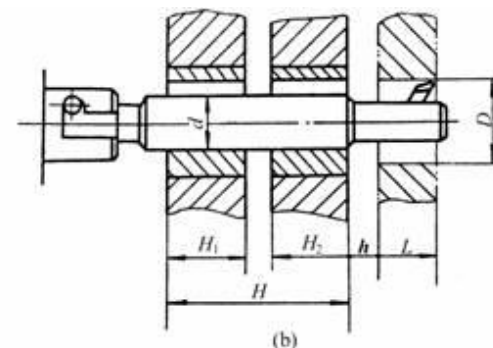
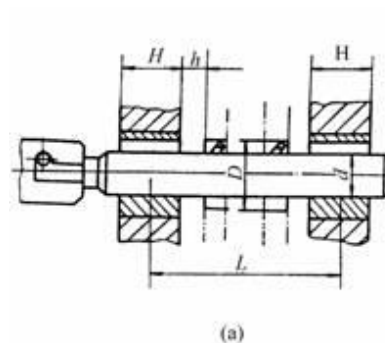
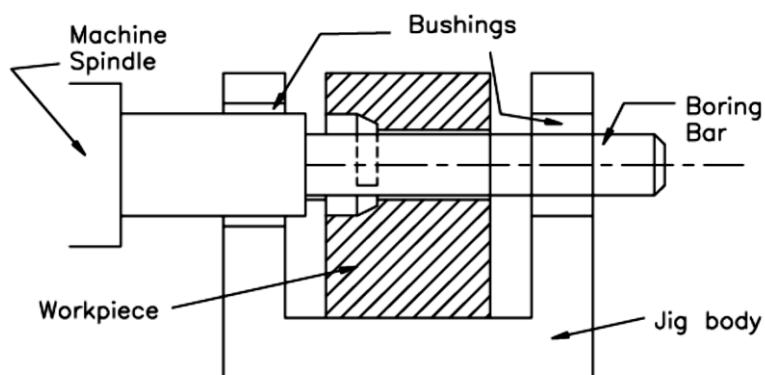
镗床



镗套(boring bushing)

有两大类型：

①固定式镗套：加工时镗套不随镗杆转动。



Typical jig used for boring operation

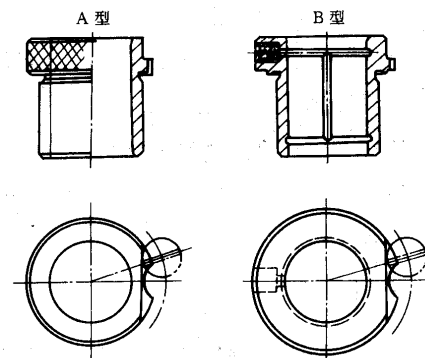
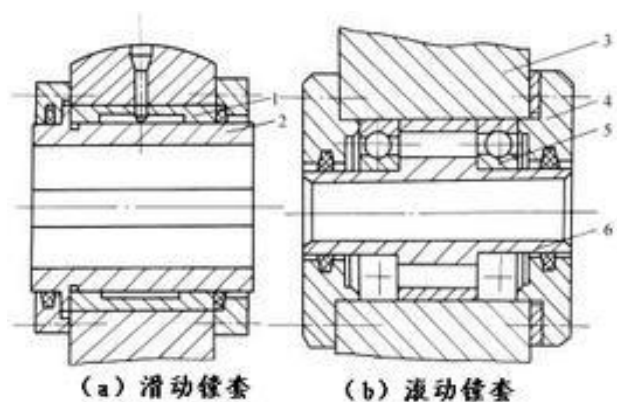


图 4-52 固定式镗套

②回转式镗套：回转式镗套随镗杆一起转动，镗杆与镗套之间只有相对移动而无相对转动（滑动轴承式镗套和滚动轴承式镗套）。



1-轴承套 2和6-镗套 3-支架 4-轴承端盖
5-滚动轴承

图11 回转式镗套

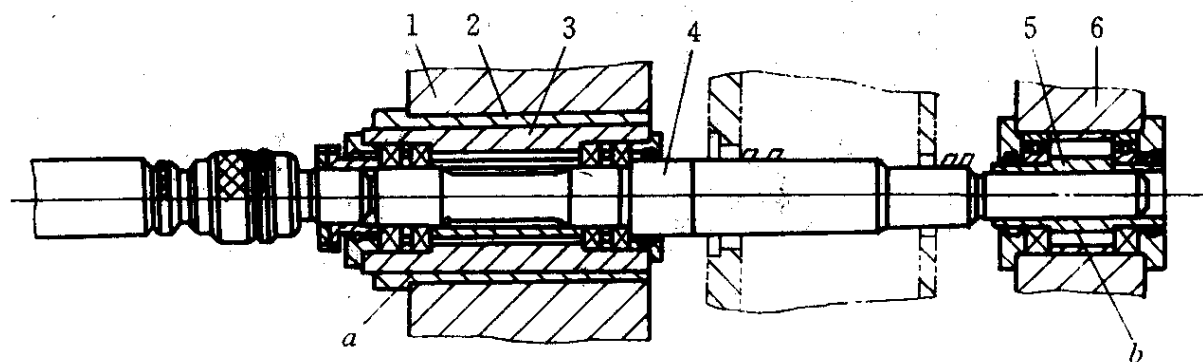


图 4-53 回转式镗套

1,6——导向支架； 2,5——镗套； 3——导向滑套； 4——镗杆

*镗套实例



原位镗孔机的镗套-
董氏镀铁

*镗套应用

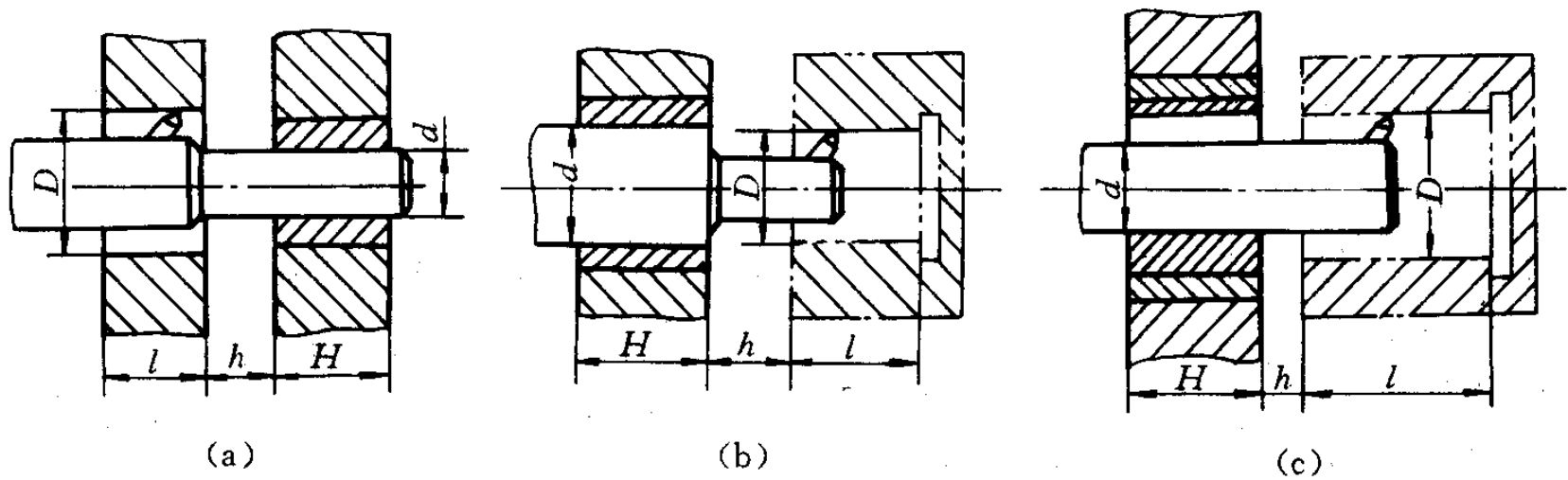
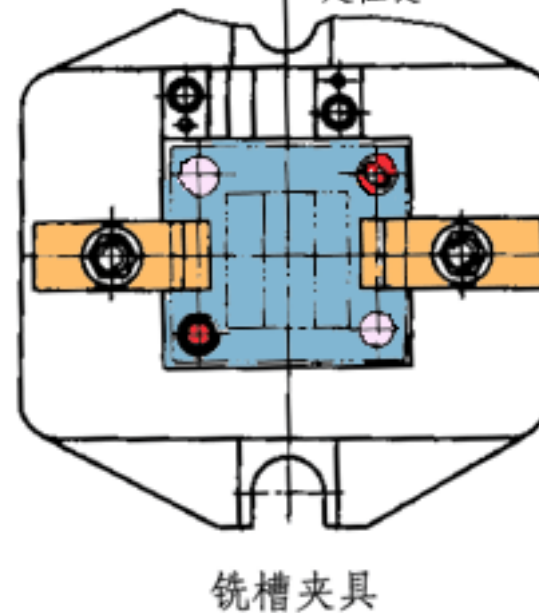
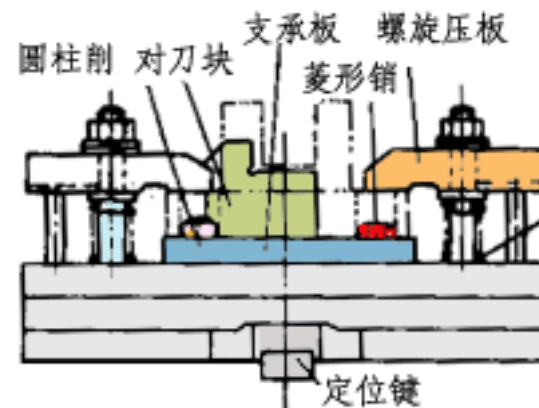
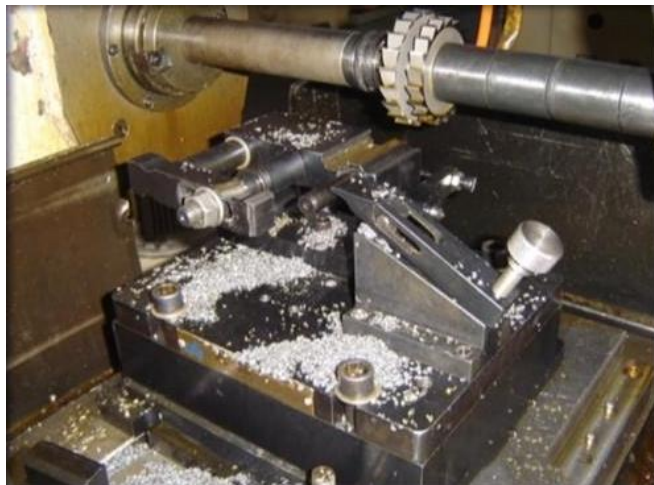


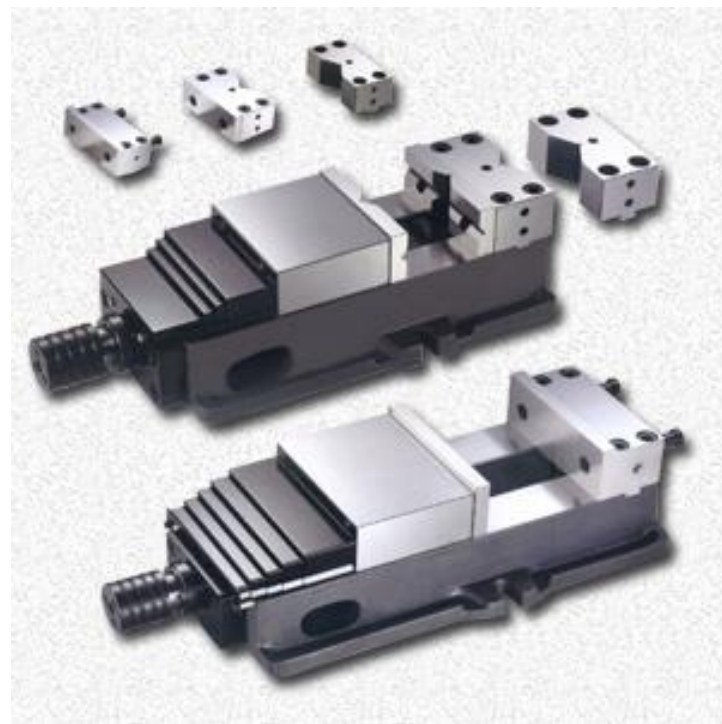
图 4-50 单面导向镗模支架
(a) 单面前导向；(b), (c) 单面后导向

四、铣床夹具

Milling fixture



工件定位



平口钳

对刀装置 (Tool setting device)

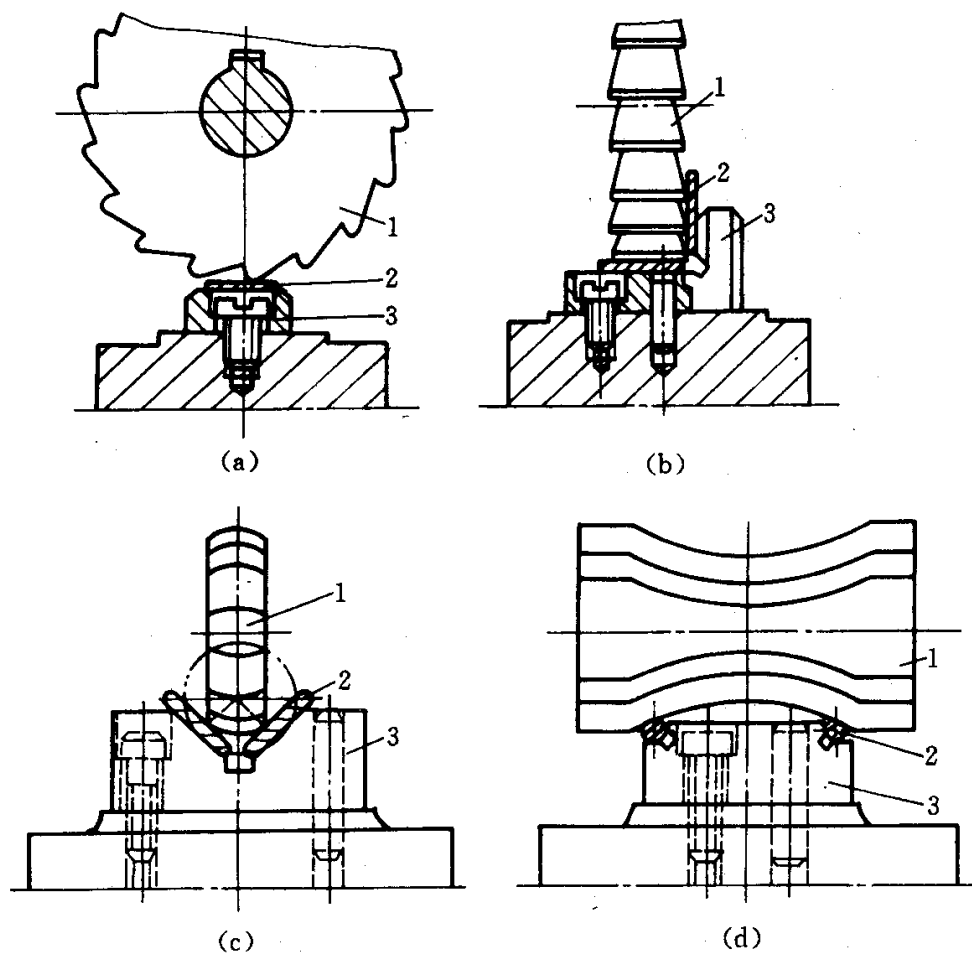


图 4-57 对刀块

1——铣刀； 2——塞尺； 3——对刀块

*对刀块(The tool block)

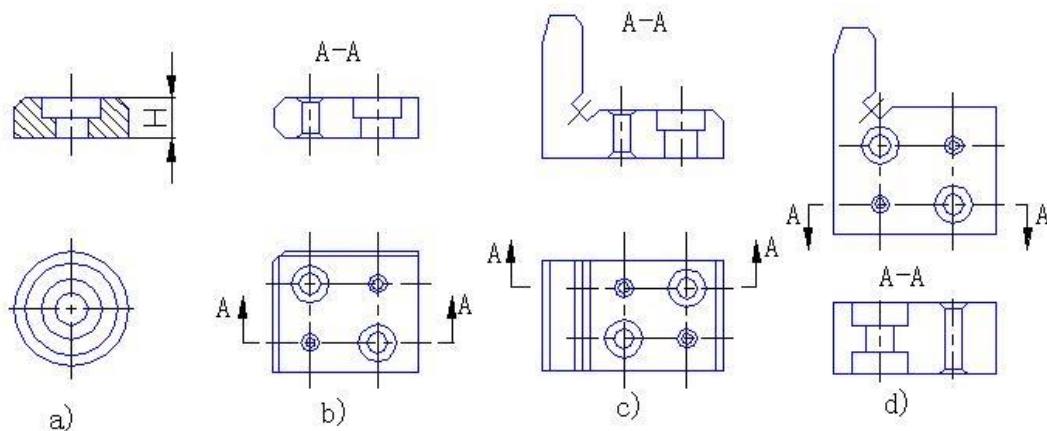


图3-64 标准对刀块

a) 圆形对刀块 b) 方形对刀块 c) 直角对刀块 d) 侧装对刀块



对刀仪

塞尺(Feeler)

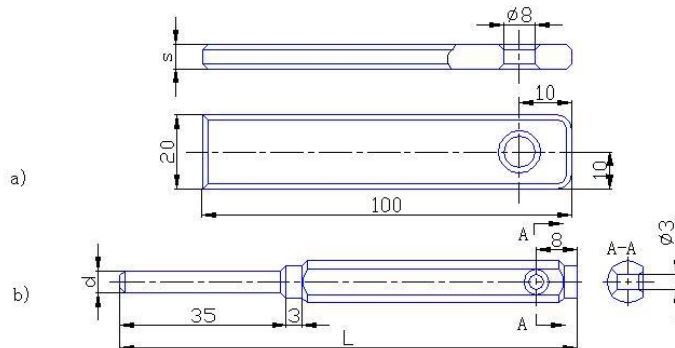


图3-65 标准对刀塞尺

a) 对刀平塞尺 b) 对刀圆柱塞尺



*对刀装置实例



电缆式对刀仪
TS35.10



红外线式对刀仪
IRT35.70



无线电式对刀仪
RWT35.50

分度装置 (dividing apparatus)

工件装夹后，能改变工件加工位置的装置。

直线分度装置：

回转分度装置：立式、卧式、斜式。

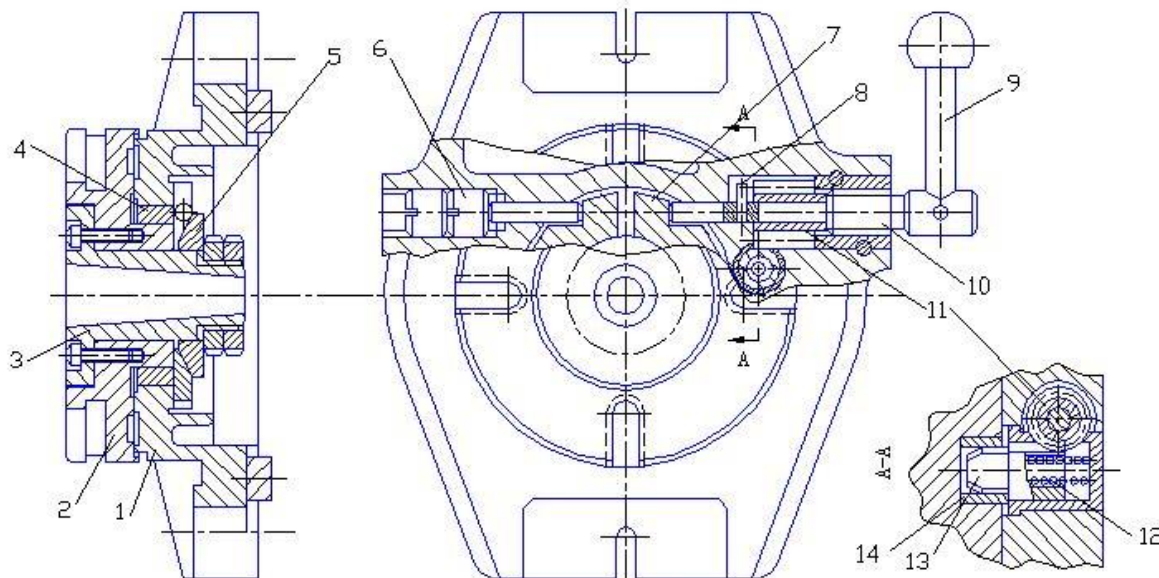
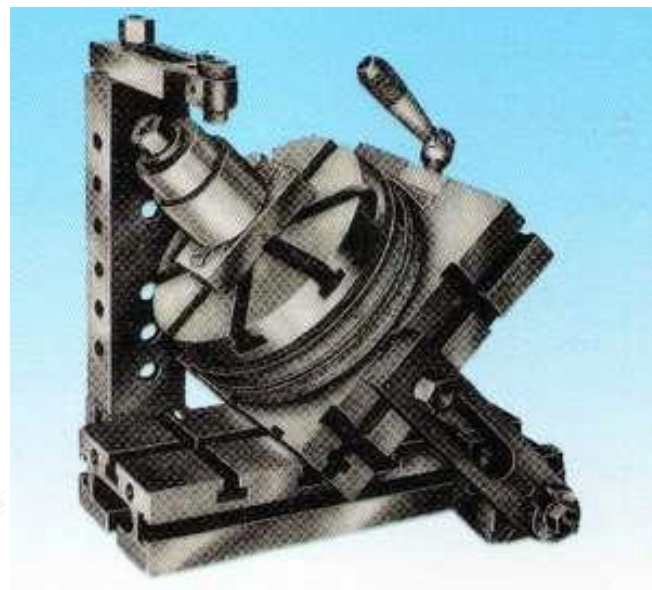


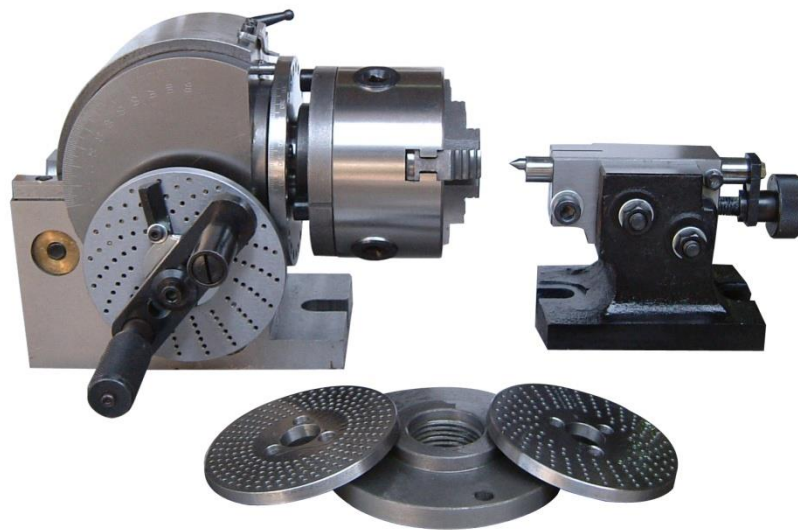
图3-68 立轴式通用回转台

1-转台体 2-转盘 3-轴套 4-衬套 5-锥形圈 6-螺钉 7-锁紧圈 8-挡销
9-手柄 10-手柄轴 11-齿轮套 12-弹簧 13-对定销 14-分度套



45° 斜孔分度钻夹具

*分度装置实例



Thanks for your attention!

进入下一章节

第七章 现代制造工艺及管理

内容提纲

第一节 成组技术

第二节 计算机辅助工艺过程设计

第三节 现代机械制造系统和模式简介

第一节 成组技术

一 概述

成组技术是利用事物之间的相似性，将许多具有相似信息的研究对象归并成组，并用大致相同的方法来解决这一组研究对象的设计和制造问题。

实质 按零件的形状、尺寸、制造工艺的相似性，将零件分类归并成组（族），扩大零件的工艺批量，以便采用高效率的工艺方法和设备，使中小批量生产也能获得类似大批量流水生产的经济效益。

作用

- 提高设计工作的标准化与合理化，减少设计工作量；
- 减少生产准备时间；
- 有利于生产管理科学化；
- 成组技术是CAD、CAM的基础。

二 零件的分类编码系统

对所加工零件实施分类编码是推行成组技术的基础。

所谓**零件编码**就是用数字表示零件的特征，代表零件特征的每一个数字码成为**特征码**。

三种比较常用的编码系统：

- 德国的OPITZ系统；
- 我国机械工业部制定的JLBM-1编码系统；
- 面向工艺的编码系统。

代码结构的类型：层次式、链式、混合式。

机械零件编码系统

名称类别矩阵码	
第一位	第二位
粗分类	细分类

形 状 及 加 工 码						
第三位	第四位	第五位	第六位	第七位	第八位	第九位

辅 助 码				
第十位	第十一位	第十二位	第十三位	第十四位

0	回转类零件	轮盘类	0	盘 盖
1		环套类	1	保护盖
2		销杆轴类	2	法兰盖
3		齿轮类	3	离合器盖
4		异形件类	4	分度盘
5		专用件类	5	手 轮
6	非回转类零件	杆条类	6	皮带轮
7		板块类	7	滚 轮
8		座架类	8	活 塞
9		箱壳体类	9	其 它

回 转 类 零 件							
外部形状 及加工		内部形状 及加工		平面 曲面加工		辅助加工	
基本形状	功能要素	基本形状	功能要素	外表面及端面	内表面	非同轴线	孔成形刻线

非 回 转 类 零 件						
外部形状 及加工				主孔及 内部加工		辅助加工
总体形状	平面加工	曲面加工	外形要素	主孔加工	内部加工	辅助孔成形

材	毛	热	主要尺寸		精
			直	长	
料	坯	处	径	度	度
	原		或		
	始		宽		
	形		度		
	状				

三 成组技术中零件的分类编组

目的：

- 减少现有零件工艺过程的多样性；
- 扩大零件的工艺批量；
- 提高工艺设计的质量。

依据：

- 根据零件的结构特征和工艺特征的相似性。

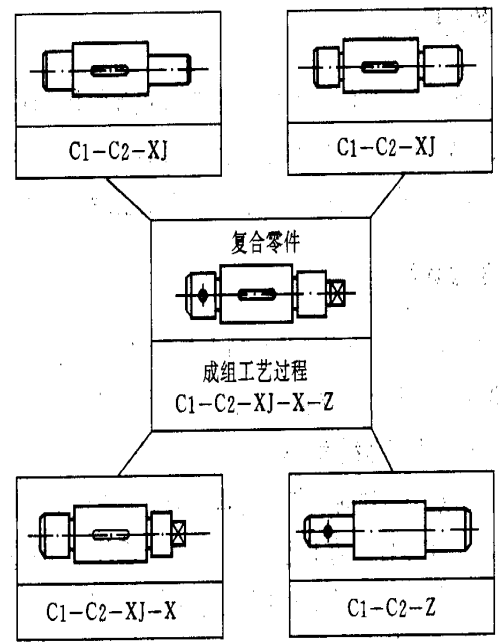
方法：

- **视检法**—由有经验的工艺师根据零件图样或实际零件及其制造过程，直观地凭经验判断零件的相似性，对零件进行分类成组；
- **生产流程分析法**—按工艺特征相似性分类，先根据零件的工艺路线卡列出工艺路线表，再对生产流程进行分析、归纳、整理。
- **特征码位法**—选择几位与加工特征直接相关的码位作为形成零件组的依据。
- **码域法**—对特征码位上的数据规定某一范围，而不是要求特征码位上的数据完全相同。

四、成组加工工艺流程编制

方法有两种，综合零件法和综合路线法。

● 综合零件法



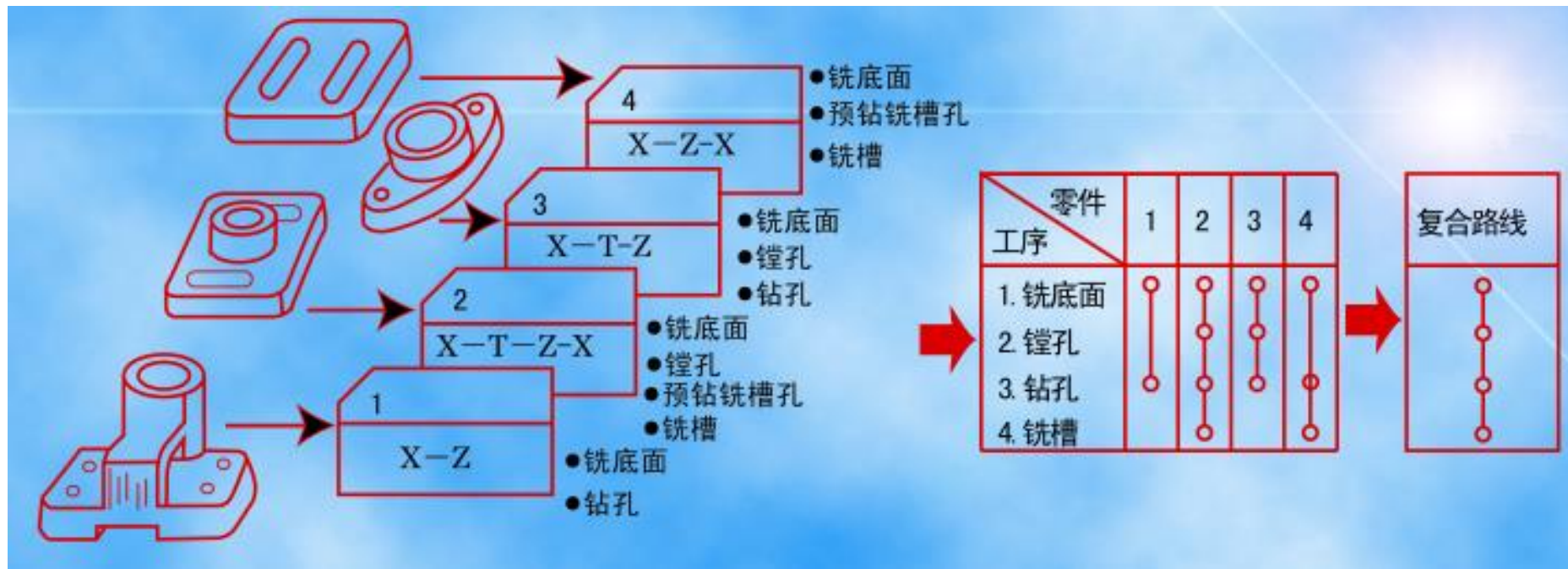
按复合零件法设计成组工艺示例

C1——车一端外圆、端面、倒角； C2——调头，车另一端外圆、端面、倒角；
XJ——铣键槽； X——铣方头各平面； Z——钻径向辅助孔

零件简图	工 步									综合零件
	1 切 端 面	2 车 外 圆	3 车 外 圆	4 钻 孔	5 钻 孔	6 镗 锥 孔	7 车 外 圆	8 倒 角	9 切 断	
	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	 注：表面代号与工步 代号一致
	✓	✓	✓	✓		✓	✓		✓	
	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	
	✓	✓	✓	✓					✓	
	✓	✓	✓	✓					✓	
	✓	✓		✓					✓	

图 4 - 68 套筒类零件成组工艺过程

● 综合路线法



非回转体类零件成组工艺过程示例

第二节 计算机辅助工艺过程设计

CAPP基本概念

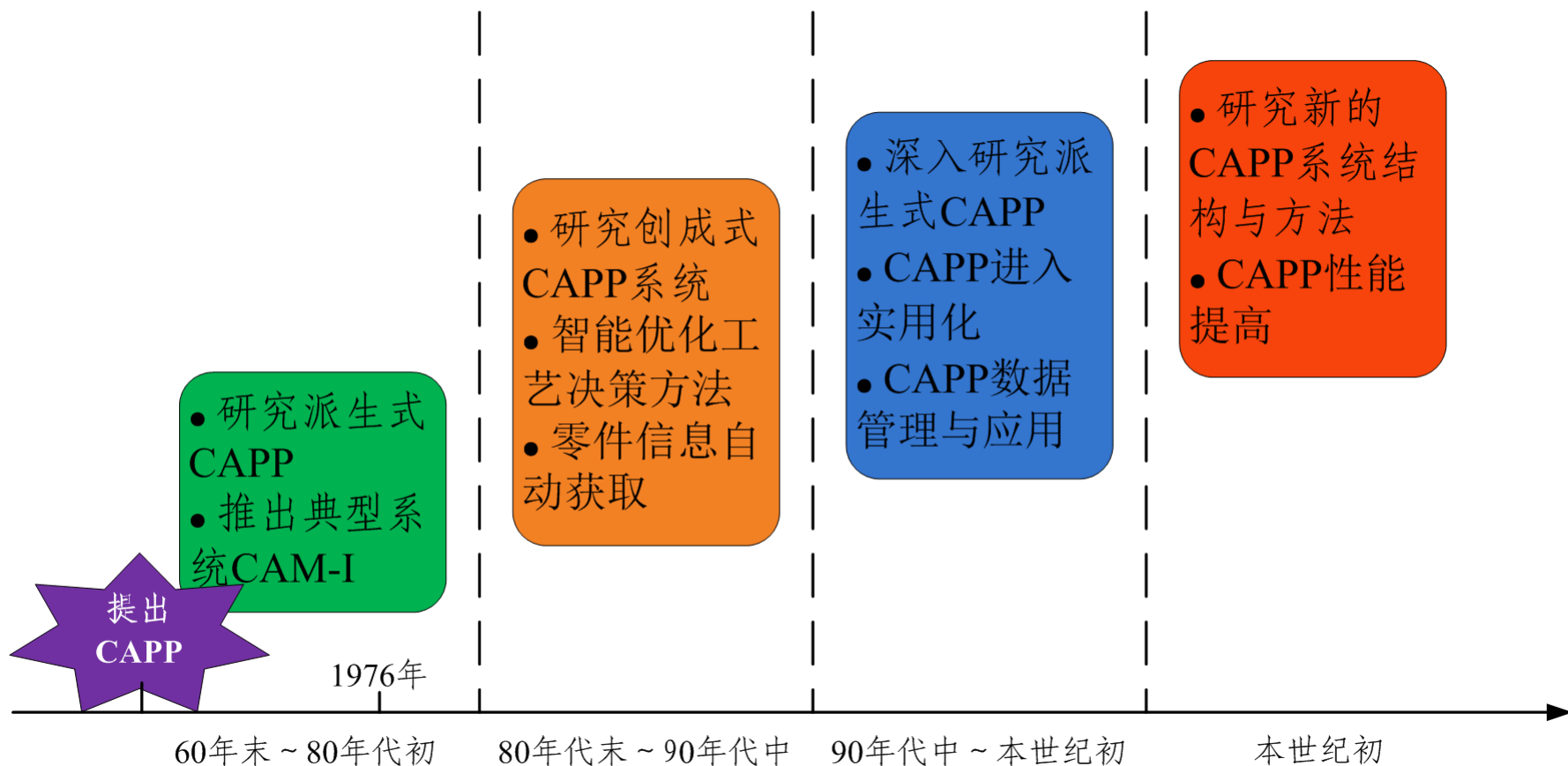
计算机辅助工艺规程设计（CAPP, Computer Aided Process Planning），是通过计算机辅助工艺设计人员，以系统、科学的方法确定零件从毛坯到成品的整个技术过程（即工艺规程）。

CAPP系统的基本功能：

- ✓ 输入设计信息
- ✓ 选择工艺路线、决定工序内容及所使用的机床、刀具、夹具...
- ✓ 决定切削用量
- ✓ 估算工时与成本
- ✓ 输出工艺文件...

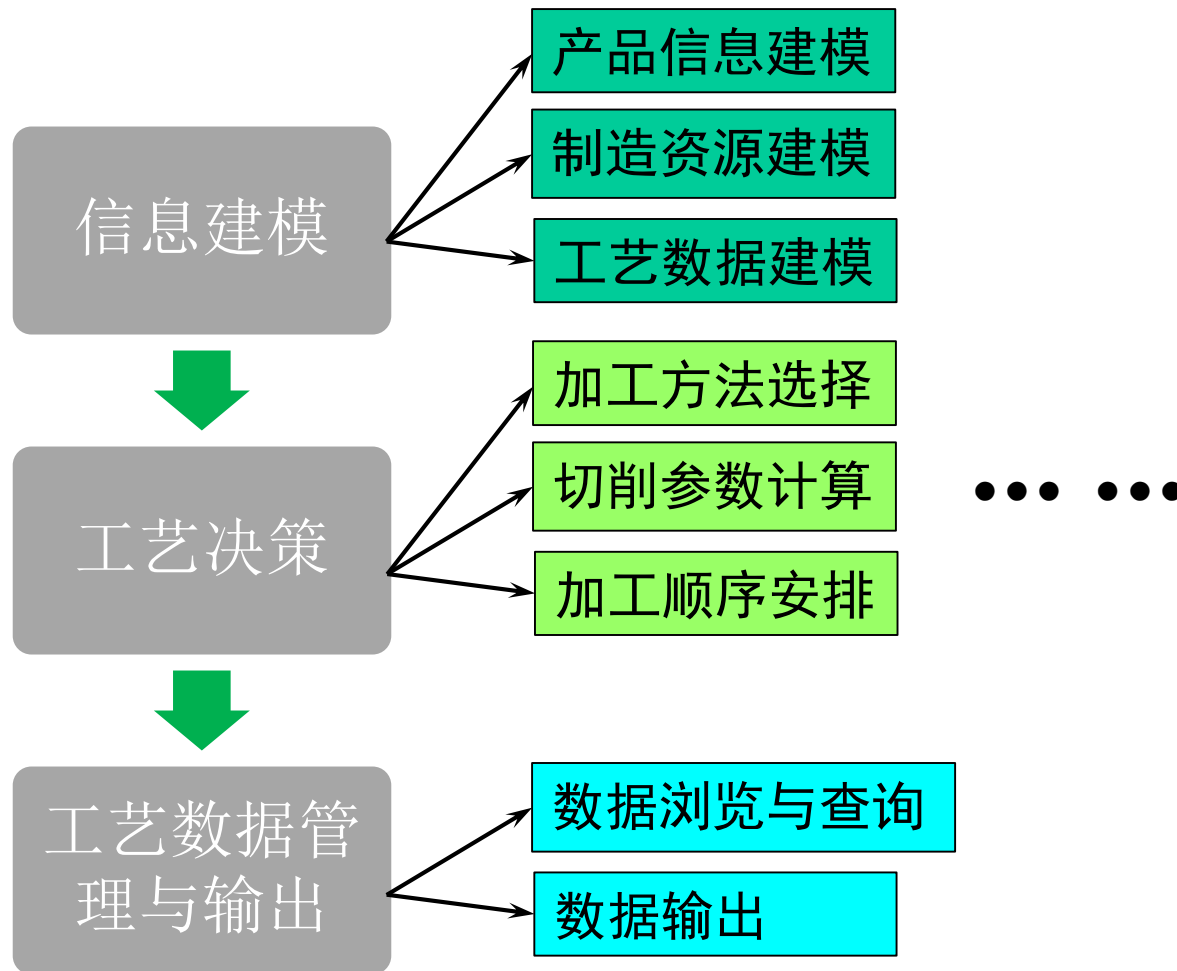
CAPP彻底改变了手工编制工艺文件的方式和对人的依赖，大大提高了编制工效，缩短了生产周期，保证工艺文件的一致性和工艺规程的精确性，避免不必要的差错，为实现工艺过程优化、集成制造创造条件。

CAPP的发展历程



1965年Niebel首次提出CAPP思想

CAPP的主要内容



CAPP应用意义：

- 将工艺设计人员从繁琐和重复性的劳动中解放出来，可以从事新产品及新工艺开发等创造性的工作；
- 节省工艺过程编制时间和编制费用，缩短工艺设计周期，降低生产成本，提高产品在市场上的竞争力；
- 有助于对工艺设计人员的宝贵经验进行集中、总结和集成，提高工艺过程合理化的程度，从而实现计算机优化设计；
- 较少依赖个人经验，有利于实现工艺过程的标准化，提高相似或相同零件工艺过程的一致性；
- 降低对工艺过程编制人员和知识水平和经验水平的要求；
- 减少所需的工装种类，提高企业的适应能力；
- CAPP是CAD与CAM的桥梁，为实现CIMS创造条件。

CAPP的类型

由于零件及制造环境的不同，很难用一种通用的CAPP软件来满足各种不同的制造对象。

CAPP系统按照工艺决策方法主要分为：

- 检索式CAPP系统
- 派生式CAPP系统
- 创成式CAPP系统
- 综合式CAPP系统

将派生式、创成式与人工智能结合综合而成，目的是综合派生式和创成式两者的优势，避免派生式系统的局限性和创成式系统的高难度

二、CAPP的零件信息描述与输入方法

零件信息的描述和输入是CAPP系统的重要组成部分。

零件信息常用的输入方式主要由人机交互输入和从CAD造型系统提供的模型中直接获取两种方法。

零件信息主要包括零件的几何信息和工艺信息，还有生产管理信息。

零件信息的描述方法

- ✓ 零件分类编码描述法
- ✓ 形状特征描述法
- ✓ 直接从CAD系统获得零件信息

Thank you!

进入下一章节

第五章 柴油机装配工艺

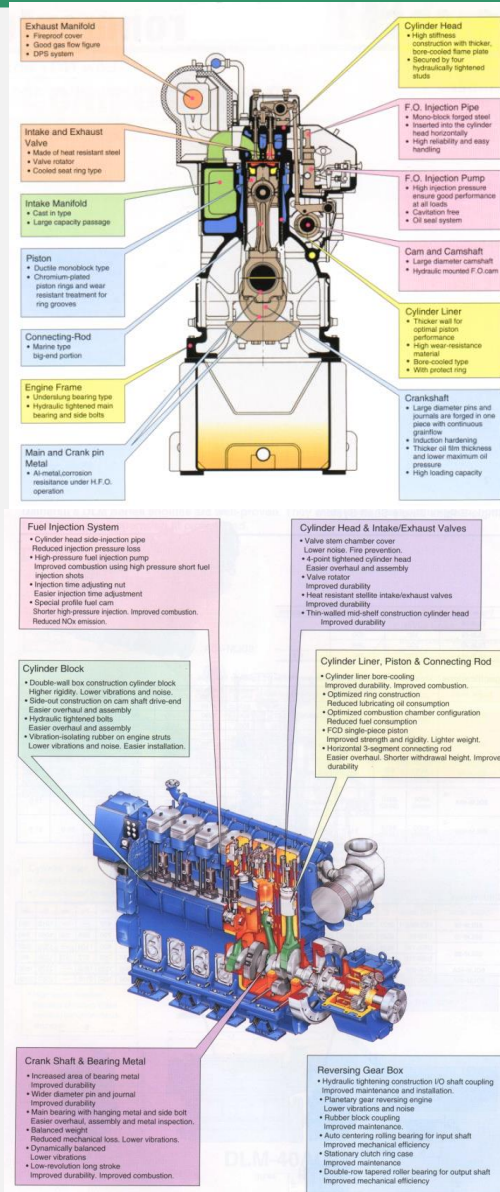
Assemble technology of diesel engine

内容提要:

◆ 装配工艺基础

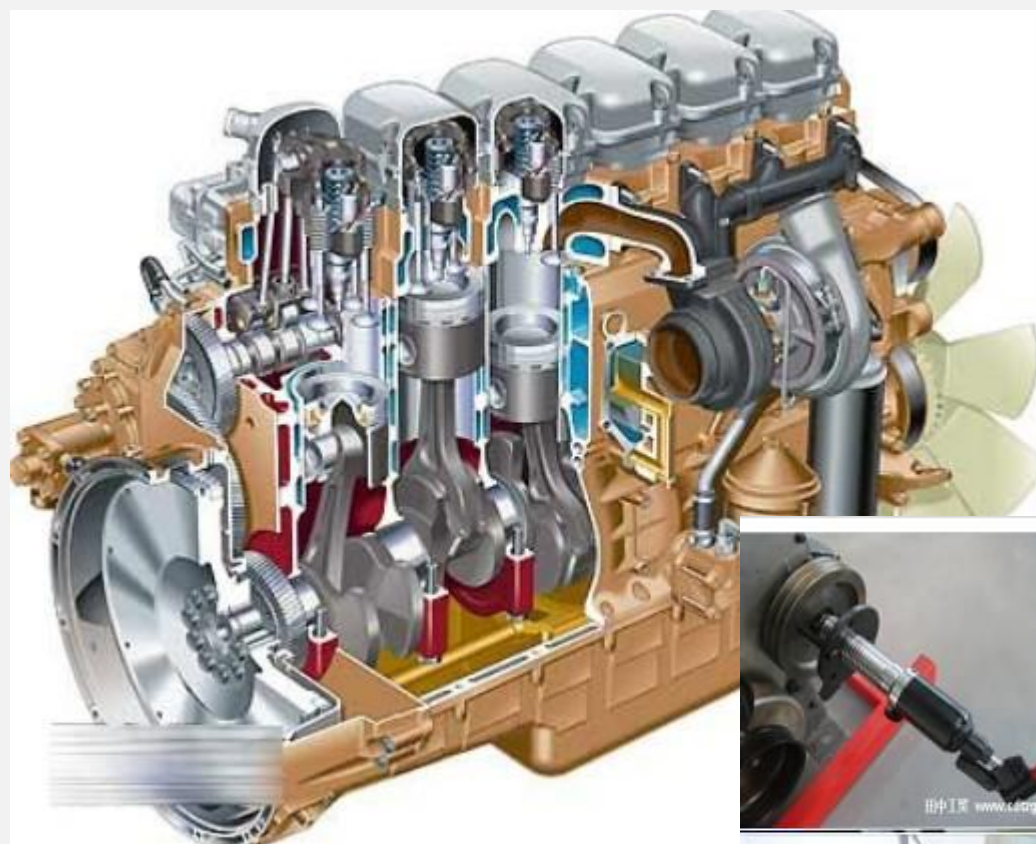
- 影响装配的精度因素有哪些?
- 完全互换装配法
- 不完全（大数）互换法
- 直接选配法、直接选配法
- 分组选配法
- 修配法
- 调整法
- 安装中的尺寸链分析方法

◆ 筒形活塞柴油机装配工艺过程



第五章 柴油机装配工艺

Assemble technology of diesel engine



装配质量对产品质量有着决定性的影响。



第一节 装配工艺基础

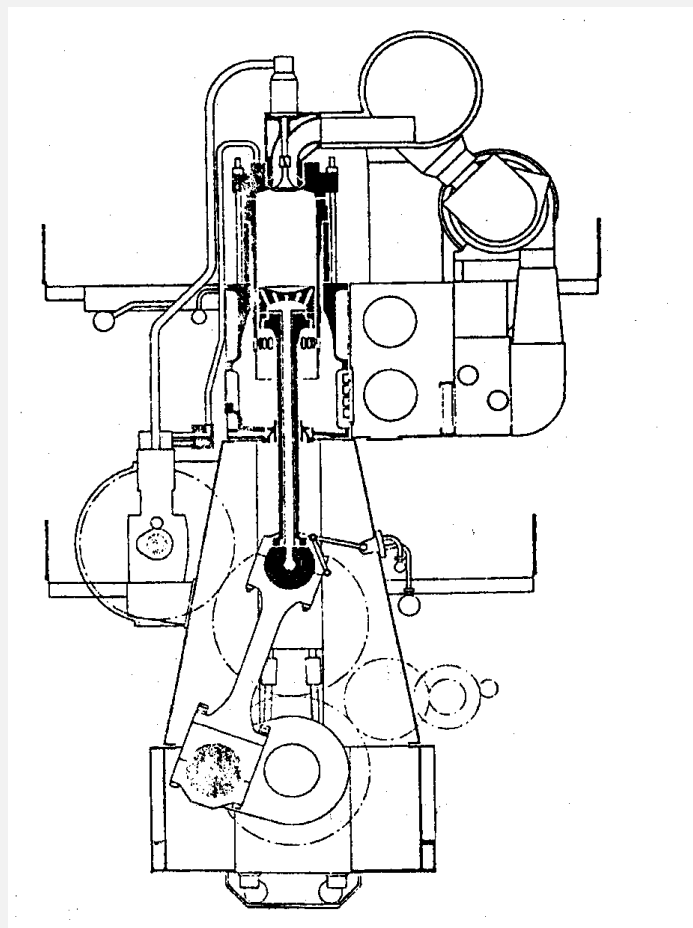
Fundamentals of
assembling process

柴油机的装配：按照规定的技术要求，将零件组合成组件，并进一步结合成部件以至整台机器的过程。

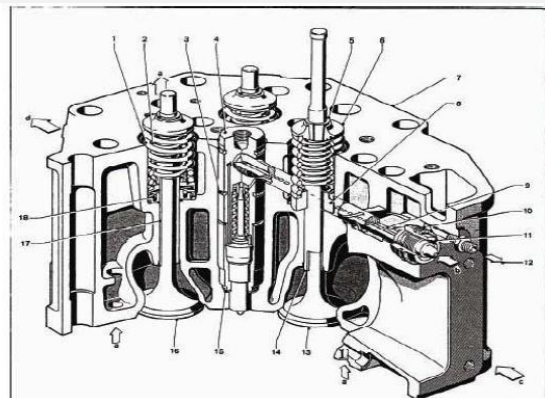
装配包括对产品的调整、检验、
试验、油漆和包装等工作。

➤ 组件(或部件)装配

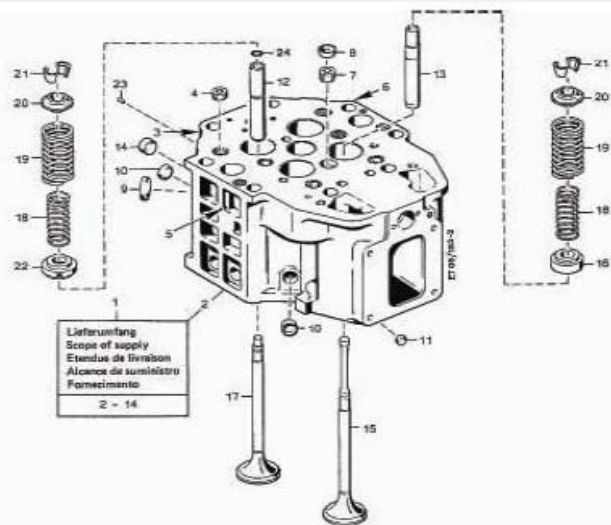
➤ 总装配



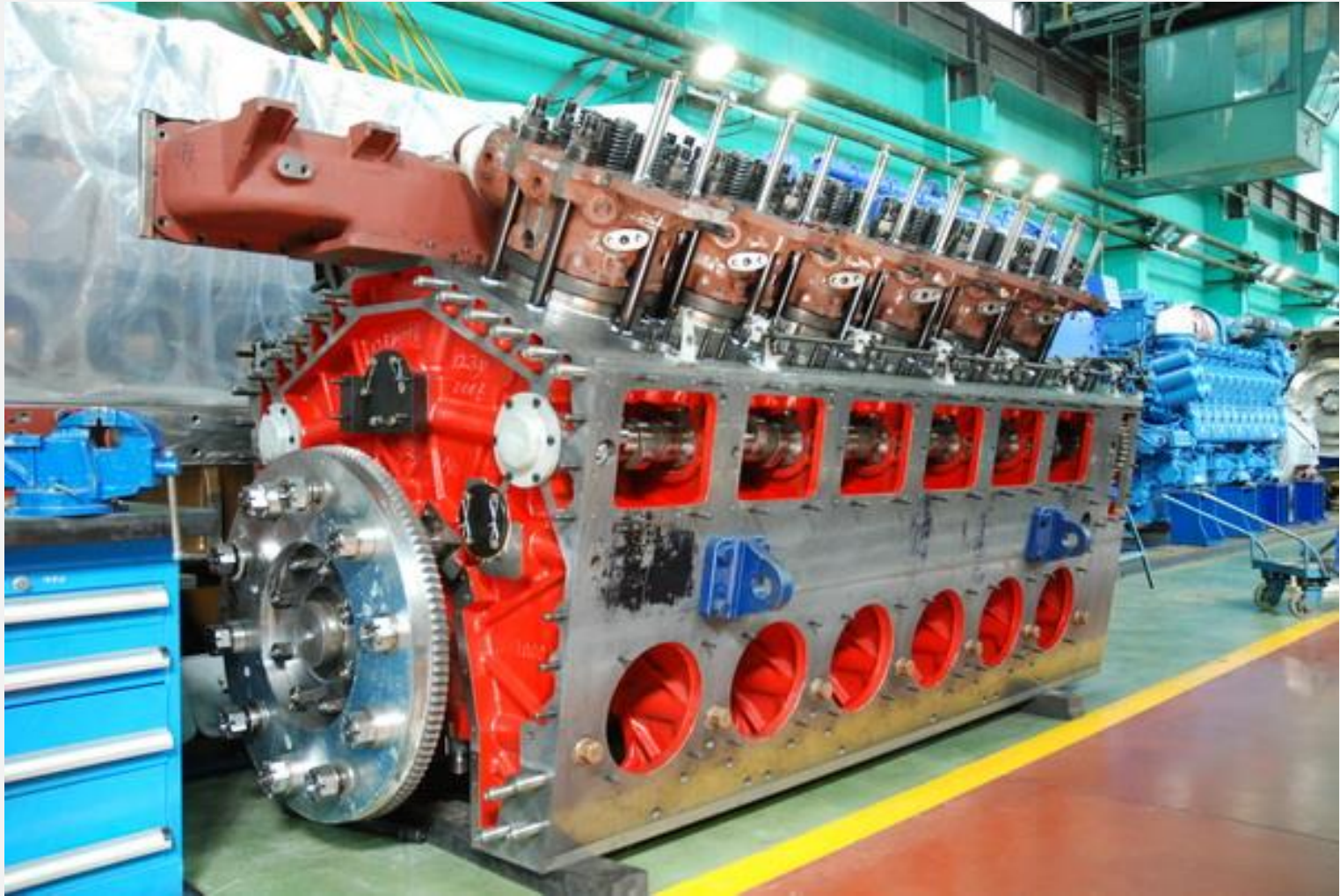
*柴油机组件(或部件)装配实例



1—外弹簧阀；2—内弹簧阀；3—密封环；4—燃油喷射器；5—阀头；6—弹簧上部固定器；7—汽缸头；8—弹簧下部固定器；9—供燃油管；10—密封圈；11—套筒螺母；12—泄漏燃油出口；13—进气阀；14—进气阀引导装置；15—密封环；16—排气阀；17—排气阀引导装置；18—旋转阀；a—冷却水；b—燃油；c—空气；d—排气；



*柴油机总装配实例

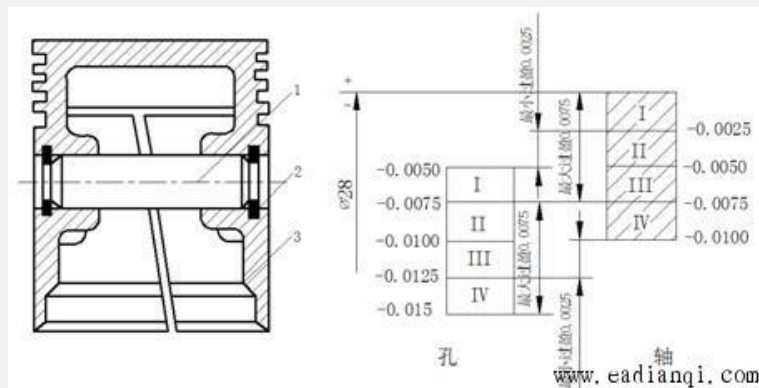


1. 装配精度及装配尺寸链

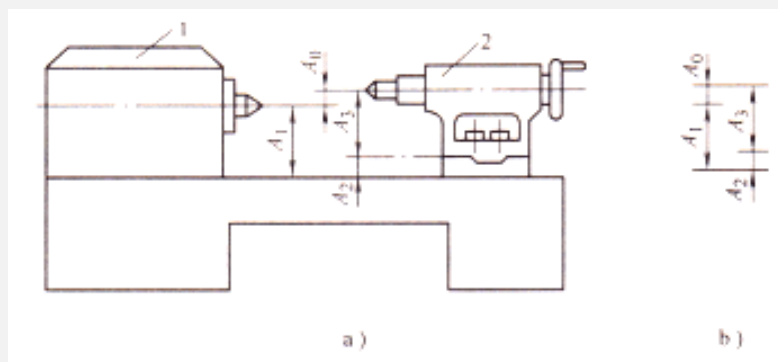
Precision and dimension chain in assembling process

(1) 装配精度的内容

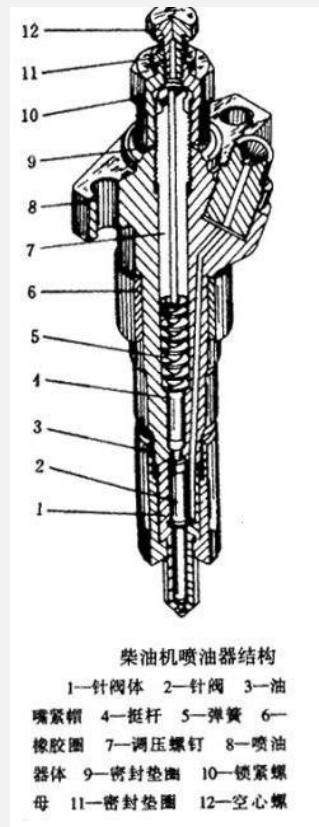
- 1) 尺寸精度:
- 2) 位置精度:
- 3) 运动精度:
- 4) 接触精度。



尺寸精度



位置精度



运动精度
接触精度

(2) 提高装配精度的措施

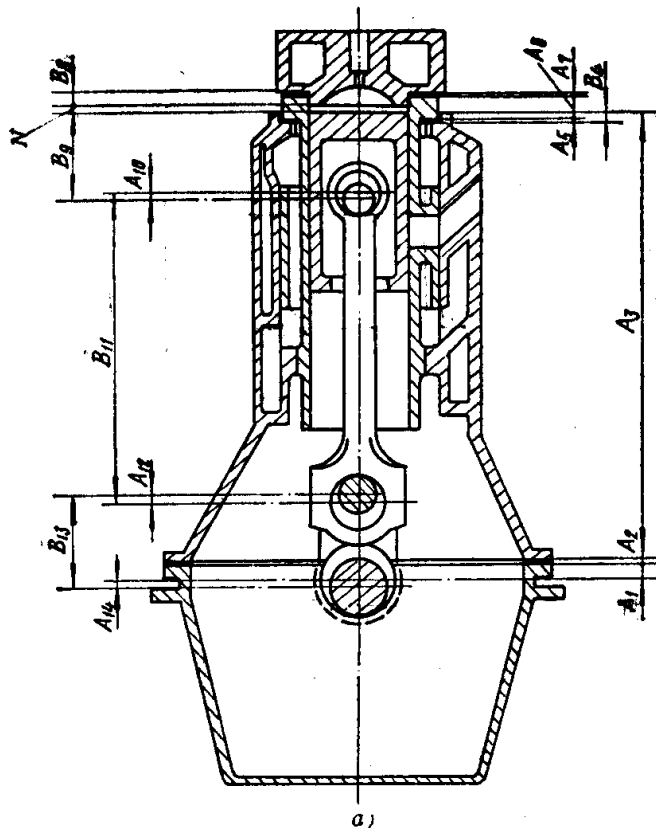
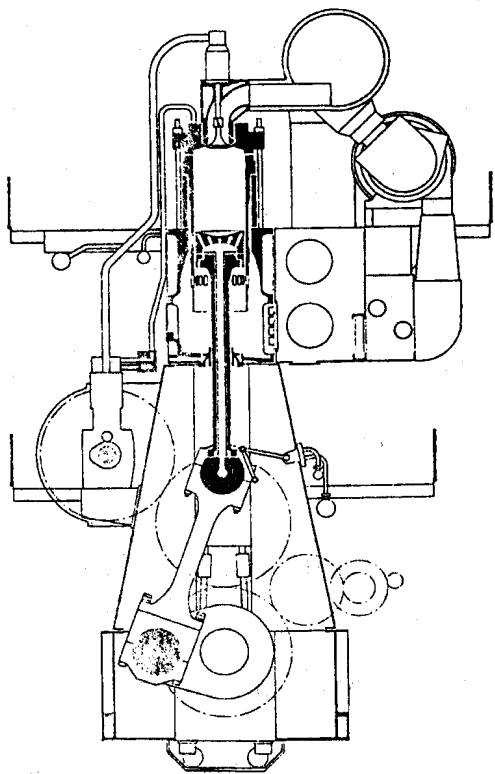
- (1) 改善零件的结构，使配合尽量减少；
- (2) 提高零件的机械加工精度；
- (3) 采用合理的装配方法和装配工艺过程；
- (4) 提高柴油机各部件的装配精度。



问题：装配精度与零件精度有什么联系？

答：高的装配精度，需要高的零件精度，但高的零件精度不一定能装配出高质量的机器，需要一定的装配工艺来保证。

(3) 柴油机压缩室高度装配尺寸链



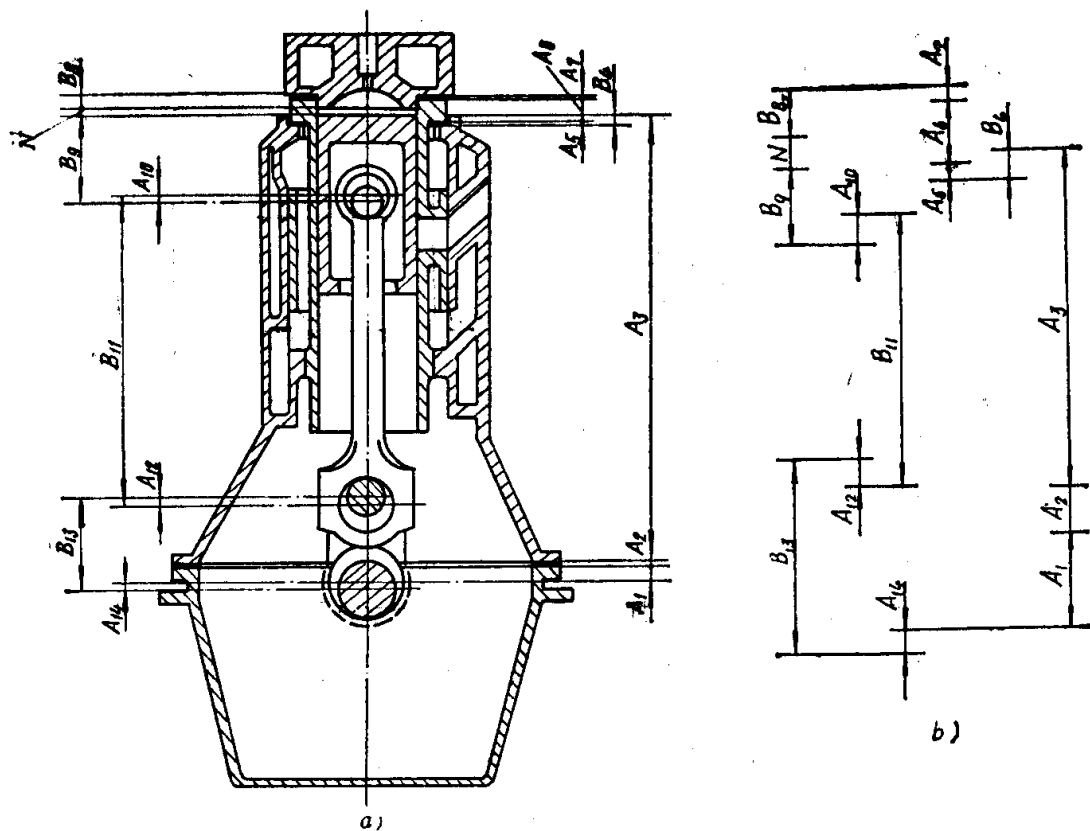
柴油机压缩室高度计算尺寸链图

例1 柴油机压缩室高度装配尺寸链计算。
图 为柴油机各零件所组成的尺寸链关系图。为了保证柴油机的压缩比，压缩室的高度N必须一定。N是在装配后形成的，因此，N为封闭环。从柴油机的装配图中，可以找出由固定件和运动件等为组成环所构成的尺寸链，如图所示。

b)

装配尺寸链
$$N = \sum A_z - \sum A_j$$

$$\delta_N = \delta_{A1} + \delta_{A2} + \cdots + \delta_{A_{n-1}} = \sum \delta_{A_i}$$



柴油机压缩室高度计算尺寸链图

压缩室高度 N 的基本尺寸为：

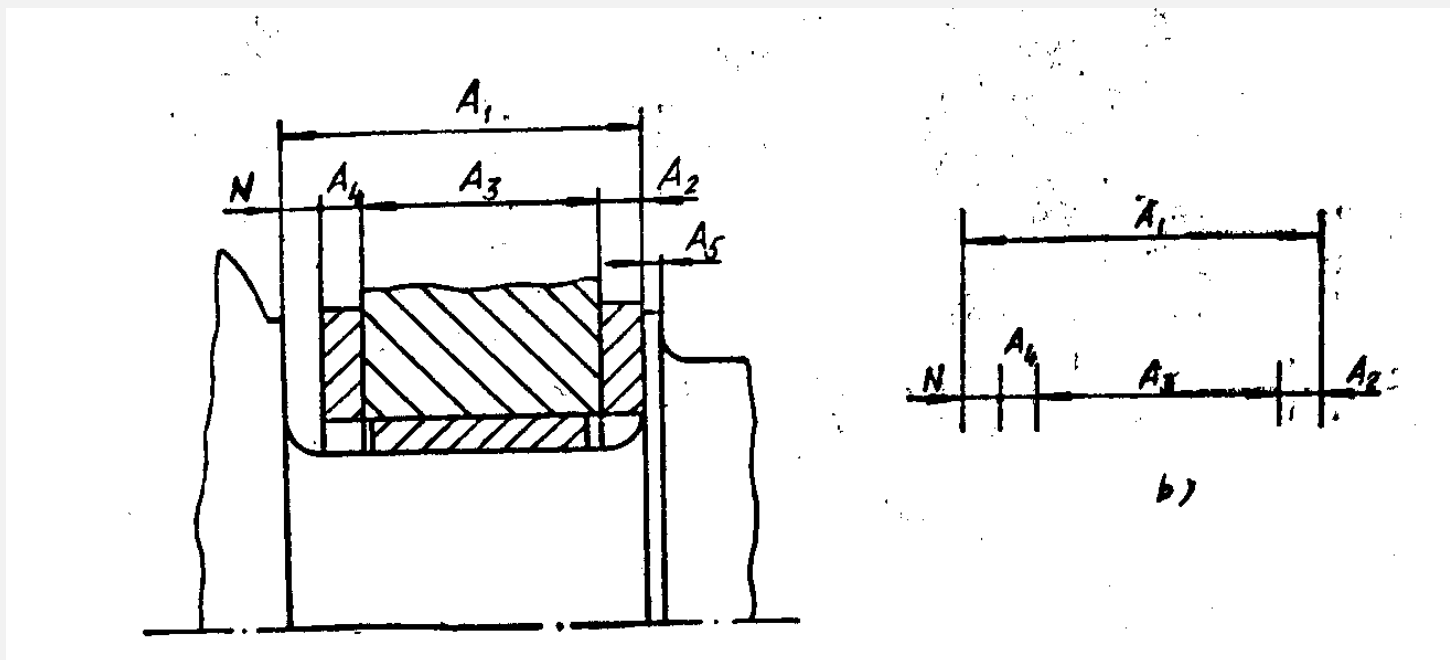
$$N = (A_1 + A_2 + A_3 + \cdots + A_{14}) - (B_4 + B_8 + B_9 + B_{11} + B_{13})$$

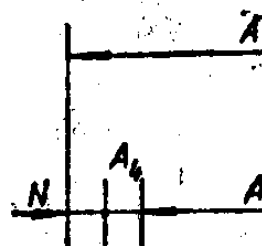
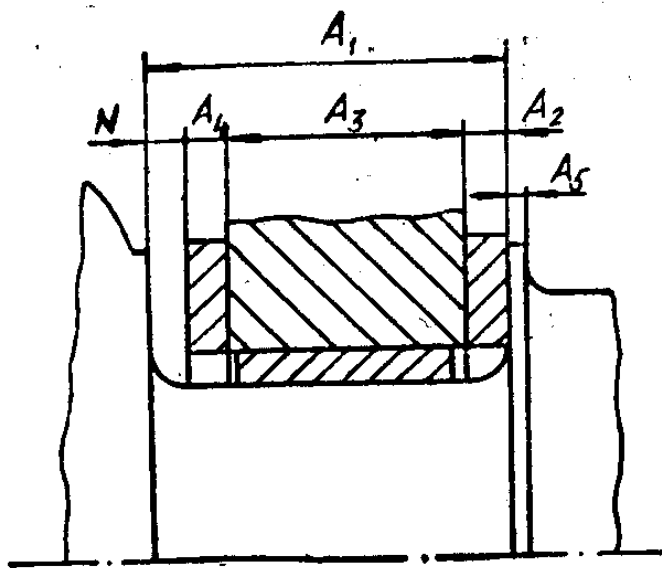
压缩室高度公差等于：

$$\delta_N = \sum \delta_{A_i}$$

(4) 主轴承与止推轴承零件轴向尺寸链

柴油机的曲轴主轴承与止推轴承的配合轴向间隙要求为 $N=0^{+}_{-}\Delta^S_X N$ ，主轴颈轴向长度 A_1 ，主轴承轴向长度 A_3 。计算尺寸链中 A_2 A_4 零件轴向尺寸和公差。





首先根据装配精度要求确定封闭环。再取封闭环两端的任一零件为起点，沿装配精度要求的位置方向，以装配基准面为查找线索，分别找出影响装配精度要求的零件（组成环），直至找到同一基准零件或同一基准表面为止。

(1) 两个止推环的基本尺寸，设

$$A_2 = A_4$$

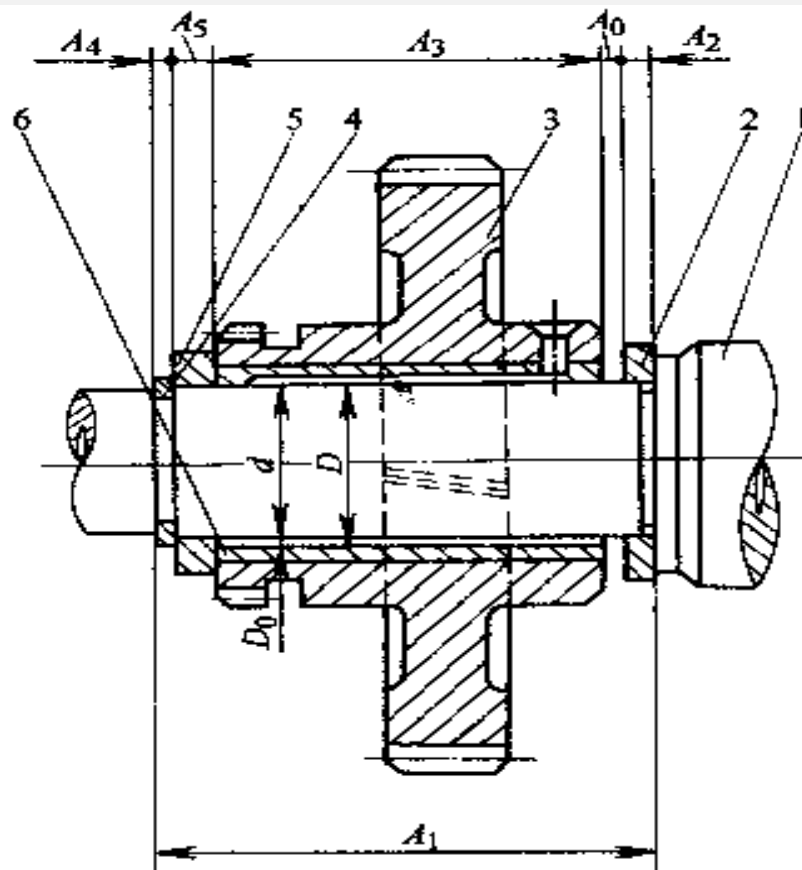
$$A_2 + A_4 = A_1 - A_3 - N = 2A_2 = 2A_4$$

(2) 计算各组成环的平均公差：

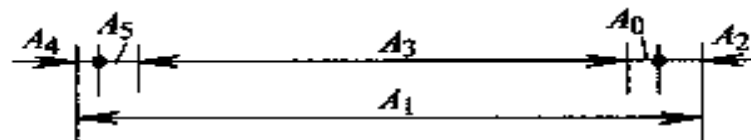
$$\delta_{AiM} = \frac{\delta_N}{n-1}$$

(3) 确定各组成环的上、下偏差：组成环A1按基孔制考虑，A3按基轴制考虑，A2、A4取上下偏差相同考虑。

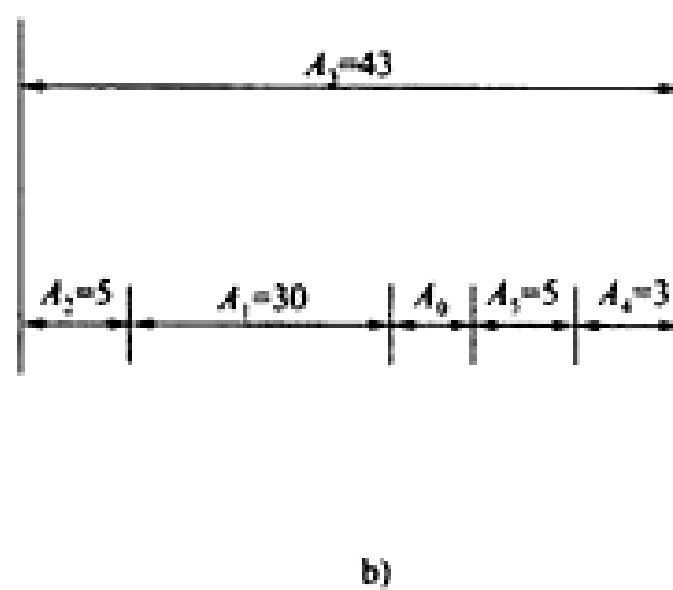
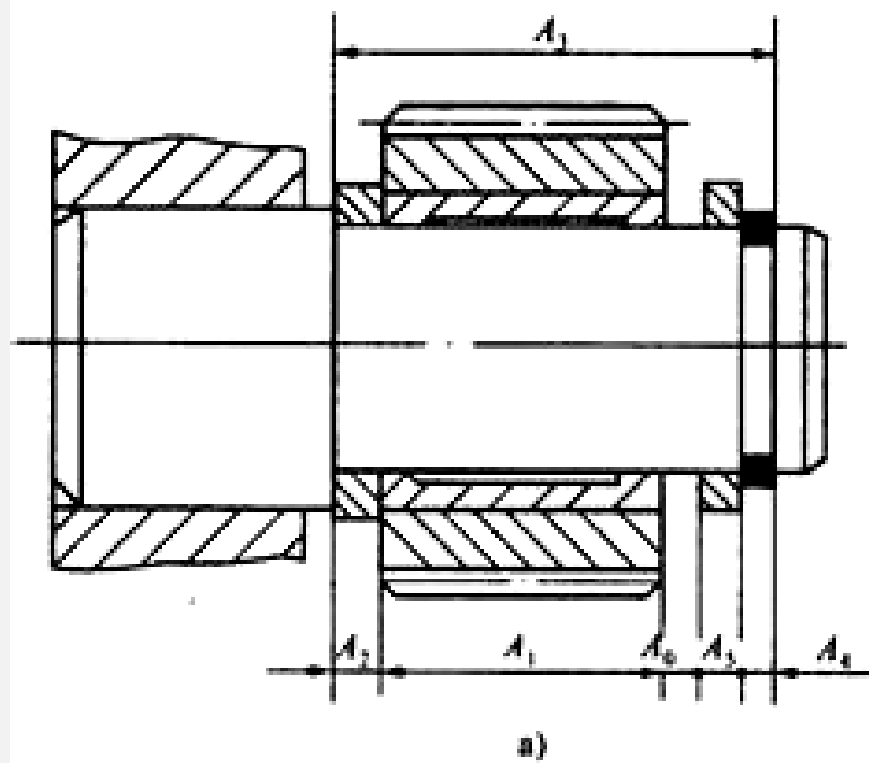
* (5) 其他装配尺寸链举例

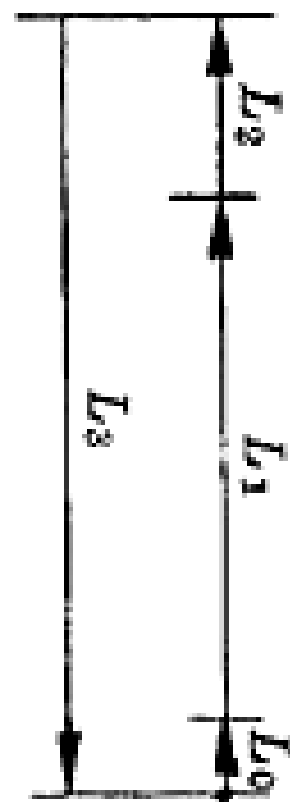
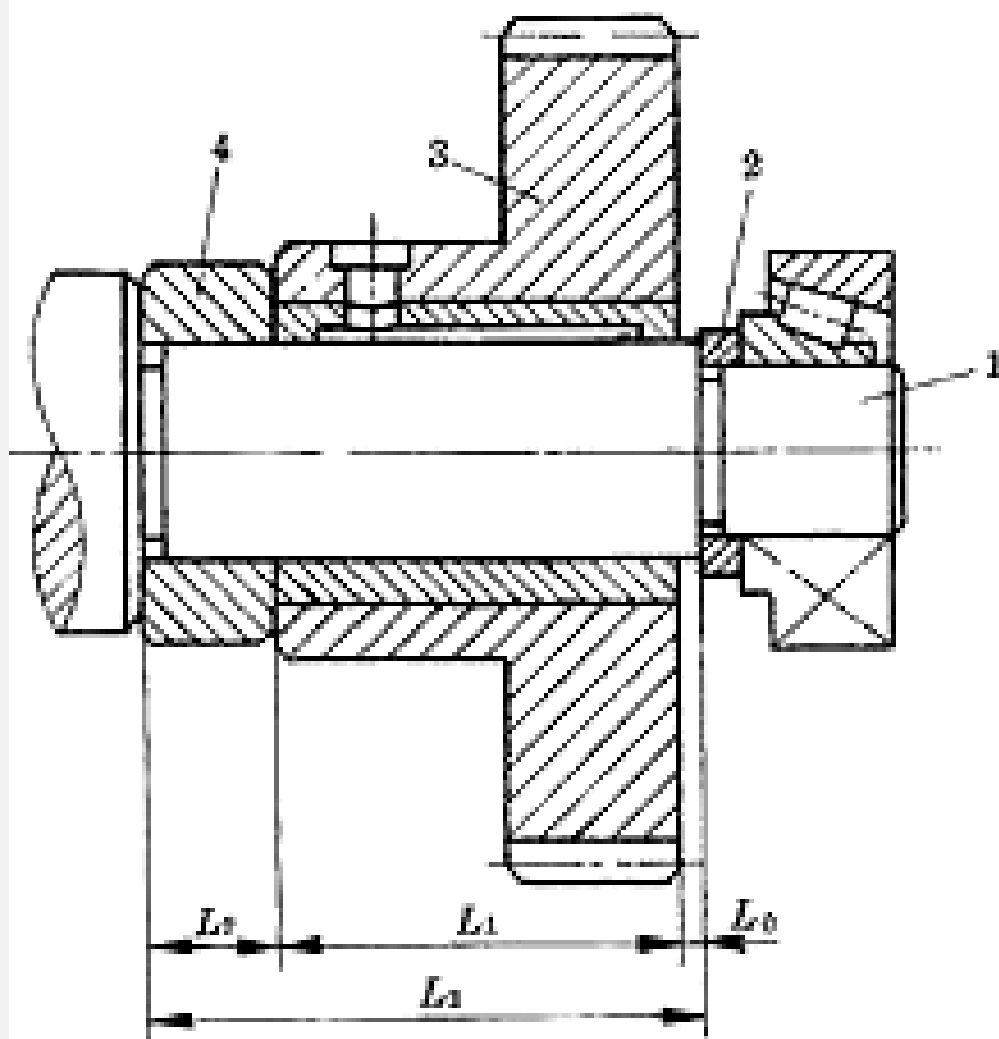


a)



b)





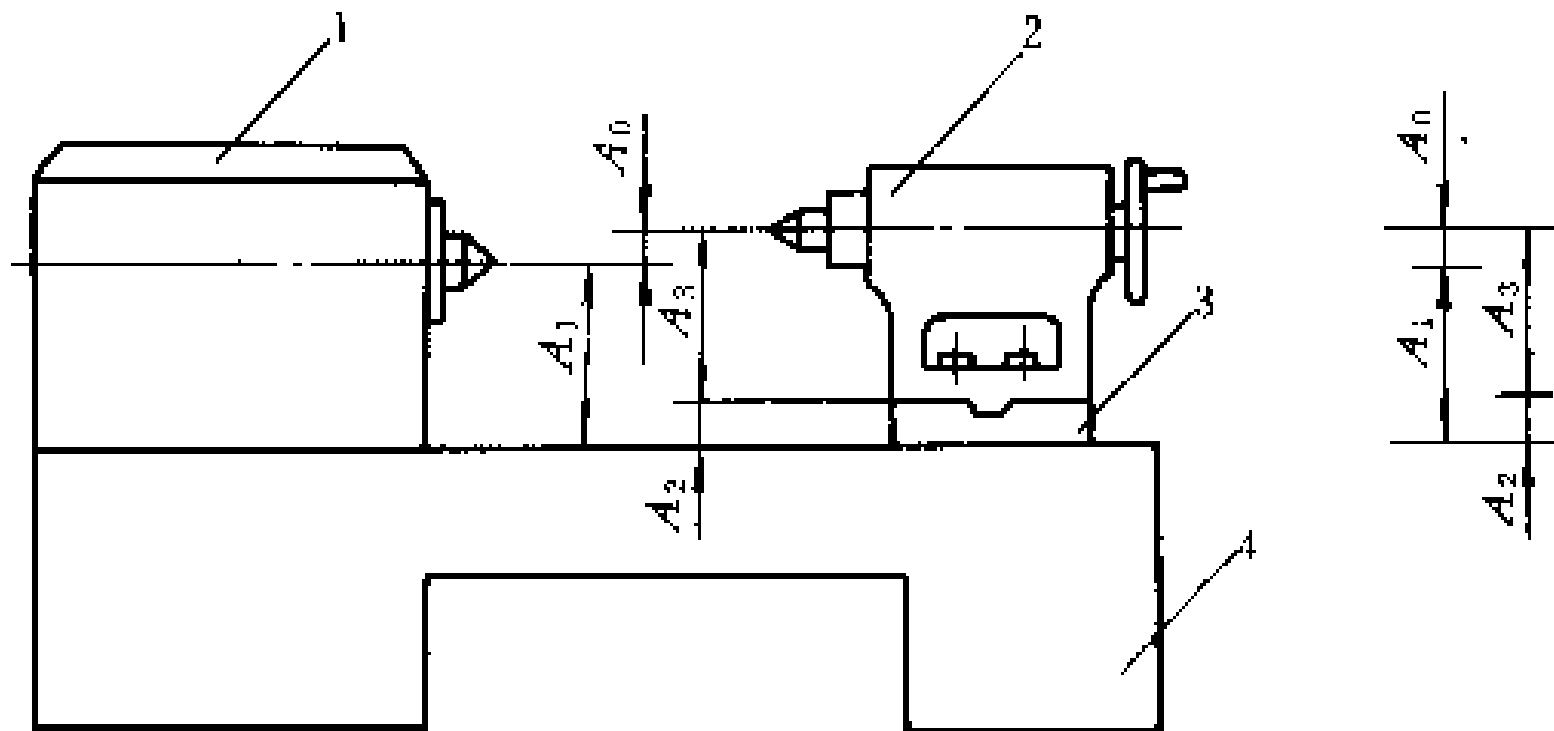


图 卧式车床床头和尾座两顶尖的等高度要求

1) 完全互换装配法

以完全互换为基础来确定机器中各个零件的公差，零件不需作任何挑选、修配或调整，装配成部件或机器后就能保证达到预先规定的装配技术要求。

解尺寸链的基本要求：各组成环的公差之和不大于封闭环的公差：

$$\sum \delta_{Ai} \leq \delta_N$$

优点：①装配过程简单；②易采用流水线装配作业；③工人技术水平要求低；④生产便于专业化；⑤易解决备件供应问题。适用于生产批量较大、装配精度较高而环数较少的情况。

缺点：对零件精度要求较高（针对这种情况，可以采用其它的装配方法如不完全互换装配法。）。

*完全互换装配法应用实例

“今天下车同轨，书同文，行同伦。”

《礼记·中庸》第二十八章



2) 不完全互换法（部分互换装配法）

考虑组成环的尺寸分布情况，大部分零件不需要经过挑选、修配或调整就能达到规定的装配技术要求。但有很少一部分零件要加以挑选、修配或调整才能够达到规定的装配技术要求。

解尺寸链的基本要求：各有关零件公差平方之和应小于或等于装配公差的平方：

$$T(A_0) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} T^2(A_i)}$$

优点：扩大了组成环的制造公差，零件制造成本低，装配过程简单，生产效率高。在大批量生产中，装配精度要求高和尺寸链环数较多的情况下使用。

缺点：有少数产品达不到规定的装配精度要求，要采取另外的返修措施。

3) 选择装配法

将尺寸链中组成环的公差放大到经济可行的程度，然后从中选择合适的零件进行装配，以达到规定的技术要求。

采用这种方法装配时，可在不增加零件机械加工的困难和费用的情况下，使装配精度提高。

(1) 直接选配法： 所谓直接选配法就是任意选择零件安装，直到满足技术要求为止。（例如，活塞环装配。）

优点：简单，不需要将零件分组；

缺点：挑选零件时间长，劳动量大，废品率高

*直接选配法应用实例

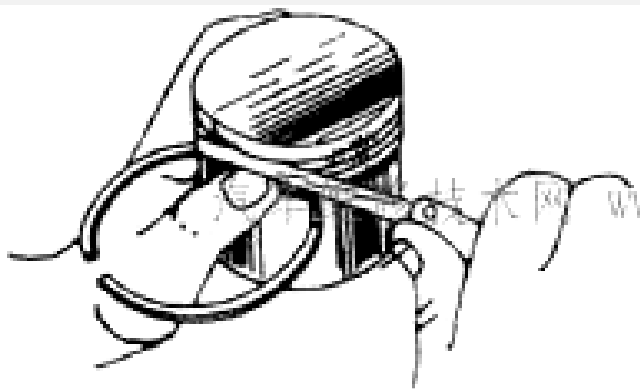


图 1-87 检查活塞环侧隙

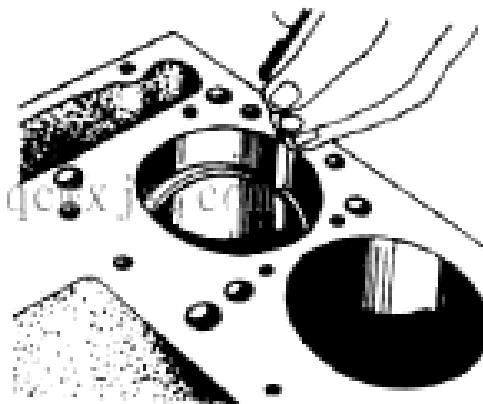


图 1-88 检查活塞环开口间隙



(2) 分组选配法：

将组成环公差增大（2~4 倍）可按经济精度加工，将零件按实际尺寸分组，各对应组中零件进行装配，同组零件具有互换，并保证全部装配对象达到规定的装配精度。（例如，活塞销和活塞销孔、燃油系统的柱塞副、针阀副等的装配中应用。）

主要用于解决装配精度要求高、环数少的尺寸链部件装配问题。分组数越多，则装配精度就越高。

优点：不减小零件的制造公差而显著提高装配精度。

缺点：增加了零件测量、分组、存储、运输的工作量。

应用分组装配

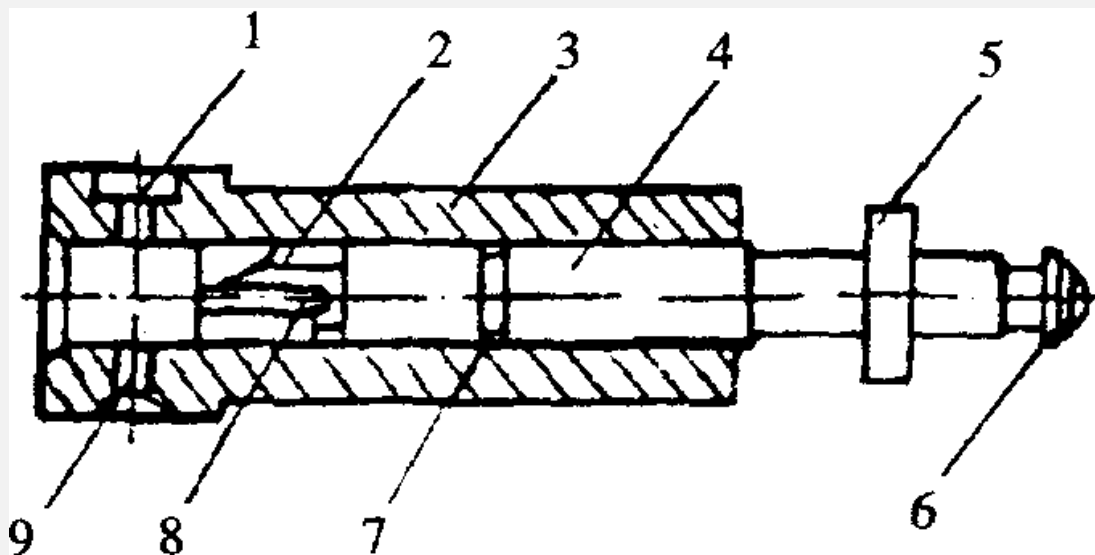
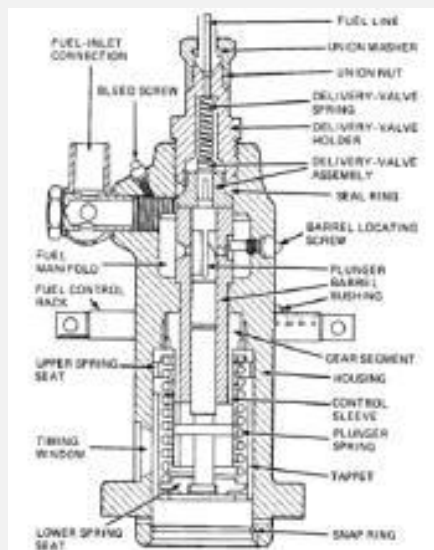
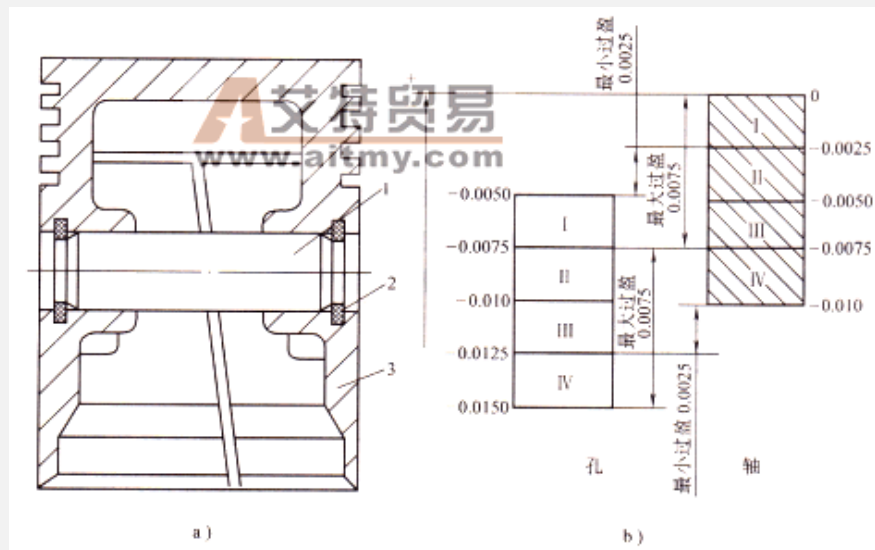
1) 配合件公差同方向增大；组数。

2) 要保证分：和配合性质符定的形位公差随公差增大而

3) 为保证对应套，相配件的配套的零件累门加工一批零

4) 分组数不宜用于封闭环精寸链，一般相

*分组选配法应用实例



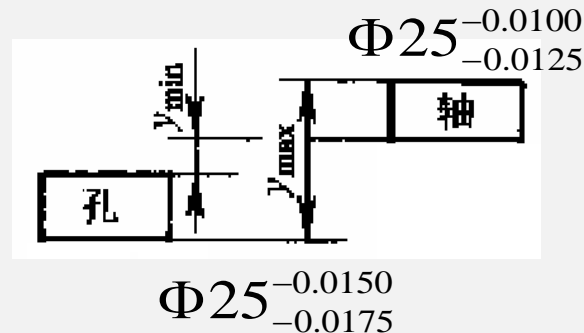
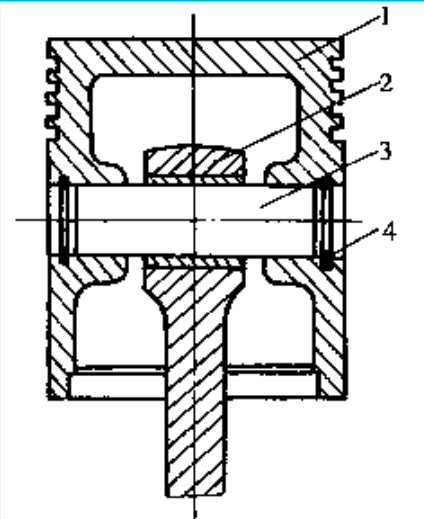
(3) 复合选配法

将上述两种方法的综合，即将零件预先测量分组，装配时再在各对应组内凭工人经验直接选配。

特点：配合件公差可以不等，装配质量高，且装配速度较快，能满足一定的生产节拍要求。



活塞、活塞销和连杆分组装配实例



活塞、活塞销和连杆组装简图

1—活塞 2—连杆 3—活塞销 4—挡圈

现以汽车发动、活塞销和连为例，对分组进行分析。如为发动机活塞销和连杆的组，其中活塞销销孔为过盈配塞销与连杆小间隙配合。

根据装配技术要求，活塞销孔直径 D 与活塞销直径 d 在冷态装配时，应有 $0.0025 \sim 0.0075\text{mm}$ 的过盈量，即

$$Y_{\min} = D_{\max} - d_{\min} = -0.0025\text{mm}$$

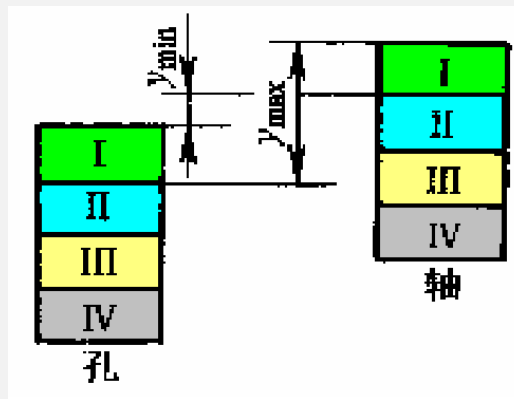
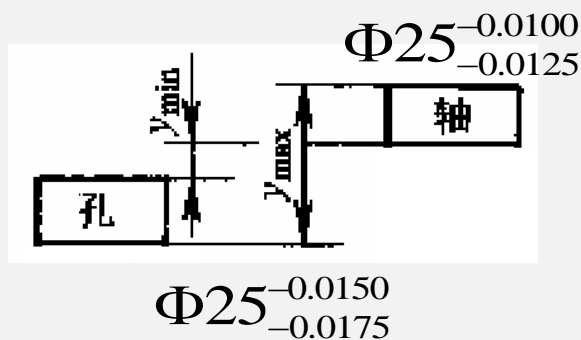
$$Y_{\max} = D_{\min} - d_{\max} = -0.0075\text{mm}$$

从公差与配合的知识可知

$$Y_{\min} - Y_{\max} = T_0 = T_h + T_s = 0.005\text{mm}$$

可采用高效率的无心磨和金刚镗分别加工活塞销外圆和活塞销孔，然后用精密量仪进行测量。

若采用完全互换法装配：销与销孔的平均极值公差0.0025mm，显然加工是十分困难的。



分组示意图

若采用分组选配法装配：现将它们的公差都按同方向放大四倍，只要用对应组的零件进行互配，其装配精度完全符合设计要求。

$$d = \Phi 25_{-0.0125}^{-0.0025} mm$$

$$D = \Phi 25_{-0.0175}^{-0.0075} mm$$

4) 修配法

各组成环均按经济精度制造，而对其中某一环（称补偿环或修配环）预留一定的修配量，在装配时用钳工或机械加工的方法将修配量去除，使装配对象达到设计所要求的装配精度。

修配法主要用于单件小批量生产中，产品结构比较复杂、装配精度要求高且环数较多时可以采用修配法。

优点：可以扩大组成环的制造公差，并得到高的装配精度（特别对于装配技术要求很高的多环尺寸链，效果更为显著）。

缺点：降低了零件的互换性，增加修配工作量,对装配工人技术要求高。

修配环尺寸的确定

(1) 修配环被修配时，尺寸“越修越小”。此时封闭环实际最小极限尺寸 $A'_{0\min}$ 不能小于封闭环所允许的最小尺寸 $A_{0\min}$ 。

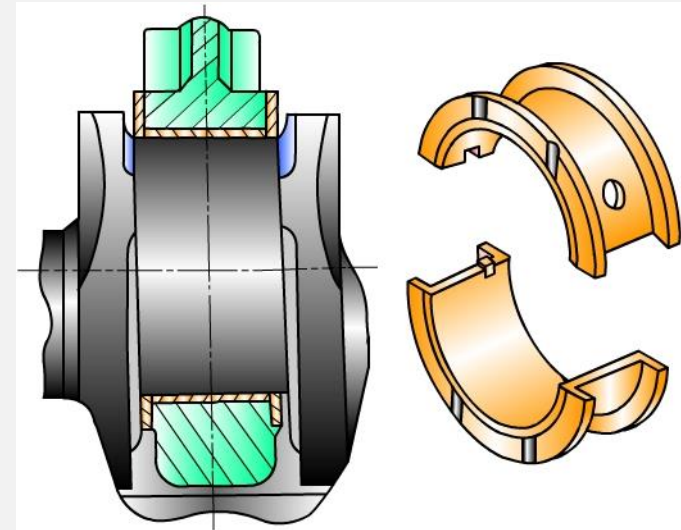
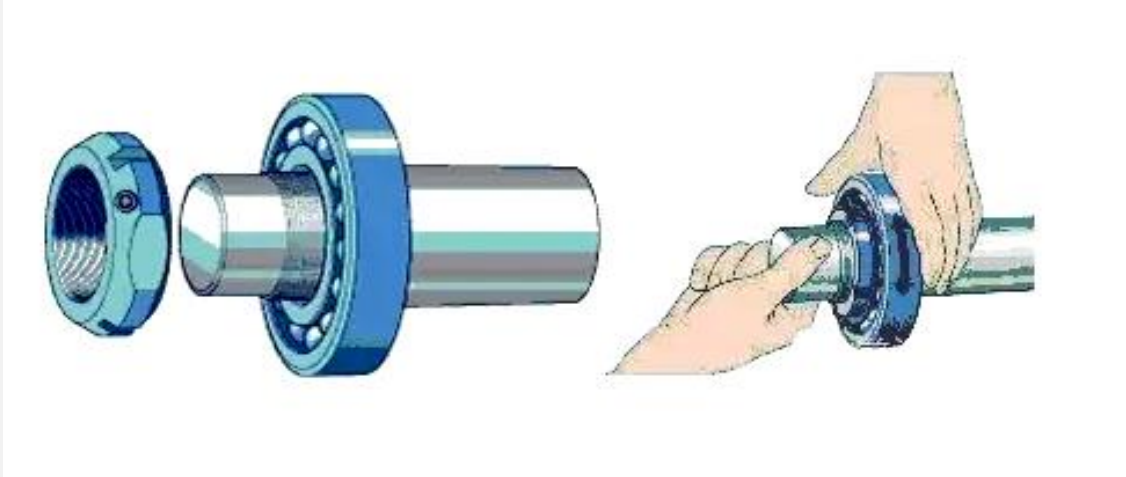
(2) 修配环被修配时，封闭环尺寸“越修越大”。此时封闭环实际最大极限尺寸 $A'_{0\max}$ 不能大于封闭环所允许的最大尺寸 $A_{0\max}$ 。

(3) 最小修配量即为刮研量。在修配环的基本尺寸中要加上刮研量。刮研量既要足够，又不能太大。

修配方法

- (1) 单件修配法
- (2) 合并加工修配法
- (3) 自身加工修配法

*修配法应用实例



5) 调整法

组成环按经济精度加工，采用调整的方法改变某个组成环（称补偿环或调整环）的实际尺寸或位置，使封闭环达到其公差和极限偏差的要求。

常用的补偿件有：螺钉、垫片、套筒、楔块以及弹簧等。
例如：柴油机的配气机构中调整进气门和摇臂之间的装配间隙等。

适用于封闭环精度要求高的尺寸链，或者在使用中零件因温升及磨损等原因，其尺寸有变化的尺寸链。

优点：可以扩大组成环的制造公差，并得到高的装配精度，且不用钳工修配。

缺点：增加了尺寸链的零件数（补偿件），即增加了机器的组成件数。

*调整法分类

可动调整法

选定某个零件为调整环，根据封闭环的精度要求，采用改变调整环的位置，即移动、旋转或移动旋转同时进行，以达到装配精度的方法。

固定调整法

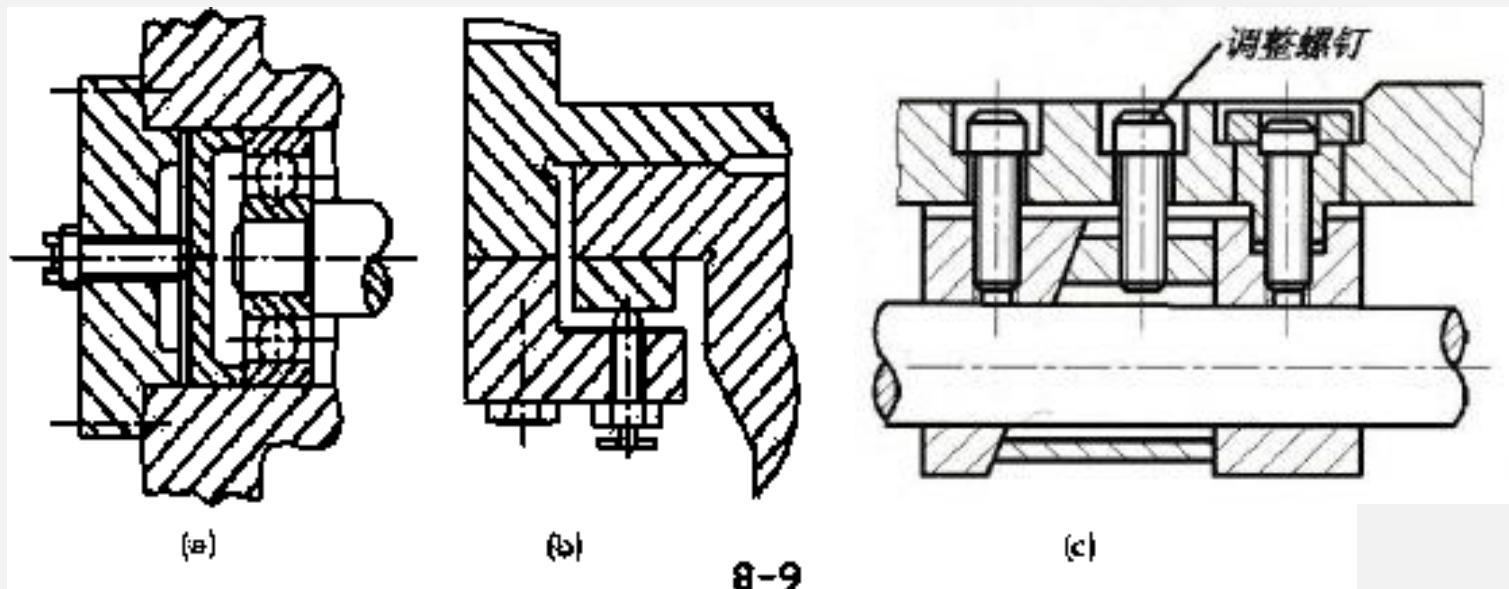
选择一个组成环作调整环，作为调整环的零件是按一定尺寸间隔制成的一组零件，装配时根据封闭环超差的大小，从中选出某一尺寸等级适当的零件来进行补偿，从而保证规定的装配精度。通常使用的调整环有垫圈、垫片、轴套等。

误差抵消调整法

在总装或部装时，通过对尺寸链中某些组成环误差的大小和方向的合理配置，达到使加工误差相互抵消或使加工误差对装配精度的影响减小的目的。

- (1) **可动调整法**和**误差抵消调整法**应用于小批生产；
- (2) **固定调整法**应用于大批量生产的场合。

*调整法应用实例



各种装配方法的适用范围和应用实例

装配方法	适 用 范 围	应 用 举 例
完全互换法	适用于零件数较少、批量很大、零件可用经济精度加工时	汽车、拖拉机、中小型柴油机、缝纫机及小型电机的部分部件
不完全互换法	适用于零件数稍多、批量大、零件加工精度可适当放宽时	机床、仪器仪表中的某些部件
分组法	适用于成批或大量生产中，装配精度很高，零件数很少，又不采用调整装配时	中小型柴油机的活塞与缸套、活塞与活塞销、滚动轴承的内外圈与滚子
修配法	单件小批生产中，装配精度要求高且零件数较多的场合	车床尾座垫板、滚齿机分度蜗轮与工作台装配后精加工齿形
调整法	除必须采用分组法选配的精度配件外，调整法可用于各种装配场合	机床导轨的楔形镶条、滚动轴承调整间隙的间隔套垫圈

3. 装配组织形式及工艺规程

The organization and process planning of assembly

1) 装配的组织形式



集中装配：单件小批、
重型机器；



分散装配：部装+部装
+...+部装=总装适用
大批生产。

柴油机制造装配的组织形式：

(1) 固定式装配 (Fixed position)

全部工序都集中在固定工作地点上进行的。在大功率柴油机成批生产中已广泛采用。

①在按集中原则进行的固定式装配中，全部装配都由一组工人在一个工作地点上完成。

②在按分散原则进行的固定式装配中，把装配过程分为部件装配和总装配，各个部件分别由几组工人同时进行装配，而总装配则由另一组工人完成。

③固定装配台的装配流水线（固定式流水线），这是一种产品固定在一个装配位置而工人流动的装配形式。

*固定式装配应用实例



(2) 移动式装配

指所装配的产品不断从一个工作地点移到另一个工作地点。在每个工作地点上重复地进行着某一固定的工序，每个工作地点一般配备专用的设备和工装夹具。这种装配方式称为流水线式装配。

移动式装配只适用于大批大量生产。在小型柴油机大量生产中被广泛采用。

①自由移动式装配

②强制移动式装配

*自由式移动装配



自由移动式装配：产品是用手工推动或用传送带和起重机来移动的，产品每移动一个位置，即完成某一工序的装配工作。

*强制式移动装配



强制移动式装配：产品是由传送带或小车强制地移动，产品的装配直接在传送带或小车上进行，它是装配流水线的一种主要形式。分为连续和间歇移动(适用于大批大量生产)。

2) 装配工艺规程

装配工艺规程是在工厂一定生产条件下用以组织和指导生产的一种工艺文件。

装配工艺规程的内容

- 装配顺序和方法、
- 组织形式、
- 装配工序、
- 设备和夹具、
- 检验方法和工具、
- 工人要求和工时定额。

常林股份有限公司		装配工序卡片		产品型号	ZLM50E-5	零件图号		-2392-
产品名称		装载机		零件名称	第一、二工位	共 页 第 页		
工序号	工序名称	工时定额 (min)	车间	工段	设备	工序工时		
10	下铁钩处校接, 拧紧全部螺栓							
工步内容		工步内容	工步内容	工步内容	工步内容			
下铁钩处校接, 拧紧全部螺栓		螺栓专用清洗剂或工业汽油	工业汽油	扳手262H	扳手262H			
		拧紧力矩	80~300Nm	280~760Nm				
螺栓② 在试验测试后取下, 运至漆手率262H前								
清洗干净(包括内螺纹), 吹干后运至漆手率262H								
装 配 零 件		辅 助 材 料						
序号	图 号	名 称	数 量	序号	代 号	名 称	数 量	
1	Z50E.120-1	下铁钩轴	1	①	0-107900-00001	轴杆M10x1	1	
2	Z50E.120-3	螺母	1	②	0-025700-00002	螺栓M12x55-10.9H	8	
3	Z50E.120-7	螺母	1	③	0-020900-00003	垫圈 12	8	
4	Z50E.120-2	板	1	④	0-020900-00004	轴 8x9H	1	
5	Z50E.120-4	调整垫片	4					
6	Z50E.120-5	调整垫片	2					
7	Z50E.120-6	调整垫片	4					

1. 下铁钩轴压入, 外圈涂上润滑油脂(为T滑油以防腐烂)
2. 件3螺母拧紧力矩590~690Nm, 目标640Nm
3. 螺栓M12x55拧紧力矩110~130Nm, 目标120Nm
4. 垫板4侧角前锁上

测定间隙要领
按图三零件处测间隙
确认此测口处无磨b处牙大D.2m

*装配工艺规程说明

定义：用文件的形式将装配内容、顺序、操作方法和检验项目等规定下来，作为指导装配工作和组织装配生产的依据。

装配工艺规程是指导装配生产的技术文件，是制定装配生产计划、组织装配生产以及设计装配工艺装备的主要依据。

制定装配工艺规程的任务：

- 根据产品图样、技术要求、验收标准和生产纲领、现有生产条件等原始资料，确定装配组织形式；
- 划分装配单元和装配工序；
- 拟定装配方法；
- 包括计算时间定额，
- 规定工序装配技术要求及质量检查方法和工具，
- 确定装配过程中装配件的输送方法及所需设备和工具，
- 提出专用夹具的设计任务书，
- 编制装配工艺规程文件等。

装配工艺规程设计步骤

- (1) 收集装配工艺规程的依据和原始资料。
- (2) 分析研究装配图的技术要求。
- (3) 确定装配的组织形式。
- (4) 确定装配顺序。
- (5) 划分工序和确定工序内容。
- (6) 选择设备和工夹具。
- (7) 确定装配质量的检验方法及检验工具。
- (8) 确定工人等级及工时定额。
- (9) 确定起重运输方法。
- (10) 编写装配工艺文件。
- (11) 确定产品的试验方法并拟定试验大纲。

拟定装配工艺方法

(1) 选择基准零、组、部件。基准件一般是产品的基体或体积、重量较大，有足够支撑面的主干零、部件，能满足陆续装入零、部件时的作业要求和稳定性要求；基准件补充加工量应尽量少，还应有利于装配过程的检测，工序间的传递输送和翻身、转位等工作。

(2) 制定工序装配质量要求与检测项目。

(3) 制定各工序施力、升温等操作规范。

(4) 选择装配工具和装备。

(5) 确定工时定额与平衡各工序的节拍。

(6) 确定产品检测和试验方法等。

划分装配单元

为了利于组织平行和流水装配作业，应根据产品的结构特征和装配工艺特点，将产品分解为可以独立进行装配的单元。装配单元可以是零件、组件或部件，零件是组成产品的基本单元。

装配机械化和自动化：

- 目的： 保证质量稳定，提高产量，降低成本，改善条件。
- 基本条件： 产量大而稳定，标准化通用化高，自动装配工艺性好，经济合理。
- 注意问题： 节拍；基准件定位；零件 自动定向；检测，控制。

安排装配顺序原则：

- 先下后上，
- 先内后外，
- 先难后易，
- 先重大后轻小，
- 先精密后一般，
- 先安全后危险，
- 做好准备集中装配。



对生产批量大的产品，需要将装配工艺过程划分为若干装配工序，划分装配工序的一般原则如下：

（1）预处理工序先行。如前述去毛刺、清洗工序，还有防锈防腐处理等应安排在前。

（2）“从里到外”，使先装部分不致成为后续装配作业的障碍。

（3）“由下而上”，保证重心始终稳定。

（4）“先难后易”，因先装有较开阔的安装、调整、监测空间。

（5）带强力、加温或补充加工的装配作业应尽量先行，以免影响前面工序的装配质量。

（6）处于基准件同方位的装配工序或使用同一工装，或具有特殊环境要求的工序，尽可能集中连续安排，有利于提高装配生产率。

（7）易燃、易碎或有毒物质、部件的安装，应尽量放在最后。

（8）电线、各种管道安装必须安排在合适的工序。

（9）及时安排检测工序，保证前行工序质量。

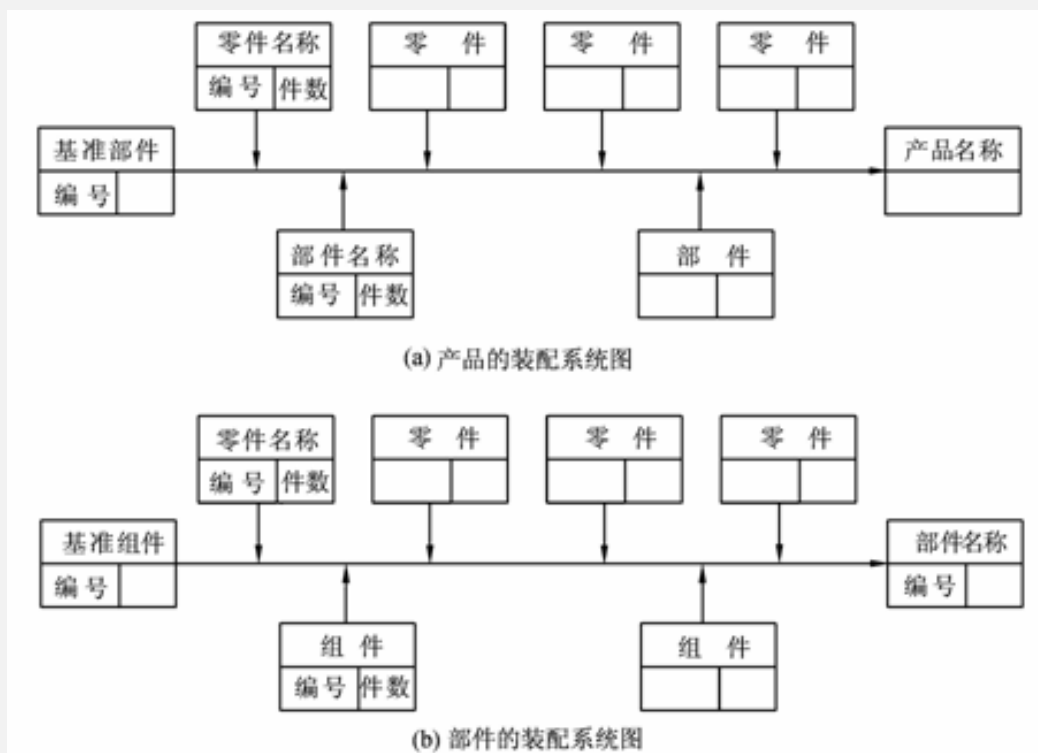
填写工艺文件

- 单件小批：装配单元系统图，装配工艺过程卡；
- 成批：装配单元系统图，装配工艺卡；
- 大批大量：装配工艺卡，装配工序卡。

XX厂	装配工序卡片			产品名称	产品代号	零、部、组（整）件代号	零、部、组（整）件名称	工艺规程编号					
					SS	SS01	AA	ZPXX01					
							设备及工艺装备						
							名称	材料片号					
装入件明细表			工步号	工 步 内 容			工具名称及代号	辅助材料					
序号	代号（件号）	数量											
			XXXX				XXXXXXXX						
				XXXXXXXX									
				XXXXXXXX									
							编制	XXX	20011221	复审		阶段	X
							校对			检验		标记	
							复核			复核		共 1 页	
更改标记	更改单号	签 名	日 期	更改标记	更改单号	签 名	日 期	审核		批准		第 1 页	

装配单元系统图

- 装配单元系统图是表示从分散的零件如何依次装配成组件、部件以致成品的途径及其间相互关系的程序。
- 按照产品的复杂程度，为了表达清晰方便，可分别绘制产品装配系统图 and 部件装配系统图，甚至组件装配系统图。



1. 清洗

目的：去除油污和机械杂质。

方法：擦洗、浸洗、 喷洗、超声波清洗。

清洗液：煤油、 汽油、碱液、 化学清洗液。

清洗设备：

2. 连接

可拆卸连接（不损伤零件）： 螺纹、键、销钉；

不可拆卸连接（会损伤零件）： 焊、铆、胶、过盈。

3. 调整和修配

校正：产品中相关零件相对位置的找正、找平及相应的调整；

调整：相关零、部件相互位置的具体调节工作；

配作：指配钻、配铰、配磨、配刮。

4. 平衡

静平衡：直径大、厚度小零件；

动平衡：长径比大零件

动平衡的调整方法：

加：补焊、铆接、胶接、螺纹连接；

减：钻、铣、磨、铣；

调整：在平衡槽内改变平衡块位置和数量。

5. 密封性和强度试验：压力容器 120-150%工作压力

6. 检验和试车

空运载（动态）试车

有载（工作状态）试车

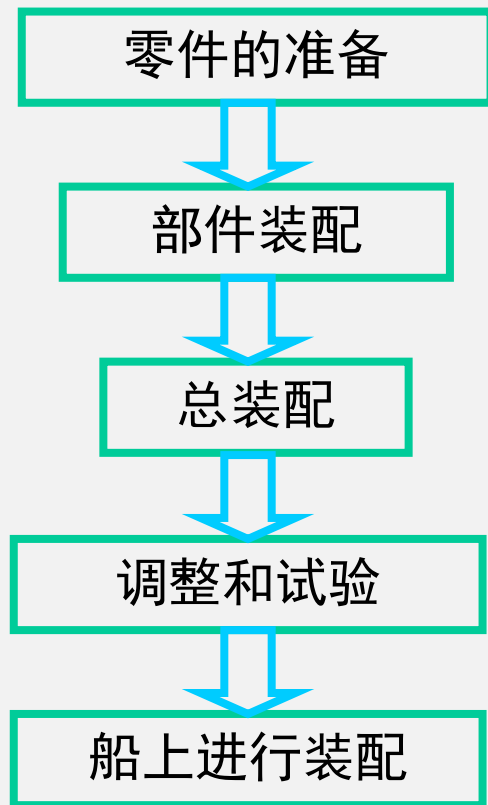
第二节 柴油机装配工艺过程

Assembly of trunk diesel engine (four stroke)

一、装配过程及注意的问题

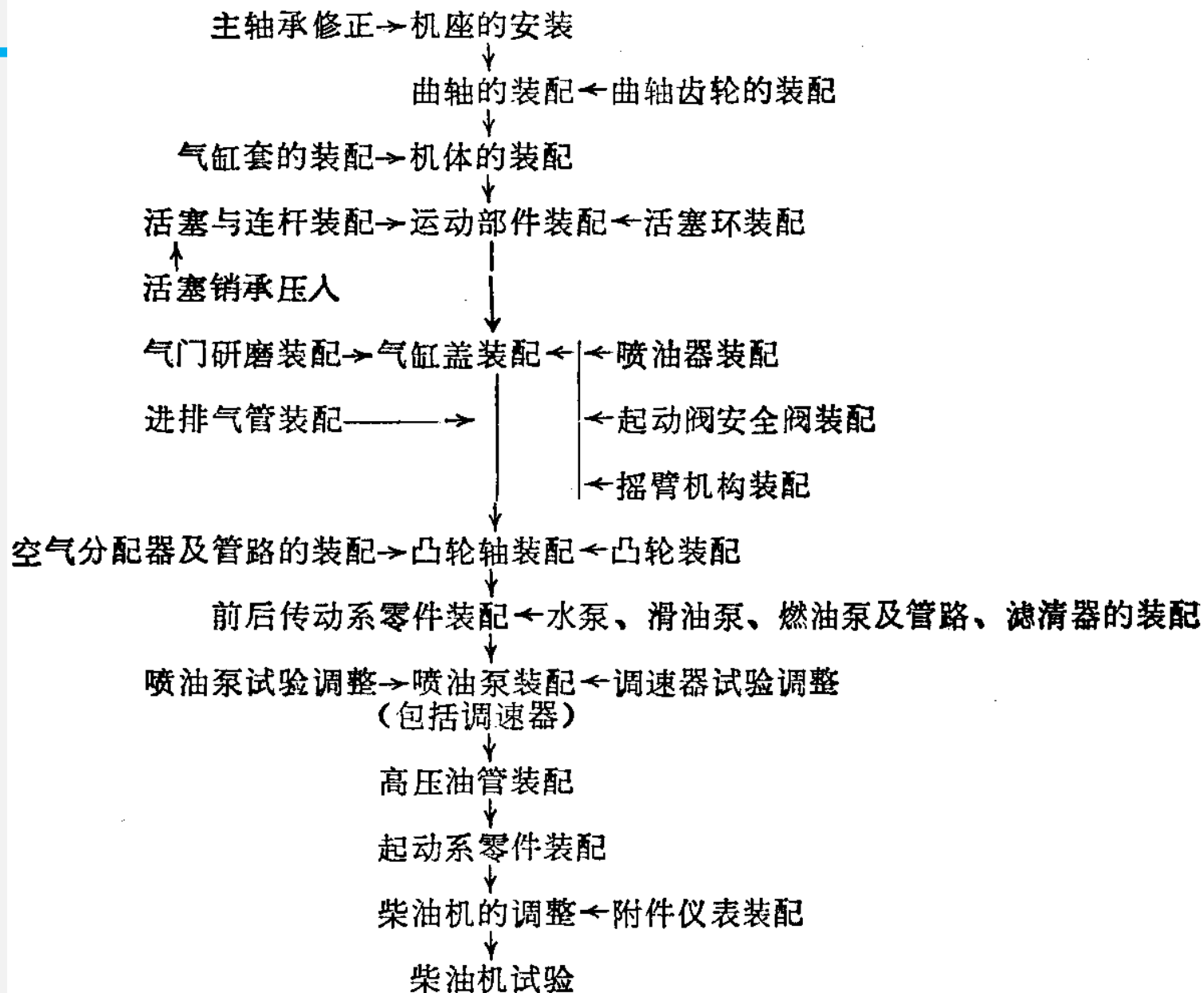
Some notions

(1) 装配过程

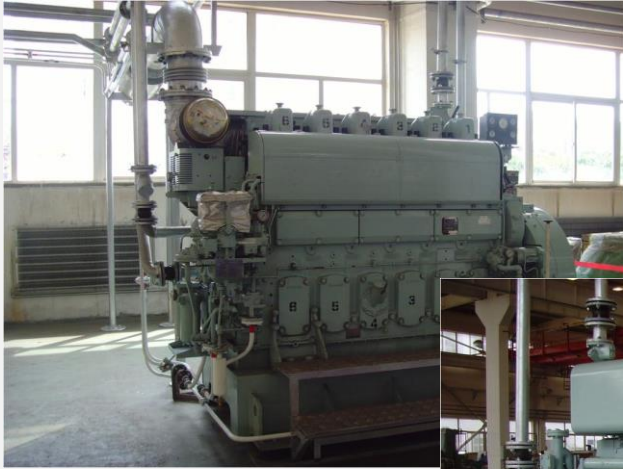


Assembly Laboratory in MI, Canada, 2008

筒形活塞柴油机装配顺序



*四冲程柴油机照片



四冲程柴油机照片-09万方

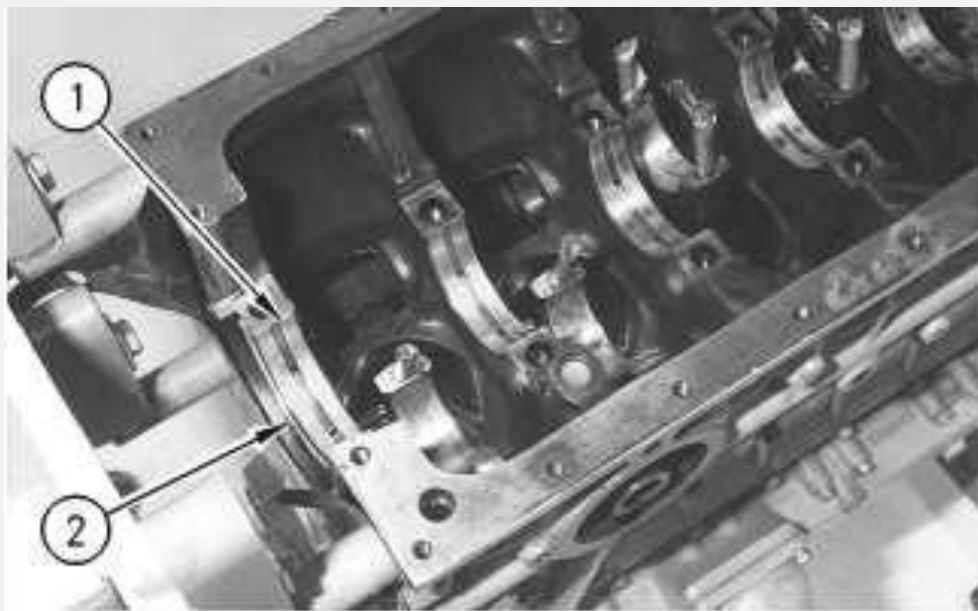
(2)装配中应注意的问题

- (1)装配前**检查**零件**尺寸精度、形状及位置精度、表面粗糙度**等。
- (2)**清洗**所有零件，**修整**有局部缺陷零件。
- (3)对密闭受压的零件（例如缸盖、缸套、活塞等)经过**液压试验**。
- (4)严格**按装配技术要求**进行，每一顺序完工后进行**检查验收**。
- (5)**清除干净金属碎屑或其他杂物**；严防杂物遗留在机器部件中。

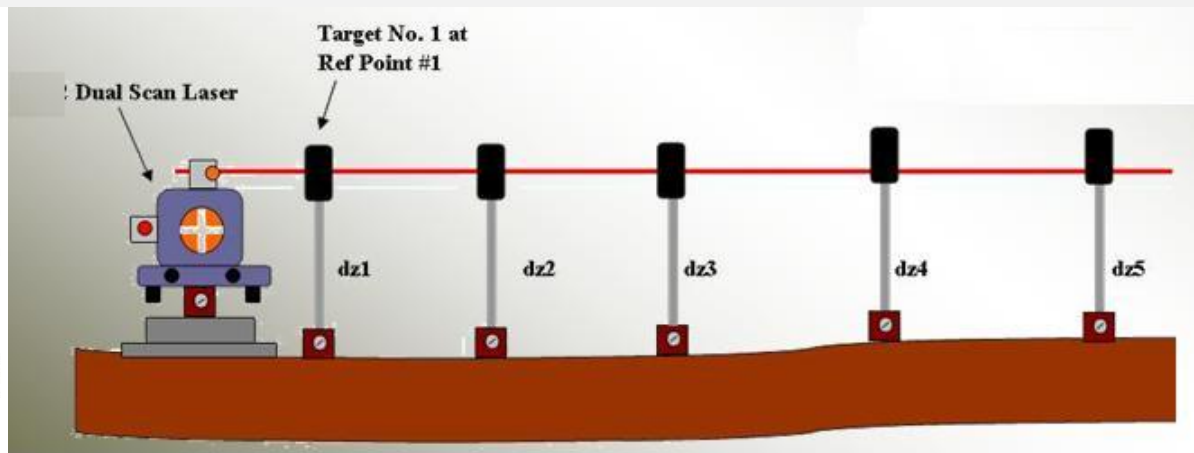
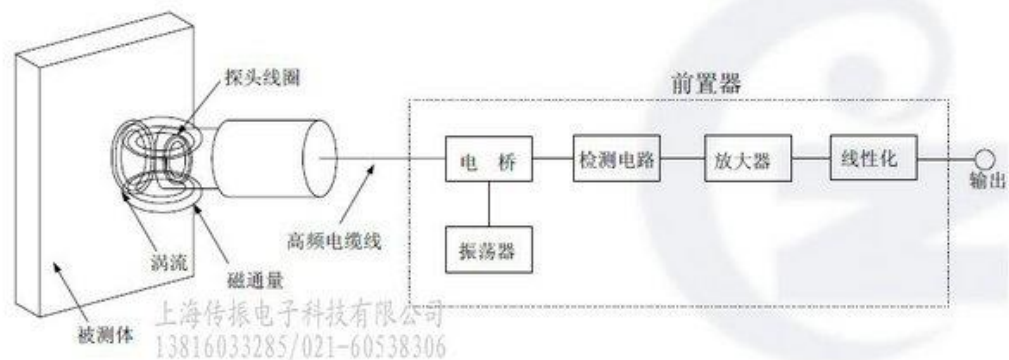
二、机座的安装

Assembly of bedplate

- (1)铸造的机座：**内表面清理**（喷砂）。
- (2)整体式及组合式机座：**液压试验→内部表面上防锈漆**。
- (3)机座上平面的**平面度**：平面度误差 $\leq 0.05\text{mm/m}$ ，全平面内平面度误差 $\leq 0.20\text{mm/m}$ （当机座长度小于8m时）。



*平面度检测方法



三、主轴承和曲轴的装配

Assembly of main
bearing and crankshaft

1. 主轴承装配

(1)轴承座孔轴线和机座上平面**平行度误差** $\leq 0.03 \sim 0.05/1000$ 。
对长2~4m的机座，其**同轴度**误差应 $< \varphi 0.08\text{mm}$ 。

(2)**主轴承（下瓦）外圆与轴承座孔的**接触面积应不小于75%，
用0.03~0.05mm塞尺检查，不能插入20mm。

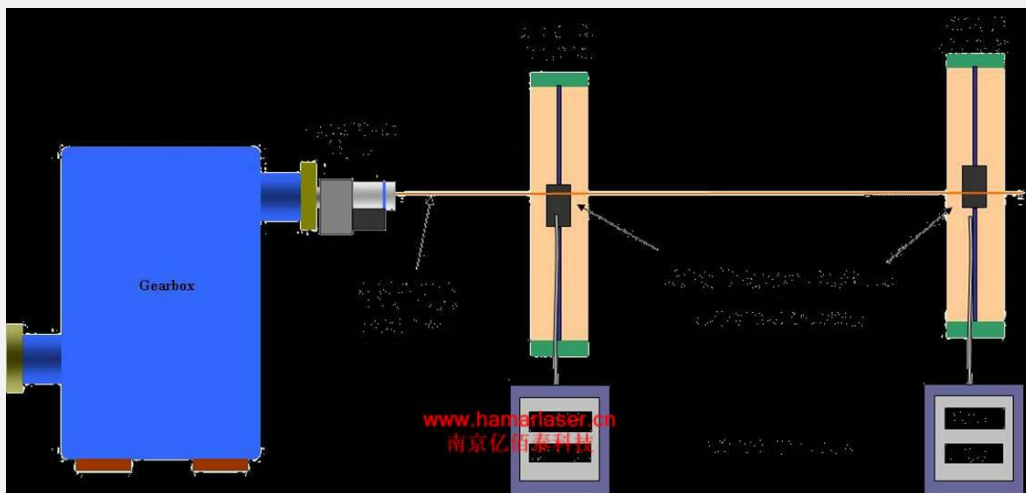
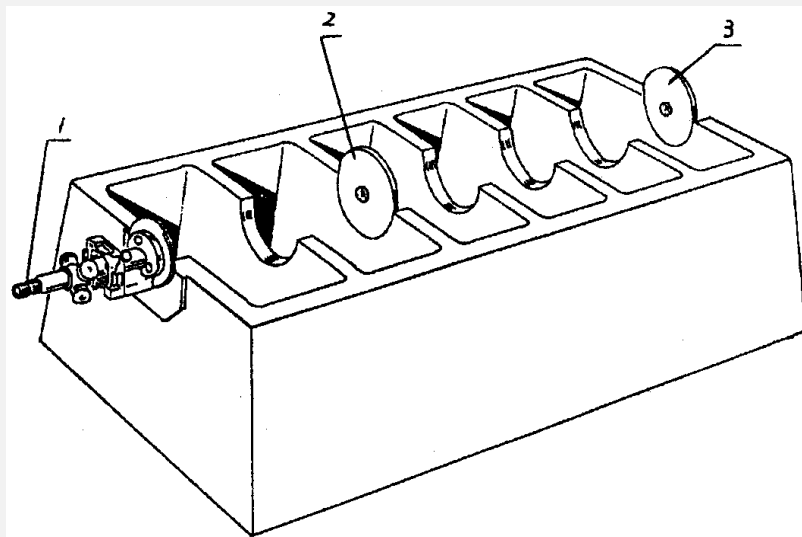
③在成批生产条件下，主轴瓦（尤其是薄壁轴瓦）可进行**选配**，也可以用**修锉轴瓦背面**的方法来达到其均匀紧密贴合，
但是不允许研刮主轴承座孔。

(1) 主轴承装配时，应先检查轴承座孔轴线和机座上平面的平行性，其**平行度误差**应 $\leq 0.03 \sim 0.05/1000$ 。还要检查机座主轴承座孔的**同轴度**，对长 $2 \sim 4\text{m}$ 的机座，其同轴度误差应小于 $\phi 0.08\text{mm}$ 。

(2) **主轴承（下瓦）外圆与轴承座孔的配合**为H8/k6，下轴瓦背与轴承孔表面的接触面积应不小于75%，用 $0.03 \sim 0.05\text{mm}$ 塞尺检查，不能插入20mm。翻边轴瓦的翻边内侧面与轴承座孔两端面的配合为H8/h7。

③ 在成批生产条件下，主轴承瓦（尤其是薄壁轴瓦）装入主轴承座孔时，可进行**选配**。有的情况下也可以用**修锉轴瓦背面**的方法来达到其均匀紧密贴合，但是不允许研刮主轴承座孔，以免破坏主轴承座孔的同轴度。

*机座主轴轴承孔同轴度检查

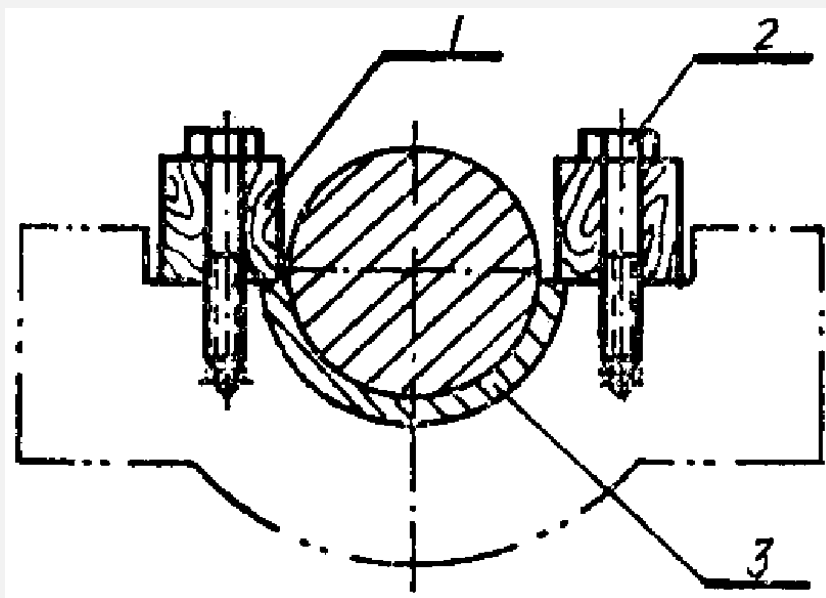


2. 曲轴装配

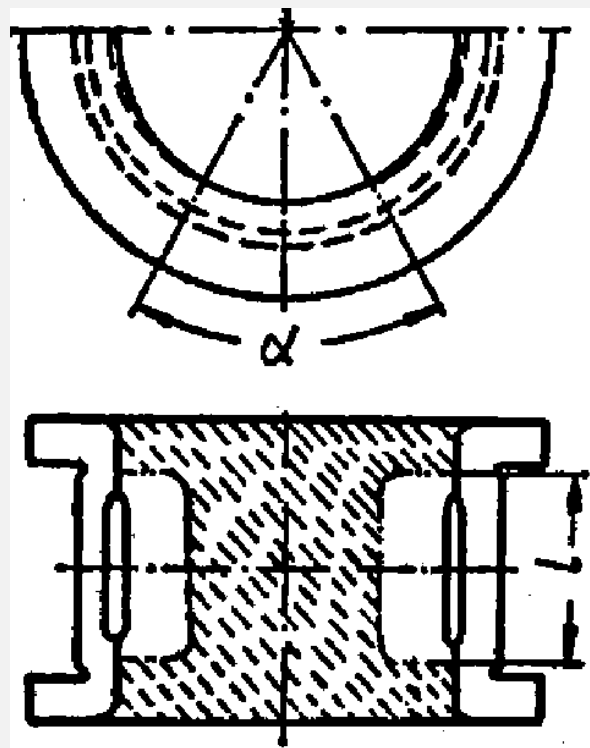
(1)曲轴主轴颈与主轴承下瓦应均匀接触、紧密贴合。

涂色检查：接触角为 $40^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 。

轴承边缘在 180° 用0.05mm厚的塞尺不能从轴瓦边缘插入。



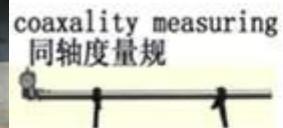
固定下轴瓦示意图



主轴颈与主轴承相接触的要求

*曲轴装配现场

汽车之家



coaxiality measuring
同轴度量规



Feeler Gauge
塞尺测量仪表



Snap Gauge
卡规, 外径规



Long Claw caliper
长爪钳



Plastigauge
Engine Bearing Clearance Checker
塑料线间隙规

100Y 百业网

(2) 主轴颈的径向圆跳动量不能超过规定

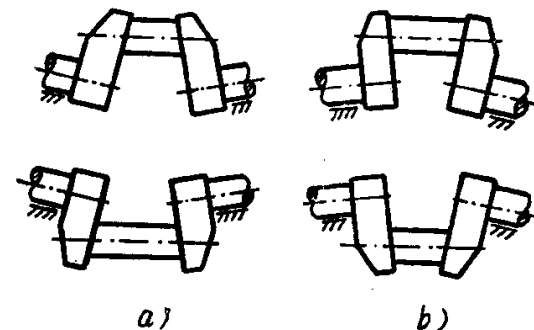
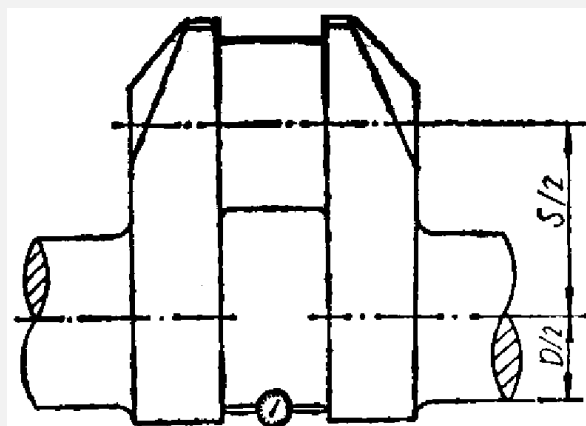
- 在每一个主轴颈的2~3个截面内进行。
- 修理时，不能超过规定值的1.5倍。

主轴颈径向圆跳动公差值(mm)

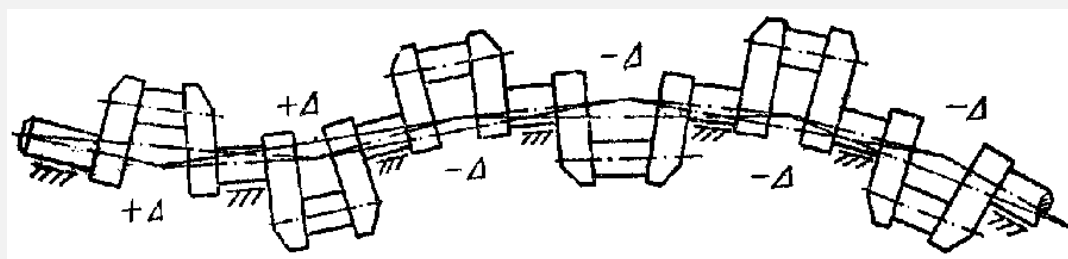
曲柄数目	轴颈支承 数目	主 轴 颈 直 径						
		~75	>75~100	>100~150	>150~250	>250~350	>350~500	>500~600
3	1	0.015	0.02	0.025	0.03	0.04		
4	2~3	0.02	0.025	0.030	0.04	0.05		
5~8	3~4	0.025	0.03	0.035	0.05	0.06	0.07	0.08
9~12	5~6			0.04	0.055	0.065	0.075	0.085

(3)每个曲柄臂距差值应符合规定要求。

在 0° 、 90° 、 180° 、 270° 四个位置上测量



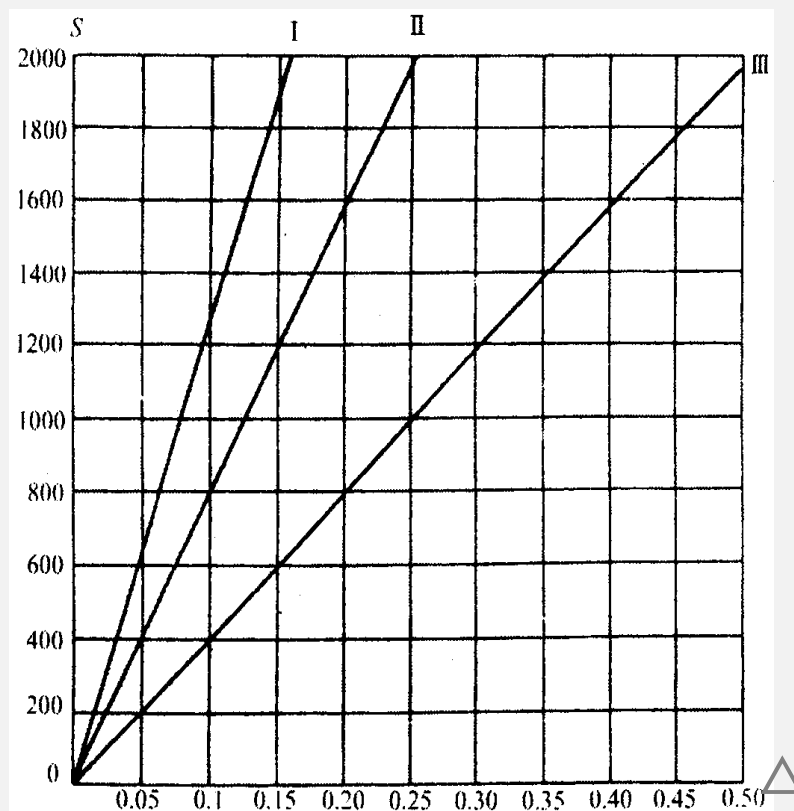
曲轴轴线变化引起臂距差



主轴承孔不同轴而造成曲轴轴线挠曲

轴瓦研刮量的确定方法一般有计算法和图解法两种（可查阅有关书籍）。

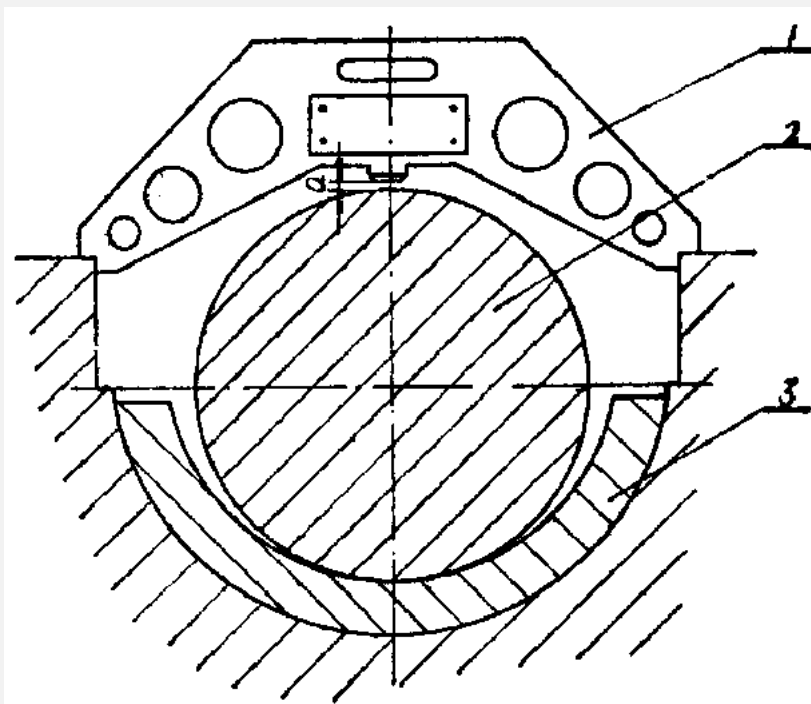
曲线I线左方表示曲轴装配情况良好；在I、II线之间表示装配合格。曲线III为在船舶营运中曲轴臂距差的最大允许极限值。



曲轴臂距差曲线图

(4)曲轴装妥后，应作出桥规测量记录。

曲轴轴线与机座上平面的平行度误差 $\leq 0.05/1000$ 。



桥规测量

(5) 主轴颈与轴承之间应有一定的径向间隙

- 通过软铅丝测量和增减垫片厚度调整径向间隙。
- 每一种柴油机在其说明书上均有规定数值。

主轴颈与轴承径向装配间隙(mm)

轴颈直径	径 向 装 配 间 隙		
	转速<500 r/min	转速>500 r/min	
		白合金	铜铅合金
≥75~100		0.06~0.08	0.08~0.10
>100~125		0.08~0.11	0.10~0.12
>125~150		0.11~0.15	0.13~0.16
>150~200	0.14~0.18	0.16~0.20	0.17~0.23
>200~250	0.18~0.22	0.20~0.24	0.24~0.28
>250~300	0.22~0.26	0.24~0.28	
>300~350	0.26~0.30		
>350~400	0.30~0.34		
>400~450	0.34~0.38		

*测量径向间隙实例

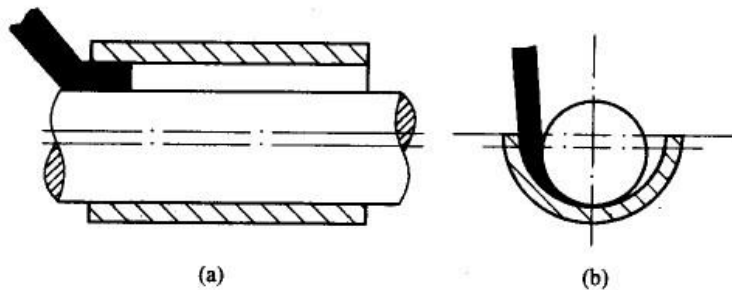
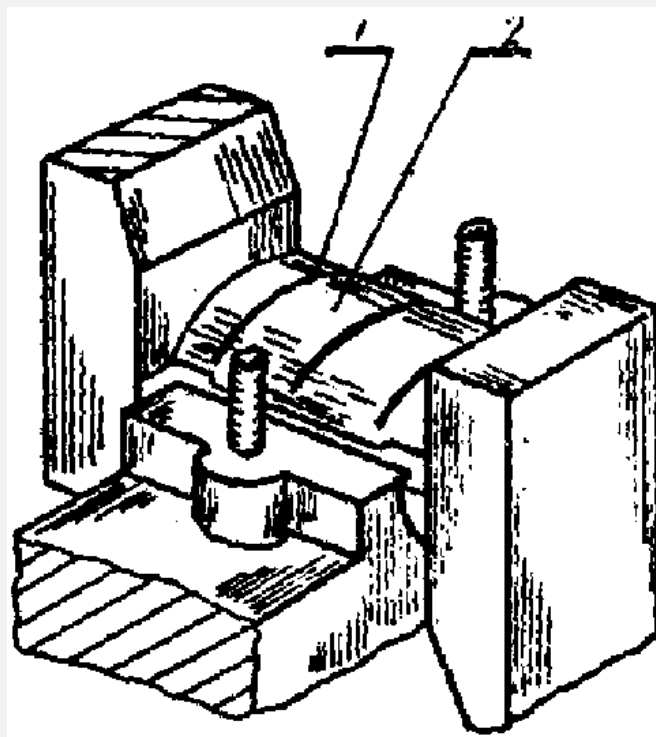


图 4-24 用塞尺测轴承间隙

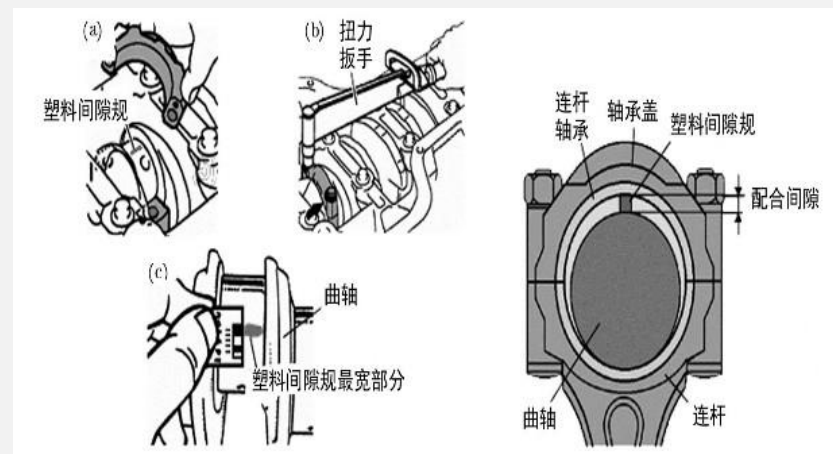
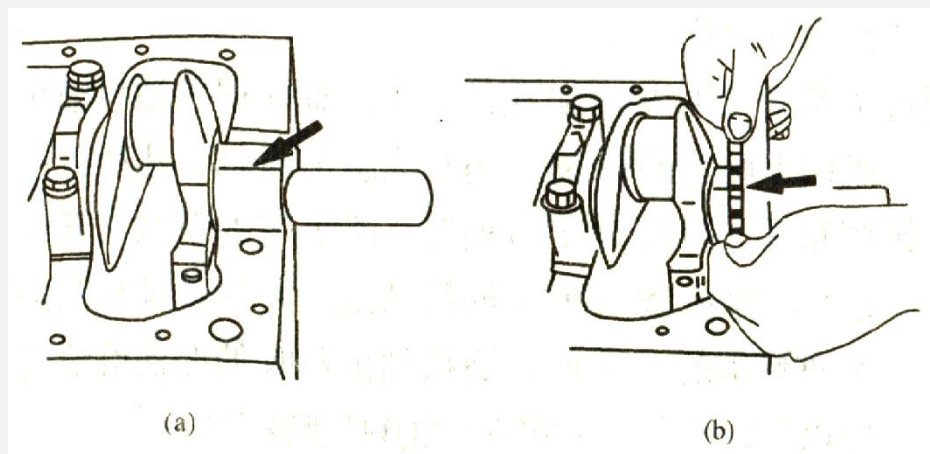
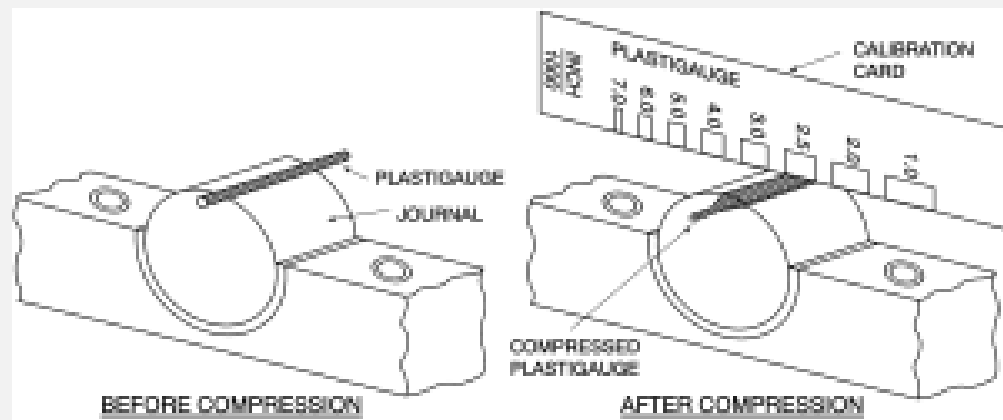


压铅丝测量径向间隙



间隙尺

*塑料线间隙规测量径向间隙实例

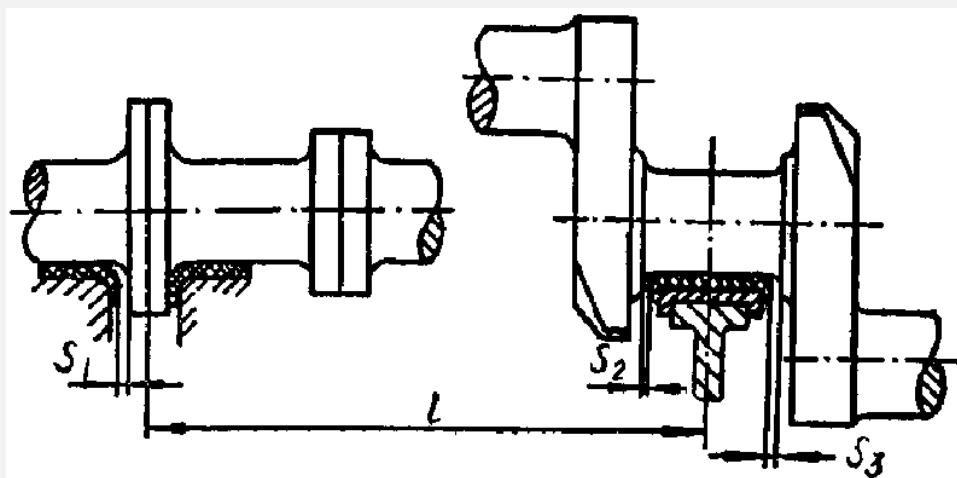
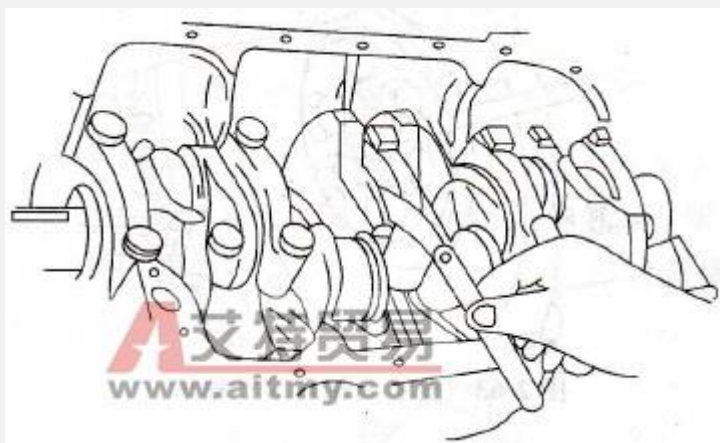


(6) 主轴颈与轴承的轴向间隙应符合规定要求。

S_1 为止推轴承轴向最大间隙

S_2 为主轴颈后端间隙

S_3 为主轴颈前端间隙



①柴油机与轴系或发电机用弹性连接，其主轴承和曲轴上有止推环时，在曲轴后移的情况下， S_1 为止推轴承轴向最大间隙；

后端间隙： $S_2=0.0006L+S_1+(0.2\sim0.5)\text{mm}$ ；

前端间隙： $S_3=0.2\sim0.5\text{mm}$ 。

②在曲轴前移的情况下：

后端间隙： $S_2=0.0006L+(0.2\sim0.5)\text{mm}$

。

前端间隙： $S_3=S_1+(0.2\sim0.5)\text{mm}$ ；

③柴油机本身没有止推轴承，而它的尾部与轴系的推力轴承连接。

在船前进的情况下， S_1 为推力轴承的最大轴向间隙；

后端间隙： $S_2=0.0006L+(0.2\sim0.5)\text{mm}$ ；

前端间隙： $S_3=S_1+(0.2\sim0.5)\text{mm}$ 。

④在船后退的情况下：

后端间隙： $S_2=0.0006L+S_1+(0.2\sim0.5)\text{mm}$ ；

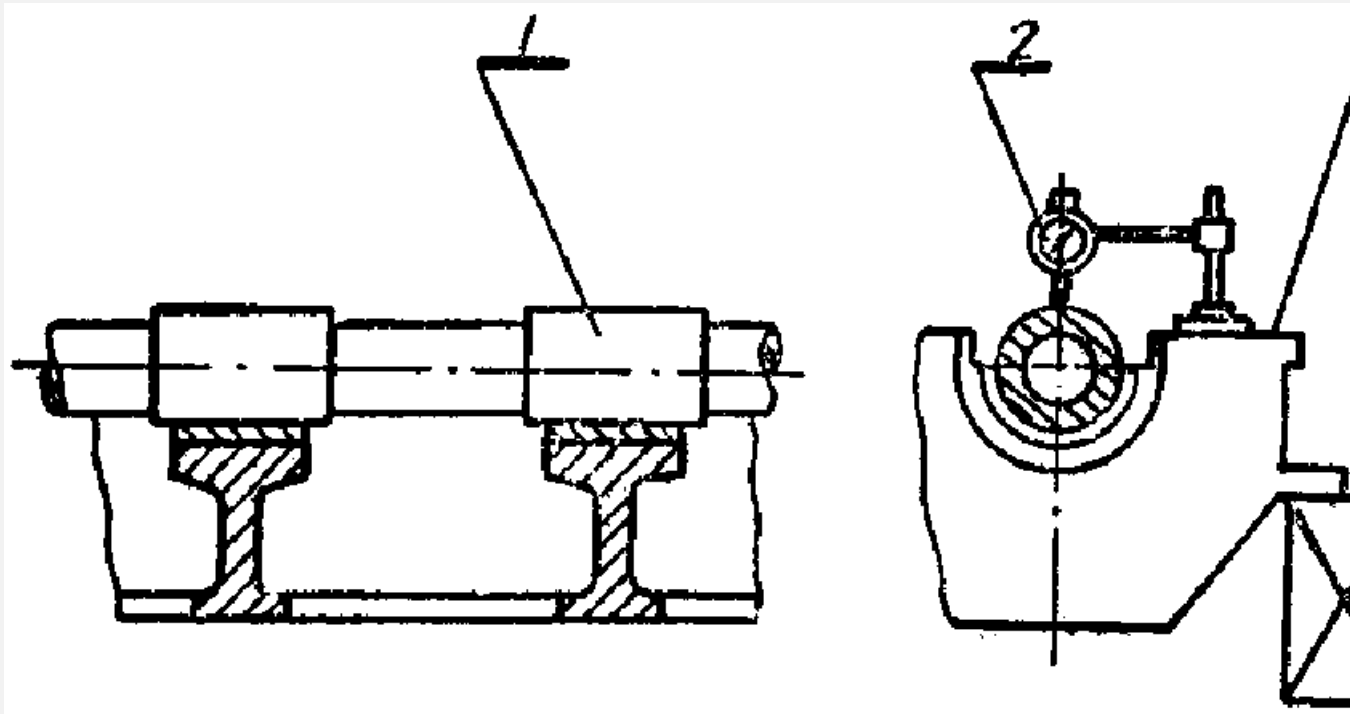
前端间隙： $S_3=0.2\sim0.5\text{mm}$ 。

⑤柴油机本身带推力轴承，各轴系中没有推力轴承，主轴承轴向间隙调整方法同第一种情况。

曲轴与主轴承的轴向间隙

刮研主轴承

刮研主轴承有两种方法：一种是用“假轴”法，另一种是按曲轴主轴颈研刮法。



用“假轴”刮研和检验主轴承

目前，成批生产中型柴油机，由于制造质量的提高，轴装配时（对薄壁轴瓦）已基本免除刮研轴瓦工艺，当贴合情况不良时，用选配轴瓦或作少量的工作，使装配工作大大

。但对某些柴油机，尤其修理时，为使曲轴轴线成一直线并与主轴保持一定配合间隙，仍常常在装配中采用研刮主轴承的方法以达到装配技术要求。因此，主轴合金层上应留的研刮余量，一般在0.05mm以内。

采用“假轴”进行研刮。“假轴”是用铸铁或钢接制成的圆柱形空心管，长度等于机座的长度，与轴配合的主轴颈经过精密加工，其直径应等于曲轴主轴颈直径加上间隙值。用“假轴”的优点是：它的刚性比曲轴好，容易使轴承获得要求的同轴度，较轻便、起吊方便。因此，用假轴刮出的轴瓦是正确的圆形，容易形成液体摩擦有利的楔形油膜。直接按主轴颈刮出的轴瓦，在加上油隙垫片后并不一定是正确的圆形。但单件修理中采用“假轴”经济，故很少应用。

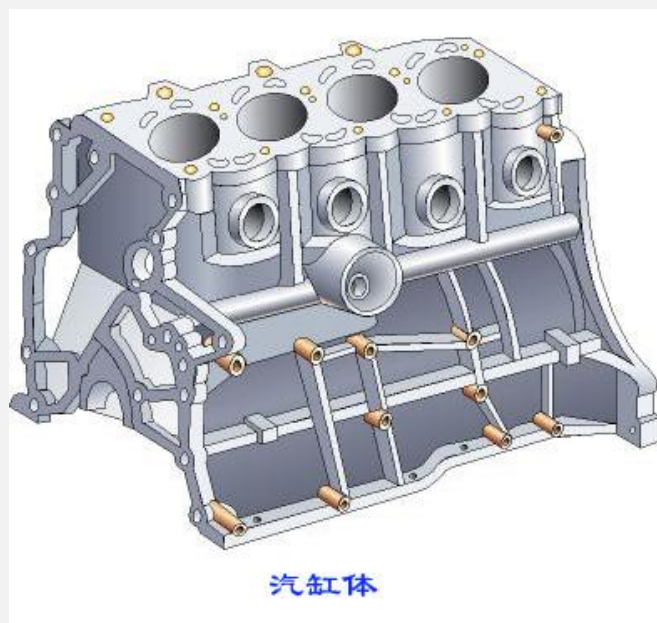
*刮研工艺实例



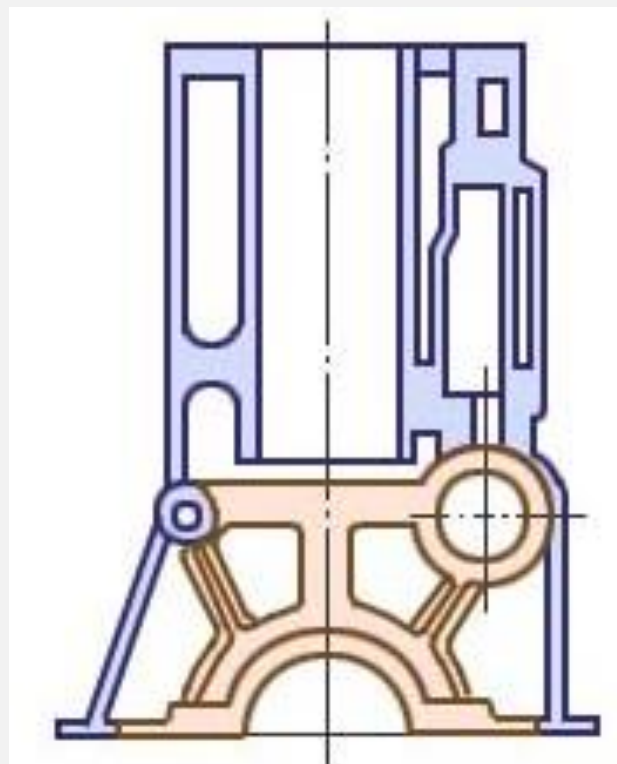
四、机体的装配

Assembly of the frame

1. 机体与机座的相互位置校准后，应在其对角线位置上同铰出不少于两个的定位销孔。
2. 在其接合面间放置一层薄青壳纸垫片，或者在机座上平面上浇一层环氧树脂。
3. 检验位置精度后，用连接螺栓将机体与机座紧固。



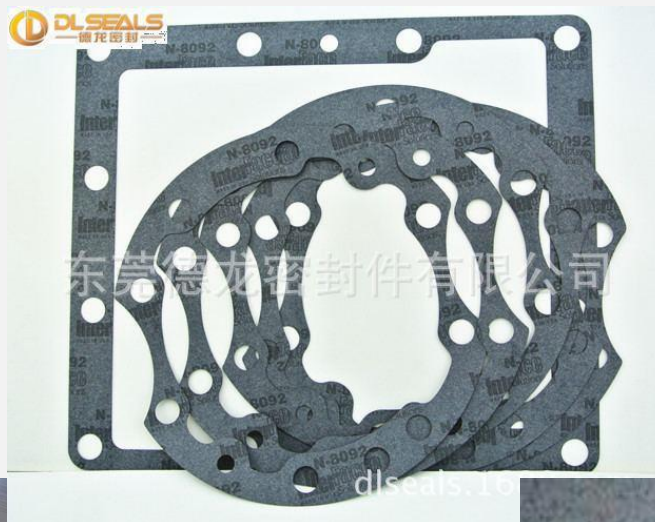
中型柴油机机体



*机体与机座的密封方式



耐高温环氧胶粘剂

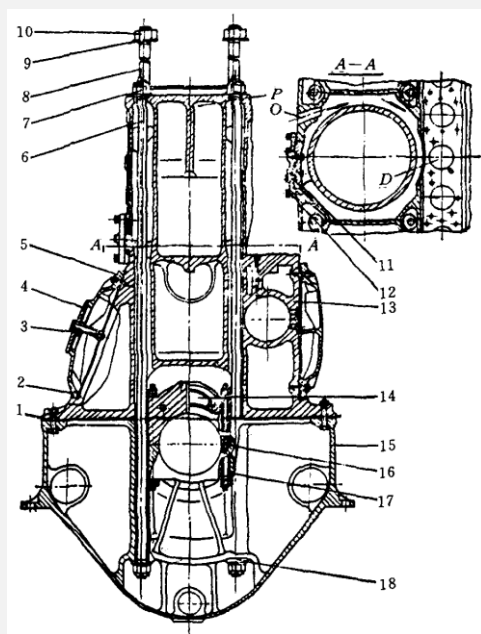


柴油机垫片



船用柴油机发动机
密封圈

- (1)机体气缸轴线与曲轴轴线垂直度误差： $\leq 0.15/1000$ ；
- (2)各气缸轴线应与曲轴轴线相交位置度误差： $\leq 2\text{mm}$ ；
- (3)各气缸轴线与对应的两曲柄臂应对称；
- (4)机体下平面与机座上平面用 $0.05\sim 0.10\text{mm}$ 厚的塞尺检查时，一般不应插进。



中型柴油机机体机座

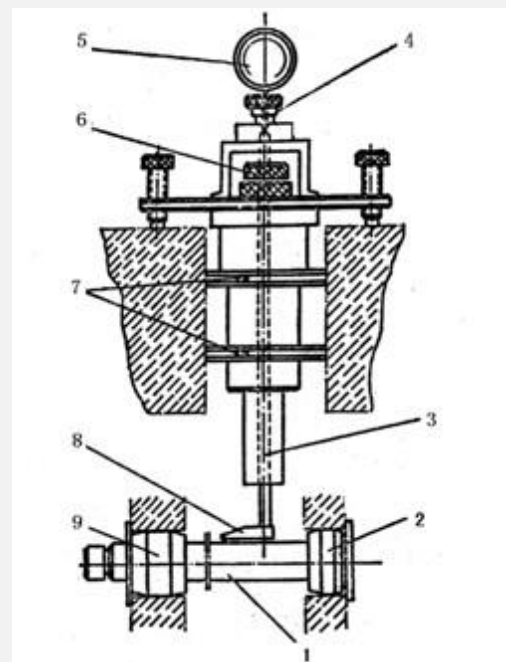


图 7.20 气缸垂直度检测仪

1. 定心轴；2. 前定心轴套；3. 测量杆；4. 百分表触头
5. 百分表；6. 转动手柄；7. 气缸定心器；8. 测量头

机体与机座装配

机体与机座的相互位置校准后，应在其对角线位置上同铰出不少于两个的定位销孔，然后用连接螺栓将机体与机座紧固。

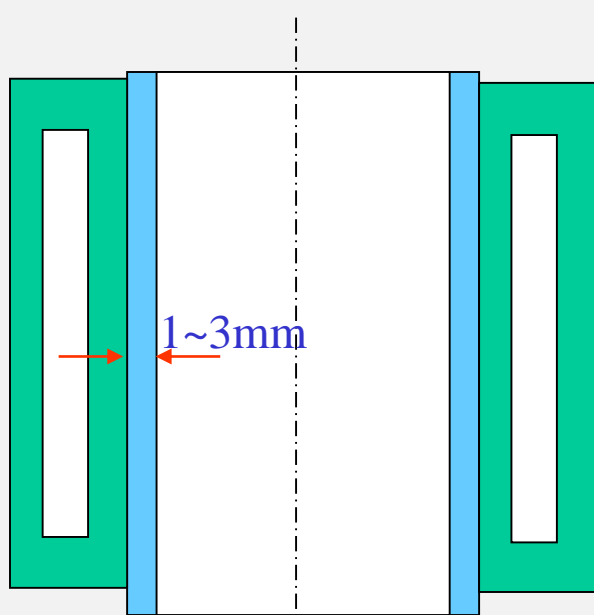
在连接螺栓中应有一定数量的、且均匀分布的紧配螺栓，有的机器规定紧配螺栓总数应占连接螺栓总数的25%，其配合按H7/k6，螺孔表面粗糙度 $\leq Ra1.6\mu m$ 。拧紧螺母时，应从机体中部开始，按对称方向逐个地向两端、且分三次拧紧到最后位置。

为了防止机体与机座接合平面渗漏润滑油，有时可在其接合面间放置一层薄青壳纸垫片，或者在机座上平面上浇一层环氧树脂，以增加其密合性。

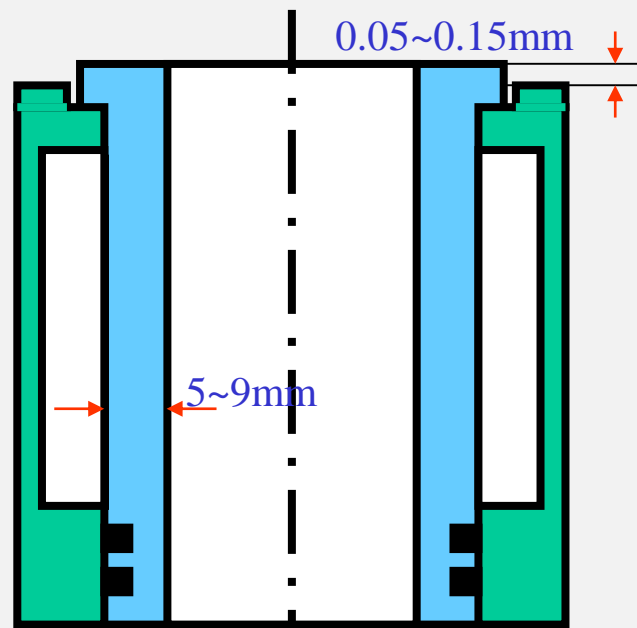
上述技术要求的提出，主要是为了保证活塞连杆机构、曲轴等运动部件与气缸之间能有一正确的相互位置，以达到机器正常运转的要求。这些技术要求主要是靠机体本身的制造精度来保证。装配时也是根据加工时的基准面来校准。

气缸套安装

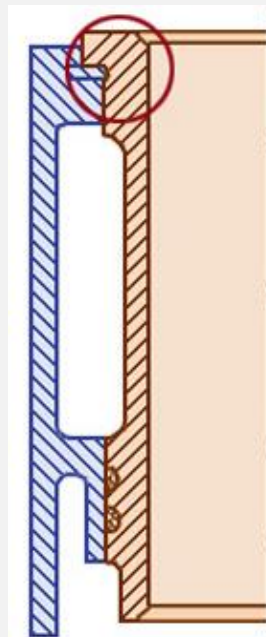
- 气缸套装配入机体，**通常是在机体装上机座前进行。**
- 气缸套装配通常在基体装上机座前进行，先装橡皮密封圈，（橡皮密封圈应是整根的，且具有充分的弹性。）
- 涂润滑脂，即可将气缸套平稳地装入基体中，最后液压试验和其它检验，保证气缸套安装精度。



干式缸套



湿式缸套



气缸套装配不良，常易引起柴油机的咬缸故障，所以应引起重视。

气缸套的外圆装配表面与机体气缸孔的配合，其上部按H9/f9，下部按H9/h8，且按0.05~0.15mm间隙选配。对于靠近燃烧室的上端外凸肩配合部分必须保证有足够的热膨胀余量，此间隙一般可规定为0.5~1.5mm。

气缸套上的橡皮密封圈应是整根的，且具有充分的弹性。橡皮圈在自由状态时的断面积应为槽部断面积的90%。以使橡皮圈能有充分变形的余地，不致使气缸套挤压而变形。同时，橡皮圈在自由状态时的内径应比槽底直径小1~3%，橡皮圈入槽后其断面直径应为自由状态时的断面直径的80~85%。此外，当橡皮圈装入槽后，其外圆要比气缸套下部外凸肩面凸出1~2mm，这样在装入气缸套时，就足以使橡皮圈变形产生弹力而阻漏。

*气缸套安装方法实例

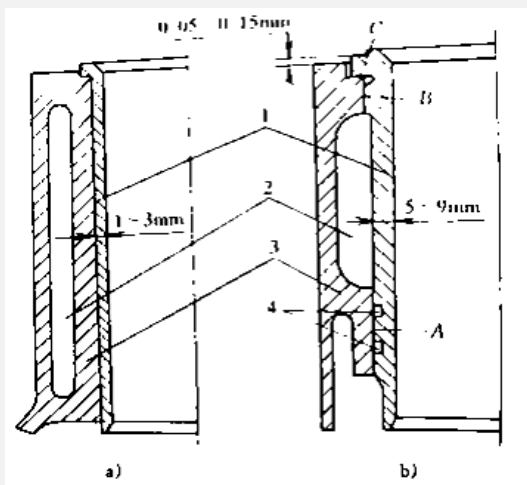


图 2-6 气缸套

a) 1 式 b) 2 式

1—气缸套 2—水套 3—气缸体 4—密封圈

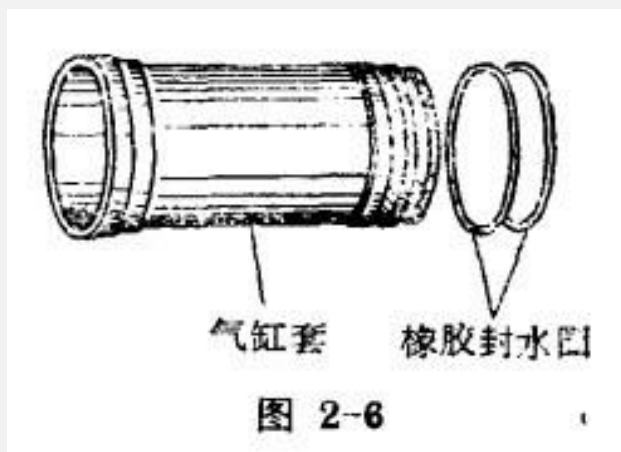
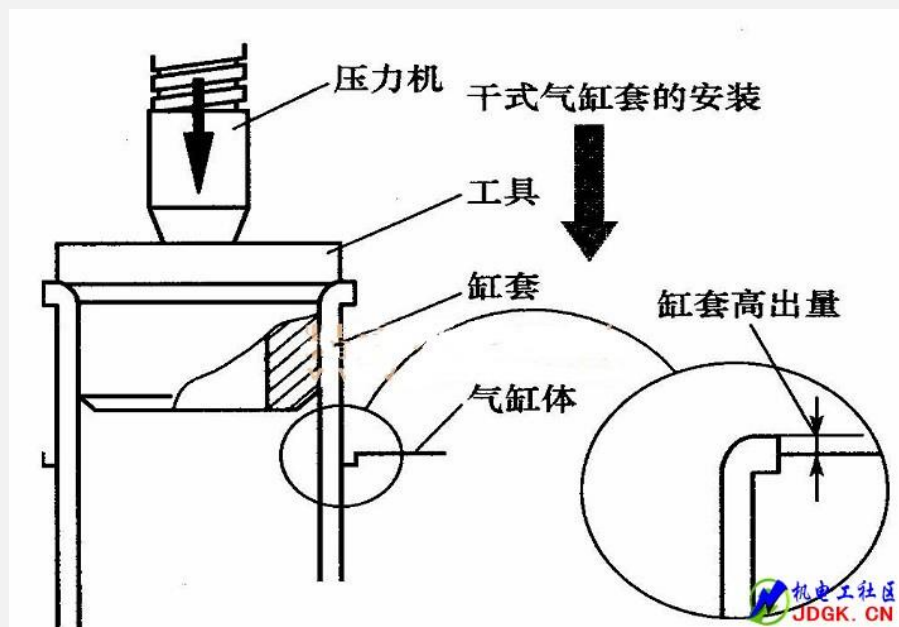
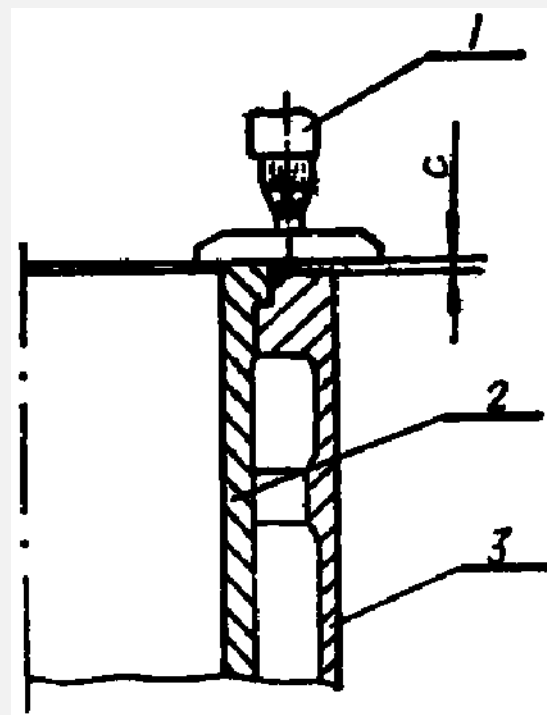


图 2-6



气缸套装入后，要做**液压试验**，以检查橡皮圈**密封情况**。同时测量**气缸套内径尺寸的变化情况**，其尺寸应与原始制造尺寸基本相符，在橡皮圈部位的内径尺寸变化值，缸径 $\leq 500\text{mm}$ 者，应 $\leq 0.03\text{mm}$ ；缸径 $> 500\text{mm}$ 者， $\leq 0.06\text{mm}$ 。

气缸套定位装妥后，还要检查气缸套上端面**比机体的上平面的高出数值**。对于湿式气缸套，此数值可取为 $0.10\sim 0.15\text{mm}$ ；对于干式气缸套，可取为 $0.02\sim 0.05\text{mm}$ 。



气缸套上端高出数值的测量

当橡皮圈装好后，在橡皮圈周围和机体气缸孔相应密封部分涂上少量润滑脂，即可将气缸套平稳地装入机体中。对于二冲程柴油机，应注意将气口的方向位置对正。紫铜密封圈装入前应经退火。

气缸套装入后，要做液压试验，以检查橡皮圈密封情况。同时测量气缸套内径尺寸的变化情况，其尺寸应与原始制造尺寸基本相符，在橡皮圈部位的内径尺寸变化值，缸径 $\leq 500\text{mm}$ 者，应 $\leq 0.03\text{mm}$ ；缸径 $> 500\text{mm}$ 者， $\leq 0.06\text{mm}$ 。

气缸套定位装妥后，还要检查气缸套上端面比机体的上平面的高出数值。此数值的大小关系到气缸套能否被气缸盖牢固地压紧座落在机体上。对于湿式气缸套，此数值可取为 $0.10\sim 0.15\text{mm}$ ；对于干式气缸套，可取为 $0.02\sim 0.05\text{mm}$ 。

在通常情况下，气缸套装入机体后不必再检查气缸轴线与机体下平面的垂直度。在成批生产中必要时可进行抽样检验，若发现个别气缸套装入机体后，气缸轴线与机体下平面的垂直度超过技术要求，则可将气缸套的支持凸台平面稍锉去一些以校正其偏斜。

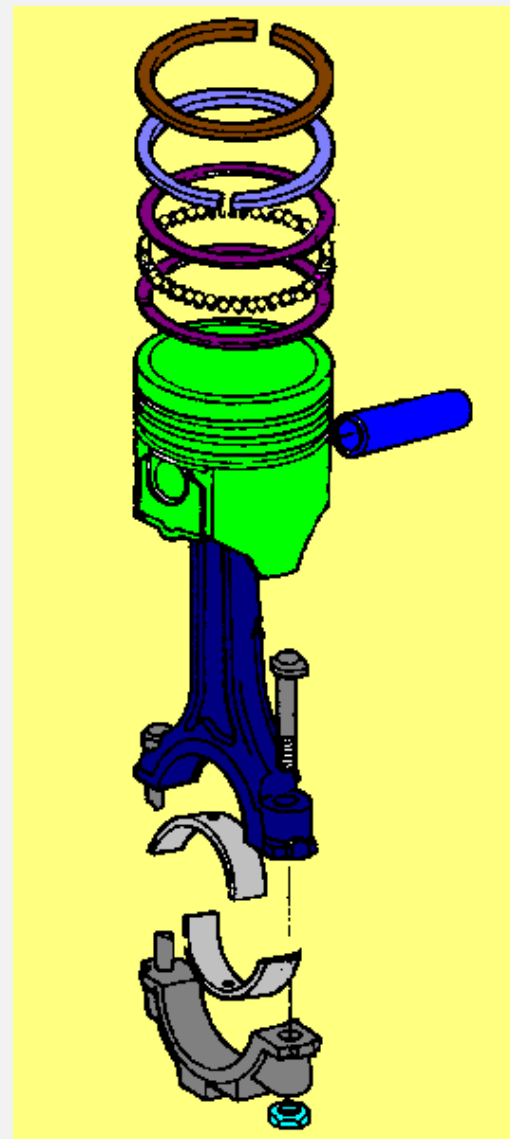
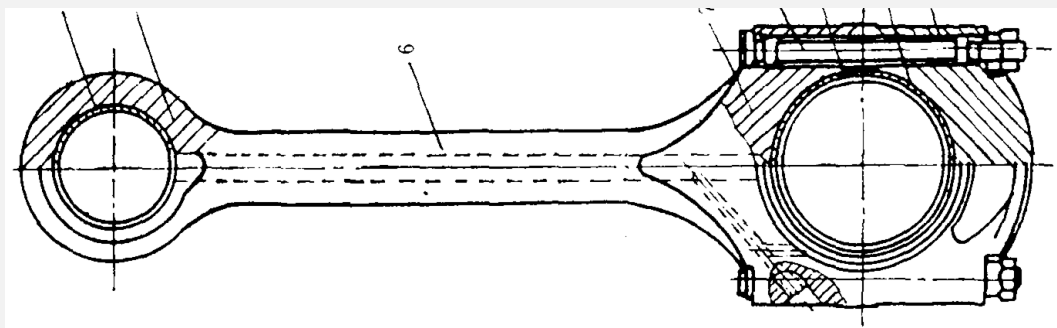
五、活塞连杆的装配

Assembly of piston and connecting rod

活塞连杆的装配过程，包括在平台上装配活塞连杆部件和活塞连杆部件装入气缸的校中以及活塞连杆相关部件的安装。

1. 在平台上装配活塞连杆部件

- 要求：活塞轴线和连杆大端轴承轴线垂直度 $\leq 0.15/1000$,
- 这项要求是靠各个零件的加工精度和配合精度来获得。



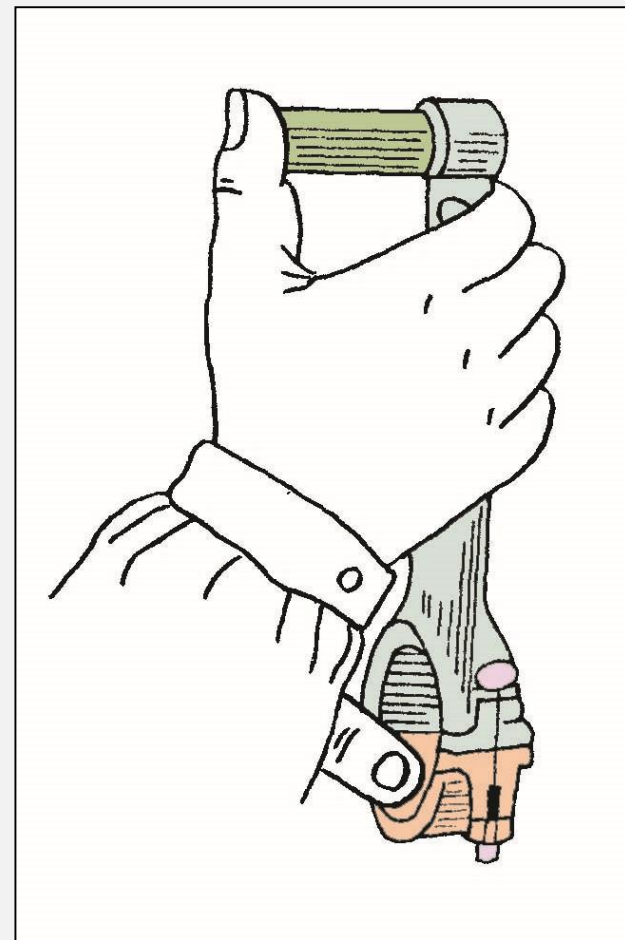
(1) 连杆小端孔与衬套配合

- 配合H7/r6，表面粗糙度 $\leq Ra0.8\mu m$ 。
- 当连杆衬套外径为125~175mm时，过盈量0.03~0.05mm。
- 可采用选配法。

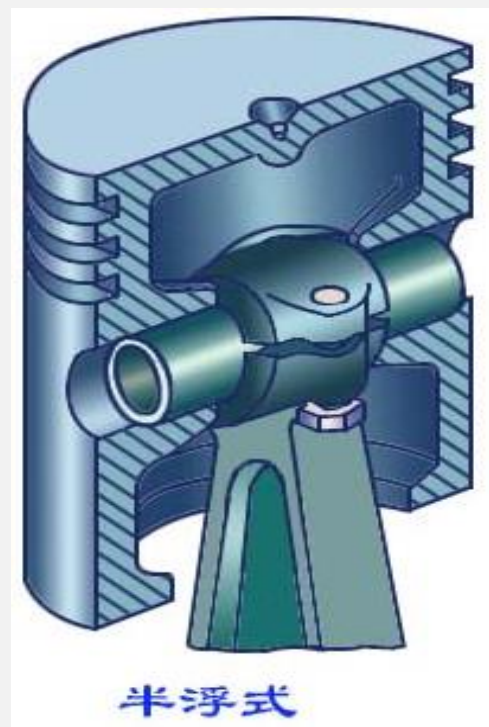
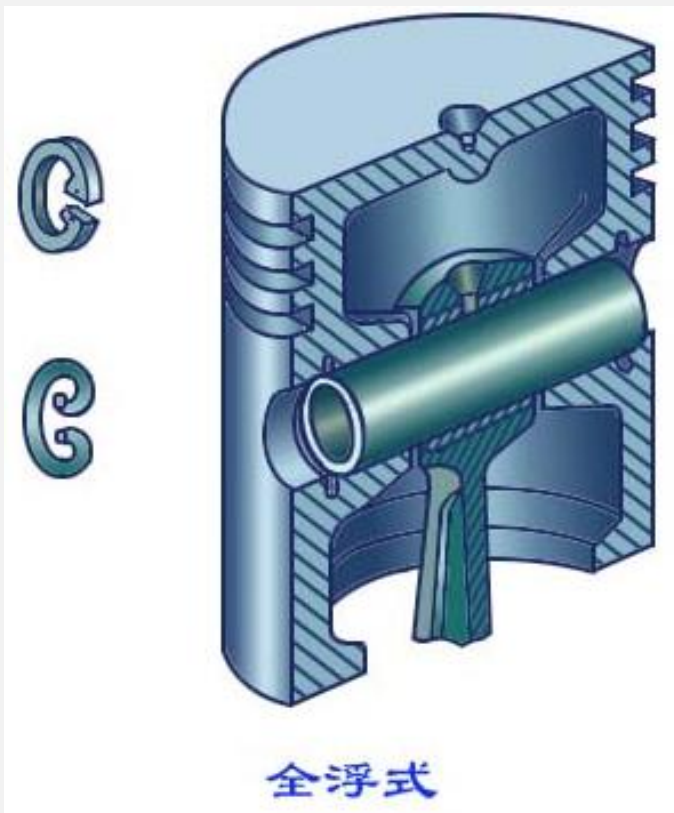


(2) 活塞销与连杆小端衬套的配合

- 活塞销与连杆小端衬套间隙：0.13 ~ 0.15mm；
- 活塞销与连杆小端衬套配合：F8/h6，
- 表面粗糙度分别为Ra0.4 μ m和Ra0.8 μ m。
- 接触角分别为60° ~ 90°



- 与活塞销孔轴承的间隙：0.10~0.12mm（浮动式活塞销）；
- 或过盈量为0.01~0.015mm（固定式活塞销）。



（一般固定连杆小头）

在平台上装配活塞连杆部件包括连杆杆身与小端衬套和大端轴承的装配、活塞销轴承与活塞销座孔的装配、活塞销将活塞连杆连成一个整体部件等工作。

活塞连杆部件装配前的检查

(1) 连杆小端孔与衬套配合情况的检查

连杆小端衬套外径与小端孔按H7/r6加工，表面粗糙度应 $\leq Ra0.8\mu m$ 。装配时可采用选配法，当连杆衬套外径为125~175mm时，过盈量为0.03~0.05mm。

(2) 活塞销相关配合尺寸的检查

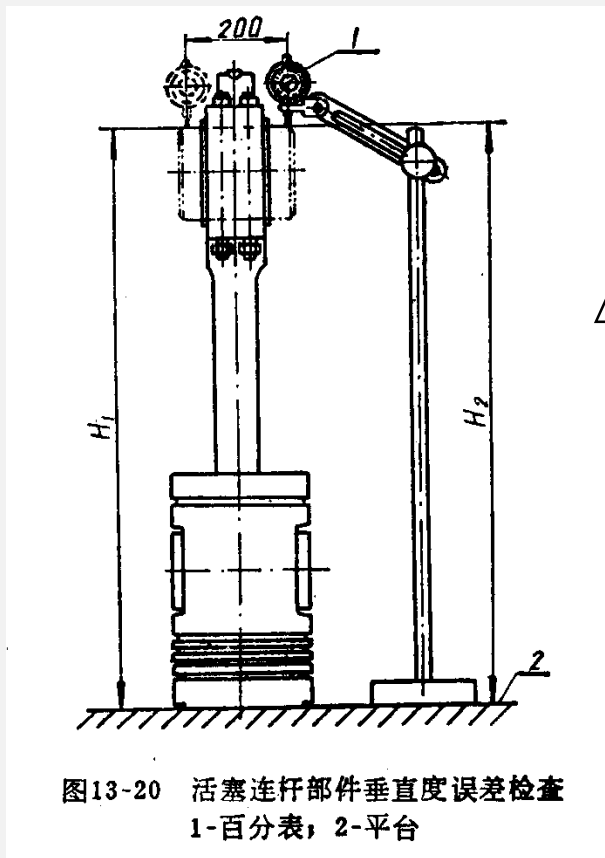
活塞销与连杆小端衬套按F8/h6加工，表面粗糙度分别为 $Ra0.4\mu m$ 和 $Ra0.8\mu m$ 。当活塞直径为100~125mm时，其与连杆小端衬套的装配间隙为0.13~0.15mm；与销孔轴承的装配间隙为0.10~0.12mm（浮动式活塞销）或过盈量为0.01~0.015mm（固定式活塞销）。

(3) 活塞销的其它相关配合要求

活塞销与连杆小端衬套和销孔轴承的孔内表面应均匀接触，两者的接触角分别为 $60^\circ \sim 90^\circ$ 。

(3) 活塞连杆部件装配后的检查

- 衬套孔轴线与连杆大端轴承孔轴线的平行度误差，在垂直面内应 $\leq 0.1/1000$ ，在水平面内应 $\leq 0.15/1000$ 。
- 轴承孔轴线与活塞轴线应垂直和相交，其垂直度误差在应 $\leq 0.15/1000$ ；其位置度误差应 $\leq 0.4\text{mm}$ 。



$$\Delta = \frac{H_2 - H_1}{200} \times 1000 (\text{mm} / \text{m})$$

活塞连杆部件装配后的检查

(1)连杆小端衬套压入装配后的要求：

连杆小端衬套压入装配后，衬套孔轴线与连杆大端轴承孔轴线的平行度误差，在垂直面内应 $\leq 0.1/1000$ ，在水平面内应 $\leq 0.15/1000$ 。

(2)活塞销轴承压入活塞销座孔后的要求：

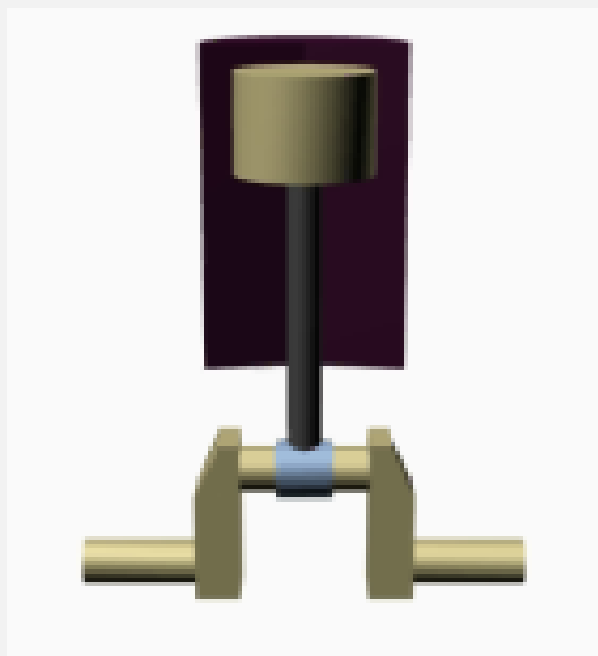
活塞销轴承压入活塞销座孔后，轴承孔轴线与活塞轴线应垂直和相交，其垂直度误差在应 $\leq 0.15/1000$ ；其位置度误差应 $\leq 0.4\text{mm}$ 。

当连杆小端衬套和活塞销轴承均压入并符合上述要求后，即可将连杆和活塞装成一个整体部件。装配后，一般不再检查其相互位置精度，如有怀疑时，可检查连杆大端轴承孔的轴线与活塞轴线的垂直度。

2. 活塞连杆部件装入气缸的校中

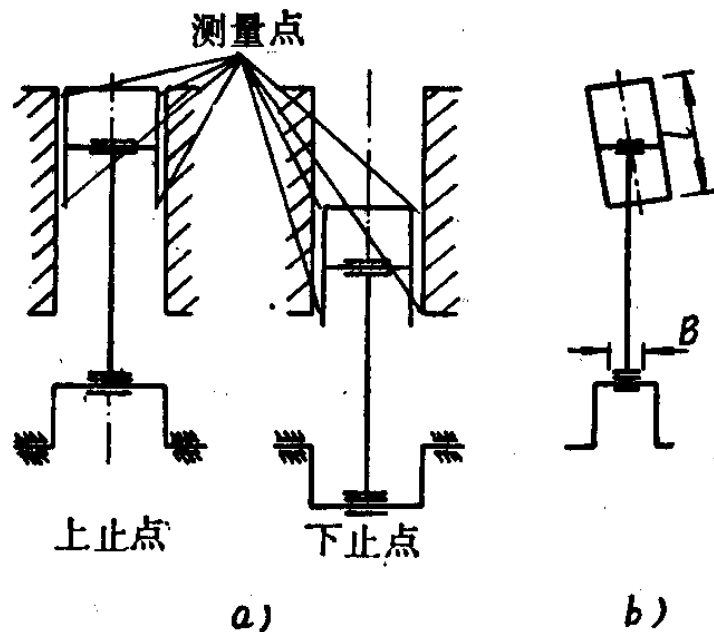
(1) 活塞连杆部件装入

先将连杆大端轴承半块拆下，并将待校中的相应的曲柄销转至上止点位置，然后将**未装活塞环的活塞连杆部件**从气缸上部吊入气缸中，并使连杆大端上轴瓦与曲柄销贴合，接着装上连杆大端轴承下块，并调好径向间隙。



(2) 活塞连杆部件校中工艺

- 将活塞转至**上止点**位置，在纵向和横向相互垂直的**四个部位**，用**塞尺**检查**活塞**顶部和裙部与**气缸之间**间隙。
- 将活塞转至**下止点**位置，重复上述的检查内容。
- 检查**曲柄销轴承两端面与曲柄臂之间的轴向间隙**，应保持有相等的间隙值。



活塞与气缸间的间隙检查

当活塞连杆部件装配合格后，即可将其装入气缸。这时先将连杆大端轴承半块拆下，并将待校中的相应的曲柄销转至上止点位置，然后将未装活塞环的活塞连杆部件从气缸上部吊入气缸中，并使连杆大端上轴瓦与曲柄销贴合，接着装上连杆大端轴承下块，并调好径向间隙。用上述方法，将所有活塞连杆部件都装上，并和曲轴连接起来。

校中工艺

(1)将活塞转至上止点位置，用塞尺插入活塞与气缸之间，检查两者之间的装配间隙，测量应在柴油机纵向和横向相互垂直的四个部位，并在活塞顶部和裙部两处进行。根据测量结果，便能确定活塞在上止点位置时活塞连杆运动部件在气缸内是否对中。

(2)将活塞转至下止点位置，重复上述的检查内容，根据测量结果，便能确定活塞在下止点位置时活塞连杆运动部件在气缸内是否对中。

当对活塞连杆运动部件在气缸内进行校中检查的同时，应注意活塞与气缸间的间隙值，活塞与气缸间的装配间隙应符合规定。

活塞与气缸的装配间隙(mm)

表13-3

气缸直径	铸铁及铝合金活塞顶部间隙		四冲程活塞裙部间隙		二冲程活塞 裙部间隙
	顶部有冷却	顶部无冷却	铸铁活塞	铝合金活塞	
>150~175	1.00~1.16	1.20~1.40	0.18~0.21	0.32~0.38	0.24~0.28
>175~200	1.16~1.32	1.40~1.60	0.21~0.24	0.38~0.44	0.28~0.32
>200~225	1.32~1.48	1.60~1.80	0.24~0.27	0.44~0.50	0.32~0.36
>225~250	1.48~1.64	1.80~2.0	0.27~0.30	0.50~0.56	0.36~0.40
>250~275	1.64~1.80	2.0 ~2.20	0.30~0.33	0.56~0.62	0.40~0.44
>275~300	1.80~1.96	2.20~2.40	0.33~0.36	0.62~0.68	0.44~0.48
>300~325	1.96~2.12	2.40~2.60	0.36~0.39	0.68~0.76	0.48~0.52
>325~350	2.12~2.28	2.60~2.80	0.39~0.42	0.76~0.82	0.52~0.56
>350~375	2.28~2.44	2.80~3.0	0.42~0.45		0.56~0.62
>375~400	2.44~2.60	3.0 ~3.20	0.45~0.48		0.62~0.66

当活塞裙部外圆或气缸内孔有圆度和圆柱度误差时，活塞与气缸的装配间隙应按活塞裙下部外圆最大直径或按气缸内孔最小直径计算，且这时间隙应选取下限值。否则机器在运转中间隙值增大过快，影响其使用寿命。

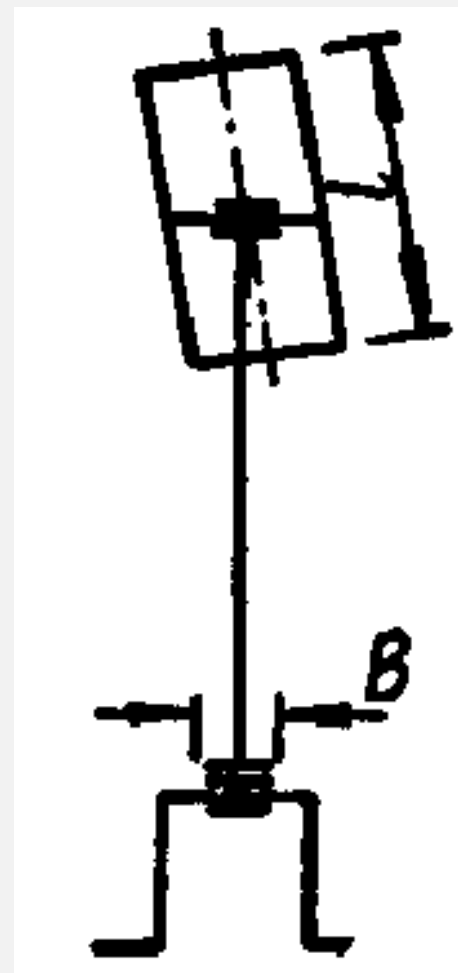
活塞连杆运动部件在气缸内装配校中时，必须符合下述两项要求：

- (1)在未装活塞环的条件下，活塞在近上、下止点位置时，活塞裙部与气缸内孔的最小间隙应不小于总间隙的25%。
- (2)活塞在气缸内沿柴油机纵向方向允许平行偏在一边，当向另一边撬动活塞时，偏移量应能立即转移到对边。若撬动活塞时偏移量不能立即转移过去，或迅速弹回，则要检查其原因，并予以消除。

此外，活塞在气缸内沿柴油机纵向方向的任何位置时的倾斜不宜过大。对于气缸直径小于350mm者，活塞的倾斜不应超过0.2/1000；而气缸直径大于350mm者，活塞的倾斜不应超过0.1/1000。

(3) 活塞倾斜的修正

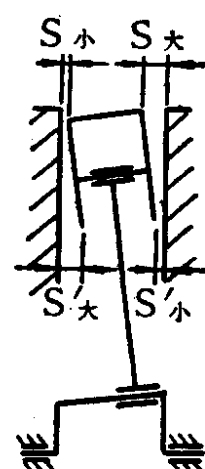
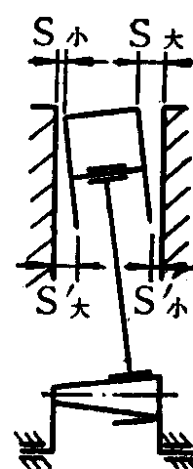
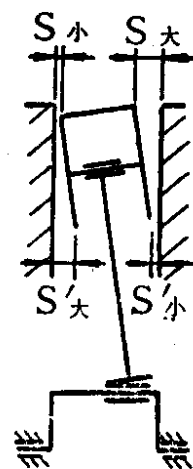
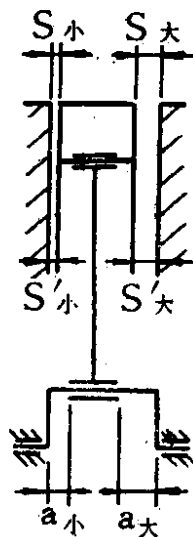
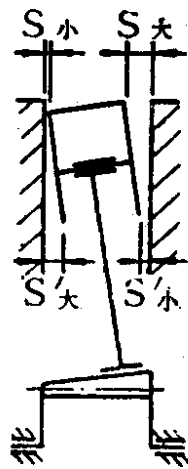
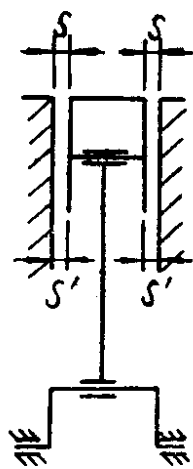
- 通常采用修铰连杆大端与曲柄销轴承结合面，或研刮曲柄销轴承的耐磨合金表面的方法进行修正。
- 若倾斜很大或用上法不能修正时，则必须吊出活塞连杆运动部件，重新校正消除误差。
- 必要时还应检查气缸轴线与曲轴轴线的垂直度，检查曲柄销轴线与曲轴轴线的平行度等。



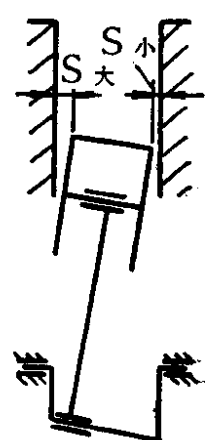
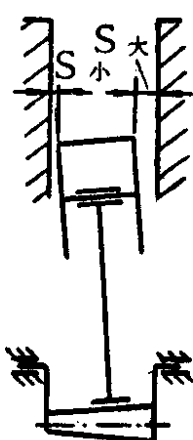
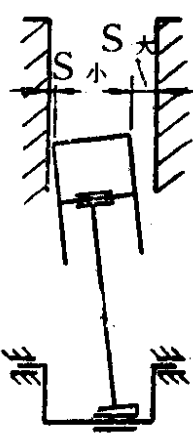
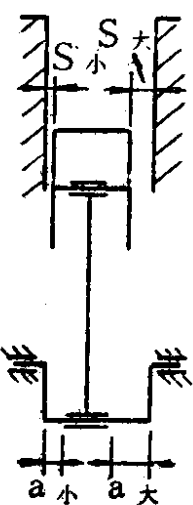
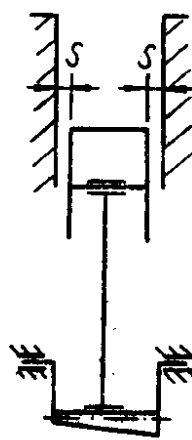
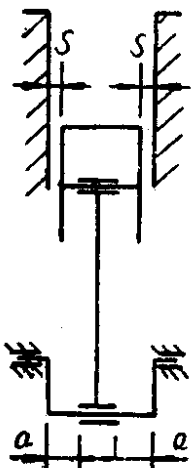
当活塞的倾斜超过上述允许值时，应设法予以修正。通常可采用修锉连杆大端与曲柄销轴承结合面，或研刮曲柄销轴承的耐磨合金表面的方法进行修正。因为活塞长度 l 与连杆大端结合平面宽度 B 或轴承宽度之间的比值较大，对这些表面作微量研刮，就可以修正活塞在气缸内较大的倾斜。

若倾斜很大，或用上法不能修正时，则必须吊出活塞连杆运动部件，重新校正和消除连杆大、小端轴线的平行度误差以及活塞销孔轴线与活塞轴线的垂直度误差。必要时还应检查气缸轴线与曲轴轴线的垂直度，检查曲柄销轴线与曲轴轴线的平行度等。

上止点位置



下止点位置



a)

b)

c)

d)

e)

f)

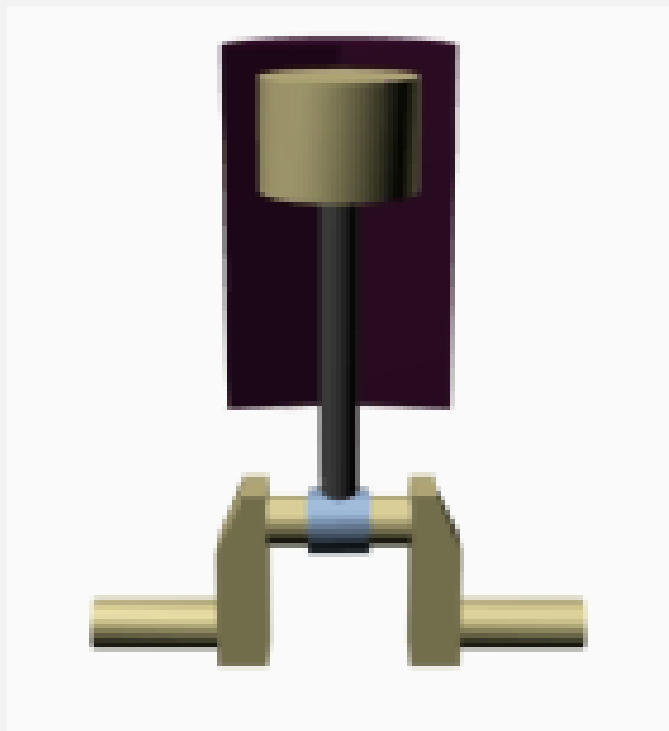
活塞在气缸中倾斜的各种情况

活塞在气缸中倾斜的各种情况

3. 活塞连杆部件的安装

(1)初步检查调整压缩室高度：

- 将活塞转至上止点位置，直接测量气缸套上平面和活塞顶部上边缘之间的距离，再利用气缸盖止口高度尺寸通过计算求得。
- 用增减连杆大端结合面之间的垫片来调整，或者用气缸盖垫片来调整。



当活塞连杆运动部件在气缸内校中全部合格以后，还必须做好如下几项工作：

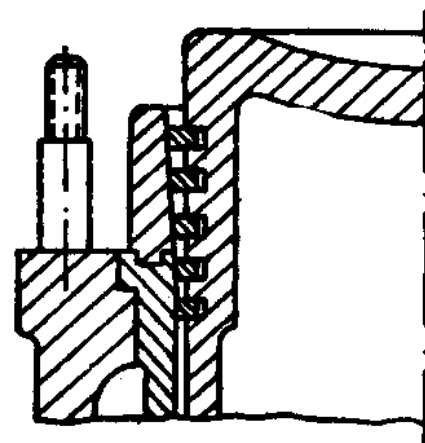
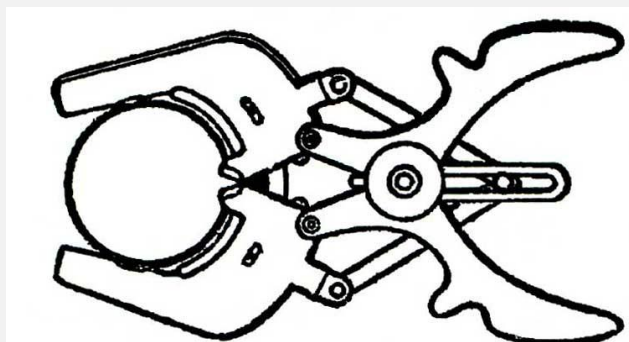
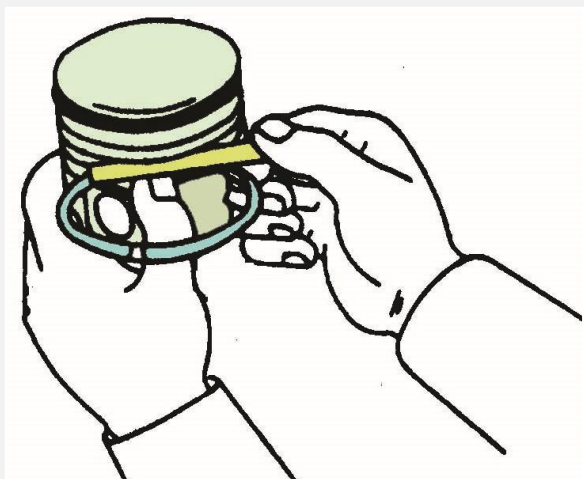
(1)初步检查调整压缩室高度

通常压缩高度是指活塞在上止点位置时其顶部和气缸盖底面之间的距离。检查时，可将活塞转至上止点位置，直接测量气缸套上平面和活塞顶部上边缘之间的距离，再利用气缸盖止口高度尺寸通过计算求得。

其实际尺寸与图纸规定尺寸之间的误差，可用增减连杆大端结合面之间的垫片来调整，或者用气缸盖垫片来调整。

(2)装入活塞环

- 将活塞连杆部件从气缸中吊起，然后用三根楔铁或钳子等工具将活塞环依次引入活塞环槽中（环开口位置错开），同时用塞尺检查活塞环端面与环槽之间的端面间隙。
- 用内孔成锥形的短套筒将带活塞导入气缸内。



(2)装入活塞环

先将活塞连杆部件从气缸中吊起，然后用三根楔铁或钳子等工具将活塞环依次引入活塞环槽中，同时用塞尺检查活塞环端面与环槽之间的端面间隙。

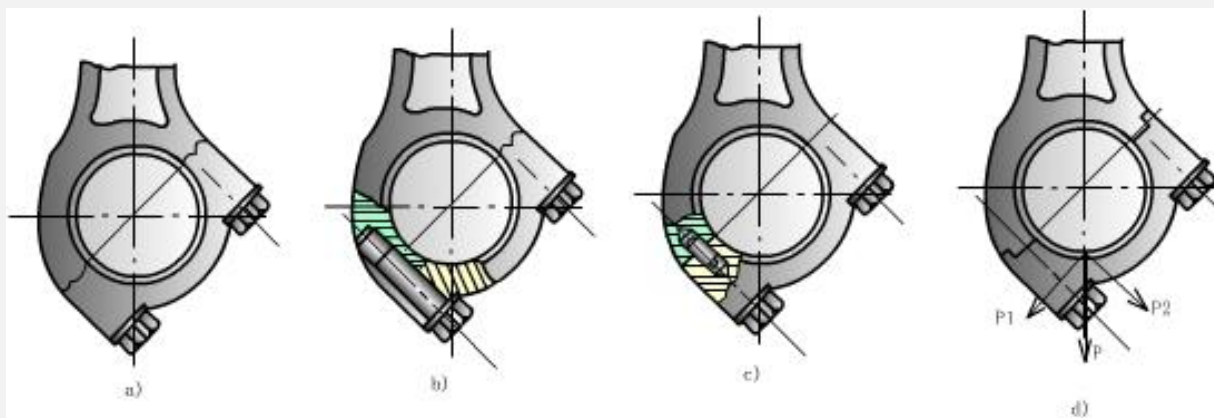
装入活塞环时必须注意将活塞环开口位置错开，以免漏气太甚。对二冲程柴油机还必须注意活塞环的开口不要与气口相合，以免导致活塞环折断，造成机器发生故障。

安装油环时，必须注意将其刮油锐角边向下，若其锐角边向上，则将产生泵油作用，润滑油消耗增大，并失去油环作用。

装好活塞环后，可采用内孔成锥形的短套筒将带活塞环的活塞很容易地导入气缸内。然后再在连杆大端轴承接合面装入垫片、装上轴承下盖后，与曲柄销连接起来。

(3)测量连接螺栓的装配原始长度

连杆螺栓应按规定的扭紧力矩用扭力扳手拧紧，拧紧后应测量其装配原始长度，并作好记录。



(4)检查曲轴的臂距差

将检查结果与未装活塞连杆运动部件时臂距差值进行比较，视其有无变化。一般变化范围约为0.01~0.03mm。

(5)最后检查和装配

为了保证运动部件装配可靠和牢固，应作最后检查。

将连杆螺栓的制动垫圈、开口销、或止动螺钉等防松零件装妥。

(3)测量连接螺栓的装配原始长度

连杆螺栓应按规定的扭紧力矩用扭力扳手拧紧，拧紧后应测量其装配原始长度，并作好记录，以便柴油机运转一定时间后，在决定螺栓的塑性形的大小时可以参考。通常连杆螺栓塑性变形达到一定数值后即认为该螺栓必须换新。

(4)检查曲轴的臂距差

将检查结果与未装活塞连杆运动部件时臂距差值进行比较，视其有无变化。一般情况下，曲轴臂距差值受运动部件重量的影响以后稍有变化，变化范围约为 $0.01\sim 0.03\text{mm}$ ，不致使臂距差严重恶化。但若其变化甚大时，则应仔细检查并设法纠正。

(5)为了保证运动部件装配可靠和牢固，应作最后检查，并将连杆螺栓的制动垫圈、开口销、或止动螺钉等防松零件装妥，以免机器运转时发生意外事故。

六、气缸盖和配气机构的装配

Assembly of cylinder head and air inlet and outlet device

1. 气缸盖装配

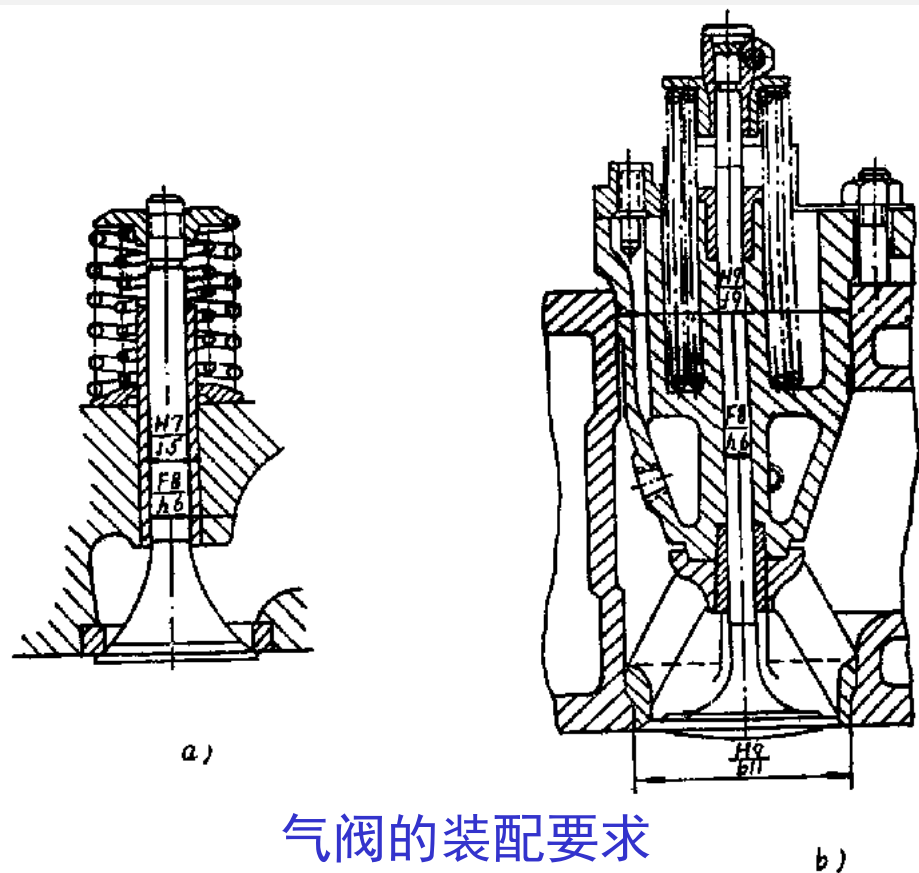
必须经液压试验合格后，再装配气缸盖部件。

(1) 气阀导管安装

气门导管与导管孔： $H7/js6$ ；

气门壳外圆与座孔： $Hg/f9$ ；

气门杆与导管内孔： $F8/h6$ 。



气阀的装配要求

气缸盖装配包括部件装配（即在气缸盖上装配气门机构、喷油器及摇臂机构等）以及气缸盖装到机体上两部分工作。

在气缸盖部件装配时，必须经液压试验合格后，再在其上装配气门及其他部件。

(1) 气阀导管安装

气门机构装配时，气门导管与导管孔的配合应按H7/js6；而气门壳外圆与座孔的配合应按Hg/f9；气门杆与导管内孔的配合应按F8/h6。

气门杆与导管内孔的装配间隙不宜过大或过小。间隙过大将导致气门及气门座面磨损加剧；间隙过小将影响气门的正常工作，严重时甚至出现气门杆咬死现象。因此，在装配气门时必须进行选配。

*气缸盖和配气机构

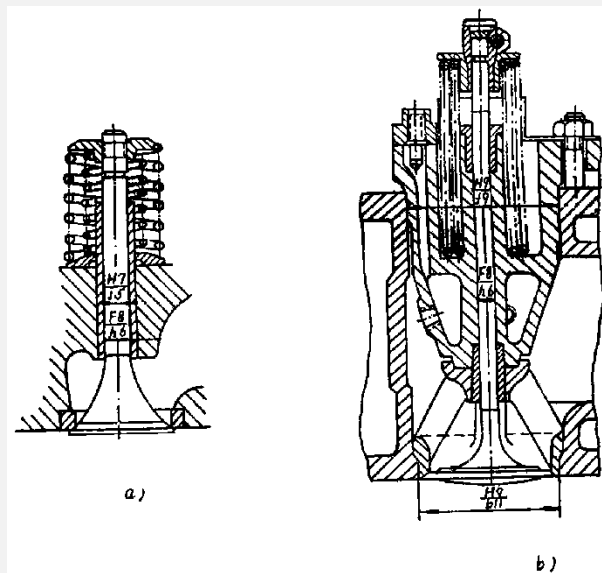


(2)气阀的研磨

- 锥形工作面接触宽度：1.5~3.0mm。一般不需研磨。
- 对研：加入少量细研磨膏和机油。

(3)喷油器安装

应注意喷油器座孔内的紫铜垫圈厚度。垫圈的厚度过大，喷油器位置升高；垫圈厚度过薄，喷油器位置降低。



(2)气阀的研磨

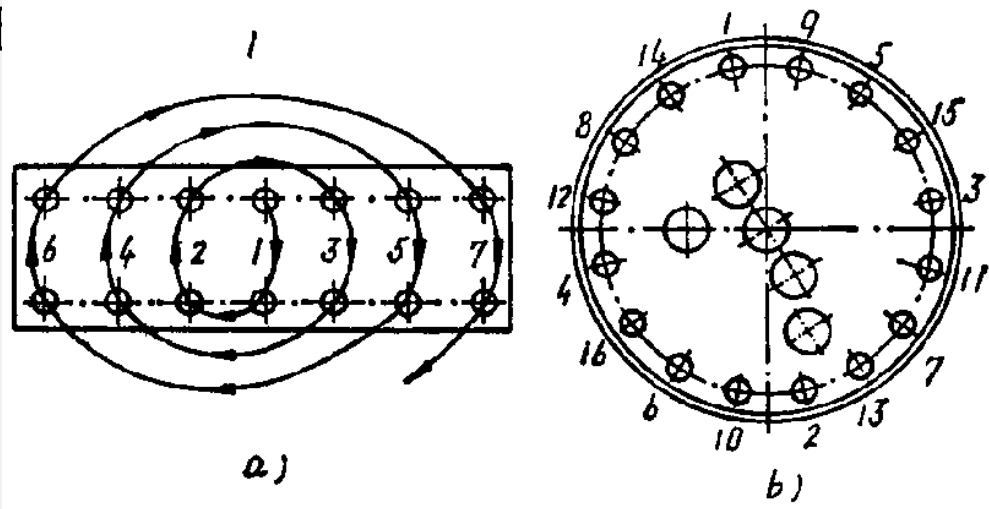
为了促使排气门关闭时能气密，气门盘锥形工作面与气门座面应有良好的贴合环带，两者的锥形工作面接触宽度通常在1.5~3.0mm之间。它是由加工精度来保证的，装配时一般不需研磨。但如果接触宽度不合要求，或局部接触不良，则在装配气门时应稍加研磨。这时是采用气门锥形面与气门座面进行对研的方法来达到的。研磨时应在其间加入少量细研磨膏和机油。

(3)喷油器安装

喷油器安装时应特别注意喷油器的装配高低位置，即应注意喷油器座孔内的紫铜垫圈厚度。垫圈的厚度过大，喷油器位置升高，将使喷射油束远离活塞中心而落到活塞的边缘甚至喷射到气缸壁上；垫圈厚度过薄，喷油器位置降低，喷射油束集中在活塞的中心。这两种情况都是不正常的，将使燃烧恶化，机器动力不足，严重时甚至引起咬缸故障。

(4) 气缸盖装到机体上

- 装紫铜垫圈垫圈，将气缸盖装上机体，拧紧螺母；
- 气缸盖装上机体后应保证压缩室高度（压铅块方法）；
- 气缸盖与机体上面的结合面之间应保持良好的气密；
- 应注意气缸盖螺母的拧紧次序。



气缸盖螺母的拧紧次序

气缸盖装到机体上

气缸盖部件装配好后，即可将其装配到机体上。其装配的主要技术要求是：

(1)气缸盖装上机体后应保证压缩室高度符合设计要求，否则将直接影响柴油机的压缩比；

(2)气缸盖与机体上面的结合面之间应保持良好的气密。

压缩室高度的检查通常用压铅块方法：

在活塞顶上放置比压缩室高度值稍厚的铅块2~3块，装上紫铜垫圈或石棉紫铜垫圈，将气缸盖装上机体，拧紧若干螺母，然后转动曲轴使活塞经过上止点位置。拆下气缸盖，取出被压扁的铅块，用游标卡尺测量铅块的厚度，取其平均值即为压缩室高度。此数值不应超过规定值的5%。

必须指出，在选取气缸盖与机体之间的垫片时，应严格按图纸规定的尺寸要求，并考虑垫圈的压缩变形量。若垫圈的厚度过厚，则使压缩室高度增大，致使压缩比减小；反之，则增大了压缩比。压缩室高度值根据不同机型有所不同。例如，135系列柴油机为1~1.4 mm，300系列柴油机为11.5~13.5mm。

气缸装配时，应注意气缸盖固定螺母的拧紧次序，使其受力均匀。对于多缸式气缸盖，应自其中部开始，按对称方向逐个向两端分三次逐渐地轮流拧紧。单体式气缸盖，应先拧四角，然后逐次对称地分2~3次逐渐地轮流拧紧。拧紧次序不正确必然会造成气缸盖与机体的连接平面受力不均匀，甚至扭曲变形，导致气缸由此向外漏气。

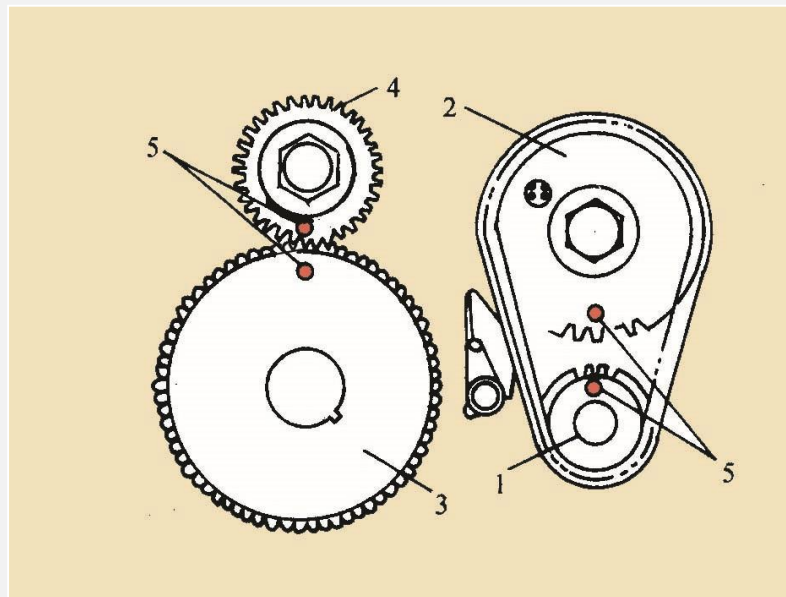
必须注意的是，拧紧气缸盖螺母时，螺母所需的拧紧程度，即拧紧力矩应该符合柴油机技术文件中规定的扭矩要求。

2. 配气机构的装配

- 包括气门、凸轮轴、顶头和推杆、摇臂等机件的装配。配气机构装好后，应检查和调整配气机构的正时刻。
- 凸轮轴的轴线应与曲轴轴线平行度误差 $\leq 0.10 \sim 0.20/1000$ ；
- 凸轮轴轴颈与轴承内孔的配合可按H7/f7。
- 每个凸轮相对于键槽的安装角度误差一般应小于 $\pm 5^\circ$

(1) 凸轮轴平行度

- 保证传动齿轮的正确啮合和凸轮工作面的正常工作。
- 用百分表或压铅丝的方法，顺次地检查传动齿轮啮合时全齿宽上的齿侧间隙。



配气机构的装配包括气门、凸轮轴、顶头和推杆、摇臂等机件的装配。下面着重介绍凸轮轴的装配工作。

- 1、凸轮轴装配的主要技术要求
- 2、凸轮轴装配

凸轮轴装配的主要技术要求是：

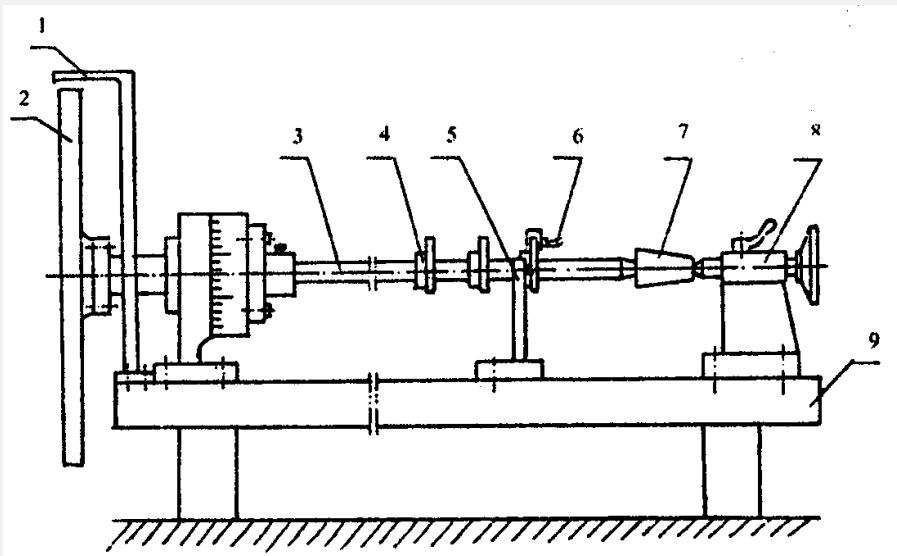
- (1)凸轮轴的轴线应与曲轴轴线平行，以保证传动齿轮的正确啮合和凸轮工作面的正常工作。其平行度误差通常 $\leq 0.10 \sim 0.20/1000$ ；
- (2)凸轮轴轴颈与轴承内孔的配合可按H7/f7。

凸轮轴装配

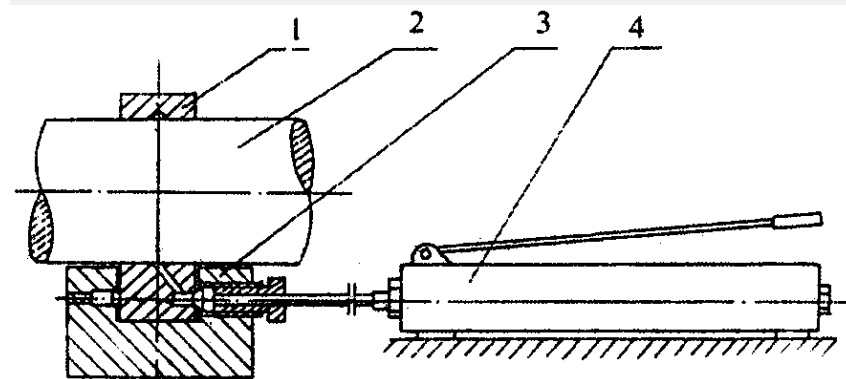
凸轮轴轴线与曲轴轴线的平行度，可通过测量和调整传动齿轮间的啮合间隙的方法来实现。这时先检查各齿轮装在有关轴上的位置是否正确，然后由曲轴齿轮开始到凸轮轴齿轮，用百分表或压铅丝的方法，顺次地检查传动齿轮啮合时全齿宽上的齿侧间隙。

(2) 凸轮轴凸轮安装角度

分为有键连接和无键连接(主要用液压套合);



凸轮相位检查台



凸轮相位调整液压工具

液压工具通过夹头和油管接头3使凸轮油孔与油泵4连接。揿动油泵手柄时即可给凸轮油孔加压，压力达到160~180 MPa左右凸轮即与刻度盘轴相对转动。在校验凸轮相位时，同时用定位环复校凸轮轴向位置，校正好以后则除去液压工具，移开固定支架。然后依次检验其他凸轮。

当测量间隙时，应盘车将曲轴转到几个位置上分别进行测量。最后按齿轮的啮合间隙，用刮研凸轮轴轴瓦的方法，调整凸轮轴轴线位置。通常传动齿轮的啮合间隙为 $0.10\sim 0.20\text{mm}$ ，例如：200系列柴油机的传动齿轮的啮合间隙为 $0.10\sim 0.20\text{mm}$ ；300系列柴油机为 $0.08\sim 0.20\text{mm}$ ；350系列柴油机为 $0.15\sim 0.20\text{mm}$ 。它与齿轮模数和齿数有关。

组合式凸轮轴分为有键连接和无键连接两种，目前主要用液压套合无键连接的结构。装配的主要要求是保证凸轮的轴向位置和凸轮之间的相位关系；每个凸轮相对于键槽的安装角度误差一般应小于 $\pm 5^\circ$ ；具有正、倒车凸轮的凸轮轴装配时还应使同一凸轮的正、倒车轮廓误差均分，若误差较大时则保证正车有较小的误差。

(1) 凸轮红套

凸轮与凸轮轴采用过盈配合，如300型柴油机过盈量为 $0.07\sim 0.095\text{mm}$ 。红套前清洗凸轮轴及凸轮并用压缩空气吹过，以达到清洁的目的，然后把凸轮轴放置在装配支架上。凸轮放在箱式电炉内，并把温度升至 280°C ，并保温一段时间，以求加热均匀。再取出依次套到凸轮轴上。凸轮的轴向尺寸由定位环控制。

(2)凸轮相位的调整

首先，要按照凸轮轴部件图编制凸轮装配卡片，以凸轮轴键槽为基准确定各凸轮的安装角度以及根据气阀开闭时间、喷油开始与終了时间确定各凸轮上、下止点相位角度，以备检验之用。如300Zcd-1型柴油机第一缸进气凸轮安装角为 303.5° ，上止点相位角为 180° ，固定支架在左侧等等。

液压工具通过夹头和油管接头3使凸轮油孔与油泵4连接。揿动油泵手柄时即可给凸轮油孔加压，压力达到160~180 MPa左右凸轮即与刻度盘轴相对转动。在校验凸轮相位时，同时用定位环复校凸轮轴向位置，校正好以后则除去液压工具，移开固定支架。然后依次检验其他凸轮。

最后用百分表检验各凸轮的上、下止点相位角及正、倒车凸轮相位误差，并测量第六缸喷油凸轮升程1mm时（开始喷油点）的安装角度，算出喷油提前角记录在卡片上，供凸轮轴总装时参考。

凸轮轴装好后，便可装配配气机构的其他零件（如气门摇臂、顶头或滚轮装置、推杆等），配气机构装好后，应检查和调整配气机构的正时刻。

练习思考题

- 影响装配的精度因素有哪些？
- 装配时，完全互换装配法、不完全（大数）互换法、直接选配法、直接选配法、分组选配法、修配法、调整法的含义是什么？
- 对于柴油机喷油针阀偶件，应该采用怎样的装配方法？请说明理由。
- 完全互换装配法优点是什么？此时解尺寸链的基本要求是什么，组成环的公差如何计算？
- 概述装配尺寸链的几种解法。
- 装配方法有哪几种，各有什么特点？
- 分组选择装配法、部分互换装配法、修配法，在解决尺寸链的方法上有何不同？
- 装配的组织形式有哪几种？请简要加以介绍。
- 叙述筒形活塞柴油机的装配工艺过程。



第七章 现代制造工艺及管理

Chapter 7 modern manufacturing technology and management

目录

第一节 成组技术

第二节 计算机辅助工艺过程设计

第三节 现代机械制造系统和模式简介



第三节 现代机械制造系统和模式

并行工程

敏捷制造技术

智能制造技术 (IMS)

柔性制造系统 (FMS)

精良生产 (LP)

计算机集成制造系统 (CIMS)

绿色制造



一、计算机集成制造 (CIM)

CIM—Compute integrated manufacturing

计算机集成制造: 把人和经营知识及能力, 与信息技术、制造技术综合应用, 以提高制造企业的生产率和灵活性, 由此将企业所有人员、功能、信息和组织诸方面集成为一个整体。

CIM是一种概念、一种哲理。

- (1) 人员集成。
- (2) 信息集成。
- (3) 功能集成。
- (4) 技术集成。

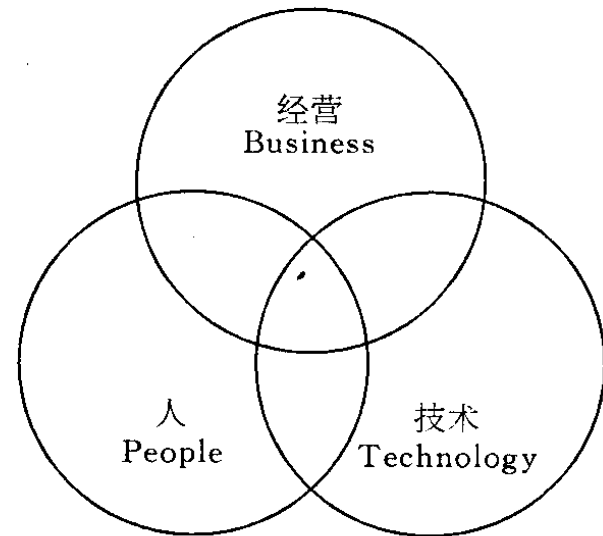


图 2.1 集成概念

计算机集成制造有什么特点？

1. “全局集成规划指导”
2. “逐步实现” 与 “一种进程”
3. “人的集成”



计算机集成制造的构成

两个支撑系统：

- (1) DB（数据库）
- (2) NET（通讯网络）

四个应用分系统：

- (1) MIS
- (2) CAD/CAPP/CAM（工程设计系统）
- (3) QAS（质量保证系统）和
- (4) MAS（制造自动化系统）。

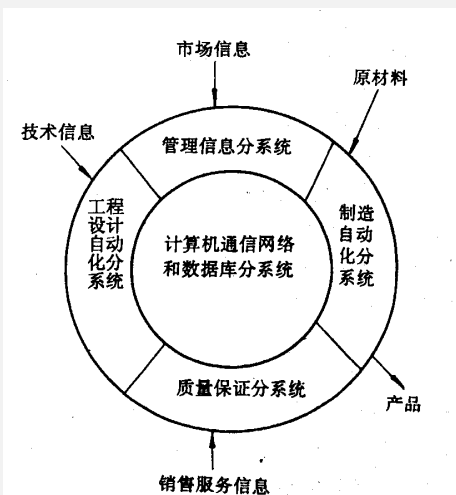
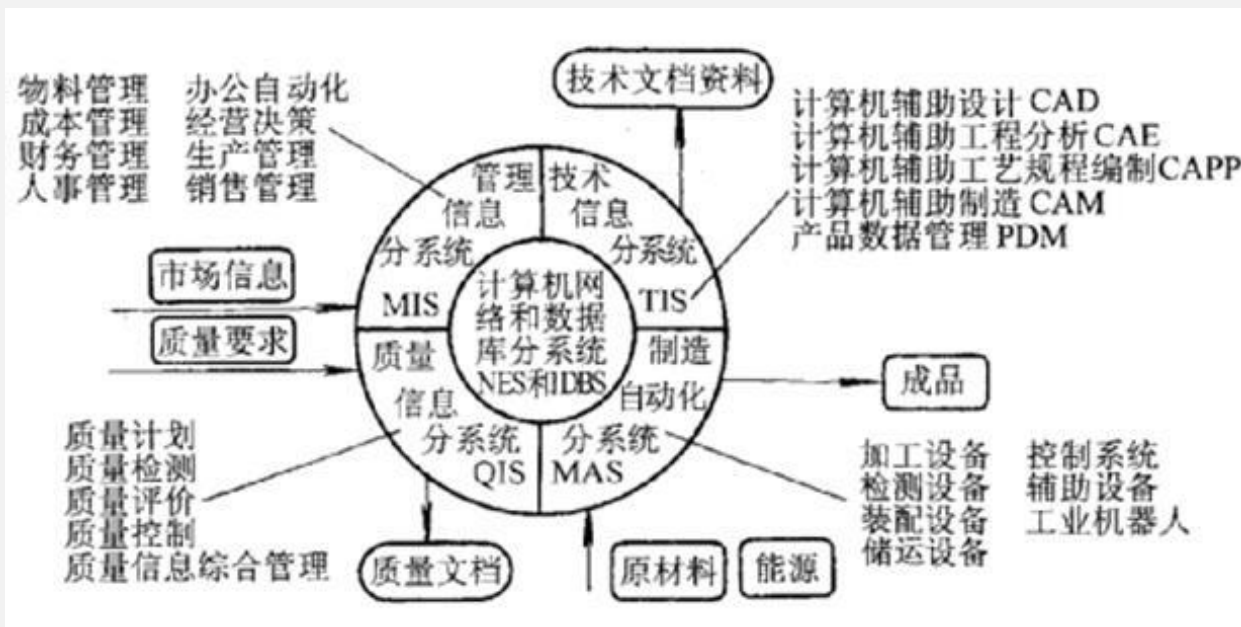
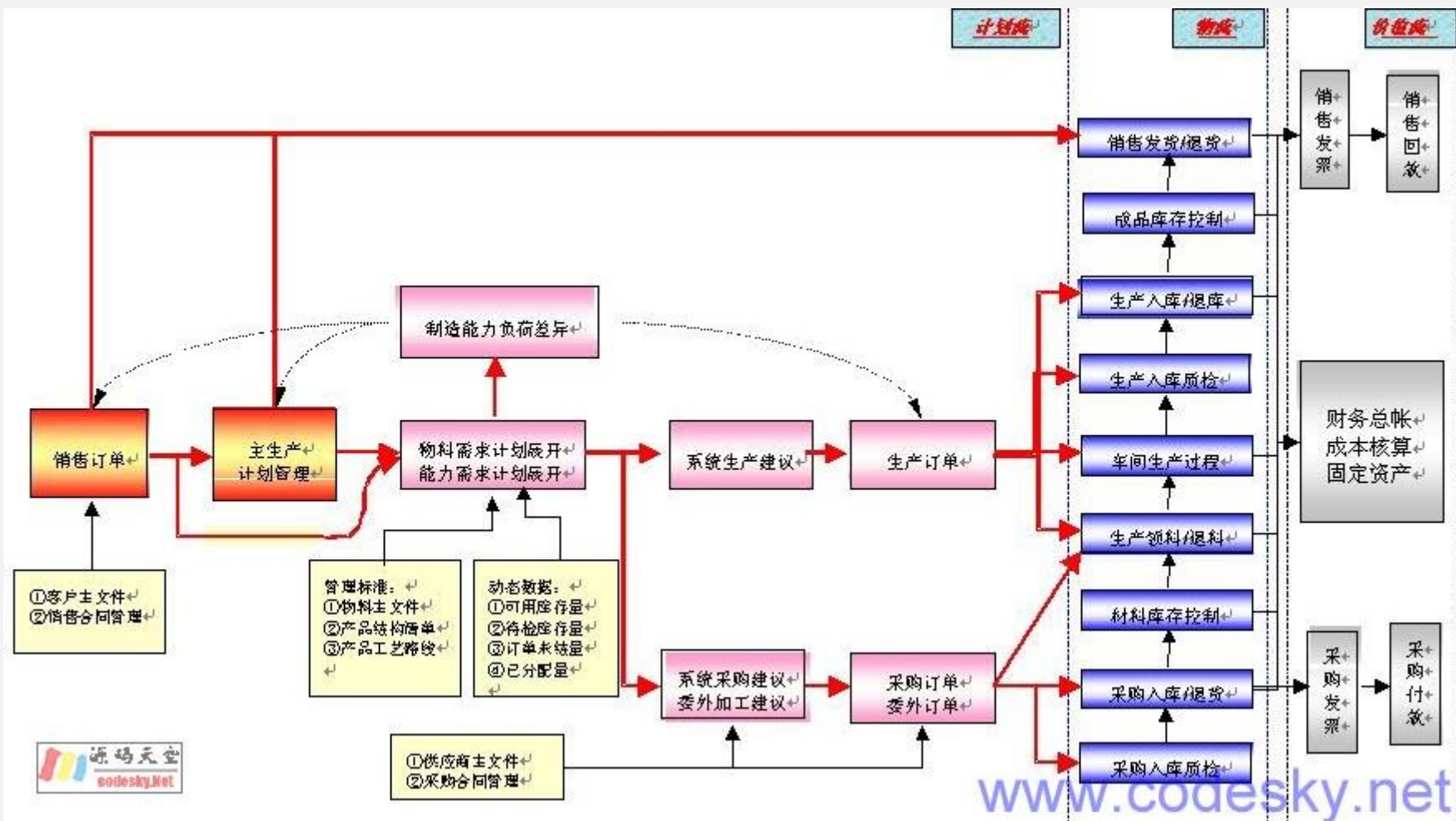


图 2-1 IMPACS 建模框架

*计算机集成制造的实施



二、柔性制造 (FM)

Flexible manufacture system, FMS

1968年英国Molins公司研制成第一条FMS，1975年日本建成第一条功能完备的FMS。

柔性制造：指利用计算机控制系统和物料输送系统，把若干台设备联系起来，形成设有固定加工顺序和节拍的自动化制造系统；当加工完成一个生产任务后，能在不停机调整（或少量调整）的情况下，自动地向下一生产任务转换。

FMS具有哪些主要的特点？

- 高柔性；
- 高效率；
- 高度自动化。



目前柔性制造系统可以分为哪几种类型？

1. 柔性制造单元 (FMC)
2. 柔性制造系统 (FMS)
3. 柔性制造线(FML)
4. 柔性制造工厂(FMF)



柔性制造单元



柔性制造系统



柔性制造线

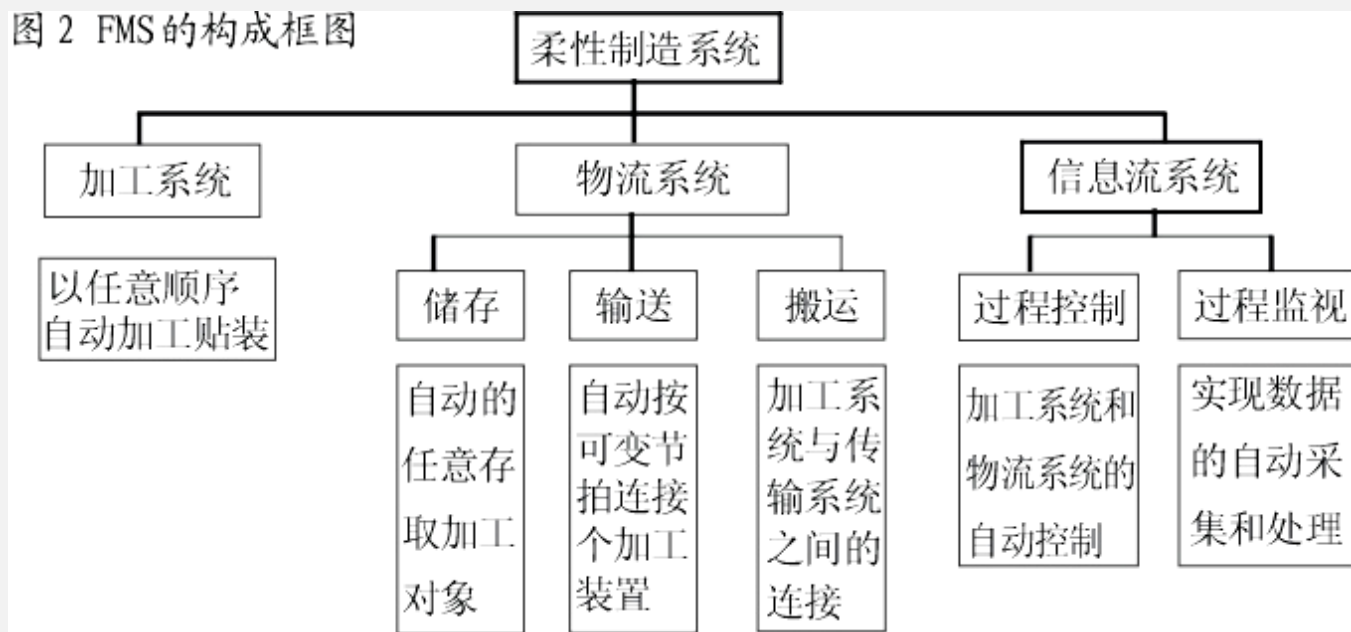


柔性制造工厂

柔性制造系统的基本构成是怎样的？

1. 加工系统：CNC机床、加工中心及辅助设备等
2. 运输系统：零件运输、刀具运输、自动化仓库等
3. 计算机控制硬件系统和软件系统

图 2 FMS 的构成框图



*柔性制造系统的应用实例



大连机床集团柔性制造系统



汽车柔性制造系统



柔性焊接平台



在发动机生产中的柔性制造系统

三、智能制造 (IM)

IMS, Intellectual manufacture system

1989年由日本东京大学Yoshikawa 教授倡导提出的21世纪先进制造技术。

智能制造：通过知识工程、软件制造系统和机器人技术，对工人的技能和专家知识进行建模，能够在无人干预的情况下进行小批量的生产。



智能制造有什么特点？

将人工智能(收集、存储、处理、分析、判断、推理、构思和决策)融入制造过程的各个环节，取代或延伸制造环境中的部分脑力劳动。

1. 自律能力
2. 人机一体化
3. 虚拟现实Virtual reality技术
4. 自组织能力与超柔性
5. 学习与自我优化能力
6. 自我修改能力和强大的适应能力



智能制造的应用领域有哪些？

1. 智能设计
2. 智能机器人
3. 智能调度
4. 智能办公系统
5. 智能诊断
6. 智能控制



四、并行工程 (CE)

Concurrent Engineering, CE

20世纪80年代美国提出并行工程概念

CE: 集成地、并行地设计产品及其相关各种过程（包括制造和支持过程）的系统化方法。

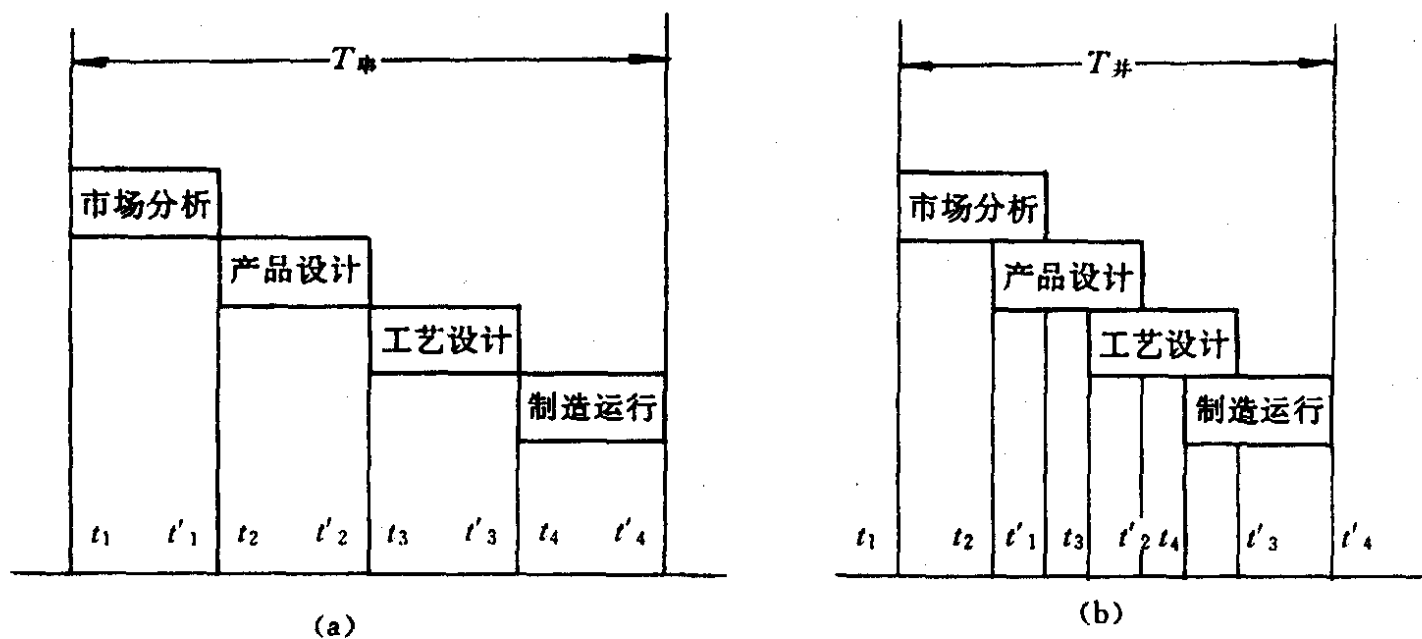


图 2-8 并行工程时序的比较

(a) 串行工程时序 (b) 并行工程时序

并行工程有什么特点？

1. 并行特性
2. 整体特性
3. 协同特性
4. 集成特性

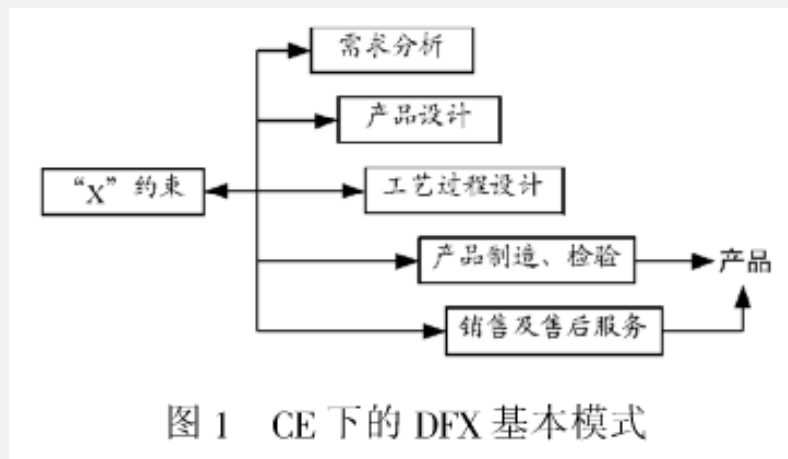


图 1 CE 下的 DFX 基本模式

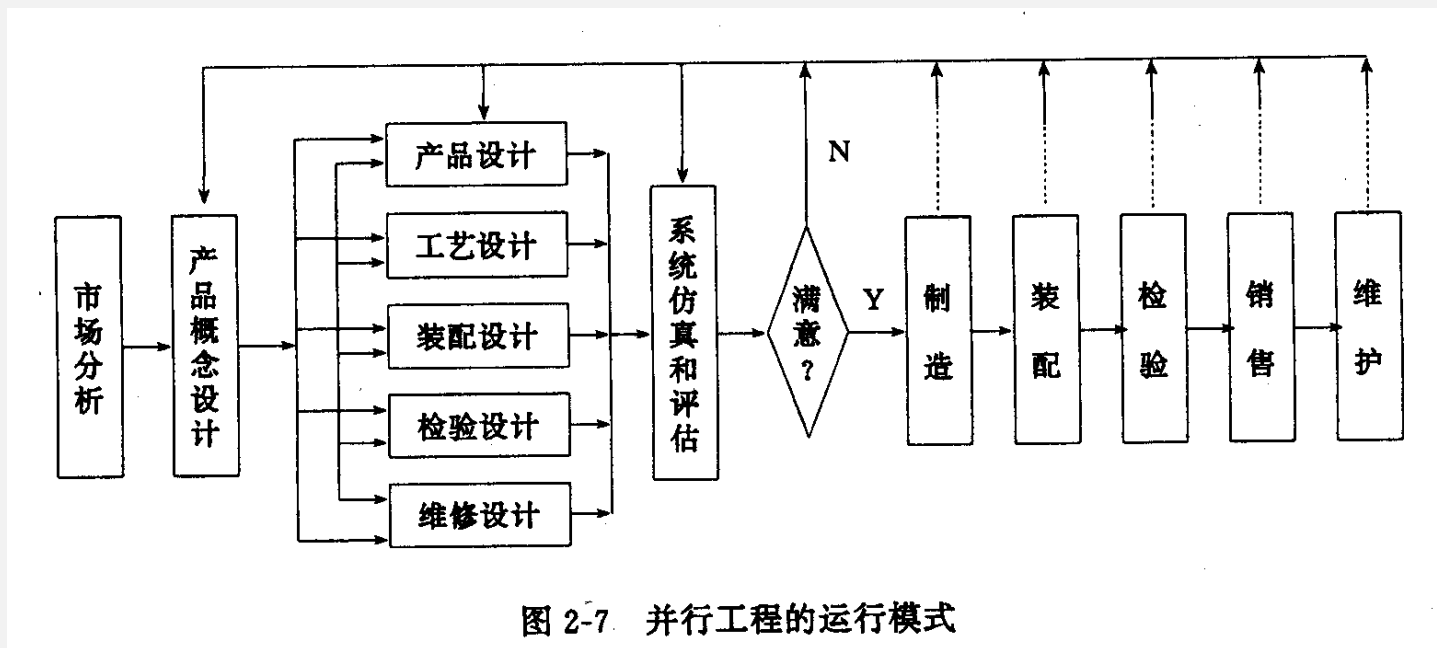


图 2-7 并行工程的运行模式

*并行工程技术的实现

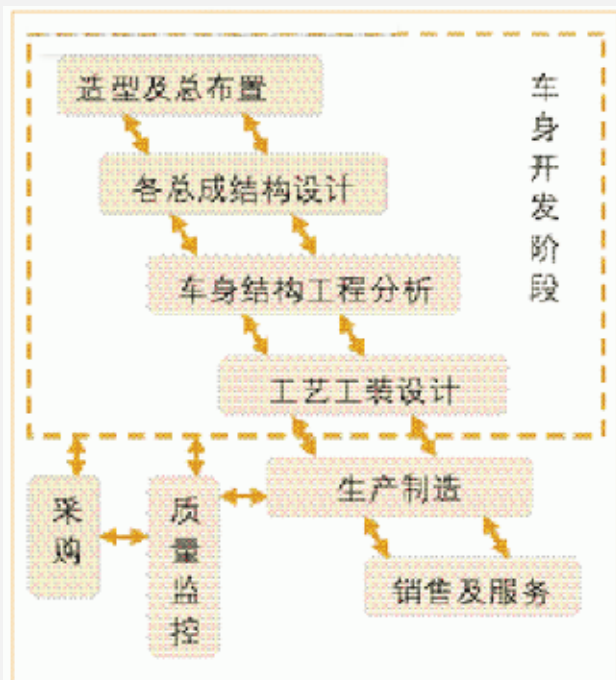
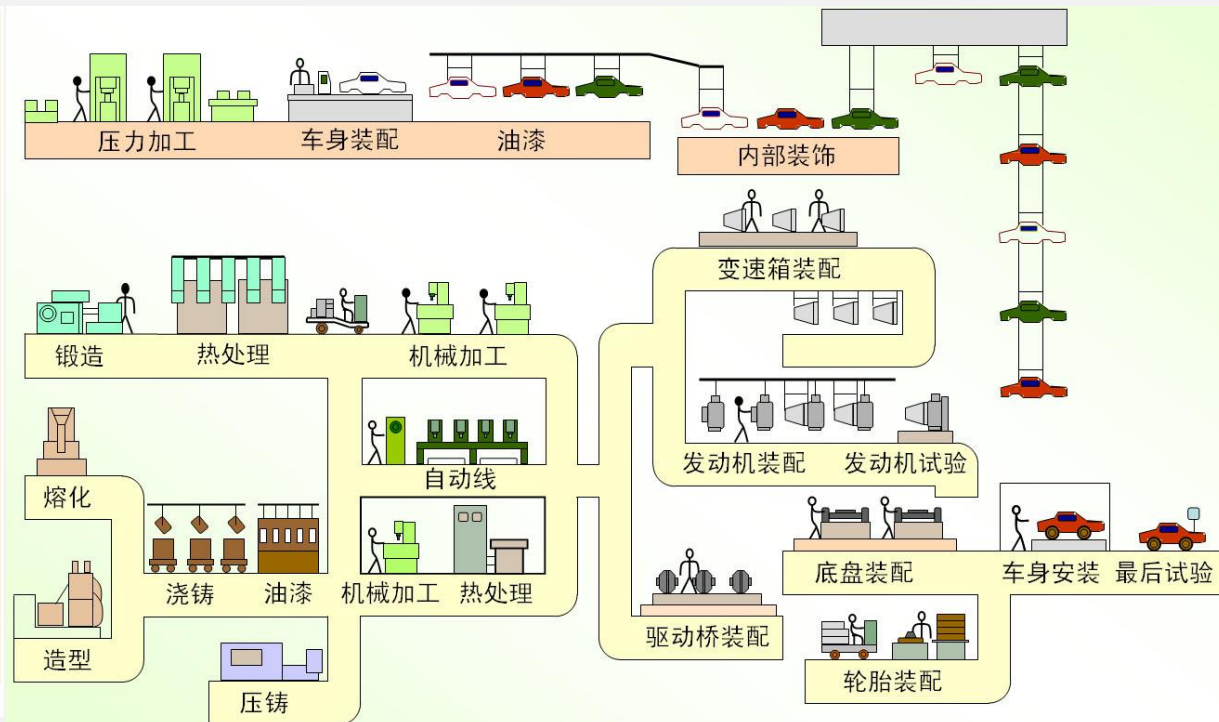


图2 客车车身开发的并行模式



*实施并行工程有什么效果？

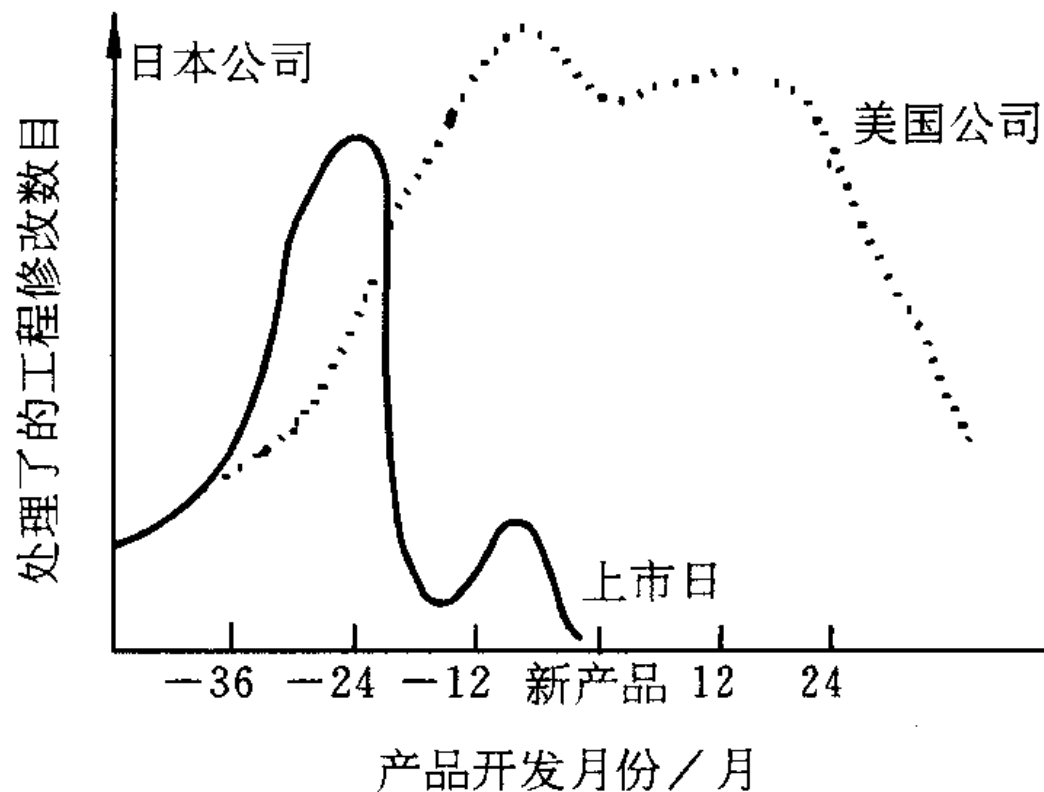


图 5.4 美国和日本汽车行业发生设计修改的情况差别

日本丰田汽车公司的发展和生产方式：“减少一切不必要的活动，杜绝浪费”。

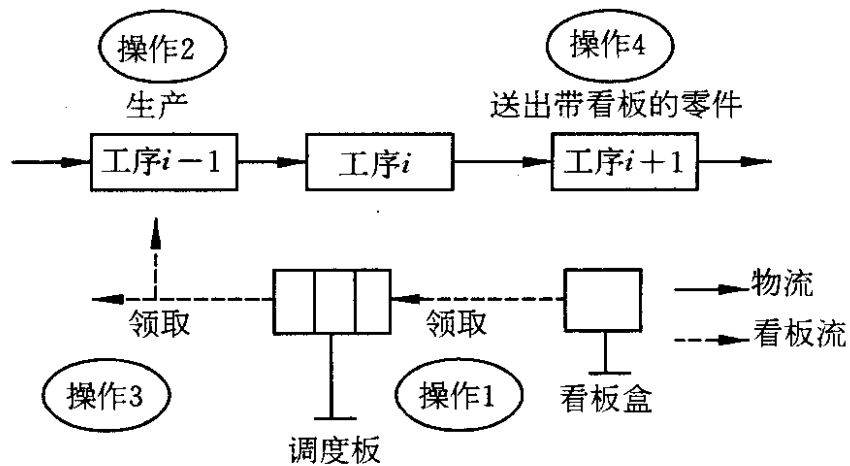
LP: 从生产操作、组织管理、经营方式等各方面，找出一切不能为产品增值（value adding）的活动和人员，加以革除。

精良生产的观念是什么？

1. 浪费包括资源、人力、时间、空间等。减少以致撤销非增值的人员、岗位，彻底消除各种浪费。
2. 修复次品是浪费；过量生产是浪费；
3. 加工过程中浪费；搬运的浪费；库存是浪费；动作的浪费；窝工的浪费。
4. 对效率的看法
5. 激发工人工作主动性的劳资关系。

如何实现精良生产？

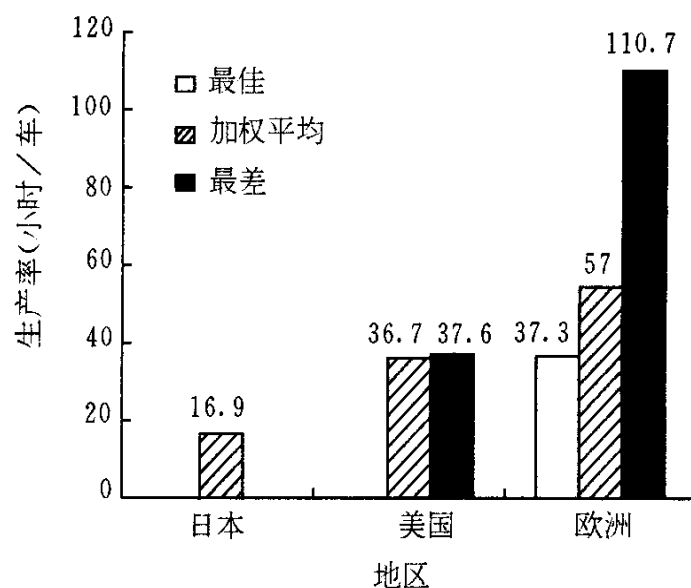
措施一：精良的管理 (Kanban是实现JIT的一种有效的管理手段。)



注：操作 1：当工序 $i+1$ 出现需要时，领取看板并把它放在调度板上。操作 2：当看板放上调度板时，生产活动开始。操作 3：同时，如果在工序 i 也出现需要，这需要被送到工序 $i-1$ 。操作 4：完成了的零件带着看板被送到工序 $i+1$ 。

图 3.2 通用看板系统

措施二：精良的设计(主查(shusa)大项目负责)



新车开发时间(月)
: 日46.2, 美60.4;
人数: 485, 903;
Time to market (月)
: 1, 4

注:“豪华轿车”包括欧洲的“特种轿车生产厂”——本茨,宝马,沃尔沃,萨铂,罗孚,美洲虎,奥迪和阿尔法·罗米欧——和北美的凯迪拉克和林肯厂所生产的轿车,日本豪华轿车包括丰田传奇、丰田克雷西达、马自达 929,这是日本汽车厂商 1989 年为出口而生产的三种最豪华的轿车。丰田雷克萨斯,和日产无限是新车型,未列入。

资料来源:IMVP 各国总装厂调研。

图 3.1 各地豪华轿车总装厂生产率的对比(1989)

措施三：协作配套 (长期合作的协作厂)

表 3.1 1986 年通用汽车弗雷明汉总装厂与丰田高冈总装厂对比表

	通用弗雷明汉厂	丰田高冈厂
✓ 每车总装工时 (小时)	40.7	18.0
修正后的每车总装缺陷数	31	16
✓ 每百辆车总装面积 (ft ²)	130	45
每车占总装面积 (ft ²)	8.1	4.8
平均零件库存时间	2 周	2 小时

措施四：用户是上帝 (“主动销售” aggressive selling)



*精益生产模式实例

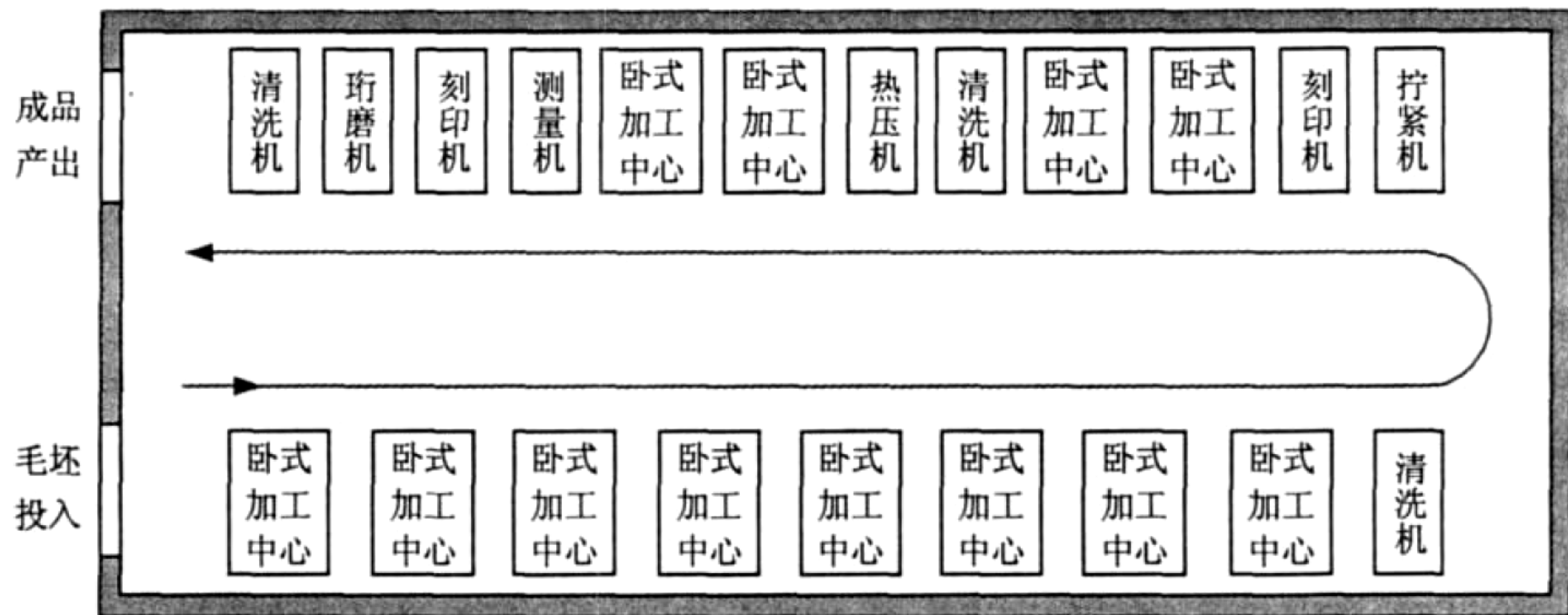


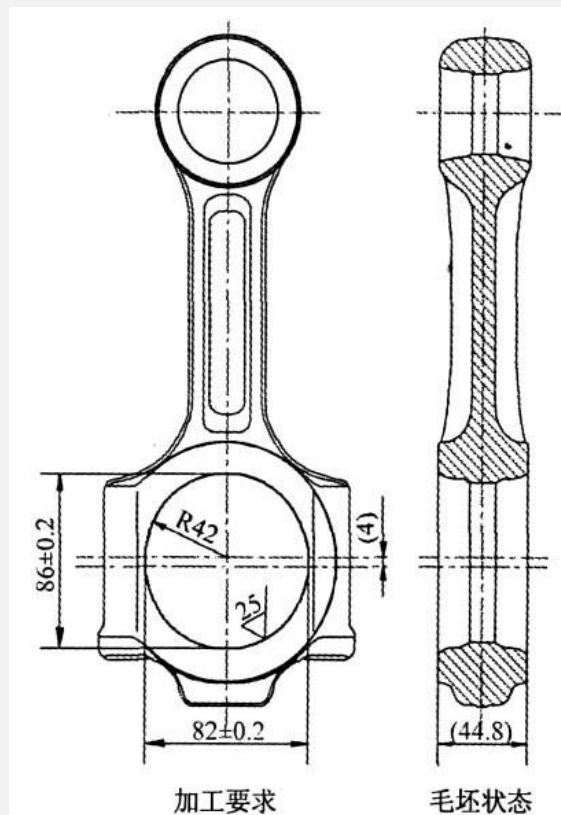
图1 生产线平面布置图（年产量 12 000 台套）

上海日野发动机有限公司

张学华. 连杆制造工艺技术及改善. 柴油机设计与制造. 2009 年第2 期第16 卷（总第127 期）. 38-42.

实例2: Kaizen (改善)

小的、连续的、渐进的改进。



连杆大头割断前大头孔
需加工成近似椭圆形

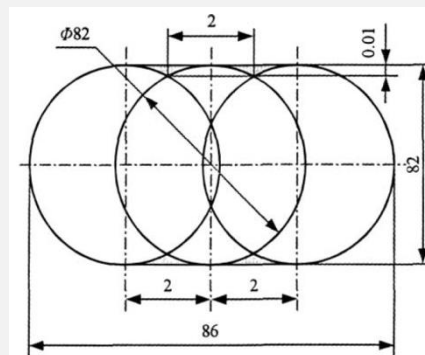


表 1 工艺改进前后效果对比

加工工艺	原工艺	改进工艺 1	改进工艺 2
粗加工	$\phi 40$ 玉米铣刀铣削	$\phi 78 \times \phi 81.5$ 双级镗刀镗孔	$\phi 78$ 标准可调镗刀镗孔
切削时间/min	2.4	0.3	0.3
精加工	$\phi 40$ 玉米铣刀铣削	$\phi 40$ 玉米铣刀铣削	$\phi 82$ 标准可调镗刀镗孔
切削时间/min	2.0	2.0	0.6
加工质量	较差	较差	好

实例3: Kaizen (改善)

采用卧式加工中心铣削方式，用 $\Phi 80$ mm铣刀沿直线路径分别铣出连杆体和连杆盖结合面。

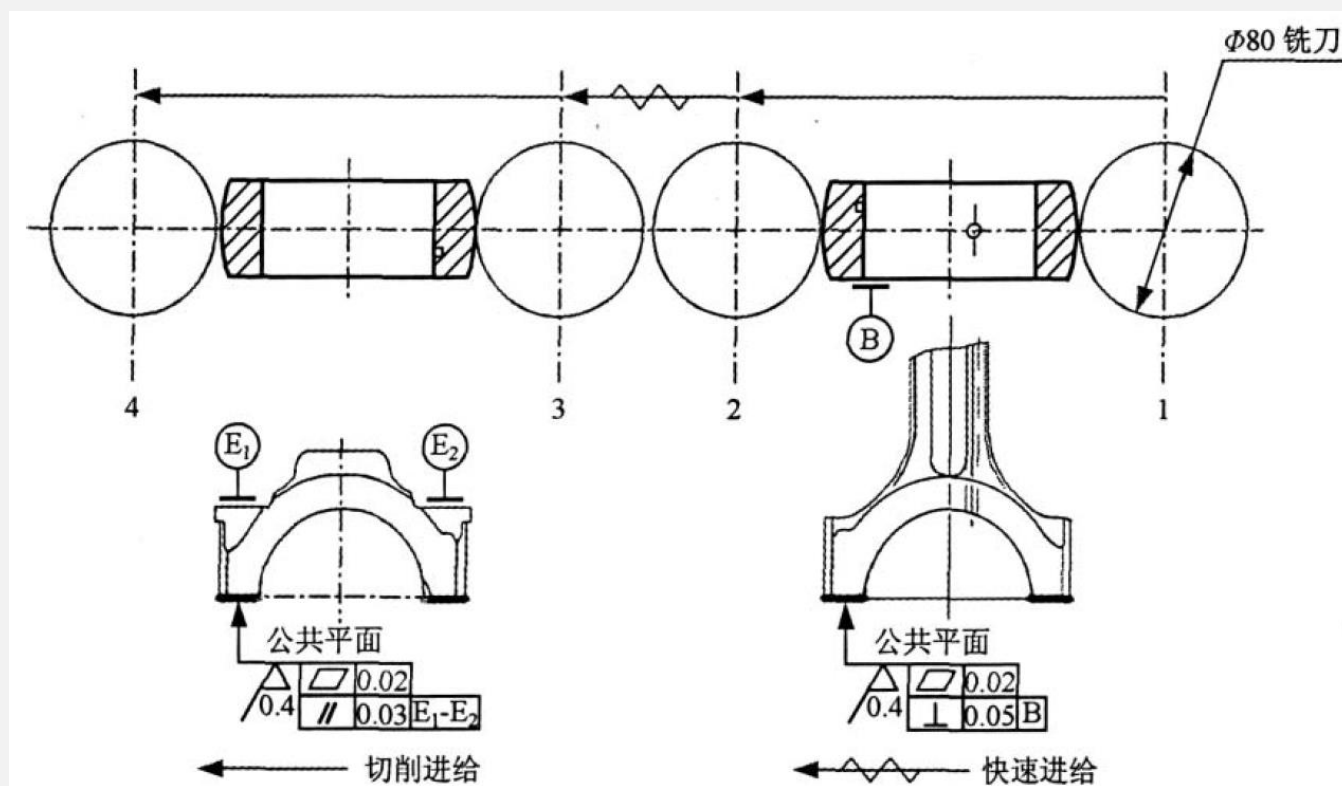


图 4 原加工工艺的铣刀给进路径

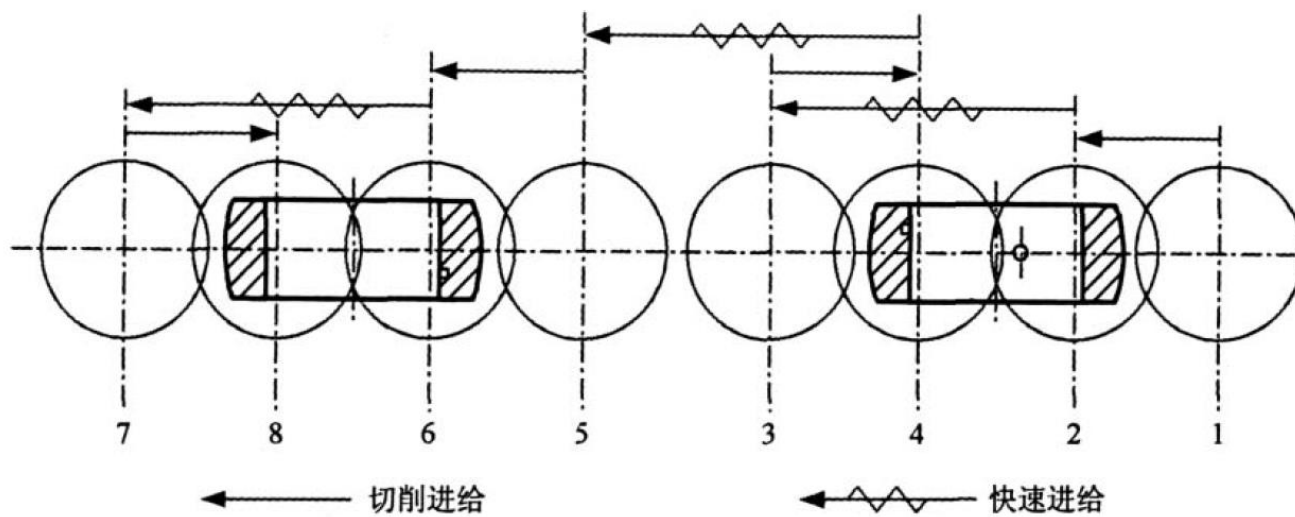


图 5 改进工艺 1 的铣刀给进路径

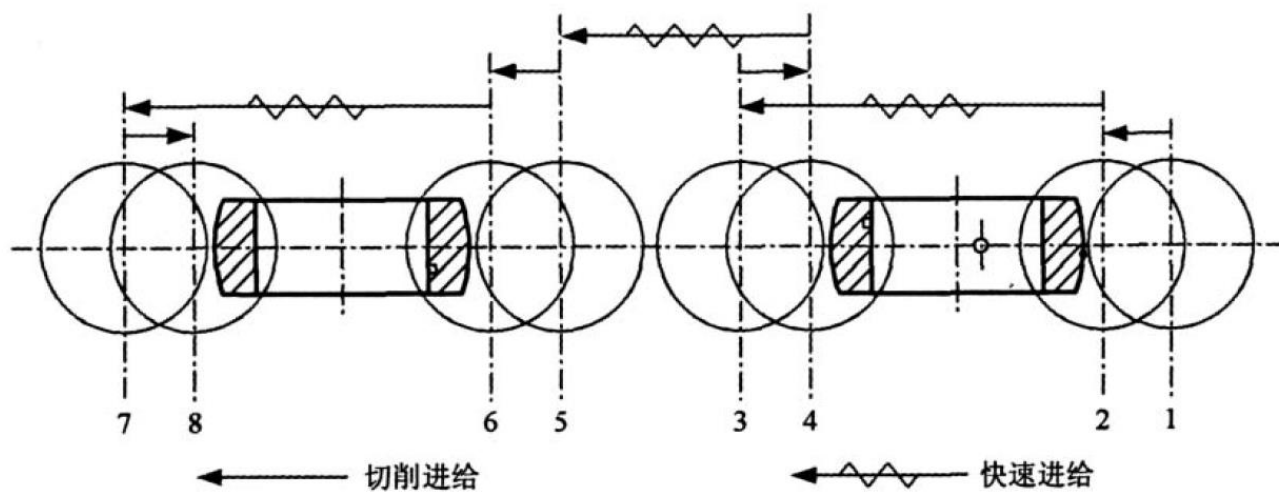


图 6 改进工艺 2 的铣刀给进路径

六、敏捷制造技术(AM)

Agile Manufacture

敏捷制造: 将柔性生产技术、熟练劳动力, 与企业内部和企业之间的灵活管理集成在一起, 通过所建立的共同基础结构, 对迅速改变或无法预见的市场作出快速反应。

- 敏捷制造是一种结构
- 敏捷制造是一种哲理或管理哲学

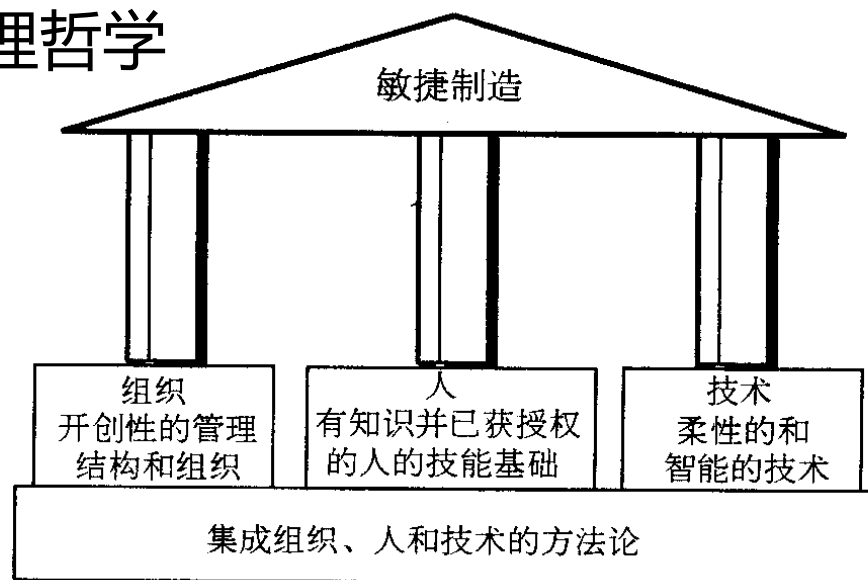


图 4.1 敏捷制造的概念

美大50
机提的

敏
每
自
石
理
质
IN
效

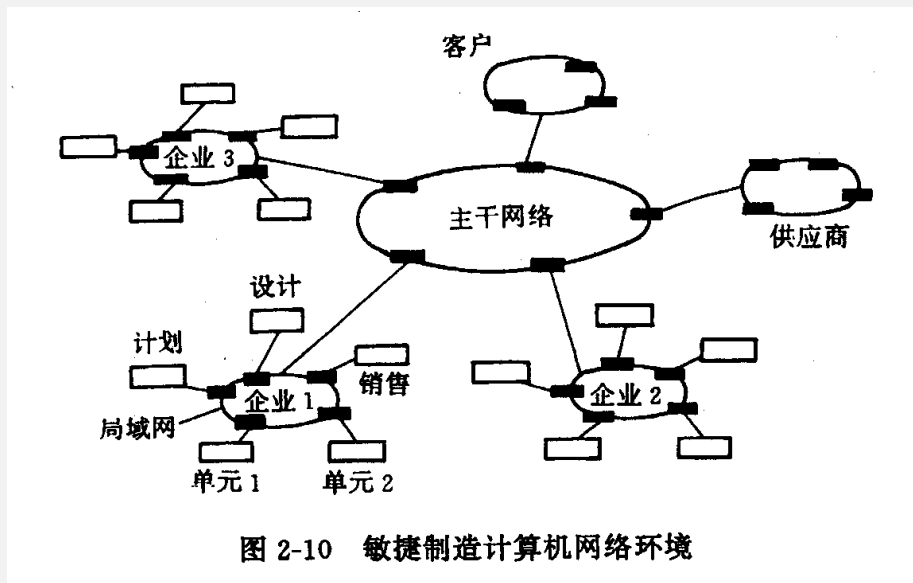
AM的原理是什么？

1. **软件柔性**：采用**计算机网络**和信息集成系统，以分布式结构连接各类企业构成**虚拟制造环境**；
2. **人员柔性**：以竞争作为原则，在虚拟制造环境内**动态选择成员**，组成**面向任务的虚拟公司**进行快速生产；
3. **设备柔性**：柔性生产技术，系统运行目标是最大限度满足用户的需求。

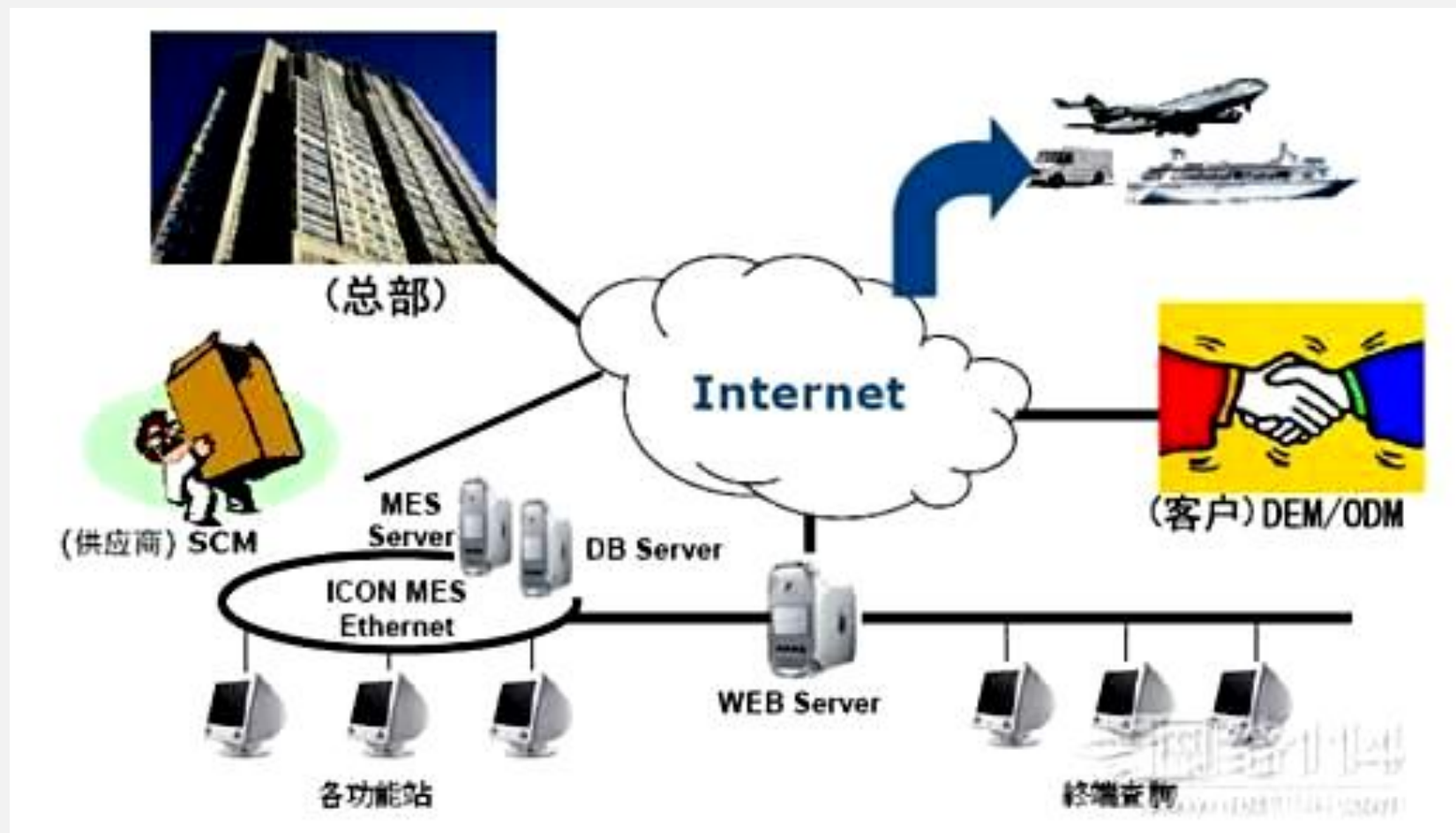
AM是如何构成的？

虚拟企业

Virtual corporation



*敏捷制造技术的实现



七、绿色制造 (GM)

绿色制造的含义是什么？

在生产过程中采用各种高新技术，使生产过程中消耗的各种资源尽可能少，同时生产过程对环境的污染尽可能少（**绿色加工**）。对用于制造产品的原材料进行慎重的选择，使产品可回收再利用，不污染环境（**绿色商品**）。

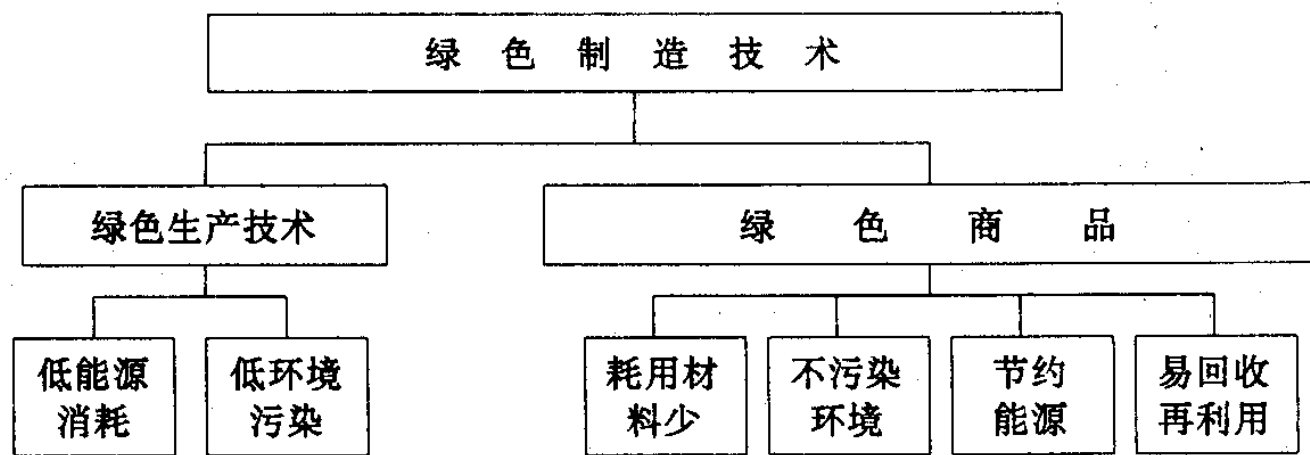


图 2-12 绿色制造的体系结构

1. 绿

2. 绿

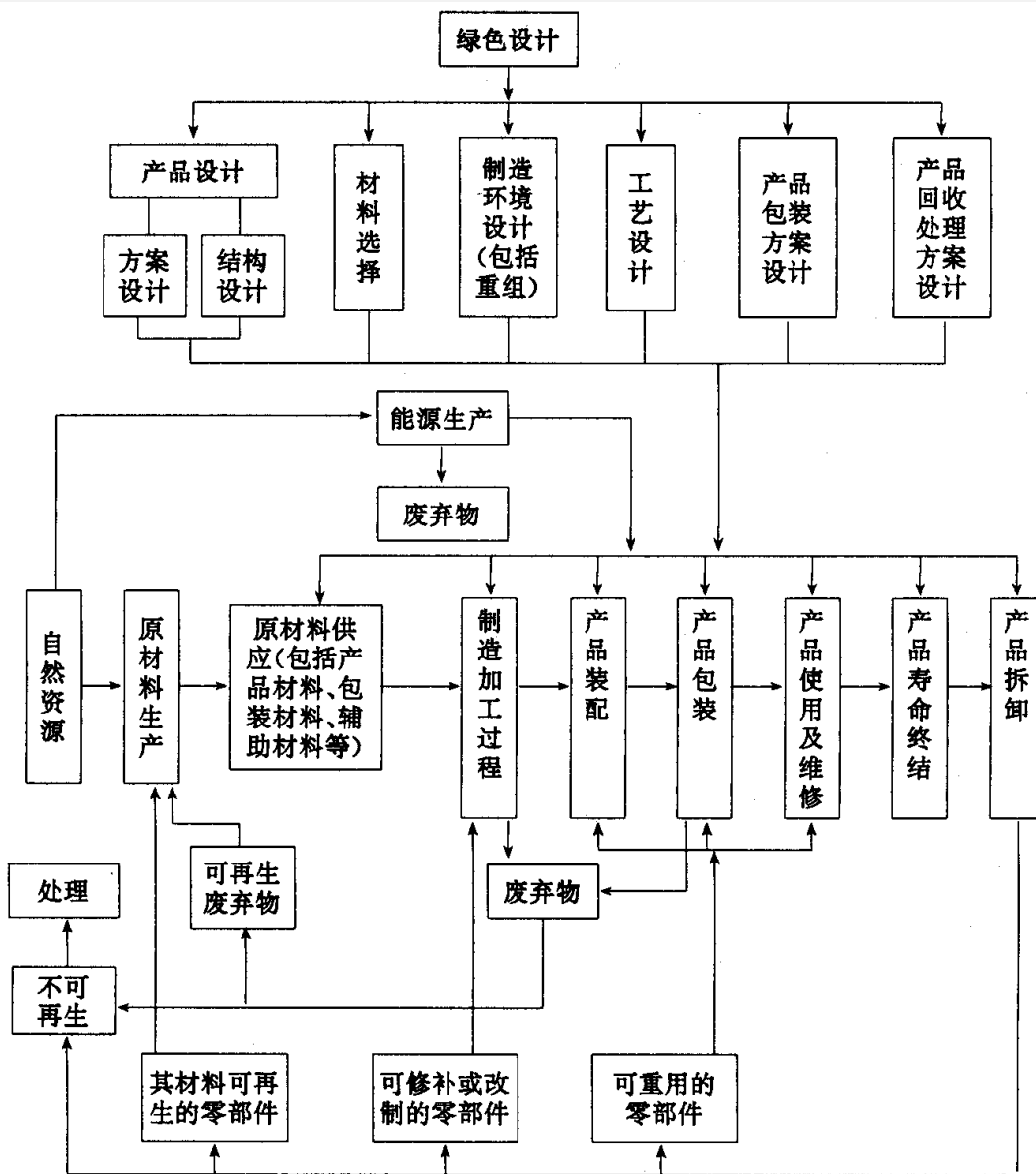


图 2-13 绿色制造实施的系统框图

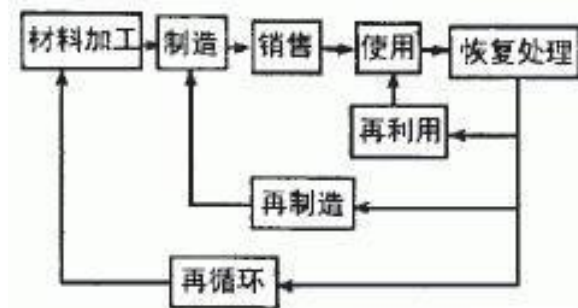
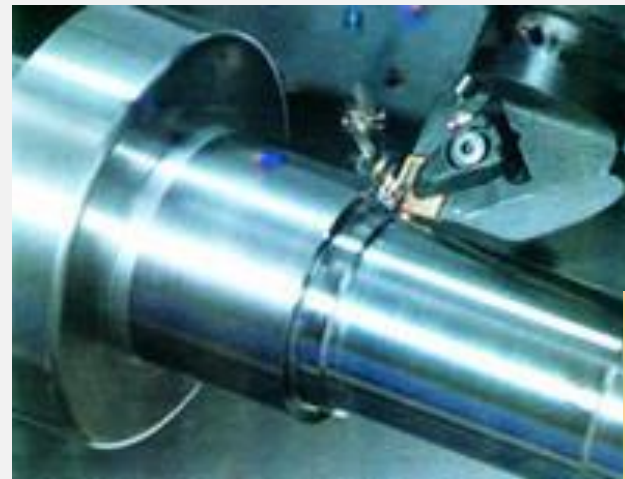


图 1 绿色制造模式

*GM技术实例--干切磨削和微量润滑技术

干切削对刀具要求：

- ①优良热硬性耐磨性。工件4倍以上。
- ②较低摩擦系数。
- ③较高刀具高温韧性。
- ④较高热化学稳定性。
- ⑤具有合理刀具结构几何角度。



干切削技术

干切削的关键技术

- 机床的要求：隔热、排屑、精度及刚度等
- 主要材料：超细颗粒硬质合金、聚晶金刚石、立方氮化硼、SiC晶须增韧陶瓷、纳米晶粒陶瓷、粉末高速钢刀具等。
- 涂层技术：TiN、TiAlN涂层，开发更好的综合涂层。
- 刀具尺寸参数、结构、工艺参数优化。

干切
机床
速度
了严
刀具
铣等
切削
合金
SiC
研究
前途
满足
高，
强的
针对
钢刀
的尺
对加
究。

思考与复习题

- 1.成组技术的主要依据是什么？
- 2.Opitz分类编码系统的结构、各码位的含义是什么？
- 3.在实际零件分类中，人工视检法、特征数据法、码域法含义是什么？
- 4.介绍CIM、CAM、CAPP、IMS概念。在计算机辅助工艺规程设计过程中，派生式、创成式、综合式系统的概念是什么？

参考文献

- 张学华.连杆制造工艺技术及改善.柴油机设计与制造. 2009 年第2 期第16 卷 (总第127 期) .38-42.
- 张翔欣(上海柴油机股份有限公司, 上海200438).条形码技术在柴油机制造管理过程中的应用.柴油机设计与制造. 2005 年第4 期第14 卷(总第113 期):52-56.



中国制造2025

谢谢!

Made in China





大连海事大学
DALIAN MARITIME UNIVERSITY

学汇百川 德济四海

第六章 现代制造中的加工技术





提 纲

- 高速与超高速加工
- 特种加工技术
- 快速成形技术



第一节 高速与超高速加工

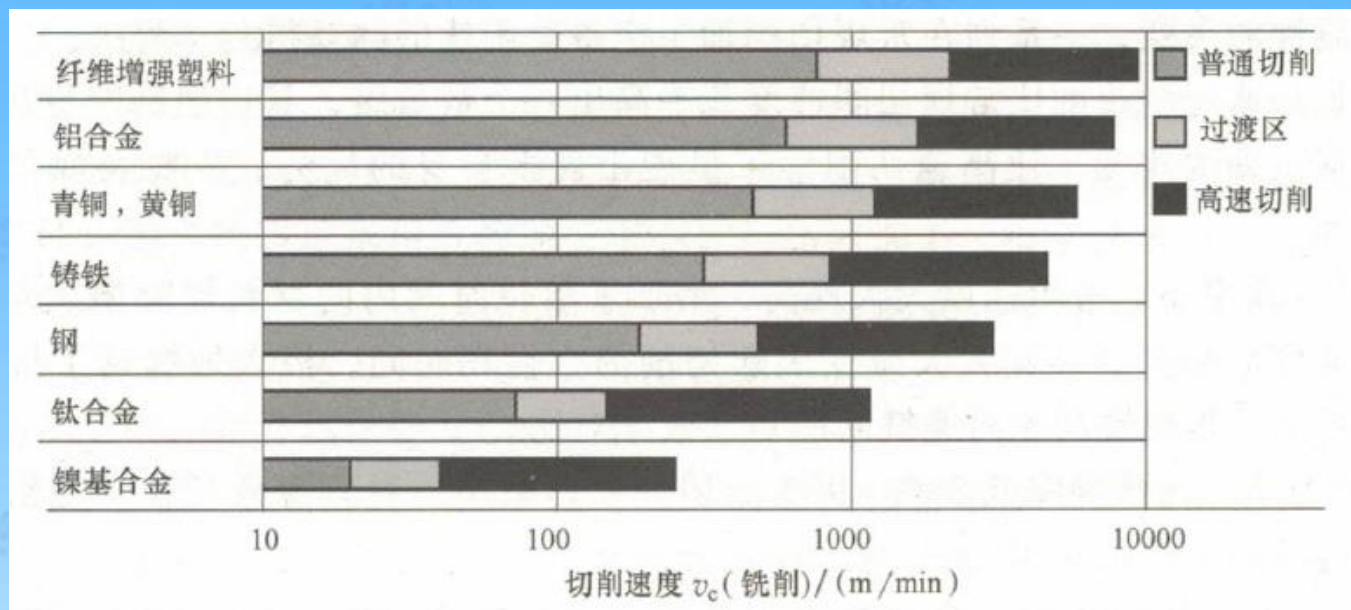
一、高速与超速加工技术

1. 定义

- **高速加工**是相对常规加工而言的，一般认为是常规加工速度的5—10倍。
- **超高速加工**指采用超硬材料刀具、磨具在高速运动的高精度、高自动化、高柔性的制造设备上，极大地提高切削速度来提高材料切除率、加工精度和加工质量的现代化制造加工技术。

高速加工和超高速加工是相对概念。

- 高速加工的速度范围与工件材料密切相关。



- 高速加工的速度范围与加工方法密切相关。

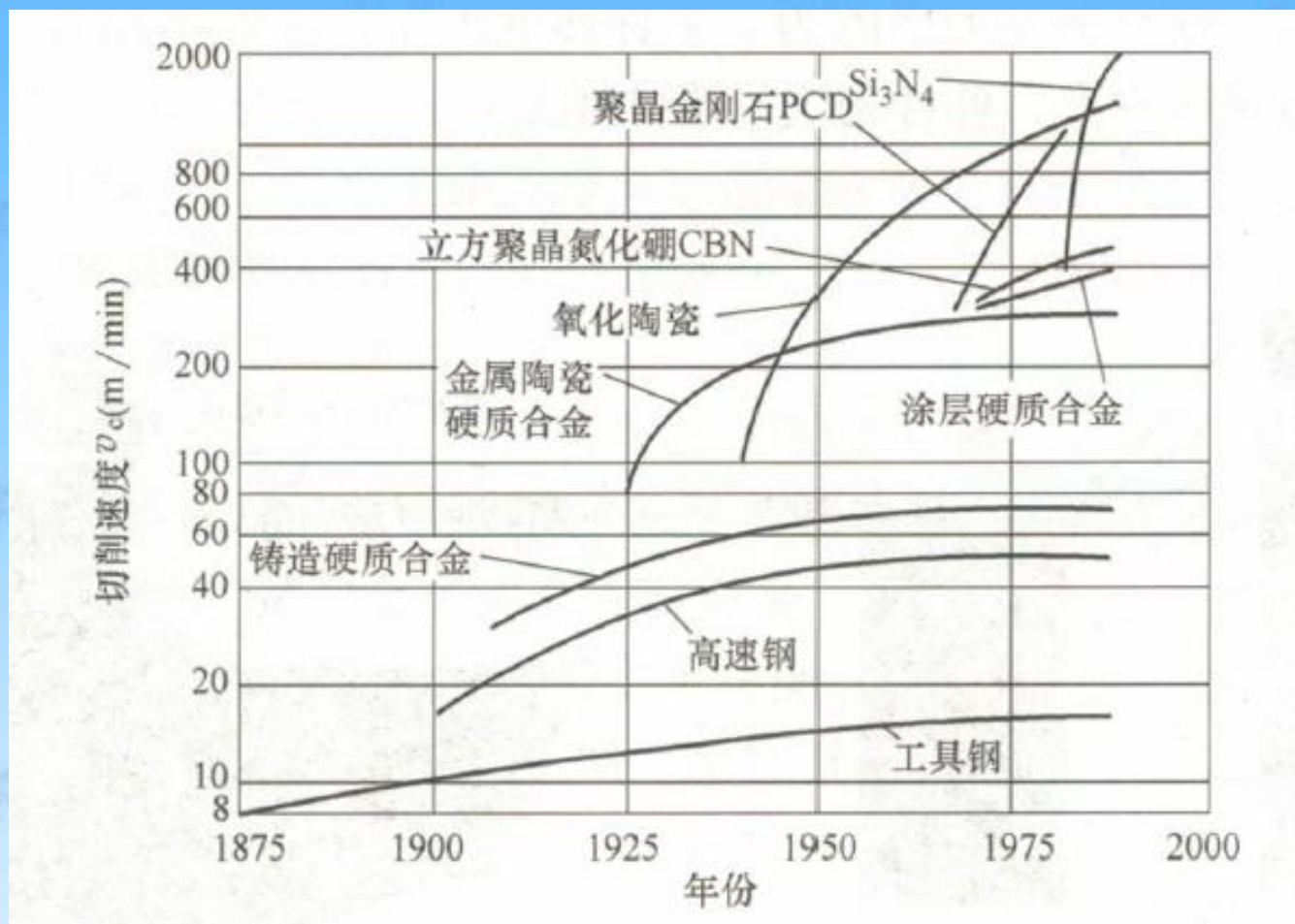
车削: 700-7000 m/min; 铣削: 300-6000 m/min;

钻削: 200-1100 m/min; 磨削: 150 m/s以上。

例如: 在切削灰铸铁时, 1000 m/min以上才是**高速车削**, 而400 m/min就定义为**高速钻削**。



- 新型刀具材料的发展为高速切削的实际应用创造了条件。





2.高速与超高速加工的特点

- (1) 高单位时间切除率，降低加工成本。
- (2) 低切削力，降低加工系统力变形。
- (3) 切削热由切屑带走，减少工件热变形。
- (4) 高加工表面质量，提高加工精度高。
- (5) 较少后续工序，降低加工成本低。



二、高速与超高速加工的关键技术

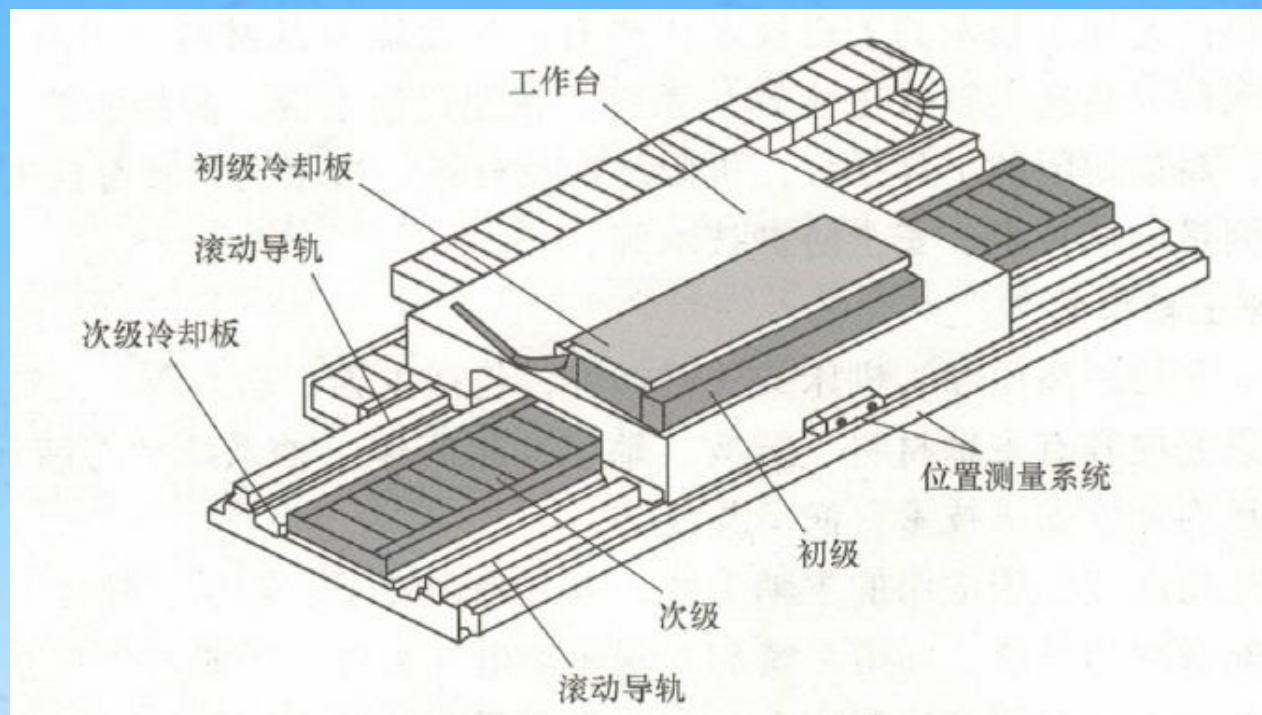
- 1.高速主轴;
- 2.快速进给系统;
- 3.高速切削的刀具系统;
- 4.面向高速切削的工件夹紧技术。

1. 高速主轴

- 高速主轴单元是高速加工机床最关键的部件。在超高速运转的情况下，传统的齿轮变速和皮带传动方式已不能满足要求，为适应这种切削加工，高速主轴应具有先进的主轴结构，优良的主轴轴承，良好的润滑和散热等新技术。
- 高速主轴采用的轴承有滚动轴承、液体静压轴承、空气静压轴承和磁悬浮轴承几种形式。



2. 快速进给系统

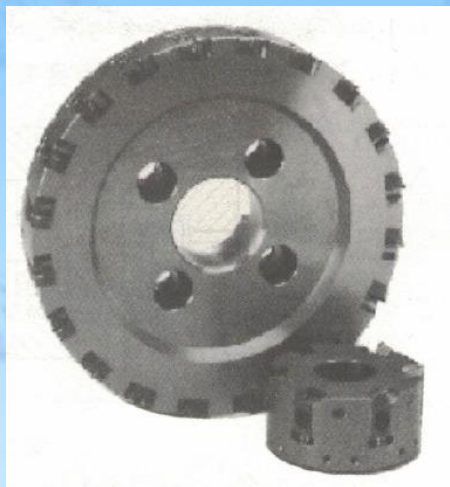


直线电机驱动系统



3. 面向高速切削的切削工具

- 刀具材料：硬质合金涂层刀具，陶瓷刀具，聚晶金刚石刀具，立方氮化硼刀具。
- 特点：“三高一专”，即高效率、高精度、高可靠性和专用化。



以高强度铝合金做基体的HSC端面铣刀

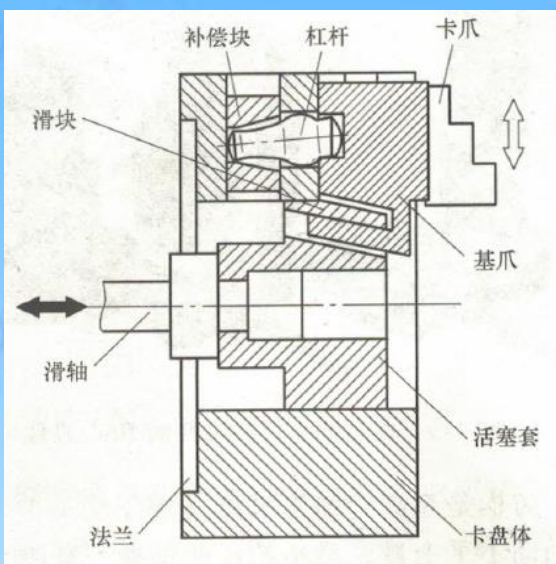


在基体上焊接刀片的HSC刀具



带内部冷却的钻头

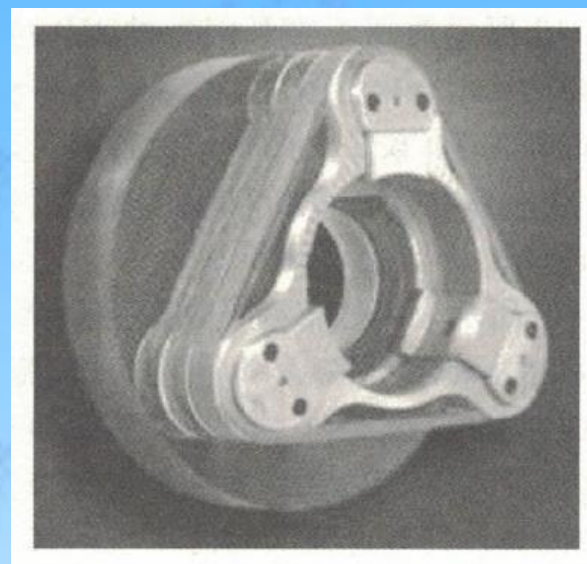
4. 面向高速切削的工件夹紧技术



带离心力补偿的卡盘



轻型卡爪



CFK绷带式卡盘

三、高速切削的应用领域

- **航空航天工业**轻合金的加工：飞机上的零件通常采用“整体制造法”，其金属切除量相当大（一般在70%以上），采用高速切削可以大大缩短切削时间。
- **模具制造业**：型腔加工同样有很大的金属切除量，过去多采用电加工方法，其加工效率低。
- **汽车工业**：对技术变化较快的汽车零件，采用高速加工。（过去多采用组合机加工，柔性差）
- **难加工材料**的加工（如，Ni基高温合金和Ti合金）
- **纤维增强复合材料**加工
- **精密零件**加工
- **薄壁易变形零件**的加工



习 题

超高速切削的主要应用领域有哪些？要发展超高速切削加工，需要解决哪些关键技术。



第二节 特种加工技术

一、特种加工方法的特点及分类

1. 定义

特种加工 (NTM, Non-Traditional Machining) 技术, 即利用电能、热能、光能、电化学能等, 在不产生切削力的情况下, 以低于工件硬度的工具去除工件上多余材料, 达到“以柔克刚”的目的。



2. 特点

特种加工无论在加工机理和加工形式上与传统的切削加工有着本质的区别，主要体现在以下几点：

(1) 不是主要依靠机械能，而是采用其他能量（电能、热能、光能、化学能、电化学能等）去除工件上多余材料；与加工对象的力学性能无关，故可加工硬、软、脆、耐腐蚀、高熔点、高强度等金属或非金属材料。

(2) 非接触加工，即加工时工具与工件不发生直接接触，工具与工件间不存在作用力，故可加工高耐磨、刚性低和弹性工件。

(3) 加工时由于工具与工件不发生直接接触，故热应力、残余应力、冷作硬化等均比较小。可获得较低的表面粗糙度，尺寸稳定性好。

(4) 加工中能量易于转换和控制，有利于保证加工精度和提高加工效率。

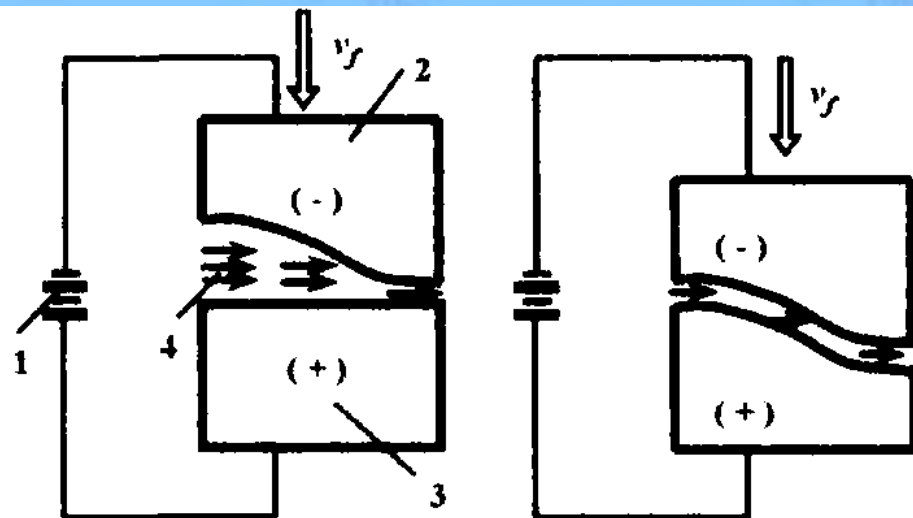
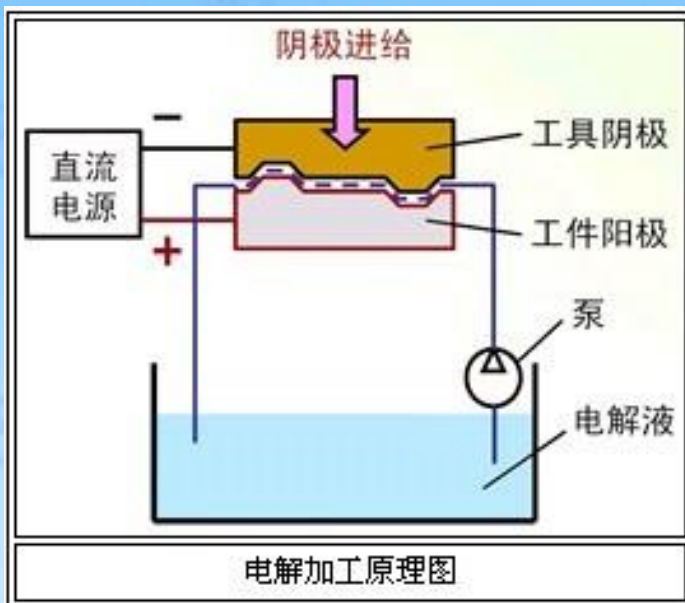
3. 分类

特种加工方法		能量来源及形式	加工原理	英文缩写
电火花加工	电火花成形加工	电能、热能	熔化、汽化	EDM
	电火花线切割加工	电能、热能	熔化、汽化	WEDM
电化学加工	电解加工	电化学能	金属离子阳极溶解	ECM(ELM)
	电解磨削	电化学能、机械能	阳极溶解、磨削	EGM(ECG)
	电解研磨	电化学能、机械能	阳极溶解、磨削	ECH
	电铸	电化学能	金属离子阴极沉积	EFM
	涂镀	电化学能	金属离子阴极沉积	EPF
激光加工	激光切割、打孔	光能、热能	熔化、汽化	LBM
	激光打标记	光能、热能	熔化、汽化	LBM
	激光处理、表面改性	光能、热能	熔化、相变	LBM
电子束加工	切割、打孔、焊接	电能、热能	熔化、汽化	EBM
离子束加工	蚀刻、镀覆、注入	电能、动能	原子撞击	IBM
等离子弧加工	切割（喷镀）	电能、动能	熔化、汽化（涂覆）	PAM
超声波加工	切割、打孔、雕刻	声能、机械能	磨料高频撞击	USM
化学加工	化学铣削	化学能	腐蚀	CHM
	化学抛光	化学能	腐蚀	CHP
	光刻	光能、化学能	光化学腐蚀	PCM

二、电化学加工

1. 电化学加工的基本原理、分类及特点

基本原理



(a) 开始加工时

(b) 加工结束时

电化学加工的分类

类别	加工方法及原理	应用
阳极溶解	电解加工 电化学抛光	用于形状、尺寸加工 用于表面光整加工、去毛刺
阴极沉淀	电镀 电铸 电刷镀	用于表面加工、装饰及保护 用于形状尺寸加工 用于表面修复、强化
复合加工	电化学磨削 电解电火花加工 超声电解加工	用于形状、尺寸加工，超精镜面加工 用于形状尺寸加工，难加工材料 用于难加工材料的深、小孔以及表面光整



电化学加工的特点

(1) 可对任何金属材料进行形状、尺寸和表面加工。尤其是高温合金、钛合金、淬硬钢、硬质合金等难加工材料，优点更为突出。

(2) 加工中无机械切削力和切削热作用，故加工后无表面冷硬层、残余应力以及毛刺和棱边。

(3) 工具电极无磨损，可以长期使用，但要防止阴极的沉积现象对工具电极的影响。

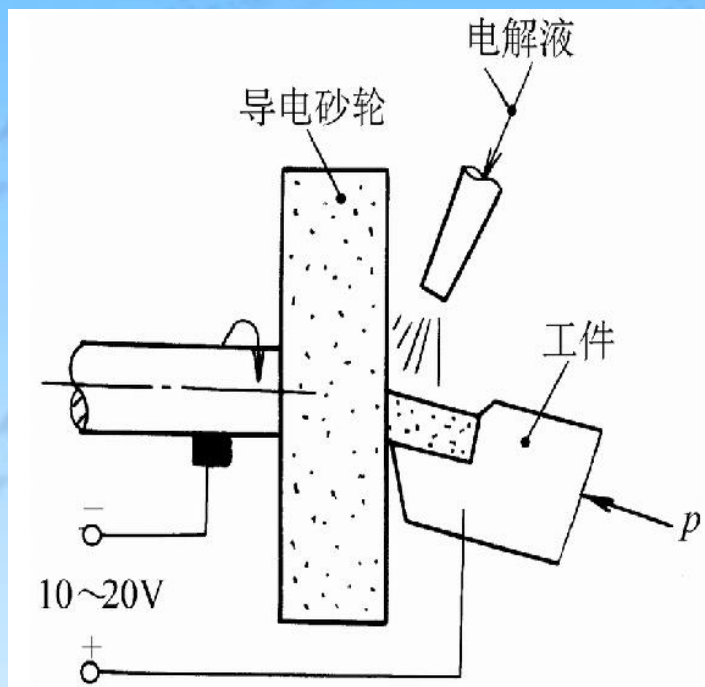
(4) 多道加工工序可以同时进行，无需划分粗、精加工，因此生产率较高。

(5) 电化学加工产生的产物，对环境、设备有污染和腐蚀作用。

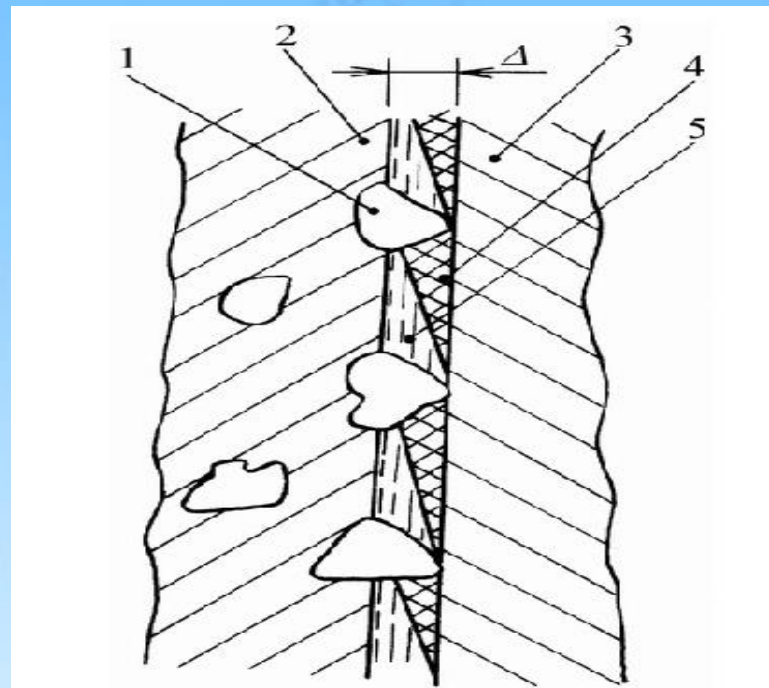
2. 典型电化学加工技术

(1) 电化学磨削

电解磨削的原理



电解磨削加工原理



电解磨削加工过程机理



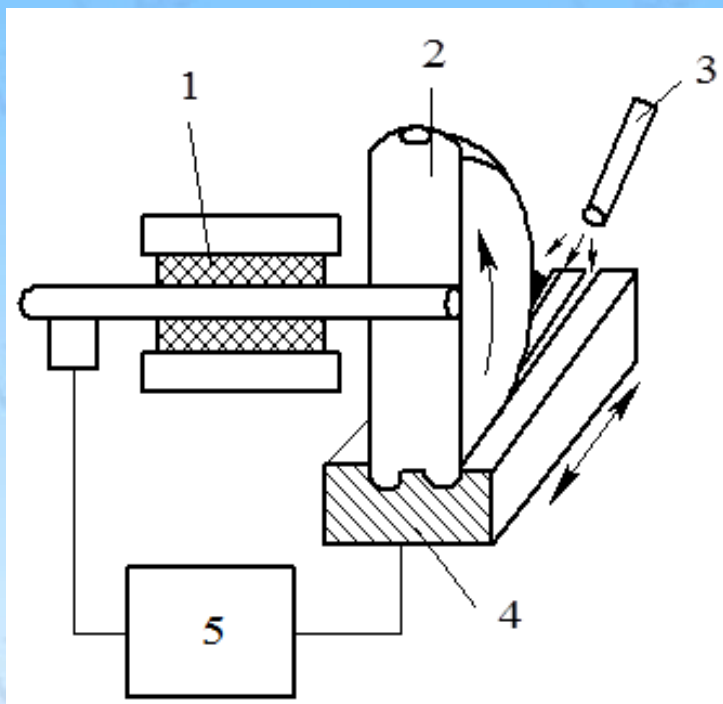
电解磨削的特点

- 磨削力小，生产率高。
- 加工精度高，表面加工质量好。
- 设备投资较高。
- 砂轮的磨损量小。

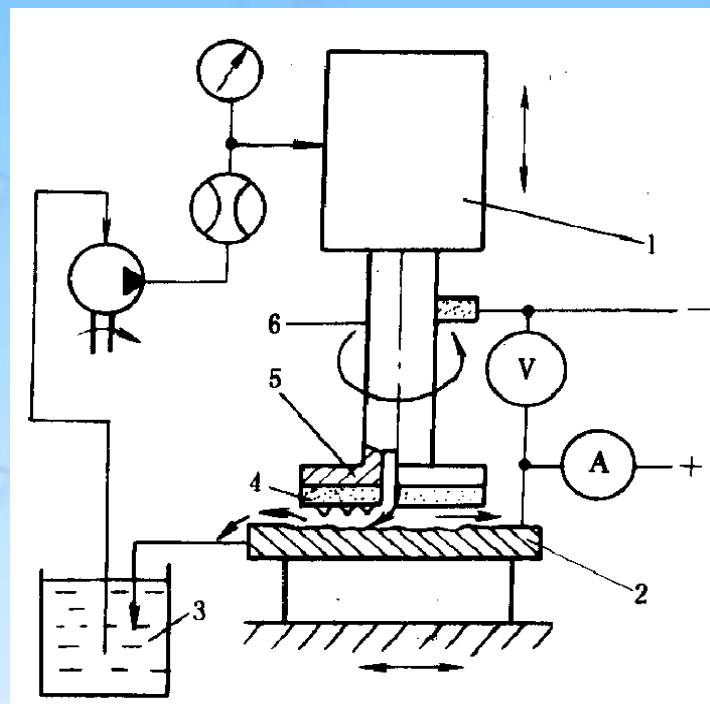


电解磨削的应用

- 硬质合金刀具的电解磨削
- 电解成形磨削
- 电解研磨



电解成型磨削示意图



电解研磨示意图



(2) 电铸和涂镀加工

工艺名称	电镀	电铸	涂镀	复合镀
工艺目的				
工艺要求	表面装饰、防腐 蚀	复制、成形加 工	增大尺寸、表面改 性	镀耐磨层磨具、 刀具制造
镀层厚度	0.001~0.05	0.05~5	0.001~0.05	0.05~1
精度要求	表面光亮、光滑	尺寸、形状精 度要求	尺寸、形状精度要 求	尺寸、形状精 度要求
镀层牢固	牢固粘接	可与原模分离	牢固粘接	粘接基本牢固
阴极材料	同镀层金属	同镀层金属	石墨、铂等材料	同镀层金属
镀液	自配电镀液	自配电镀液	按被镀金属选购电 镀液	自配电镀液
工作方式	镀槽、工件浸泡 在镀液中、无相 对运动	镀槽、工件与 阳极有或无相 对运动	镀液浇注在相对运 动的工件和阳极间	镀槽、被复合 镀的硬质材料 放在工件表面



(3) 电化学抛光

➤ 原理

电解抛光也是利用金属在电解液中的电化学阳极溶解对工件表面进行腐蚀抛光的，它只是一种表面光整加工方法，用于改善工件的表面粗糙度和表面物理力学性能，而不适用于对工件形状和尺寸加工。它和电解加工的主要区别是工件和工具之间的加工间隙大，这样有利于表面的均匀溶解；电流密度也比较小；电解液一般不流动，必要时加以搅拌。

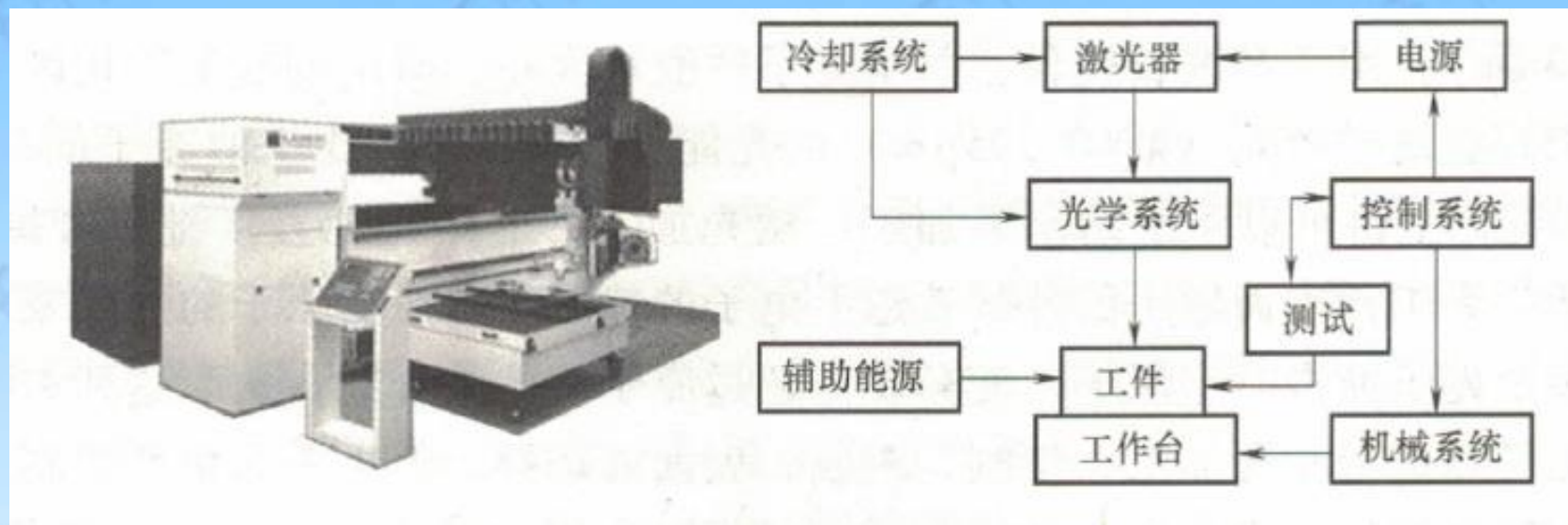
➤ 应用

电解抛光能降低零件的表面粗糙度、控制材料宏观不平度、增加表面光泽、减小摩擦系数。故在很多场合可替代机械抛光。可较大幅度的提高生产率，降低材料、工具、设备、电力等的消耗。因此电解抛光在轴承、反光罩、切削工具、计量工具、自行车零件、纺织机械零件及医疗器械等的加工中有广泛的应用。

三、激光加工

1. 激光加工的原理

激光加工利用高功率密度的激光束照射工件，使材料熔化、汽化而进行穿孔、切割和焊接等特种加工。



激光加工设备及其一般组成



2. 激光加工的特点

- 光点小，能量集中，热影响区小；
- 不接触加工工件，不会对材料造成机械挤压或机械应力；
- 不受电磁干扰，与电子束加工相比应用更方便；
- 激光束易于聚焦、导向，便于自动化控制；
- 范围广泛，几乎可对任何材料进行雕刻切割；
- 精确细致，加工精度可达到0.1mm；
- 适合大件产品的加工，大件产品的模具制造费用很高，激光加工不需任何模具制造，而且激光加工完全避免材料冲剪时形成的塌边，可以大幅度地降低企业的生产成本提高产品的档次。



3. 激光加工的应用



a) 切削



b) 钻孔



c) 表面处理



d) 钻微孔



e) 焊接



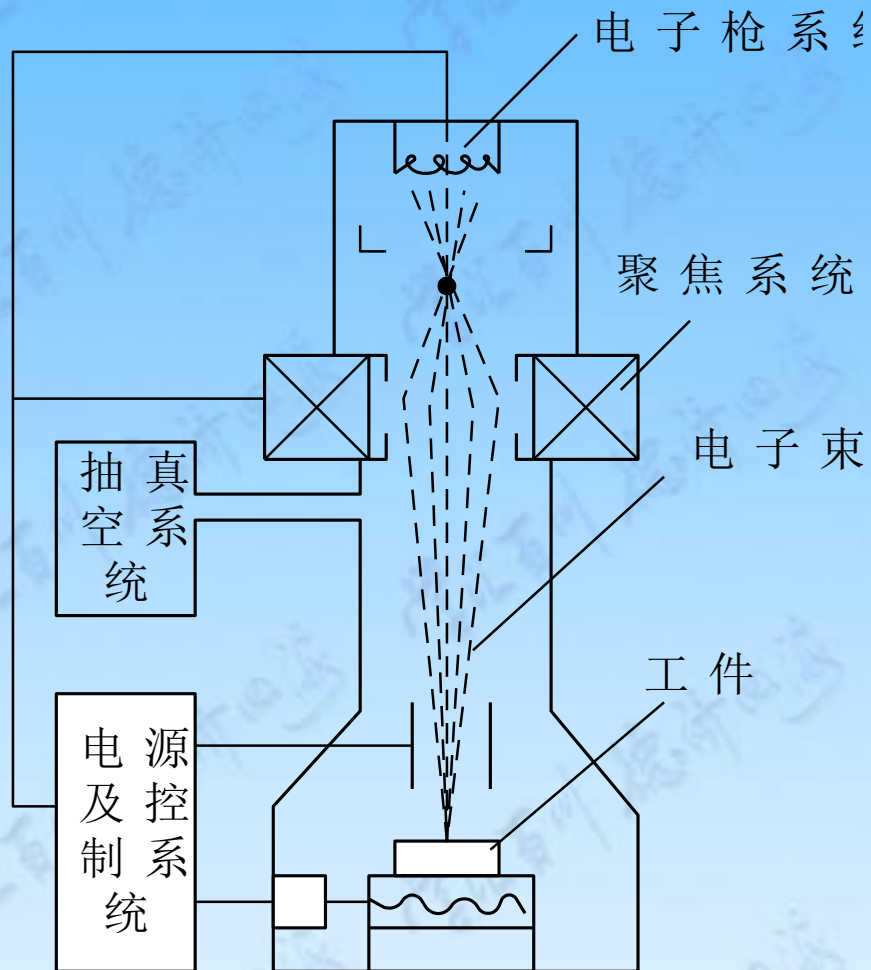
f) 打标



四、其他特种加工

1. 电子束加工

➤ 加工原理





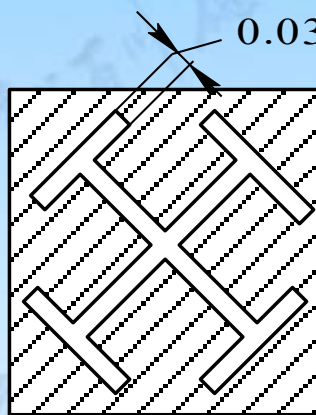
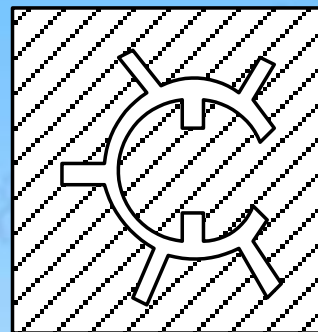
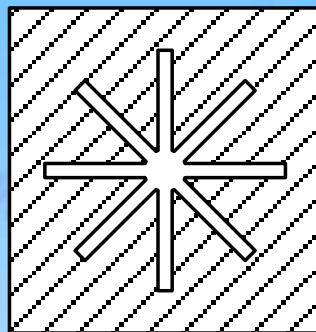
➤ 特点

- 1) 电子束能够极其微细地聚焦(可达 $l \sim 0.1\mu\text{m}$)。
- 2) 加工材料的范围广。
- 3) 加工在真空中进行，污染少，加工表面不易被氧化。
- 4) 电子束加工需要整套的专用设备和真空系统，价格较贵，故在生产中受到一定程度的限制。

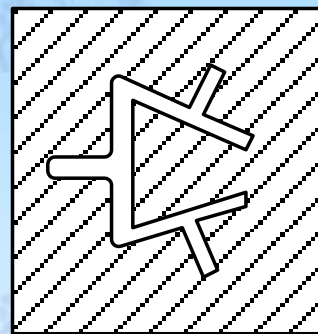


➤ 应用

高速打孔、加工型孔及特殊表面、刻蚀、焊接、热处理、光刻



0.03 ~ 0.07 mm

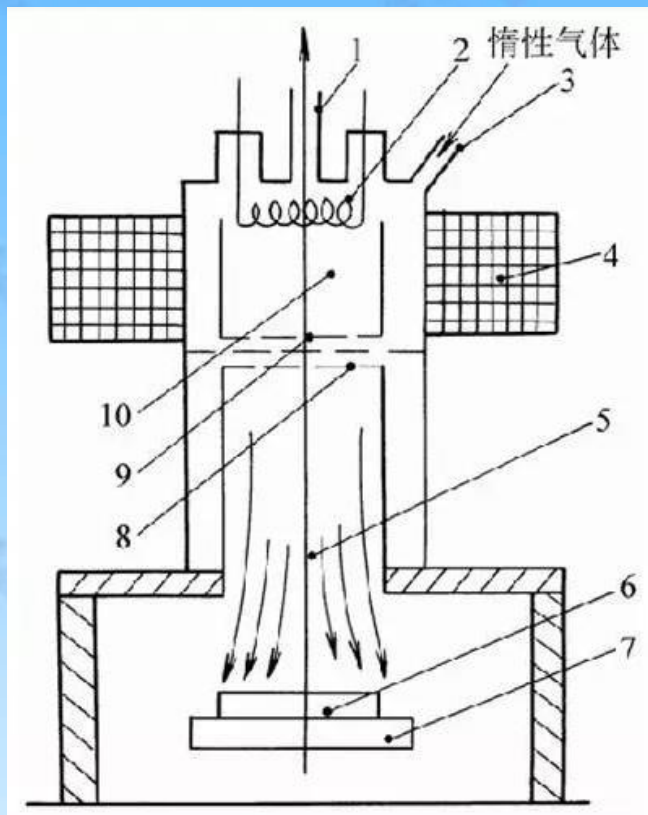


电子束加工的喷丝头异形孔



2. 离子束加工

➤ 加工原理



1—真空抽气口 2—灯丝 3—惰性气体注入口 4—电磁线圈
5—离子束流 6—工件 7—阴极 8—引出电极 9—阳极 10—电离室



➤ 特点

- (1) 离子束加工是目前特种加工中最精密、最微细的加工。
- (2) 离子束加工在高真空中进行，污染少。
- (3) 离子束加工是靠离子轰击材料表面的原子来实现的，是一种微观作用。



➤ 应用

(1) 离子刻蚀加工

用于从工件上作去除加工的离子刻蚀加工；

(2) 离子镀膜加工

用于给工件表面涂覆的离子镀膜加工；

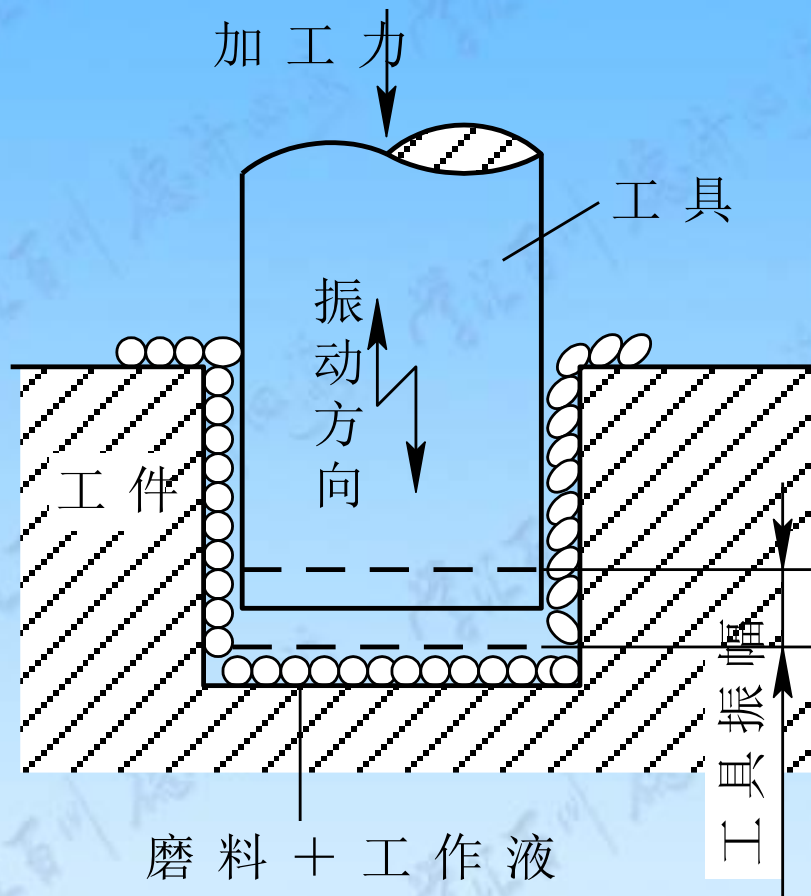
(3) 离子注入加工

用于表面改性的离子注入加工。



3. 超声波加工

➤ 加工原理





➤ 特点

- (1) 适合于加工各种硬脆材料。也可以加工淬火钢和硬质合金等材料。
- (2) 由于工具可用较软的材料、做成较复杂的形状。
- (3) 加工时宏观切削力很小，不会引起变形、烧伤。
- (4) 加工机床结构和工具均较简单，操作维修方便。
- (5) 生产率较低。



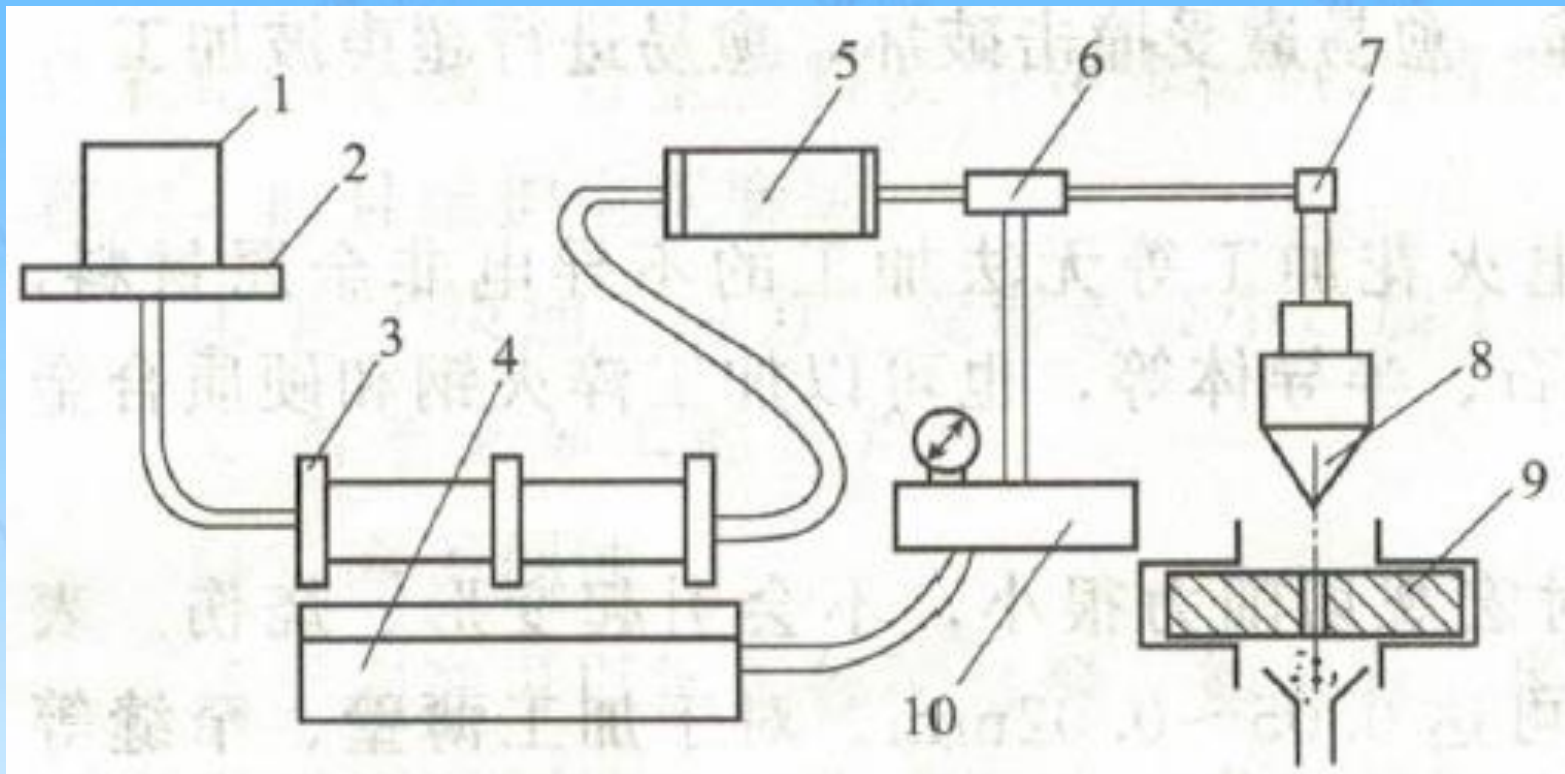
➤ 应用

超声波加工的生产率虽然比电火花、电解加工等低，但其加工精度和表面粗糙度都比它们好，而且能加工半导体、非导体的脆硬材料，如玻璃、石英、宝石、锗、硅甚至金刚石等。在实际生产中，超声波广泛应用于型(腔)孔加工、切割加工、清洗等方面。



4. 水射流切割

➤ 加工原理



1—水箱； 2—过滤器； 3—水泵； 4—液压机构； 5—蓄能器； 6—控制器； 7—阀门； 8—喷嘴； 9—工件；
10—增压器



➤ 特点

- ①加工过程中“刀具”不会变钝，切割质量稳定。可切割各种金属和非金属材料，俗称“水刀”。
- ②切窄缝，一般为 $0.08 \sim 0.5\text{mm}$ ，可节省材料、降低成本。
- ③切割过程不会产生灰尘及火灾。
- ④切割温度低，可切割纸、母材、纤维及其制品。
- ⑤切割时工件材料不会受热变形，切边质量较好；切口平整，无毛刺。
- ⑥加工材料范围广。即可用来加工非金属材料，也可以加工金属材料，而且更适宜于切割薄的和软的材料



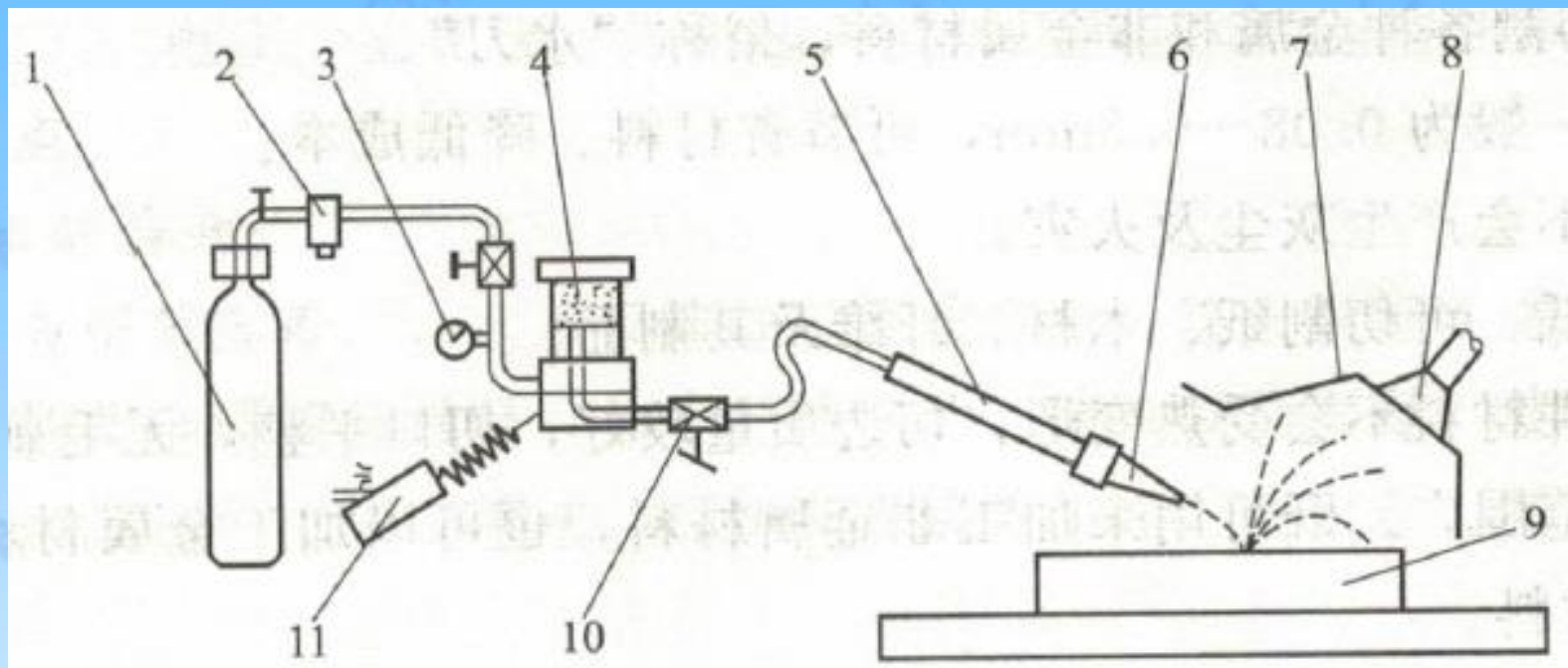
➤ 应用

水射流切割加工的流束直径为0.05-0.38mm，可以加工很薄、很软的金属和非金属材料，也可以加工较厚的材料，最大厚度可达125mm，在建造、装潢、汽车制造、航空航天、食品行业和纺织工业等领域得到了广泛应用。



5. 磨料喷射加工

➤ 加工原理



1—压缩气瓶； 2—过滤器； 3—压力表； 4—磨料室和混合室； 5—手柄； 6—喷嘴； 7—排气罩； 8—收集器； 9—工件； 10—控制阀； 11—振动器



➤ 特点

- ① 它属于精细加工工艺，主要用于去毛刺、清洗表面、刻蚀等。
- ② 可以加工导电或非导电材料，也可加工像玻璃、陶瓷、淬硬金属等硬脆材料或是尼龙、聚四氟乙烯、乙缩醛树脂等软材料。
- ③ 可以清理各种沟槽、螺纹及异形孔。



➤ 应用

- ① 磨光或磨毛玻璃。用此法磨光或磨毛玻璃常比酸蚀或磨削加工更快和更经济。
- ② 清理表面。可以清理陶瓷上的金属污物、金属上的氧化物以及电阻涂层等，还可以剥离金属导线上的封皮材料。
- ③ 去毛刺。在航空航天、计算机、医疗器械工业中去除细小零件在螺纹、窄缝、沟槽等处的飞边、毛刺。
- ④ 加工半导体材料。在像硅、锗、砷等半导体材料上钻孔、复杂表面清理、切割、刻蚀等。



第三节 快速成形技术

一、快速成型技术的定义与特点

1. 定义

快速成形技术是在计算机控制下，基于离散、堆积的原理采用不同方法堆积材料，最终完成零件的成形与制造的技术。

➤ 从成形角度看，零件可视为“点”或“面”的叠加。从CAD电子模型中离散得到“点”或“面”的几何信息，再与成形工艺参数信息结合，控制材料有规律、精确的由点到面，由面到体地堆积零件。

➤ 从制造角度看，它根据CAD造型生成零件三维几何信息，控制多维系统，通过激光束或其他方法将材料逐层堆积而形成原型或零件。

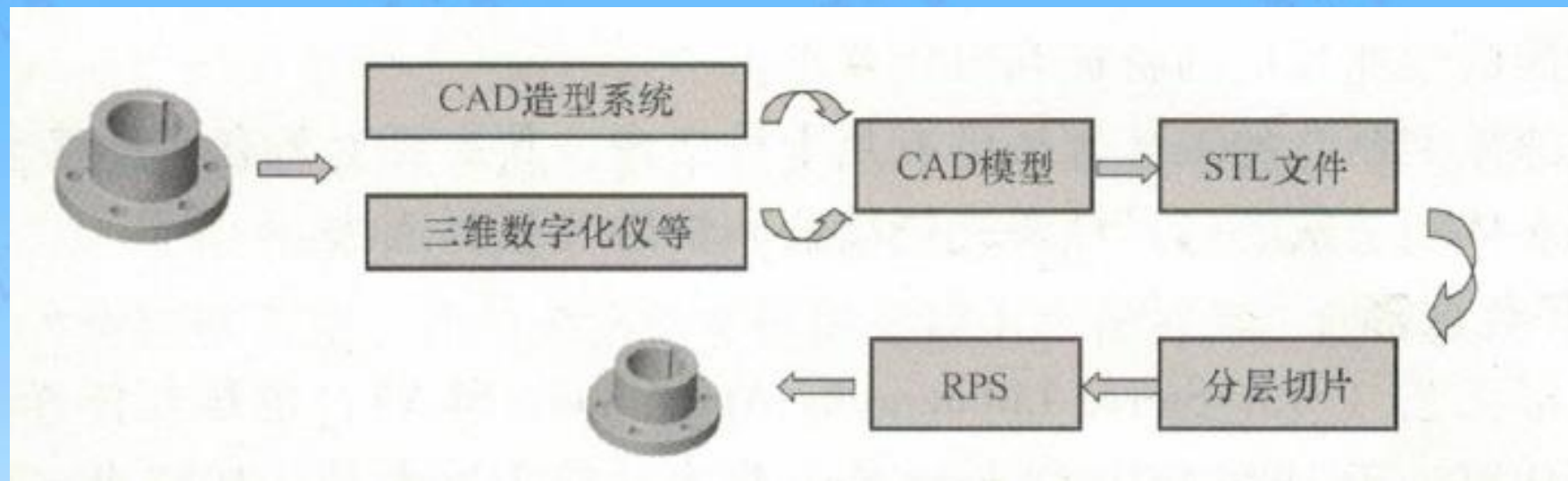


2. 技术特点

- (1) 简易性。
- (2) 快速性。
- (3) 高度柔性。
- (4) 技术的高度集成性。
- (5) 应用领域广泛。



二、快速成型技术的基本原理





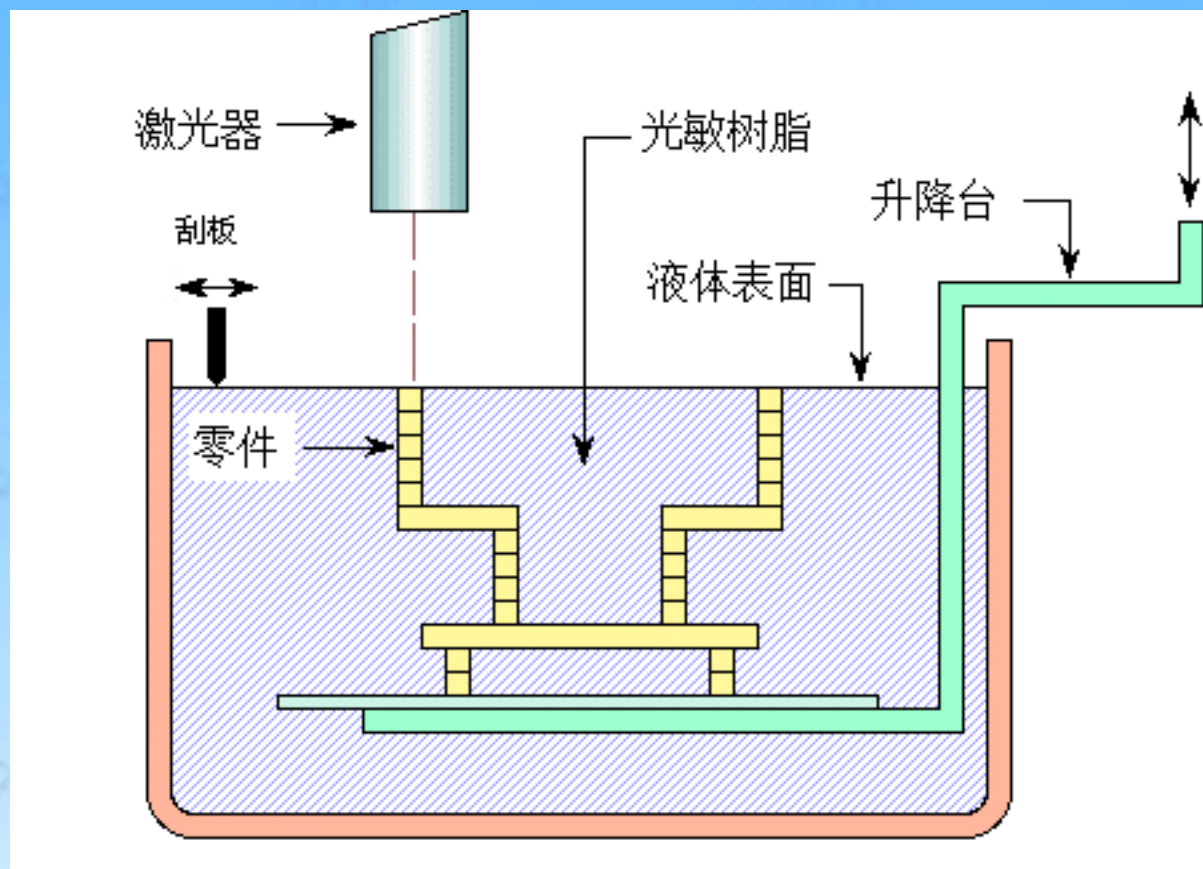
三、快速成型工艺

1. 光固化技术

光固化成型工艺，也被称为立体光刻成型属于快速成型工艺的一种，简称SLA (Stereo lithography Appearance)。该工艺是美国于1986年研制成功的一种RP工艺，1987年获美国专利，是最早出现的、技术最成熟和应用最广泛的快速原型技术。它以光敏树脂为原料，用特定波长与强度的激光，聚焦到光固化材料表面，使之由点到线、由线到面顺序凝固，完成一个层面的绘图作业；然后升降台在垂直方向移动一个层片的高度，再固化另一个层面。这样层层叠加构成一个三维实体，通过计算机控制紫外激光石器逐层凝固成型。这种方法能简捷、全自动地制造出表面质量和尺寸精度较高、几何形状复杂的原型。



光固化成型工艺的基本原理



光固化成型工艺原理

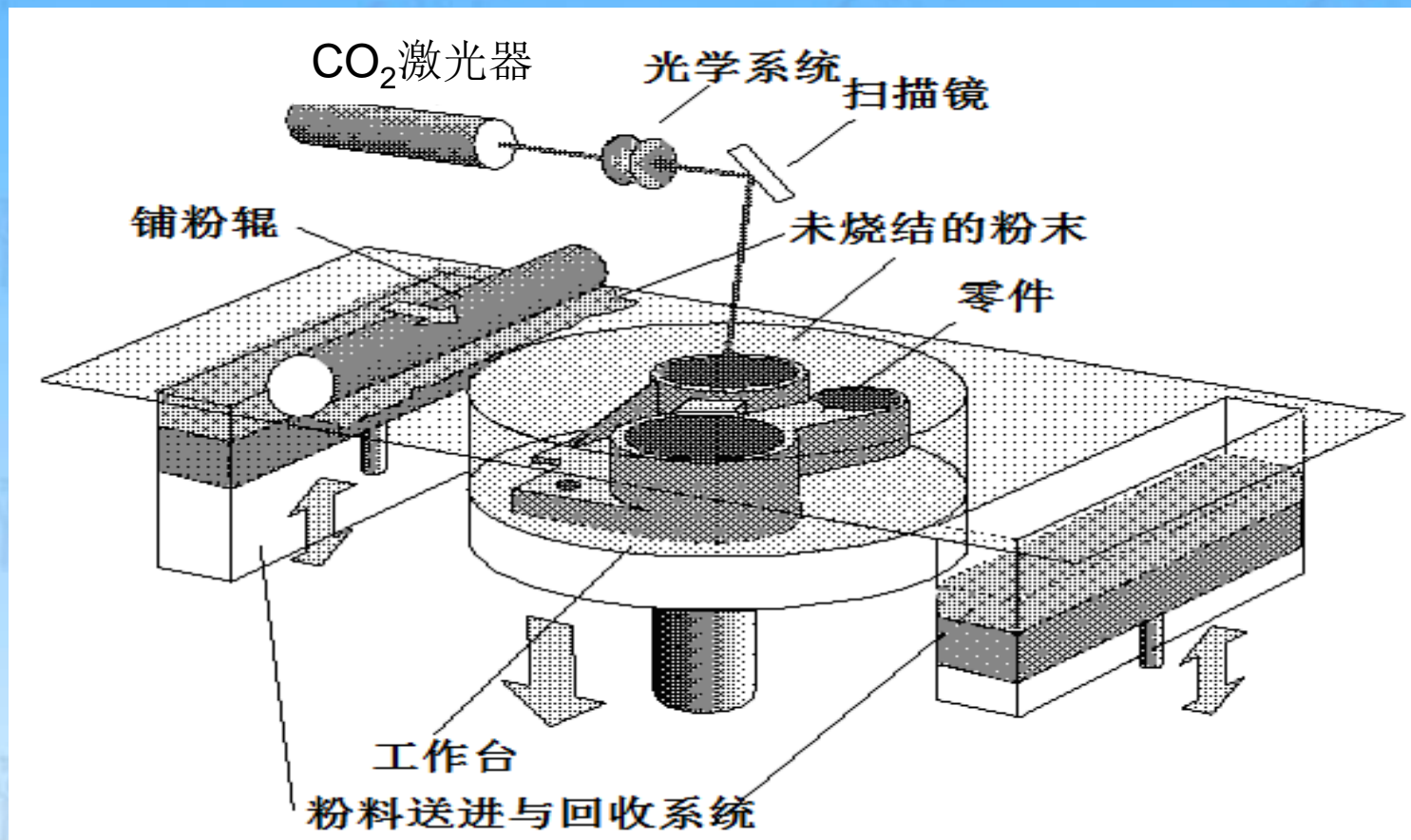


2. 激光选区烧结技术

选择性激光烧结工艺简称SLS(Selective Laser Sintering), 又称为选区激光烧结, 由美国德克萨斯大学奥汀分校的C. R. Dechard于1989年研制成功。该方法已被美国DTM公司商品化。于1992年开发了基于SLS的商业成型机(Sinterstation)。十几年来, DTM公司在SLS领域做了大量的研究工作。德国的EOS公司在这一领域也做了很多研究工作, 并开发了相应的系列成型设备。



选择性激光烧结工艺原理



选择性激光烧结工艺原理

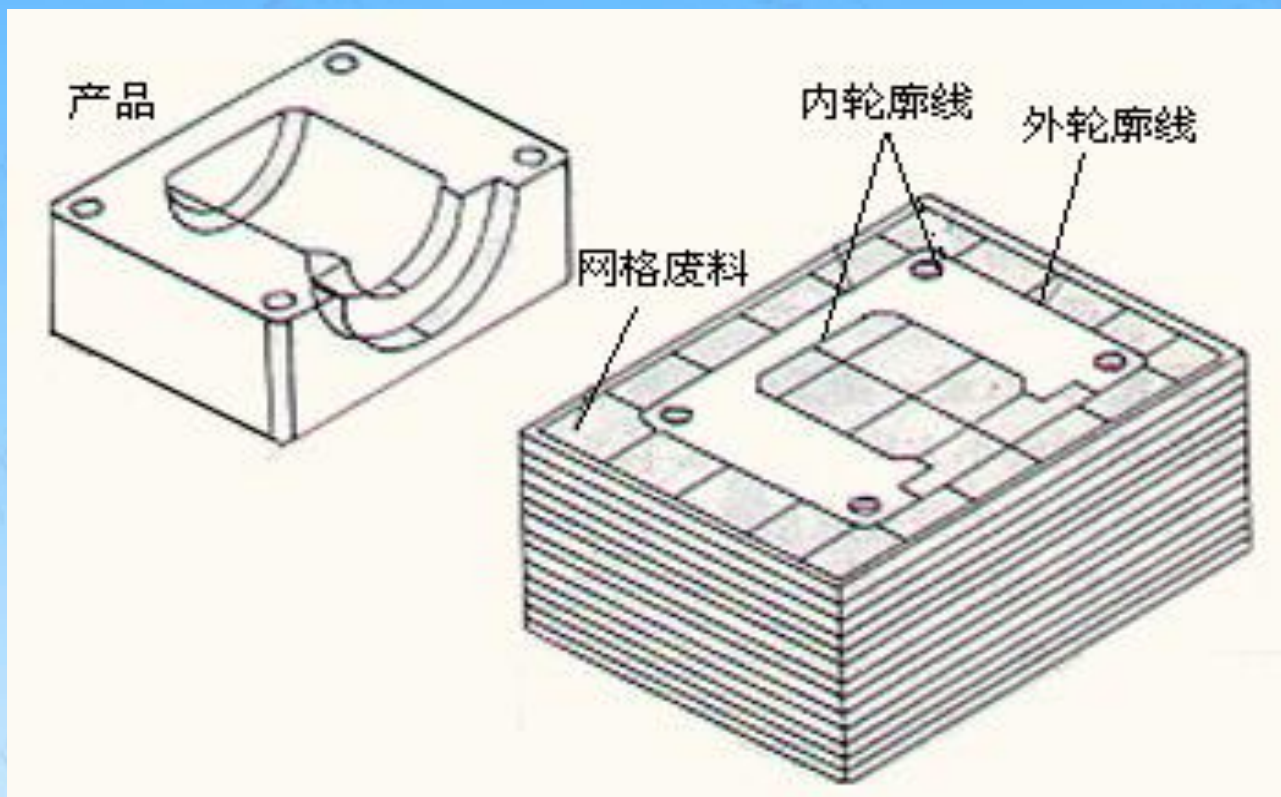


3. 叠层实体造型技术

叠加实体制造技术简称LOM (Laminated Object Manufacturing)。是几种最成熟的快速成型制造技术之一。这种制造方法和设备自1991年问世以来，得到迅速发展。由于叠层实体制造技术多使用纸材，成本低廉，制件精度高，而且制造出来的木质原型具有外在的美感和一些特殊的品质，因此受到了较为广泛的关注。在产品概念设计可视化、造型设计评估、装配检验、熔模铸造型芯、砂型铸造木模、快速制模以及直接制模等方面得到了迅速应用。LOM常用材料是纸、金属箔、塑料膜、陶瓷膜等，此方法除了可以制造模具、模型外，还可以直接制造结构件或功能件。该方法的特点是原材料价格便宜、成本低。



叠加实体制造工艺原理



叠加实体成型工艺原理

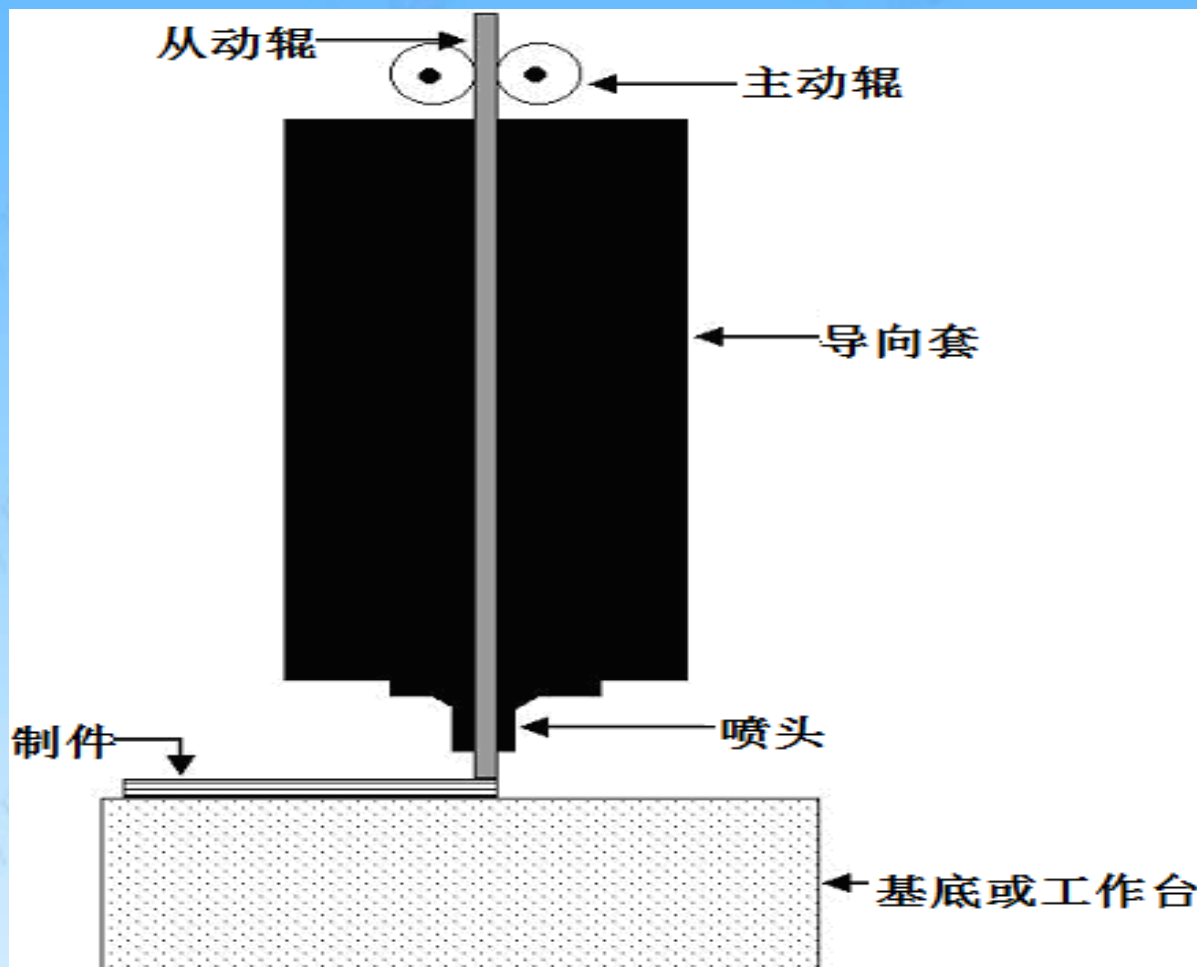


4. 熔融沉积制造技术

熔融沉积快速成型简称FDM (Fused Deposition Modeling)，是继光固化快速成型和叠加实体快速成型工艺后的另一种应用比较广泛的快速成型工艺。该工艺方法以美国Stratasys公司开发的FDM制造系统应用最为广泛。该公司自1993年开发出第一台FDM1650机型后，先后推出了FDM2000、FDM3000、FDM8000及1998年推出的引人注目的FDM Quantum机型，FDM Quantum机型的最大造型体积达到600mm×500mm×600mm。国内的清华大学与北京殷华公司也较早地进行了FDM工艺商品化系统的研制工作，并推出熔融挤压制造设备MEM 250等。



熔融沉积成型工艺原理

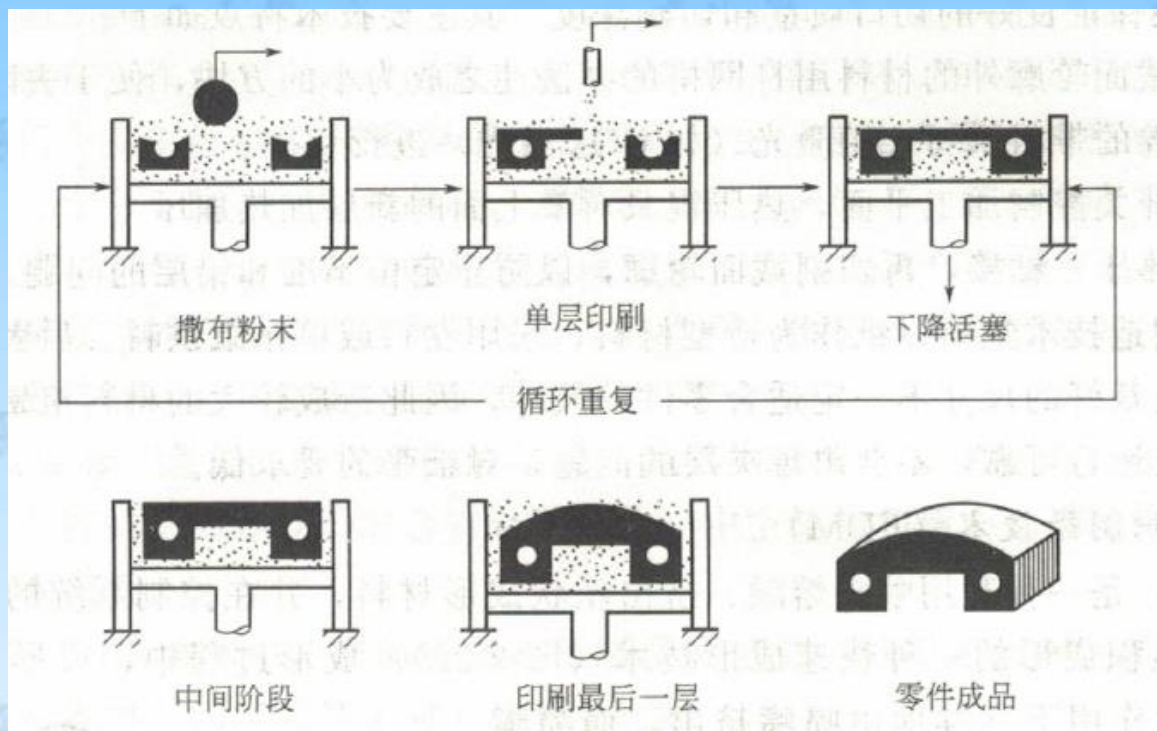


熔融沉积制造工艺示意图



5. 三维打印制造技术

3D打印技术（学术界成为增材制造、快速成型技术等）
是通过对CAD数据离散分析，得到堆积的约束、路径及方法，
通过材料叠加堆积而形成三维实体模型。





3D打印应用领域

海军舰艇

房屋建筑

航天科技

汽车行业

医学领域

电子行业



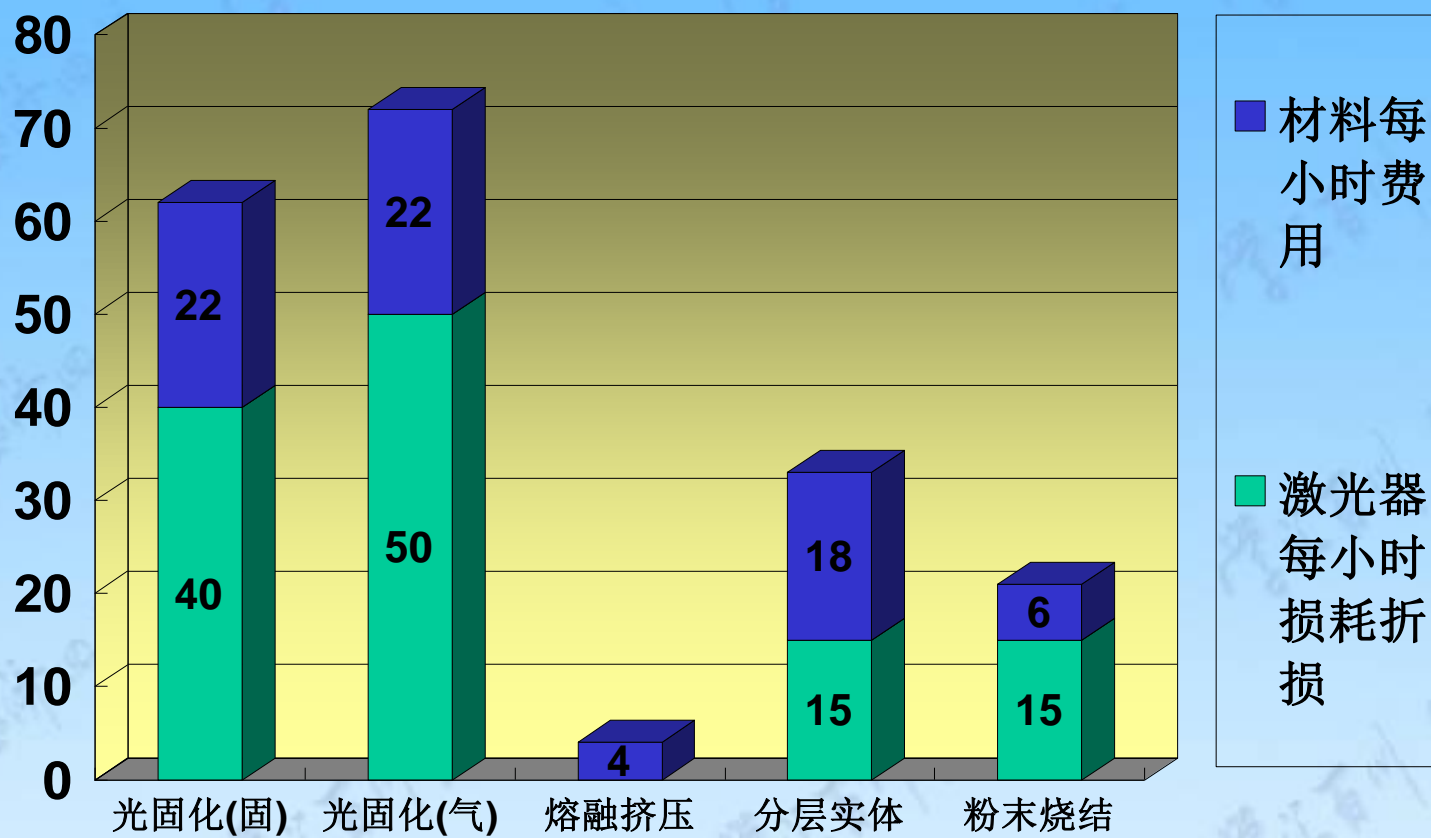


3D打印的优点

- 拓展产品创意与创新空间、无需任何夹具，设计和制造一体化；
- 极大降低产品研发创新成本、缩短创新研发周期；
- 简化制造，提高产品质量与性能；
- 能制造出传统工艺无法加工的零部件、解决常规机械加工或手工无法解决的问题，极大增强了工艺实现能力；
- 提高了难加工材料可加工性，拓展了工程应用领域；
- 3D打印制造技术促进绿色制造模式。



6. 常见快速成形工艺运行成本对比



四、3D打印技术与行业的前景展望



3D打印技术应用前景:

- 目前应用最多的为模型、原型、高性能塑料和功能件的制造;
- 未来在模具、医疗、电子、个人消费品、组织工程、智能结构和其他未知领域都有很大的潜力。



大连海事大学
DALIAN MARITIME UNIVERSITY





大连海事大学
DALIAN MARITIME UNIVERSITY

学汇百川 德济四海



第三章 工艺规程设计

王静思

轮机工程学院

目 录

第一节 机械制造工艺的基本概念

第二节 零件结构工艺性分析及确定毛坯

第三节 工艺路线与工序内容的拟定

第四节 确定加工余量、工序尺寸及其公差

第五节 时间定额和提高劳动生产率的工艺途径

第一节 机械制造工艺的基本概念

一、生产系统、制造系统和工艺系统

- **生产系统**是指制造企业中进行制造和装配，以及开发设计、计划管理、经营决策等活动的总和。
- **制造系统**是生产系统的重要组成部分，是生产系统中生产技术层次的主体，包括毛坯制造、加工、装配、存储、运输、检验等工作。
- **工艺系统**是指在制造系统中，机械加工所使用的加工设备（机床）、刀具、夹具和工件等组成的一个相对独立的统一体。

二、生产过程和工艺过程及其组成

1. 生产过程

生产过程 指把原材料转变为成品的全过程。

机械工厂的生产过程一般包括原材料的验收、保管、运输，生产技术准备，毛坯制造，零件加工（含热处理），产品装配，检验以及涂装等。

现代制造模式中，往往各有关劳动过程是分布在不同车间或工厂里进行的。

2. 工艺过程及其组成

(1) 工艺过程

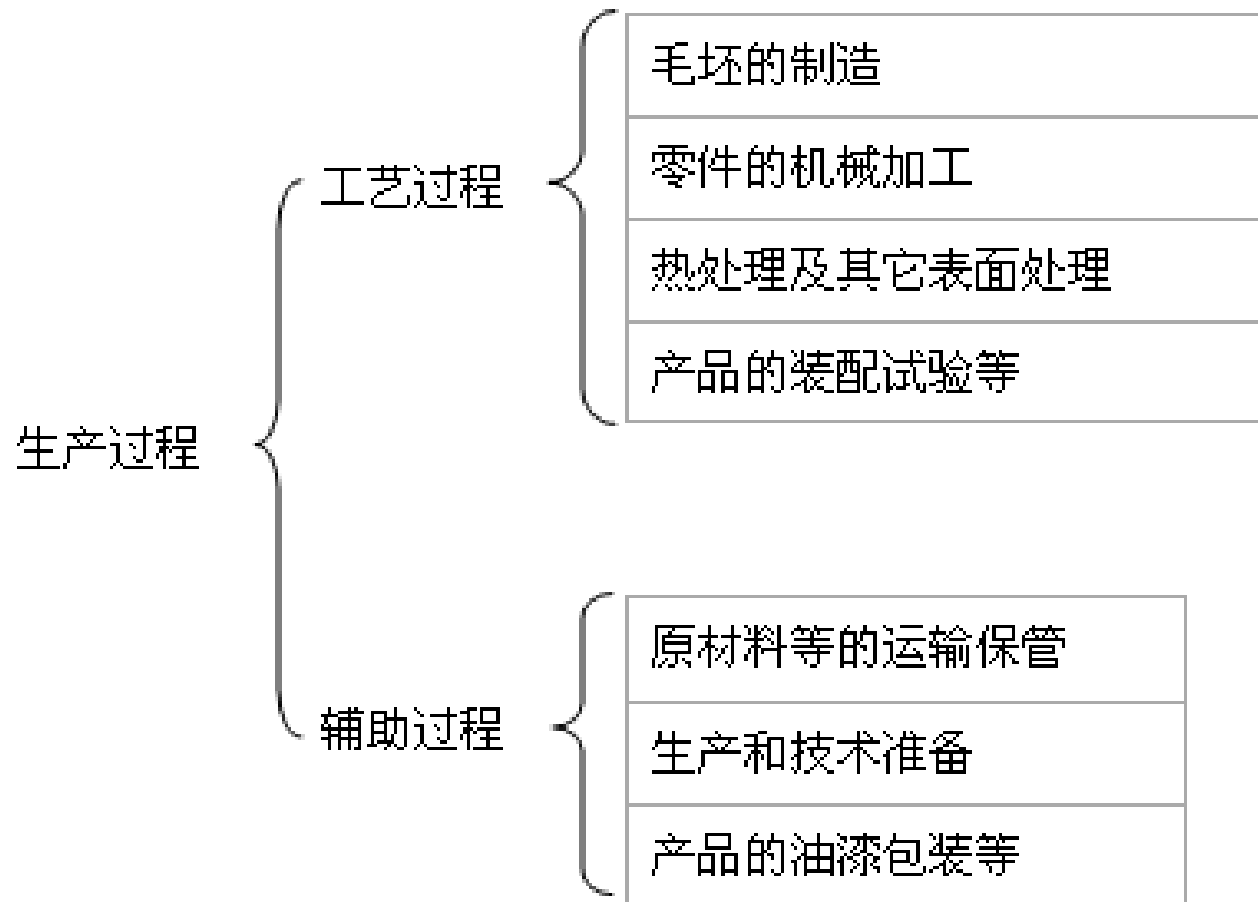
把生产过程中改变生产对象的形状、尺寸、相对位置和物理、力学性能等，使其成为成品或半成品的过程称为工艺过程。

工艺过程可根据其具体工作内容分为铸造、锻造、冲压、焊接、机械加工、热处理、表面处理、装配等不同的工艺过程。

生产过程组成

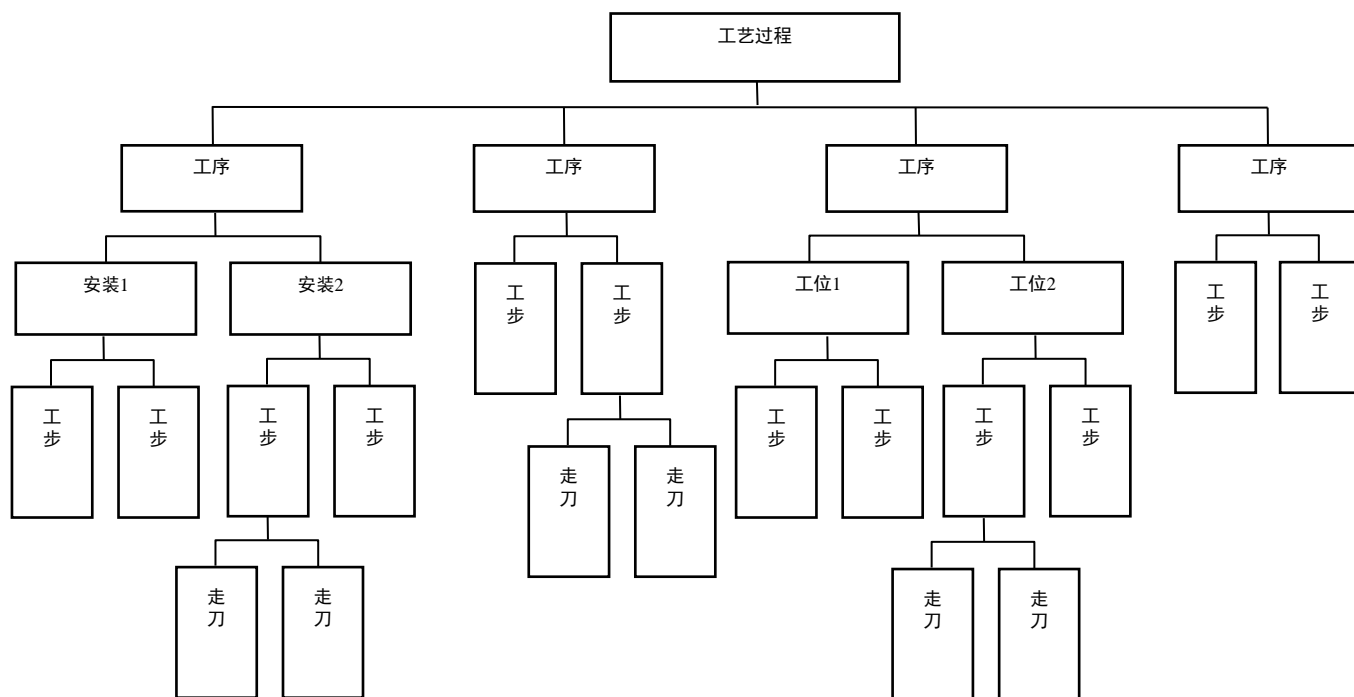
What procedures are involved in the productive process.

制造工艺过程是整个生产过程的重要组成部分。



(2) 机械加工工艺过程的组成

机械加工工艺过程是指用机械加工方法（主要是切削加工方法）逐步改变毛坯的形态（形状、尺寸以及表面质量），使其成为合格零件所进行的全部过程。它一般由工序、工步、走刀等不同层次的单元所组成。



① 工 序

一个或一组工人在一个工作地点，对一个或同时对几个工件所连续完成的那部分工艺过程叫工序。

当加工对象更换或设备工作地点改变时，或完成工艺工作的连续性有改变时，则形成另一部分工序。

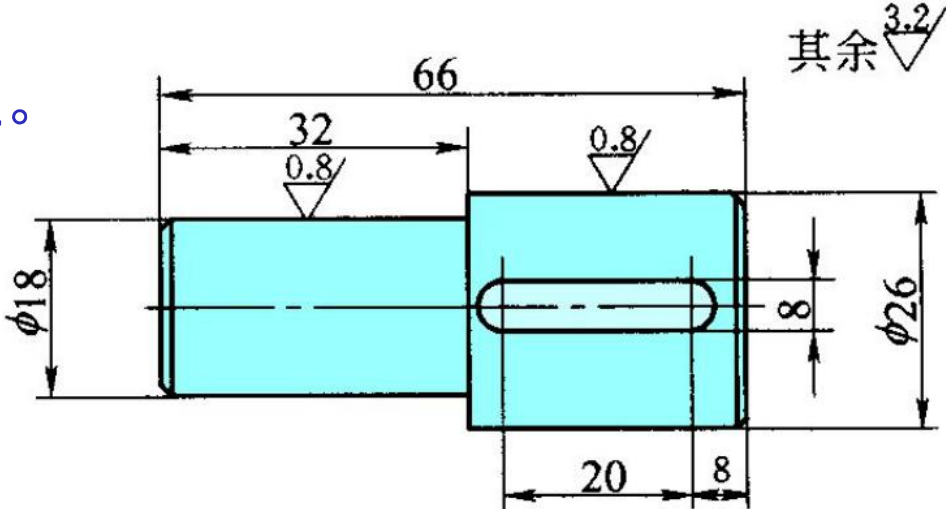
如加工圆轴：先粗车，然后掉头另一次装夹再精车，则为同一道工序。如果生产量大，则完成一批件粗车，再对这批工件精车（连续性被打断），虽然其他条件不变，但却成为两道工序。

工序的确定

Determination of process procedure

工序数目和工艺过程的确定与零件的技术要求、零件的数量和现有工艺条件等有关。

如：阶梯轴零件的加工。



大批量生产
工艺过程

工序号	工序内容	设备
1	铣端面，打中心孔	铣端面打中心孔机床
2	车大外圆及倒角	车床
3	车小外圆及倒角	车床
4	铣键槽	铣床
5	去毛刺	钳工台

② 安 装

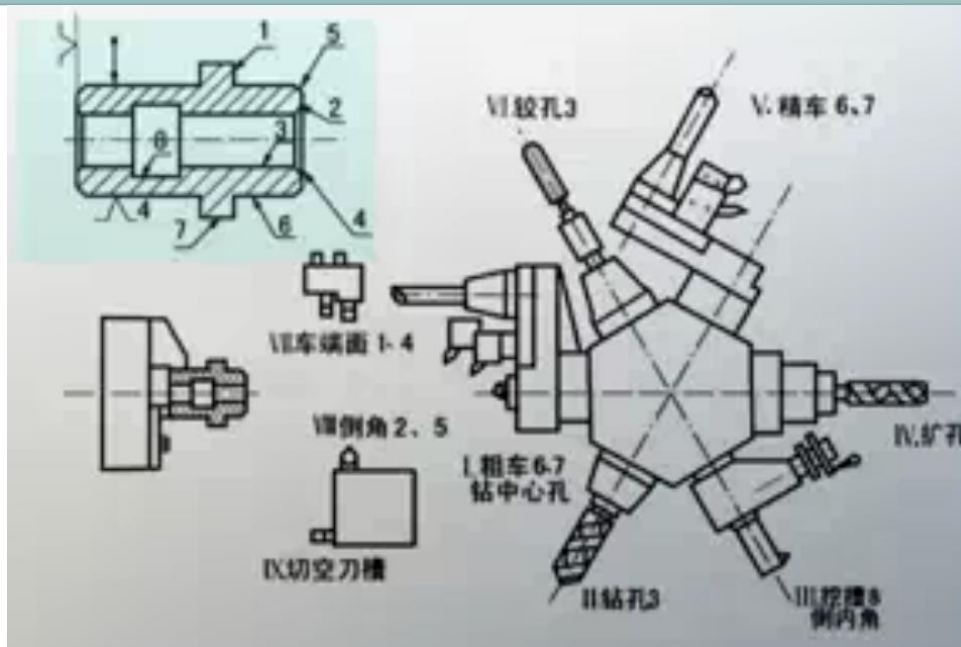
同一道工序中，工件经一次装夹后所完成的那一部分工艺过程。

- 每一个工序可能有一次安装，也可能有几次安装。若对一个工件的两端连续进行车端面、钻中心孔（轴类零件进行后续加工的定位基准），就需要两次安装（分别对两端进行加工），每次安装有两个工步（车端面和钻中心孔）。
- 在同一工序中，安装次数尽量少，既可以提高生产效率，又可以减少由于多次安装带来的加工误差。

③ 工 位

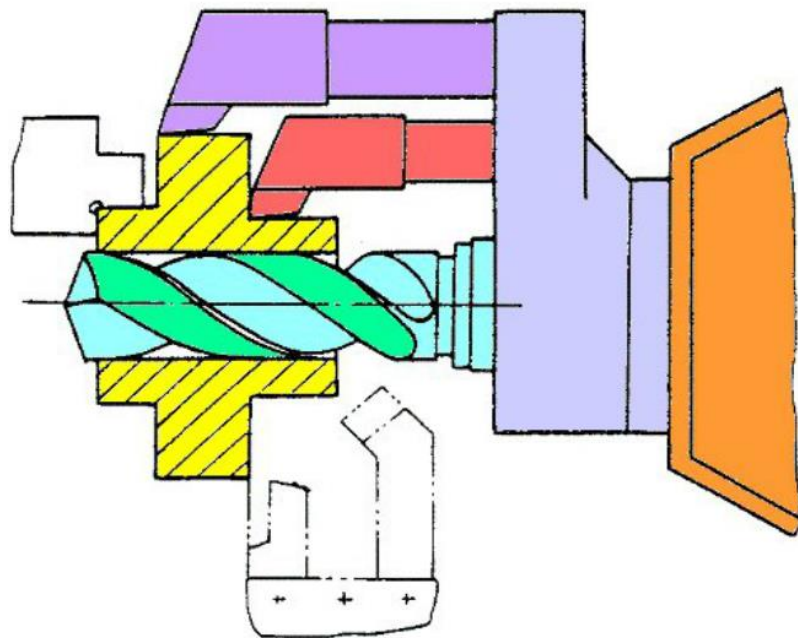
工件在一次安装后，工件与夹具或设备的可动部分一起相对于刀具或设备的固定部分所占据的每一个位置上所完成的那一部分工艺过程称为工位。

◆多工位加工



④ 工步与复合工步

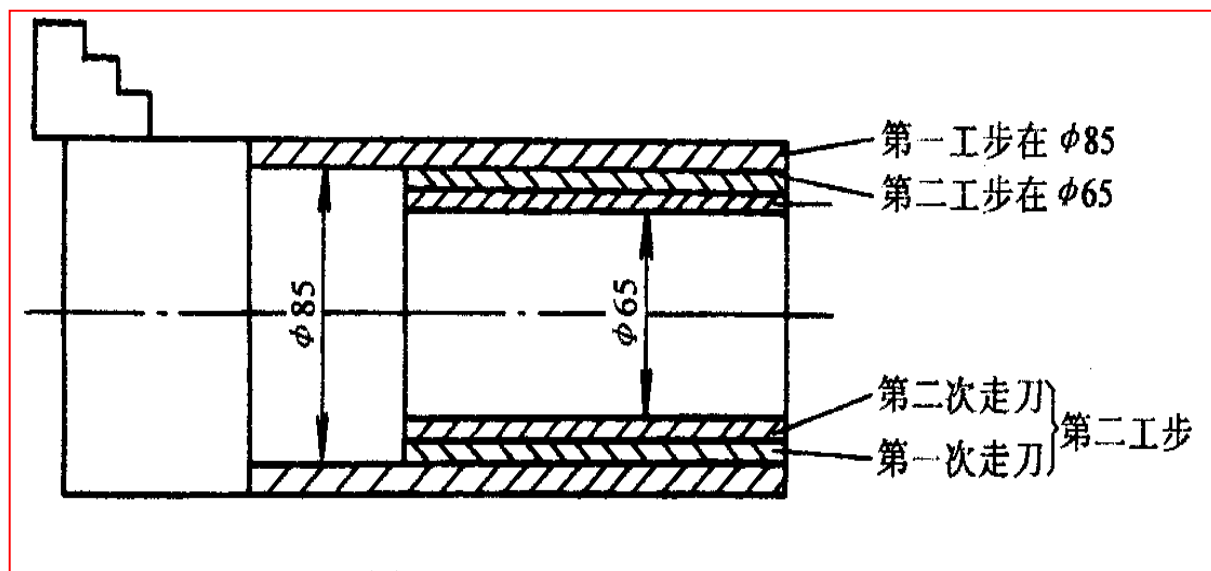
在加工表面、切削刀具和切削用量（仅指转速和进给量）都不变的情况下，所连续完成的那部分工艺过程，称为一个工步。有时为了提高生产效率，经常把几个待加工表面用几把刀具同时进行加工，这可看作为一个工步，并称为复合工步。



立轴转塔车床的
一个复合工步

⑤ 走 刀

在一个工步内，有些表面由于加工余量太大，或由于其它原因，需用同一把刀具以及同一切削用量对同一表面进行多次切削。这样刀具对工件的每一次切削就称为一次走刀。



以棒料制造阶梯轴

三、生产纲领、生产类型及其工艺特征

问题

有哪些因素会影响制造系统的规模以及工艺过程的划分？

Which factors have influences on the scale of manufacturing system and arrangement of the craft process?



1. 生产纲领

产品的年生产纲领是产品的年生产量。

零件的年生产纲领按下列公式计算：

$$N=Qn(1+\alpha)(1+\beta)$$

式中 N——零件的生产纲领，单位为件 / 年；

Q——产品的年产量，单位为台 / 年；

n——每台产品中所含该零件的数量，单位为件 / 台；

α ——零件的备品百分率；

β ——零件的废品百分率。

2. 生产类型及其工艺特征

根据产品投入生产的连续性，可大致分为三种不同的生产类型。

(1) 单件生产

产品品种不固定，每一品种的产品数量很少，大多数工作地点的加工对象经常改变。例如，重型机械、造船业等一般属于单件生产。

(2) 大量生产

产品品种固定，每种产品数量很大，大多数工作地点的加工的对象固定不变。例如，活塞、轴承制造等一般属于大量生产。

(3) 成批生产

产品品种基本固定，但数量少，品种较多，需要周期性地轮换生产，大多数工作地点的加工对象是周期性的变换。

每批制造的相同零件的数量，称为批量。

在成批生产中，根据批量大小可分为小批、中批和大批生产。小批生产的特点接近于单件生产的特点，大批生产的特点接近于大量生产的特点，中批生产的特点介于单件和大量生产特点之间。因此生产类型可分为：单件小批生产，大批大量生产，中批生产。

各种生产类型的工艺特征

加工机械零件的生产类型和生产纲领关系

生产类型		同种零件的年生产纲领（件/年）		
		轻型零件	中型零件	重型零件
单件生产		≤ 100	≤ 20	≤ 5
成批生产	小批	100~500	10~150	5~100
	中批	500~5000	150~500	100~300
	大批	5000~50000	500~5000	300~1000
大量生产		> 50000	> 5000	> 1000

各种生产类型的工艺特征

机械产品各种生产类型的工艺特征

名称	大量生产	成批生产	单件生产
生产对象	品种较少，数量较大 固定不变	品种较多，数量较多 周期性变换	品种较多，数量较少 经常变换
零件互换性	具有广泛的互换性， 某些高精度配合件用分 组选择法装配，不允许 用钳工修配	大部分零件具有互 换性，同时还保留某 些钳工修配工作	广泛采用钳工修配
毛坯制造	广泛采用金属模机器 造型、模锻等 毛坯精度高，加工余 量小	部分采用金属模造 型、模锻等，部分采 用木模手工造型、自 由锻造 毛坯精度中等	广泛采用木模手工 造型、自由锻造 毛坯精度低，加工 余量大

名称	大量生产	成批生产	单件生产
机床设备机器布置	采用高效专用机床，组合机床，可换主轴箱（刀架）机床，可重组机床 采用流水线或自动线进行生产	部分采用通用机床，部分采用数控机床、加工中心、柔性制造单元、柔性制造系统 机床按零件类别分工段排列	广泛采用通用机床、重要零件采用数控机床或加工中心，机床按机群布置
获得规定加工精度的方法	在调整好的机床上加工	一般是在调整好的机床上加工，有时也用试切法	试切法
装夹方法	高效专用夹具装夹	夹具装夹	通用夹具装夹，找正装夹

名称	大量生产	成批生产	单件生产
工艺装备	广泛采用高效率夹具、量具或自动检测装置，高效复合刀具	广泛采用专用夹具，广泛采用通用刀具、万能量具，部分采用专用刀具、专用量具	广泛采用通用夹具、量具和刀具
对工人要求	调整工技术水平要求高，操作工技术水平要求不高	对工人技术水平要求较高	对工人技术水平要求高
工艺文件	工艺过程卡片、工序卡片、检验卡片	一般有工艺过程卡片，重要工序有工序卡片	只有工艺过程卡片

四、机械加工工艺规程



机械加工工艺卡片				产品型号		零件图号		零件名称		材料		共 7 页 第 2 页	

连杆加工工艺

1. 工艺规程的定义和作用

用文件规定下来的工艺过程叫机械加工工艺规程，简称为工艺规程，是指导机械加工的主要技术文件。



作用

- (1) 工艺规程是指导生产的主要技术文件
- (2) 工艺规程是组织生产和管理工作的基本依据
- (3) 工艺规程是新建或扩建工厂或车间的基本资料

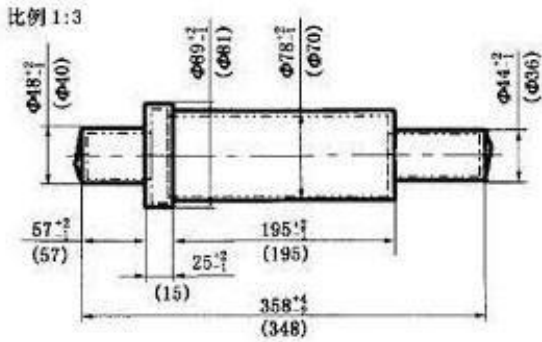

2. 常用工艺文件的种类

- (1) 机械加工工艺过程卡片
- (2) 机械加工工艺卡
- (3) 机械加工工序卡

*工艺过程卡实例

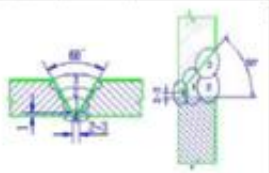
[illegible]

*工艺卡实例

×××有限公司	锻造工艺卡片	产品型号	JZ0011	零(部)件图号	001	共1页	
		产品名称	外圆磨床	零(部)件名称	阶梯轴	第1页	
						材料牌号	40Cr
						材料规格/mm	Φ100×190
						毛坯重量/kg	11.7
						零件数/坯	1
						零件数/台	1
						锻件重量/kg	10.3
						切芯连皮重量/kg	0.841
						火耗重量/kg	0.559
						材料何处来	材料库
锻件何处去	毛坯库						
冷却方法	空冷						
锻后热处理	正火						
锻造温度/℃	1200~800						
变形工步说明	工序号	工序内容			设备	工艺装备	
	1	二次加热			重油炉		
	2	拔长、号印、切屑、锻台阶、滚圆、精整(校直)			两组锤		
	机加工工艺要求						
	1. 机加工后调质						
编制(日期)	2003-1-9	审核(日期)		会签(日期)		标准	

是针对某一工艺阶段编制的一种加工路线工艺,它规定了零件在这一阶段的各道工序,以及使用的设备、工装和加工规范。如锻压工艺卡、电镀工艺卡等。

焊接工艺卡(WPS)

施 工 号		产品名称	油罐制作	工艺编号	第 12 页 第 1 页	
件 号	Q-6.8等	设备类型	直流弧焊机	预热温度		
母 材	Q245R	焊接位置	平位、立位、横位等	层间温度		
PQR 号		无损检测	详见焊接要求及说明	焊前处理		
焊工资格	SAWA-1-IG-2G-3G-12-F1J	合格等级	JB4730-2005 合格	产品规格型号		
焊接工艺参数	焊接层次	焊接方法	焊材牌号规格 (mm)	电源极性	焊接电流 (A)	焊接电压 (V)
	1	SAWA	E4315 Φ1.2	直流反接	90-110	24-26
	2~	SAWA	E4315 Φ1.2	直流反接	110-130	26-28
	或 2~	SAWA	E4315 Φ4.0	直流反接	140-160	26-28
	底面	SAWA	E4315 Φ1.2	直流反接	120-130	26-28
坡口尺寸、焊道分布和编号顺序			焊接编号	焊 接 要 求 及 说 明		
			编号、编号对焊	1. 坡口前焊缝清理及坡口周围 20mm 范围的油污、铁锈、水等任何杂物, 见金属光泽。 2. 厚度大于 10mm 的壁板, 应进行 100° 或 T (丁字缝)。 3. 先焊纵焊缝, 后焊环焊缝。环焊缝应采用多道焊工艺均为对称方向同时施焊。 4. 反面焊应气割或砂轮清理, 打磨干净后施焊。 5. 纵缝对接焊缝, 每一焊工焊接的每道焊缝, 在最初焊接的 300mm 内进行射线探伤; 在以前, 对每道焊缝每 300mm 及其长度往 300mm 进行射线探伤, 厚度 ≤ 10mm 应从每道纵缝焊缝中取 1 个 300mm 进行射线探伤, > 10mm 从每道纵缝焊缝中取 2 个 300mm 进行射线探伤, 其中一个应靠近层板。 6. 环缝对接焊缝, 每一焊工焊接的每道焊缝, 在最初焊接的 300mm 内进行射线探伤; 在以前, 对每道焊缝每 300mm 及其长度往 300mm 进行射线探伤。 7. 罐底边缘板每道对接焊缝的焊缝 300mm 范围内, 应进行射线探伤。		

*工序卡实例

工序二		机械加工工序卡片		产品型号		零件图号				
				产品名称	齿轮泵	零件名称	从动齿轮坯料	共 8 页	第 2 页	
				车间	工序号	工序名称	材料牌 号			
				金工	20	齿轮零件左端 固定加工零件右端 外型面	45			
				毛坯种类	毛坯外形尺寸	每毛坯可制件数	每 台 件 数			
				锻件	Φ 46×33.5×Φ 15	1	1			
				设备名称	设备型号	设备编号	同时加工件数			
				立式车床	HTC2050	1	1			
				夹具编号		夹具名称		切削液		
				1		四爪自定心卡盘				
				工位器具编号		工位器具名称		工序工时 (分)		
								准终	单件	
				10		1				
工步号	工 步 内 容	工 艺 装 备	主轴转速 r/min	切削速度 mm/min	进给量 mm/r	切削深度 mm	进给次数	工步工时		
								机动	辅助	
1	粗车外圆至Φ 43mm，长度大约为 25mm	气动弹性夹具	76.8	12.8	0.4	1.5	1	6	4	
2	精车外圆至Φ 42.62f6mm，长度大约为 25mm	气动弹性夹具	1000	22	0.3	0.21	1	5	2	

是规定某一工序内具体加工要求的文件。除工艺守则已作出规定的之外，一切与工序有关的工艺内容都集中在工序卡片上。
如机加工工序卡、装配工序卡、操作指导卡等

要求画工序简图，需用定位夹紧符号表示定位基准等，用加粗实线指出本工序的加工表面，表明工序尺寸、公差及技术要求

3. 制订机械加工工艺规程的原则及步骤

(1) 机械加工工艺规程制定的原则

- (1) 工艺过程要能可靠地保证图纸上所有**技术**要求的实现
- (2) 确保以最**经济**的办法获得所要求的年生产纲领，也就是说，人力、物力消耗最少而生产率要足够高。

(2) 步骤

- (1) 收集原始资料，分析零件图和产品装配图。
- (2) 按结构工艺特征分类分组。根据生产纲领确定生产组织形式。
- (3) 毛坯的选择和结构工艺性分析。
- (4) 拟定工艺路线（确定加工设备，划分加工阶段和工序）。
- (5) 确定每一工序工艺装备、工件装夹和定位、工夹具和量具等。
- (6) 确定切削用量、时间和规定生产工人的等级等。
- (7) 对工艺方案进行技术经济分析。
- (8) 填写工艺文件。

第二节 零件结构工艺性分析及确定毛坯

一、零件结构工艺性的概念

- 定义——零件结构的工艺性是指所设计的零件在满足使用要求的前提下，制造的可行性和经济性。
- 功能相同的零件，其结构工艺性可以有很大差异。
- 良好的结构工艺性是指在现有工艺条件下既能方便制造，又有较低的制造成本。
- 零件结构工艺性的分析，包括零件尺寸和公差的标注、零件的组成要素和整体结构等方面的分析。

二、零件要素的工艺性

结构工艺性内容

在毛坯制造方面

- 铸件：便于造型、拔模斜度
- 壁厚均匀、无尖边、尖角
- 锻件：形状简单、无尖边、尖角、飞刺，便于出模

在加工方面

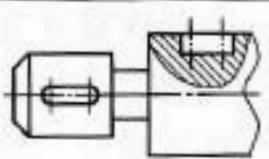
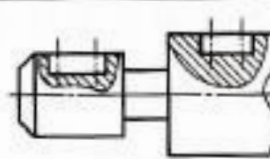
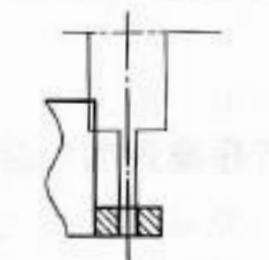
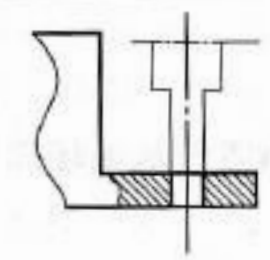
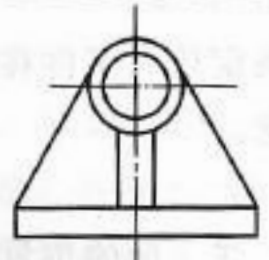
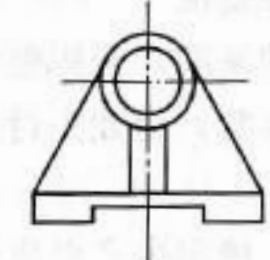
- 合理标注零件的技术要求
- 便于加工、减少加工
- 数控加工工艺性分析

在装配方面

- 便于装配、减少修配量

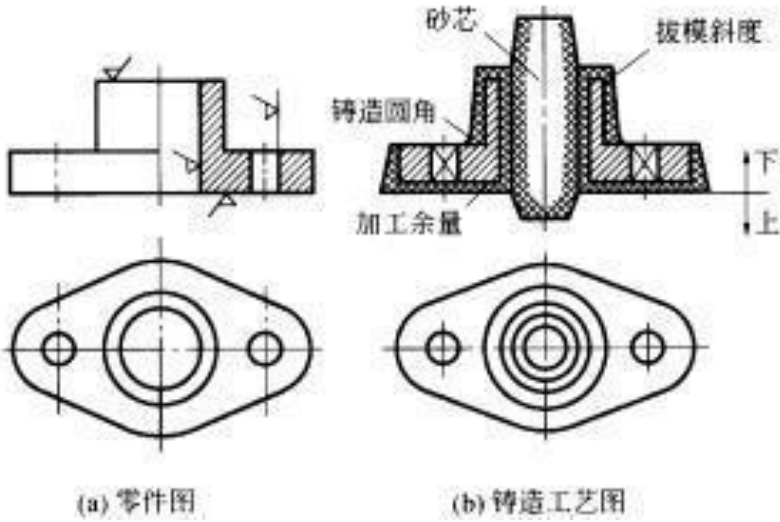
*机械加工的结构工艺性实例

思考：机械加工中应该考虑哪些零件的结构工艺性问题？

序 号	工艺性不合理	工艺性合理
1		
2		
3		

*铸造和锻造的结构工艺性实例

思考：零件铸造和锻造中应该考虑哪些零件的结构工艺性问题？



(续)

序 号	注 意 事 项	图 例	
		改 进 前	改 进 后
3	避免肋、工字形截面等复杂形状		
4	避免形状复杂的凸台及叉形件内凸台		
5	形状复杂或具有骤变的横截面的零件,必须改为锻件组合或焊接结构		

三、零件整体结构的工艺性

在加工方面

- 减轻零件重量
- 保证加工的可行性、经济性
- 零件尺寸、规格、结构要素标准化
- 正确标注图纸尺寸及加工技术要求。

在装配方面

- 便于分解独立装配单元
- 便于平行、流水作业
- 调整方便、减轻装配劳动
- 便于达到装配精度

四、确定毛坯

The selection of the blanks

毛坯的选择：毛坯的种类、毛坯的制造方法。

毛坯的材料：铸铁、碳钢、合金钢等。

制造方法：铸件、锻件、轧制件、焊接件、冲压件、粉末冶金和塑料压制件等

选择毛坯时主要考虑下列因素：

- (1) 零件材料的力学性能
- (2) 生产类型
- (3) 零件的结构形状和外形尺寸



第三节 工艺路线与工序内容的拟定

一、工艺路线的拟定

1. 表面加工方法选择

(1) 加工方法的经济精度、表面粗糙度与加工表面的技术要求相适应。

(2) 加工方法与被加工材料的性质相适应。

(3) 加工方法与生产类型相适应。

(4) 加工方法与本厂条件相适应。

加工经济精度及表面粗糙度关系1

表4 外圆加工中各种加工方法的加工经济精度及表面粗糙度

加工方法	加工性质	加工经济精度（IT）	表面粗糙度（ $Ra/\mu m$ ）
车	粗车	13~12	80~10
	半精车	11~10	10~2.5
	精车	8~7	5~1.25
	金刚石车	6~5	1.25~0.02
外磨	粗磨	9~8	10~1.25
	半精磨	8~7	2.5~0.63
	精磨	7~6	1.25~0.16
	精密磨	6~5	0.32~0.08
	镜面磨	5	0.08~0.008
研磨	粗研	6~5	0.63~0.16
	精研	5	0.32~0.04
超精加工	精	5	0.32~0.08
	精密	5	0.16~0.01
砂带磨	精磨	6~5	0.16~0.02
	精密磨	5	0.04~0.01
滚压		6~7	1.25~0.16

加工经济精度及表面粗糙度关系2

表5 孔加工方法的加工经济精度及表面粗糙度

加工方法	加工性质	加工经济精度（IT）	表面粗糙度（ $Ra/\mu m$ ）
钻	实心材料	12~11	20~2.5
扩	粗扩	12	20~10
	铸或冲孔一次扩	12~11	
	精扩	10	10~2.5
铰	半精铰	11~10	10~5
	精铰	9~8	5~1.25
	细铰	7~6	1.25~0.32
拉	粗拉	11~10	5~2.5
	精拉	9~7	2.5~0.63
镗	粗镗	12	20~10
	半精镗	11	10~5
	精镗	10~8	5~1.25
	细镗	7~6	1.25~0.32
内磨	粗磨	9	10~1.25
	精磨	8~7	1.25~0.32
珩	粗珩	6~5	1.25~0.32
	精珩	5	0.32~0.04
研	粗研	6~5	1.25~0.32
	精研	5	0.32~0.01
滚压		8~7	0.63~0.16

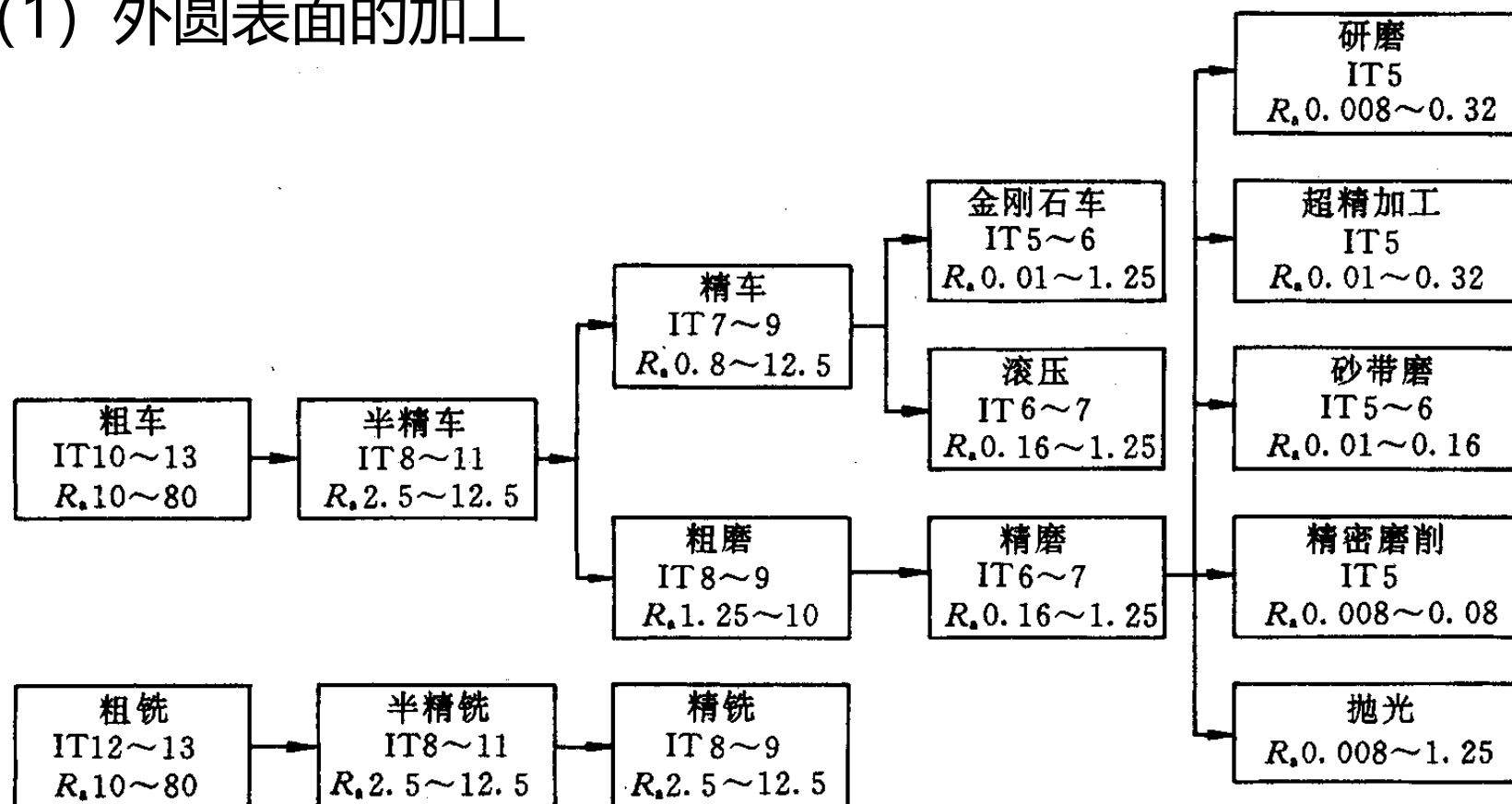
加工经济精度及表面粗糙度关系3

表6 平面加工方法的加工经济精度及表面粗糙度

加工方法	加工性质	加工经济精度（IT）	表面粗糙度（ $Ra/\mu m$ ）
周铣	粗铣	12~11	20~5
	精铣	10	5~1.25
端铣	粗铣	12~11	20~5
	精铣	10~9	5~0.63
车	半精车	11~10	10~5
	精车	9	10~2.5
	细车（金刚石车）	8~7	1.25~0.63
刨	粗刨	12~11	20~10
	精刨	10~9	10~2.5
	宽刀精刨	9~7	1.25~0.32
平磨	粗磨	9	5~2.5
	半精磨	8~7	2.5~1.25
	精磨	7	0.63~0.16
	精密磨	6	0.16~0.016
刮研	手工刮研	10~20 点/25mm×25mm	1.25~0.16
研磨	粗研	7~6	0.63~0.32
	精研	5	0.32~0.08

2. 典型表面的加工路线

(1) 外圆表面的加工

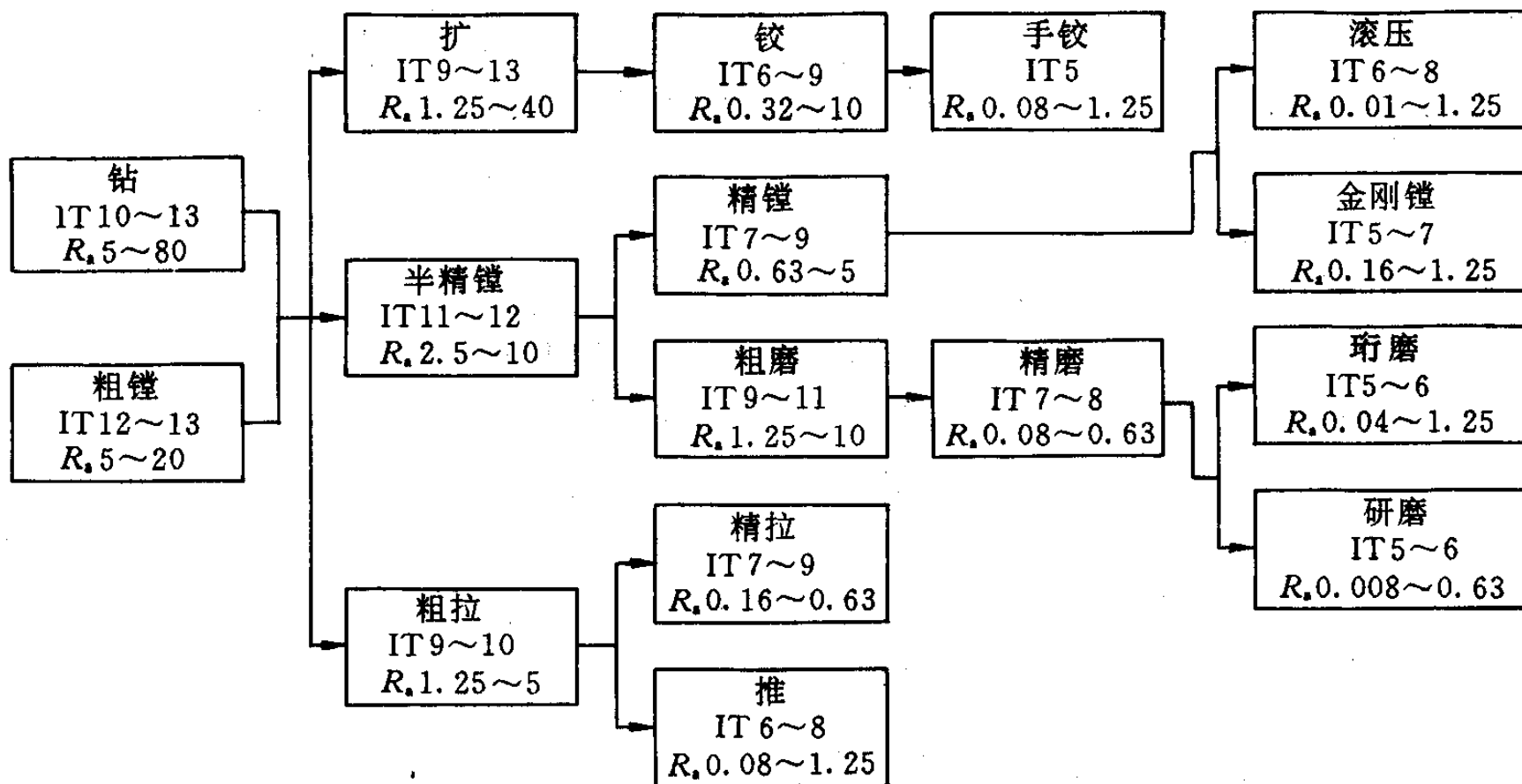


*外圆柱面加工方法实例

外圆柱面加工方法

序号	加工方法	经济精度（以公差等级表示）	经济表面粗糙度	适用范围
1	粗车	IT11~IT13	12.5~50	适用于淬火钢外的各种金属
2	粗车-半精车	IT8~IT10	3.2~6.3	
3	粗车-半精车-精车	IT7~IT8	0.8~1.6	
4	粗车-半精车-精车-滚压	IT7~IT8	0.025~0.2	
5	粗车-半精车-磨削	IT7~IT8	0.4~0.8	主要用于淬火钢也可用于未淬火钢，但不宜加工有色金属
6	粗车-半精车-粗磨-精磨	IT6~IT7	0.1~0.4	
7	粗车-半精车-粗磨-精磨-超精加工	IT5	0.012~0.1	
8	粗车-半精车-精车-精细车	IT6~IT7	0.025~0.4	主要用于要求较高的有色金属加工
9	粗车-半精车-粗磨-精磨-超精磨	IT5 以上	0.006~0.025	极高精度的外圆加工
10	粗车-半精车-粗磨-精磨-研磨	IT5 以上	0.006~0.1	

(2) 孔的加工



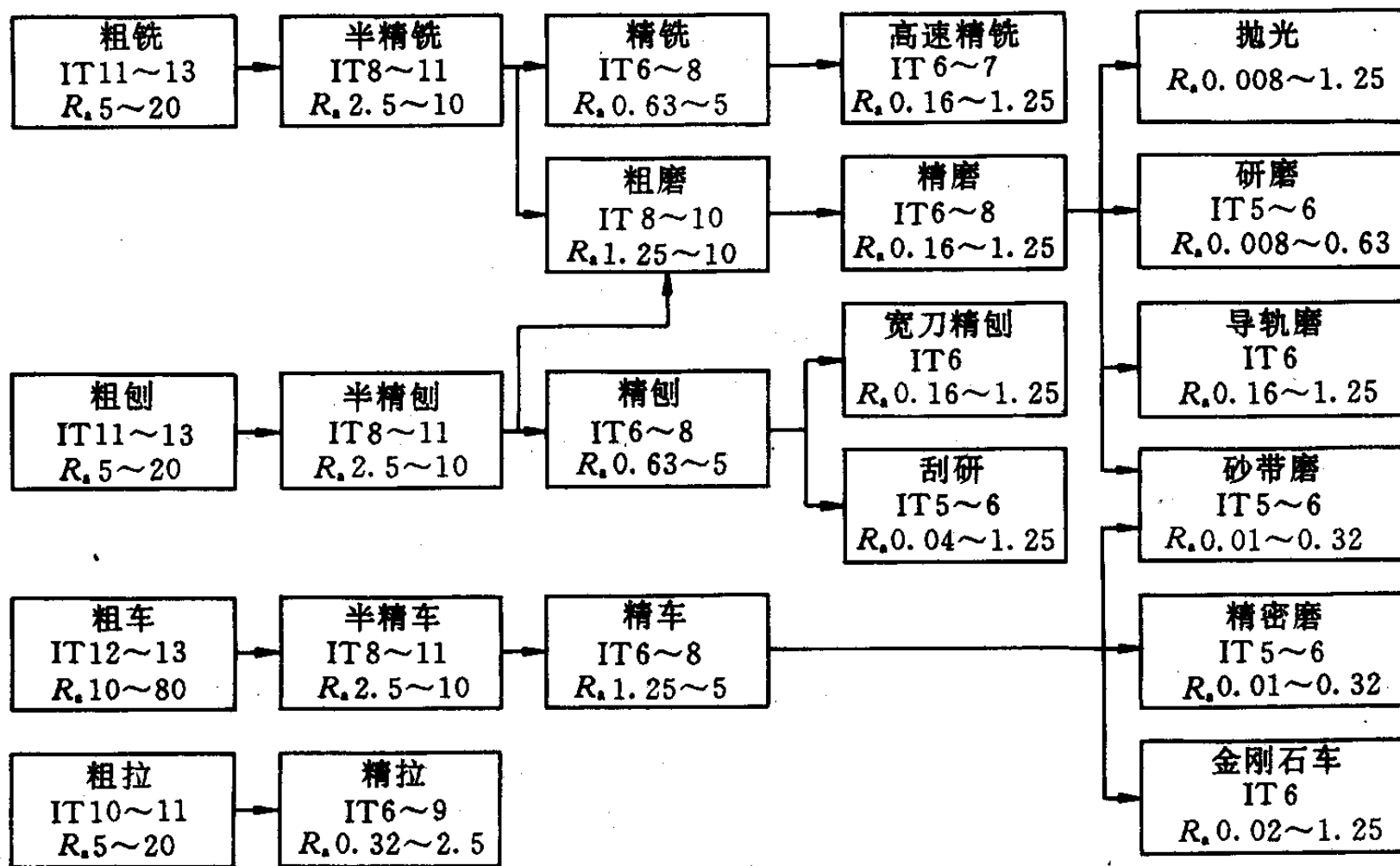
*孔加工方法实例

孔加工方法

序号	加工方法	经济精度（以公差等级表示）	经济表面粗糙度 Ra 值/ μm	适用范围
1	钻	IT11~IT13	12.5~50	加工未淬火钢及铸件的实心毛坯，也可用于加工有色金属。孔径小于 15~20mm
2	钻-铰	IT8~IT10	3.2~6.3	
3	钻-粗铰-精铰	IT7~IT8	0.8~1.6	
4	钻-扩	IT10~IT11	0.2~0.8	加工未淬火钢及铸件的实心毛坯，也可用于加工有色金属。孔径小于 15~20mm
5	钻-扩-铰	IT8~IT9	6.3~12.5	
6	钻-扩-精铰-粗铰	IT7	1.6~3.2	
7	钻-扩-机铰-手铰	IT6~IT7	0.2~0.4	大批大量生产(精度由校刀精度决定)
8	钻-扩-拉	IT7~IT9	0.1~1.6	
9	粗镗（或扩孔）	IT11~IT13	6.3~12.5	除淬火钢外的各种材料，毛坯有铸出孔或锻出孔
10	粗镗（粗扩）-半精镗（精扩）	IT9~IT10	1.6~3.2	
11	粗镗（粗扩）-半精镗（精扩）-精镗（铰）	IT7~IT8	0.8~1.6	
12	粗镗（粗扩）-半精镗（精扩）-精镗-浮动镗刀精镗	IT6~IT7	0.4~0.8	

13	粗镗（扩）-半精镗-磨孔	IT7~IT8	0.2~0.8	主要用于淬火钢，但不宜用于有色金属
14	粗镗（扩）-半精镗-粗磨-精磨	IT6~IT7	0.1~0.2	
15	粗镗-半精镗-精镗-精细镗	IT6~IT7	0.05~0.4	主要用于精度要求高的有色金属
16	钻-（扩）-粗镗-精镗-珩磨； 钻-（扩）-拉-珩-磨；粗镗（扩）-半精镗-粗磨-珩磨	IT6~IT7	0.025~0.2	精度要求很高的孔
17	以研磨代替上述方法中的珩磨	IT5~IT6	0.006~0.1	

(3) 平面的加工



*平面加工方法实例

平面加工方法

序号	加工方法	经济精度（以公差等级表示）	经济表面粗糙度 R_a 值/ μm	适用范围
1	粗车	IT11~IT13	12.5~50	端面
2	粗车-半精车	IT8~IT10	3.2~6.3	
3	粗车-半精车-精车	IT7~IT8	0.8~1.6	
4	粗车-半精车-磨削	IT6~IT8	0.2~0.8	
5	粗刨（或粗铣）	IT11~IT13	6.3~25	一般不淬硬平面（端铣表面粗糙度 R_a 较小）
6	粗刨（或粗铣）-精刨（或精铣）	IT8~IT10	1.6~6.3	
7	粗刨（或粗铣）-精刨（或精铣）-刮研	IT6~IT7	0.1~0.6	主要用于要求较高的有色金属加工
8	以宽刃精刨代替上述刮研	IT7	0.2~0.8	
9	粗刨（或粗铣）-精刨（或精铣）-磨削	IT7	0.2~0.8	精度要求高的淬硬平面或不淬硬平面
10	粗刨（或粗铣）-精刨（或精铣）-粗磨-精磨	IT6~IT7	0.025~0.4	
11	粗铣-拉	IT7~IT9	0.2~0.8	大量生产，较小的平面（精度视拉刀精度而定）
12	粗铣-精铣-磨削-研磨	IT5 以上	0.006~0.1	高精度平面

3. 加工阶段的划分

加工阶段

划分加工阶段的原因

- 1、保证加工质量
- 2、合理使用设备
- 3、便于安排热处理工序
- 4、便于及时发现毛坯缺陷
- 5、避免重要表面损伤。

粗加工阶段

切除大量多余材料，主要提高生产率。

半精加工阶段

完成次要表面加工(钻、攻丝、铣键槽等)主要表面达到一定要求，为精加工作好余量准备安排在热处理前。


精加工阶段

光整加工阶段


主要表面达到图纸要求。

进一步提高尺寸精度降低粗糙度，但不能提高形状、位置精度

4. 工序的集中与分散



(1) 工序集中就是将工件的加工，集中在少数几道工序内完成。每道工序的加工内容较多。



(2) 工序分散就是将工件的加工，分散在较多的工序内进行。每道工序的加工内容很少，最少时每道工序仅一个简单工步。



(3) 趋势：工序集中（MC、FMC等）

工序集中的特点

工序集中的优点：

- 1.减少装夹次数，缩短辅助时间，保证位置精度
- 2.减少机床、工人数量和占地面积
- 3.简化生产组织和计划调度

工序集中缺点：

- 1.机床复杂，投资高，调整维修复杂，准备工作量大，转换产品费时
- 2.不利于划分加工阶段

工序分散的特点

与工序集中刚好相反。机床设备和工装夹具比较简单，调整比较容易，能较快地适应新的生产对象，生产工人易于掌握操作技术；有利于选择最合理的切削用量，减少机动时间。

工序集中和分散程度和确定

根据生产类型、工件结构、加工要求和设备条件来进行分析而确定。

当前机械加工的发展方向趋于工序集中。

在单件小批生产中集中，以避免机床负荷不足。

在大批大量生产中，采用各种高生产率设备使工序集中。

数控机床的使用，使中小批生产几乎全采用工序集中

重型零件，为了减少搬运次数，也往往采用工序集中。

对于刚性较差或精度要求较高零件，工序分散仍体现较大的优越性。

5. 工序顺序的安排

(1) 工序顺序的安排原则



基准先行

前面的工序要为后面的工序准备好基准；再用精基准加工其它表面。



先粗后精

精加工，一般应安排在加工过程的最后，以免受加工其它表面时的影响。有些零件的精加工工序必须在装配以后进行。



先主后次

次要表面的加工工序可插入主要表面的加工工序之间，但应以下不影响主要表面的加工精度和表面粗糙的为前提。



先面后孔

当零件上有较大的平面可用来作为定位基准时，一般总是先加工平面，再以平面定位加工孔，保证孔和平面之间的位置精度。



经济型原则

高废品率的工序应尽量最先进行。在单件小批量生产中，车间按机群制布置时，力求将设备相同的工序安排在一起。

(2) 热处理工序的安排

位置：粗加工前
目的：改善切削性能，
消除内应力

预备热处理

- 退火：用于高碳钢、合金钢等，降低硬度，便于切削；
- 正火：用于低碳钢，提高硬度，便于切削；
- 调质：淬火后高温回火

位置：半精加工后，精加工前
目的：提高强度、硬度

最终热处理

- 淬火、渗碳、氮化等

位置：粗加工前、后，半精加工后，精加工前
目的：消除内应力，防止变形、开裂。

去除内应力处理

- 自然时效
- 人工时效

(3) 辅助工序的安排

位置：工艺过程最后
目的：美观

表面处理工序

- 金属镀层
- 非金属镀层
- 氧化膜

位置：粗加工后、关键工序后、送往外车间加工前后、零件全部加工结束之后
目的：质量控制。

检验工序

- 质量检验
- 特种检验（无损探伤、磁力探伤、水压、超速试验）

位置：去毛刺、倒钝锐边应在淬火前
目的：安全

其它工序安排

- 去毛刺、倒钝锐边
- 去磁
- 清洗
- 涂防锈油

二、工序内容的拟定

1. 机床和工艺装备的选择

(1) 选择机床设备的基本原则

一般：
单件小批：通用机床、
工装；
大批、大量：专机、
组机、专用工装
数控机床：可用于各
种生产类型。
刀具尽可能用标准的。

➤ 机床的精度应与要求的加工精度相适应。

➤ 机床的生产率与生产类型相适应。

➤ 机床的规格与加工工件的尺寸相适应

➤ 机床的选择应结合现场的实际情况。

➤ 合理选用数控机床。

(2) 工艺装备的选择

夹具的选择



➤ 单件小批生产：采用各种通用夹具和机床附件，如卡盘、虎钳、分度头等。有组合夹具站的，可采用组合夹具。



➤ 大批大量生产为提高劳动生产率应采用专用高效夹具。



➤ 多品种中、小批生产可采用可调夹具或成组夹具。



➤ 采用数控加工时夹具要敞开，其定位、夹紧元件不能影响加工走刀（如碰撞等）。

刀具的选择



➤ 一般优先采用标准刀具。



➤ 若采用工序集中时，应采用各种高效的专用刀具、复合刀具和多刃刀具等。



➤ 刀具的类型、规格和精度等级应符合加工要求。



➤ 数控加工对刀具的刚性及寿命要求较普通加工严格。应合理选择各种刀具、辅具（刀柄、刀套、夹头等）。

量具的选择



➤ 单件小批生产应广泛采用通用量具，如游标卡尺、百分尺和千分表等。



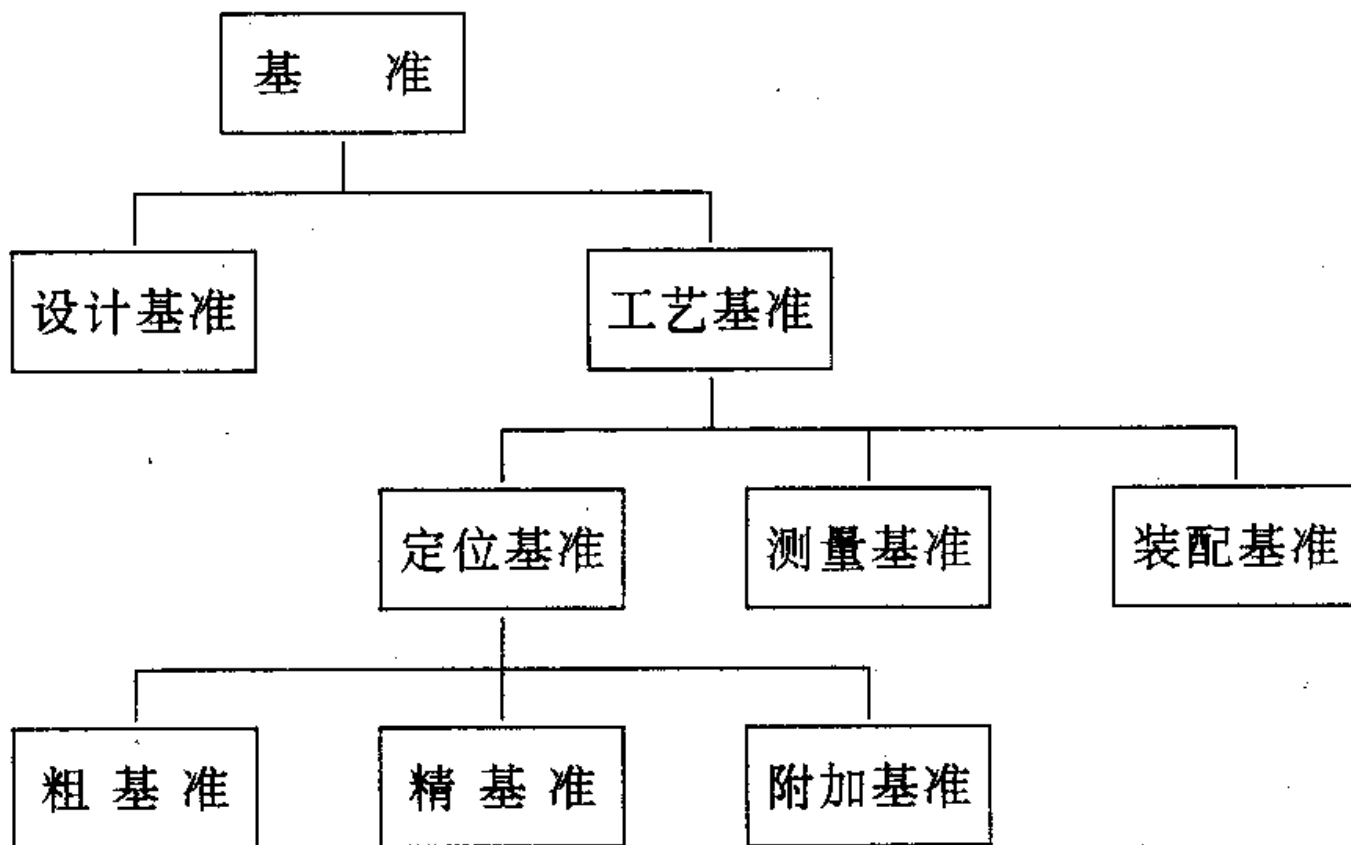
➤ 大批大量生产应采用各种量规和高效的专用检验夹具和量仪等。



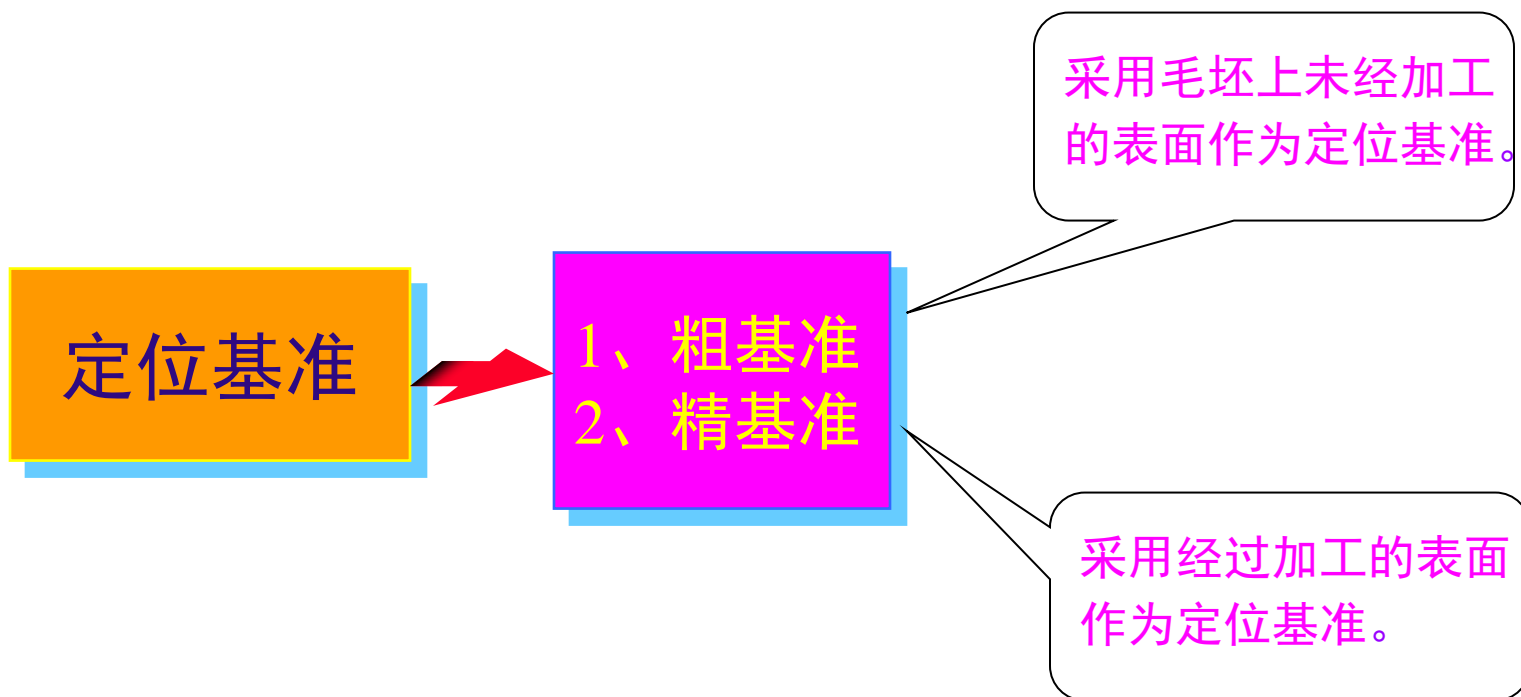
➤ 量具的精度必须与加工精度相适应。

2. 确定定位基准

(1) 基准



(2) 定位基准选择



(3) 精基准选择

重点考虑：

- 减少定位误差
- 保证加工精度

问题：选择精基准时应考虑下列原则：_____、
_____、_____、_____。

- (1) 基准重合原则
- (2) 基准统一原则
- (3) 自为基准原则
- (4) 互为基准原则
- (5) 便于装夹原则



① 基准重合原则

- 设计基准与定位基准不重合误差只发生在用调整法获得加工尺寸的情况。
- 基准不重合误差值等于设计基准与定位基准之间尺寸的变化量。
- 基准不重合一般发生在下列情况：
 - 用设计基准定位不可能或不方便；
 - 在选择精基准时优先考虑了基准统一原则。
- 设计基准与测量基准不重合也会产生基准不重合误差。
- 基准不重合误差不仅指尺寸误差，而且对位置误差也要考虑。

基准重合原则 尽可能采用设计基准作为定位基准

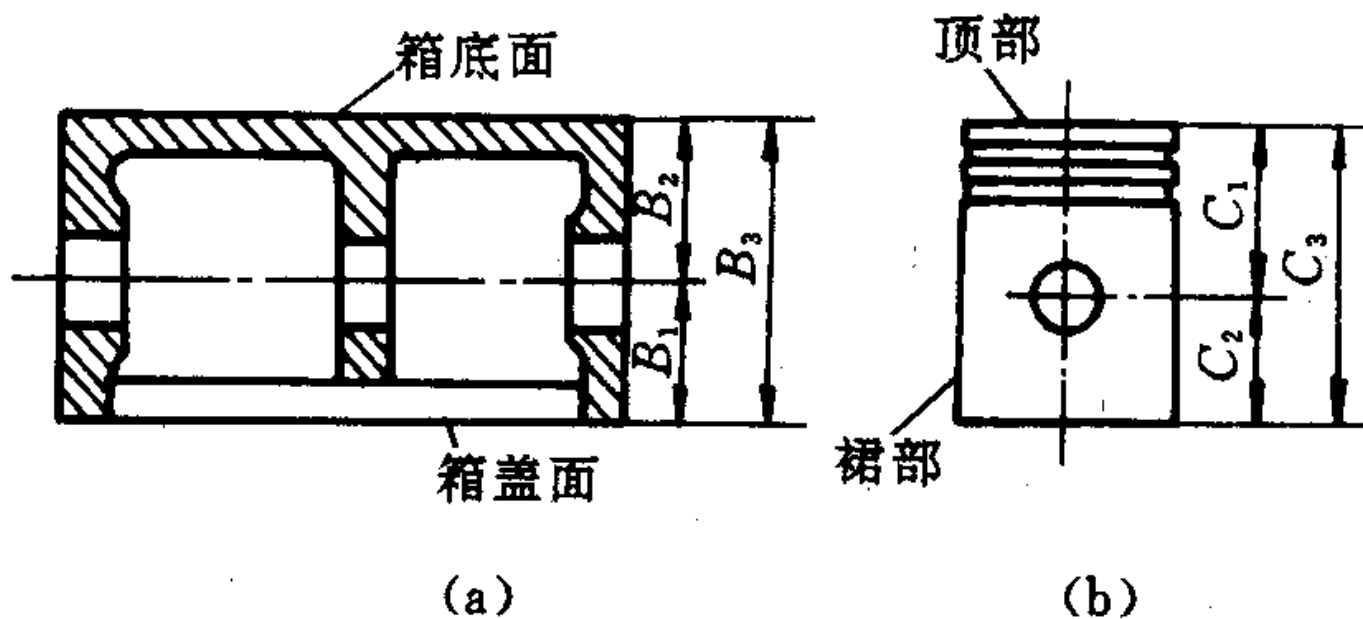


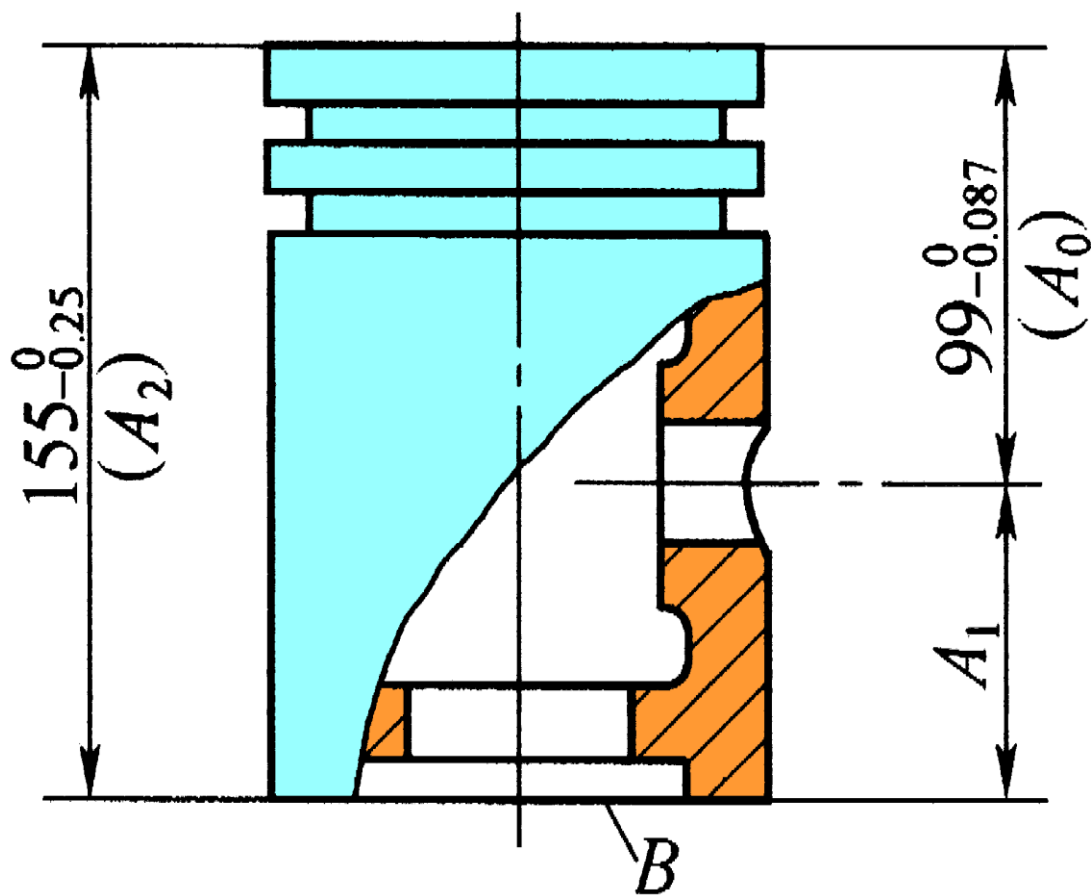
图 7-14 基准重合原则



② 基准统一原则

- 有利于保证各加工表面间的相互位置关系，避免基准转换所产生的误差。
- 简化夹具的设计与制造。

基准统一原则 整个工艺过程或有关的几道工序采用同一个基准来定位



③ 自为基准

自为基准原则 某些精加工工序，要求加工余量小而均匀，则可选被加工表面本身作为精基准。

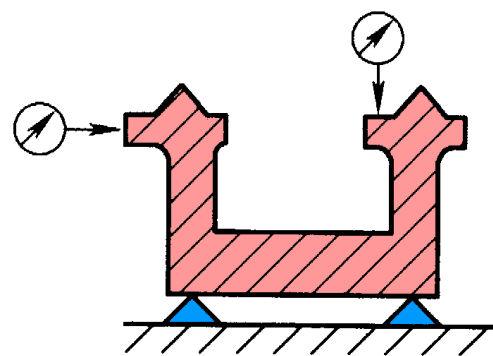
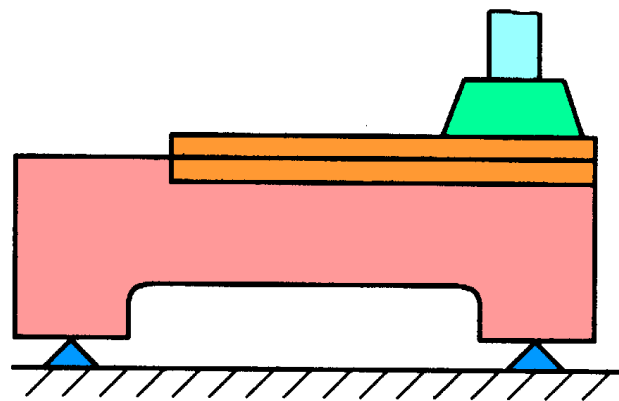
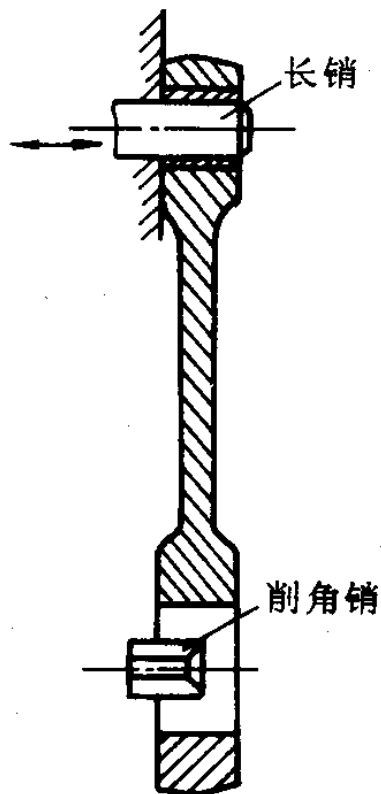


图 4 - 43 床身导轨面自为基准磨削

图 7-16 自为基准原则

④ 互为基准

互为基准原则 对某些空间位置精度要求很高的零件，通常采用互为基准，反复加工的原则。

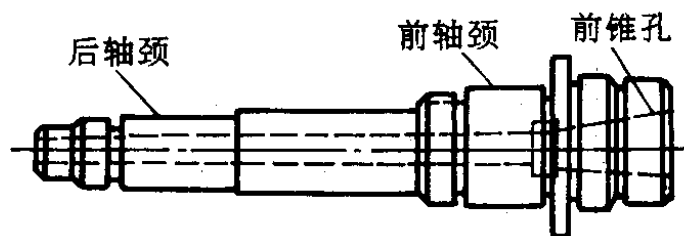


图 7-15 互为基准原则

⑤ 便于装夹原则

便于装夹原则 所选择的基准面便于设计合适的定位夹紧机构，以提高装夹效率。

(4) 粗基准选择

重点考虑：

- 加工表面与不加工表面的相对位置精度；
- 各加工表面有足够的余量

问题： 选择粗基准时应考虑下列原则： _____、
_____\、 _____、 _____。

- (1) (保证不加工面) 位置正确原则：
- (2) 余量均匀原则
- (3) 定位可靠原则
- (4) (粗基准只能有效) 使用一次原则

(1) **(保证不加工面) 位置正确原则：**如果必须保证工件加工面和不加工面之间的相互位置要求，则应以不加工面作为粗基准。若有几个不加工表面，选其中与加工表面位置精度要求高的一个，以保证两者的位置精度。

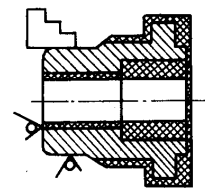
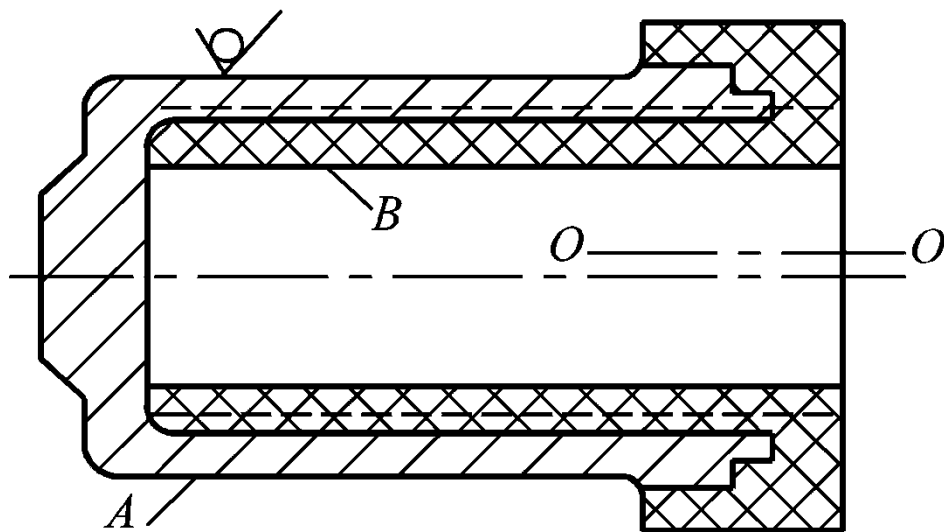


图 7-13 选不加工表面

(2) **余量均匀原则** 选择的粗基准应能保证精度要求高的各表面有足够的、均匀的加工余量。

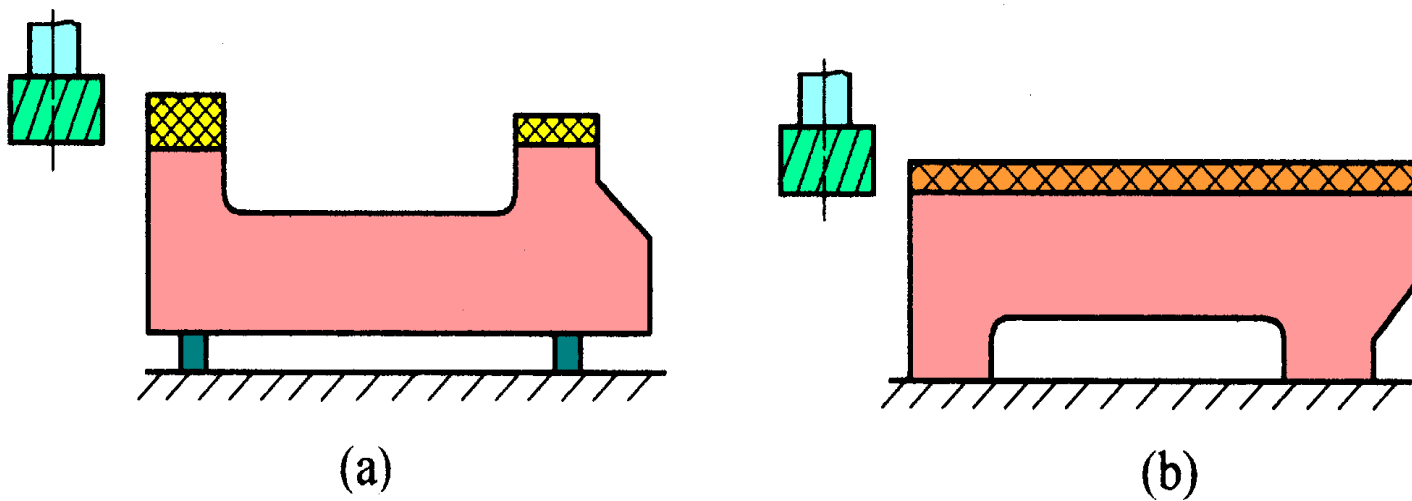


图 4 - 40 床身加工的粗基准

(3) **定位可靠原则** 粗基准必须使定位可靠，便于夹紧，夹具结构简单。

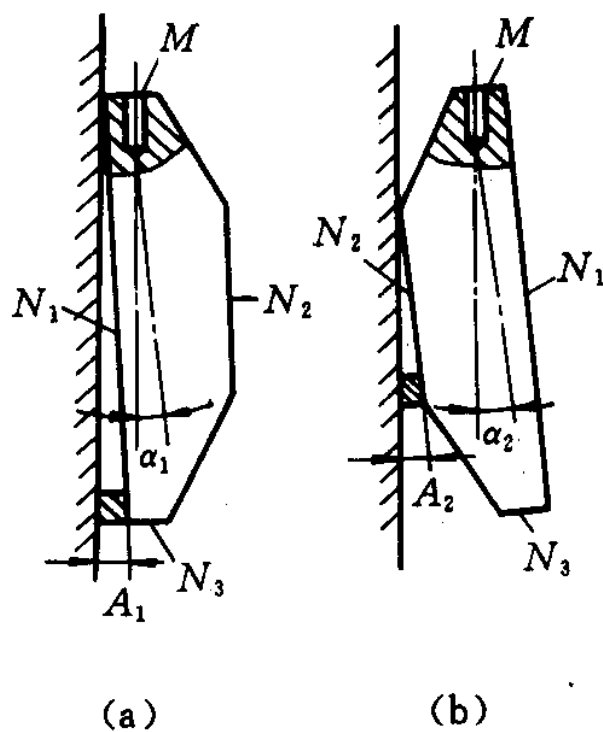
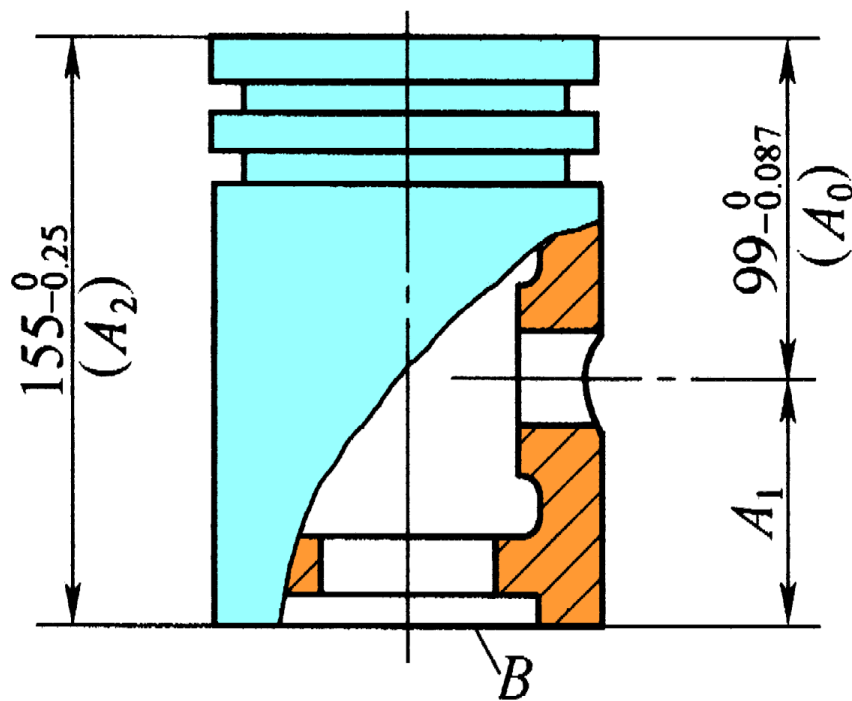


图 7-10 选最长距离的面为导向面

(4) **(粗基准只能有效) 使用一次原则** 粗基准一般只在第一道工序中使用一次，应尽量避免重复使用，因为粗基准本身是毛面，精度低，表面较粗糙，不能保证工件精确定位，从而影响加工精度。

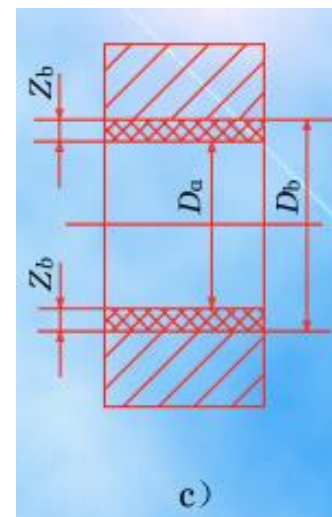
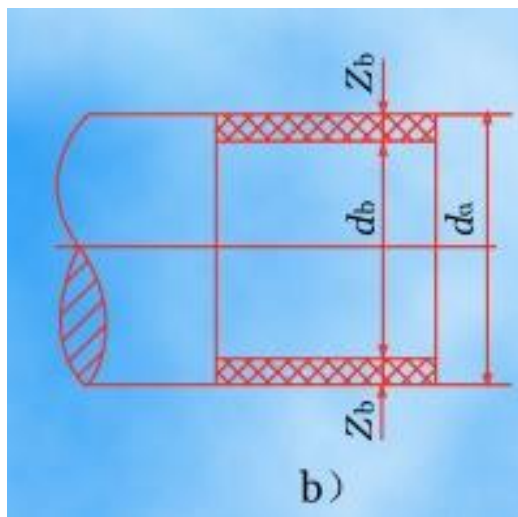
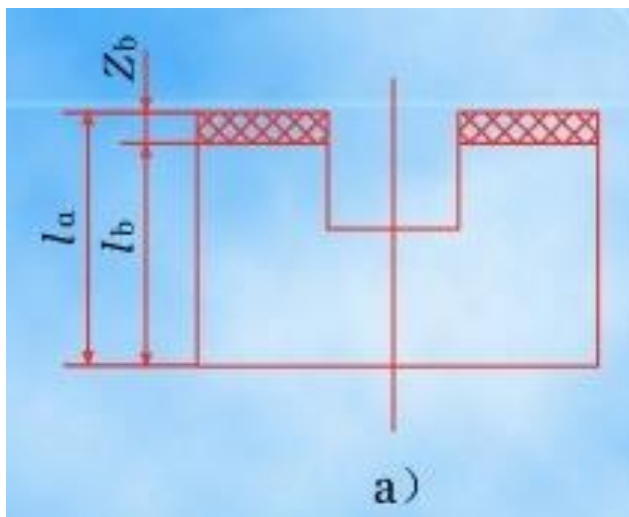


第四节 确定加工余量、工序尺寸及其公差

一、确定加工余量

1. 概述

- 加工余量—毛坯上留作加工用的材料层。
- 总余量—工件某一表面的毛坯尺寸与零件设计尺寸的差值。
- 工序余量—上工序与本工序基本尺寸的差值。



机械加工总余量 Z_0 与工序余量 Z_i 的关系式

$$Z_0 = \sum_{i=1}^n Z_i$$

● 公称余量、最大余量和最小余量

由于工序尺寸有偏差，各工序实际切除的余量值是变化的，故工序余量有公称余量（简称余量）、最大余量和最小余量之分。

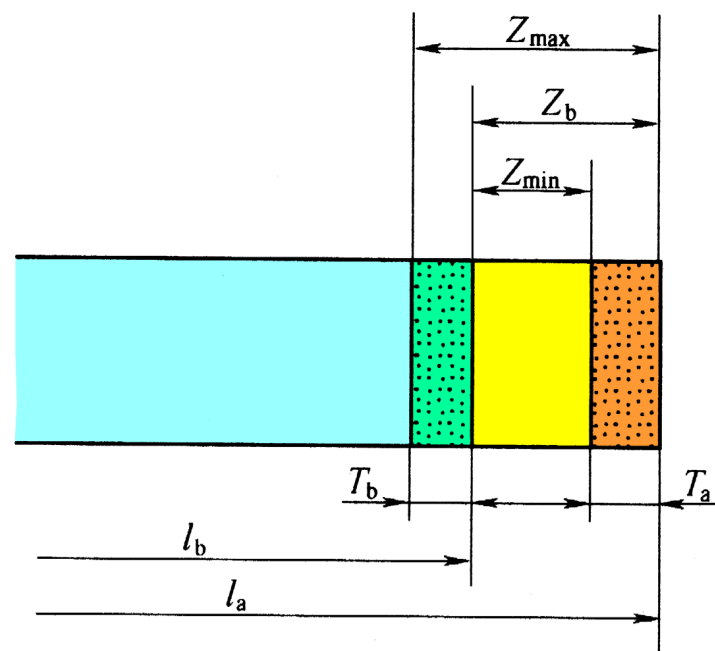
对于右图所示被包容面加工情况，本工序加工的公称余量

$$Z_b = l_a - l_b$$

公称余量的变动范围

$$T = Z_{\max} - Z_{\min} = T_a + T_b$$

式中， T_a —上工序尺寸公差； T_b —本工序尺寸公差；



被包容面工序余量及其变动量

单边余量：

等于切去的金属层厚度， $Z_i = L_{i-1} - L_i$

双边余量：

$$2Z_i = d_{i-1} - d_i = D_i - D_{i-1} ,$$

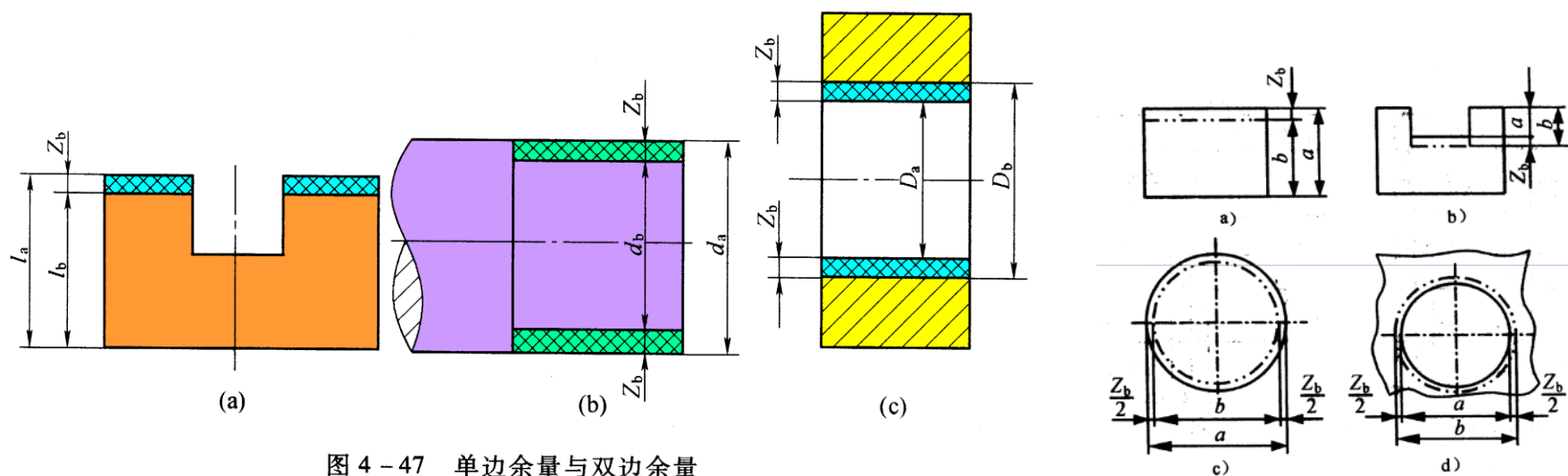
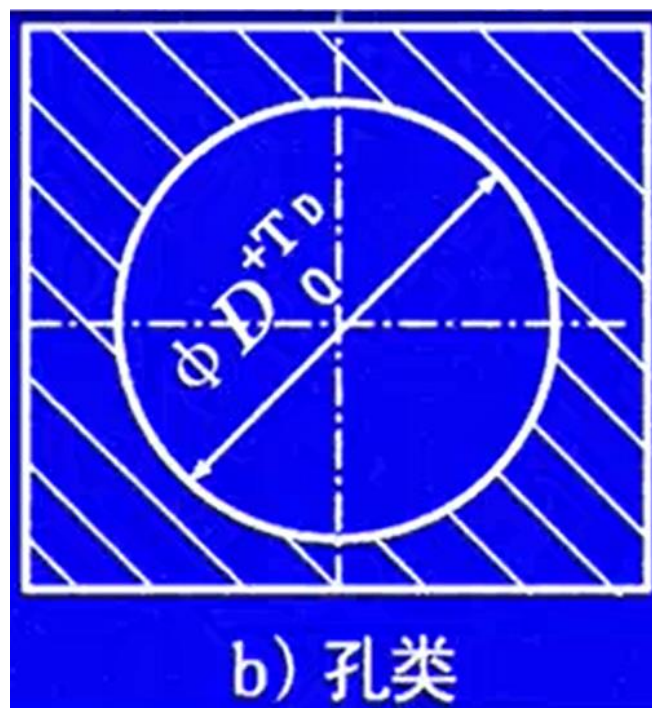
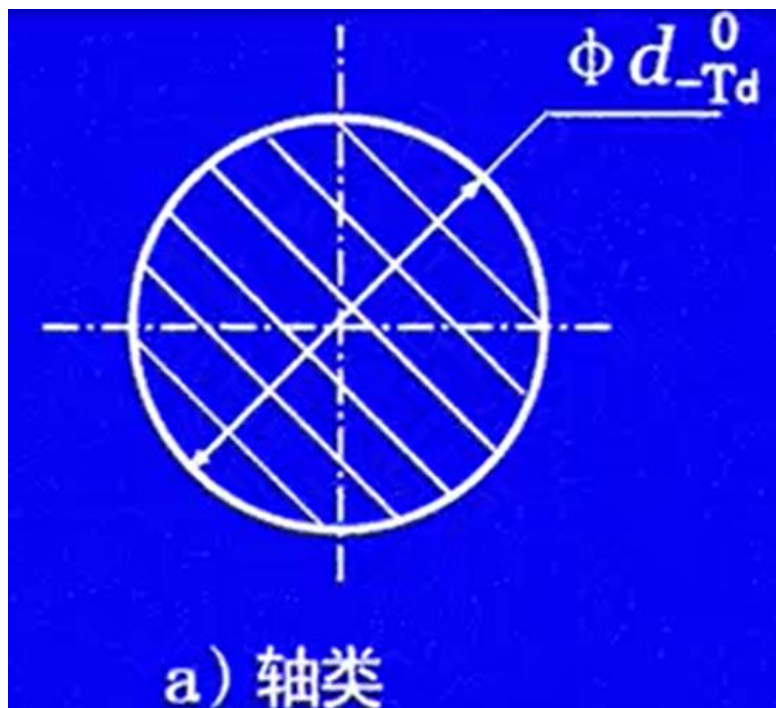


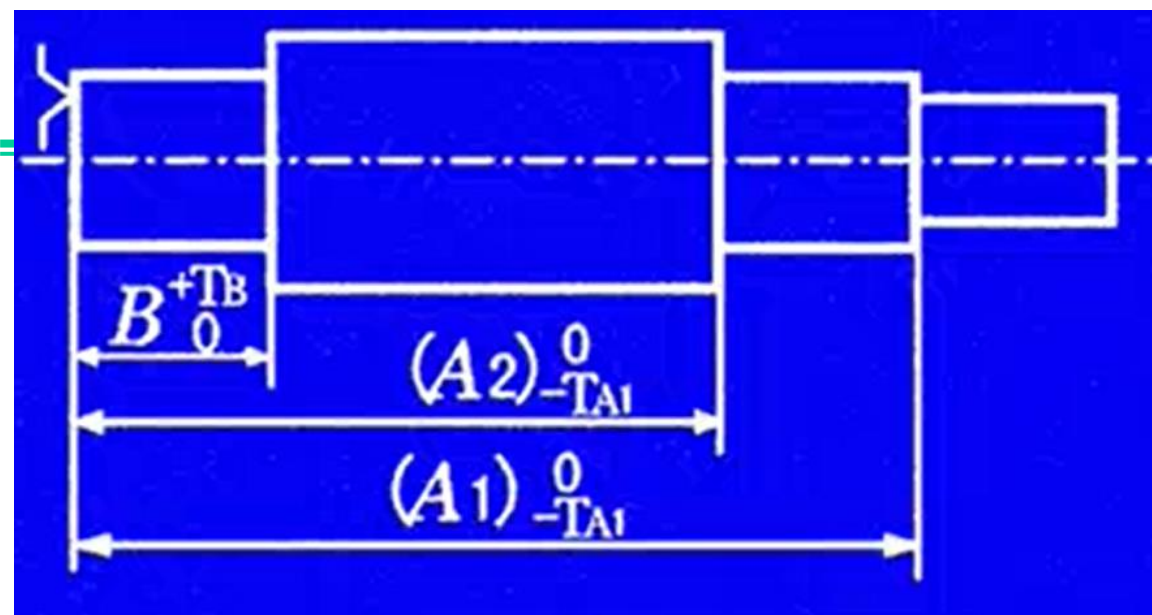
图 4-47 单边余量与双边余量

● 工序尺寸偏差的标注

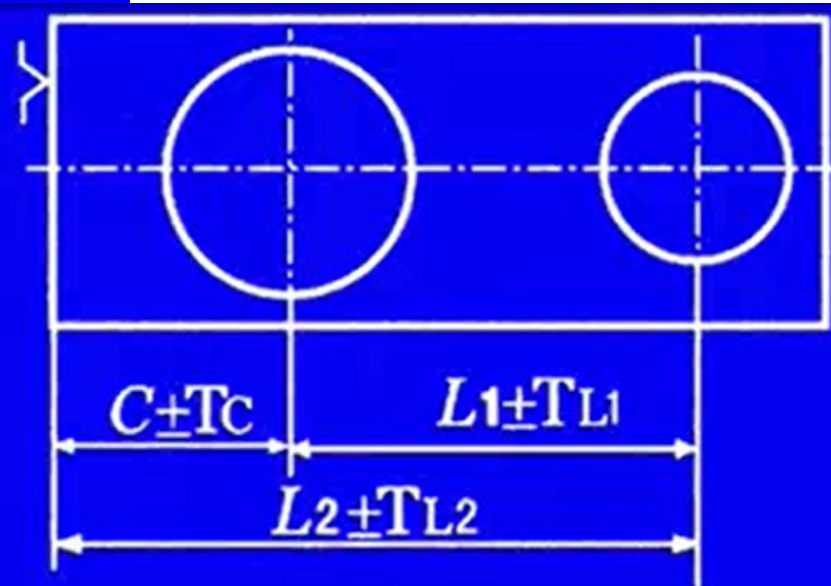
工序尺寸偏差一般按“入体原则”标注

- 对被包容尺寸（例如轴径），上偏差为0，其最大尺寸就是基本尺寸
- 对包容尺寸（例如孔径、槽宽），下偏差为0，其最小尺寸就是基本尺寸





c) 阶梯类



d) 孔心距和孔到平面的距离

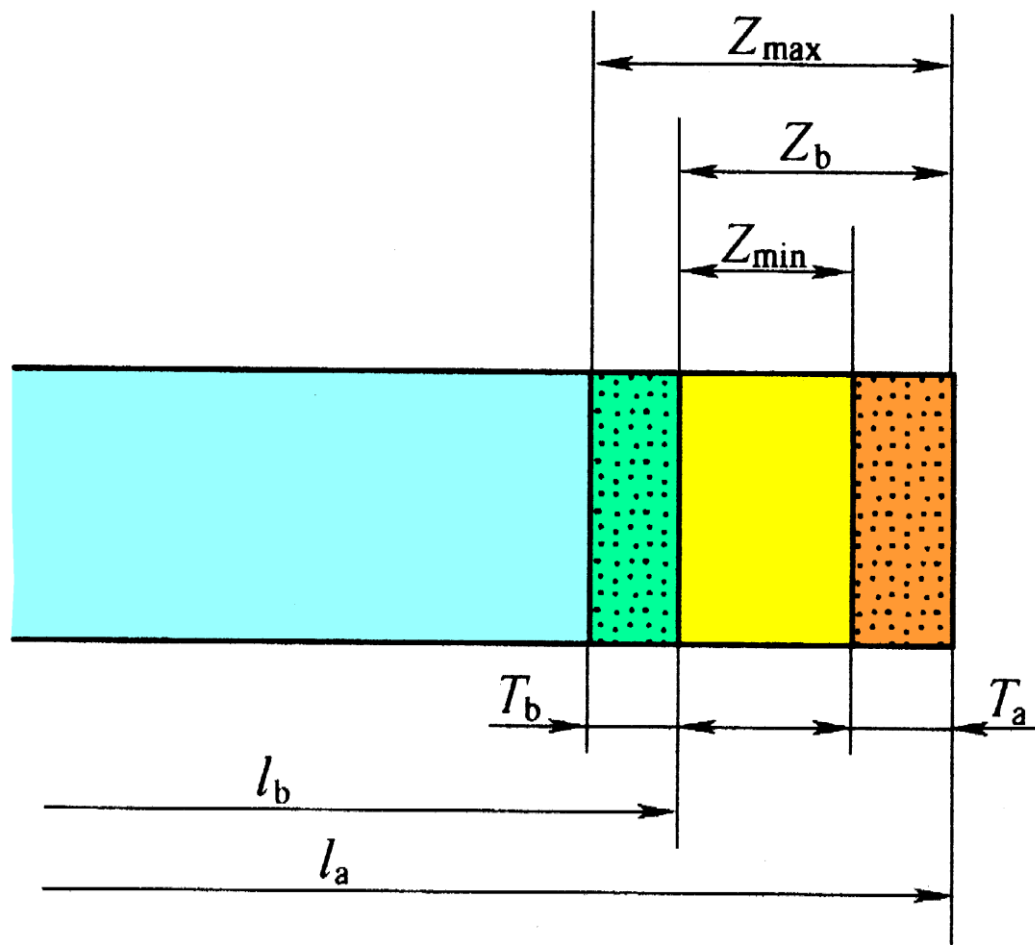
2. 影响机械加工余量的因素

- (1) 上工序留下的表面粗糙度值 R_z （表面轮廓的最大高度）和表面缺陷层深度 H_a ；
- (2) 上工序的尺寸公差 T_a ；
- (3) T_a 值没有包括的上工序留下的空间位置误差 e_a ；
- (4) 本工序的装夹误差 ε_b 。

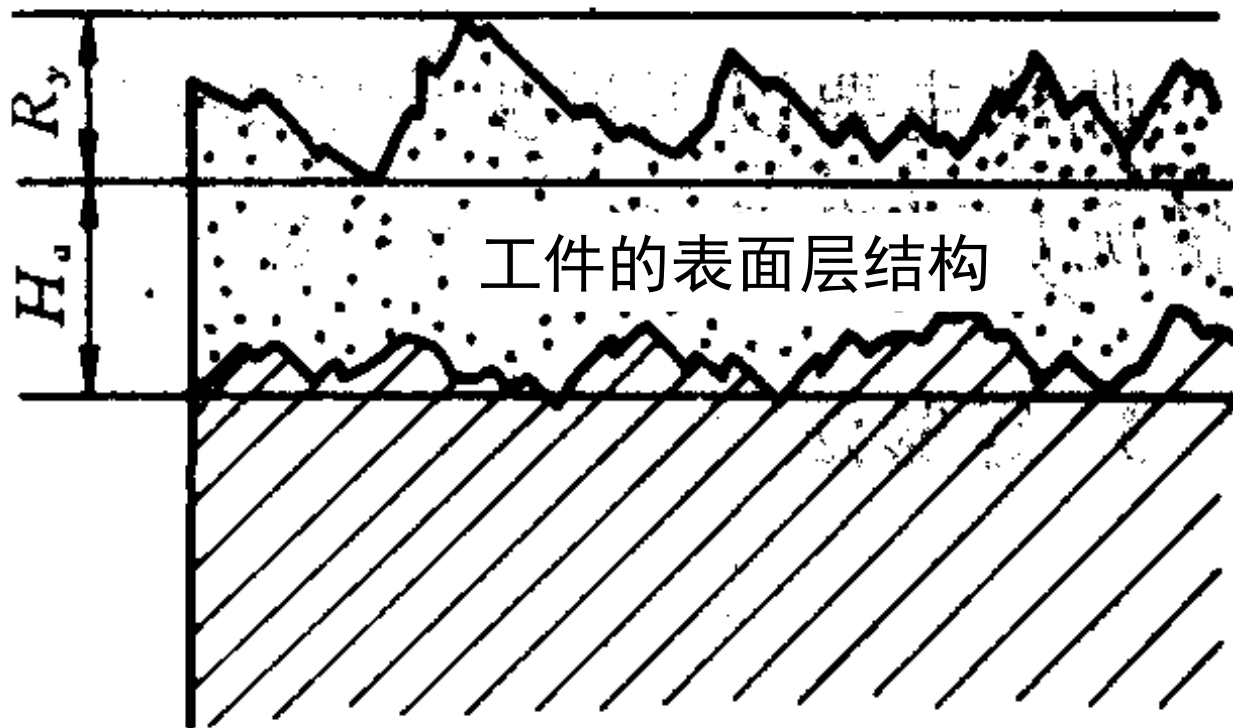
为保证本工序能切除上工序留在加工表面上的表面粗糙度和缺陷层，本工序应设置的工序余量值 Z_b 可用以下公式计算：

$$\text{对于单边余量: } Z_b \geq T_a + R_z + H_a + |e_a + \varepsilon_b|$$

$$\text{对于双边余量: } 2Z_b \geq T_a + 2(R_z + H_a) + 2|e_a + \varepsilon_b|$$



前一工序的公差



前一工序所产生的表面粗糙度和表面缺陷深度

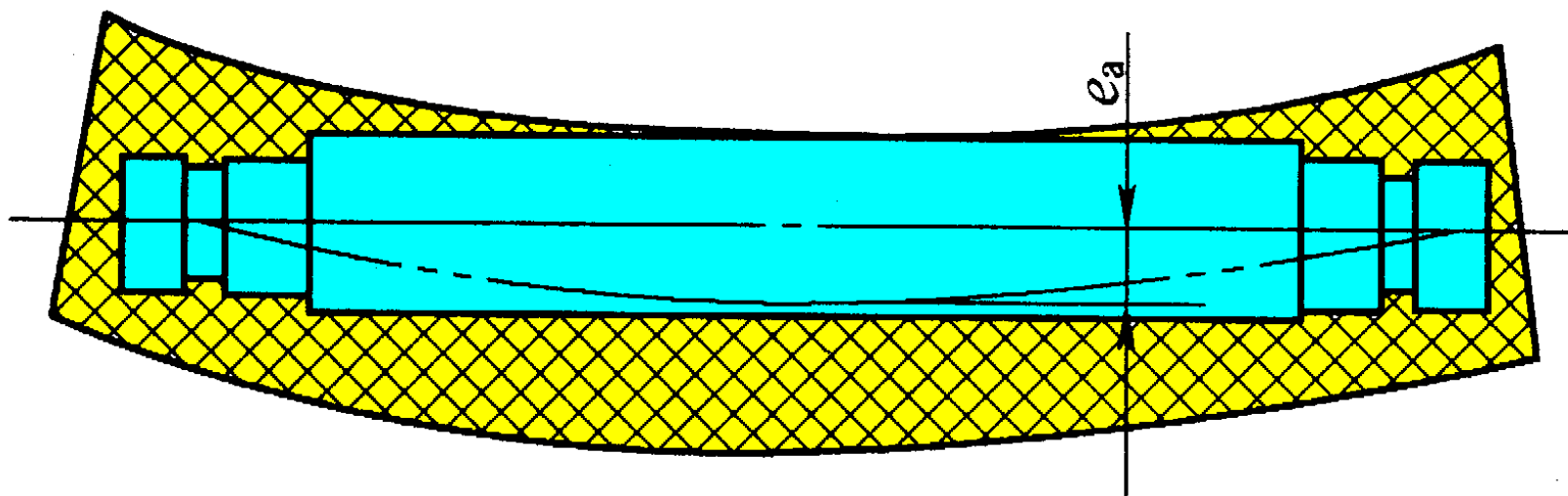
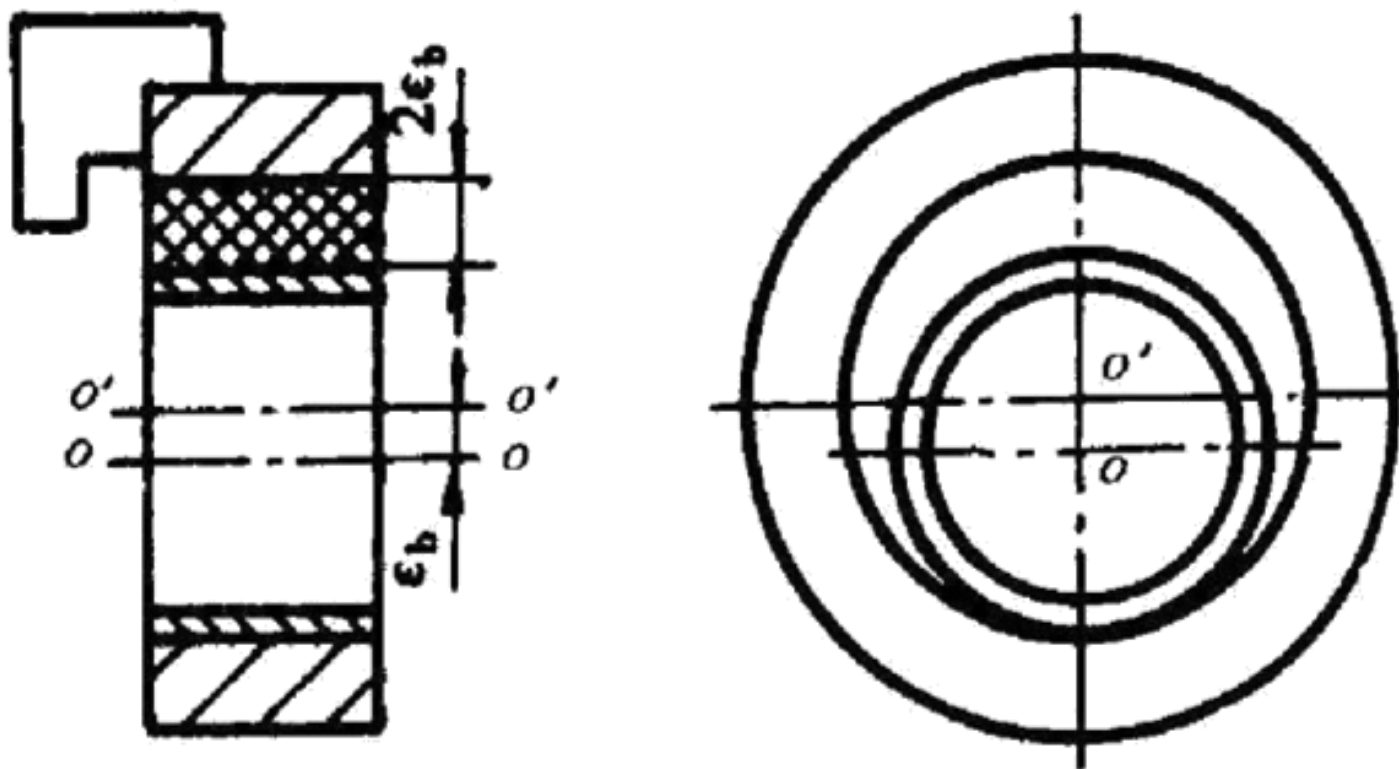


图 4 - 49 轴线弯曲误差对加工余量的影响

—工序所形成的工件空间误差



工序的安装误差

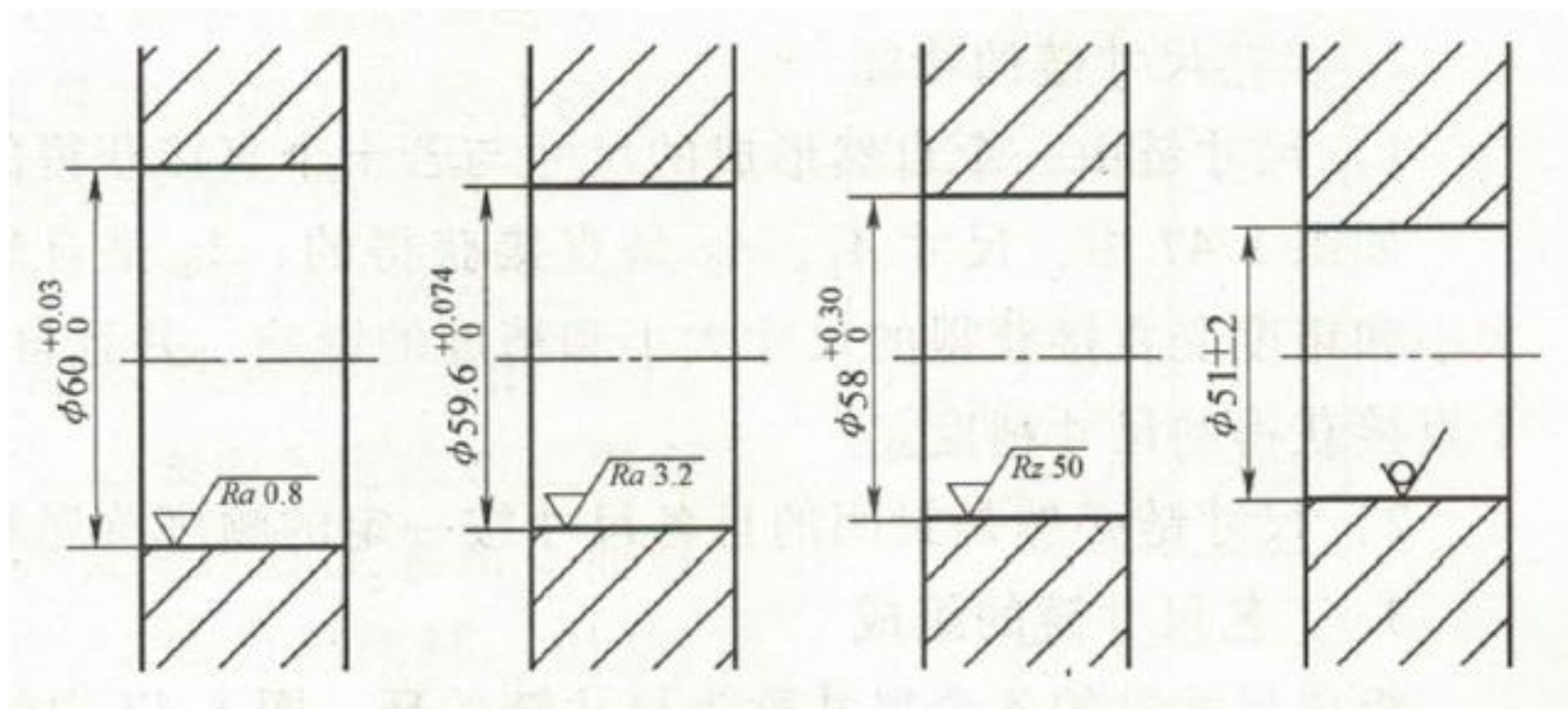
3. 机械加工余量的确定

- 计算法 较科学，但目前积累的统计资料尚不多，此法目前应用较少
- 经验估计法 所估加工余量一般都偏大，此法只用于单件小批生产。
- 查表法 方法简便，比较接近实际，生产上广泛应用。

二、确定工序尺寸及其公差

1. 基准重合时工序尺寸及公差的确定

某法兰盘工件上有一个孔，孔径为 $\phi 60_{+0.03}^0 \text{mm}$ ，表面粗糙度数值 Ra 为 $0.8\mu\text{m}$ ，毛坯为铸钢件，需淬火处理，其工艺路线见表。



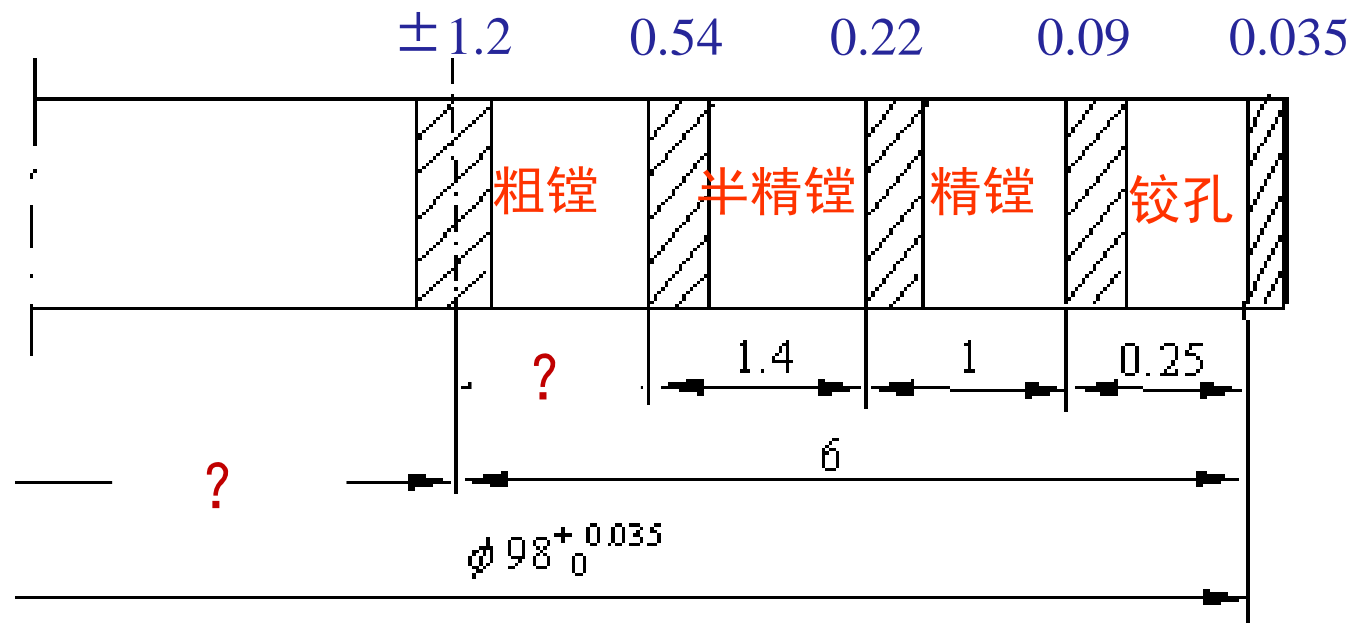
1.	2.	3.	4.	5.
工序名称。	工序余量。	工序所能达到的公差等级。	工序尺寸（最小工序尺寸）。	工序尺寸及其上、下极限偏差。
磨孔。	0.4。	$H7_0^{+0.03}$ 。	60。	$60_0^{+0.03}$ 。
半精镗孔。	1.6。	$H9_0^{+0.074}$ 。	59.6。	$59.6_0^{+0.074}$ 。
粗镗孔。	7。	$H12_0^{+0.30}$ 。	58。	$58_0^{+0.30}$ 。
毛坯孔。	。	± 2 。	51。	51 ± 2 。

解题步骤：

- (1) 确定各工序的加工余量；
- (2) 根据查得的余量计算各工序尺寸；
- (3) 确定各工序的尺寸公差及表面粗糙度；
- (4) 确定各工序的上、下极限偏差。

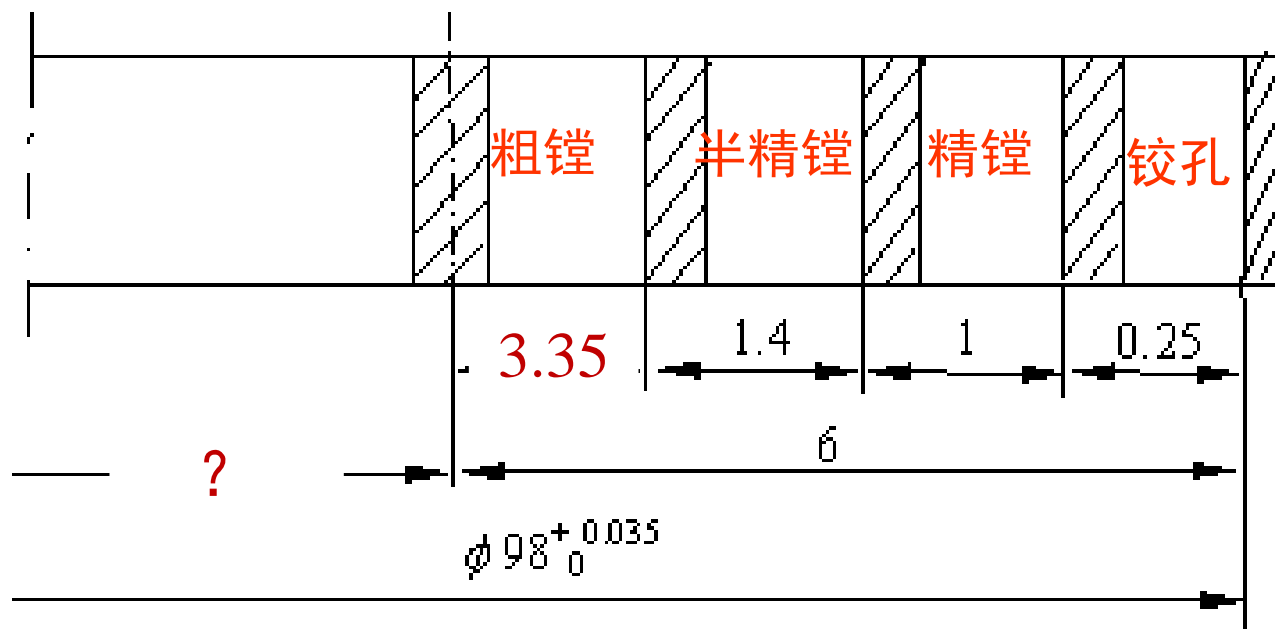
Example 1

某箱体上有一孔，设计尺寸为 $\phi 98^{+0}_{-0.035}$ mm（H7）。已知其加工工艺过程为粗镗→半精镗→精镗→铰孔。查表确定各工序余量（双边余量）为： $Z_{\text{铰}}=0.25\text{mm}$ $Z_{\text{精镗}}=1\text{mm}$ $Z_{\text{半精镗}}=1.4\text{mm}$ $Z_{\text{毛坯}}=6\text{mm}$ （总余量）。通过查表得各加工工序的公差为 $T_{\text{精镗}}=0.09\text{mm}$ ， $T_{\text{半精镗}}=0.22\text{mm}$ ， $T_{\text{粗镗}}=0.54\text{mm}$ ， $T_{\text{毛坯}}=\pm 1.2\text{mm}$ 。试标注该孔加工的各工序尺寸及公差。



解：1) 粗镗工序余量根据下式计算

$$Z_{\text{粗镗}} = Z_{\text{毛坯}} - (Z_{\text{铰}} + Z_{\text{精镗}} + Z_{\text{半精镗}}) = 6 - (0.25 + 1 + 1.4) = 3.35 \text{ mm}$$



2) 确定各工序基本尺寸

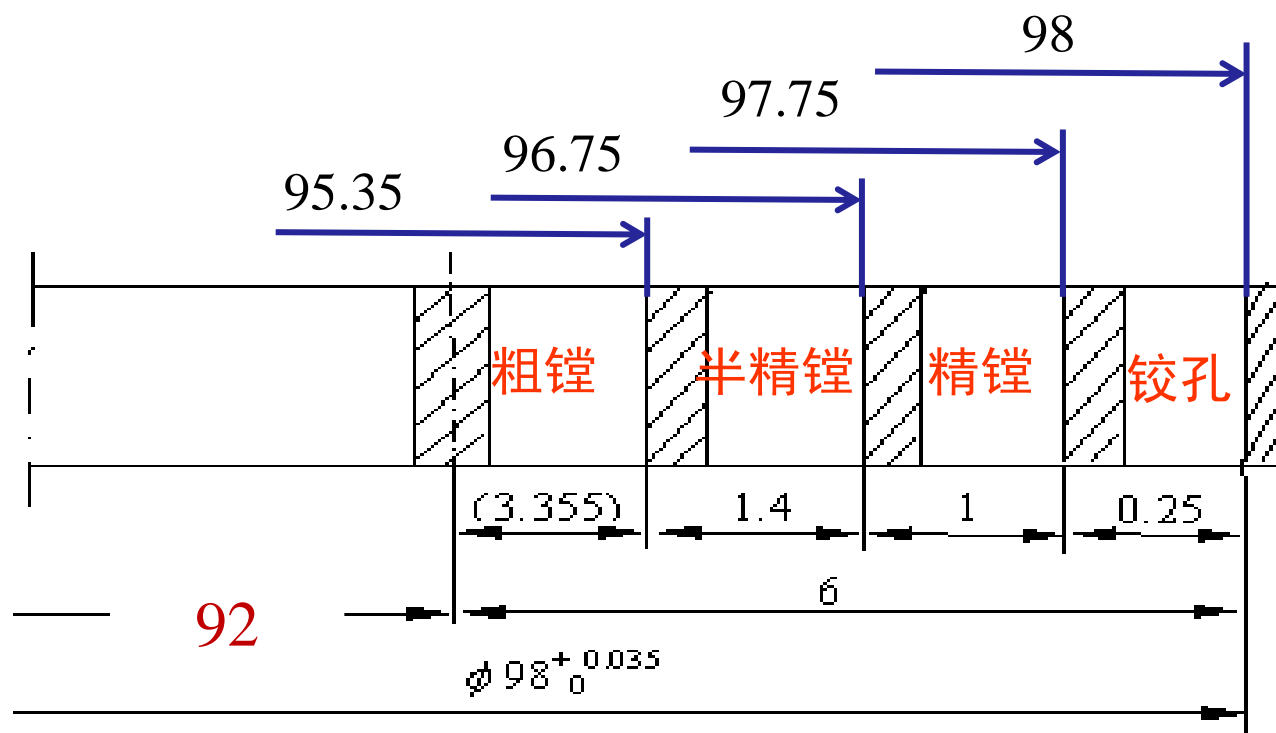
设计基本尺寸：98 mm

→ 精镗工序基本尺寸： $98 - Z_{\text{铰}} = 97.75 \text{ mm}$ 。

→ 半精镗工序基本尺寸： $97.75 - Z_{\text{精镗}} = 96.75 \text{ mm}$

→ 粗镗工序基本尺寸： $96.75 - Z_{\text{半精镗}} = 95.35 \text{ mm}$

→ 毛坯的基本尺寸： $98 - Z_{\text{毛坯}} = 92 \text{ mm}$



3) 按照“入体原则”标注零件的工序尺寸与公差为

铰孔 $\phi 98^{+0.035}_0$ mm

精镗 $\phi 97.75^{+0.09}_0$ mm

半精镗 $\phi 96.75^{+0.22}_0$ mm

粗镗 $\phi 95.35^{+0.54}_0$ mm

毛坯 $\phi 92 \pm 1.2$ mm

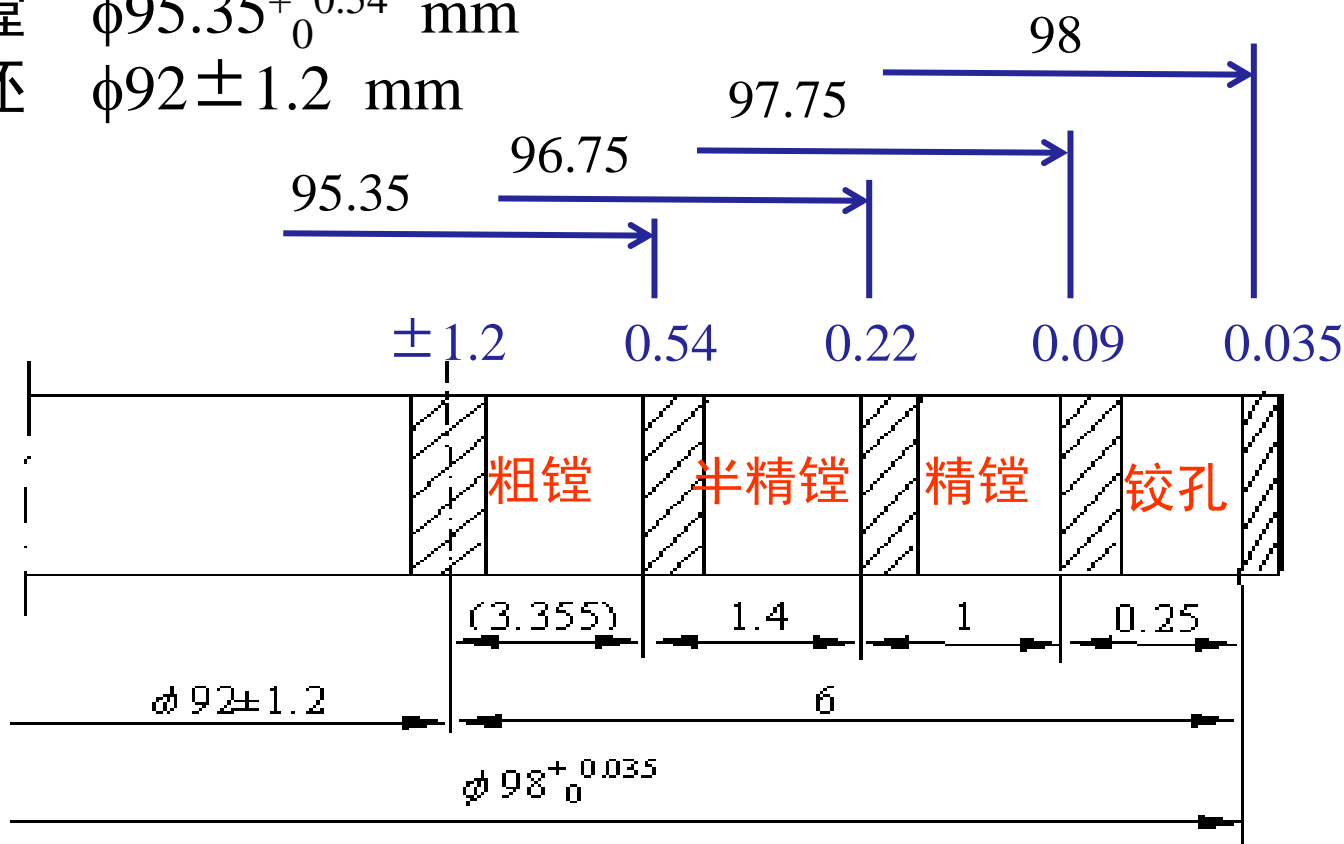
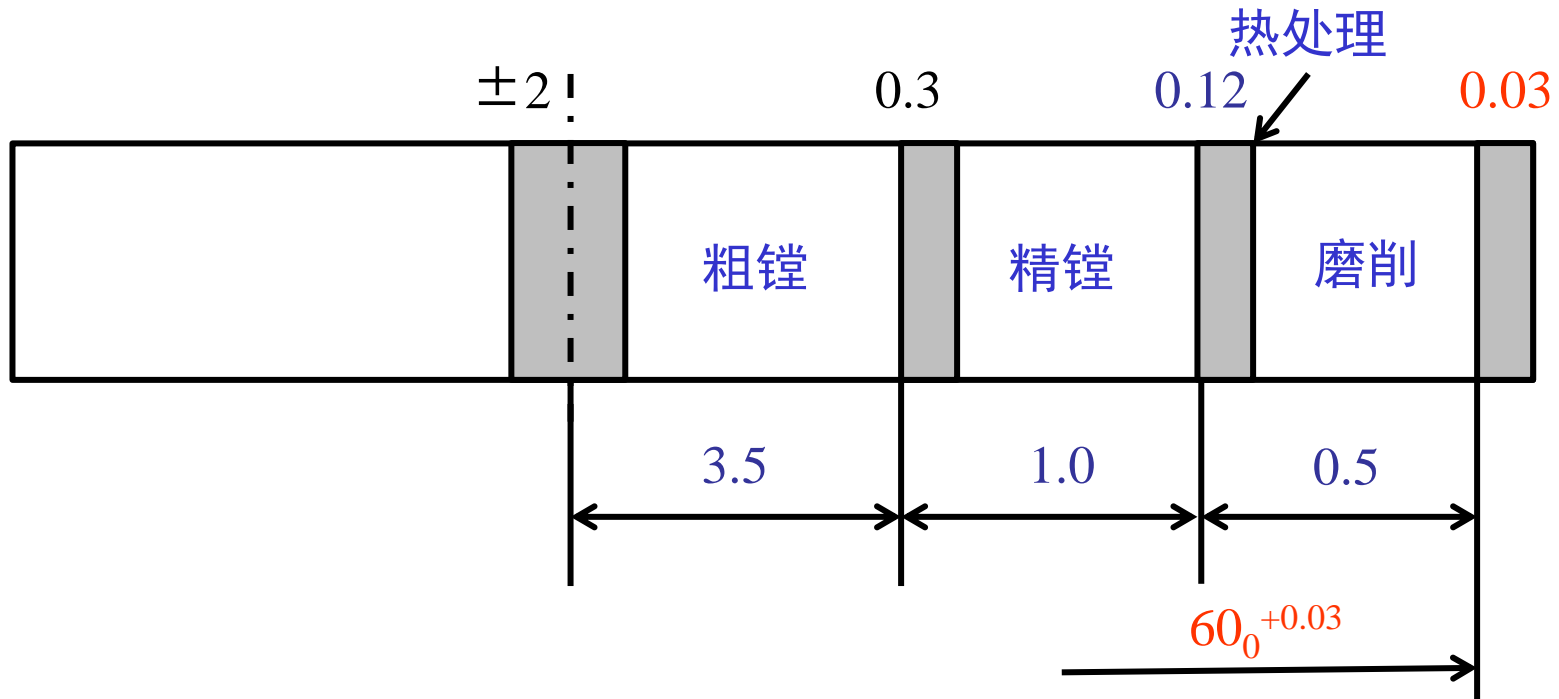


图1 孔加工余量和工序尺寸分布图

Example 2

某零件上一个孔，孔径为 $\phi 60_0^{+0.03}\text{mm}$ ，表面粗糙度为 $Ra=1.6\mu\text{m}$ 。需淬硬，材料为45钢($\Delta=\pm 2\text{mm}$)。工艺路线是：**粗镗—精镗—热处理—磨削**。各工序的加工余量如下：**磨削余量：0.5mm；精镗余量：1.0mm(IT10, $\Delta=0.12\text{ mm}$)；粗镗余量：3.5mm(IT12, $\Delta=0.3\text{ mm}$)**。问（1）各工序应按什么尺寸来加工？（2）检验精镗工序加工余量是否合适？



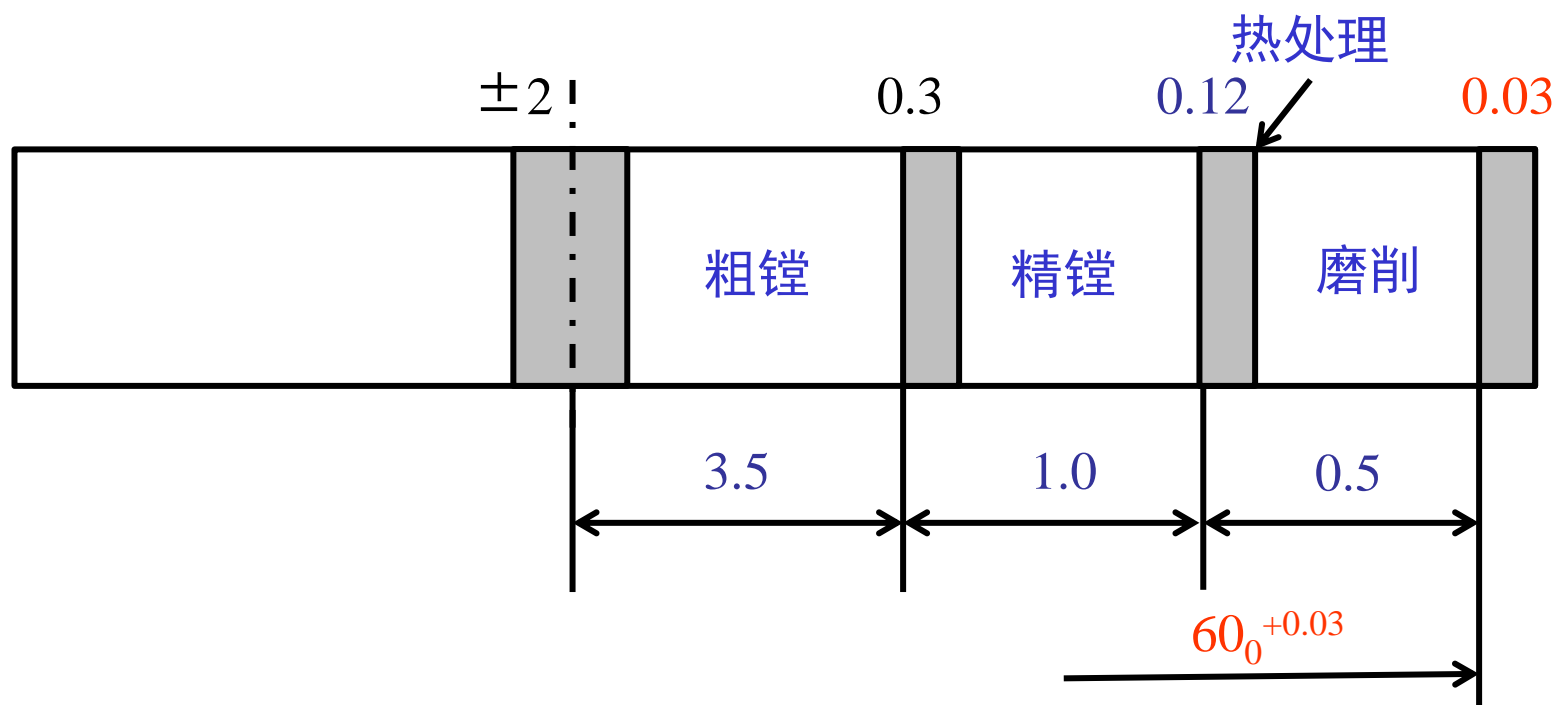
解：磨削后要达到零件图上的尺寸，故

磨削工序尺寸为： $D = 60_0^{+0.03}\text{mm}$

精镗后孔径基本尺寸为： $D_1 = 60 - 0.5 = 59.5\text{mm}$

粗镗孔径基本尺寸为： $D_2 = 59.5 - 1.0 = 58.5\text{mm}$

毛坯孔径基本尺寸为： $D_3 = 58.5 - 3.5 = 55\text{mm}$

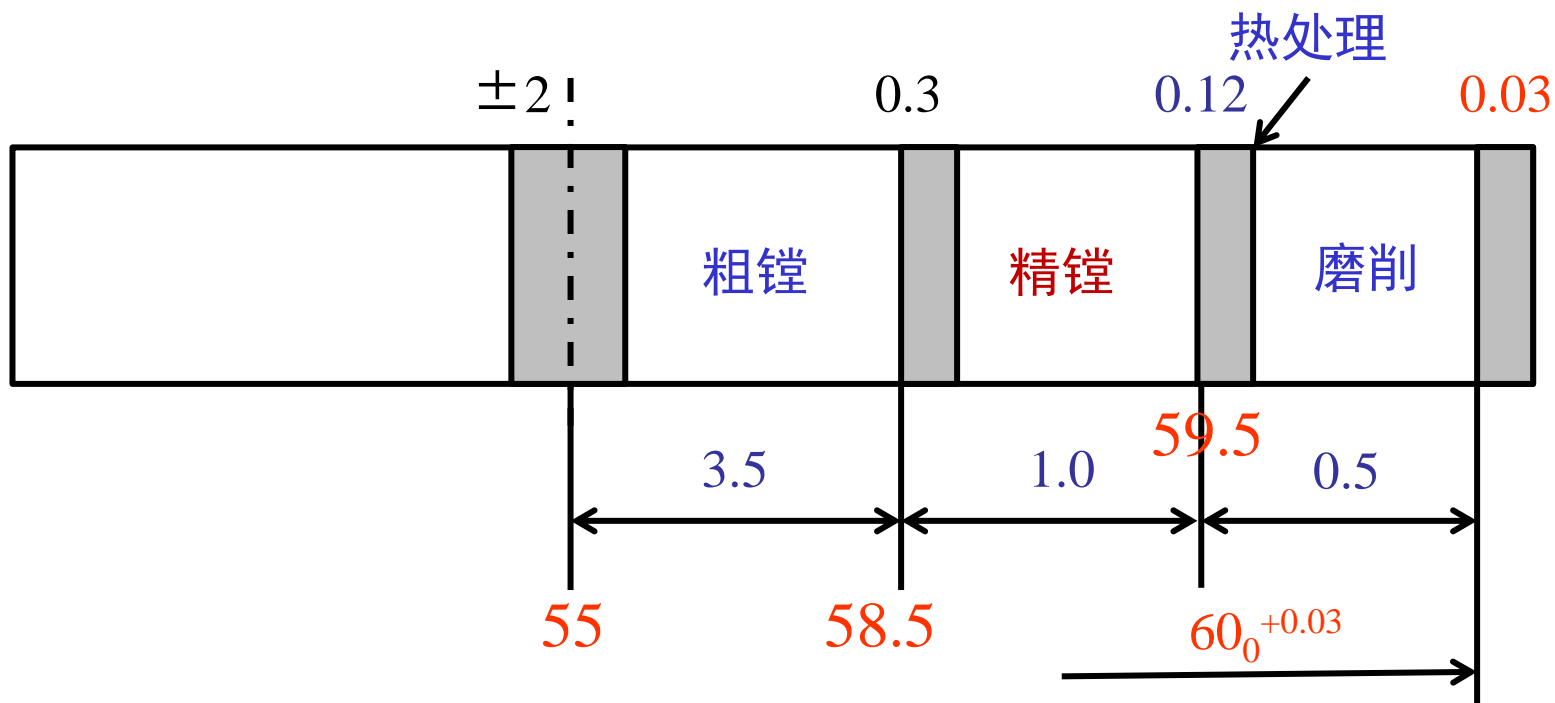
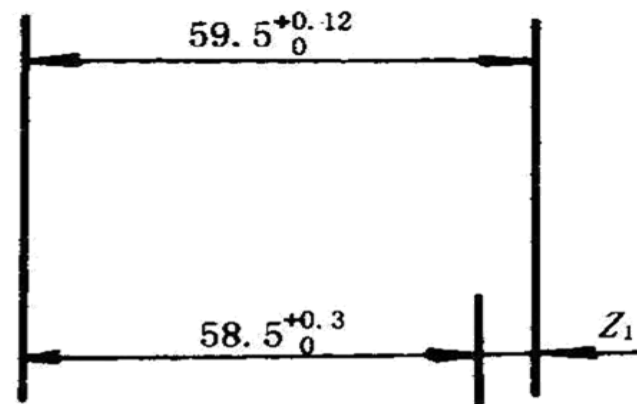


检验精镗工序加工余量是否合适：

$$Z_{\max}=59.62-58.5=1.12\text{mm};$$

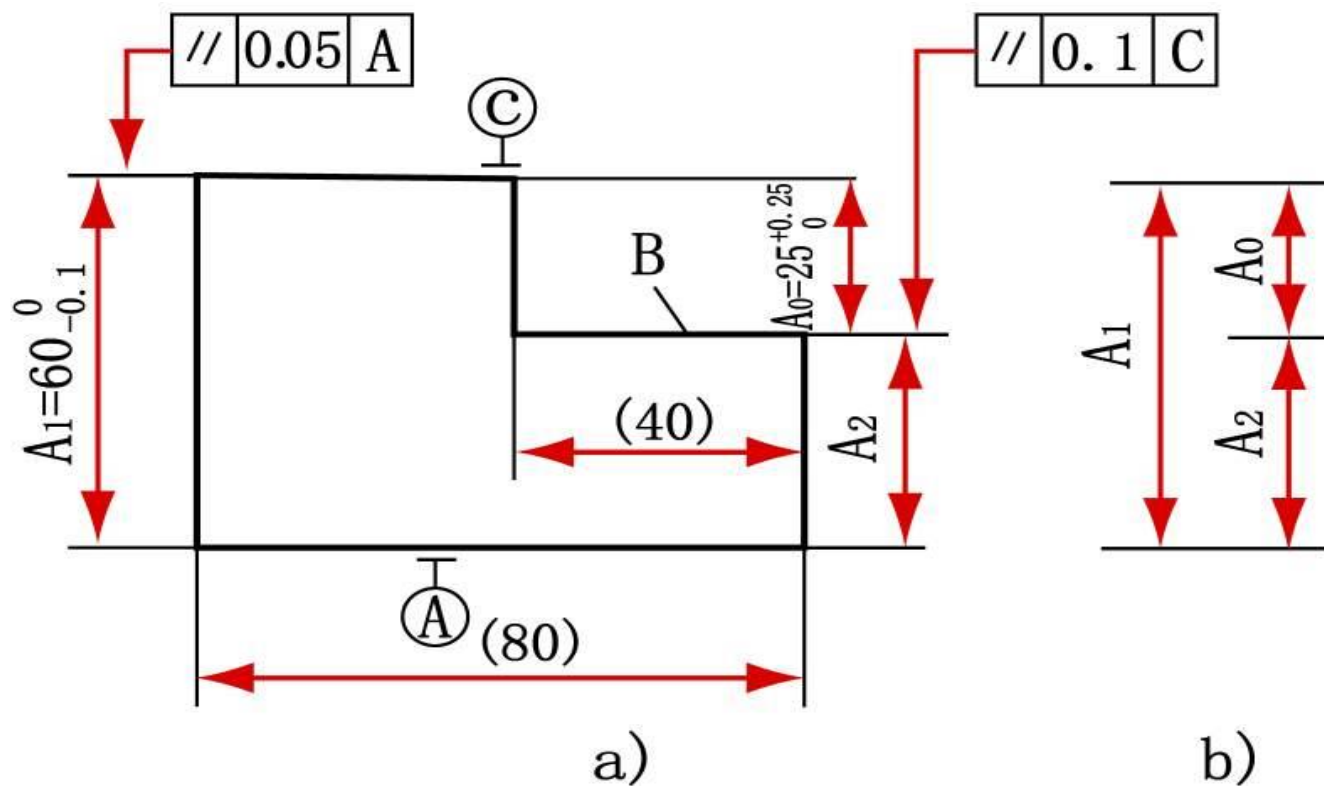
$$Z_{\min}=59.5-58.8=0.7\text{mm}。$$

说明精镗工序余量合适。

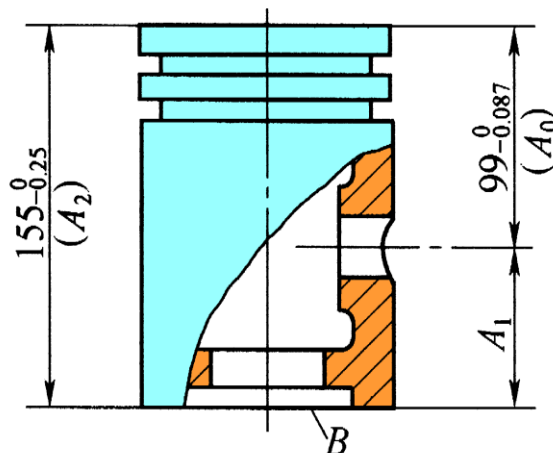


2. 工艺尺寸链

必须工艺尺寸链计算



尺寸链：由相互联系、按一定顺序首尾相接排列的尺寸封闭图。



组成环：加工过程中直接获得的尺寸如 A_1 、 A_2 是组成环；

封闭环：间接获得的尺寸 A_0 称为封闭环；

增环：它增大将使封闭环随之增大的组成环如 A_2 叫增环；

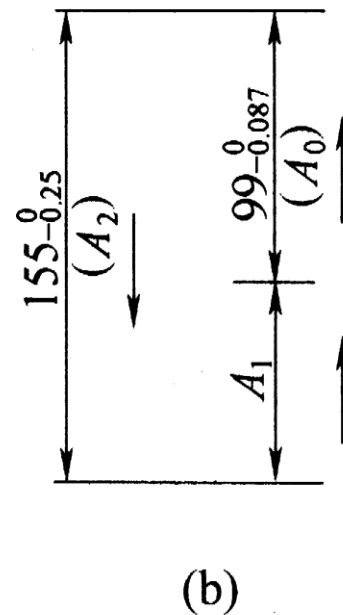
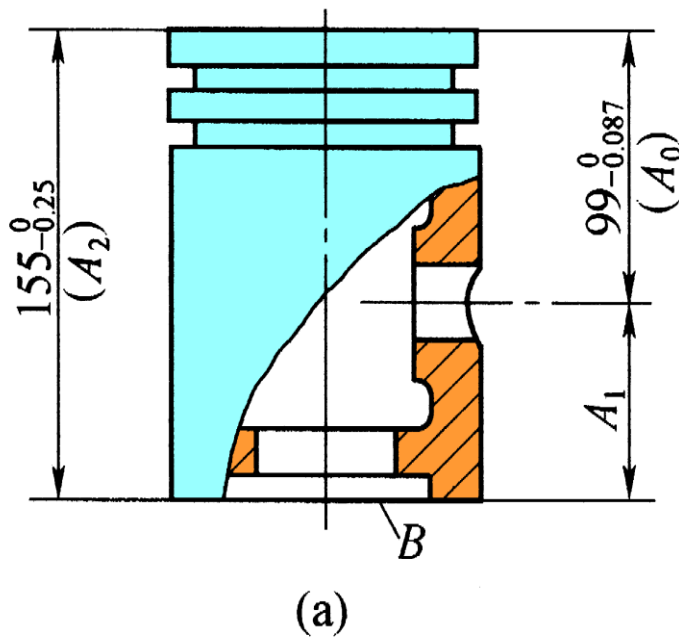
减环：它增大反使封闭环随之减小的组成环如 A_1 叫减环

尺寸链计算的关键： 正确画出尺寸链图，找出封闭环，确定增环和减环

①作尺寸链图

②找封闭环

③ 确定增环和减环



(2) 工艺尺寸链计算的基本公式

a) 封闭环的基本尺寸等于增环的基本尺寸之和减去减环的基本尺寸之和，即

$$A_0 = \sum_{p=1}^k A_p - \sum_{q=k+1}^m A_q$$

k为增环的个数，
m为减环的个数。

b) 封闭环的极限尺寸

封闭环的最大极限尺寸等于增环最大极限尺寸之和减去减环最小极限尺寸之和，即

$$A_{0\max} = \sum_{p=1}^k A_{p\max} - \sum_{q=k+1}^m A_{q\min}$$

封闭环的最小极限尺寸等于增环最小极限尺寸之和减去减环最大极限尺寸之和，即

$$A_{0\min} = \sum_{p=1}^k A_{p\min} - \sum_{q=k+1}^m A_{q\max}$$

c) 封闭环的极限偏差

封闭环的上偏差等于增环上偏差之和减去减环下偏差之和，即

$$ES_0 = \sum_{p=1}^k ES_p - \sum_{q=k+1}^m EI_q$$

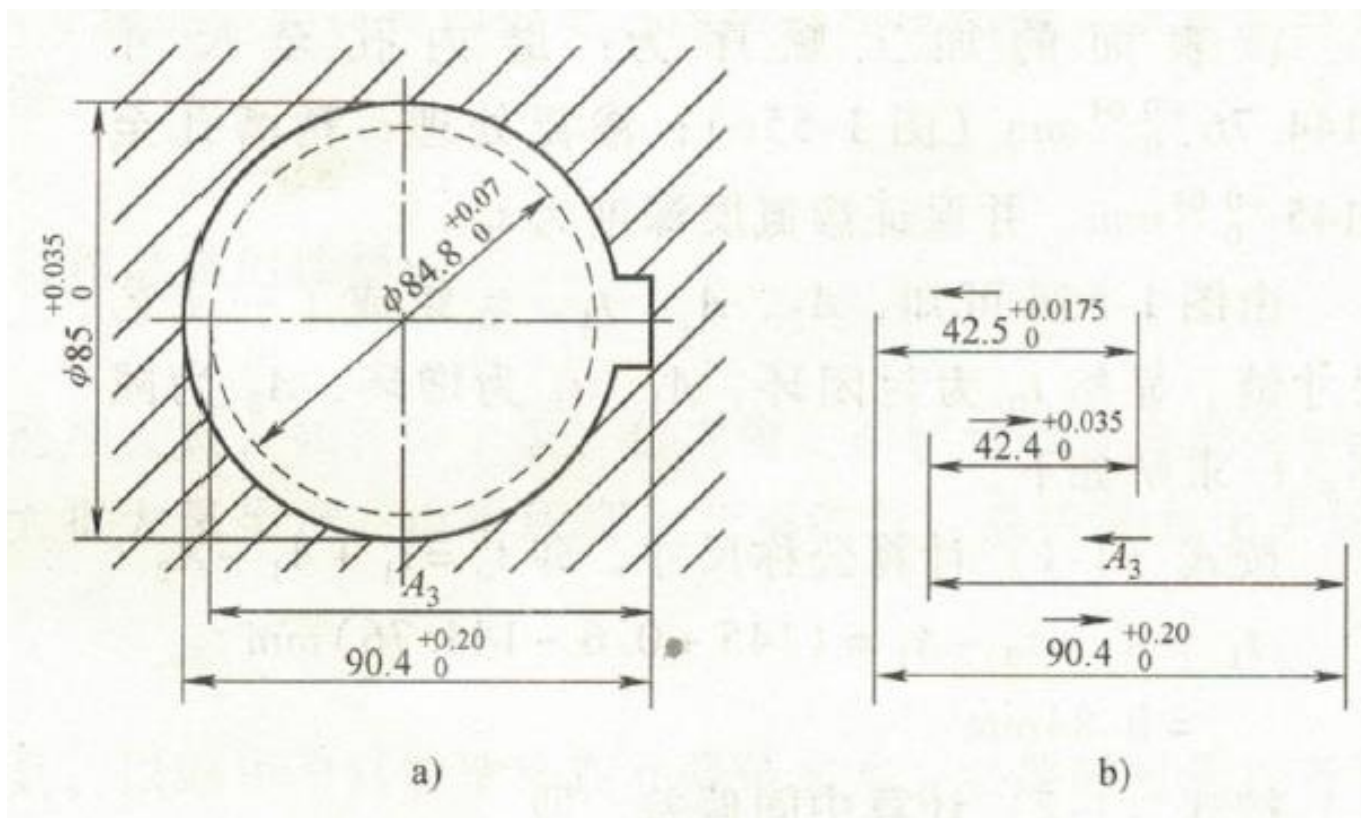
封闭环的下偏差等于增环下偏差之和减去减环上偏差之和，即

$$EI_0 = \sum_{p=1}^k EI_p - \sum_{q=k+1}^m ES_q$$

d) 封闭环的公差等于组成环公差之和，即

封闭环的公差比任何一个组成环的公差都大！

【例题】如图 4-17(a)所示为一齿轮内孔的简图。内孔尺寸为 $\Phi 85_{0}^{+0.035}$ mm，键槽的深度尺寸为 $90.4_{0}^{+0.20}$ mm。内孔及键槽的加工顺序如下：（1）精镗孔至 $\Phi 84.8_{0}^{+0.07}$ mm；（2）插键槽深至尺寸 A_3 (通过尺寸换算求得)；（3）热处理；（4）磨内孔至尺寸 $\Phi 85_{0}^{+0.035}$ mm，同时保证键槽深度尺寸 $90.4_{0}^{+0.20}$ mm。



【解题步骤】根据以上加工顺序可以看出磨孔后必须保证内孔尺寸，还要同时保证键槽的深度。为此必须计算出以镗孔后作为测量基准的键槽深度加工工序尺寸 A_3 。图 4-17(b) 所示为尺寸链简图，其中精镗孔后的半径 $A_2 = 42.4_0^{+0.035}$ mm，磨孔后的半径 $A_1 = 42.5_0^{+0.0175}$ mm 以及键槽加工的深度尺寸 A_3 都是直接获得的，为组成环。磨孔后所得的键槽深度尺 $A_0 = 90.4_0^{+0.20}$ mm 是自然形成的，为封闭环。

根据工艺尺寸链的公式计算 A_3 及上下偏差值如下。

$$A_0 = A_3 + A_1 - A_2, \quad A_3 = 90.3 \text{ mm};$$

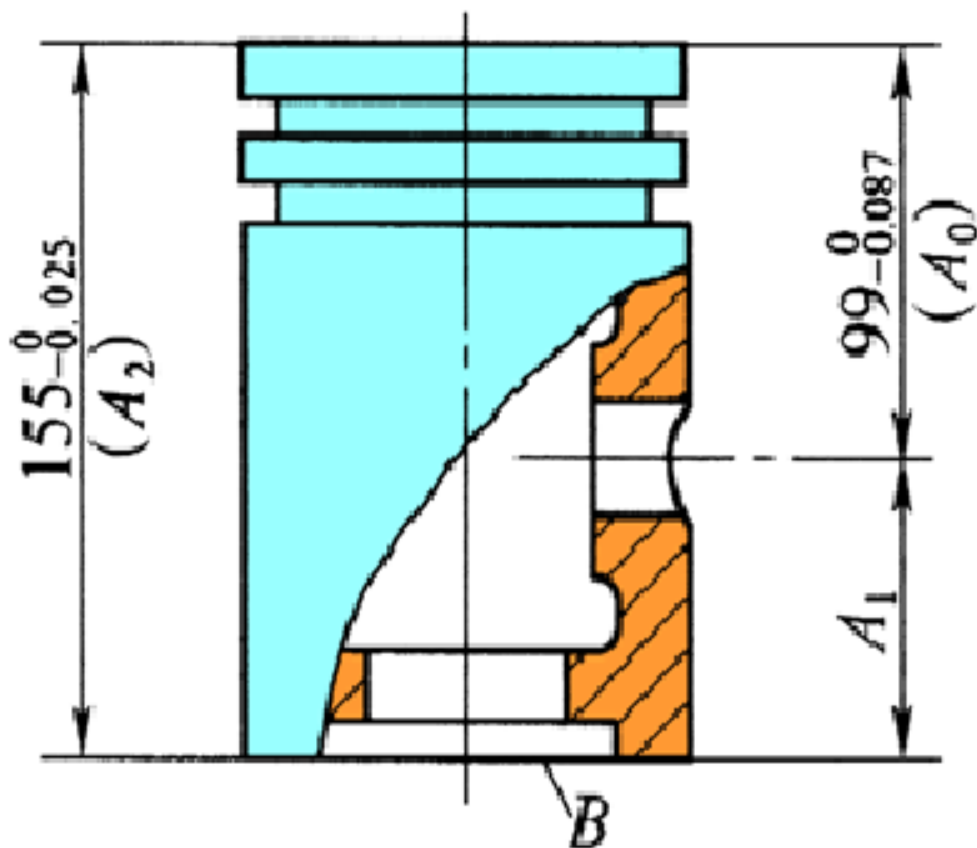
$$ES(A_0) = ES(A_3) + ES(A_1) - EI(A_2), \quad ES(A_3) = 0.1825 \text{ mm};$$

$$EI(A_0) = EI(A_3) + EI(A_1) - ES(A_2), \quad EI(A_3) = 0.035 \text{ mm}。$$

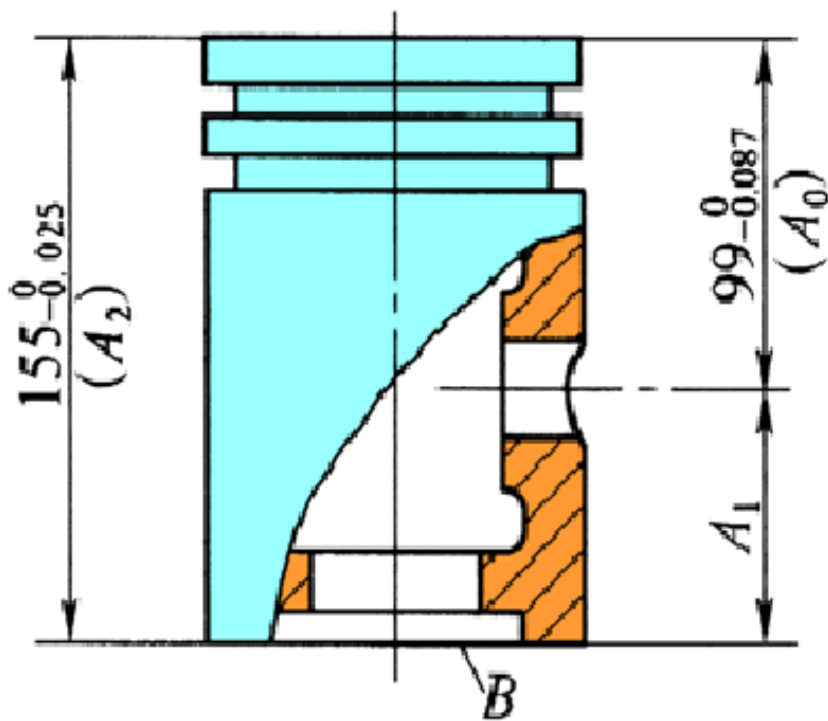
因此，插键槽的工序尺寸 $A_3 = 90.3_{+0.035}^{+0.1825}$ mm。

Example 1

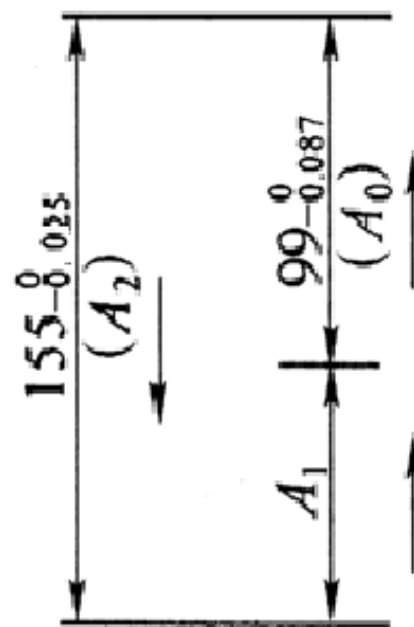
如图活塞上加工销孔，要求保证尺寸 A_0 ，设计基准为活塞顶面。为加工方便常用 B 面定位，按工序尺寸 A_1 加工销孔。试确定工序尺寸 A_1 及其公差。



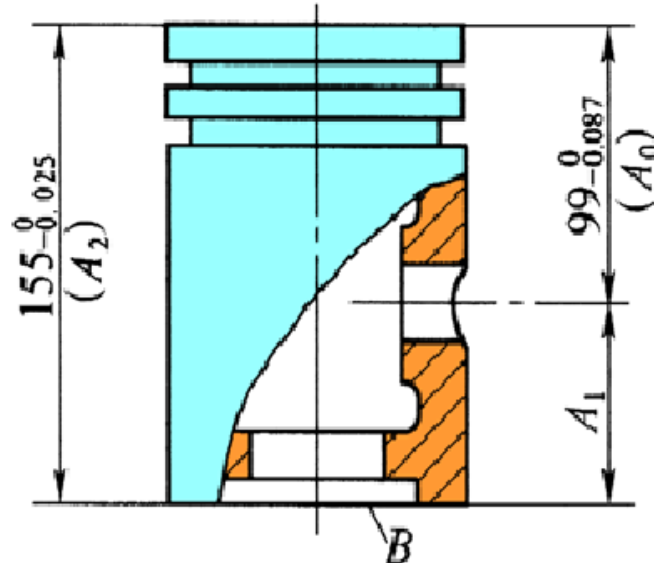
解： ① 作出尺寸链图； ②按照加工顺序确定封闭环 A_0 ；
③画箭头分出增环 A_2 和减环 A_1 ；



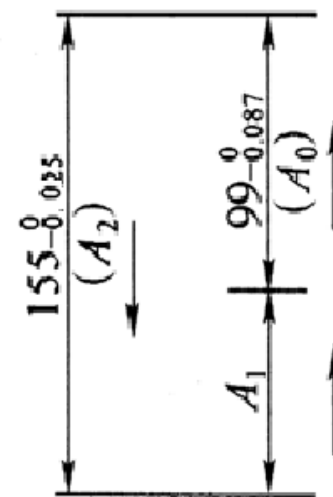
(a)



(b)



(a)



(b)

④尺寸链计算

A_1 的基本尺寸: $A_0 = A_2 - A_1$ $99 = 155 - A_1$ 得 $A_1 = 56$ mm

封闭环上偏差: $ES_{A_0} = ES_{A_2} - EI_{A_1}$ $EI_{A_1} = 0 - 0 = 0$

封闭环下偏差: $EI_{A_0} = EI_{A_2} - ES_{A_1}$ $ES_{A_1} = (-0.025) - (-0.087) = 0.062$

故工序尺寸 A_1 为: $A_1 = 56^{+0.062}_0$ mm

验算封闭环公差 $T_0 = T_1 + T_2$

Example 2 (Some difficult !)

齿轮内孔及键槽的加工顺序：

工序1：镗内孔至 $\phi 39.6^{+0.062}_0$ ；

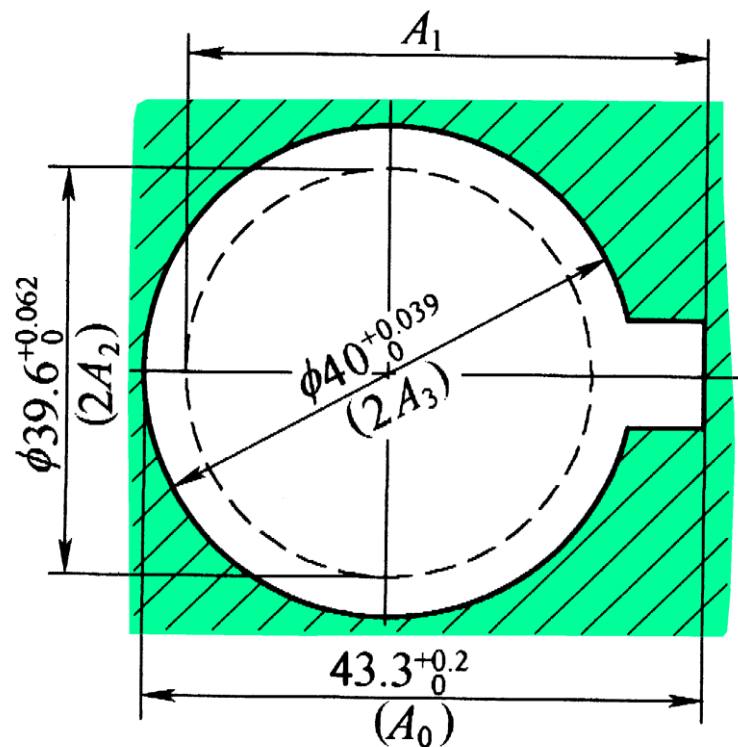
工序2：插槽至尺寸 A_1 ；

工序3：热处理—淬火；

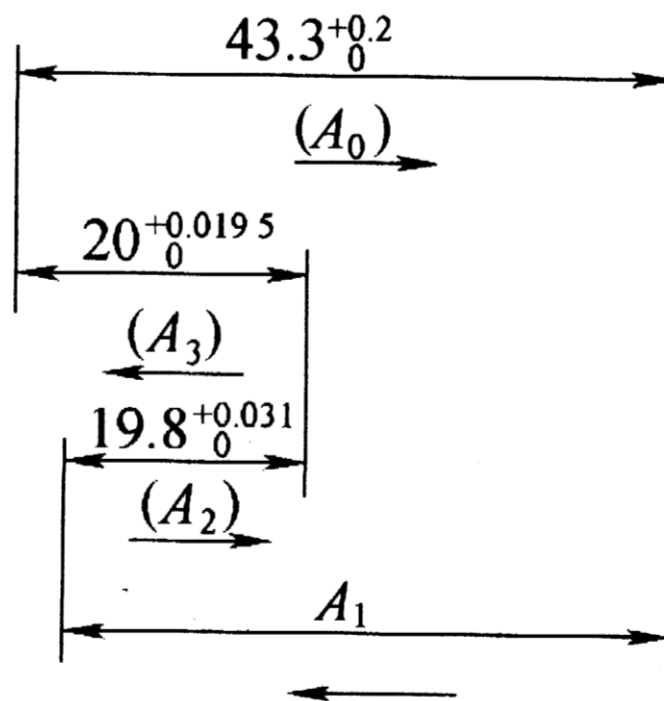
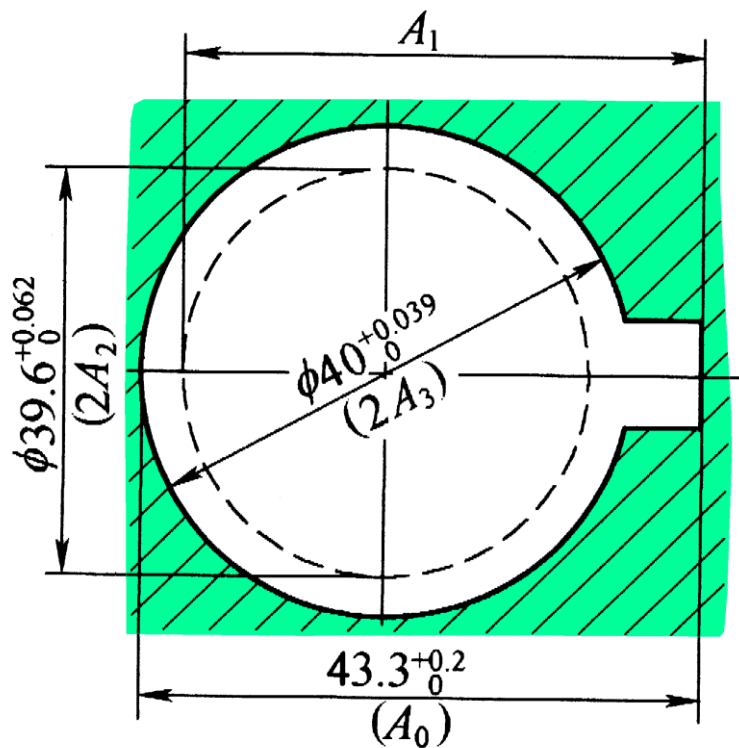
工序4：磨内孔至 $\phi 40^{+0.039}_0$ ，

同时保证键槽深度 $43.3^{+0.2}_0$ 。

试确定工序尺寸 A_1 及其公差。



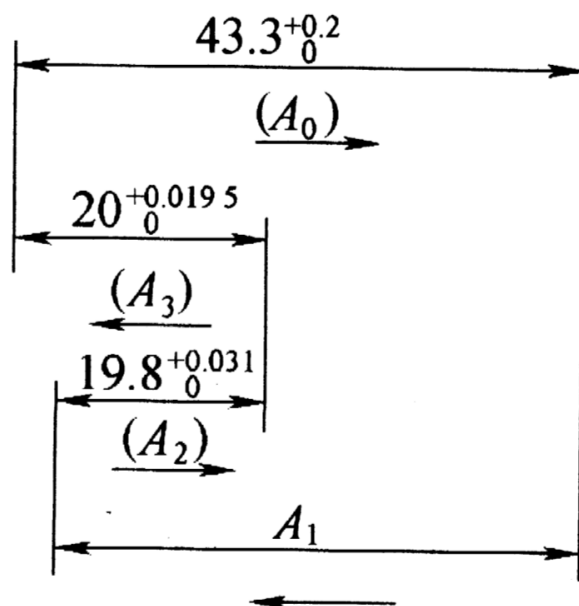
解： ① 作出尺寸链图； ②按照加工顺序确定封闭环 A_0 ；
③画箭头分出增环 A_1 、 A_3 和减环 A_2 ；



④ 中间工序尺寸 A_1 的计算

A_1 基本尺寸 $A_0 = A_1 + A_3 - A_2$ $43.3 = A_1 + 20 - 19.8$ 得 $A_1 = 43.1$

验算公差 $T_0 = T_1 + T_3 + T_2$ $T_1 = 0.2 - 0.031 - 0.0195 = 0.1495$



A_1 上偏差 $0.2 = ES_{A_1} + 0.0195 - 0$ $ES_{A_1} = 0.2 - 0.0195 = 0.1805$

A_1 下偏差 $0 = EI_{A_1} + 0 - 0.031$ $EI_{A_1} = 0.031$

故插键槽时的工序尺寸 $A_1 = 43.1^{+0.1805}_{-0.031}$ mm

Example 3

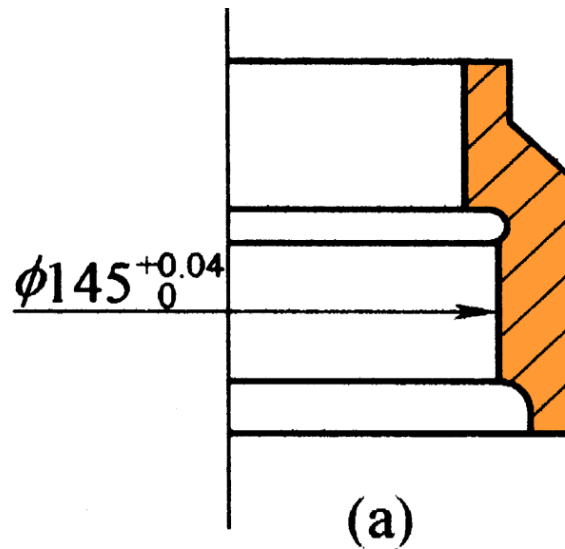
轴颈衬套内孔 $\phi 145$ 表面需渗氮处理，渗氮层深度要求为 $0.3 \sim 0.5 \text{ mm}$ (单边 $0.3^{+0.2}_0$ ，双边 $0.6^{+0.4}_0$)。其加工顺序为：

工序1：初磨孔至 $\phi 144.76^{+0.04}_0$ ；

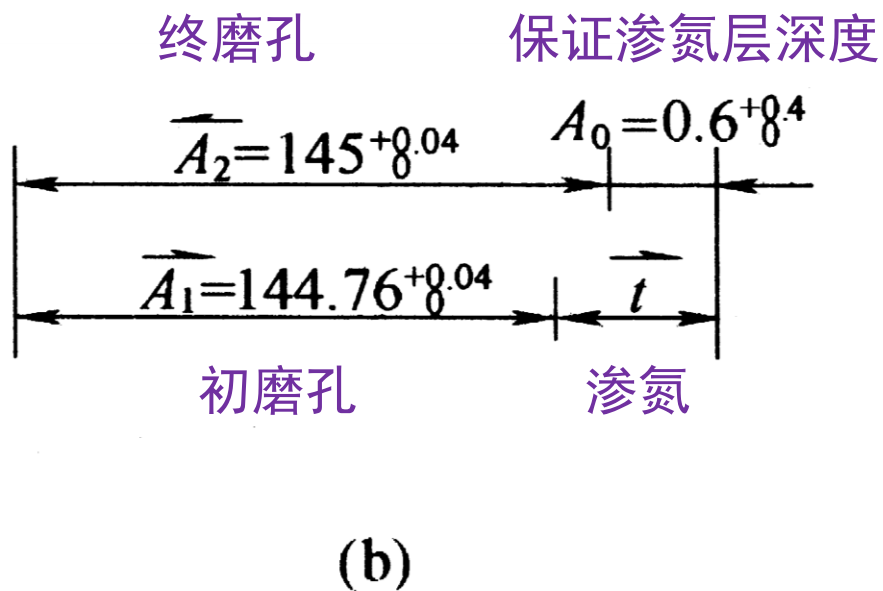
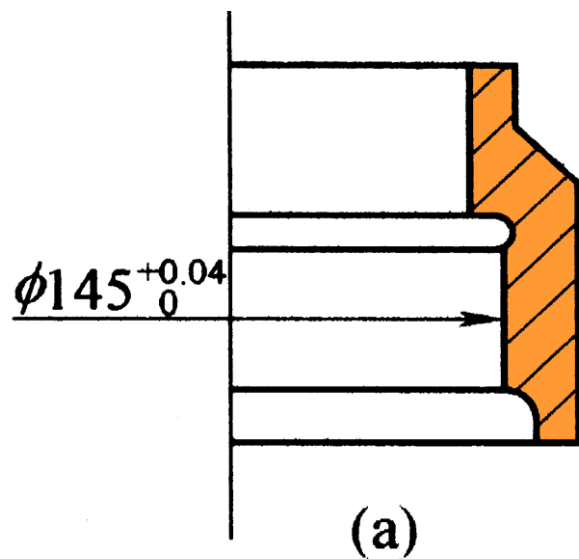
工序2：渗氮处理，渗氮的深度为 t ；

工序3：终磨孔至 $\phi 145^{+0.04}_0$ ，保证渗氮层深度为 $0.3 \sim 0.5 \text{ mm}$ 。

试求终磨前渗氮层深度 t 及其公差。

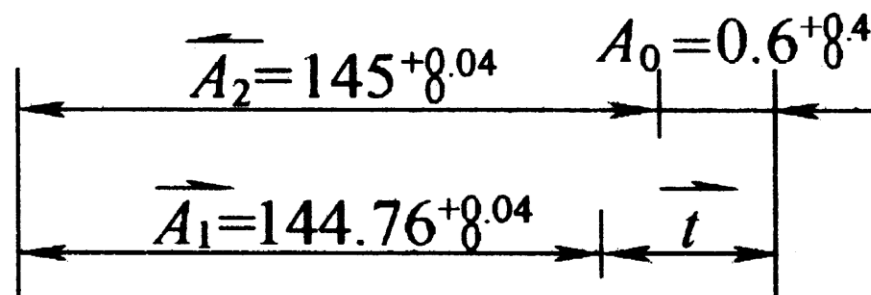


解：① 作出尺寸链图； ②按照加工顺序确定封闭环 A_0 ； ③画箭头分出增环 A_1 、 t 和减环 A_2 ；



④ 渗氮深度 t 的计算

t 基本尺寸 $A_0 = A_1 + t - A_2$ $0.6 = 144.76 + t - 145$ 得 $t = 0.84$



验算公差 $T_0 = T_1 + T_t + T_2$ $T_t = 0.4 - 0.04 - 0.04 = 0.32$

t 上偏差 $0.4 = 0.04 + ES_t - 0$ $ES_t = 0.4 - 0.04 = 0.36$

t 下偏差 $0 = 0 + EI_t - 0.04$ $EI_t = 0.04$

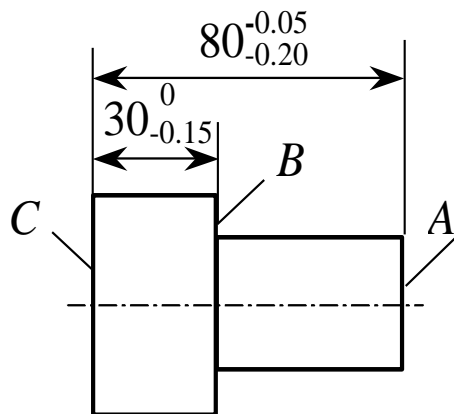
双边渗氮深度 $t = 0.84^{+0.36}_{+0.04} = 0.88^{+0.32}_0$, 单边渗层 $t/2 = 0.44^{+0.16}_0$

Example 4

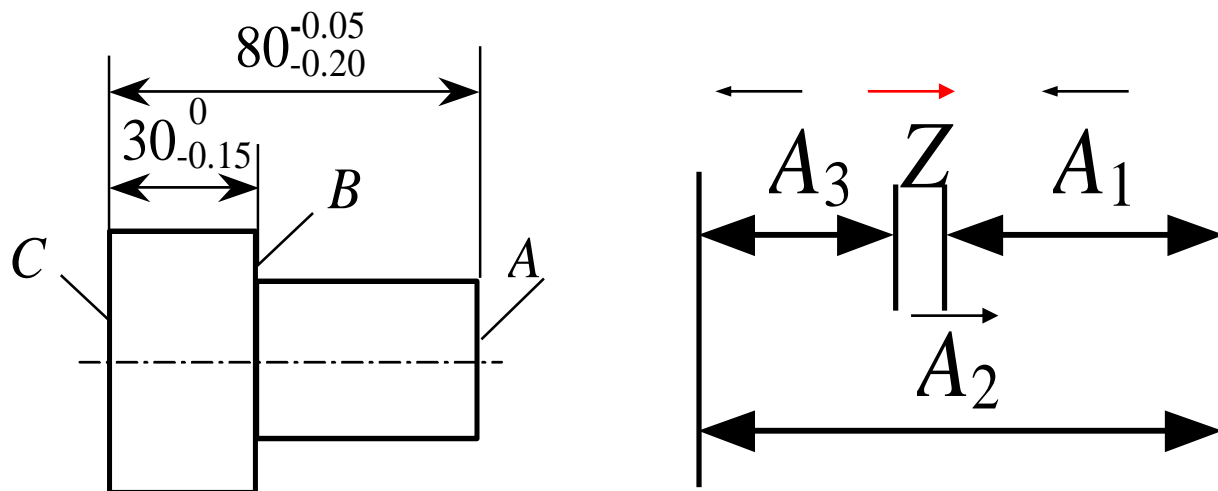
如图一批小轴零件，加工过程如下：

1. 半精车端面A、B，保证两者之间的尺寸 $A_1 = 49.6^{+0.20}_0$ mm；
2. 调头，以A面为基准半精车C面，保证总长 $A_2 = 80^{+0.05}_{-0.20}$ mm；
3. 热处理；
4. 以C面为基准磨端面B，保证尺寸 $A_3 = 30^{+0}_{-0.15}$ mm。

试校核端面B的磨削余量是否合适？若不合适，应如何调整？



解：① 列出尺寸链 ② 判断各环性质：Z 为封闭环， A_2 为增环， A_1 、 A_3 为减环



③ 计算： $Z = 80 - 49.6 - 30 = 0.4$

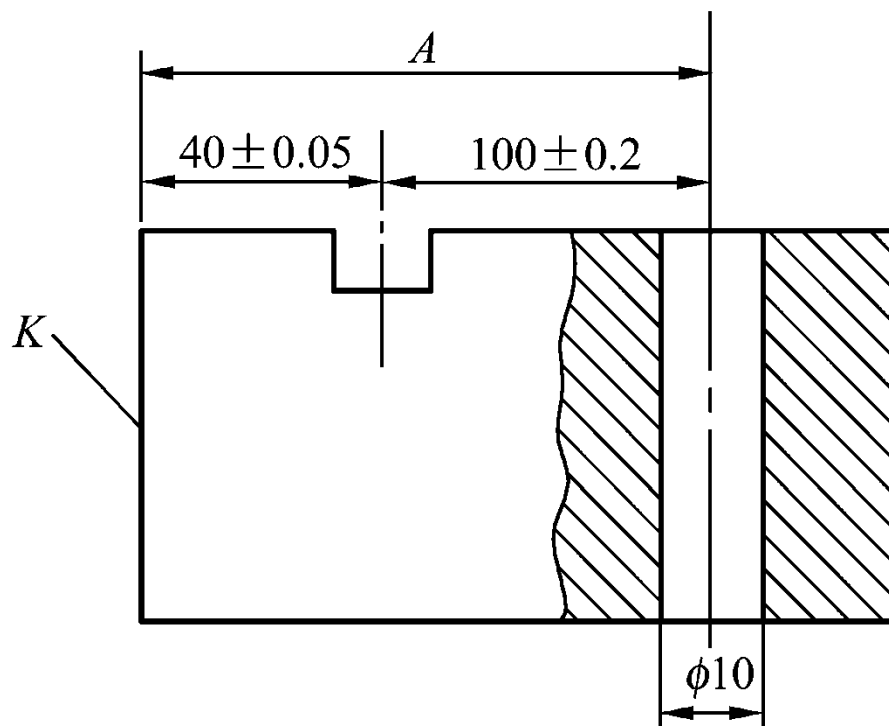
$$BS_Z = -0.05 - 0 - (-0.15) = 0.10$$

$$BI_Z = -0.20 - 0.20 - 0 = -0.40$$

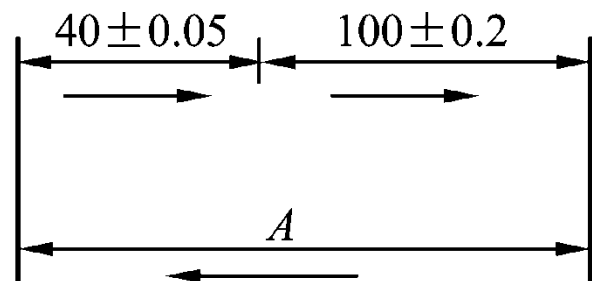
④ 分析：最小余量为零，需要调整。 A_2 、 A_3 为设计尺寸，保持不变，若令最小余量为 0.1mm，将工艺尺寸 A_1 改为 $49.6^{+0.10}_0$ ，此时 $Z = 0.4^{+0.1}_0$ 。

Example 5

如图所示零件，各平面及槽均已加工，求以侧面K定位钻 $\Phi 10$ mm孔的工序尺寸及其偏差。



(a) 零件图



(b) 工艺尺寸链简图

确定封闭环：尺寸 100 ± 0.2 mm为封闭环。

绘出工艺尺寸链图：

判断组成环的性质：尺寸 40 ± 0.05 mm为减环。

计算工序尺寸A及其上、下偏差。

A的基本尺寸： $100 = A - 40$ $A = 140$ mm。

计算A的上、下偏差：

$$+0.2 = ESA - (-0.05) \quad ESA = 0.15 \text{ mm}$$

$$-0.2 \text{ mm} = EIA - 0.05 \quad EIA = -0.15 \text{ mm}$$

校验计算结果：

$$[0.2 - (-0.2)] = [0.05 - (-0.05)] + [0.15 - (-0.15)]$$
$$0.4 = 0.4$$

各组成环公差之和等于封闭环的公差，计算无误。

第五节 时间定额和提高劳动生产率的工艺途径

一、时间定额及其组成

时间定额



时间定额是在一定生产条件下，规定生产一件产品或完成一道工序所需消耗的时间。

单件时间



完成一个工件的一个工序的时间称为单件时间 t_d

$$T_{\text{单}} = t_{\text{基}} + t_{\text{辅}} + t_{\text{服}} + t_{\text{休}}$$

基本时间是指直接改变生产对象的尺寸、形状、相对位置、表面状态或材料性质等工艺过程所消耗的时间。

辅助时间是指为实现工艺过程所必须进行的各种辅助动作所消耗的时间。如装卸工件、操作机床、改变切削用量、试切和测量工件、引进及退回刀具等动作所需时间都是辅助时间。

布置工作地时间是为使加工正常进行，工人照管工作地（如换刀、润滑机床、清理切屑、收拾工具等）所消耗的时间。一般按作业时间的2%~7%估算。

休息和生理需要时间是指工人在工作班内恢复体力和满足生理上的需要所消耗的时间。一般按作业时间的2%估算。

在成批生产中

零件批量

$$t_h = t_d + t_z/N$$

单件核算时间

单件时间

准备终结时间：进行准备和结束工作所消耗的时间

大批大量生产时，每个工作地始终完成某一固定工序， $t_z/N \approx 0$ ，故不考虑准备终结时间，即

$$t_h = t_d$$

二、提高劳动生产率的工艺路径

1. 缩短基本时间

- (1) 提高切削用量
- (2) 减少切削行程长度
- (3) 合并工步

2. 缩短辅助时间

- (1) 直接缩短辅助时间
- (2) 使辅助时间与基本时间重合

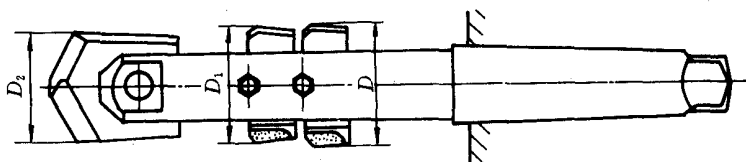


图 7-30 复合刀具加工

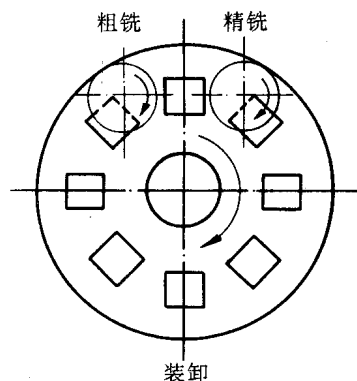


图 7-35 连续回转进给加工

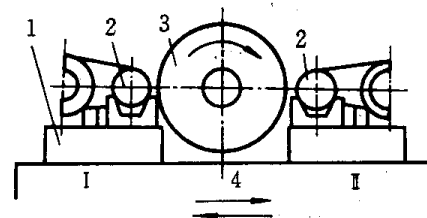


图 7-34 往复式进给铣床夹具
1——夹具； 2——工件；
3——铣刀； 4——工作台

3. 同时缩短基本时间和辅助时间

- (1) 多件加工
- (2) 先进自动化设备

4. 缩短准备终结时间

- (1) 使夹具和刀具调整通用化
- (2) 采用可换刀架或刀夹
- (3) 采用刀具的微调和快调
- (4) 减少夹具在机床上的安装找正时间
- (5) 采用准备终结时间极少的先进加工设备

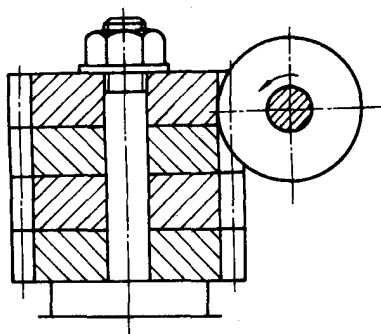


图 7-31 顺序加工

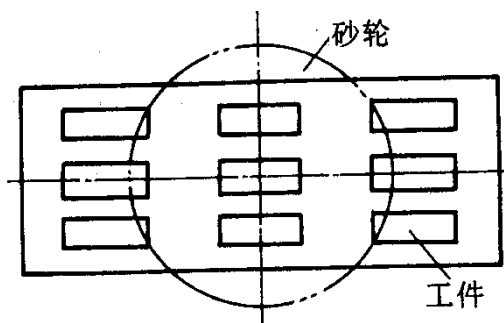


图 7-33 平行顺序加工

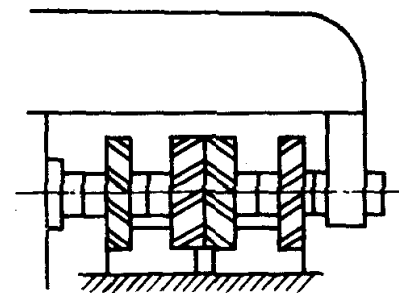


图 7-32 平行多件加工

提高机械加工生产率的工艺措施

1. 缩短基本时间

- (1) 提高切削用量，但受到刀具寿命和机床刚度的制约。
- (2) 缩短工作行程长度
- (3) 多件加工

2. 缩减辅助时间、工作地点服务时间、准备终结时间

- (1) 直接缩减辅助时间
- (2) 使辅助时间与基本时间重合
- (3) 减少换刀次数，并缩减每次换刀所需时间
- (4) 扩大零件的生产批量减少调整机床、刀具和夹具的时间

3. 实行多台机床看管

4. 新工艺、特种工艺

5. 应用成组技术

在单件小批生产中广泛采用各种数控和柔性制造系统及推广成组技术等，都可以缩短单件时间，有效地提高劳动生产率。

Thank you!

进入下一章节

船机制造工艺学

Shipping machinery manufacture process

教师：王静思

大连海事大学轮机工程学院

Lecturer: Jingsi WANG

Marine engineering college of DMU

第四章 典型船机零件的制造工艺

Chapter 4 Manufacture processes of typical workpieces

内容回顾：

内容提要：

第一节 活塞制造工艺

第二节 连杆制造工艺

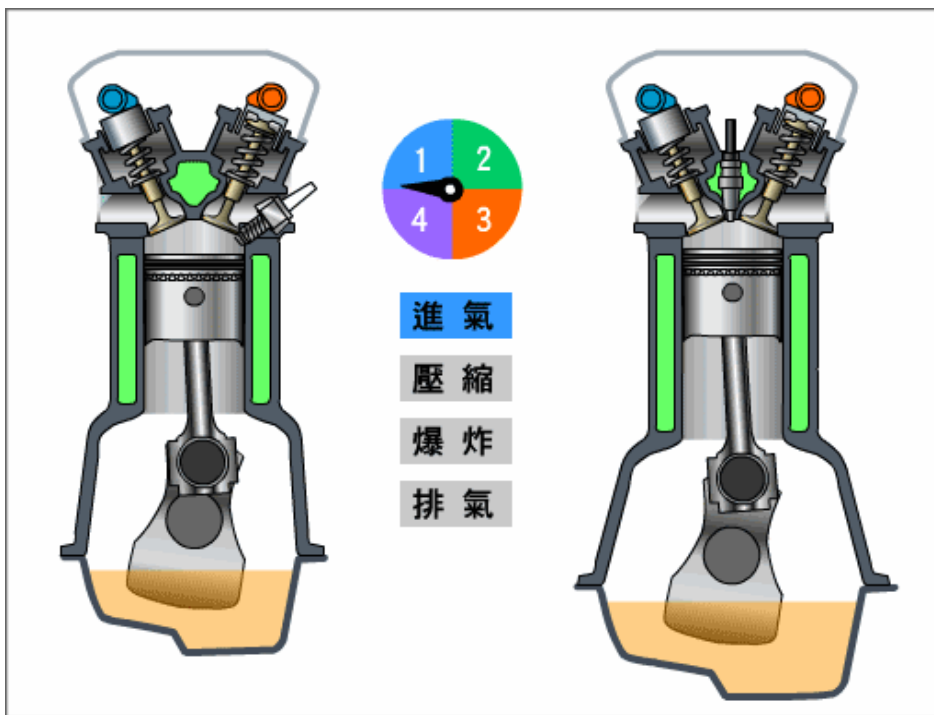
第三节 曲轴制造工艺

第四节 活塞环制造工艺

第一节 活塞制造工艺

Part 1 Manufacturing of piston

主要作用、工作条件、特点、结构？



- 承受气体压力（**承压**）
- 将力通过连杆传递给曲轴（**传力**）
- 与气缸盖、汽缸壁组成燃烧室（**燃烧室**）

高温高压下作长期连续往复运动

活塞的结构

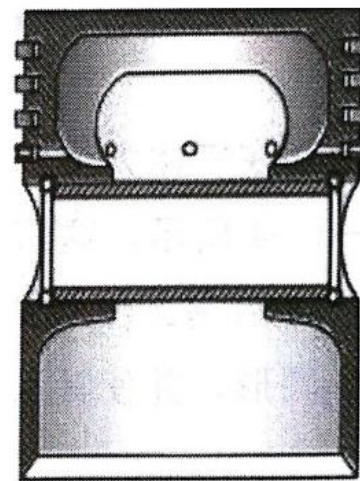
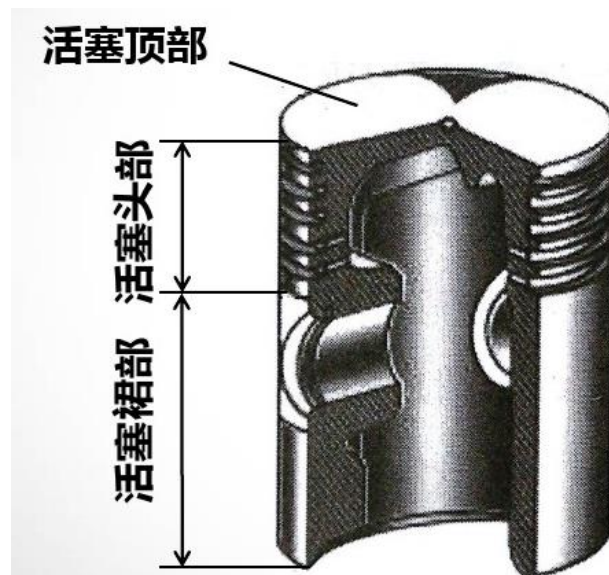
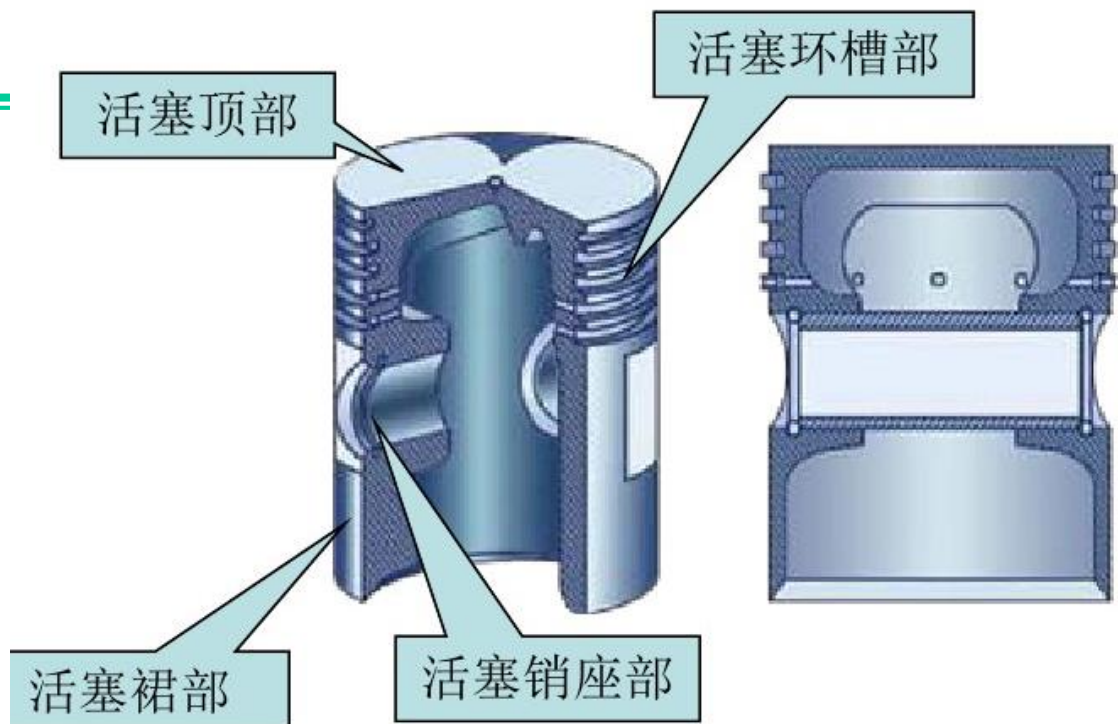
活塞基本构造

活塞顶部

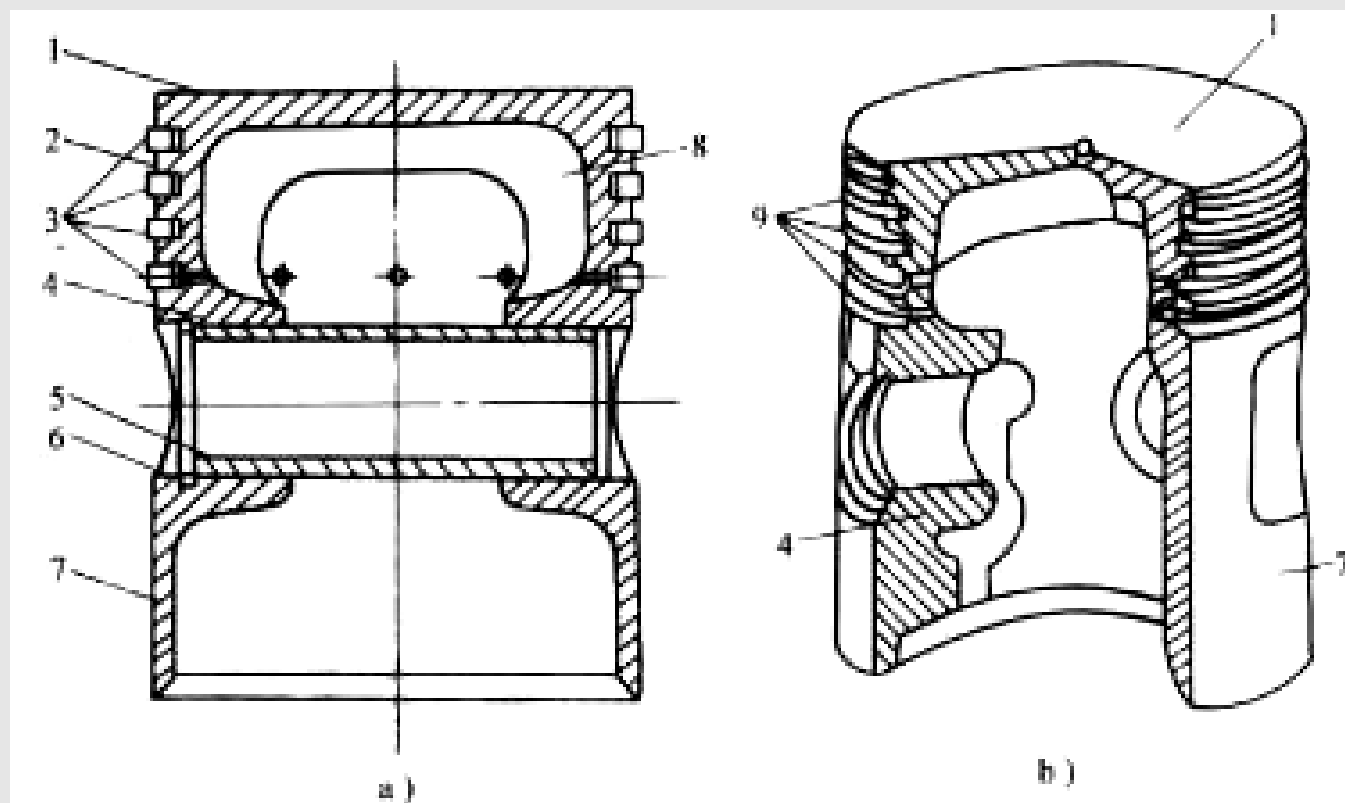
活塞环槽部

活塞销座部

活塞裙部



活塞的结构



活塞结构剖视图

a) 全剖

b) 部分剖

1- 活塞顶 2- 活塞头 3- 活塞环 4- 活塞销座 5- 活塞销
6- 活塞销销环 7- 活塞裙 8- 加强筋 9- 环槽



一、活塞的材料、毛坯和加工技术要求

活塞需满足的条件

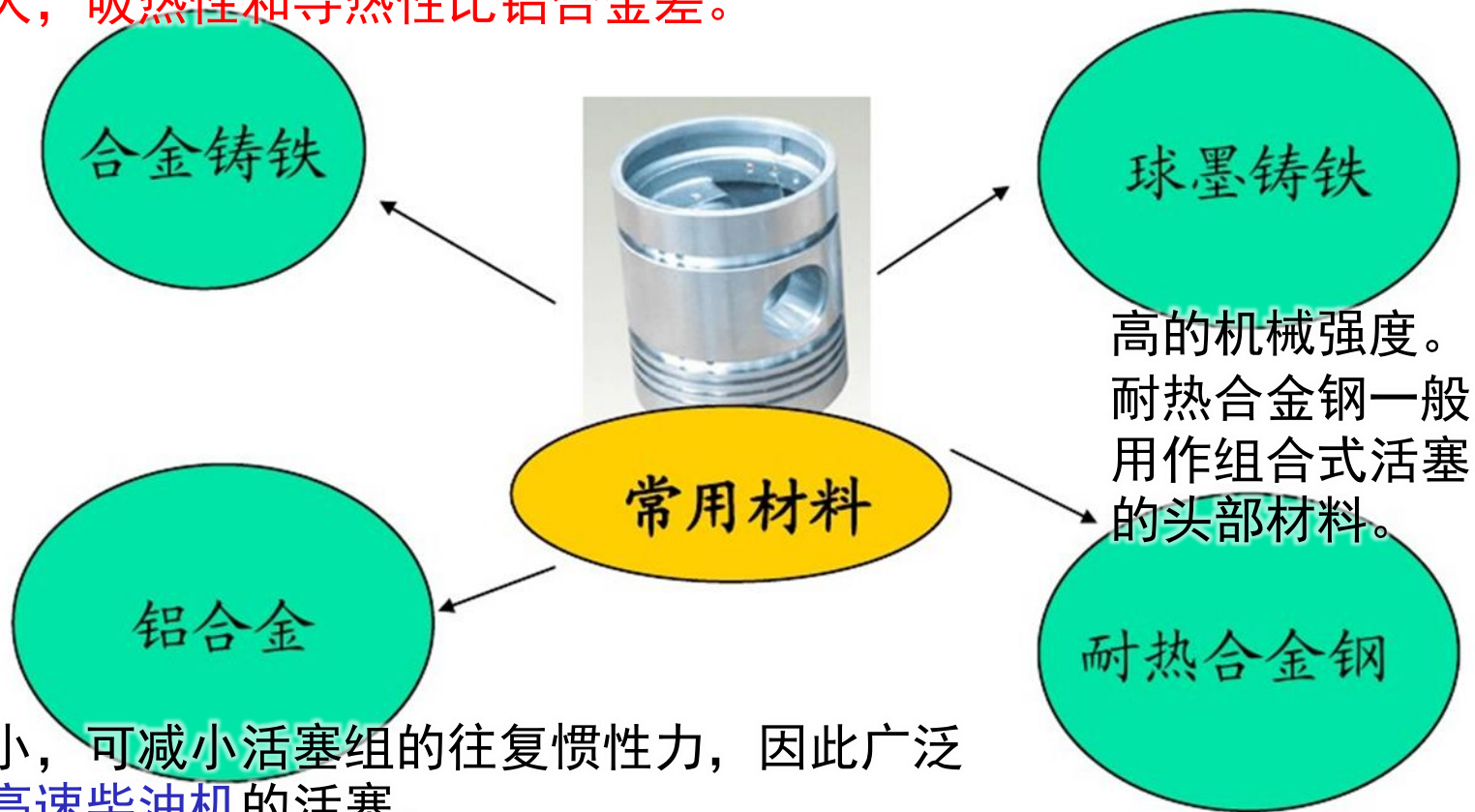
在保证强度和刚度足够的前提下，尽可能减轻质量；

尽量减少活塞顶从燃烧气体吸收热量，又能尽快将所吸收的热量散走，防止活塞过热；

既要保证燃烧室良好的气密性，又应尽可能减少活塞组的摩擦损失；

摩擦副具有良好的润滑、较小的磨损以及较少的润滑油消耗量。

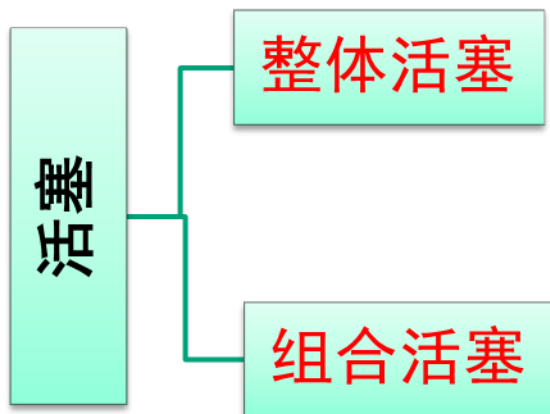
较高机械强度、较小热膨胀系数以及良好的耐磨和耐腐蚀性价格低，工艺性好
密度大，吸热性和导热性比铝合金差。



密度小，可减小活塞组的往复惯性力，因此广泛用于高速柴油机的活塞。

热强度较差，热膨胀系数较大，与气缸套的冷态配合间隙大，在冷车启动和低负荷运转时，加剧活塞对气缸套的撞击。

1、活塞的材料与毛坯 (Blanks & materials)



- **铸铁**：灰口铸铁、球墨铸铁→中、低速
- **铝合金**：主要Al-Si →中、高速
- **铸钢、陶瓷、碳材料**→高速

→强载的中、高速大功率

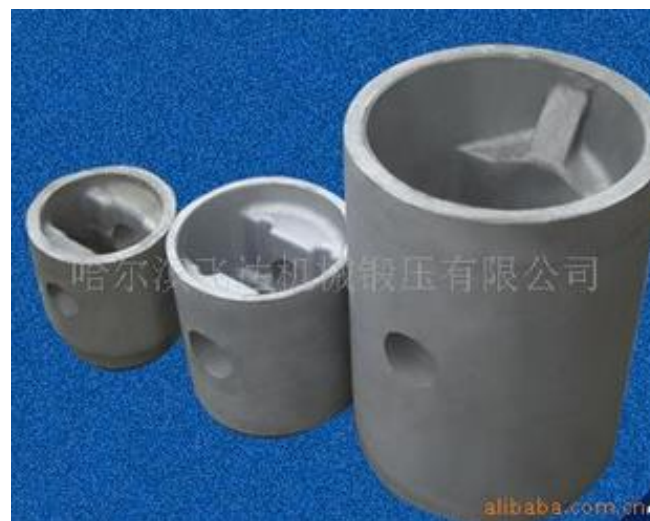
- **活塞顶**：铸钢、锻钢、球铁、12CrNiMo4
- **下体(裙部与销座)**：铸铁、铸铝、锻铝

整体式铸铁活塞毛坯：

- 砂模浇铸
- 金属模浇铸

整体式铝活塞毛坯：

- 重力铸造、
- 低压铸造与锻造



毛坯主要成形方法的特点

- 重力铸造成本低，但是强度稍差，生产率低，应用于普通低负荷柴油机；
- 锻造活塞的强度比铸造活塞高，导热性也较好，但是锻造成本高，对工艺要求严格，仅用于高强度柴油机；
- 低压铸造工艺对提高材料性能大有好处，高温时强度下降较小，制造成本低，应用范围不断扩大；
- 此外，液态模锻也是一种进一步提高活塞毛坯质量的新工艺，即是将定量的液体金属浇入金属模具内，用冲头加压，使液体金属在压力下结晶凝固，组织紧密、晶粒细小均匀、表面光滑。该工艺兼有锻造和铸造的特点，能消除铸造缺陷，提高毛坯质量。

*典型活塞的材料

活塞材料	种类和特性	特点	
铝合金	Al-Cu-Ni-Mg 系 (被淘汰) Al-Cu-Si 系 (被淘汰) 共晶Al-Si-Cu-Mg 系 过共晶Al-Si-Cu-Mg 系(Si: 7%~26%)	•密度小、导热性好。 •热强度不高、线膨胀系数较大。	ZL108采用最多。
铸铁	灰口铸铁、球墨铸铁：珠光体基体，石墨为片状、点状或球状。 合金铸铁：含Cr、Ni、Mo、V、Cu等合金元素。	•热强度和耐磨性较高而线膨胀系数较小。 •密度较大。	
铸钢		•机械强度高，耐热性、耐蚀性及耐磨性均优于铝合金和铸铁。 •密度大、成本高，对缸套的磨损严重。	
陶瓷	•采用陶瓷镶块：钛酸铝、氧化锆和氮化硅等； •采用陶瓷涂层：常用材料为氧化锆。	•质量轻、耐磨、绝热性好、高温强度高。	

*典型活塞的毛坯制造工艺

- **金属型铸造加工**：简单，成本较低，易产生缺陷。
- **锻造活塞**：力学性能高，生产成本低。
- **挤压铸造（液态模锻）**：介于两者之间。

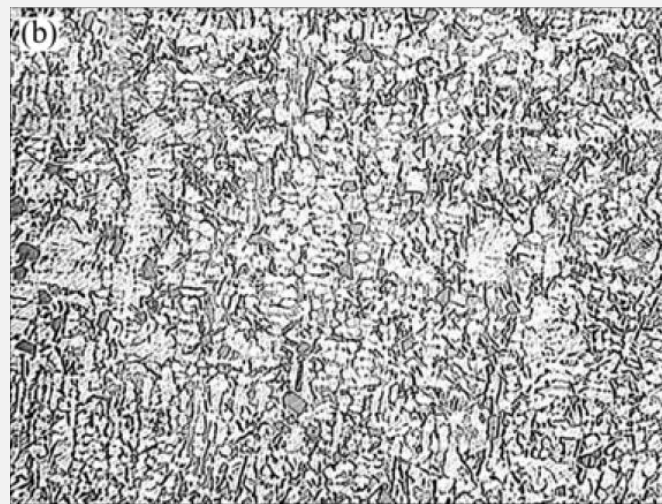
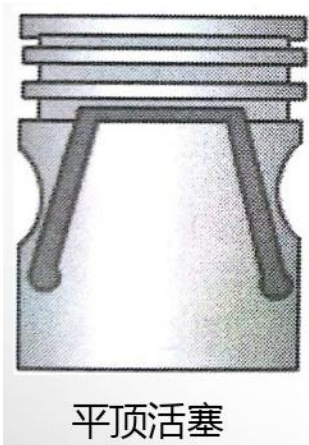


图1 金属型铸造(a)和挤压铸造(b)活塞显微组织

2、活塞加工技术要求 (Demands)

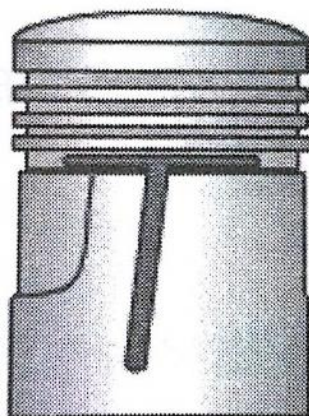
(1) 活塞各部位要求

① 活塞顶部



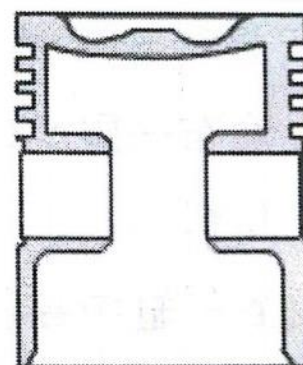
平顶活塞

平顶活塞顶部为一个平面，结构简单，制造容易，受热面积小，一般应用在汽油机上。



凸顶活塞

凸顶活塞顶部强度高，起导向作用，有利于改善换气过程。



凹顶活塞

凹顶活塞可以通过改变活塞顶上凹坑的尺寸来调节发动机的压缩比，多用于柴油机。



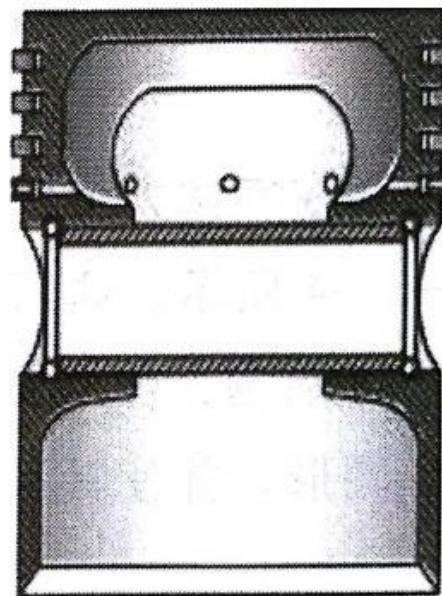
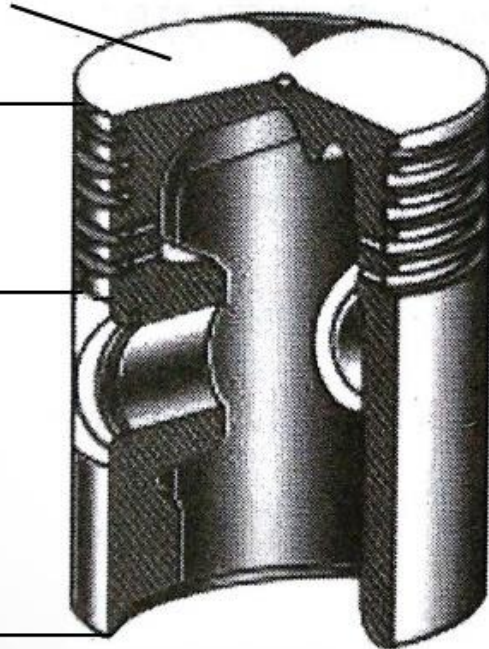
考虑进排气阀的布置情况，顶部还加工出避阀坑：为气门提供足够空间，使进排气顺畅，同时节省空间。

活塞顶厚度 δ 要根据强度、刚度和散热条件来确定：
 δ 值越大，顶部热应力也越大，因此在满足强度要求的前提下，尽量使 δ 取得小些。

② 活塞头部

活塞顶部

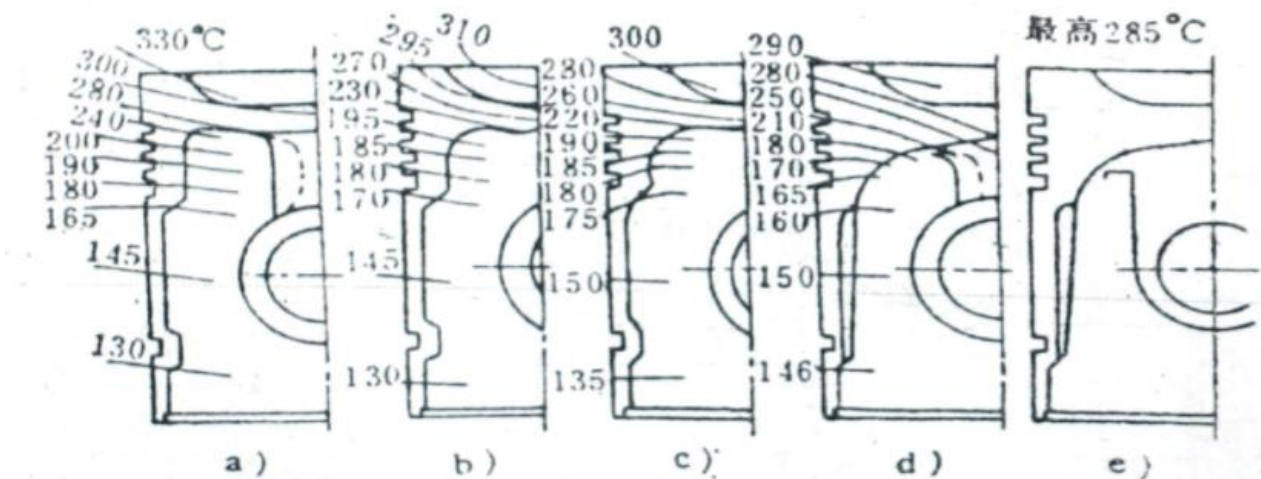
活塞头部
活塞裙部



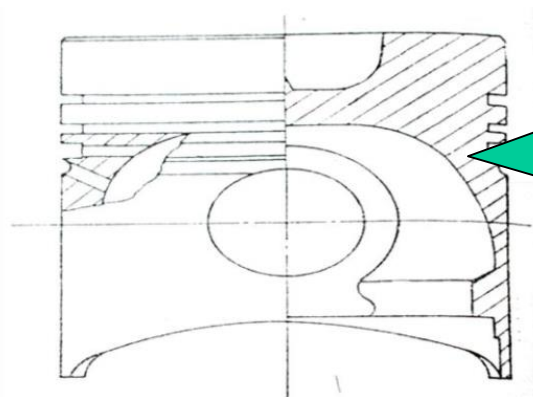
活塞头部是活塞环槽及其上部分。

主要作用：

- 承受气体压力，并传递给连杆；
- 环槽部安装活塞环，与活塞环一起实现气缸的密封；
- 将活塞顶部所吸收的热量通过活塞环传递给汽缸壁。



铝活塞头部截面形状对温度分布的影响



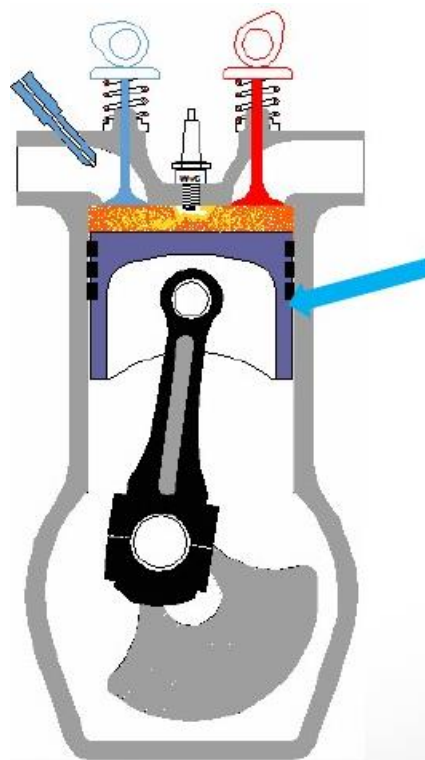
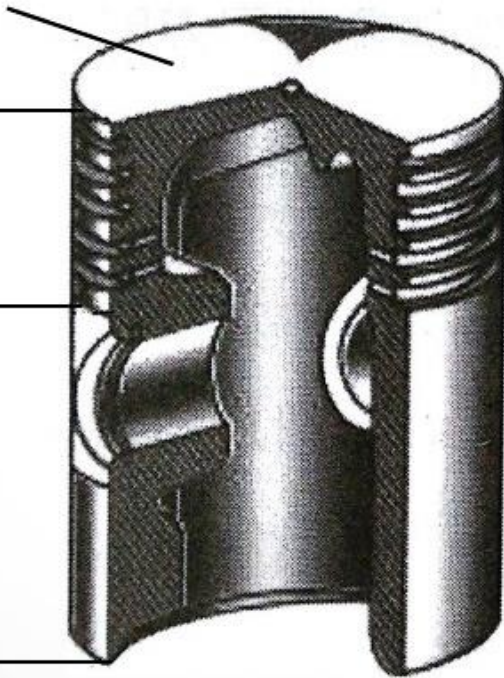
“热流型” 活塞

增加从顶部到裙部的传热截面，将头部热流迅速传出，使活塞头部温度降低。温度降低同时有利于消除应力集中，可提高活塞的承载能力。

③ 活塞裙部

活塞顶部

活塞头部
活塞裙部



有良好的导向

活塞裙部是指从油环下端面到活塞底面的部分。

主要作用：

- 为活塞在缸内做往复运动导向和承受侧压力。

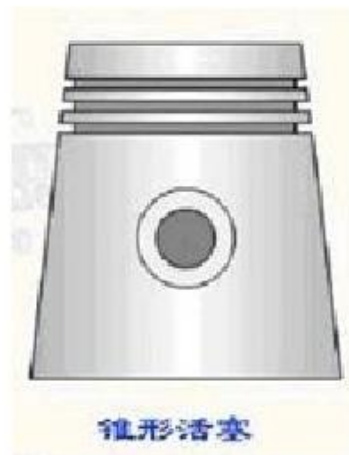
为使活塞在各种工况下均能与汽缸壁间保持均匀的间隙，活塞通常采用下列结构措施：

(1) 椭圆形活塞

- 如果活塞冷态时裙部为椭圆形，由于热胀冷缩作用，工作时活塞厚端膨胀较多，薄端较少，就会由椭圆变成圆，使活塞与气缸之间圆周间隙相等，发动机可正常工作。
- 椭圆的长轴方向与销座垂直，短轴方向沿销座方向。活塞工作时趋近正圆。



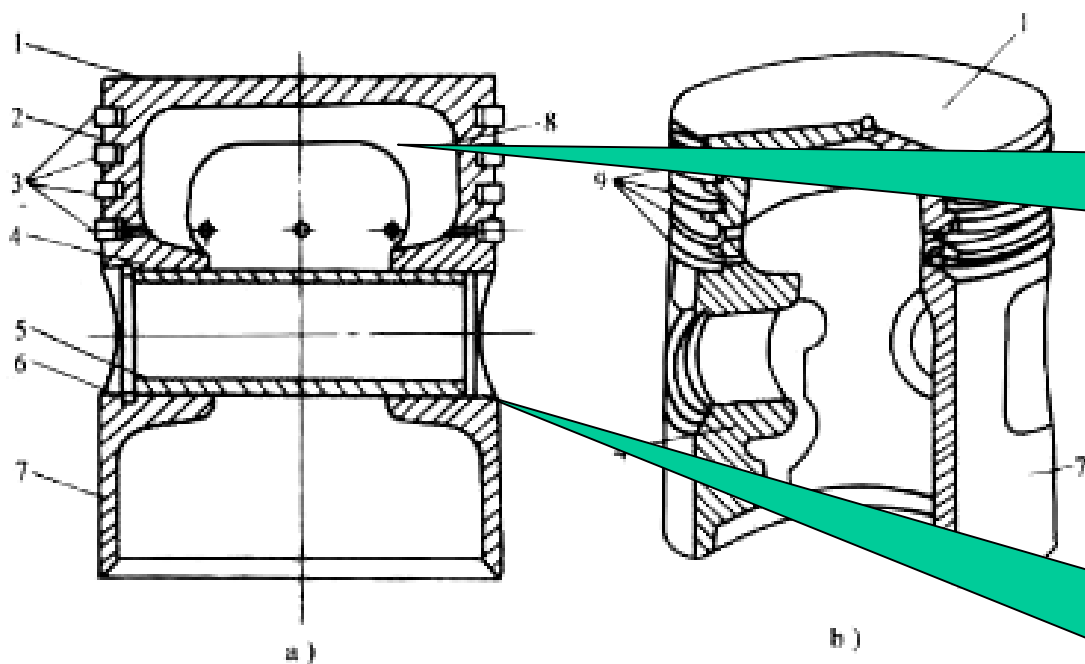
(2) 锥形、阶梯型活塞



- 活塞沿高度方向的温度很不均匀，活塞的温度是上不高、下部低，膨胀量也是相应上部大、下部小。因此做成上小下大形状使活塞工作时上下直径趋于相等。

④ 活塞销座

- 将活塞顶部气体作用力经活塞销传给连杆。



活塞结构剖视图

a) 全剖

b) 部分剖

1- 活塞顶 2- 活塞头 3- 活塞环 4- 活塞销座 5- 活塞销
6- 活塞销销环 7- 活塞裙 8- 加强筋 9- 环槽

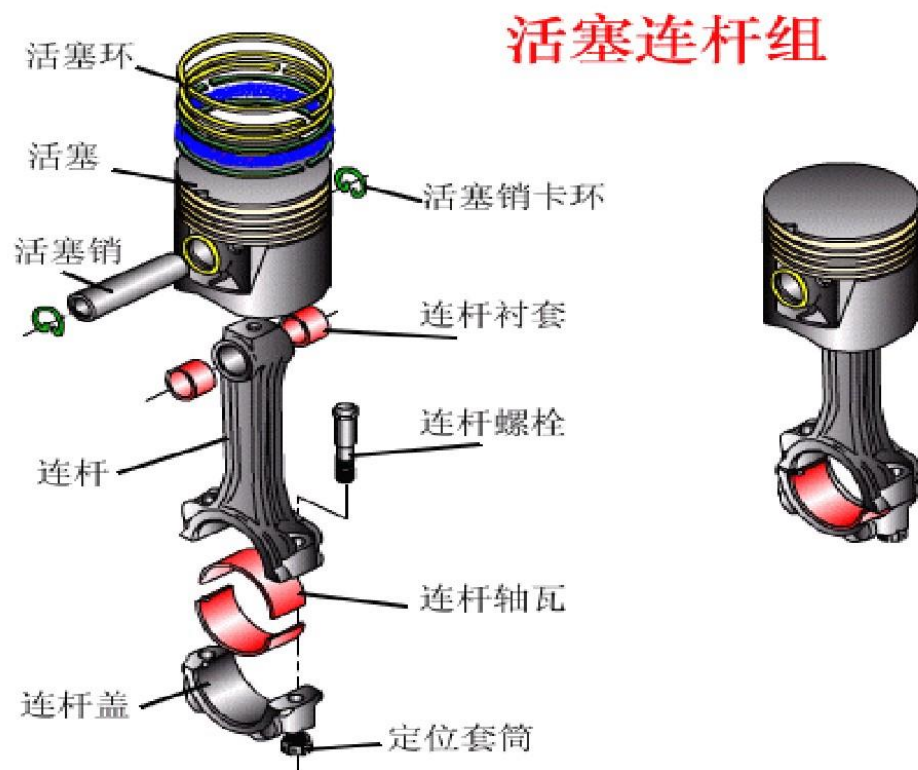
为减少受力变形，在顶部与销座之间要设置加强筋。

为提高销座的承载能力，在销孔中常压入锻铝或青铜衬套。

活塞销连接分类：

- **全浮式**：在发动机正常工作温度下，活塞销在连杆小头孔和活塞销座孔中都能转动。
- **半浮式**：销与销座孔和连杆小头两处，一处固定，一处浮动（一般固定连杆小头）。销与小头过盈配合，省去连杆衬套。

活塞销的磨损均匀。
注意：间隙要合适，既不能引起额外冲击，也不能防止润滑。



⑤ 活塞环与环槽间的间隙

环槽部分切有若干道用以安装活塞环的槽



- 顶部的环槽装有气环，一般为2~3道；下面的环槽装有油环1~2道。
- 第一道环槽工作条件最恶劣。
- 在油环槽底面上钻有许多径向小孔，使被油环从气缸壁上刮下的机油经过这些小孔流回油壳底。

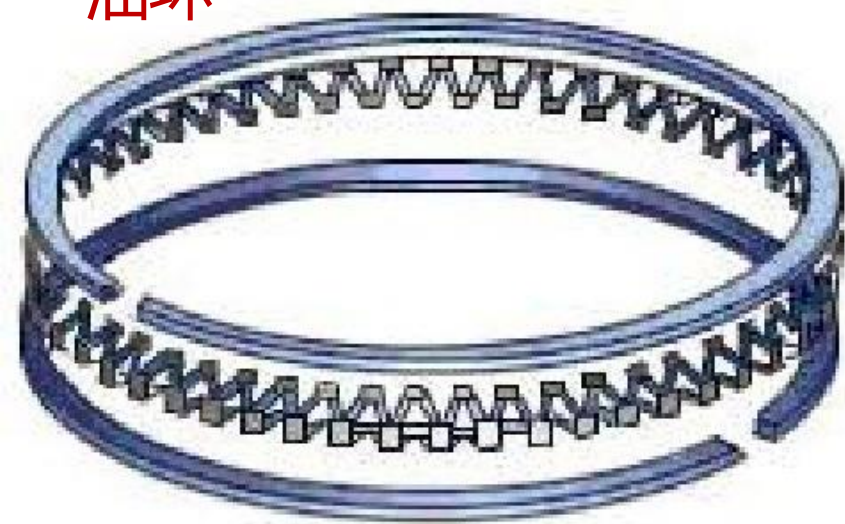
气环作用：

- 密封：防止气缸内的气体窜入油底壳
- 传热：将活塞头部的热量传给气缸壁
- 辅助刮油、布油

油环作用：

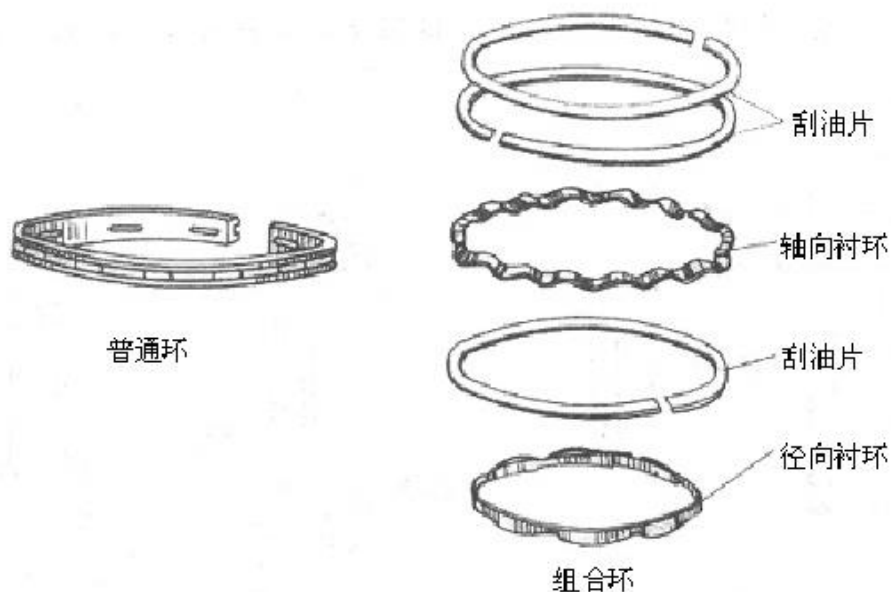
- 刮油：将气缸壁上多余的润滑油刮下来

油环



整体式：

外圆上切有环形槽，槽底开有回油用的小孔或窄槽。



组合式：

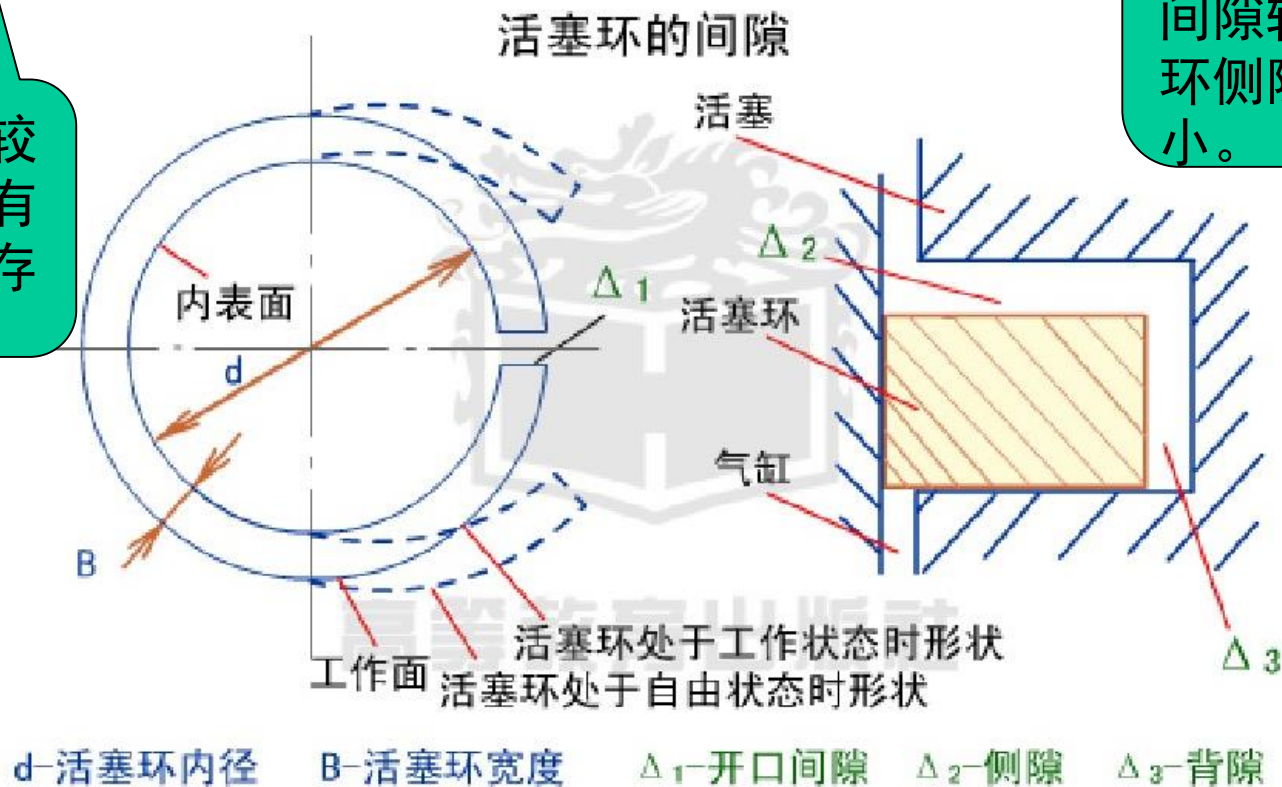
由上下刮油片和产生径向、轴向弹力的衬簧组成。

活塞环的间隙

- 开口间隙（活塞装入气缸后开口处的间隙）
- 侧隙（环高方向与环槽之间的间隙）
- 背隙（活塞环背与环槽底部的间隙）

油环背隙较气环大，有利于增大存油间隙。

第一道环因为工作温度高，间隙较大。油环侧隙比气环小。

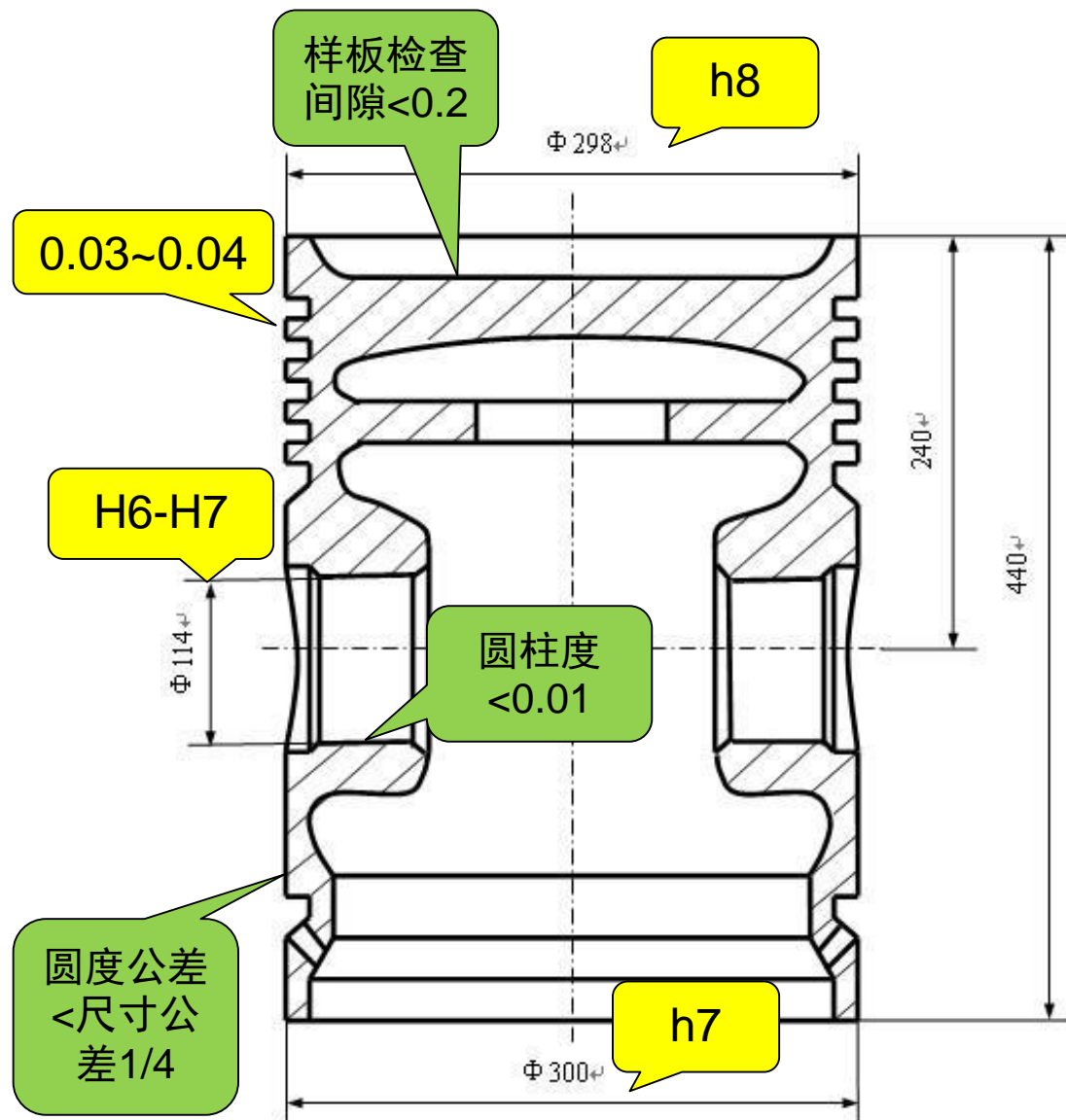


(2) 尺寸精度要求

- 活塞头部；
- 裙部外圆；
- 活塞销孔；
- 环槽高度。

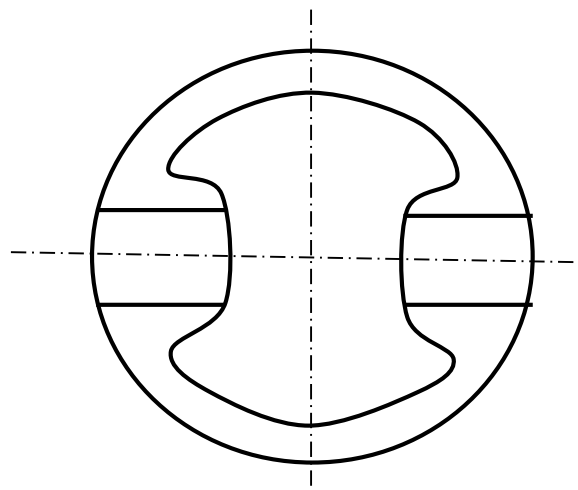
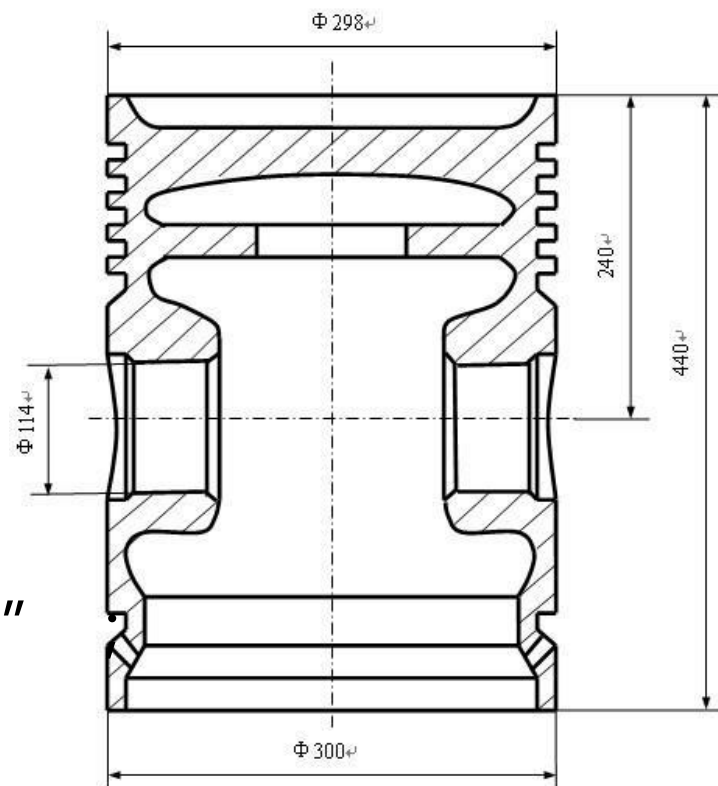
(3) 形状精度要求

裙部的圆度；
销孔的圆度及圆柱度；
活塞顶部成形表面。



(4) 位置精度要求

- 销孔轴线与活塞轴线 “ \perp ” ；
- 销孔轴线与活塞轴线相交；
- 环槽平面与活塞外圆轴线 “ \perp ” ；
- 头端面与活塞轴线 “ \perp ” ；
- (组合) 裙部端面与外圆和内孔 “ \perp ”
- (组合) 头外圆对裙外圆 “ \odot ” ；
- 减磨环外圆与裙部外圆 “ \odot ” ；
- 活塞销孔轴线 “ \odot ” 。



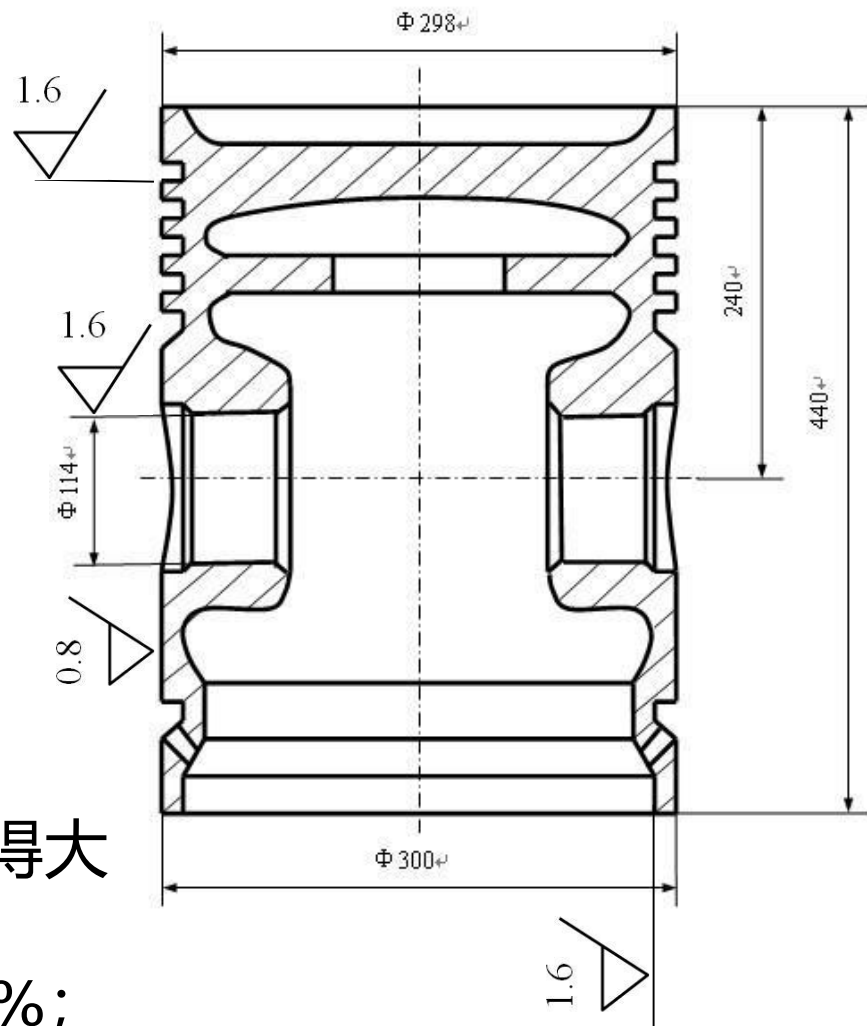
Weight: $\pm 1.5\%$

(5) 表面粗糙度要求

- 活塞裙部外圆;
- 活塞销孔;
- 活塞环槽;
- (组合)活塞配合定位面。

(5) 重量要求

- 高速柴油机活塞重量误差不得大于 $\pm 1.5\%$;
- 中速柴油机活塞不得大于 $\pm 2\%$;
- 低速柴油机活塞不得大于 $\pm 2.5\%$ 。



二、筒形整体活塞机械加工

Machining process of trunk piston

1、定位基面的选择

Selection of positioning references

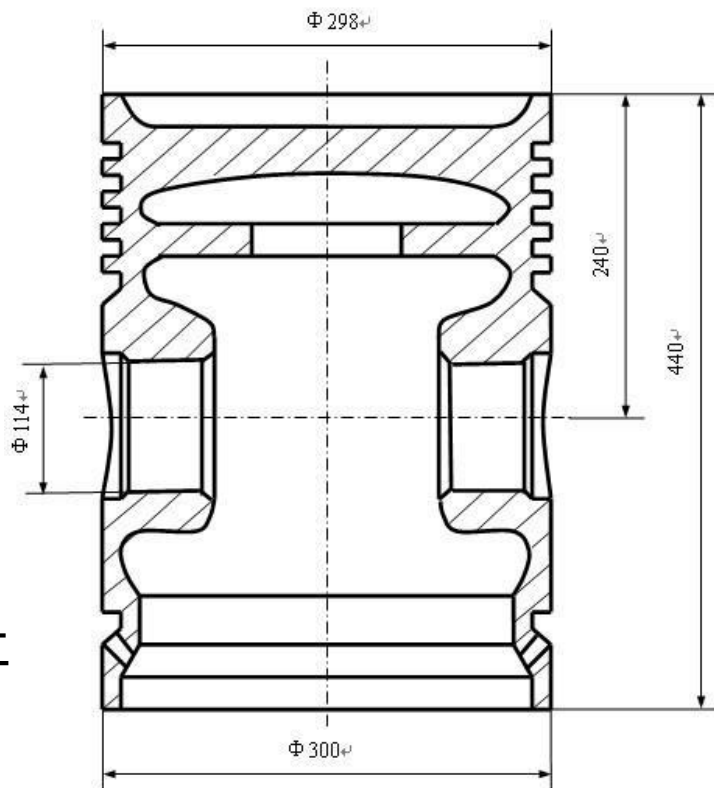
定位基面: {
 下端面和止口
 止口处锥面和顶针孔
 销孔
 活塞顶面

问题: 工程上加工活塞时普遍采用下端面和止口作为定位基准, 请解释原因和优缺点?

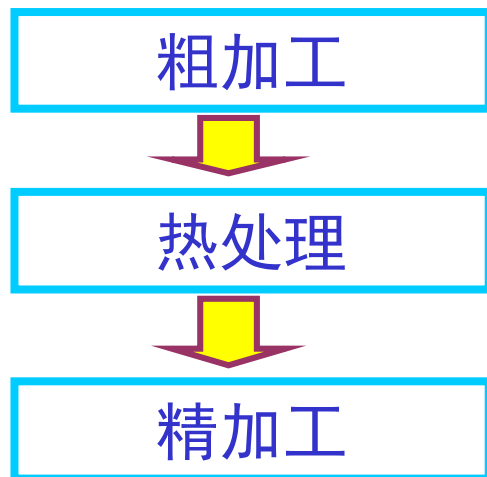
提示: 基准统一。

优点: 一次装夹可加工群部、头部、顶部、环槽和销孔等主要表面, 精度高, 并显著提高生产效率; 采用轴向夹紧, 并可进行多刀切削, 减小夹紧过程中的变形; 可以作修理基准。

缺点: 增加一道该基准的加工工序; 加工环槽和销孔时与设计基准不重合, 位置精度受影响。

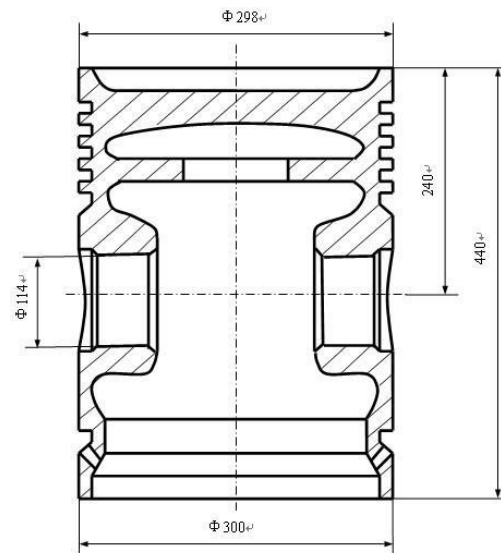


2、活塞加工阶段组成 (The stages of machining)



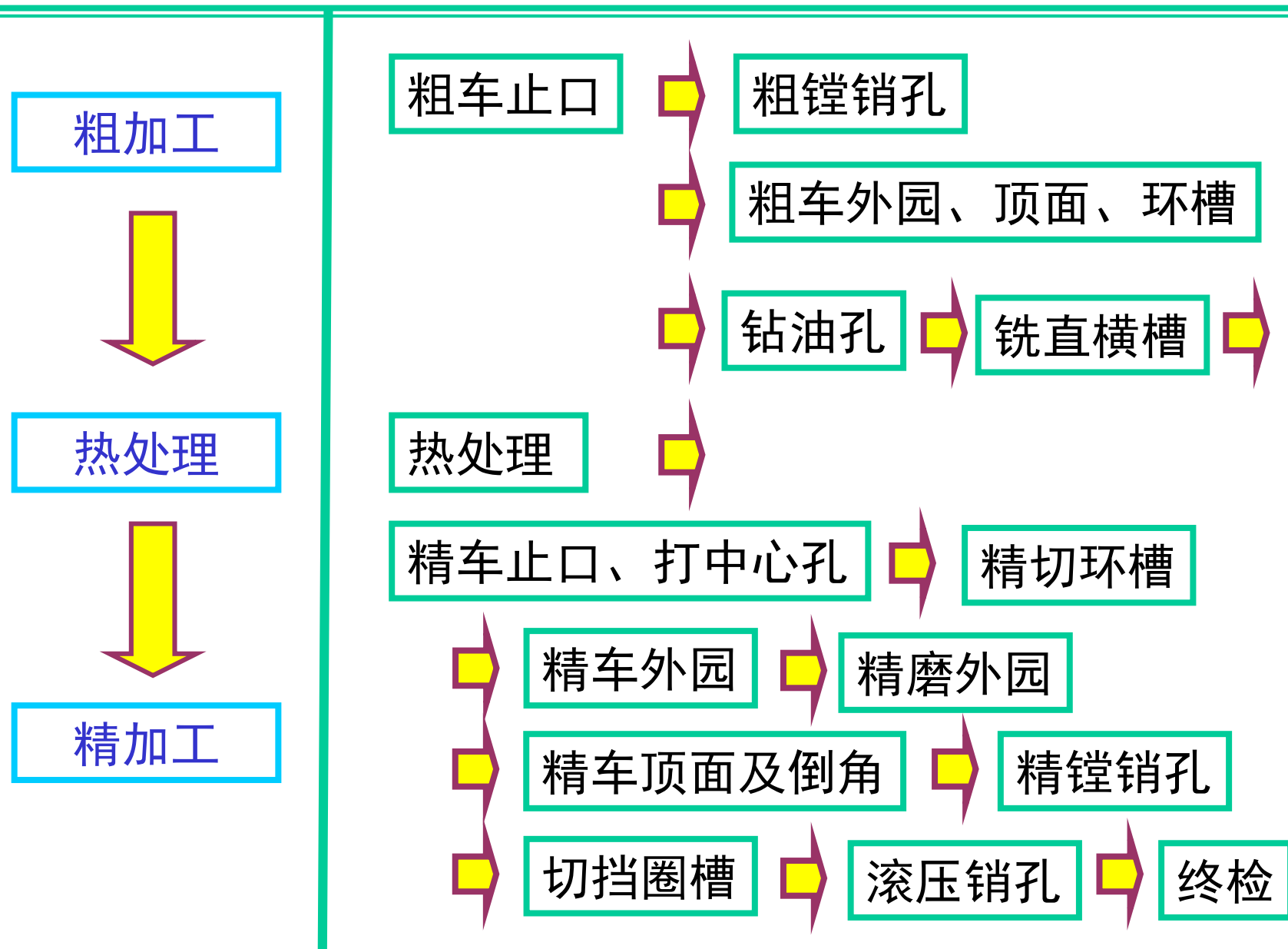
粗车外圆和顶面

精车外圆、环槽，
精镗活塞销孔，
加工顶部和裙部椭圆



注意：具体活塞加工工艺过程的制订，随批量大小、活塞结构类型及要求、毛坯制造方法、各工厂的工艺条件等因素的变化而有所不同。

例如，年产30万只汽车用活塞的工艺

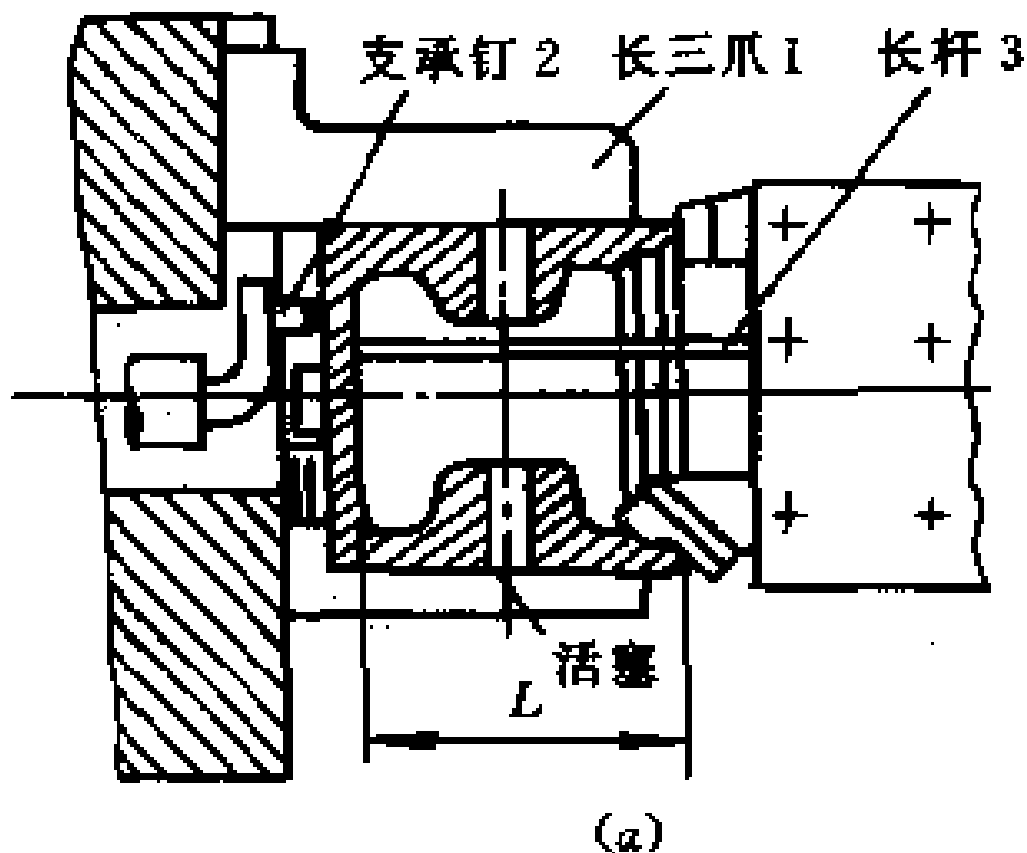


http://www.iqiyi.com/w_19rt6qgkw1.html

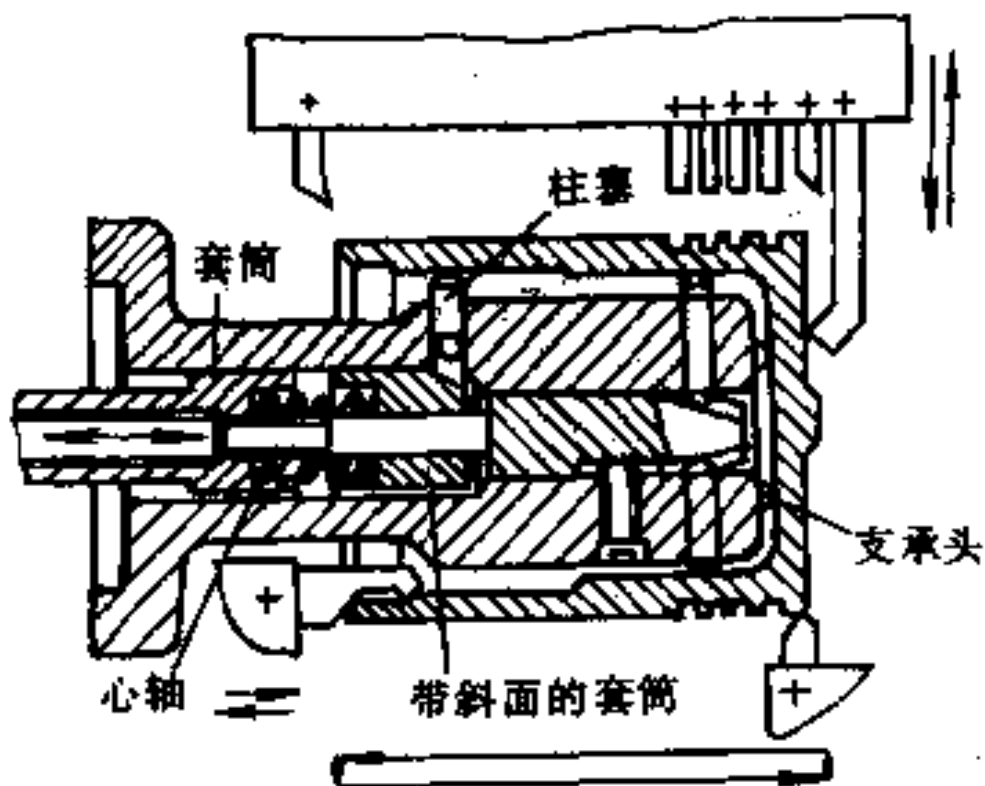
http://www.sohu.com/a/257328791_259945

3、活塞止口的加工

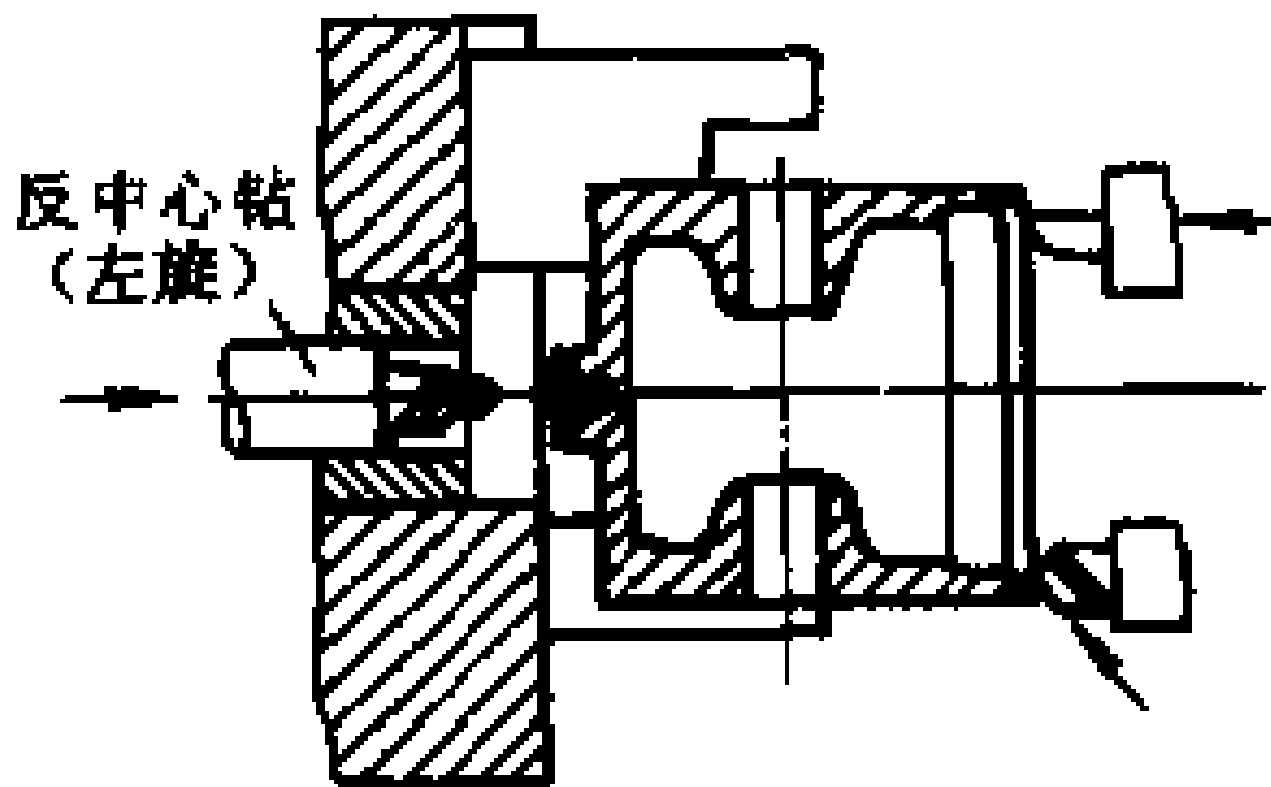
方法之一：长三爪装夹方式（存在壁厚不均匀的问题）



方法之二：内表面定位加工止口（保证活塞有较小的壁厚差，可同时加工外园、顶面、环槽、止口和端面）



精加工之前：精车止口和打中心孔



4、活塞外圆表面的加工

(1) 粗加工

金属硬模浇铸：内表面作为定位基准

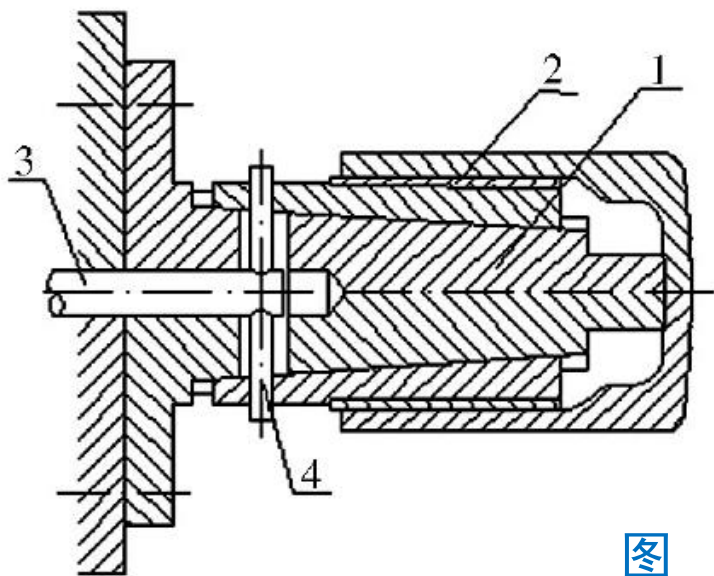


图 粗车活塞外圆表面的撑开式夹具
1—定位器；2—卡爪；3—拉杆；4—销子

中大尺寸活塞：

- 1) 活塞顶部的顶针孔+外圆定位
- 2) 活塞顶部的顶针孔+止口定位

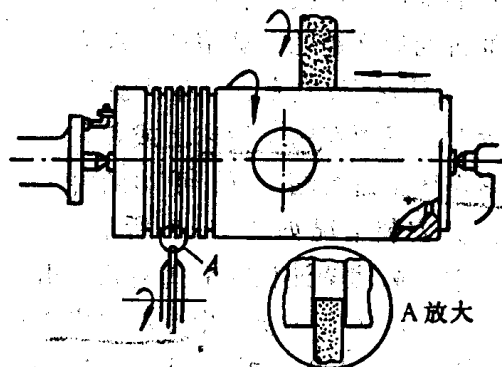
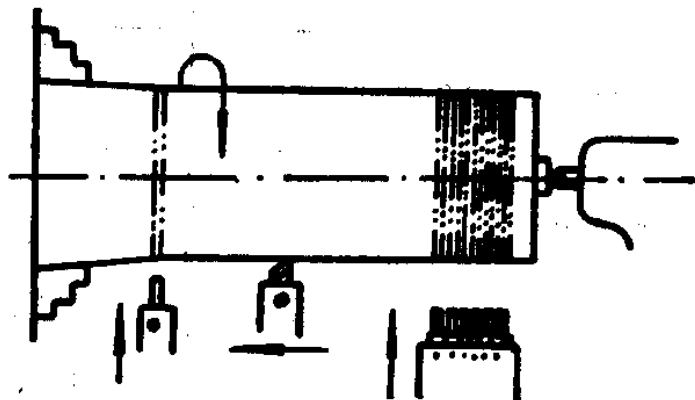


图10-6 磨活塞外圆

图 粗车活塞外圆

小型活塞：可用活塞外圆表面定位，在两次安装中粗车外圆



河北美顺环保设备有限公司

(2) 精加工

定位基准：止口和活塞下端面（或止口倒角和顶针孔）



应对活塞外圆型面日益复杂的情况，活塞头部和裙部一般可以采用立体靠模车、计算机数控（CNC）车削等方式进行加工

(1) 靠模仿形法：

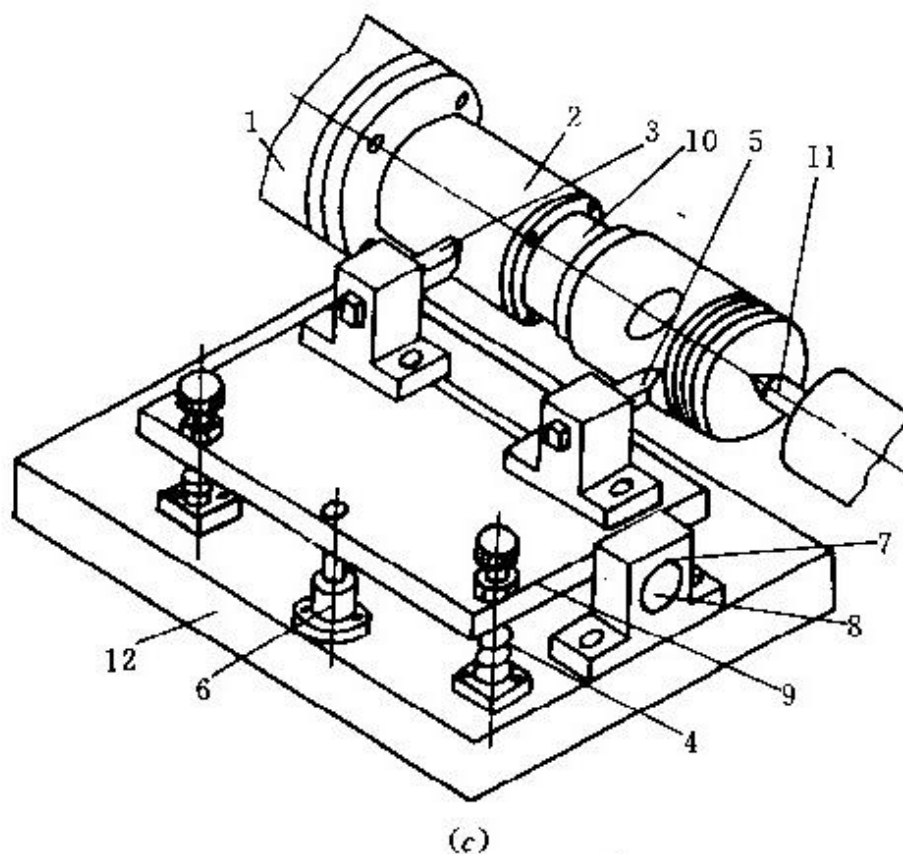


图 仿形机构示意图

(2) 计算机数控 (CNC) 车削:



5、活塞销孔的加工

常用的精镗定位基准

- (1) 以下端面+止口定位+粗镗后的销孔；
- (2) 以头部端面+外圆定位+粗镗后的销孔。

加工阶段：

粗镗→精镗→光整加工。

加工方法：

- 高速机活塞销孔：金刚镗床高速细镗精加工；
- 中低速机活塞销孔：中小批量，精密镗床或精密车床精镗。

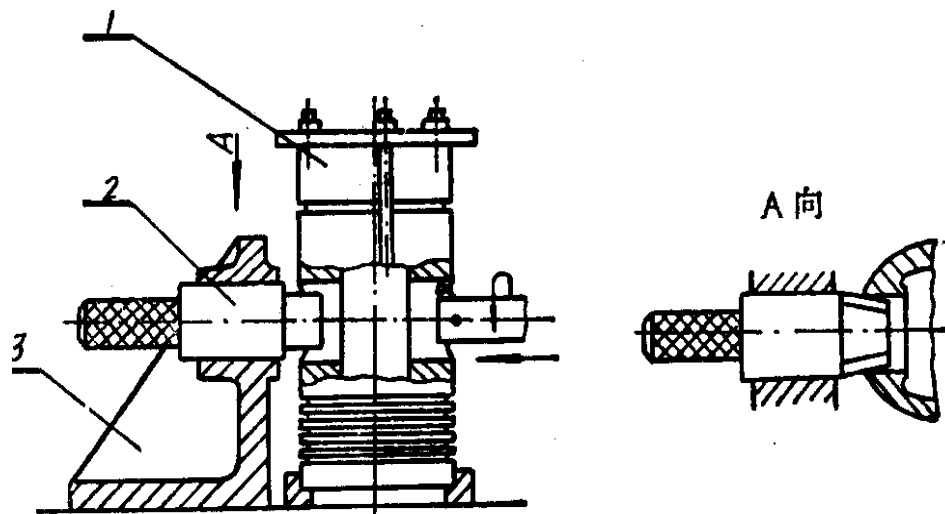
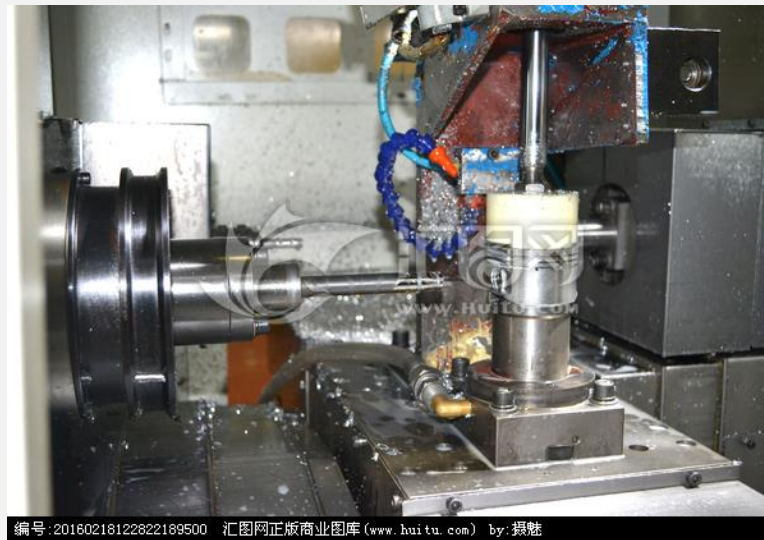


图10-8 在镗床上镗活塞销孔
1-活塞；2-锥形浮动定位销；3-支架

实例：活塞销孔的加工



实例：活塞销孔的卧镗方式

卧镗方式： 用V形铁以活塞裙部和粗镗后的销孔为定位基准。

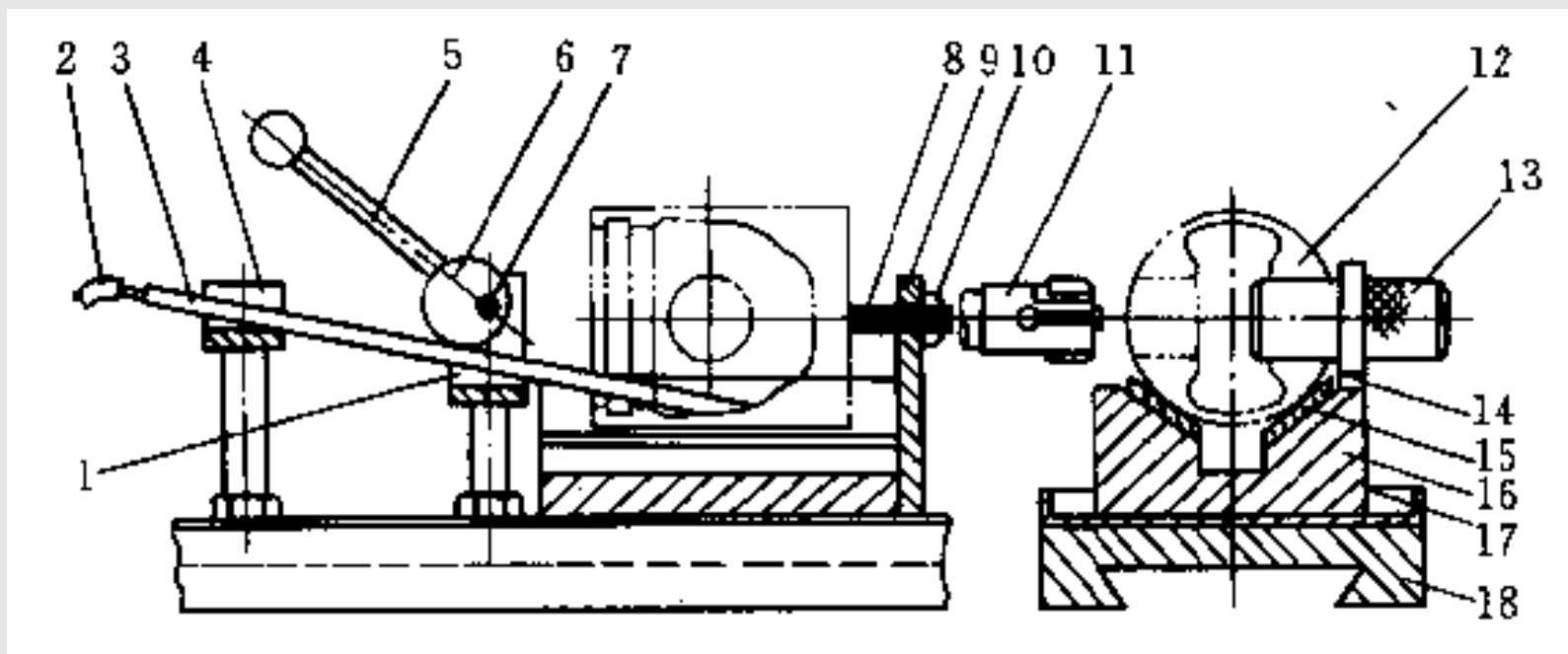
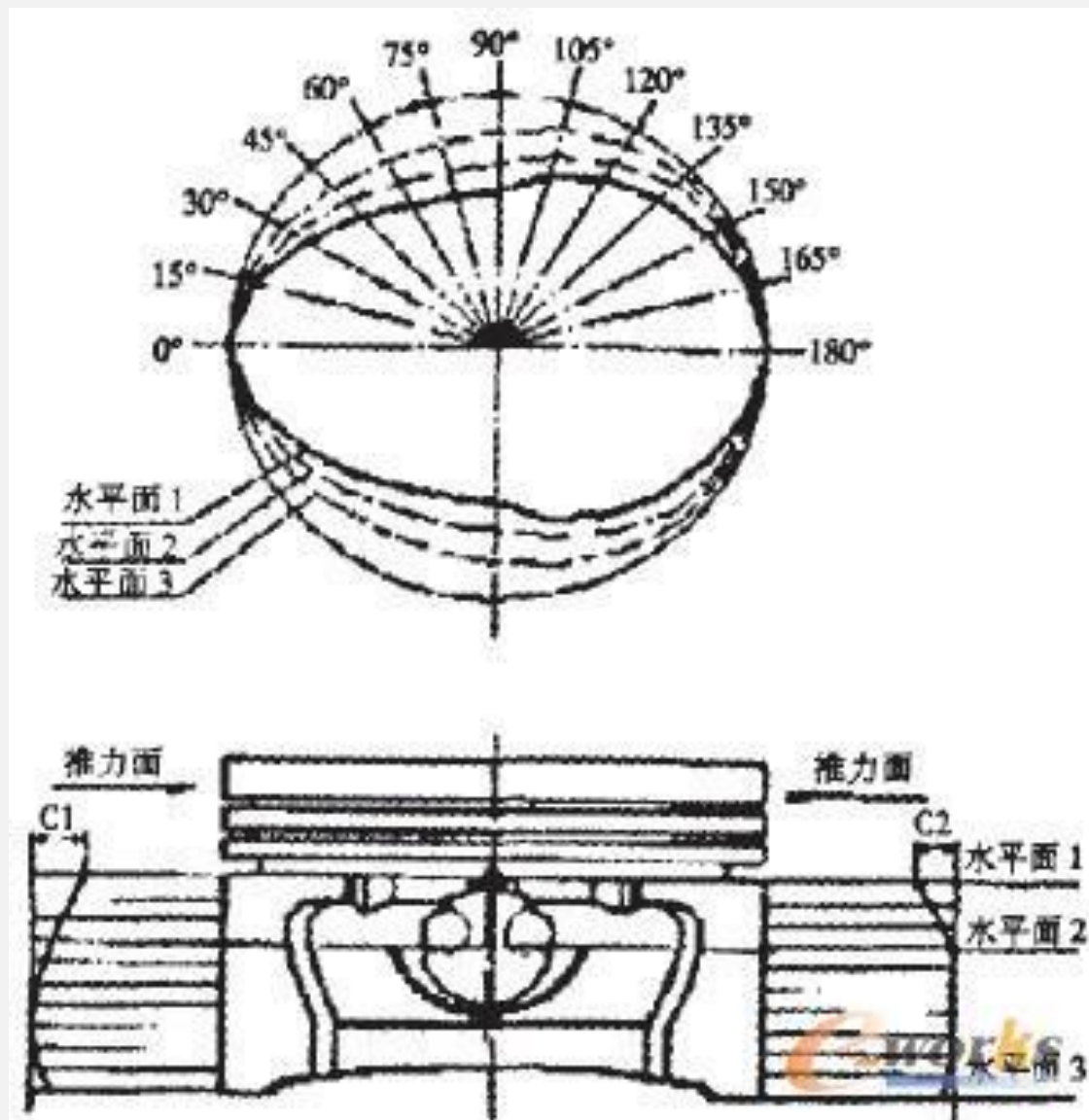


图 卧式镗孔夹具示意图

1—前支架；2—冷却油管；3—压板；4—后支架；5—手柄；6—偏心；
7—销子；8—调整螺钉；9—支撑板；10—螺母；11—镜面镗刀；12—活塞；
13—定位杆；14—调整垫块；15—垫板；16—V型铁；17—油池；18—小拖板。

实例：活塞异形销孔结构



6、活塞燃烧室的加工

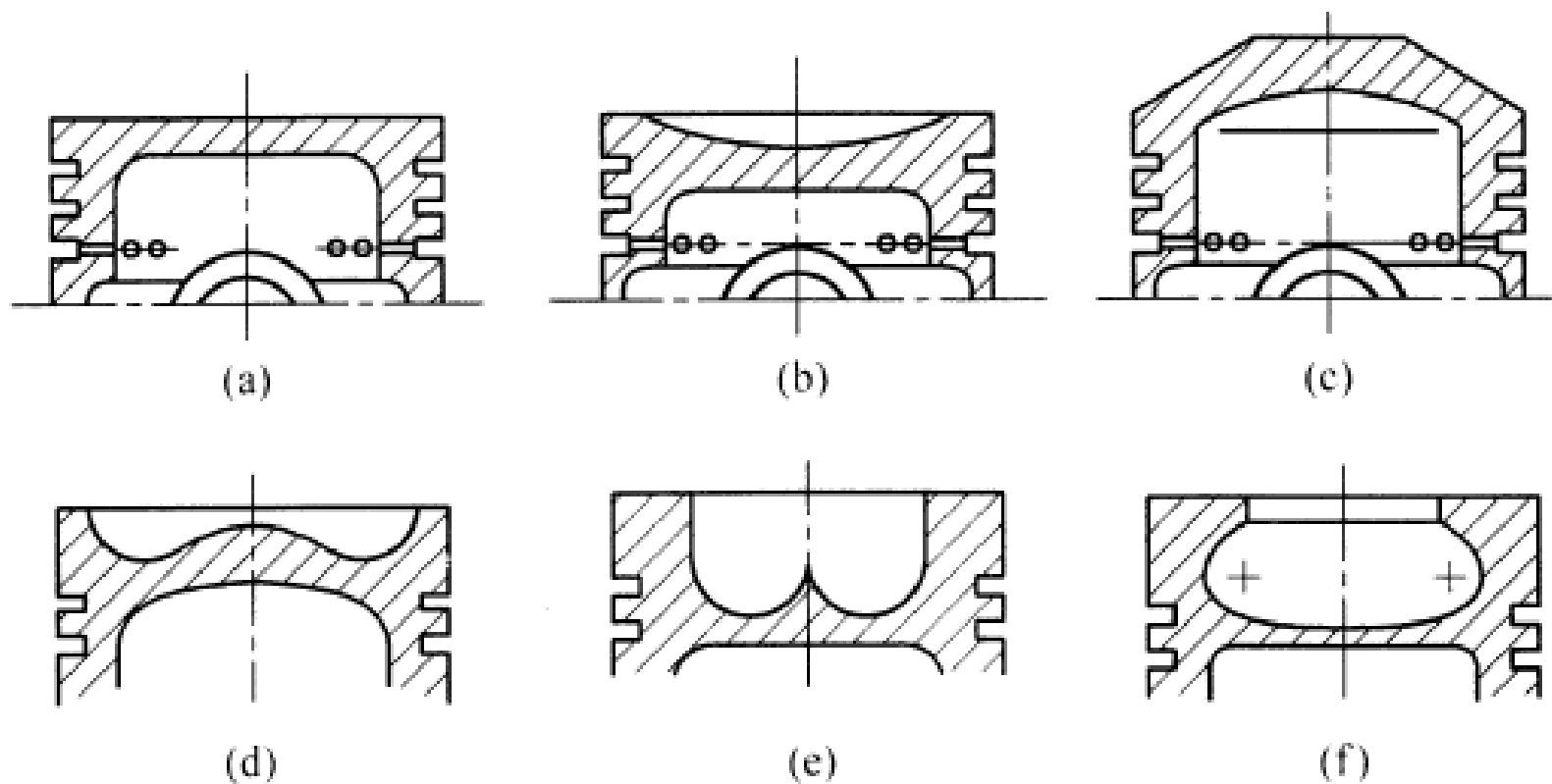


图 2-7 活塞顶部形状示意

(a) 平顶 (b) 凹顶 (c) 凸顶 (d)、(e)、(f) 凹坑



加工方法:

- ①成形车刀加工
- ②靠模加工
- ③数控加工

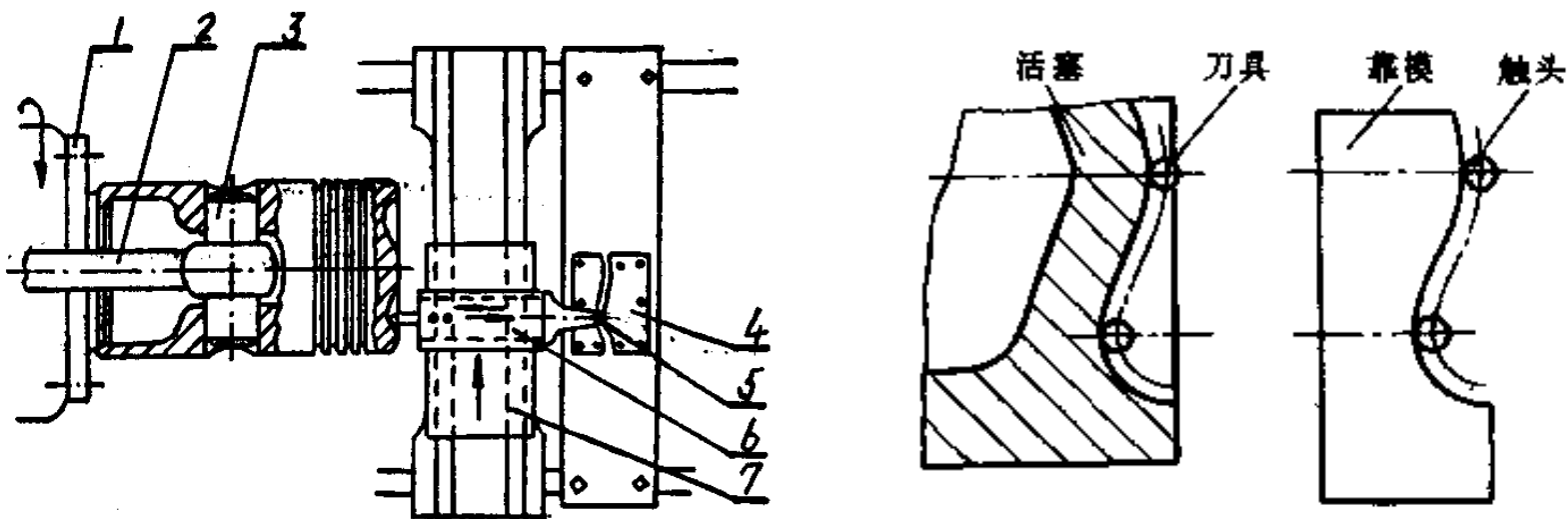
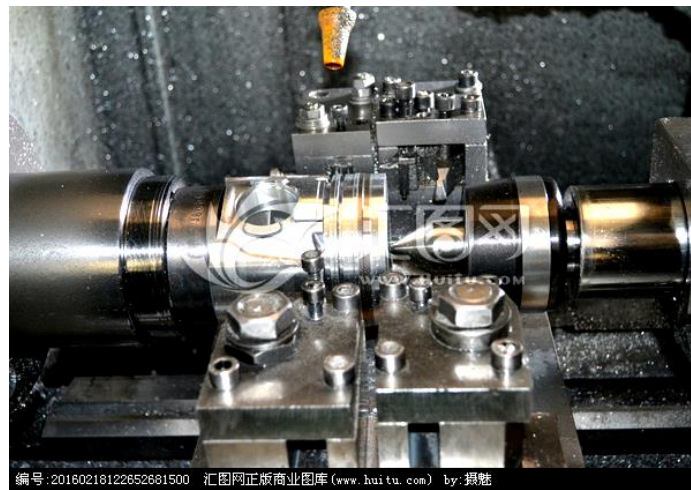


图 活塞燃烧室的车削

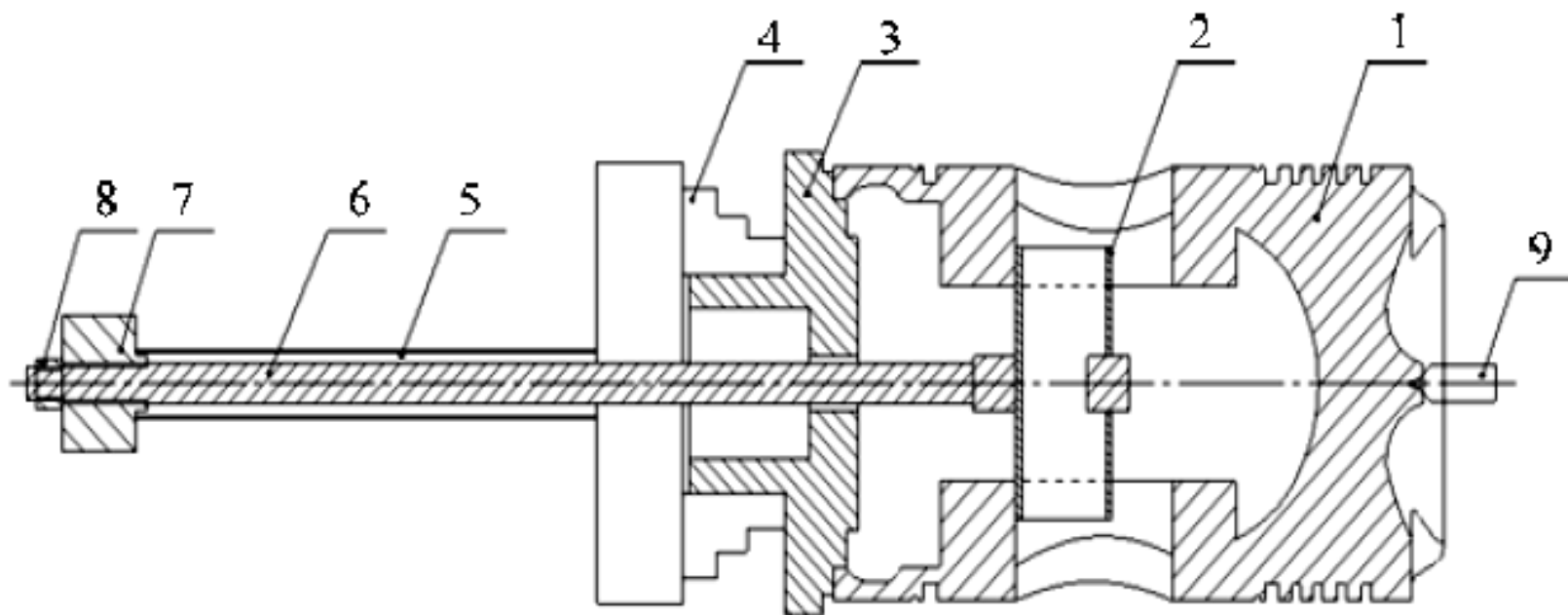
1—定位盘；2—拉杆；3—拉紧销；4—双面靠模
5—触头；6—横向导板；7—纵向导板

7、活塞环槽的加工

- **定位基准：** 止口+活塞下端面（或止口倒角+顶针孔）
- **成组切刀活塞环槽加工：** 环槽宽度决定于切槽刀宽度；槽间距离决定于各切刀间垫片的厚度。
- **活塞环槽刀具的选择：** 合金刀具、金刚石刀具
- **典型活塞环槽加工工艺流程：** 粗加工→半精加工→精加工



定位基准： 止口+活塞下端面（或止口倒角+顶针孔）



1-活塞 2-受力筒 3-止口盘 4-三爪卡盘
5-车床主轴 6-拉杆 7-端盖 8-螺母 9-顶针

图1 活塞环槽加工装夹简图

成组切刀活塞环槽加工：

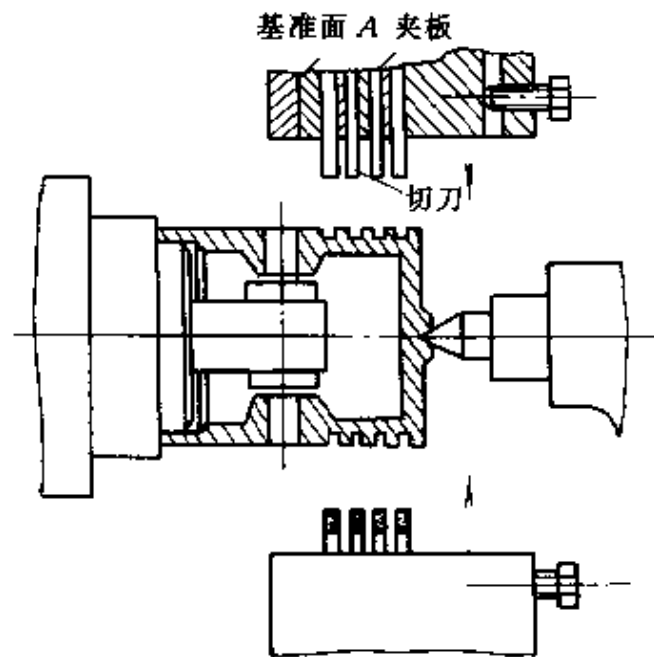
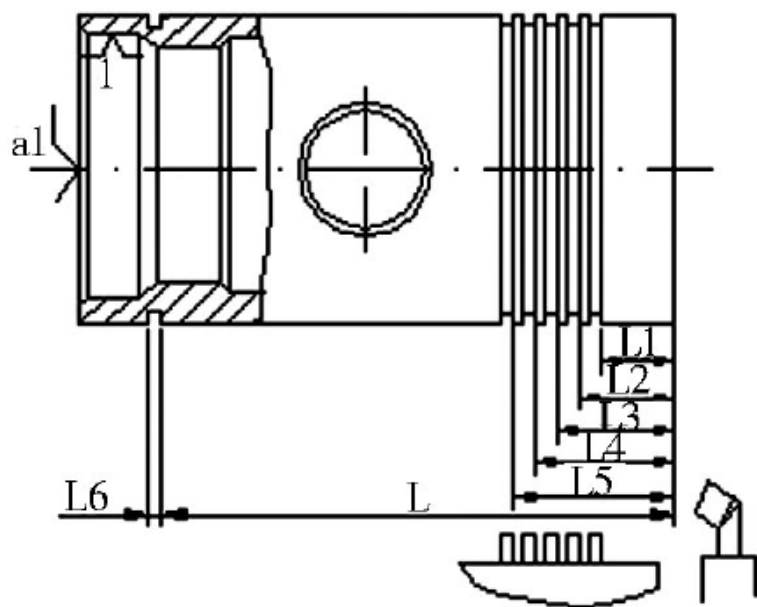
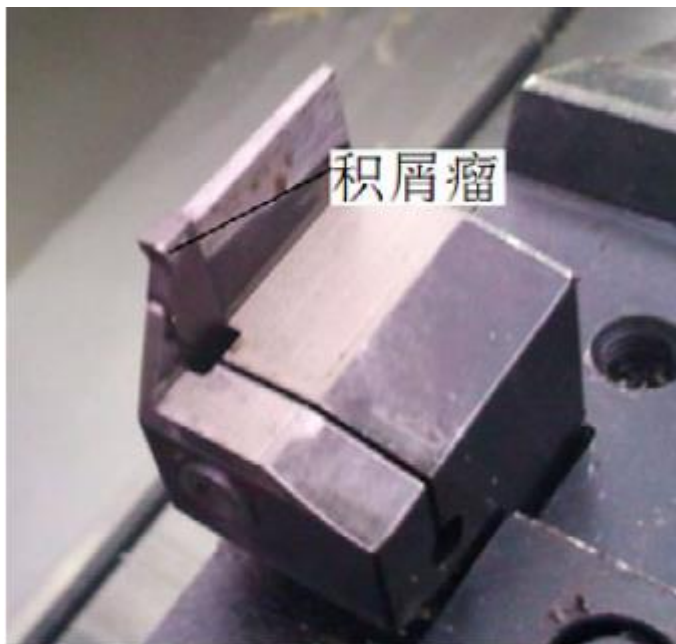


图 成组切刀加工活塞环槽

活塞环槽刀具的选择

环槽精加工过程中，刀具要切出环槽底部以及侧面预留余量，切削层的金属会受到摩擦挤压，使得刀尖切削层受力变形，切削力较大。



合金刀具



金刚石刀具

要注意刀具角度设计，减少磨损率；加强刀具表面的镜面程度，确保精加工中切屑的顺利排出，减少切屑瘤形成。

典型活塞环槽加工工艺过程：

表1 活塞环槽加工工艺过程

序号	工序名称	加工设备	刀具选择	定位与夹紧
1	粗车环槽	普通车床	合金钢刀具	——
2	半精车环槽	数控车床	金刚石数控刀具 (精车刀具磨损后降级使用)	图2夹具 (一次装夹)
3	精车环槽		金刚石数控刀具	

实例：某船用柴油机铝合金活塞环槽的精加工工艺参数

- 主轴转速400 r/min；进给量0.12 mm/r；背吃刀量0.1 mm。
- 加工后：公差满足要求，粗糙度Ra0.7。

表1为300型筒型柴油机活塞在大批量生产时的加工工艺过程，材料为合金铸铁，毛坯用合金硬模浇铸。

工序号	工序主要内容	定位基准	机床、工夹具
1	切断冒口	外圆，底端面	立车
2	粗车外圆及车顶端面	内孔，底端面	多刀半自动车床
3	粗车燃烧室，车工艺搭子平面，打工艺孔	底端面外圆	多刀半自动车床 中心钻
4	车隔板平面、止口及倒角、内孔，粗车底端面	顶端面，外圆	多刀半自动车床
5	粗车销孔，刮销座开档平面	底面、止口、销孔轴	专用卧式镗床 专用镗活塞销孔夹具
6	热处理；退火，硬度为HB180~220		

7	半精车外圆，精车顶端面，粗切环槽	底面、止口、顶针孔	多刀半自动车床
8	半精和精切环槽	止口锥面、顶针孔	多刀半自动车床
9	精车外圆，车环槽倒角及顶部边缘圆弧	同上	多刀半自动车床
10	车顶部圆锥面	同上	C630车床
11	精车销孔，刮销座开档平面	底面、止口、销孔轴	专用卧式镗床 镗销孔夹具

12	钻环槽直油孔及斜油孔，钻销孔处定位孔	底面、外圆、销孔轴	专用多轴钻床
13	钻顶面螺孔及刮螺孔端面，钻隔板螺孔，钻销孔处斜油孔	顶面、隔板底面、内孔、隔板孔	Z35摇臂钻床
14	铣顶部四个缺口	底面、外圆、销孔轴	专用四轴铣床
15	车偏心圆弧	止口锥面、销孔、顶针孔	C630车床 车偏心夹具
16	精磨锥度	止口锥面、顶针孔	MQ1350A外圆磨床

17	精磨外圆至尺寸	止口锥面、顶针孔	MQ1350A外圆磨床
18	车去工艺搭子，精车燃烧室	底面、止口	C630车床 靠模
19	修整圆弧，去毛刺		
20	调整重量	顶面、外圆	立车
21	检验		

三 活塞加工质量的检验

检查项目

(1) 外径、裙部轮廓与椭圆度（千分尺/表测量、万能测长仪、中凸曲线测量仪）；

(2) 环槽底径与宽度（极限塞规、环槽测量仪、斜槽或梯形槽滚针测量）；

(3) 顶岸高度；

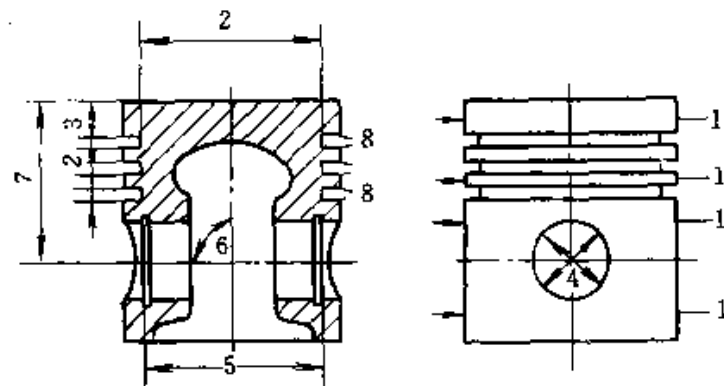
(4) 销孔直径；

(5) 挡圈槽间距；

(6) 销孔轴线对裙部轴线的垂直度；

(7) 压缩高；

(8) 环岸边缘是否损坏。



其他检查项目有：(1)燃烧室与气门坑的位置及其深度；(2)重量等。

与活塞销孔有关的检验项目

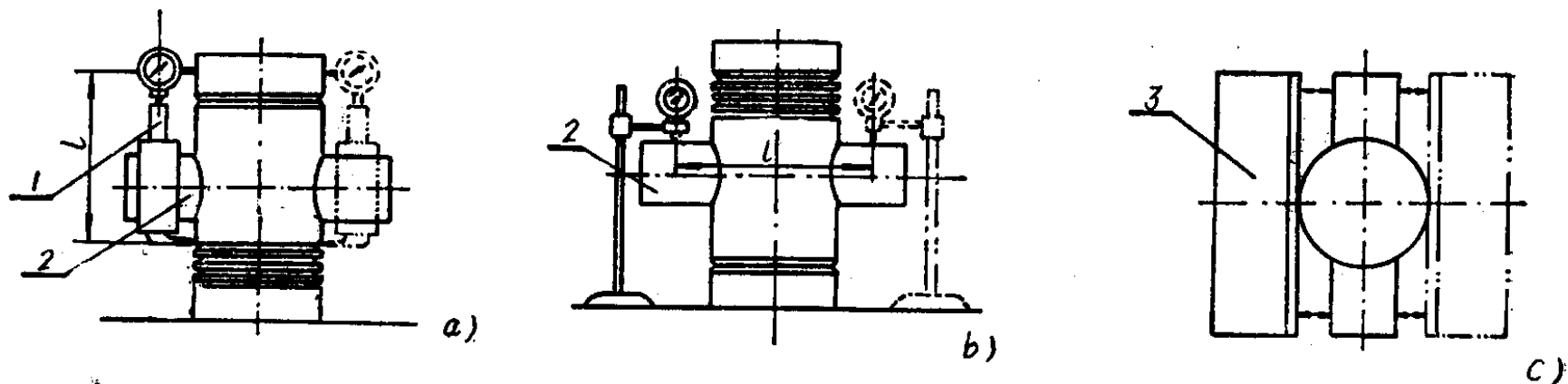
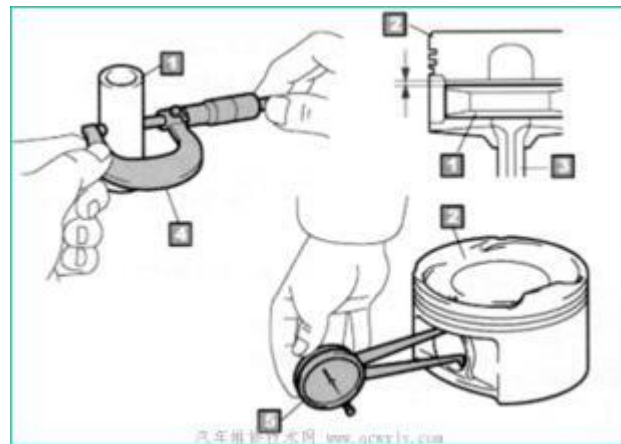


图10-9 活塞各表面相互位置的检验
1-定位器；2-检验样轴；3-检验角铁



活塞销孔垂直度检具



与活塞外圆有关的检验项目

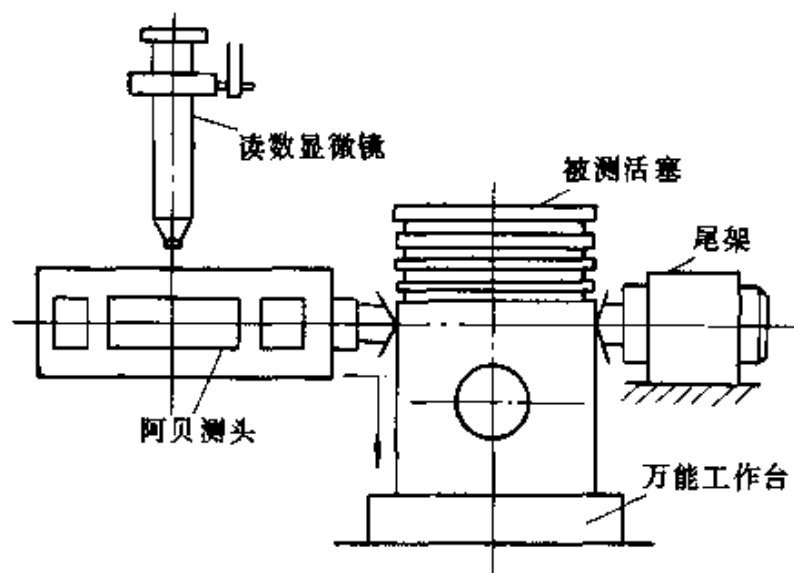


图 万能测长仪示意图

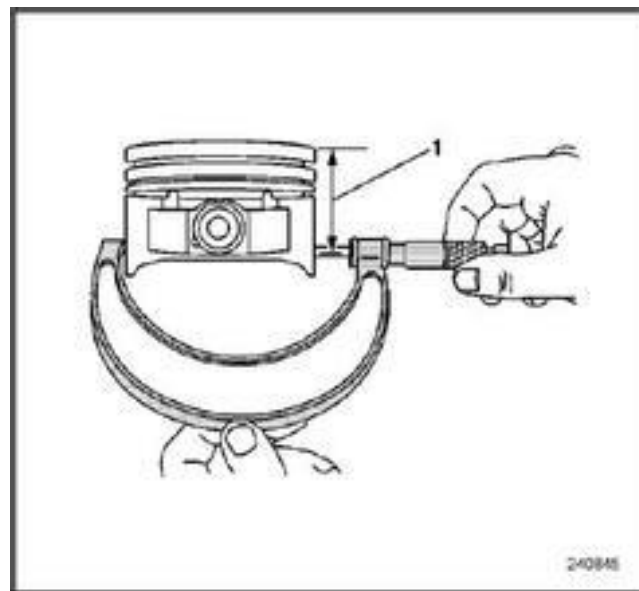


图 2-5 测量活塞外径

与活塞外圆与活塞销孔位置的检验项目

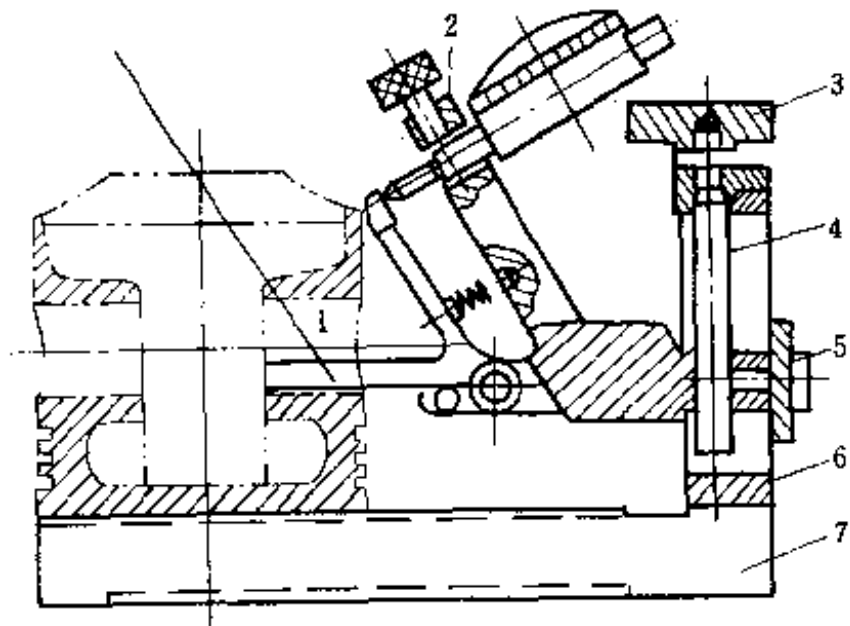


图 活塞压缩高检具

1—测杆；2—固表体；3—手柄；4—丝杆；5—螺钉；6—调节架；7—底座

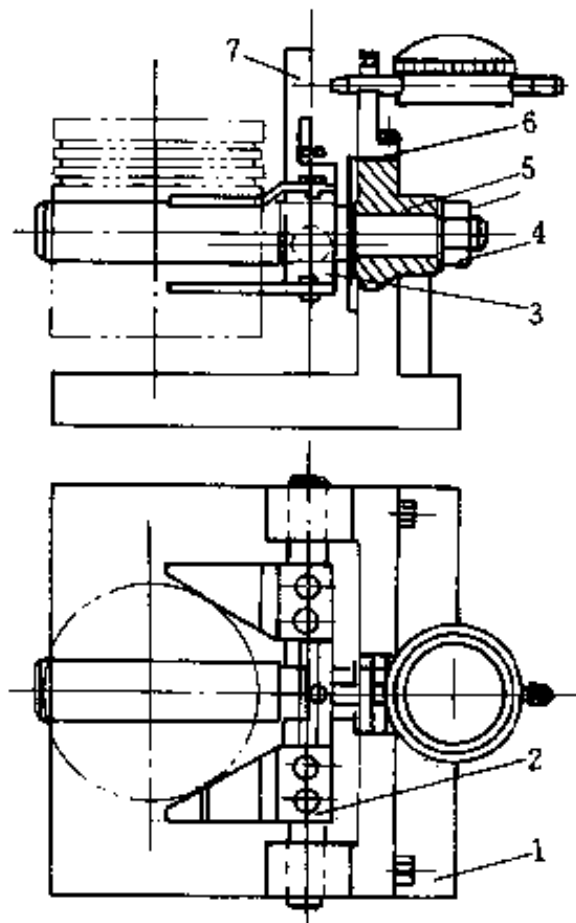
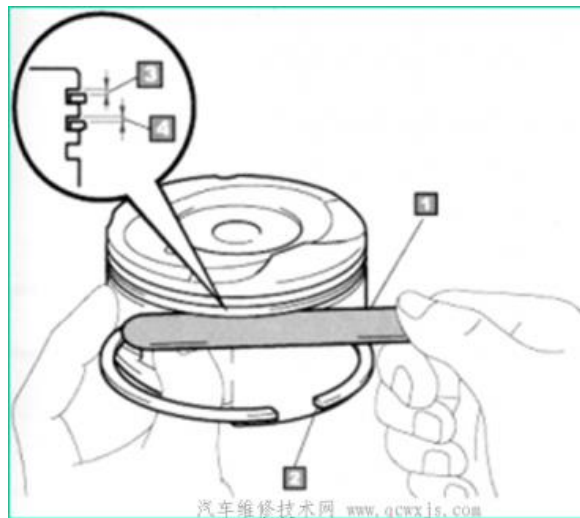


图 销孔轴线对裙部轴线垂直度检具

1—底座；2—测爪；3—转动体；4—螺母；5—销轴；6—固表体；7—测量块

活塞环槽的检验项目



活塞环槽综合量仪(旁向式电感测头)

Thank you!

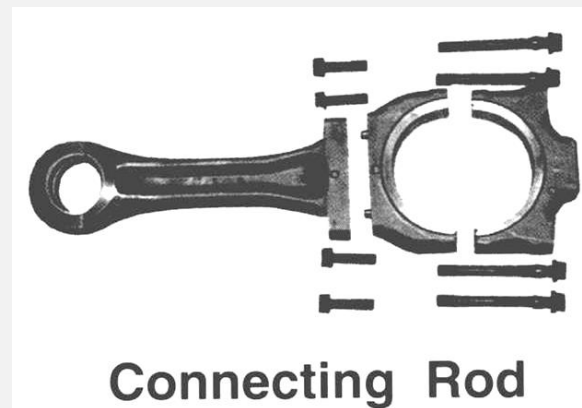
进入下一章节

第四章 典型船机零件的制造工艺

Chapter 4 Manufacture processes of typical work pieces

内容提要:

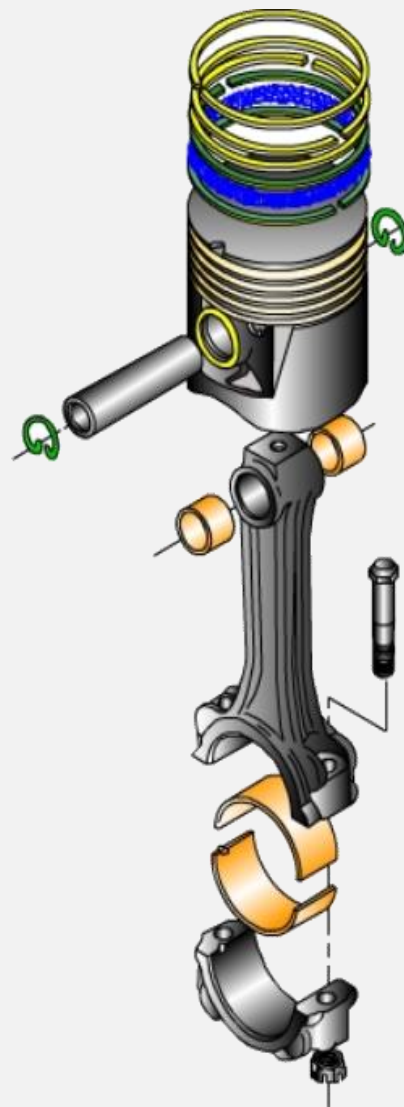
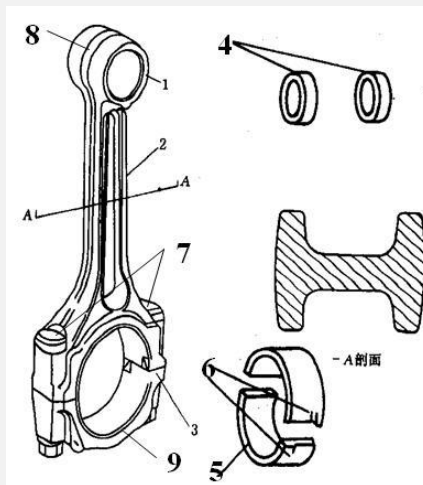
- ◆ 活塞制造工艺
- ◆ 连杆制造工艺
- ◆ 曲轴制造工艺
- ◆ 活塞环制造工艺



第2节 连杆制造工艺

Manufacture of connecting rod

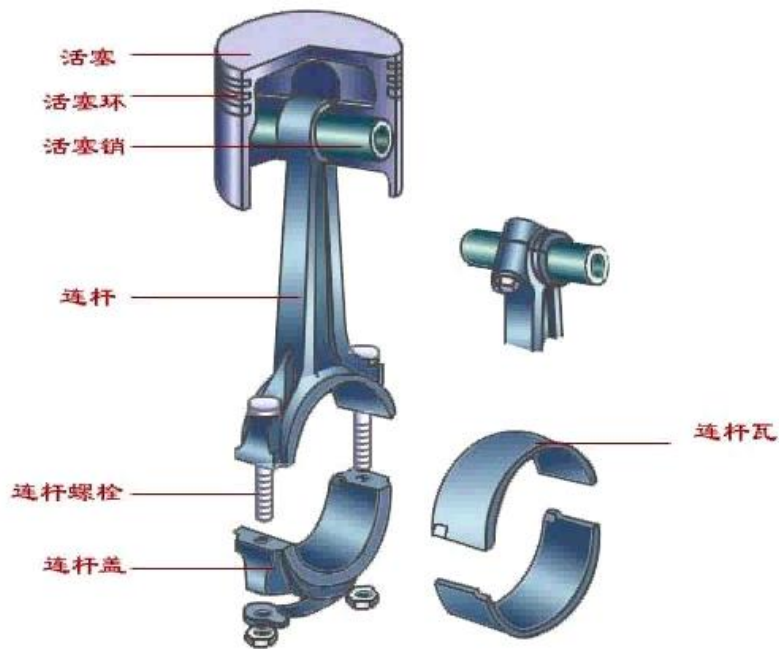
- 一、连杆的材料、毛坯的制备方法和加工技术要求
- 二、筒型活塞柴油机连杆的加工
- 三、连杆成品的检验



一、连杆材料、毛坯和加工技术要求

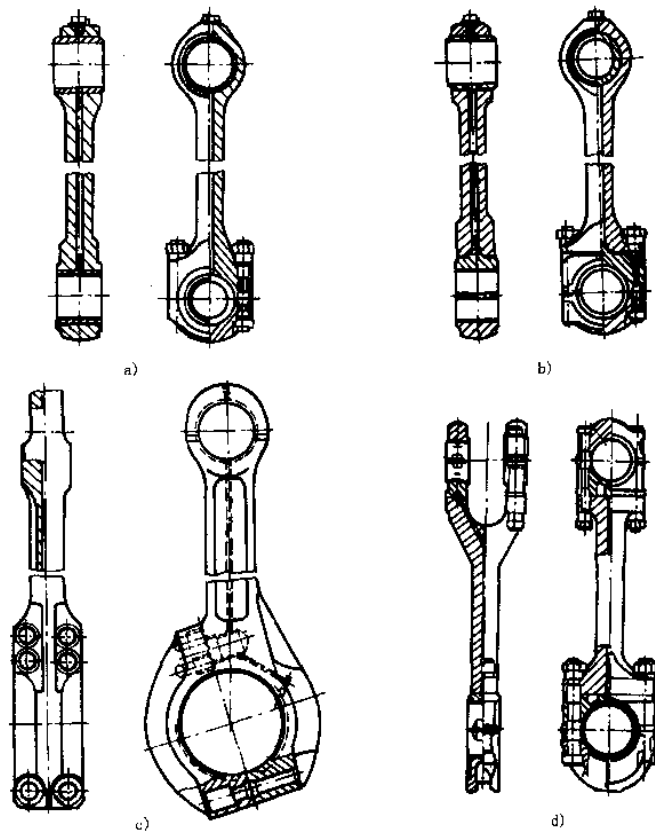
活塞连杆组

活塞连杆组由活塞、活塞环、活塞销、连杆、连杆轴瓦等组成。



连杆典型结构

连杆组由连杆体、大头盖、连杆轴瓦及连杆螺栓等组成。



(a)为端盖可拆式的,
(b)为大端可拆式的;
(c)为大端具有斜切口;
(d)为十字头式的。

连杆螺栓的材料

船用大型低速机： 40、35CrMo 、40Cr。

船用中、高速柴油机： 20CrNi、18CrNiWA、35CrMoA、40Cr等。

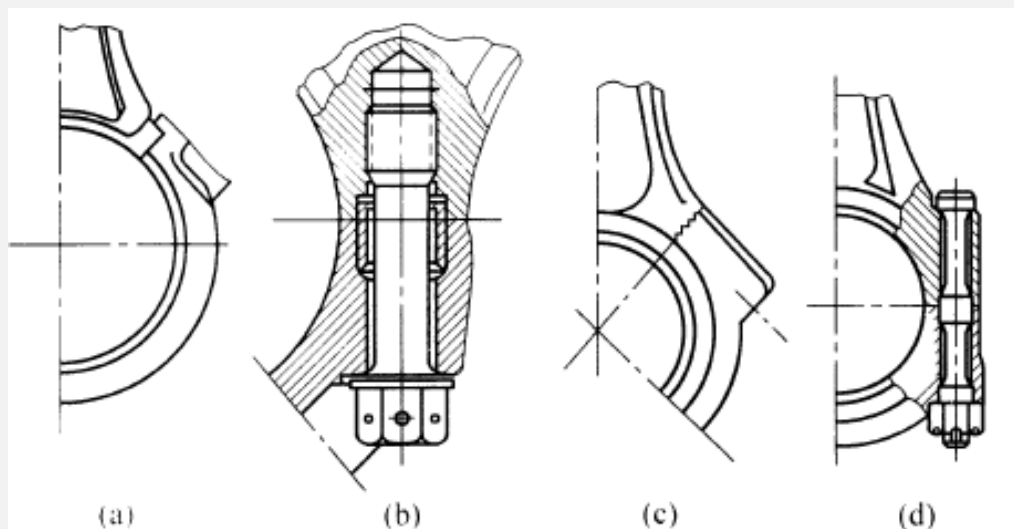
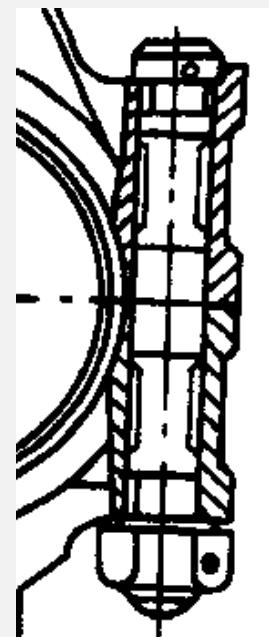


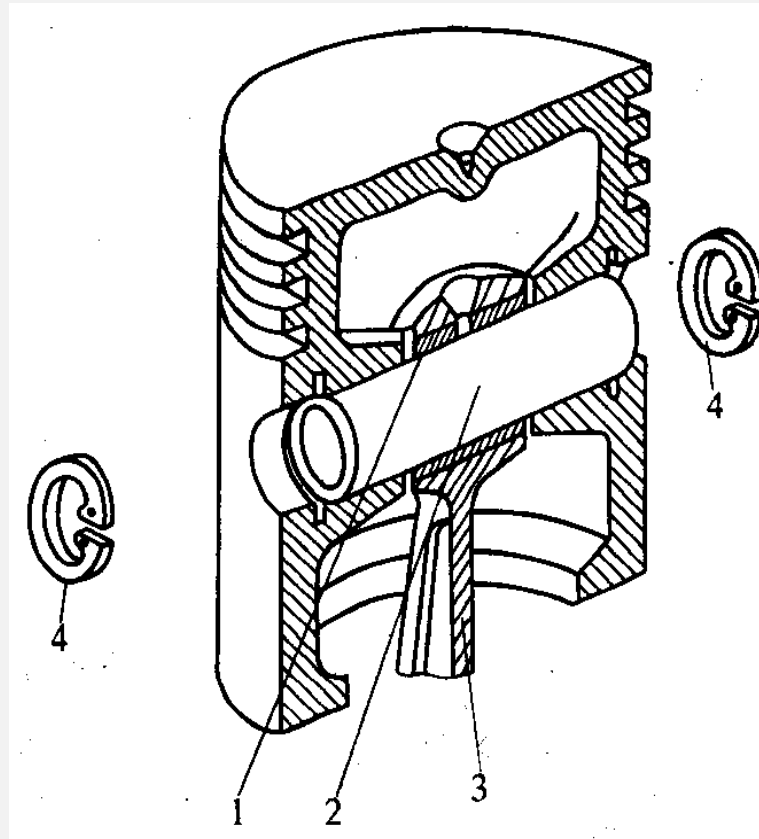
图 2-15 连杆大端切口定位型式

(a) 止口定位 (b) 销套定位 (c) 锯齿定位 (d) 平切口连杆的定位



连杆小端的衬套或轴承的材料

- 青铜: ZCuSn10Pb1、ZCuSn6Pb6Zn3
- 钢壳(10、15钢) 浇注耐磨合金: ZSnSb11-6锡基白合金或ZCuPb30铜铅合金



连杆大端轴瓦的材料

钢壳(10、15钢, 1 - 3mm) 浇注耐磨合金(0.3 - 0.7mm):
ZSnSb11-6锡基白合金或ZCuPb30铜铅合金和锡铝合金

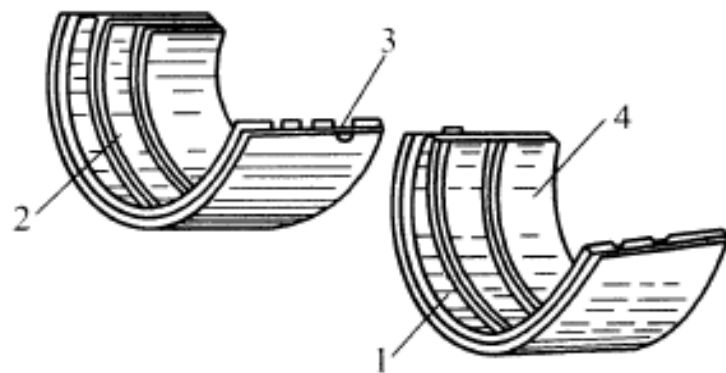
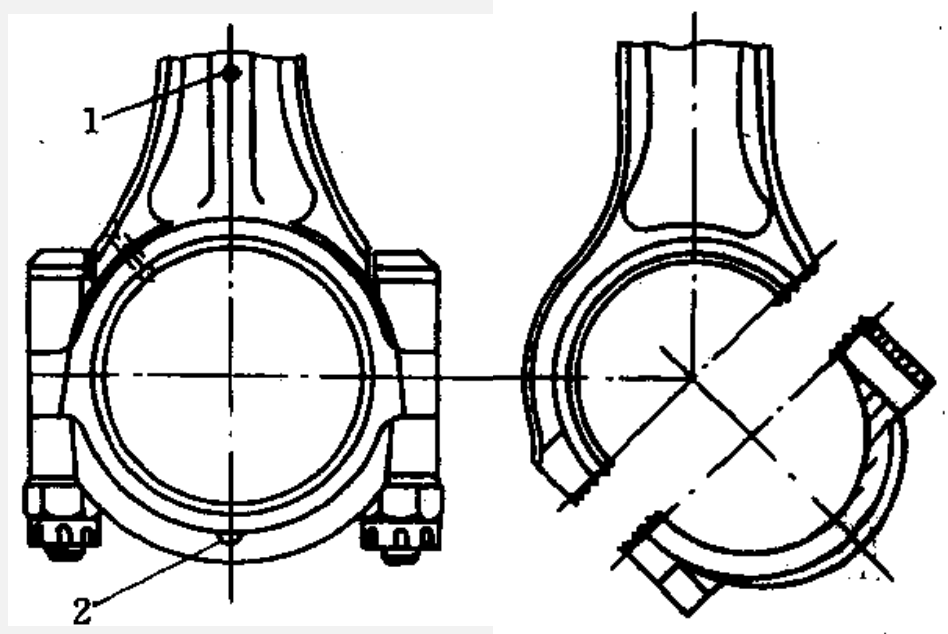


图 2-16 连杆轴瓦结构

1. 钢背 2. 油槽 3. 定位凸键 4. 减摩合金层

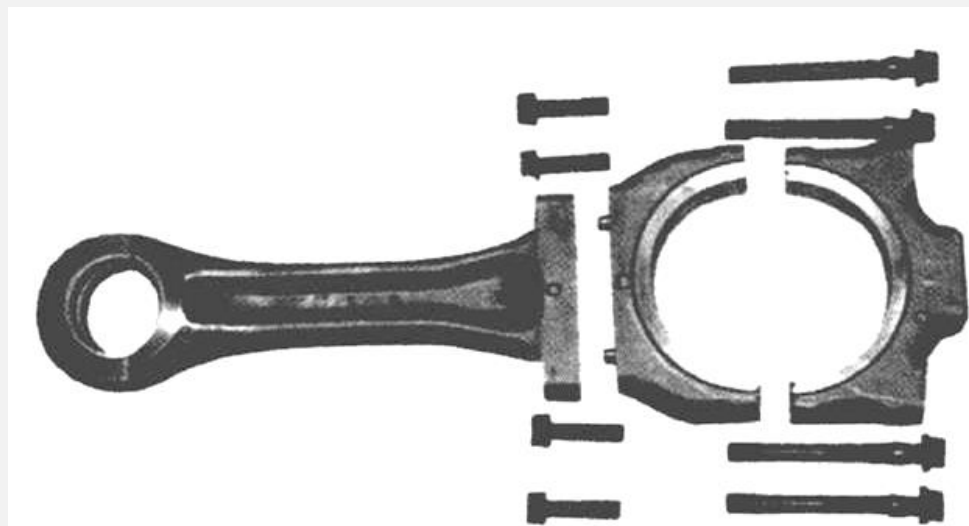
*连杆杆身和端盖的材料

种类	牌号	应用
碳素调质钢	35、40、45	小功率发动机、船用大型低速机。
合金调质钢	40Cr、45Cr、35CrMo、40CrMo、42CrMo(A)、40CrMnMo	大功率发动机、船用中、高速柴油机
非调质钢	35MnVS、35MnVN、40MnV、48MnV、49MnVS3、30SiMnVS6	用于汽车发动机连杆等。
可锻铸铁	GTS65	多用于汽油机
球墨铸铁	GGG70	多用于汽油机
粉末冶金连杆	HS150TM、HS160TM	英、瑞士、德：Pe1.5Cr-0.5C 德：Fe (0.35-0.45) C (0.3-0.4) Mn (0.1-0.25) Cr- (0.2-0.3) Ni 日本：Fe-0.5C-2.0Cu-0.09S 及 Pe-0.55C2.0Cu-0.2S

问题： 车辆发动机连杆的材料都是钢质的吗？

连杆毛坯的制造方法

- **自由锻**：大、中型柴油机的连杆
- **模锻**：中、小型工字形断面连杆
- **铸造**：小型轻载连杆。



Connecting Rod



连杆锻造毛坯图

问题：为什么很多连杆用调质钢？

材料 牌号	化学成分(%)						
	C	Si	Mn	Cr	Mo	P	S
40Cr	0.37~0.44	0.17~0.37	0.50~0.80	0.80~1.10	≤0.15	≤0.035	≤0.035
35CrMo	0.32~0.40	0.17~0.37	0.40~0.70	0.80~1.10	0.15~0.25	≤0.035	≤0.035

调质显微组织为回火索氏体或者回火索氏体+少量铁素体。

材料 牌号	力学性能					
	抗拉强度 σ_b (MPa)	屈服强度 σ_s (MPa)	硬度 (HB)	断面收缩率 ψ	延伸率 δ_s	冲击韧性 A_{ku}^2 (J/cm ²)
40Cr	750	550	237~285	≥40%	≥15%	≥60
35CrMo	820	630	250~320	≥42%	≥15%	≥80

*问题： 可以用非调质钢制造连杆吗？

非调质钢是通过添加合金微量元素，锻后控制冷却，析出强化物，而得到与调质处理同等的力学性能。

- 38MnV （中国一汽）
- 40MnV （中国一汽）
- 35MnVS4 （含硫易切削）
- 36MnVS4
- C70S6 （国外，德国）

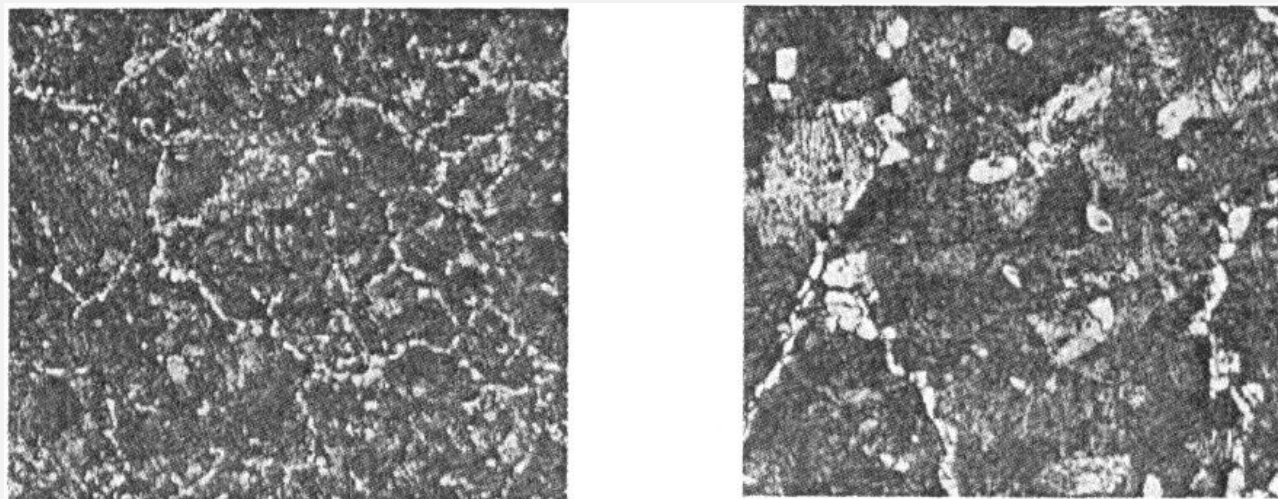


图 1 非调质钢连杆体的显微组织（左×100、右×500）

*连杆用非调质结构钢化学成分实测结果%

钢的牌号	C	Si	Mn	P	S	Cr	V
40MnV	0.40	0.54	1.44	0.025	0.038	0.196	0.08
38MnV	0.35	0.58	1.32	0.012	0.026	0.108	0.08
35MnVS	0.39	0.49	1.12	0.017	0.360		0.10

两种非调质结构钢连杆力学性能实测结果

性能指标	R _m /MPa	R _{p0.2} /MPa	A ₅ /%	Z/%	Ak/J	HB
40MnV	930 935	640 620	15 18	48 47	14 ¹⁾ 18 ¹⁾	体: 287 ⁻ 298 盖: 269 ⁻ 276
35MnVS	918		15.2		92 ²⁾	222 ⁻ 283

注: 1) Ak 样品取自连杆杆身大端的横向

2) Ak 样品为 5×10×55(mm) 纵向

***问题：** 车辆发动机连杆的材料需要塑形好吗？

***问题：** 如何实现连杆质量轻量化，有何好处？

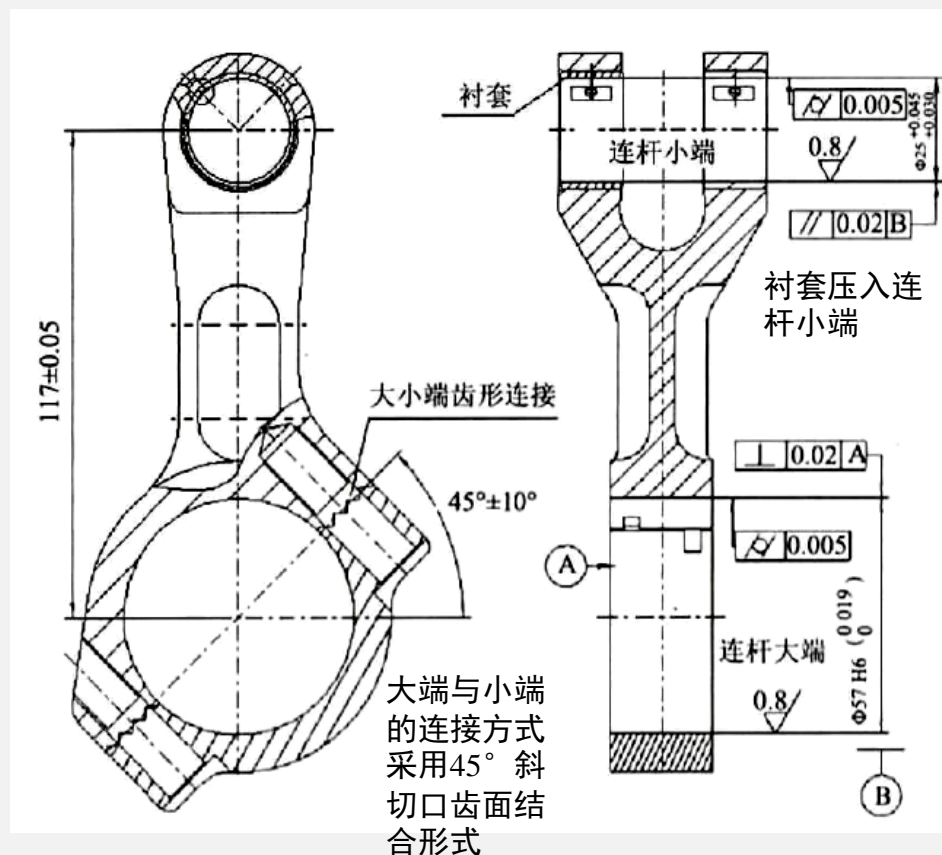
柴油机的连杆材料与性能

柴油机	材料	力 学 性 能 (≥)					
		R _m /MPa	R _{p0.2} /MPa	A ₅ /%	Z/%	HB	Ak/J
机型 1	40Cr	754	588	11	40	233 280	横向 29 纵向 59
机型 2	42CrMo	860	620	16	50	266 302	横向 34 纵向 74
机型 3	38MnVS	862	579	15	30	265 302	纵向 39 横向 4*
机型 4	40MnBH	862	621	15	45	266 302	
机型 5	DIN37MnSi5	882	630	15	40	260 285	
机型 6	IE688 相当 40MnBH					269 302	

注：* 表中序号 3 系对连杆杆身大端横向冲击吸收功的表述

1. 尺寸、形状精度

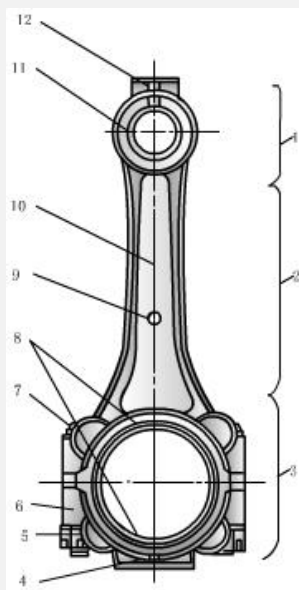
- 大小端孔的精度;
- 大小端孔的圆度和圆柱度公差;
- 大小端孔轴线之间的距离偏差;
- 连杆螺栓孔的公差;
- 十字头式连杆上下平面度在每米长度上公差值。



连杆成品结构形式图

2. 位置精度要求

- 大、小端孔轴线 “//” ；
- 大小端孔的轴线必须与杆身轴线 “ \perp ” 并相交；
- 可拆式大端与杆结合平面与大端孔轴线 “//” ；
- 大端和大端端盖螺母支承平面与连杆螺栓孔轴线 “ \perp ” ；
- 大小端螺栓孔轴线应与大小端孔轴线对称；
- 十字头式杆身上下结合平面应与杆身轴线 “ \perp ” 。

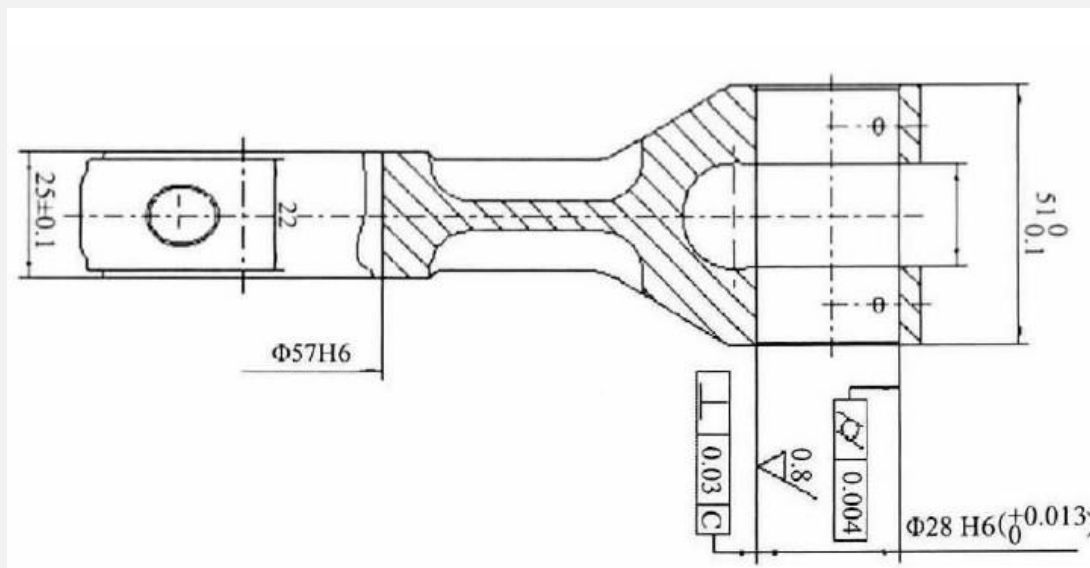


1-小头；2-杆身；3-大头；4、9-装配记号
(朝前)；5-螺母；6-连杆盖；7-连杆螺栓；
8-轴瓦；10-连杆体；11-衬套；12-集油孔

3.表面粗糙度及其他要求

- (1) 小端孔采用衬套时为 $Ra1.6 \sim 0.8$;
- (2) 大端孔采用薄壁轴瓦时为 $Ra1.6$ ，厚壁轴瓦时为 $Ra3.2$;
- (3) 连杆的重量差通常不超过1/100连杆重量

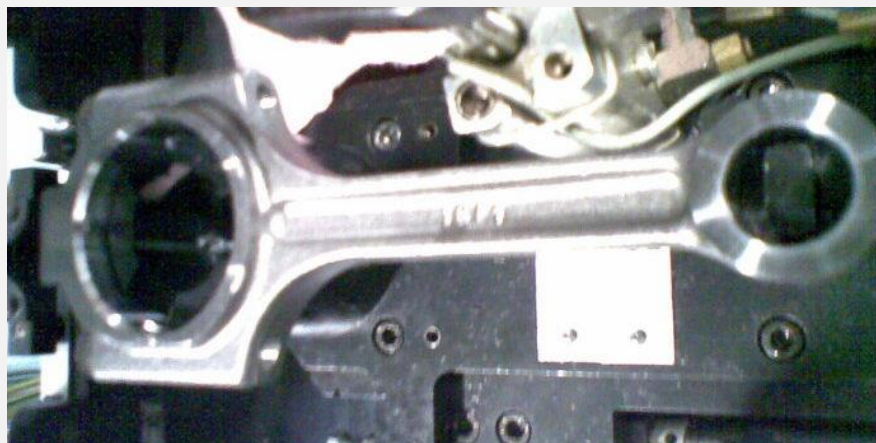
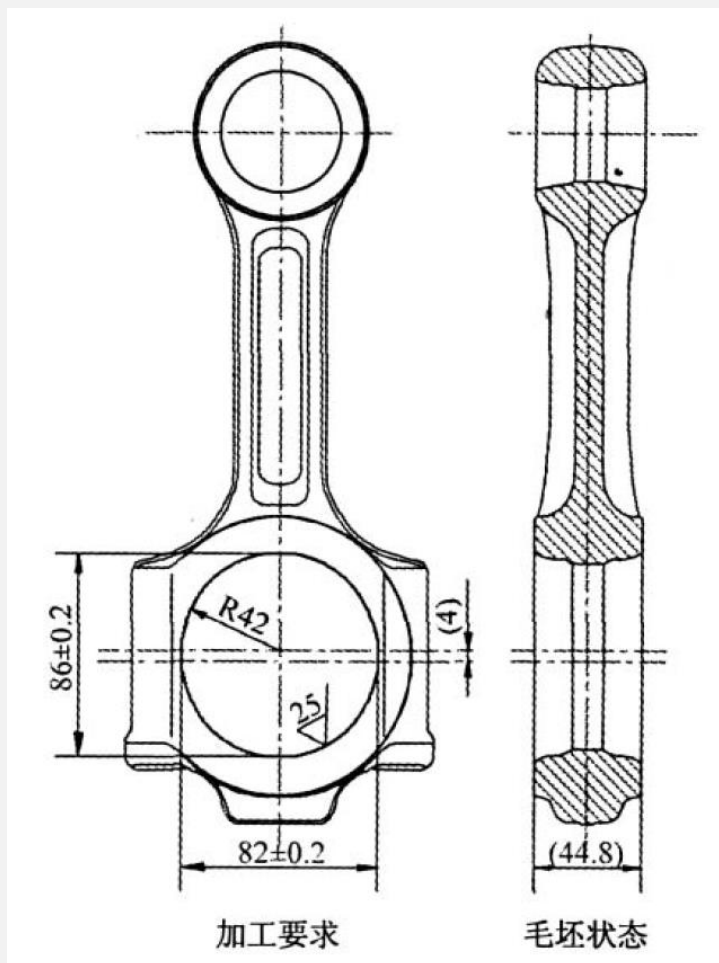
.....



连杆大小端孔加工图

二、筒型活塞柴油机连杆的加工

Machining technology for connecting rods of trunk-piston diesel engine

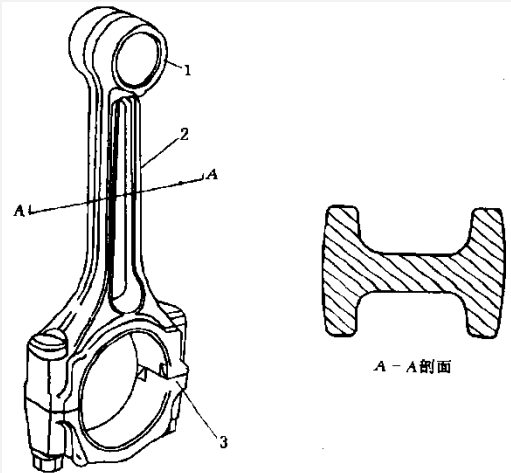


连杆加工中，加工连杆大端和小端孔时，一般如何选择定位基准？试画出连杆的定位夹具示意图？

加工阶段划分和加工工艺过程

(1) 加工实例

实例：小批生产，材料为35钢。毛坯：整体式自由锻件。经正火处理，大、小端孔已锻出。



连杆在小批量生产时的加工工艺过程

工序号	工 序 主 要 内 容	定 位 基 准	机床或工作地点
1	划加工线		钳工工段
2	连杆两端打顶针孔	划线痕	车床或钻床
3	粗车杆身、大端侧面外圆及连杆螺栓孔端面	顶针孔	车 床
4	粗铣大、小孔端面	杆身及划线痕	立铣或双轴专用铣床
5	粗镗大、小端孔	杆身及划线痕	镗床，立铣或双轴专用镗床
6	热处理：退火消除内应力		热处理车间
7	修正顶针孔	顶针孔及杆身	车 床
8	精车大端侧面外圆及精切连杆螺栓孔端面	顶针孔	车 床
9	按靠模精车杆身及小端外形面	顶针孔	车 床
10	精铣大、小端孔端面	大、小端孔和端面	同工序 4
11	钻、扩、粗铰螺栓孔，镗鱼眼坑	大、小端孔及端面	摇臂钻床
12	在切开处划线和打号码		钳工工段
13	切开连杆大端端盖	杆身和划线痕	万能铣床
14	精铣杆身和端盖接合平面	小端孔和端面（半圆孔和螺母支承面）	专用铣床
15	钻油孔及定位销孔	大、小端孔和端面	摇臂钻床
16	刮研接合平面及配制定位销		钳工工段
17	精铰螺栓孔	大、小端孔，端面和侧面	镗床或摇臂钻床
18	用螺栓及垫片在杆身上装配好大端端盖		钳工工段
19	半精镗、精镗大、小端孔	大、小端孔及端面	镗床或双轴专用镗床
20	检验		

(2) 加工工艺过程

粗加工



热处理



精加工



装合大端
端盖后的
加工

划线→连杆两端打顶针孔→粗车杆身、大端侧面外圆及连杆螺栓孔端面→粗铣大小端孔端面→粗镗大小端孔

→热处理（退火消除内应力）

→修整顶针孔→精车大端侧面外圆及精切连杆螺栓孔端面→按靠模精车杆身及小端外形面→精铣大小端孔端面→钻、扩、粗铰螺栓孔→在切开口处划线和打号码→切大端端盖→精铣杆身和端盖接合平面→钻油孔和定位销孔→刮研结合平面及配制定位销→精铰螺栓孔

→用螺栓及垫片在杆身上装配好大端端盖→半精镗、精镗大小端孔→检验

*实例：某连杆加工工艺过程

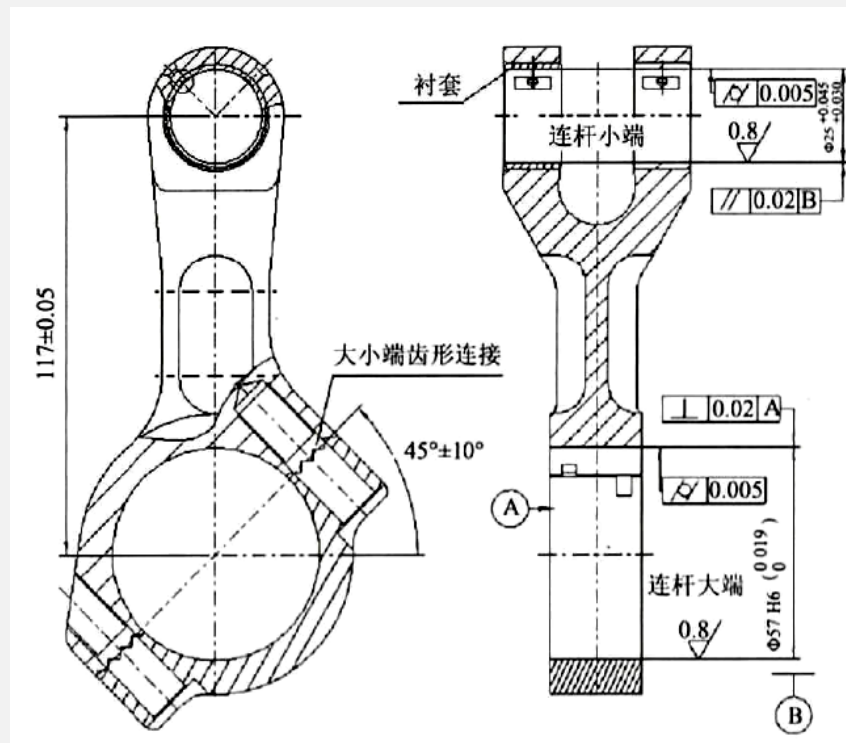
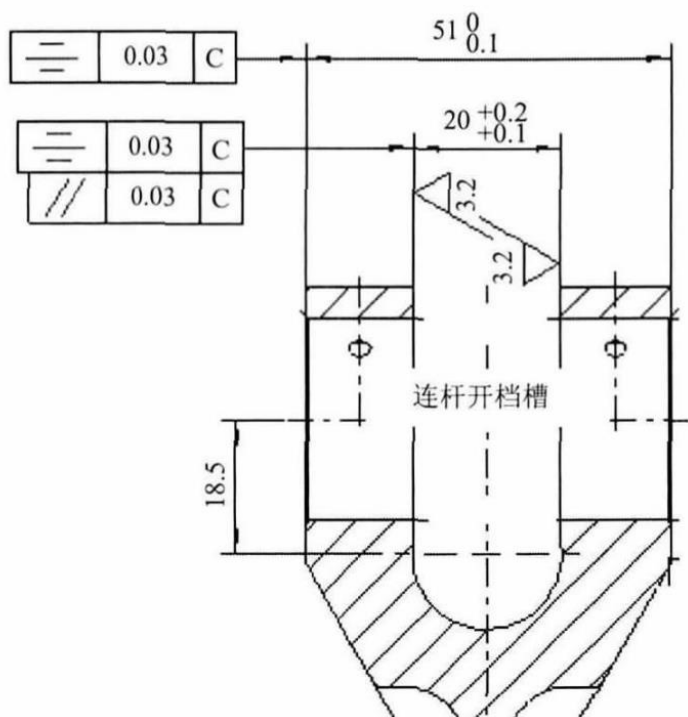
- (1) 划线、粗铣大小端上下两平面，留2 mm 加工余量。
- (2) 铣连杆侧面基准面，钻工艺孔，并打配对标记。



连杆加工定位基
准面和定位孔

*实例：某连杆加工工艺过程

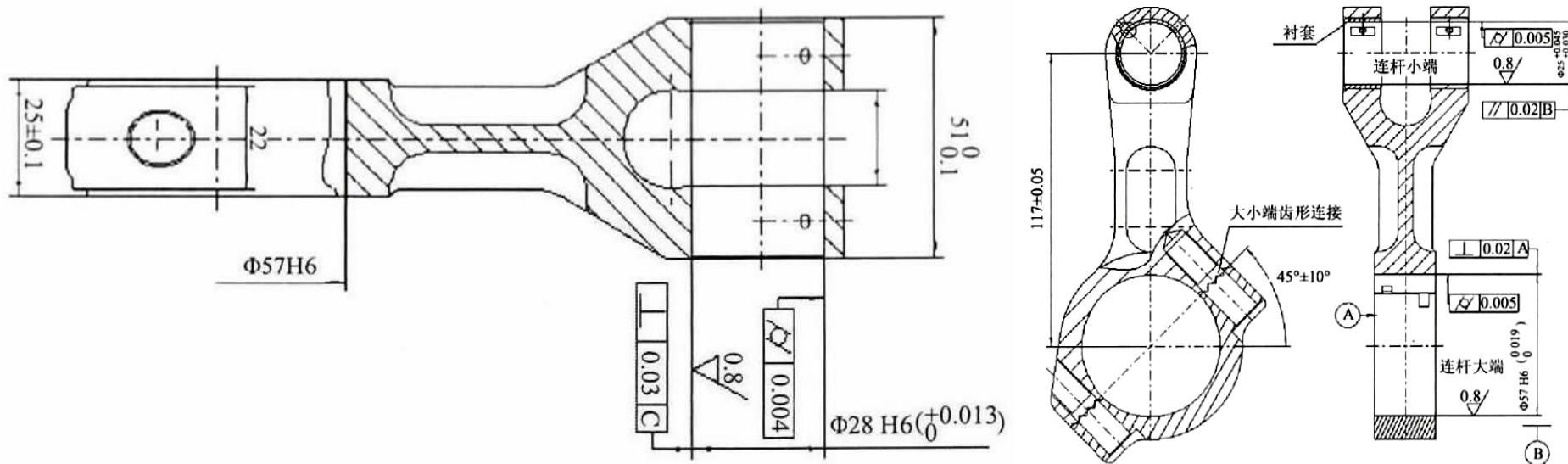
- (3) 根据大小端两平面及工艺孔，粗割开档槽；时效处理。
- (4) 半精铣连杆上下面，镗孔。
- (5) 精割连杆开档和连杆上下体三角齿齿型。



连杆开档槽加工图

*实例：某连杆加工工艺过程

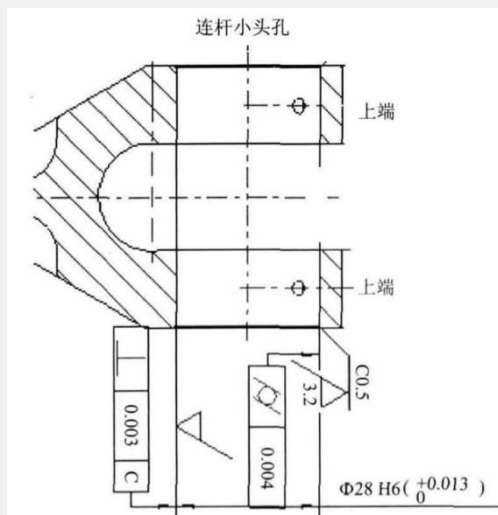
- (6) 钻、攻连杆上下体M12 -6H 螺纹连接孔、铣连杆瓦槽。
- (7) 去毛刺，按拧紧力矩要求组装连杆上下体。
- (8) 精铣连杆平面，精镗连杆大、小头孔。



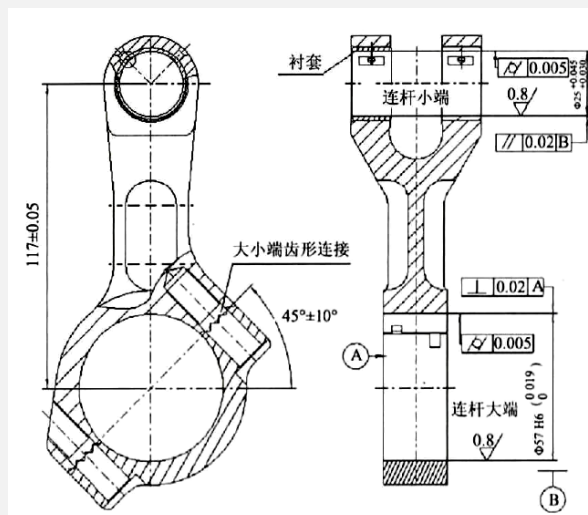
连杆大小端孔加工图

*实例：某连杆加工工艺过程

- (9) 拆、装连杆上、下体，去除毛刺，释放应力。
- (10) 精磨上下面，控制其对称度相对与基准面0. 03 mm。
- (11) 精磨连杆大小头孔。**
- (12) 压衬套、钻孔。
- (13) 铣油槽。



连杆小头孔加工图



(1) 锻造- 调质处理

圆钢下料→棒料加热→预锻→热模锻、切边、矫形→空冷→(正火加热→空冷)→调质(淬火+高温回火)→强化抛丸→机械加工。

(2) 锻造- 锻造余热淬- 回火

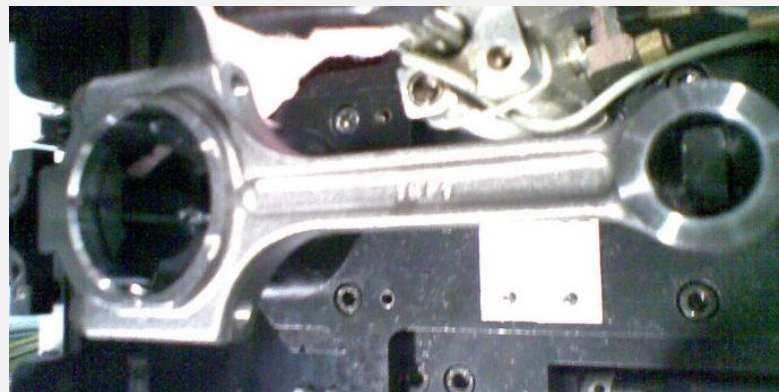
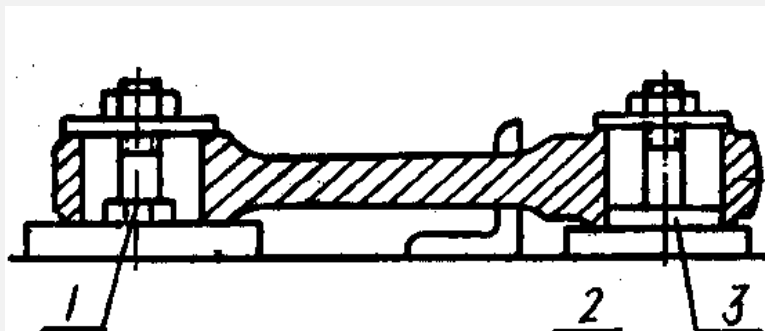
圆钢下料→棒料加热→预锻→热模锻、切边、矫形→锻造余热淬火→高温回火→强化抛丸→机械加工。

(3) 锻造- 锻后控制冷却 (中碳或高碳非调质结构钢)

圆钢下料→棒料加热→预锻→控温热模锻、切边、矫形→锻后控制冷却→强化抛丸- 机械加工。

*定位基准的选择

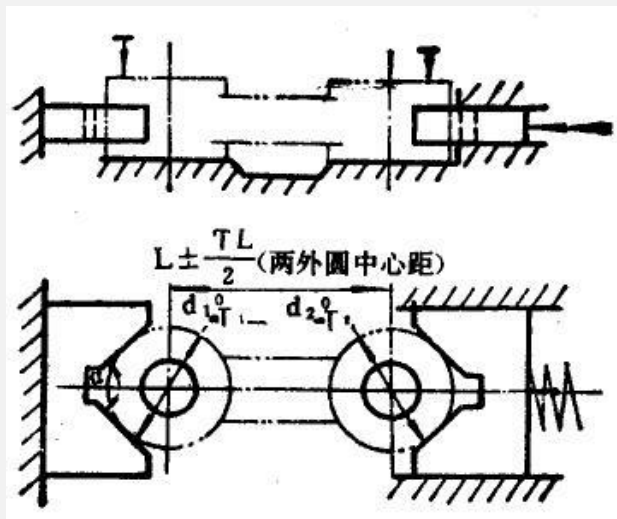
(1) 端面平面、大小端孔



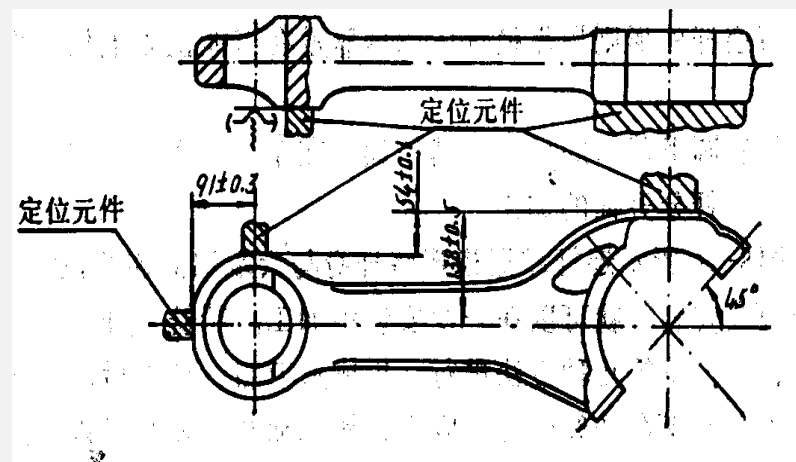
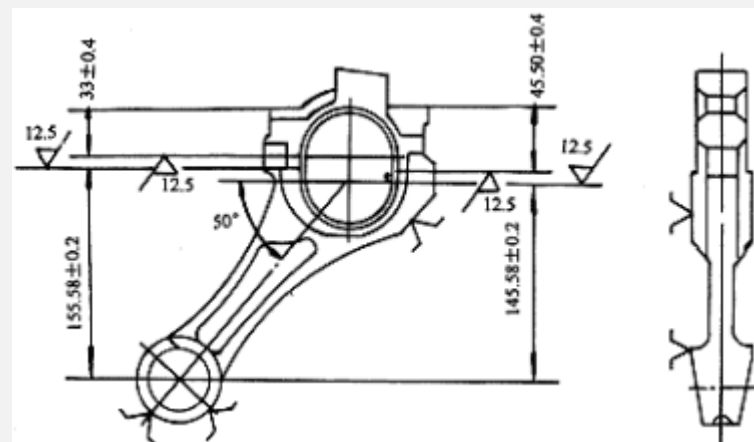
定位元件：平面+短圆柱销
+短菱形销

问题：为何少见？

(2) 端面平面、小端和大端侧面



定位元件：平面+固定V型块+浮动V型块

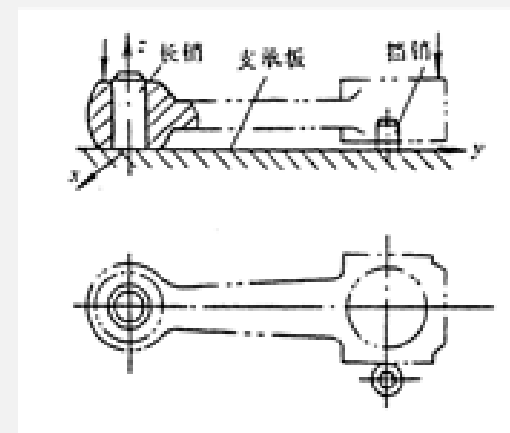


定位元件：平面+3定位销

(3) 端面平面、小端孔和大端侧面



错误！



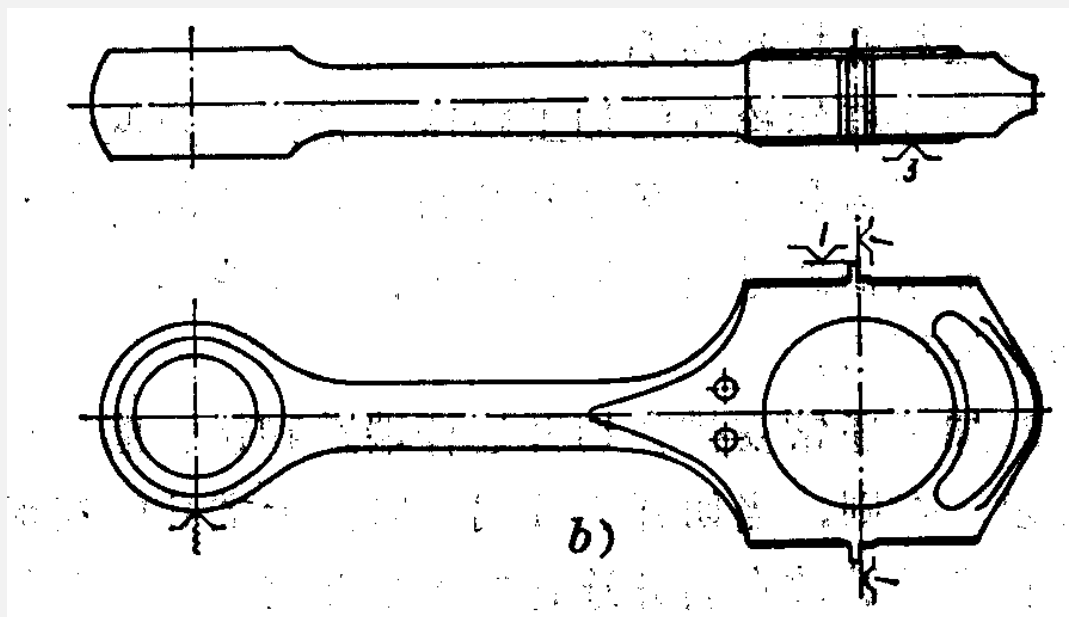
正确！

定位方案1： 大平面+短圆柱
销+定位销（挡销）

定位方案2： 小平面+长圆柱
销+定位销（挡销）



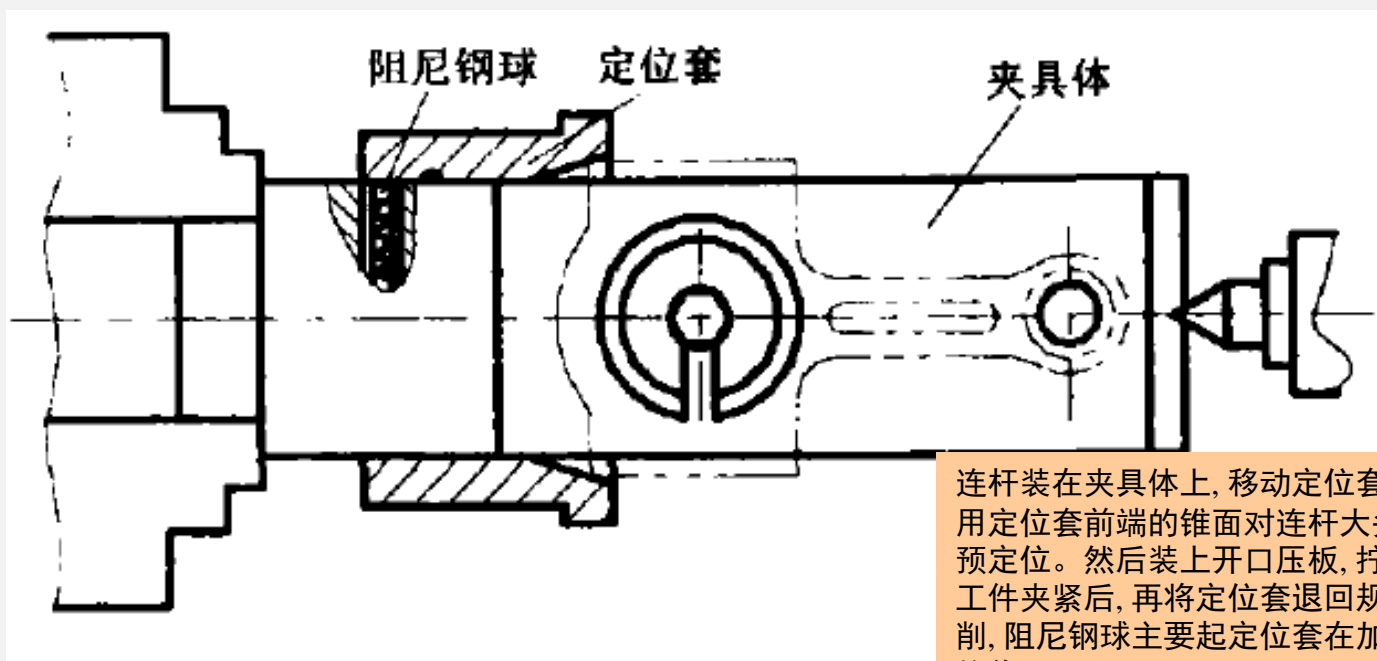
(4) 利用工艺面和工艺凸台作为定位表面



利用大端侧面工艺凸台定位

*实例：请说明下面连杆加工定位的方式

夹具设计要求：根据连杆毛坯外侧对称的特征, 设计一种自定心车夹具, 以实现毛坯的对中定位。



车连杆大头夹具示意图

连杆主要表面加工工艺

1. 大、小端面的加工

加工方法

生产批量大、毛坯的加工余量小：**磨削加工**；

磨削：磨锻坯→杆身与大端装合→精磨到所要求的厚度。

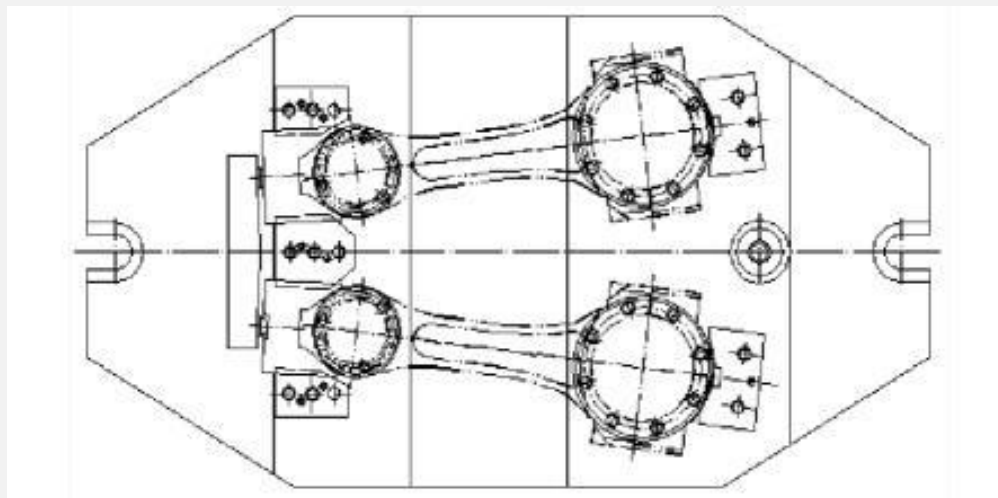
生产批量小：**铣削加工**

定位方法

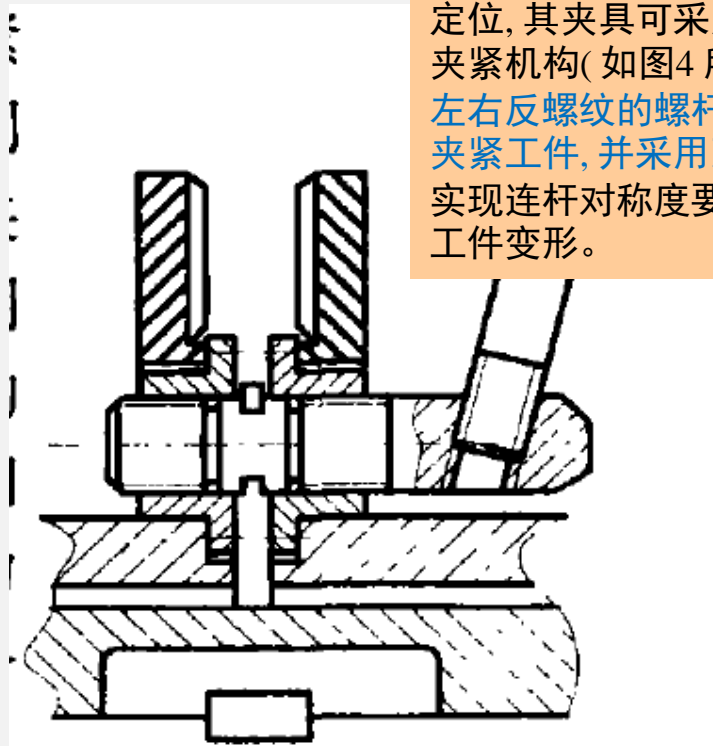
①以其中的一边端面为基准加工另一边端面

②成批生产，四轴专用铣床，对大、小端四个面同时加工

*实例：大、小端面的加工定位的方式



以一边端面为基准加工另一边端面



利用左右反螺纹的螺杆带动压块
夹紧工件, 并采用双面铣

自动定心夹紧机构是一种同时实现对工件定心定位和夹紧的夹紧机构, 即在夹紧过程中, 能使工件相对于某一基准面保持对称性。连杆铣两端面工序是以连杆杆身对称定位, 其夹具可采用螺旋压块夹紧机构(如图4所示), 利用左右反螺纹的螺杆带动压块夹紧工件, 并采用双面铣, 实现连杆对称度要求及减小工件变形。

2. 大、小端孔的加工

小端孔粗加工，一般安排在大端孔粗加工之前，这是由于将作为主要定位基准。

加工阶段：

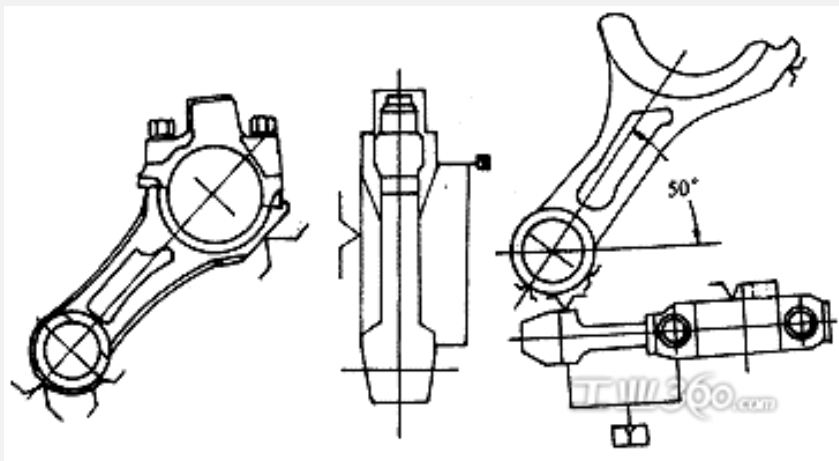
粗加工



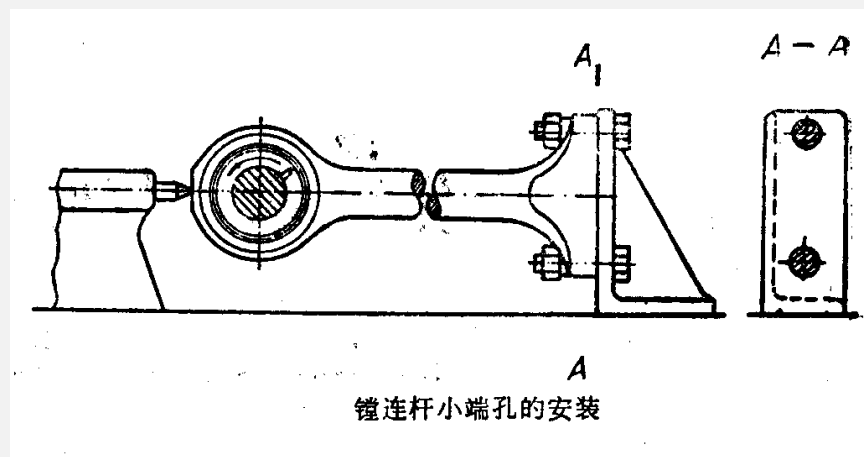
半精加工



装合后的精加工



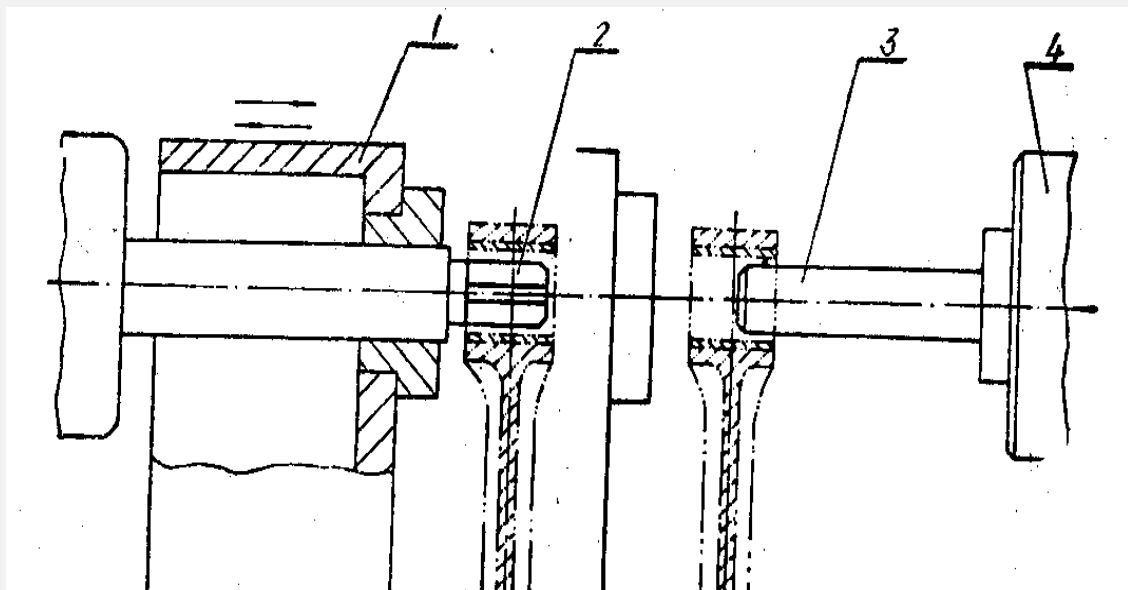
定位基准选择



加工设备：
镗床或车床

小端孔加工工序：

- ① 尺寸较小的高速机连杆，锻造毛坯**没有**冲出小端孔
钻→扩→铰→金刚镗→金刚镗衬套孔
- ② 尺寸较大的连杆，锻造毛坯**已**冲出小端孔
粗镗→半精镗→精镗→精镗衬套孔（或金刚镗）



大端孔的加工工序



连杆体和盖分别锻造



连杆的锻造体、盖为整体结构

粗镗→（切开）→半精镗→精镗→精镗衬套孔（或金刚镗）

*实例：大、小端孔的加工定位的方式（粗加工）



大端孔的组装后加工余量和解决措施

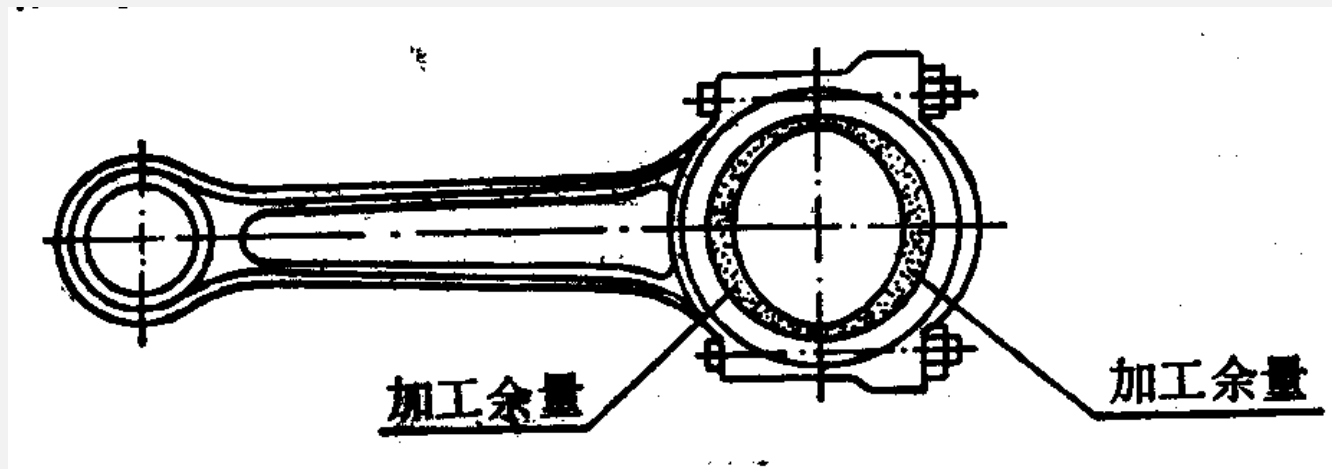
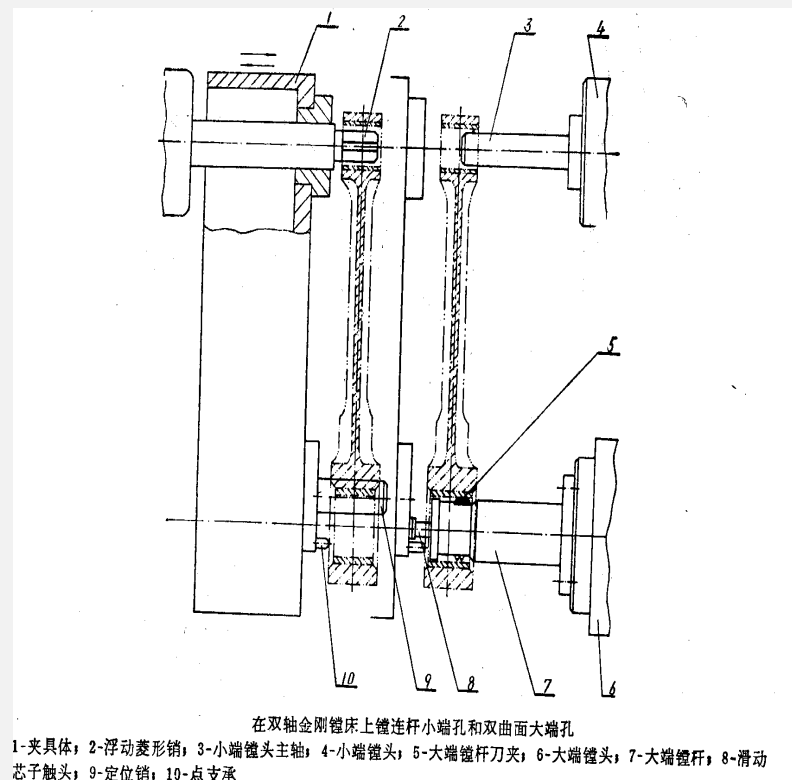
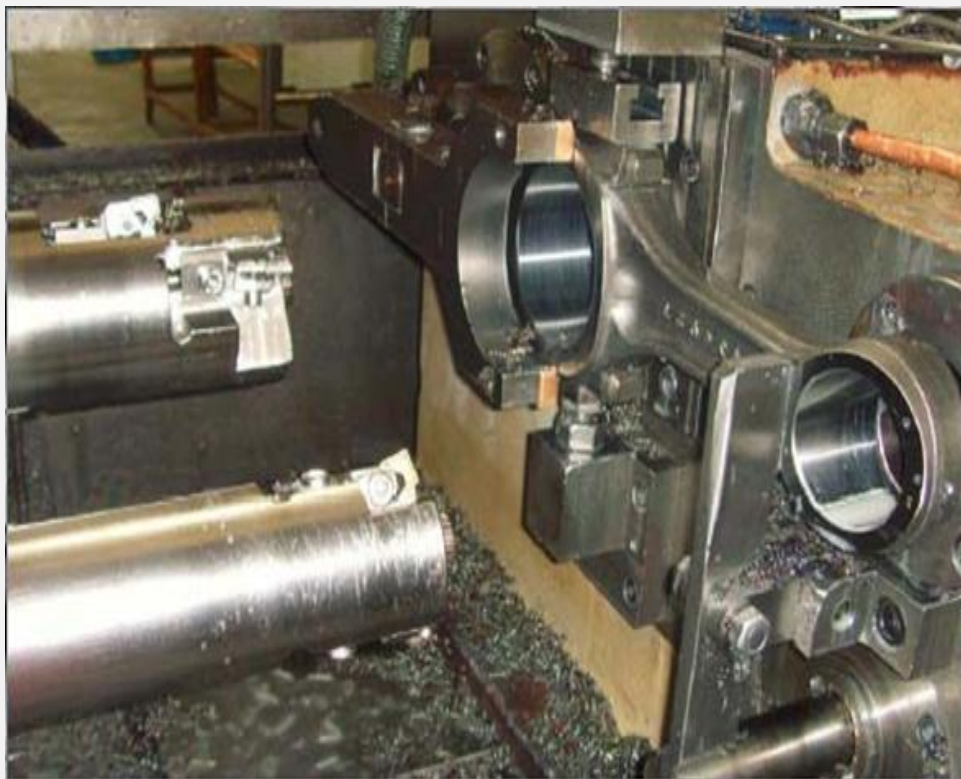


图 连杆大端孔镗孔时余量分布

问题：解决大端孔的组装后加工余量不均匀问题的措施是什么？

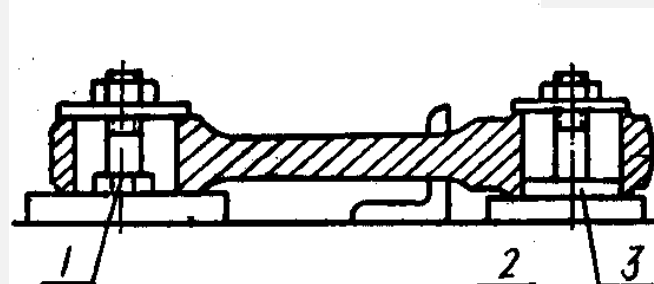
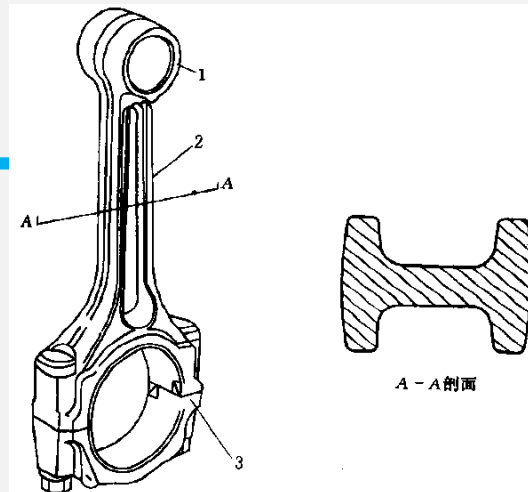
*实例：大小端孔的同时加工（粗、精）



3. 杆身的加工

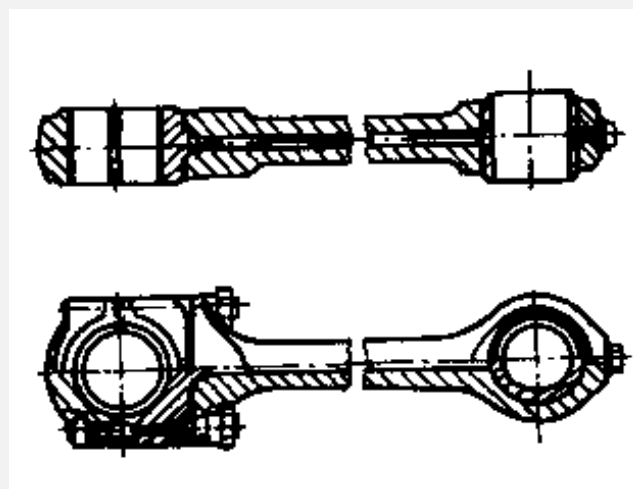
具有工字形截面的杆身

- **凹槽：**立铣或万能铣
- **连杆外形：**靠模铣床加工
- **定位基准：**以大、小端孔及端面



圆形截面的杆身

- **连杆外形：**在车床上用靠模进行，或数控车削。



4. 杆身与端盖上结合面断开和齿形加工

- 锯切法（铣削或者线切割）
- 经典的接合面：平面型、齿型。
- 齿形可用铣、磨、拉等方法加工。

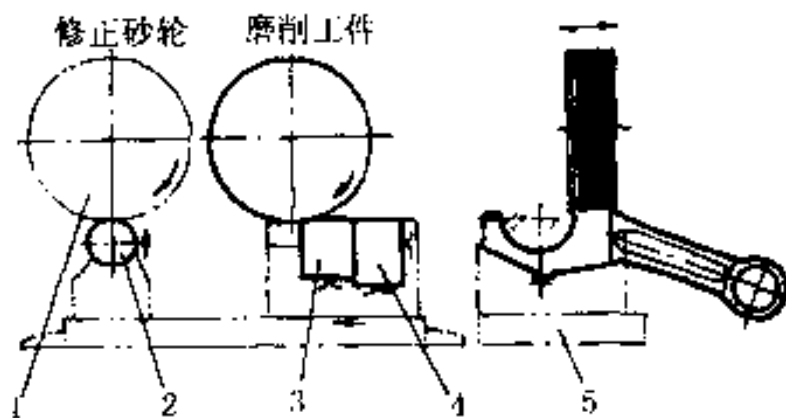
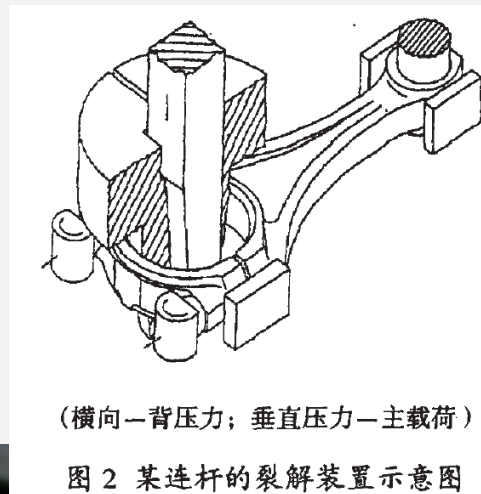
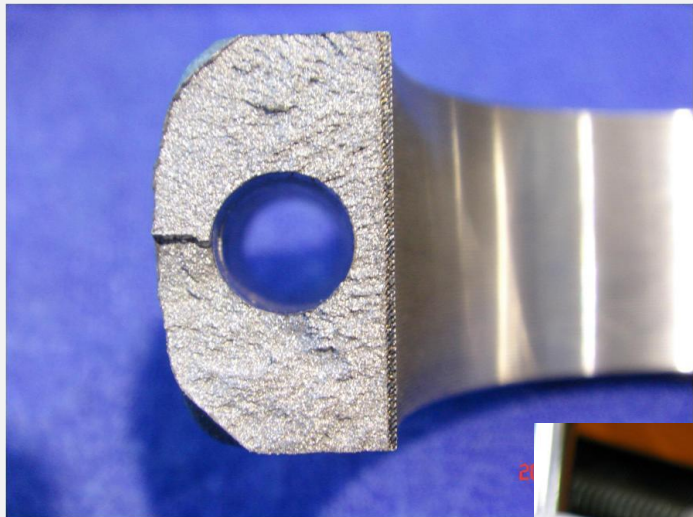


图 9-4 连杆齿形磨削示意图

1-成形砂轮；2-金刚石滚轮；3-杆身；4-端盖；
5-夹具

*连杆裂解工艺

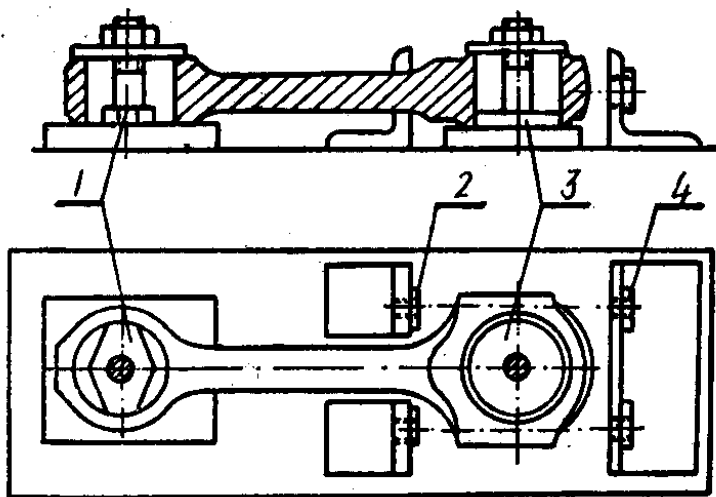


汽车连杆大头孔剖分技术由切割发展至涨断裂解技术（fracture splitting process）使用的厂家覆盖了美国三大汽车公司, 德国Benz、MAN、BMW等企业, 产品涵盖了轿车发动机及大排量高速柴油机连杆。国内多家轿车发动机连杆, 已经成熟地运用连杆裂解技术。连杆裂解技术的实施, 须首先在整体锻造的连杆毛坯大头孔上, 用激光人为地预制裂痕形成初始裂源; 然后用特定工装夹具与方法控制裂痕扩展, 使连杆- 盖分离。面具有完全啮合的犬牙交错结构, 结合面不须再进行任何加工。

5. 连杆螺栓孔的加工

加工通常安排在切开连杆端盖和铣、磨结合面后进行
加工工序：

- ① 钻→扩、粗铰→精铰
- ② 钻→扩→铰→拉



连杆螺栓孔的加工

1-削边定位销；2-前导向套；3-圆柱定位销；4-后导向套

在工序安排有三种：

- ① 端盖和杆身分开钻、扩→合起来精加工(铰或拉)；
- ② 将端盖和杆身合起来加工；
- ③ 将端盖和杆身上螺栓孔的粗、精加工都分开进行。

第二种方式应用较多。

*6. 大端分开式连杆加工的特点

(a) **螺栓孔的精加工**应在杆身精车和底平面精铣以后进行，以杆身底平面作为定位基准。

(b) **精镗小端孔**时，为了达到位置精度要求，应采用底平面和螺栓孔作为定位基进。

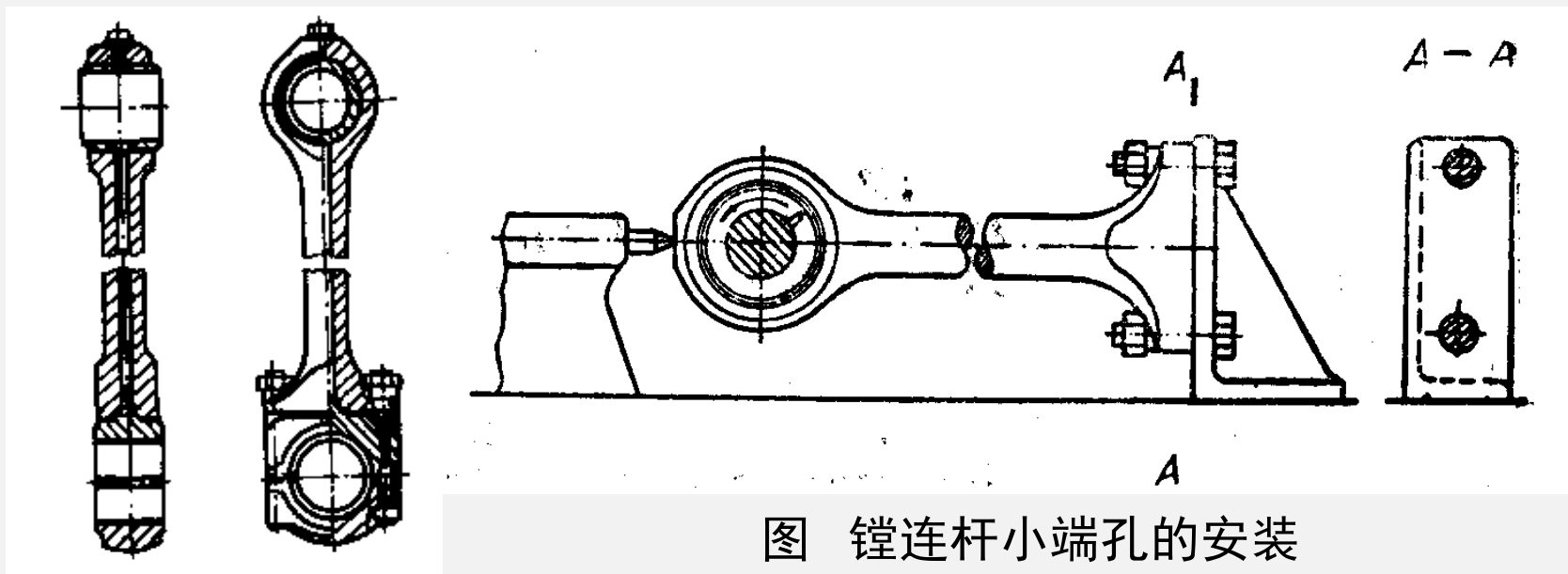


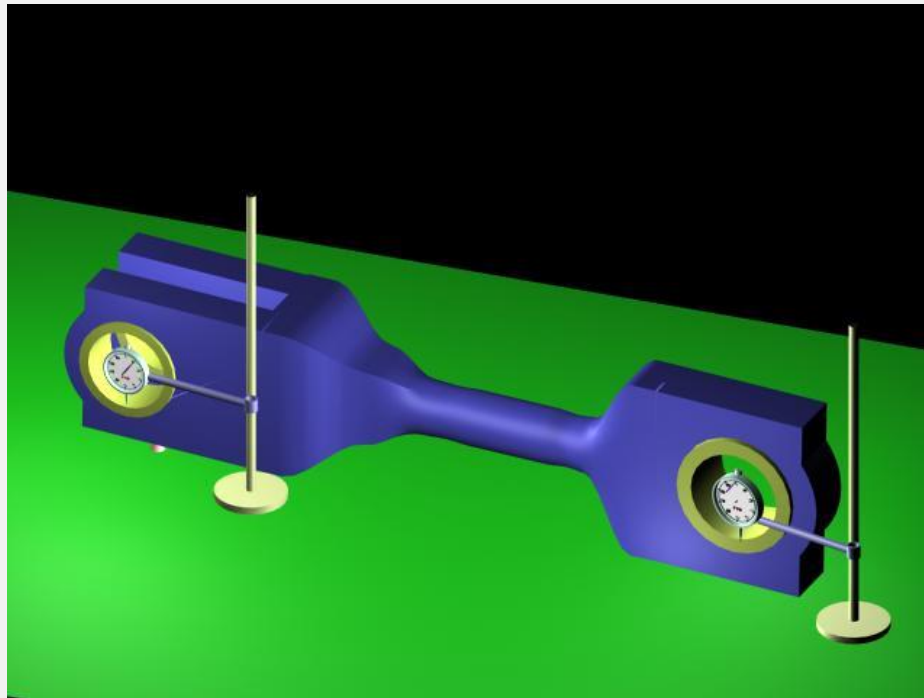
图 镗连杆小端孔的安装

三、连杆成品的检验

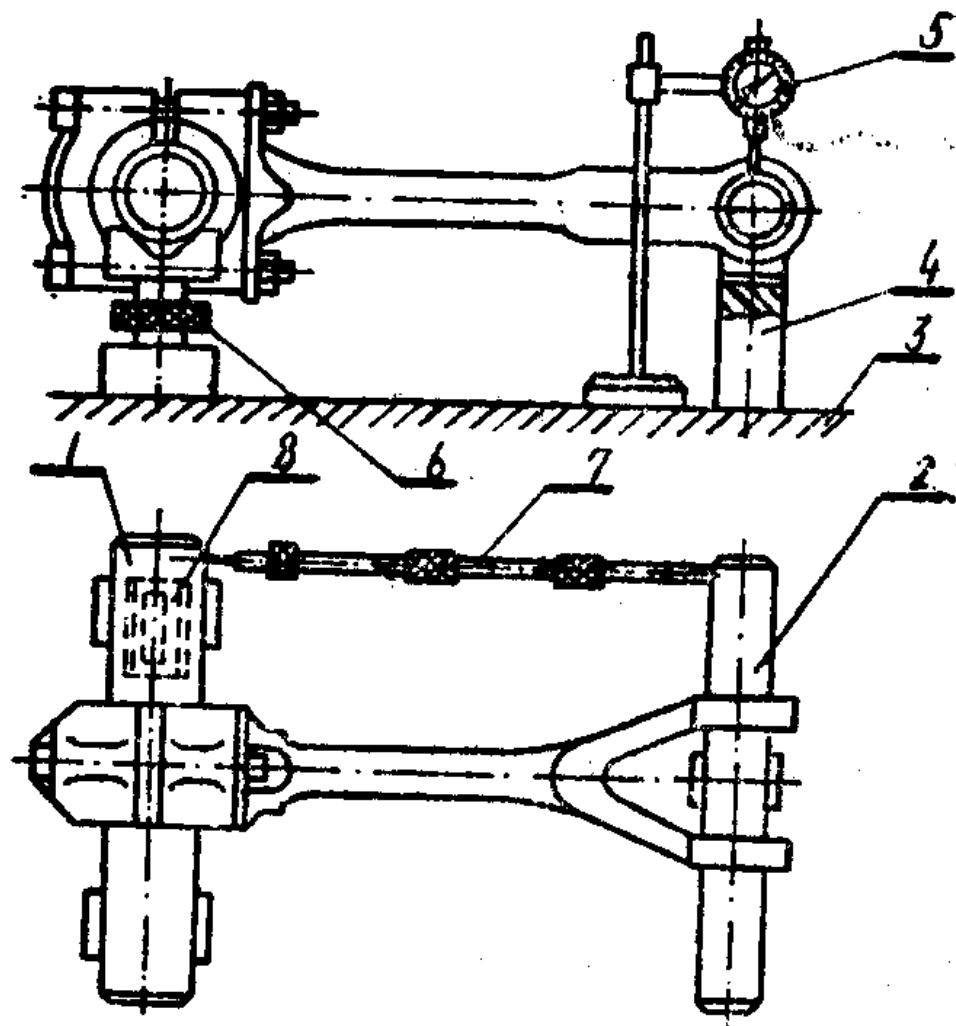
Inspection of the
finished products

问题： 连杆的检验项目主要有哪些？试画出示意图加以说明？

1、连杆大、小端孔轴线平行度误差的检验



连杆大小端孔轴线平行度误差的检验



1、2-检验轴；3-检验平台；4-V形铁；5-百分表；6-千斤顶；7-内径千分尺；8-水平仪

*连杆检验实例

问题：图中所示正在检查连杆的什么项目？

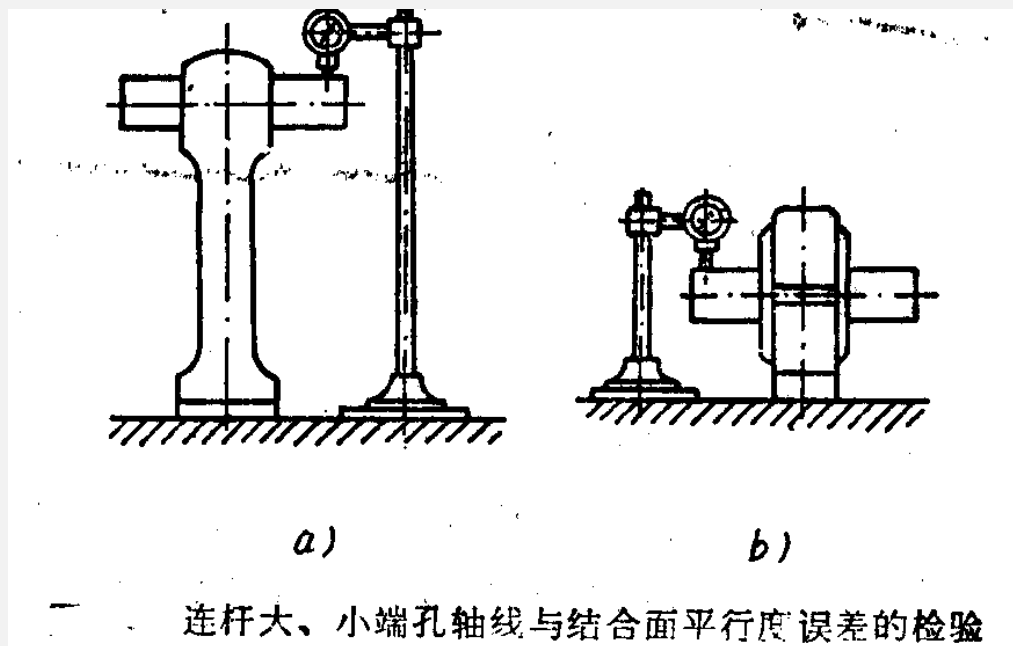
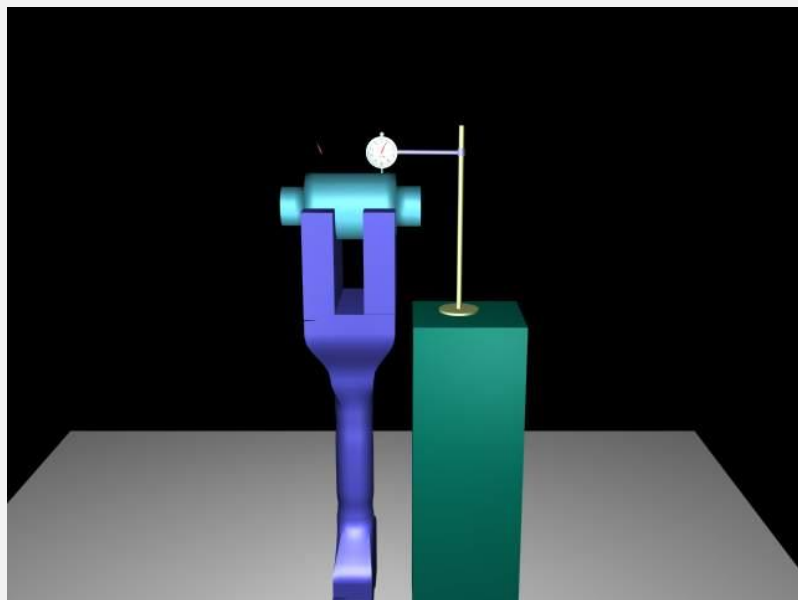


*连杆检验实例

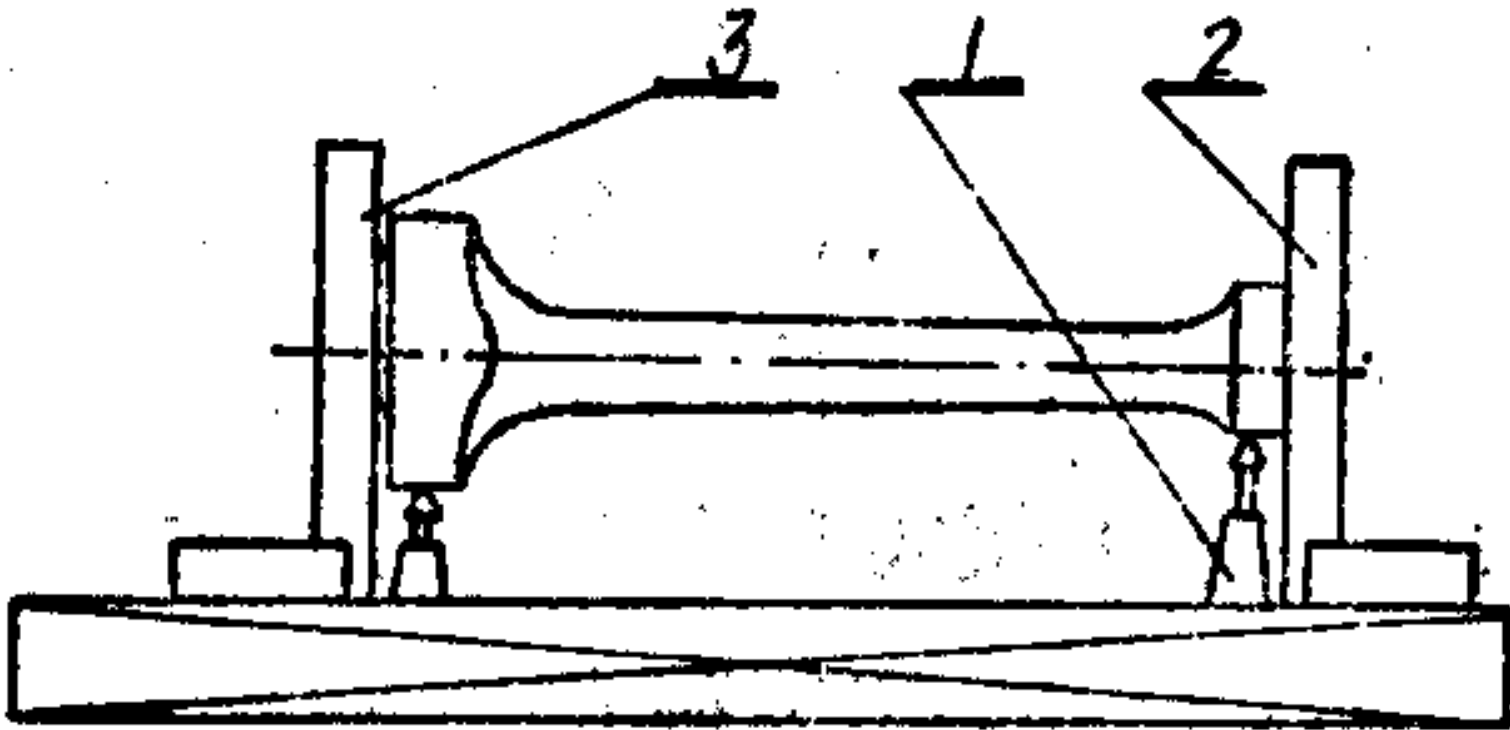
问题：图中所示正在检查连杆的什么项目？



2、可拆大端的连杆杆身下端结合面的检验



3、十字头杆身上下结合面平行度误差的检验



杆身上、下结合平面平行度的检验
1-千斤顶；2、3-角尺

*参考文献

- 蒋海勇（一汽海马动力有限公司）.发动机连杆材料及工艺.内燃机与配件 2013 年第10 期：23-26.
- 寇淑清等，内燃机连杆制造最新技术与发展趋势[J].内燃机工程，2001(1)：28～31
- GB/T 23340-2009 《内燃机连杆技术条件》
- 王秋冰,马鸣,卢震鸣,来建刚,李光瑾.发动机连杆用材料与工艺的发展趋势.柴油机设计与制造. 2007 年第1 期第15 卷（总第118 期）:40-44.
- 陈志亮(湖南农业大学工程技术学院).发动机连杆制造工艺改进分析.《机床与液压》2003,No.1:281-282.
- 徐俊，王燕萍，卫佩勇.连杆制造工艺开发与研究.柴油机. Vol.35(2013) No.5：32-35.
- 张学华.连杆制造工艺技术及改善.柴油机设计与制造. 2009 年第2 期第16 卷（总第127 期）.38-42.

第4节 曲轴制造工艺

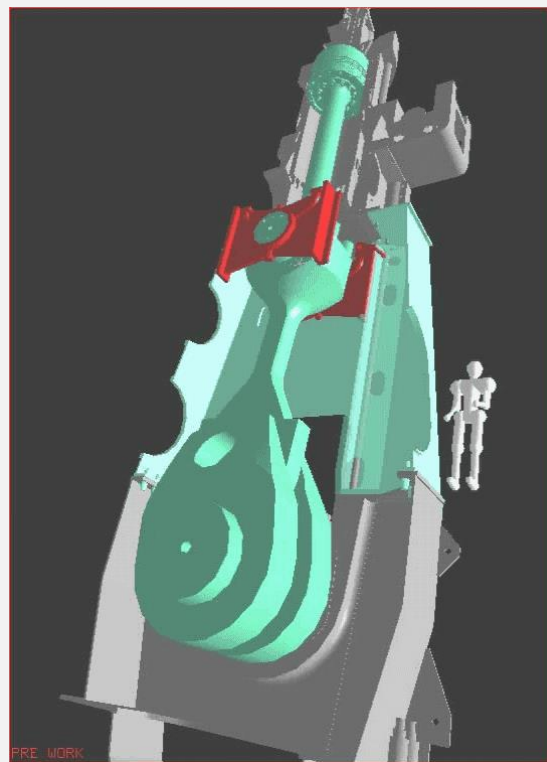
Manufacturing technology of crankshaft

第一节 概 述

第二节 整体式曲轴的加工

第三节 组合式曲轴的加工

第四节 曲轴的检验



*研究背景



2016-08-29: 世界最长(12.575米)、国内最重(237.131吨)的MAN系列7G80ME-C曲轴在大连重工泉水基地曲轴公司成功下线。将安装在大连船柴4万多马力的船用低速柴油机，应用于大连船舶重工建造的一艘31.9万载重吨油轮上。以前只有3家外国公司具备该型号曲轴的加工能力。

*生产大型低速柴油机曲轴的企业

国外主要企业:

- 韩国斗山重工业株式会社 (Doosan) 、
- 日本神户制钢 (KoBelco) 、
- 捷克维特科维策股份公司 (ViTKOVICE) 、
- 韩国现代 (Hyundai) 、
- 西班牙曲轴厂 (Sidenor) 、
- 波兰的曲轴厂

国内主要企业:

- 上海船用曲轴有限公司、
- 大连华锐船用曲轴有限公司、
- 青岛海西重工有限责任公司。

一、曲轴的材料、毛坯的制备方法和技术要求

Introduction

*、曲轴的要求和结构

Demands and Structure of crankshaft

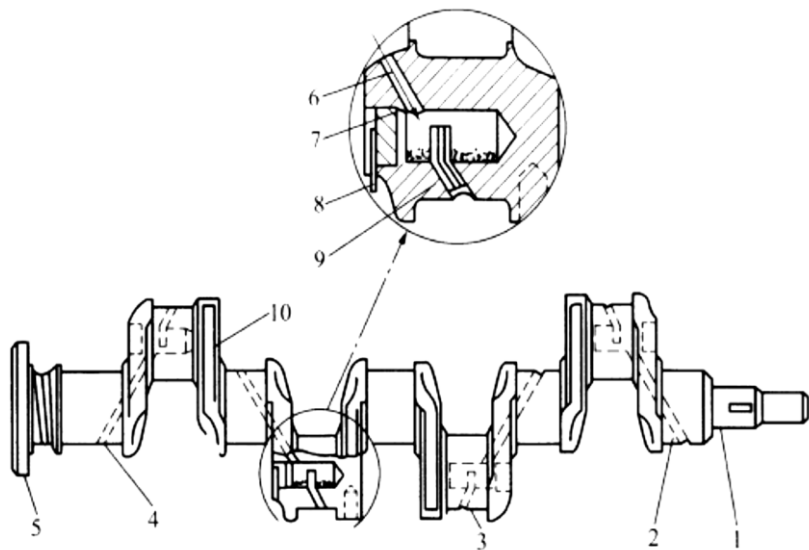


图 2-17 4125A 型柴油机整体式全支承曲轴

1. 曲轴前端 2. 主轴颈 3. 曲柄销 4、6. 油道
5. 飞轮接盘 7. 螺塞 8. 开口销 9. 油管 10. 曲柄

Solid type crankshafts
整体式

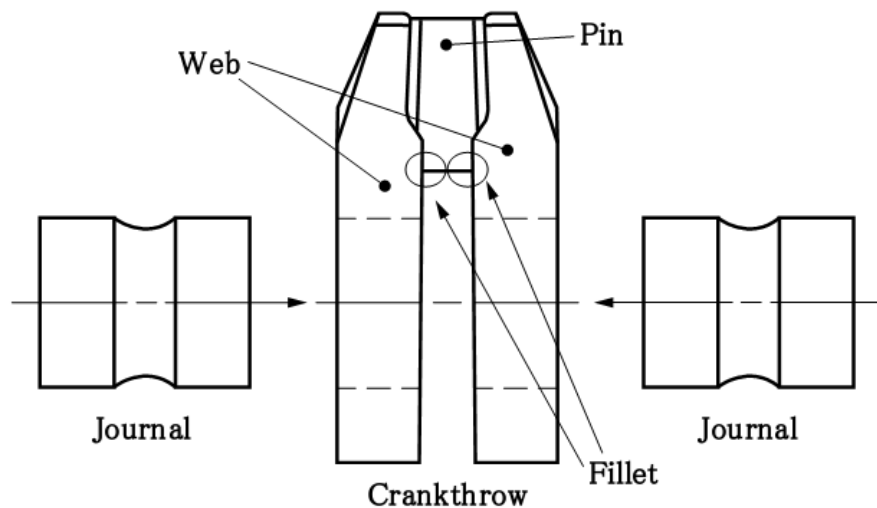


Fig. 1 Illustration of built-up type crankshaft

(semi) built-up type crankshafts
组合式

1、曲轴的材料

Materials of crankshafts

材料：高纯度、晶粒细化、组织均匀 (2016)

(1) 锻钢：35、40、45→小型柴油机曲轴；或40Cr、45Cr、35CrMoA、42CrMoA、42CrMo4V、45Mn2、42Mn2V、18CrNiMoA、18CrNiWA、18Cr2Ni4WA→中、高速或强载大功率柴油机整体式曲轴。

(2) 球墨铸铁：QT600-3、QT700-2、QT800-2、QT800-6、QT900-2等→整体式曲轴的铸造。

(3) 铸钢：组合式主轴颈→35、40和45钢，曲柄→ZG270-500、ZG310-570、ZG25MnV等铸钢，或锻造用合金钢材料。

小型机曲轴	球墨铸铁：QT600-3 普通碳素钢35、40、45钢
中高速机	•普通碳素钢35、45、 •合金钢40Cr、 42CrMoA 、45Cr、35CrMoA •球墨铸铁QT600-3、QT700-2、QT800-2。
高速强载大功率机	合金钢：35CrMoA、18CrNiMoA、18CrNiWA、18Cr2Ni4WA。
大型低速机组合式	•主轴颈35、40钢， •曲柄：ZG270-500、ZG310-570、ZG25MnV铸钢。

*船用曲轴42CrMoA 锻件的技术指标

标准要求：晶粒度 ≥ 5 级。实物奥氏体晶粒度：8级。

试样的力学性能

项目	抗拉强度 R_m / MPa	屈服强度 $R_{p0.2} / \text{MPa}$	断后伸长率 $A (\%)$	断面收缩率 $Z (\%)$	冲击吸收功 $K_{U2} / \text{J}(\text{室温})$
技术要求	≥ 1080	≥ 930	≥ 12	≥ 45	≥ 63
实物水平	1190	1120	15	55	103

潘小娟（山西太钢不锈钢股份有限公司）.浅析船用曲轴42CrMoA 的冶金质量要求及控制.《热加工工艺》2014 年8 月第43 卷第16 期：94-95,101.

2. 毛坯的制备方法

1) 钢材：锻造法

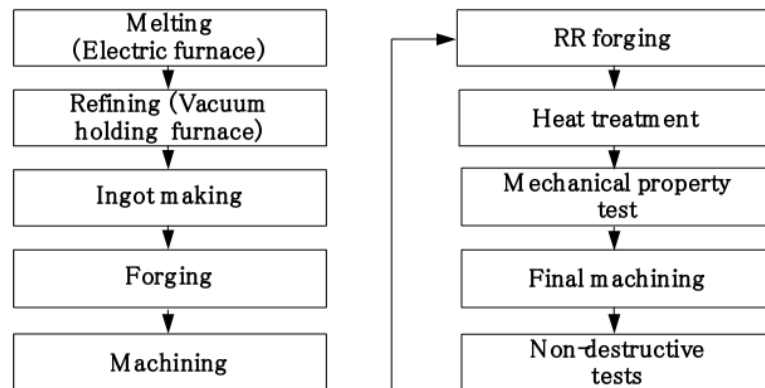
- 小型曲轴（缸径 $<200\text{mm}$ ）、批量大时采用模锻；
- 中、大型整体曲轴（缸径 $200 \sim 600\text{mm}$ ）：自由锻或墩锻；
- 大型半组合曲轴曲柄：自由弯曲锻造（2016）。

2) 球墨铸铁：铸造法

- 中小曲轴，“以铸代锻”的趋势。
- 大型半组合曲轴，其曲柄可用铸钢件。



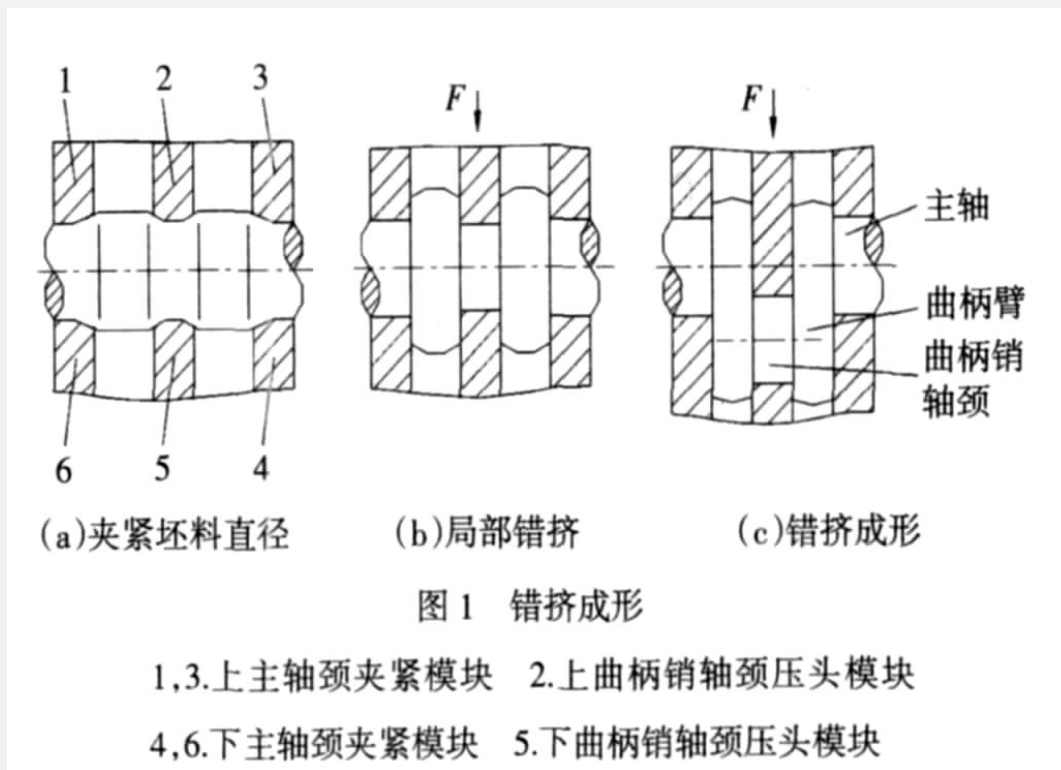
Table 2 Manufacturing sequence of solid type crankshaft



曲轴整体锻造

*整体式曲轴的墩锻弯曲（错挤、墩挤）法

即RR锻造法和TR锻造法。此法优点是能使锻件纤维沿曲轴的形状连续分布，扭曲少，材料利用率高。



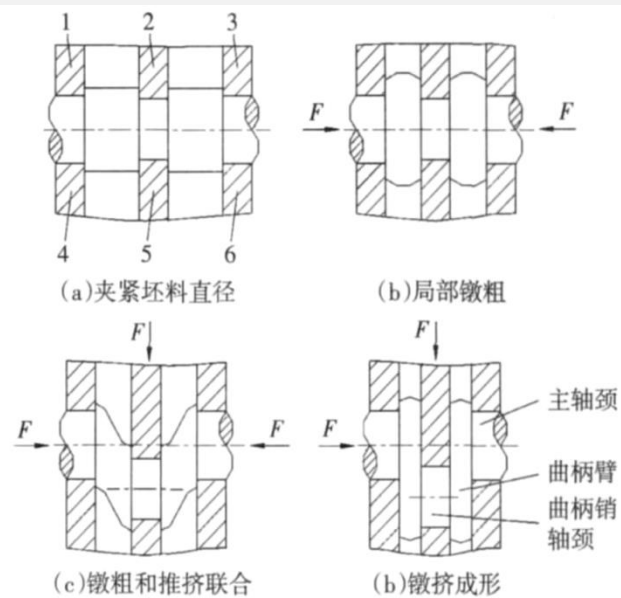
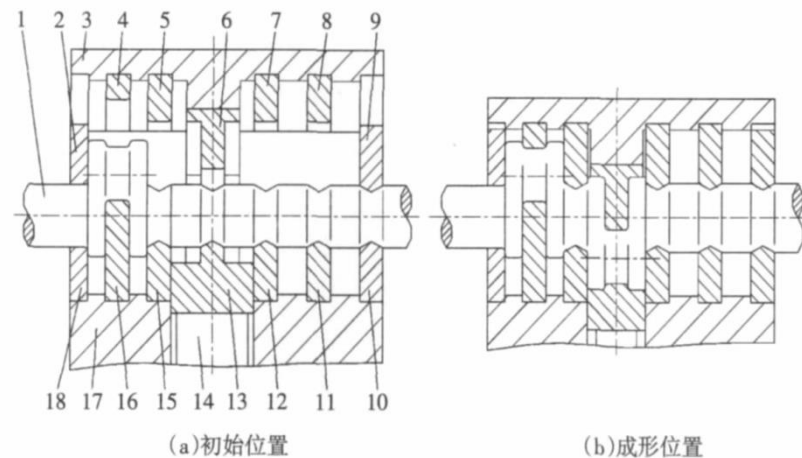
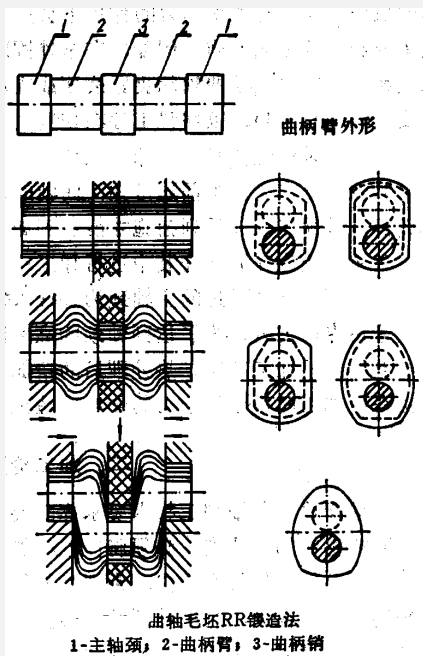


图5 锻挤成形过程

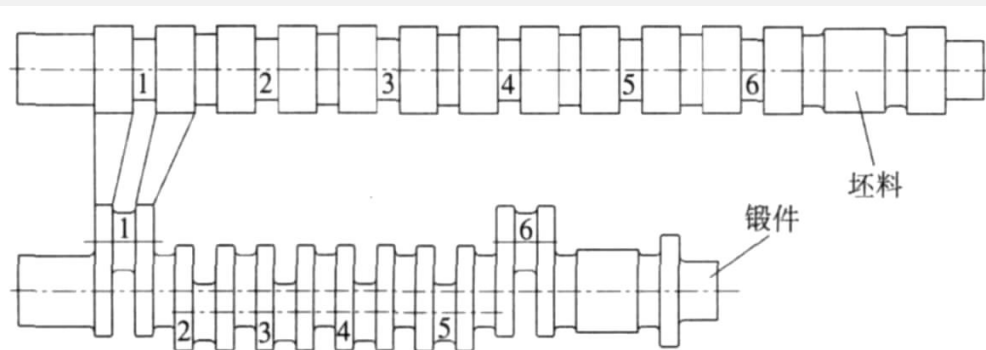


图4 全纤维锻挤锻造曲轴坯料和锻件图

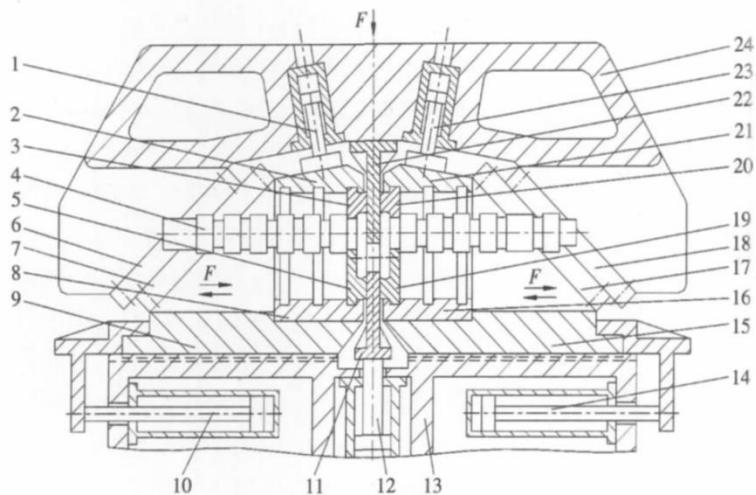


图6 液压楔式结构工装

- 1.左夹紧油缸 2.左上模块座 3.左上模块 4.坯料 5.左下模块 6.左上斜块 7.左下斜块 8.左下模块座 9.左滑动模座 10.左油缸 11.中间下模块 12.中间下油缸 13.底座 14.右油缸 15.右滑动模座 16.右下模块座 17.右下斜块 18.右上斜块 19.右下模块 20.右上模块 21.右下模块座 22.中间上模块 23.右夹紧油缸 24.上连接架

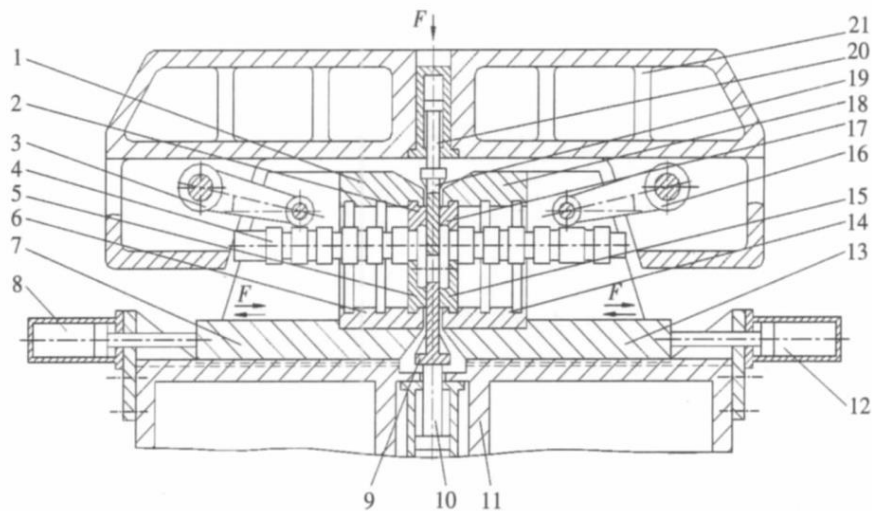


图7 液压铰链式结构工装

- 1.左上模块座 2.左上模块 3.左夹紧连杆 4.坯料 5.左下模块 6.左下模块座 7.左滑动模座 8.左油缸 9.中间下模块 10.中间下油缸 11.底座 12.右油缸 13.右滑动模座 14.右下模块座 15.右下模块 16.右夹紧连杆 17.右上模块 18.右上模块座 19.中间上模块 20.中间上油缸 21.上连接架

*热处理

对**碳素钢**曲轴锻件应进行**正火处理**，粗加工后进行**退火处理**，硬度为HB180~240。

对**合金钢**曲轴锻件应经**正火处理**，粗加工后进行**调质处理**，硬度为HB207~286(有时可达HB302~364)。

对**球墨铸铁**曲轴应经**正火处理**，精加工前应进行**退火处理**，硬度为HB220~290。



热处理炉

二、曲轴的技术要求

The demands on the machining of the crankshaft

Wärts
圆度
C圆度

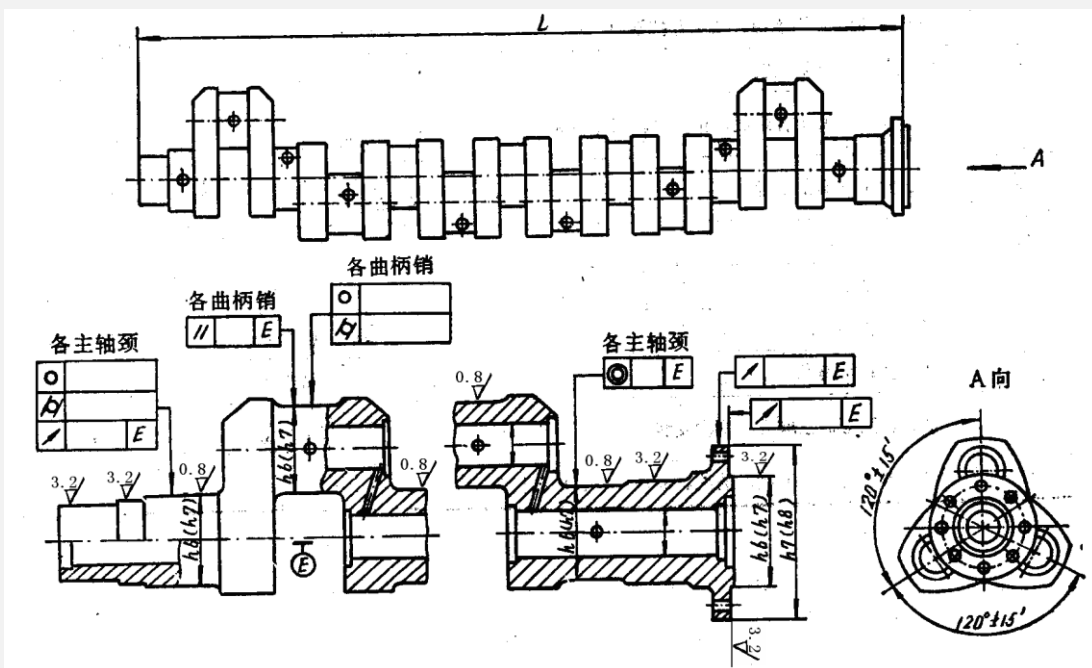
1、尺寸精度和形状精度

- ①**主轴颈和曲柄销的直径**：低速机IT7，中、高速机> IT6 ；
- ②**轴颈的形状公差 (圆度和圆柱度)**：低速机IT9级公差的四分之一，高速机IT7级公差的四分之一。

国内大型船用曲轴表面圆度值达到0.035mm。（2013年）

曲轴各轴颈圆度和圆柱度公差 (mm)								表7-1
形状公差 轴颈直径 值	~75	>75~100	>100~150	>150~250	>250~350	>350~500	>500~600	
主 轴 颈	0.005	0.0075	0.01	0.013	0.015	0.02	0.025	
曲 柄 销	0.005	0.01	0.0125	0.015	0.02	0.025	0.03	

③圆角：在加工时应保证正确的圆角半径。



2、位置精度

(1) 所有主轴颈的轴线应在一条直线上。

- 高速机：径向圆跳动量 $0.02\sim 0.04\text{mm}$,
- 中、大型机：径向圆跳动量 0.04mm (原教材 $0.04\sim 0.08\text{mm}$, 2016)。

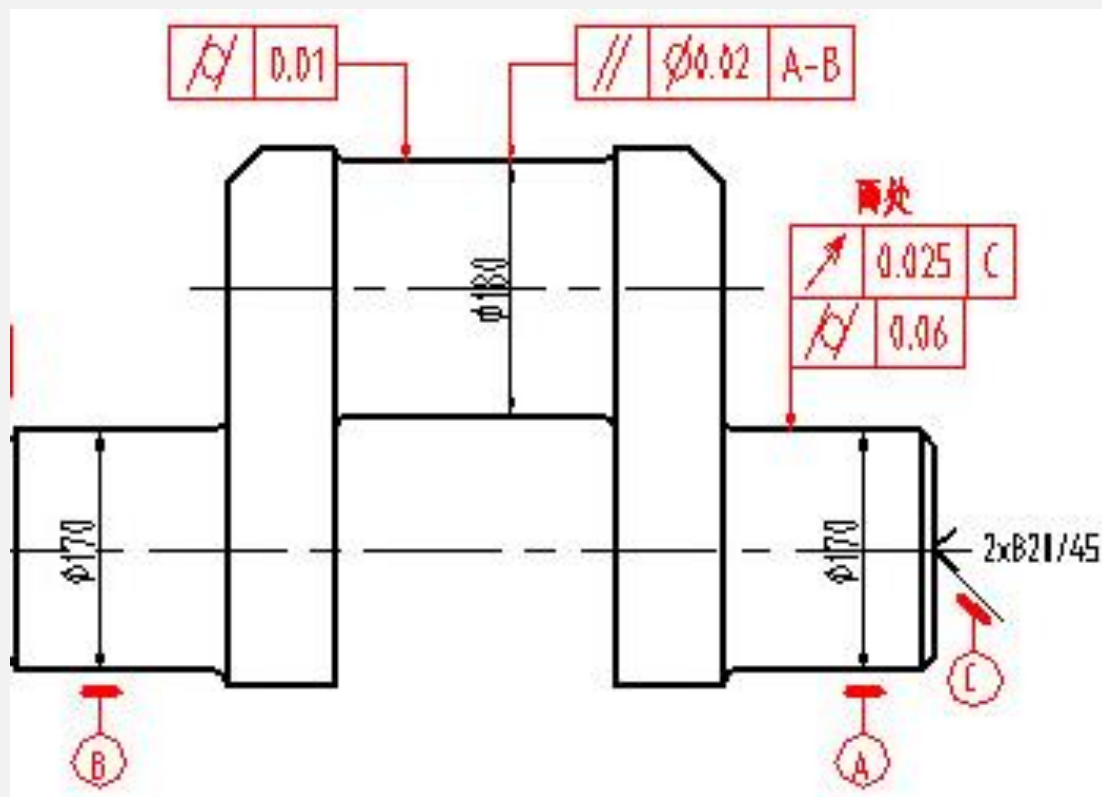
主轴颈径向圆跳动公差值 (mm)

表7-2

曲柄数目	轴颈支承 数 目	主 轴 颈 直 径						
		~ 75	$>75\sim 100$	$>100\sim 150$	$>150\sim 250$	$>250\sim 350$	$>350\sim 500$	$>500\sim 600$
3	1	0.015	0.02	0.025	0.03	0.04		
4	2~3	0.02	0.025	0.030	0.04	0.05		
5~8	3~4	0.025	0.03	0.035	0.05	0.06	0.07	0.08
9~12	5~6			0.04	0.055	0.065	0.075	0.085

(2) 曲柄销与主轴颈轴线的平行度误差及曲柄间角度误差。

- 全长均为0.15/1000，MAN 要求任意母线为0.10/1000；
- 曲柄间的夹角误差 $\leq \pm 15'$ 。



(3) 曲轴凸缘端面应与曲轴轴线垂直，外圆对曲轴轴线同轴。

端面圆跳动误差：

$D_{\text{凸缘}} < 300\text{mm}, \leq 0.03\text{mm};$

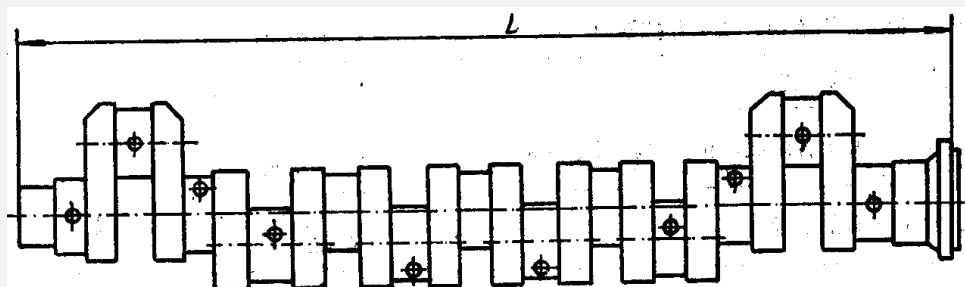
$D_{\text{凸缘}} > 300\text{mm}, \leq 0.05\text{mm}.$

径向圆跳动误差<表中的规定要求。

凸缘外圆对曲轴轴线的径向圆跳动公差值 (mm)

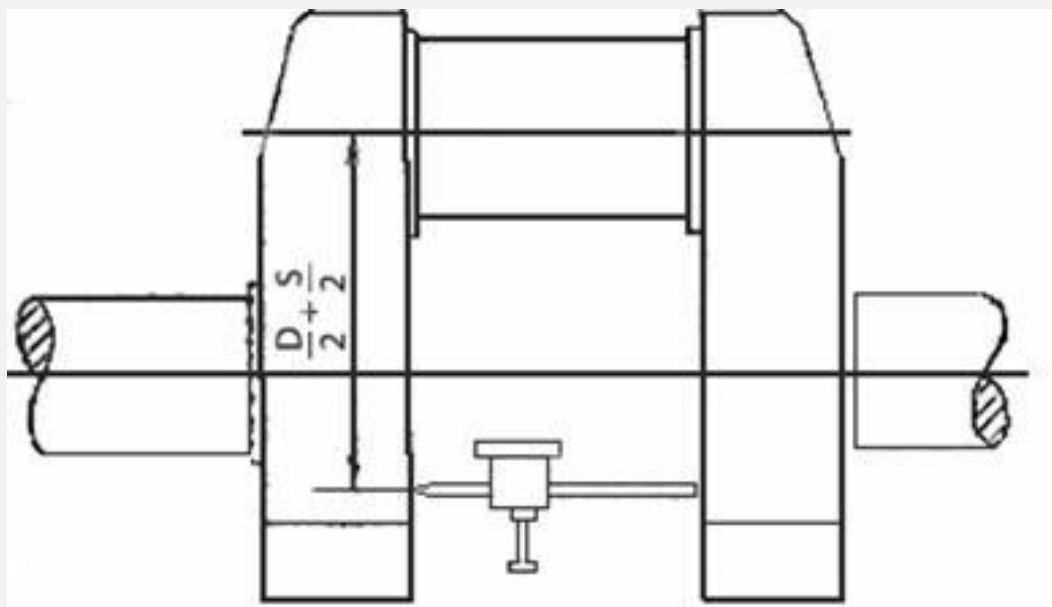
表7-3

曲轴凸缘直径	~100	>100~250	>250~500	>500
径向圆跳动公差	0.02	0.03	0.04	0.05



(4) 曲轴的臂距差

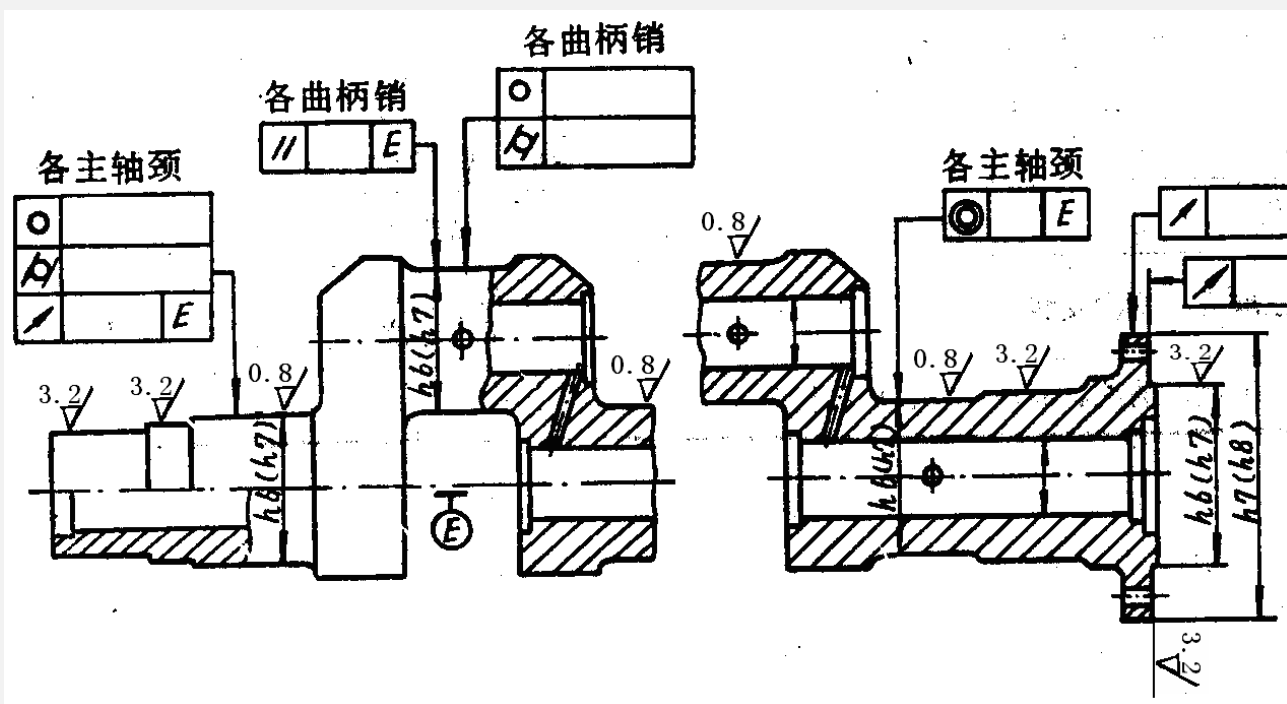
- 每m活塞行程 $\leq 0.075\text{mm}$
- 当活塞行程 $<400\text{mm}$ ，每米活塞行程 $\leq 0.10\text{mm}$ ，但总值 $\leq 0.03\text{mm}$ 。



3、表面粗糙度

- (1) 曲轴主轴颈和曲柄销
- (2) 油孔孔口和轴颈过渡圆弧处
- (3) 曲轴凸缘外何和端面
- (4) 曲柄臂侧面
- (5) 曲轴减轻孔(钢曲轴)
- (6) 如果合金钢，粗糙度提高一级。

国内大型船用曲轴表面
(如主轴颈和曲柄销)粗
糙度达到Ra 0.4。
(2013年)



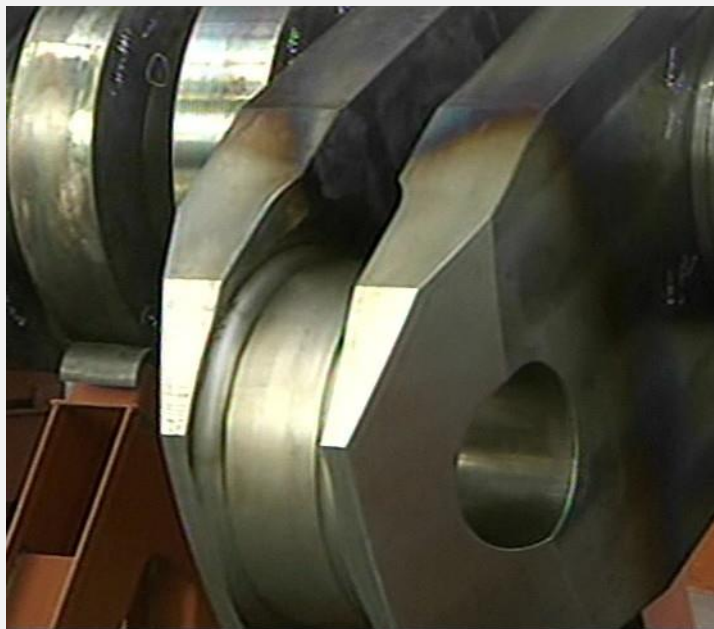
4、其他方面的要求

因它对应力集中非常敏感，

加工表面：不允许有裂纹、麻点、凹陷、毛刺和碰伤等缺陷

非加工表面：不允许有氧化皮、分层、裂纹、折叠及过烧等缺陷

高速机动平衡精度： $\leq 0.005\text{N}\cdot\text{m}$ 。



二、整体式曲轴的加工

Machining technology of built-up crankshaft

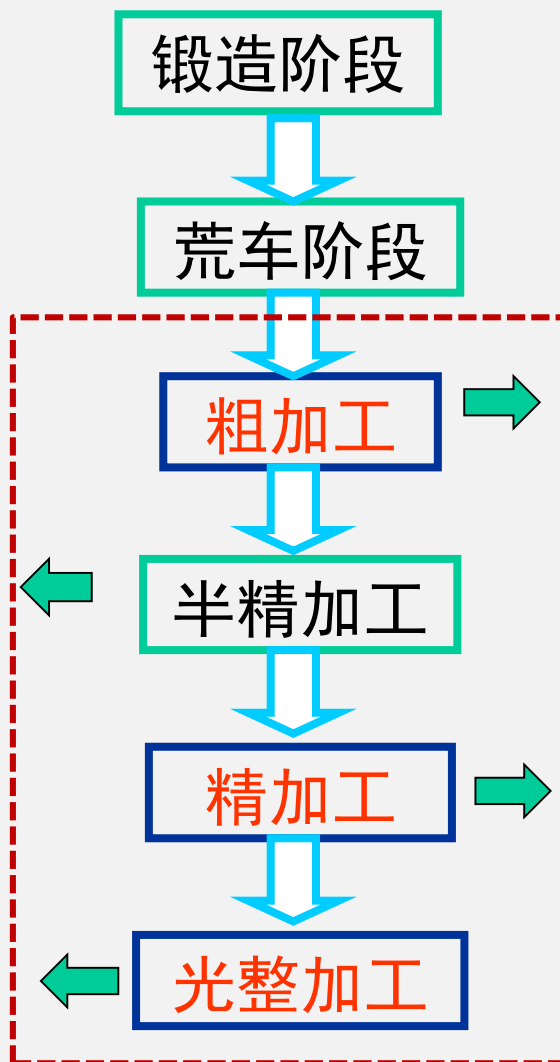
1、曲轴加工阶段和工艺过程

(1) 加工阶段

加工分为四个加工阶段

半精加工的主要目的是为精加工阶段作好准备。

达到Ra0.4粗糙度



四. 高速柴油机曲轴加工特点

- 1 采用优质合金钢
- 2 技术要求高
- 3 毛坯采用模锻等;
- 4 加工分为四个加工阶段
- 5 粗加工前进行正火处理
- 6 采用曲轴加工机床和多轴钻孔专用机床
- 7 粗加工后采用调制处理
- 8 精加工可在专用曲轴磨床加工
- 9 进行超精加工。

曲是用高生产率的加工方法(如铣削)去除工件上多余的金属。

达到IT6级公差

(2) 工艺过程

对于中、大型整体曲轴，均应按工序集中的原则

中小型整体曲轴的主要加工顺序：

- 1)划线及加工定位基准(打顶针孔等)；
- 2)粗加工主轴颈；
- 3)曲柄成形(自由锻曲轴)，或凸缘螺孔加工，
- 4)粗加工曲柄销和曲柄臂，
- 5)粗加工曲轴减轻孔(锻造曲轴)
- 6)中间热处理，
- 7)修正精加工定位基准；
- 8)精加工主轴颈，
- 9)精加工曲柄销和曲柄臂，
- 10)精加工曲轴减轻孔(锻造曲轴)
- 11)斜油孔和键槽加工；
- 12)主轴颈和曲柄销光整加工。

对于曲轴来说，通常都是从加工定位基准或划线开始的，然后对各主要表面进行粗加工，接着插入中间热处理。

精加工前应修正精加工工序的定位基准，次要表面的加工(如减轻孔、斜油孔、键槽等)可安排在主要表面加工工序之间，但应以不影响主要表面加工精度和光洁度的获得为前提。

如果轴颈必须光整加工，则应该安排在工艺过程的最后，以免再进行其他工序时破坏轴颈的表面光洁度。

曲轴机械加工工序表
(材料: 35钢 毛坯: 自由锻件、经正火处理)

表 1-4

工序号	工 序 主 要 内 容	定 位 基 准	机床或工作地点
1	毛坯检验、划轴线和加工线	毛坯表面	划线平台
2	打曲轴两端顶针孔	按划线痕	专用机床、镗床或手电钻
3	粗车各主轴颈、曲柄外侧面及凸缘外圆和端面(两次装夹)	顶针孔	车 床
4	划凸缘螺孔线、各轴颈减轻孔轴线及安装曲柄销加工夹具的找正线	主轴颈	划线平台
5	钻凸缘螺孔	划线痕、主轴颈	钻床或专机
6	粗加工曲柄销(曲柄成形)和曲柄内侧面、曲柄臂外形	主轴颈、凸缘外圆及端面、划线痕	车床或专用铣床、回转刀架车床
7	钻、镗轴颈减轻孔	划线痕、或主轴颈	镗床或专机
8	热处理	按规范	热处理车间
9	修正定位基准, 两端及中间主轴颈、凸缘外圆	主轴颈及凸缘外圆	车床
10	半精车曲柄销及曲柄内侧面	同工序 6	车床
11	车曲柄臂外形至要求尺寸	同工序 6	车床
12	半精车主轴颈及曲柄外侧面、凸缘外圆和端面(两次装夹)	主轴颈及凸缘外圆	车床
13	精镗减轻孔至要求尺寸	主轴颈	专用机床
14	精加工修正定位基准(同工序 9)	同工序 9	车床
15	精车曲柄销及曲柄内侧面至要求尺寸	同工序 6	车床
16	精车主轴颈、曲柄外侧面、凸缘外圆及端面至要求尺寸(两次装夹)	同工序 12	车床
17	精镗凸缘螺孔至要求尺寸	主轴颈	专机
18	铣键槽	主轴颈、划线痕	铣床或专机
19	钻所有斜油孔和直油孔	主轴颈	专用机床或镗床
20	主轴颈光整加工	主轴颈	专用机床
21	钳工修整, 油孔口倒角砂光、去飞边锐角		钳工
22	成品检验		

在小批量生产条件下曲轴机械加工工艺过程。

*实例：船用柴油机的大型曲轴

八缸，长4962.5mm，主轴径295mm，连杆轴径290mm。材料42CrMo，毛坯为自由锻钢件。

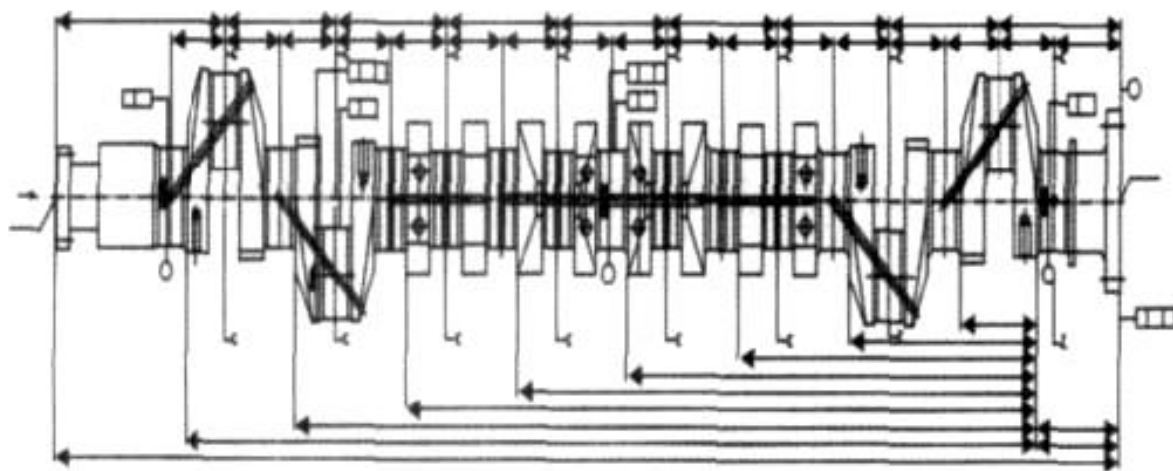


图1 曲轴简图

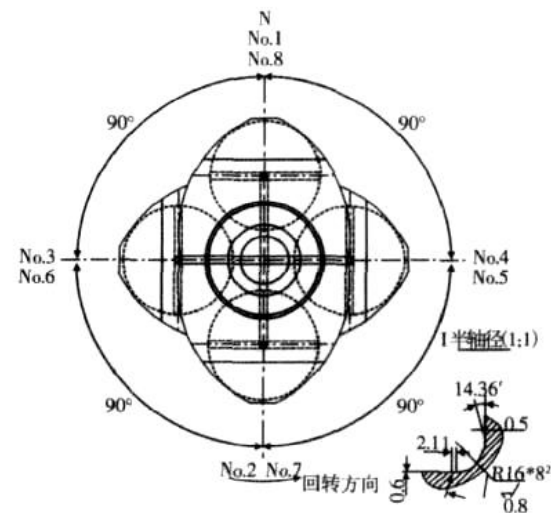


图2 曲轴的径面分度

刘玉岩, 任光胜(重庆大学机械工程学院).船用柴油机的大型曲轴机械加工工艺浅析.
机械设计与制造.第12 期,2008(12):242-243.

工艺流程简要介绍如下：

- <01>打中心孔→
- <02>车夹位→
- <03>粗车主轴径→
- <04>铣定位→
- <05>粗车连杆轴径→
- <06>钻攻飞轮螺孔→
- <07>钻细长油孔→
- <08>清洗→
- <09>车大头平端面及其它→
- <10>车小头平端面及其它→
- <11>热处理：调质→
- <12>精车主轴径→
- <13>精车连杆轴径→

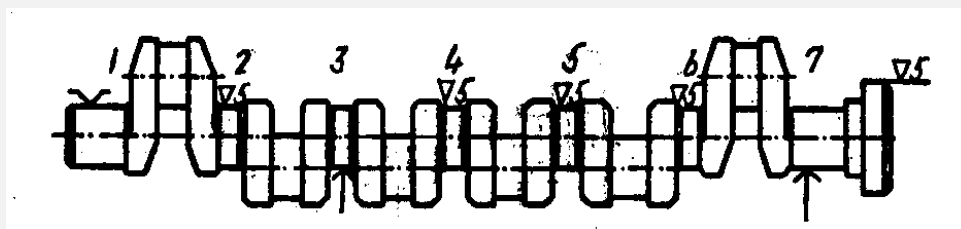
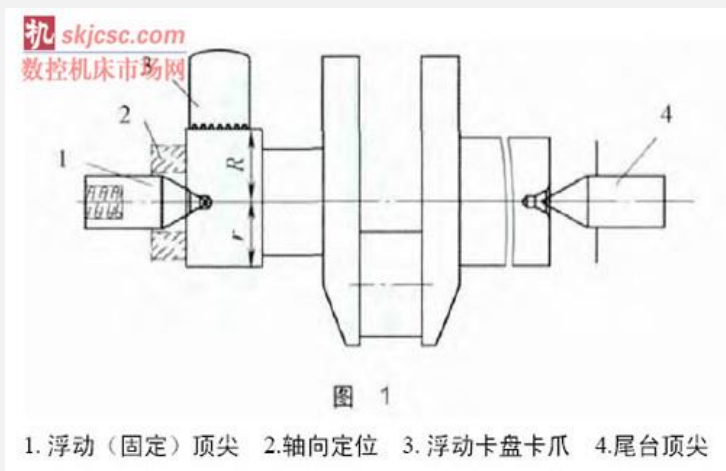
- <14>热处理：淬火→→
- <15>粗磨主轴颈→
- <16>粗磨连杆轴颈→
- <17>钻铰定位销孔→
- <18>铣键槽→
- <19>修中心孔、倒角→
- <20>精磨主轴颈→
- <21>精磨连杆轴颈→
- <22>精磨大、小头→
- <23>检验→
- <24>磁粉探伤→
- <25>去毛刺→
- <26>油孔口抛光→
- <27>抛光。

2.主轴颈加工

Selection of the positioning reference

通常是以顶针孔、主轴颈外圆面、第一主轴颈的两个台阶面（两侧面）、凸缘外圆及端面为定位基准。

对不同结构和不同毛坯的曲轴，其定位基准的选择和使用是有差异的。



方案1：以两个中心孔为精基准

方案2：以主轴颈外圆面为精基准

➤中、大型自由锻整体曲轴：粗加工：以顶针孔初定位；以后工序：主轴颈和凸缘外圆及端面。

➤铸造整体曲轴：粗加工：以顶针孔初定位；或凸缘外圆+小端顶针孔

*实例：主轴颈加工的定位效果

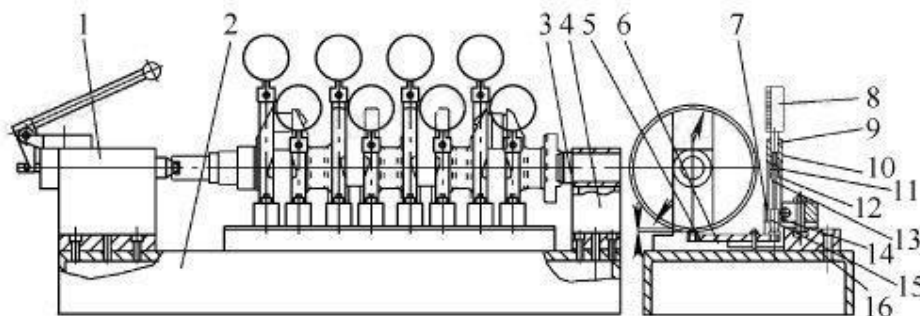


图 2

1. 顶尖部件 2. 底座 3. 顶尖 4. 顶尖座 5. 触头
6. 杠杆 7. 测体 8. 指示表 9. 夹套 10. 夹座
11. 套管 12、14. 套 13. 弹簧 15. 顶杆

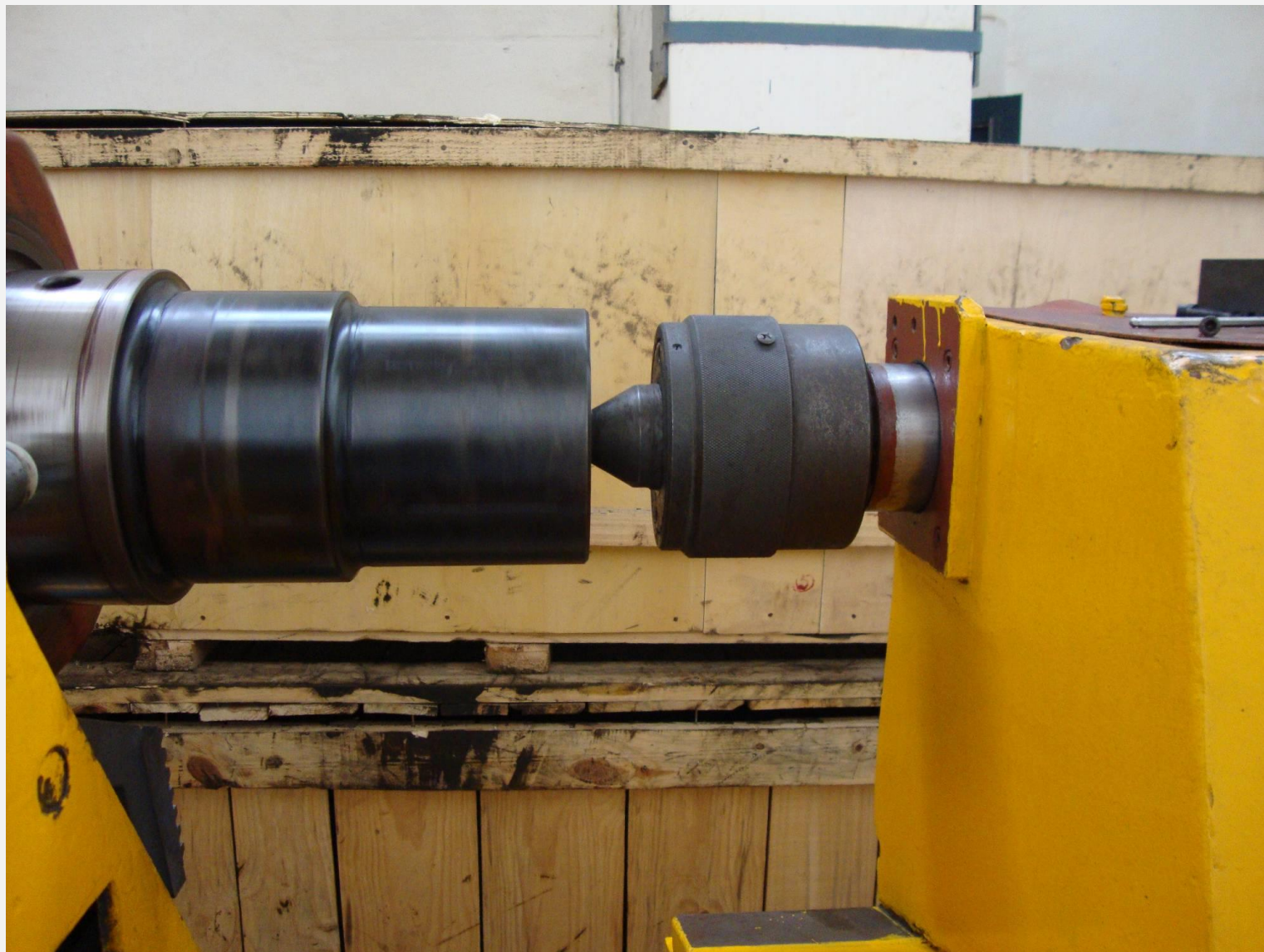
中国数控机床网
www.cnc-cnc.com



方案1：以两个中心孔为精基准

方案2：以主轴颈外圆面为精基准

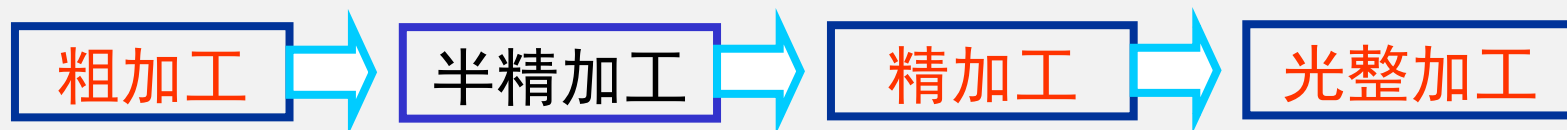
*实例：主轴颈加工的定位效果



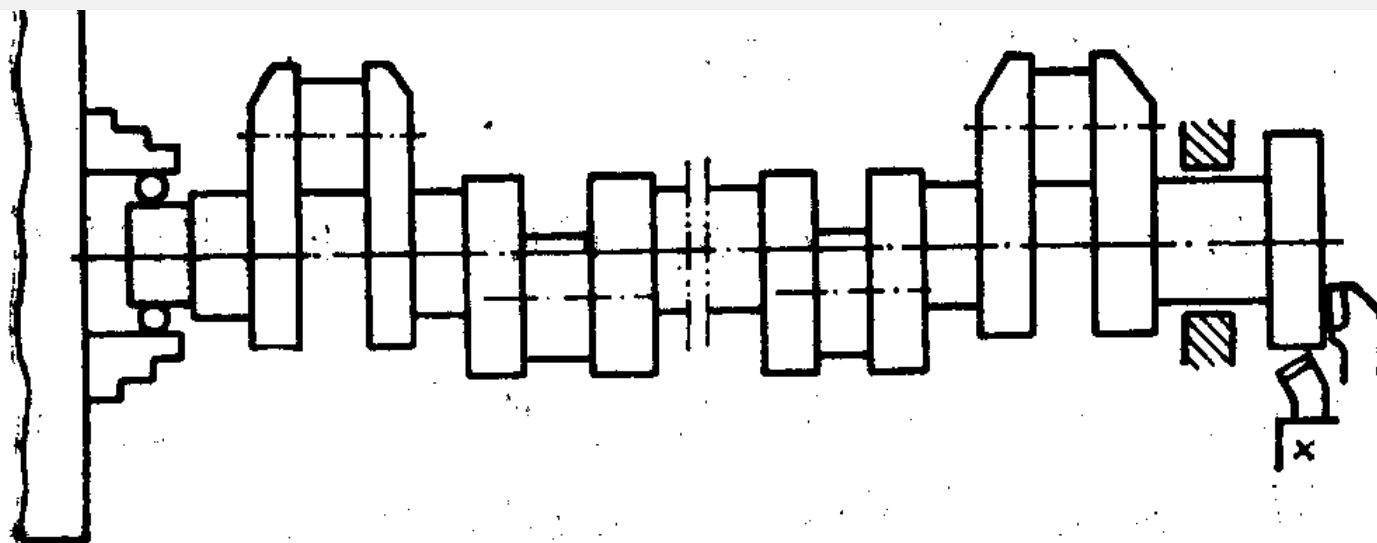
*实例：主轴颈加工的定位效果



问题：请介绍曲轴主轴颈和曲柄销加工阶段划分、定位基准选择和加工顺序。

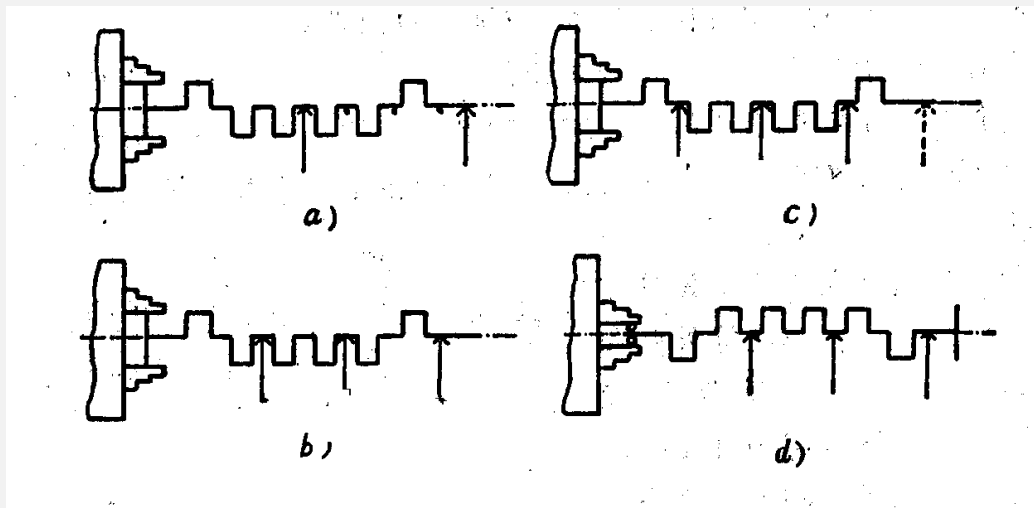


(1) 防止轴颈被夹毛，必须在轴颈与卡爪间加垫小铜棒

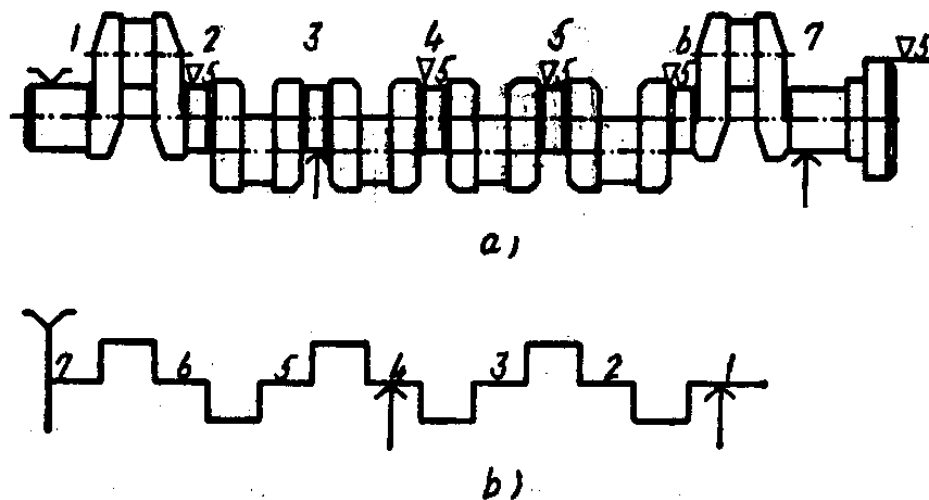


半精车凸缘外圆和端面装夹简图

(2) 无论是铸造或锻造毛坯，都必须加装中心架



对于铸造毛坯，在有些情况下，主轴颈粗加工时仍加装中心架。



曲轴主轴颈粗加工

注意：主轴颈加工必须加装中心架！

在精车各主轴颈的过程中，安放或移装中心架时;都必须严格校正轴线;使支中心架处各主轴颈的径向圆跳动量小于成品曲轴该项要求的一半，各曲柄臂距差值小于成品曲轴该项要求的一半。



*实例：主轴颈加工的中心架



*新技术： 主轴颈加工的车拉工艺

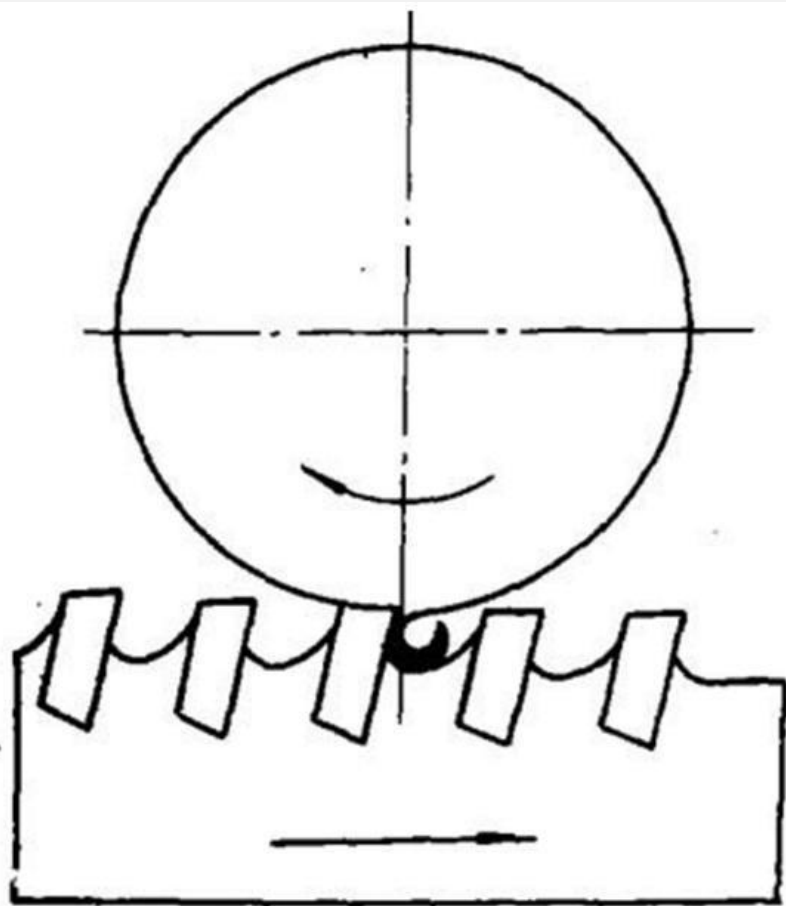


图 1 车拉示意图

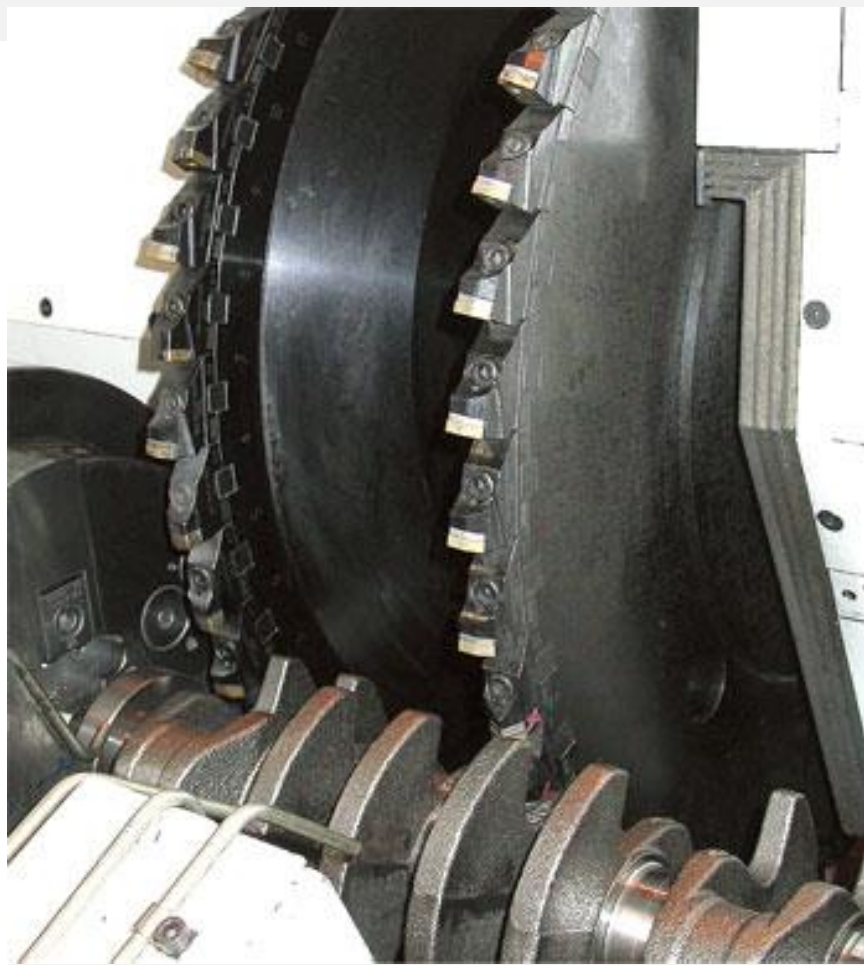
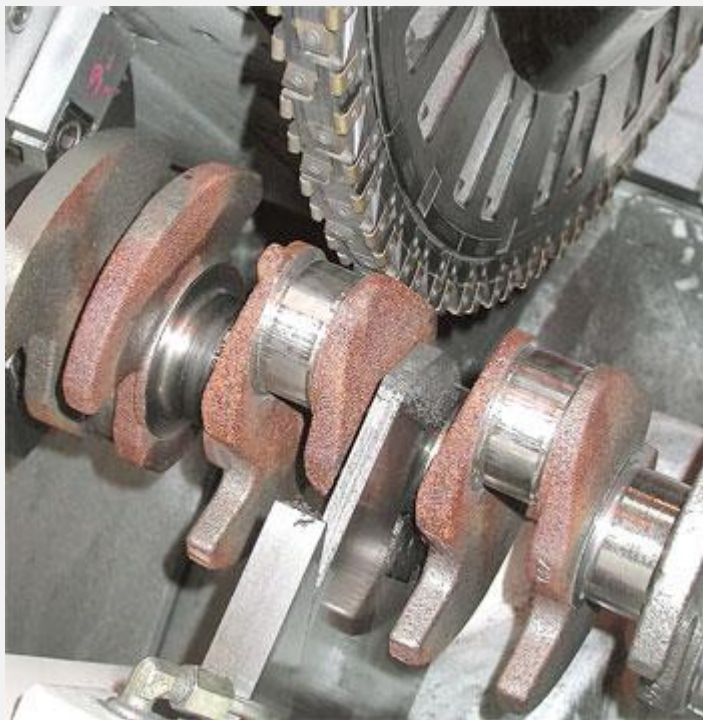


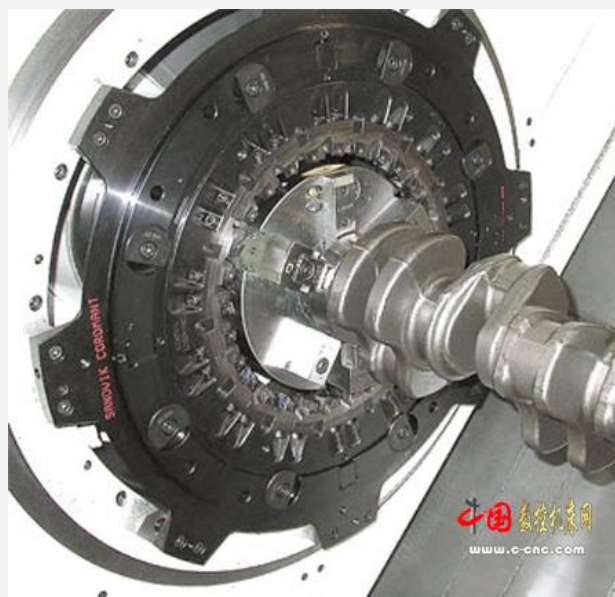
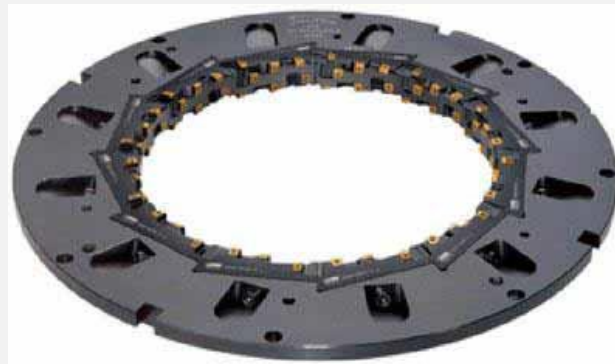
图1 双刀盘车-车拉机床

车种的时具车曲形具旋削过每零加深旋与势工而接车削率及

*新技术： 主轴颈加工的内、外铣工艺



外铣技术
(逐渐淘汰?)



内铣技术

*新技术： 主轴颈加工的数控磨削技术



图1 曲轴磨削

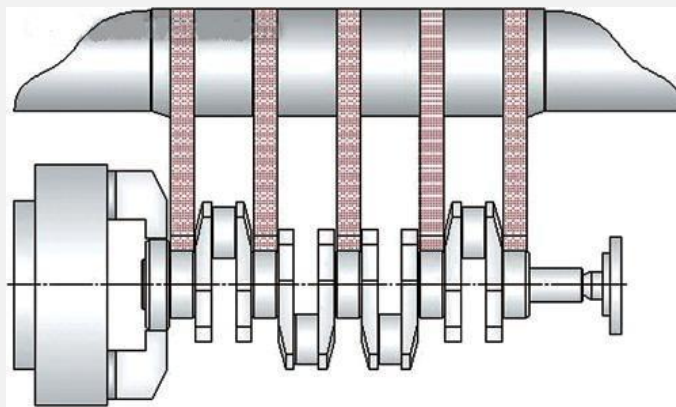
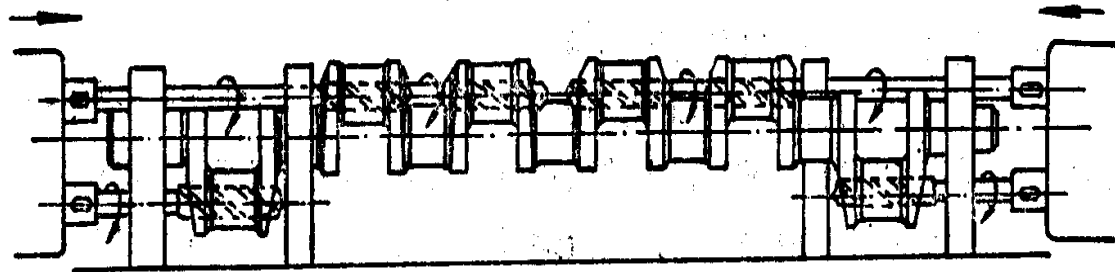


图2 五砂轮磨削主轴

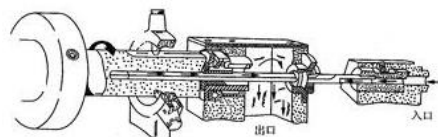
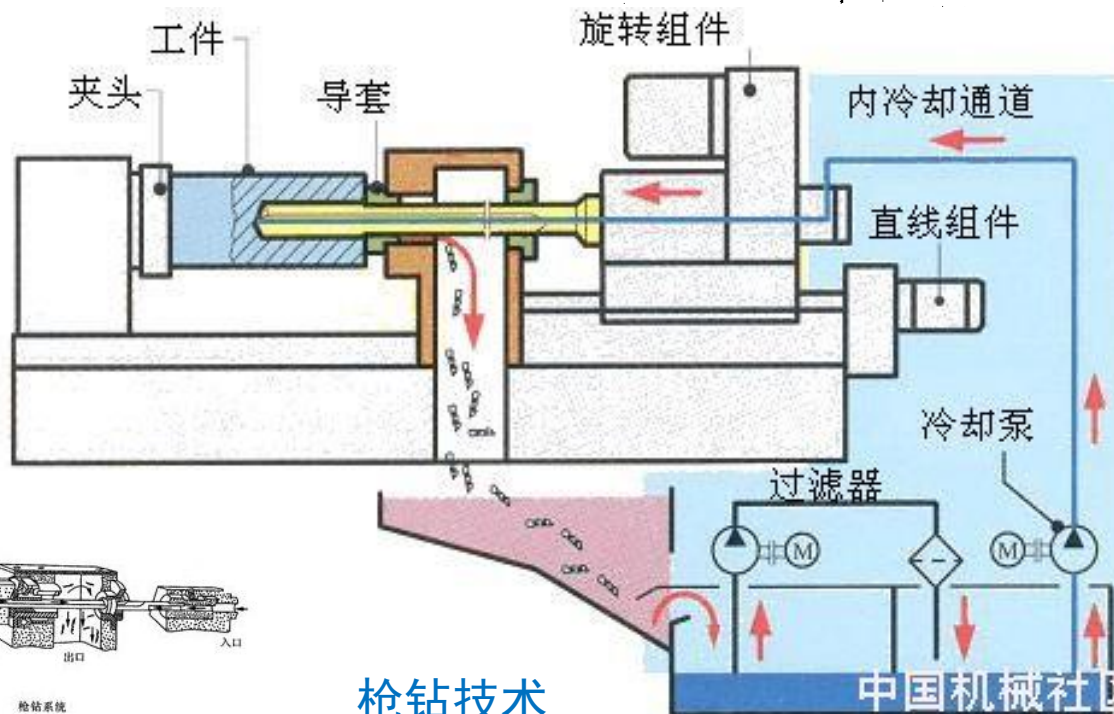
传统的磨削工
削线速度为3
轴磨床，砂轮
为手动进给，
的磨削余量之
度低，需技术
作才能磨出精
曲轴磨削可采
单序加工和工
艺。采用单序
工磨削效率很
轴颈的跳动量
砂轮一次修整
证各轴颈尺寸
缺点是柔性差
一个系列产品
前端和后端的
合磨削等。

CBN砂轮耐
削过程中砂轮
是不变的，一
削（600~800
CBN砂轮还可
的磨削速度，
上一般可采用
140）m/s的磨
削效率很高。

曲轴减轻孔、深油孔加工



在双面六轴钻专机上加工减轻孔



枪钻系统

曲轴属于细长类零件，基准是两端中心孔，按种：一种是利用双V型块支承轴颈的几何中心，中心孔称为几何中心孔的质量定心机测出曲轴心上加工出的中心孔称毛坯的几何形状误差和一般两者并不重合。

国内生产线中多采用几何中心孔作定位中心孔时，工件旋转会产生离心质量，降低定心元件的工后剩余的动不平衡量国外大都采用质量中心测试设备来测试质量中心孔，并且可将铣两端长合并为一道工序，采用效率很高。但需要注意形严重或质量严重分布心孔仍不能彻底解决上认为曲轴的质量中心孔坏质量的好坏合理选用加工余量小且加工余量的质量中心孔与几何中心必花费较高的经费购置毛坯质量较差，加工余不均匀，则优先选用质

枪钻技术

中国机械社区

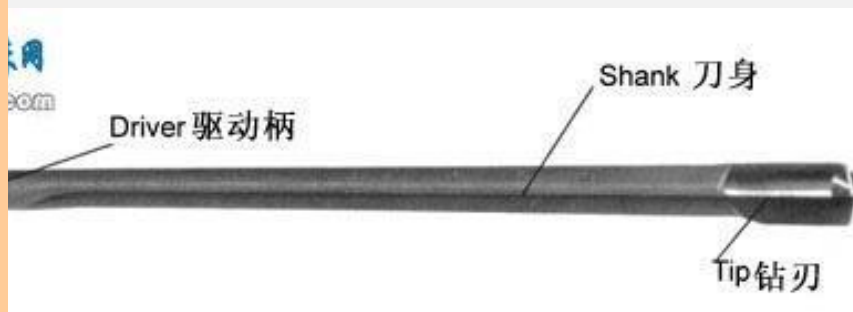
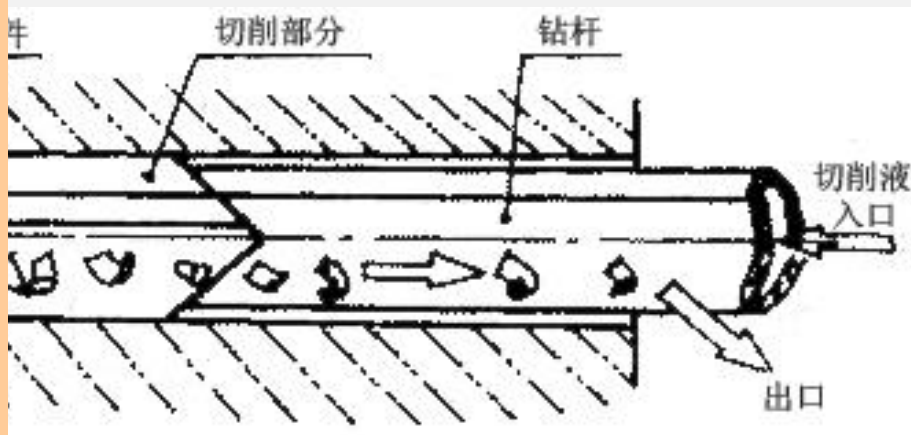
*钻细长油孔



*枪钻技术加工曲轴深油孔

口工是曲轴尤其是锻造的一个难题。曲轴颈一般在5~8mm之颈到连杆颈倾斜贯通,而且,而且在曲面上加工。加工深油孔最好用枪钻工艺。

用来加工深孔（径长比大，而且也可用来加工浅孔）。枪钻由钻柄（刀具）、钻杆（用于加工孔的长度确定，好的材料）、钻头（刀尖是偏心的，采用材料）三部分焊接在一起，外侧面有冷却液依靠中间通孔实现冷却液从后刀而上的小孔直接对切削区冷却。冷却时，其切屑能通过直V型槽有效排出。在加工细长孔时，枪钻、镗孔、铰孔一次走刀便可加工出高精度（IT7~IT8级）、直线度（0.01mm/1000mm）、粗糙度（Ra1.2~0.1）孔。



当用枪钻加工的深油孔时，尺寸适合的专用采用的钻套是或合金工具钢枪钻钻套，其63~65，内孔为Ra1.6~3.2，大允许同轴度前端面最大允许为5um，钻套表面的距离不钻套和主轴的不超过5um，头部的间隙保之内。使用枪轴必须有较高向刚度，使用取切削用量。切削速度Vc为100m/min，进0.015~0.03mm为2.5~6.0MPa0.2~0.65L/s。

此外,加工发
深油孔时还需
枪钻油。一般
液应有极压添
证在高压下形
止产生干摩擦
粘度与钻孔直
径越小,粘度
应随孔深的增
以保证切削油
速,达到通畅

曲轴轴颈光整加工



曲轴冷压光加工



细砂布砂光

*光整加工效果



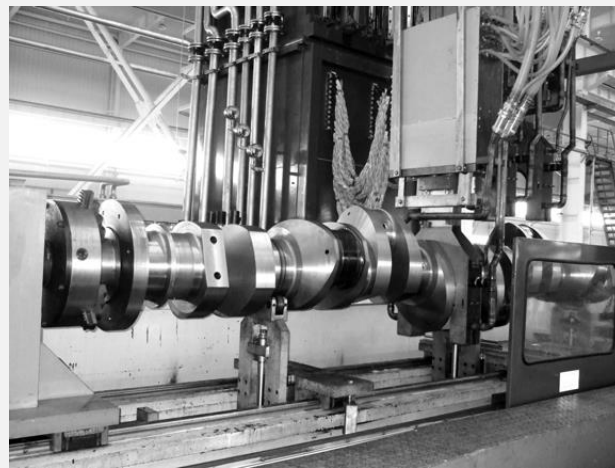
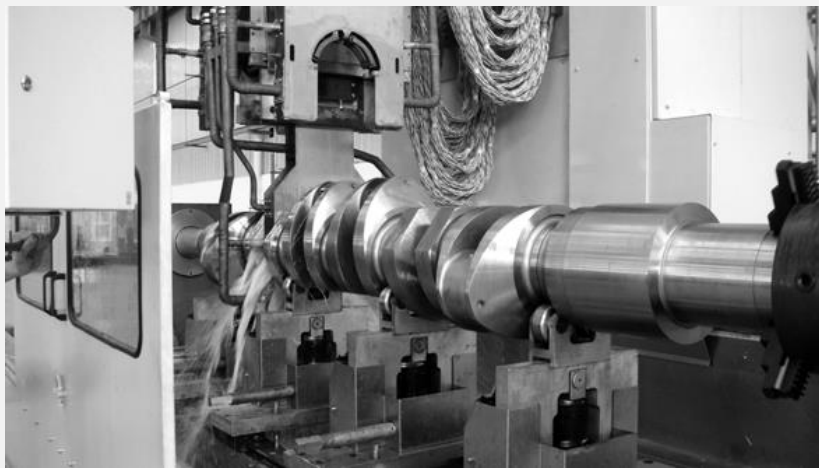
未经滚磨光整加工的曲轴



滚磨光整加工的曲轴

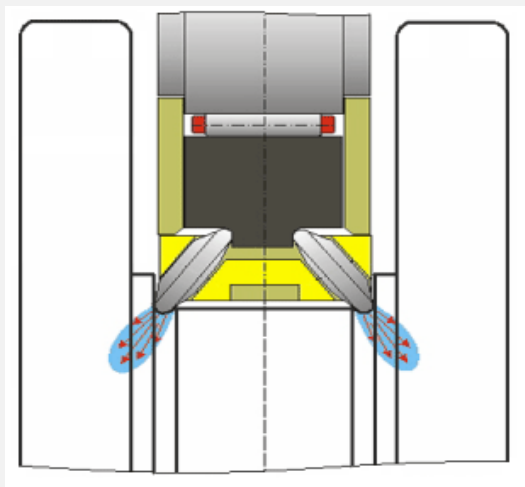
7. 曲轴表面强化工艺

- ①化学热处理工艺，包括离子渗氮、气体渗氮和液体渗氮等。
- ②轴颈感应淬火后轴颈圆角滚压复合处理工艺（简称为圆角滚压）。
- ③轴颈与圆角同时感应淬火工艺（简称为**圆角感应淬火**）。



柴油机曲轴淬火现场

*圆角滚压工艺



曲轴圆角滚压强化工艺



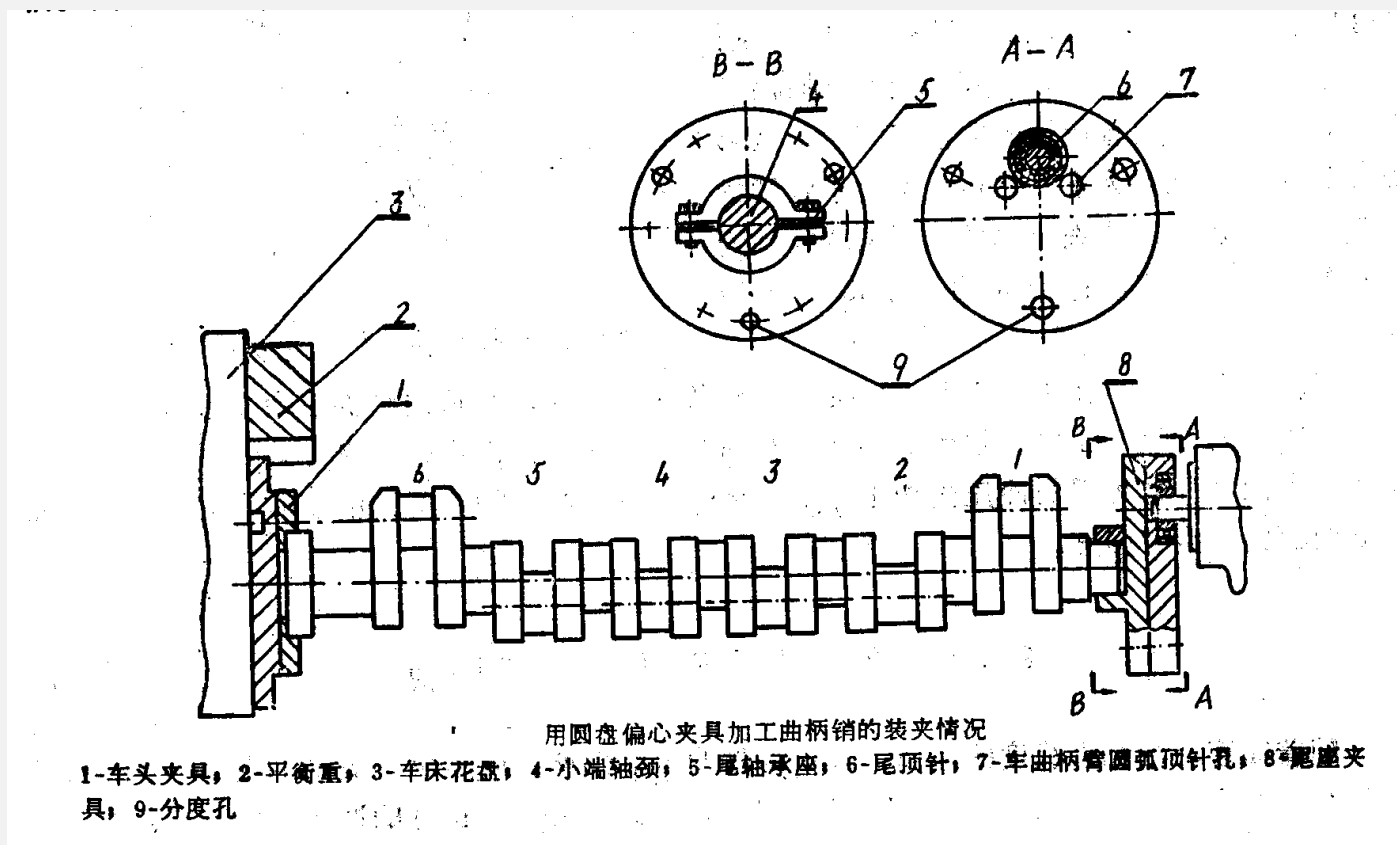
图4 圆角滚压后的曲轴轴颈圆角形态

*电感应曲轴淬火



3.曲柄销加工

- 粗精加工：主轴颈、凸缘外圆和端面及曲柄销的轴线
- 角度定位方式：专用夹具上的分度装置的分度孔

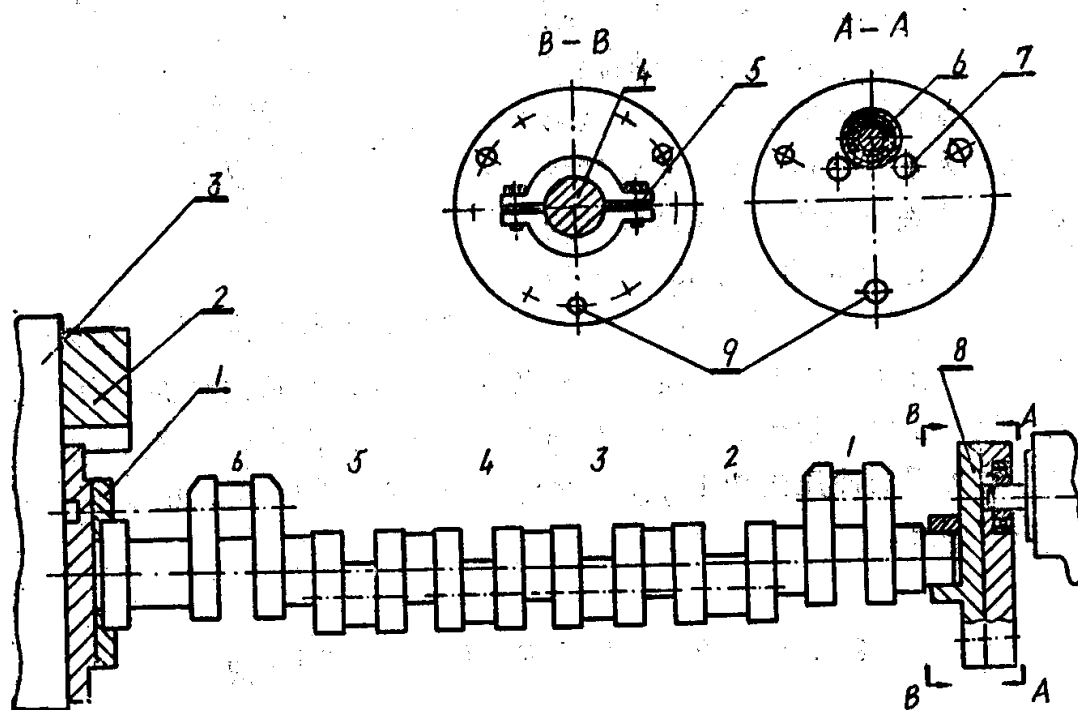


*实例：曲柄销加工的定位效果



➤ **两个问题：** 角度定位和曲轴旋转时的不平衡。

➤ **夹具：** 普通车床圆盘形偏心夹具



用圆盘偏心夹具加工曲柄销的装夹情况

1-车头夹具，2-平衡重，3-车床花盘，4-小端轴颈，5-尾轴承座，6-尾顶针，7-车曲柄臂圆弧顶针孔，8-尾座夹具，9-分度孔

*曲轴磨床的曲柄销的加工夹具



4.其他轴颈表面的加工技术

- (1) 车、铣复合数控加工：
- (2) 宽刃刀具加工：
- (3) 全轴车削加工：
- (4) 轴颈的外铣和内铣加工：
- (5) 轴颈的车拉加工：

*新技术：曲柄销加工的复合加工技术

复合加工是指一次装夹磨削所有主轴颈和连杆轴颈，

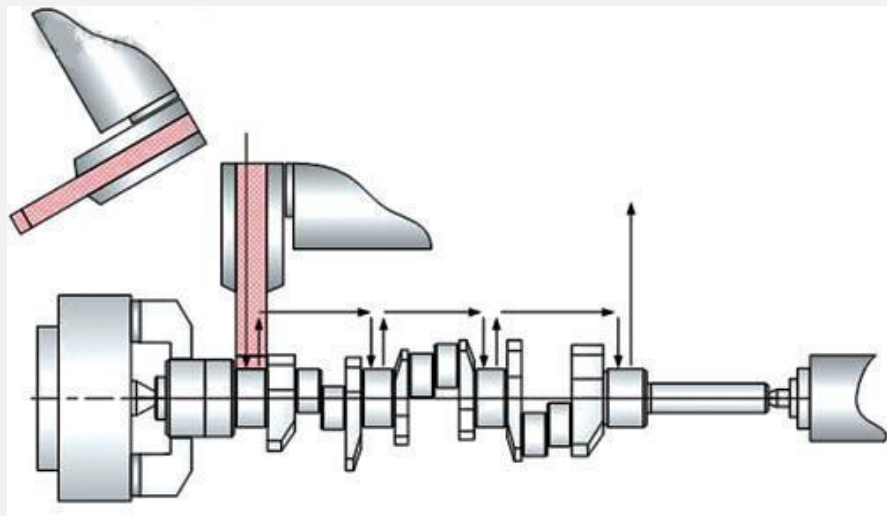


图1 顺序磨削主轴颈和连杆颈

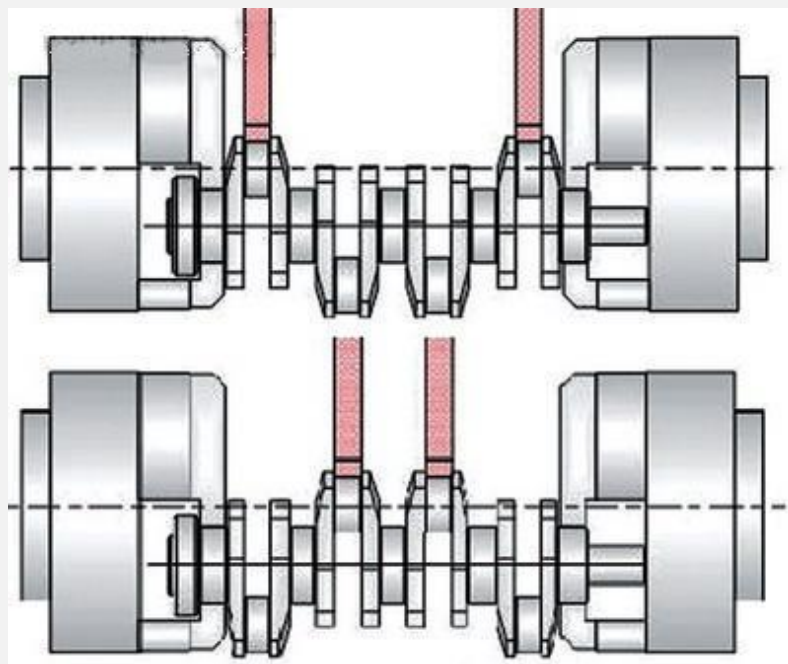


图2 双砂轮磨削连杆颈

•CBN（立方氮化硼）砂轮

*新技术：曲柄销加工的摆动跟踪磨削技术

磨削连杆轴颈采用先进的摆动跟踪磨削技术，这种磨削方式最大的优点是柔性化好。

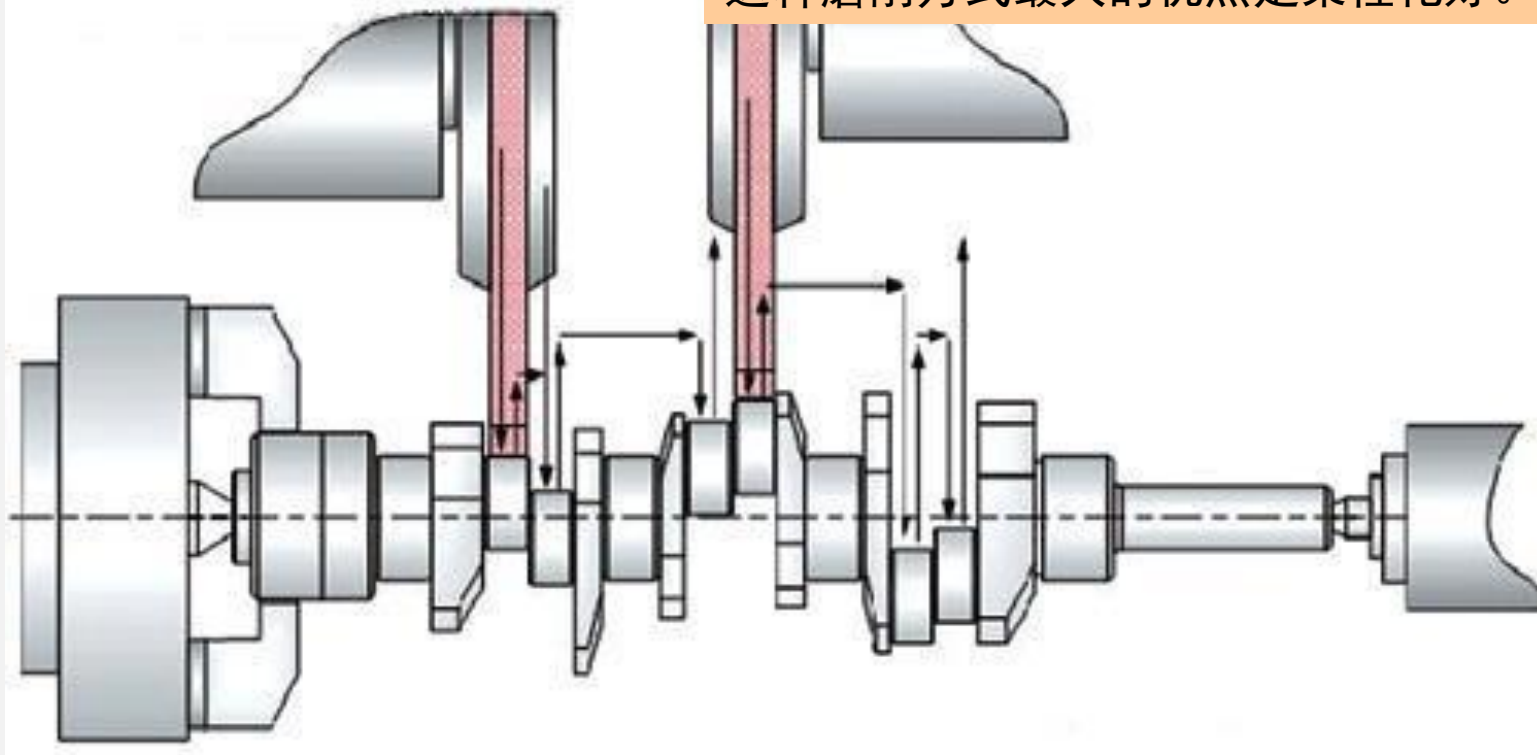
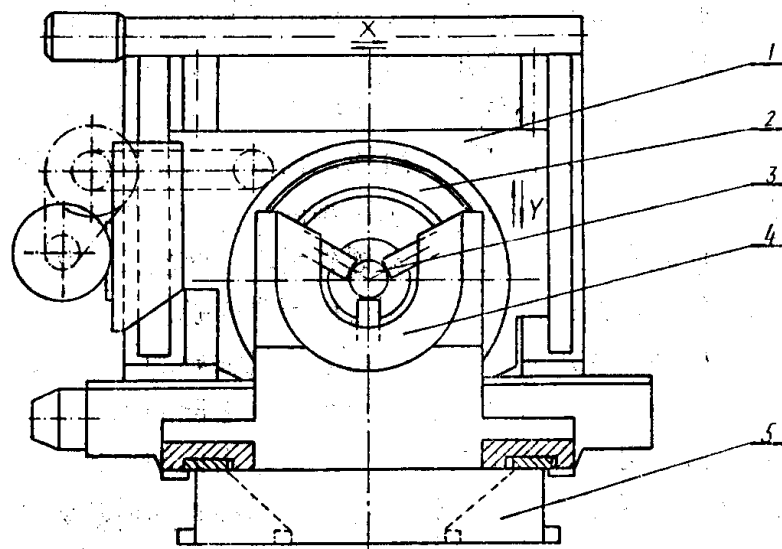


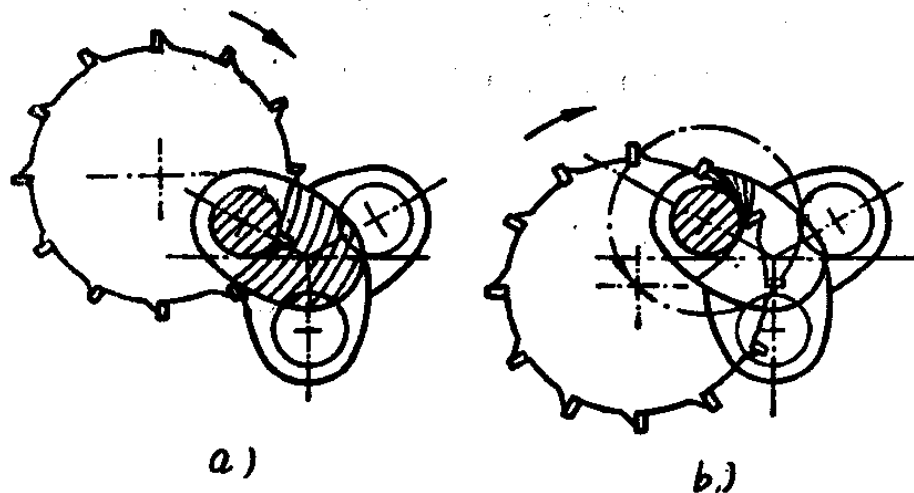
图1 同步磨削主轴颈及/或连杆颈

*新技术：曲柄销加工的内铣技术



在曲轴铣床上加工曲柄销简图

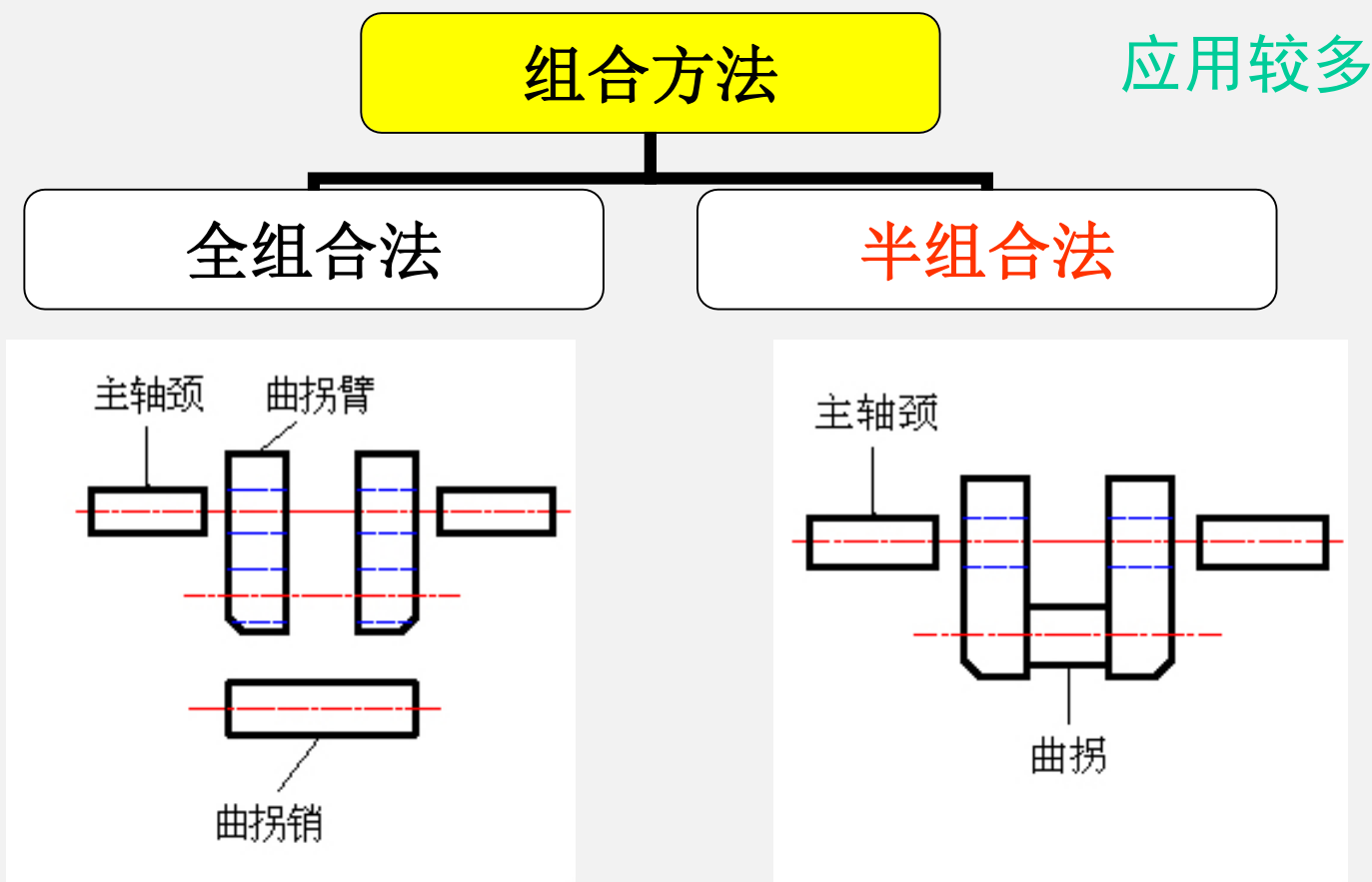
1-铣头滑座；2-铣刀；3-工件；4-支架；5-床身



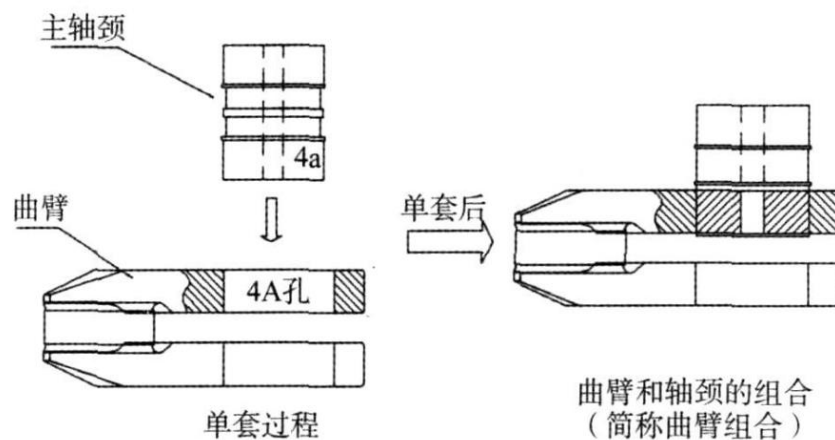
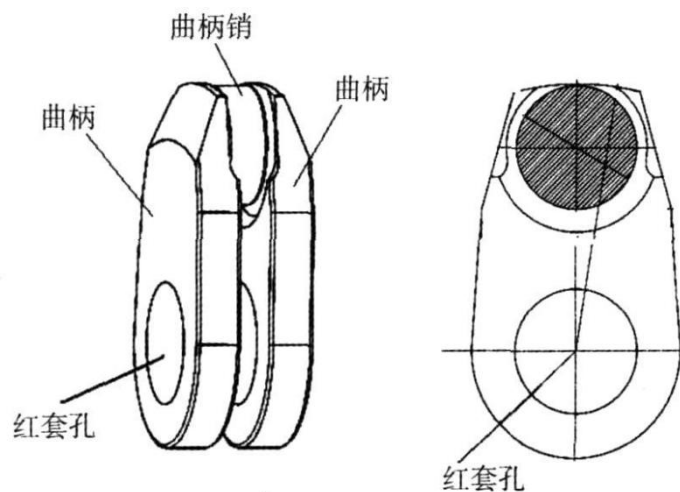
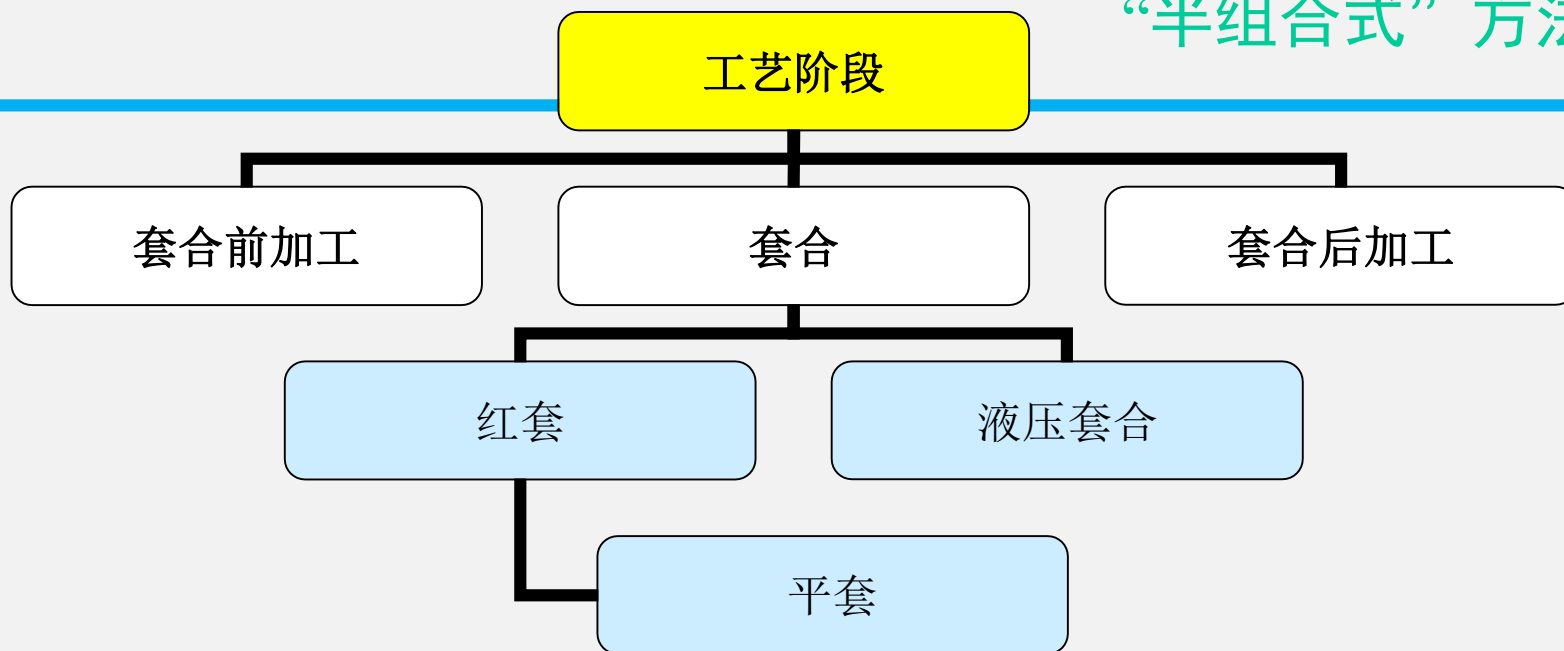
在曲轴铣床上对一个曲柄销的加工过程

三、组合式曲轴的加工

1. 种类

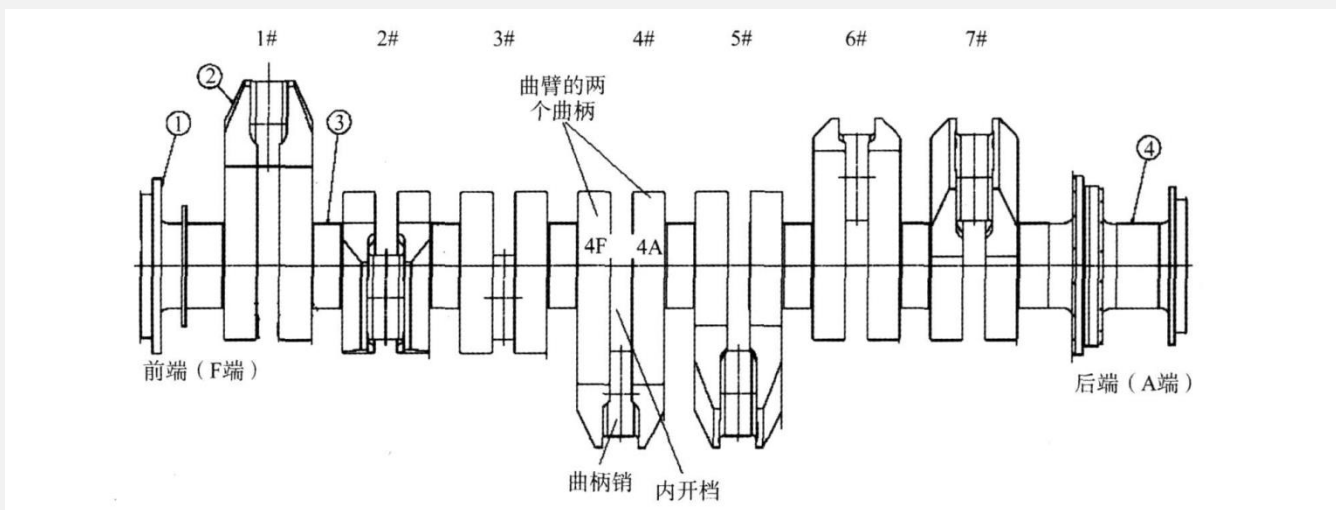


“半组合式”方法



2. 精度要求

- ① 轴颈及曲柄销表面粗糙度为 $Ra=0.04\mu m$ ，圆度为 $0.03mm$ ；
- ② 主轴颈对曲轴轴线的跳动为 $0.04mm$ ；
- ③ 主轴颈中心线对曲轴中心平行度全长 $0.01/1000$ ，任意母线为 $0.06/1000$ ；
- ④ 曲柄销中心线对曲轴中心的平行度为 $0.15/1000$ ；
- ⑤ 曲轴各档最大甩档差小于 $0.02mm$ 。



曲轴型号为MAN7S60MC-C (上海船用曲轴有限公司)

3. 工艺过程

Table 1 Manufacturing sequence of built-up type crankshaft made of cast steel crank throw

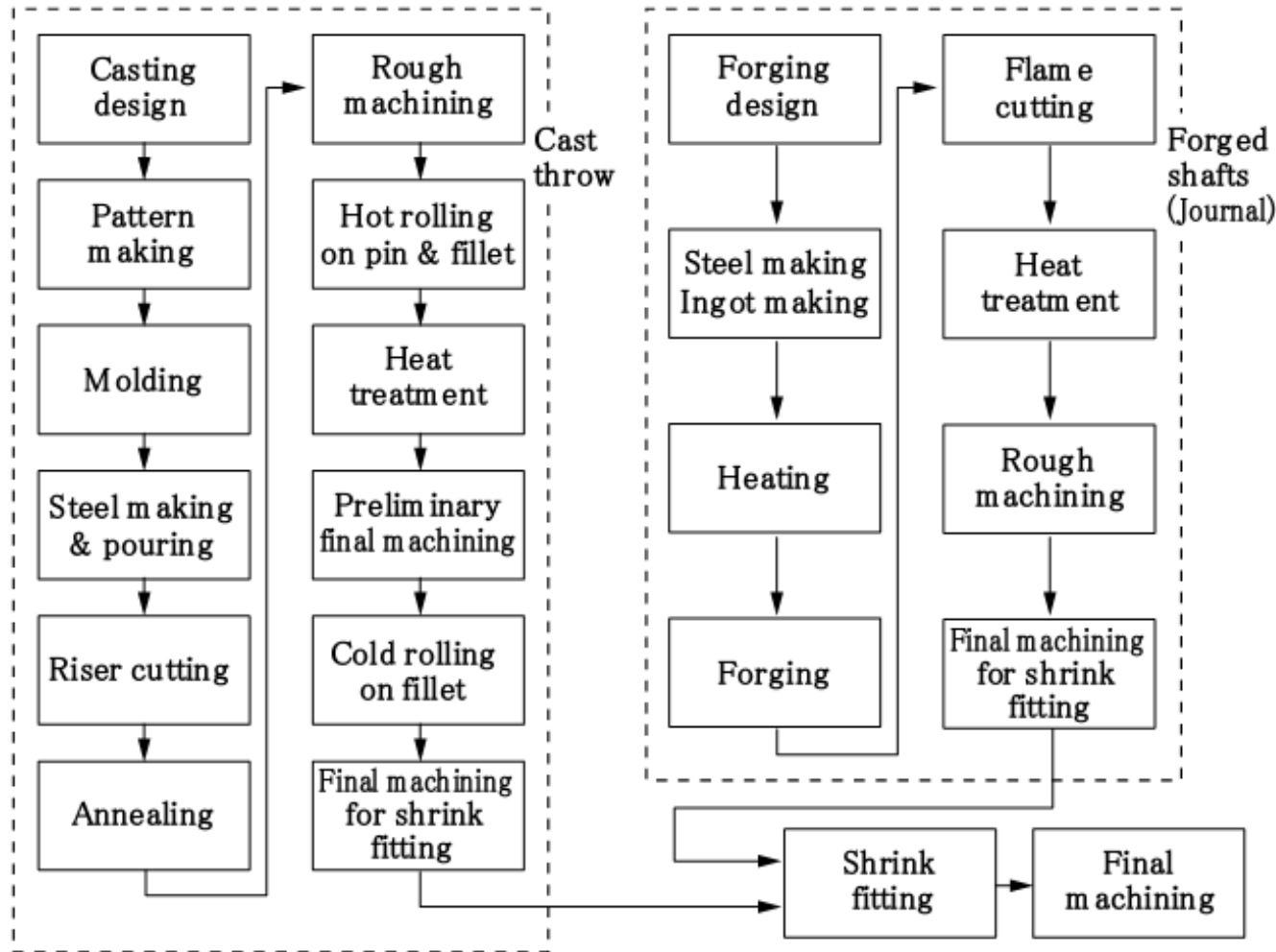


Table 1 shows a typical manufacturing process for a built-up type crankshaft with cast steel crank-throws. 典型加工设备包括：加热炉、热处理炉、自由锻压机、数控曲拐专用立车、数控曲轴车床、数控落地铣镗床、龙门铣床、各类重型卧式车床及红套装置等。

4. 曲臂锻造工艺

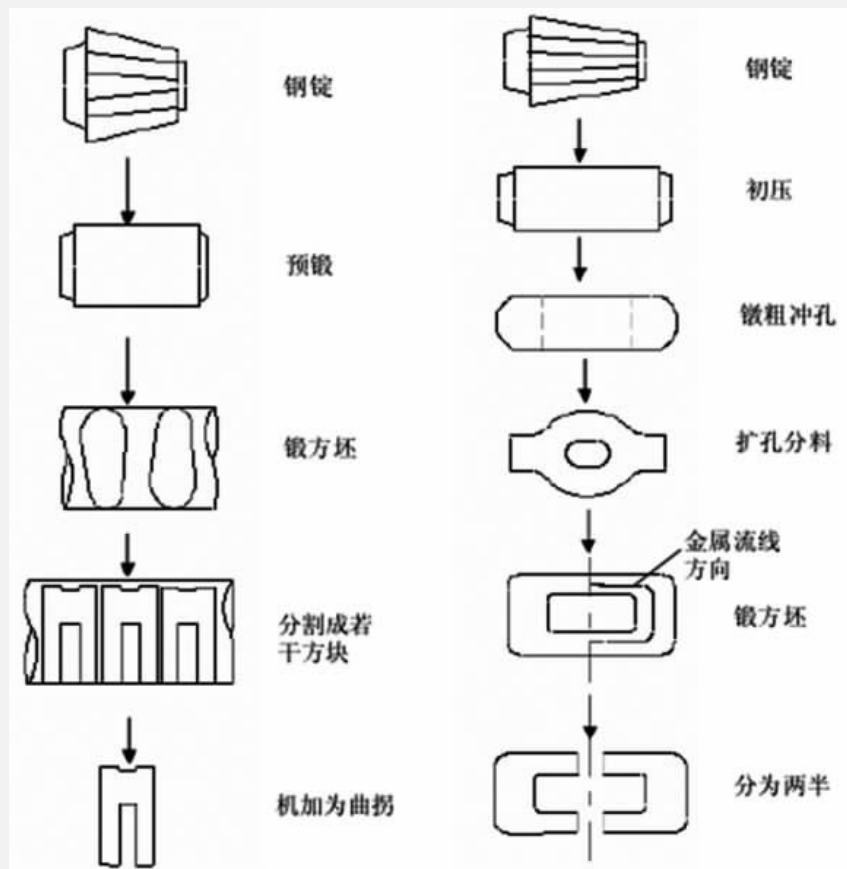


图1 块锻法

图2 环锻法

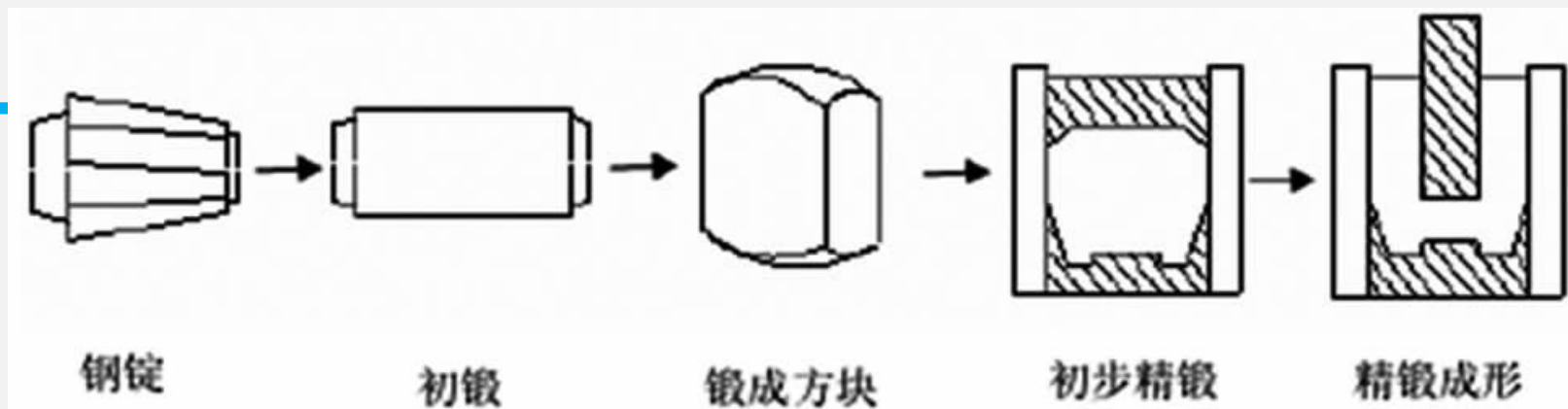
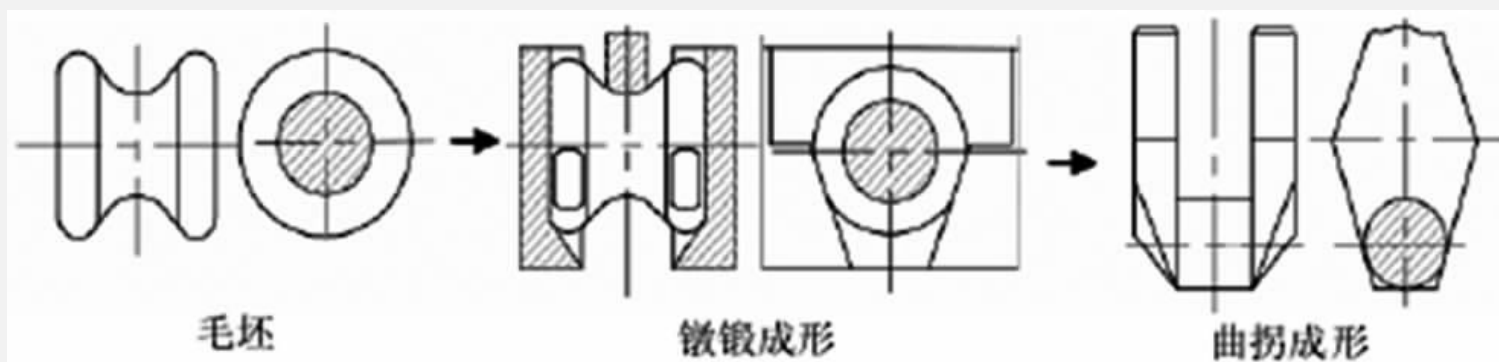
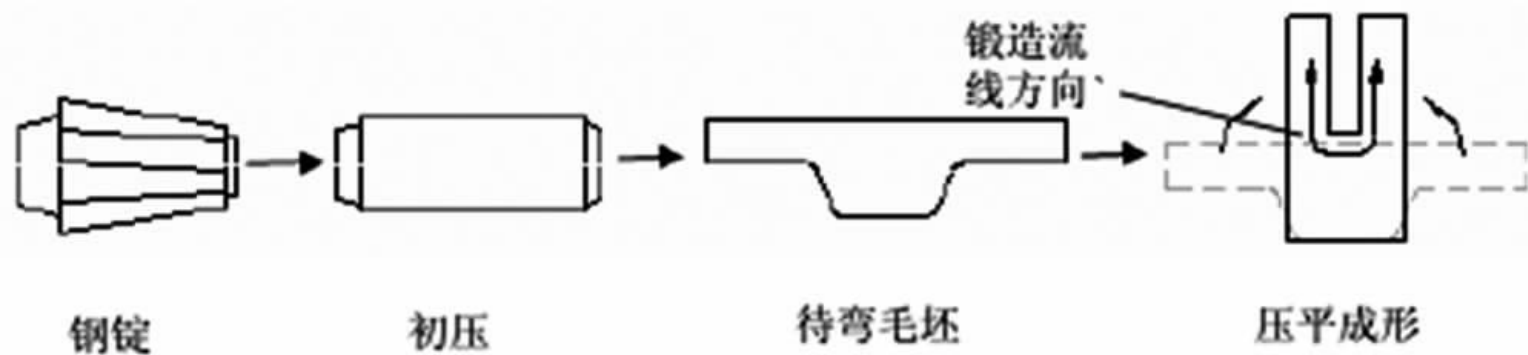


图3 模锻法



冷室压铸法



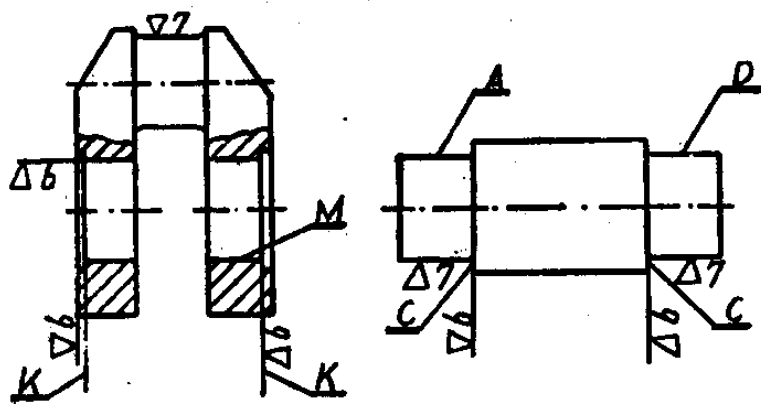
曲臂弯锻

5. 套合前曲轴各元件的机械加工

半组合曲轴的主轴颈、曲柄销、套合孔的圆度和圆柱度 (mm)

圆度、圆柱度公差 表面类别	轴 颈 直 径				
	~150	>150~250	>250~350	>350~500	>500
曲柄销、主轴颈A、D	0.005	0.0075	0.0125	0.015	0.02
套 合 孔 M	0.0075	0.01	0.015	0.02	0.025

过盈量一般在1.5 ~ 2.5 mm之间。



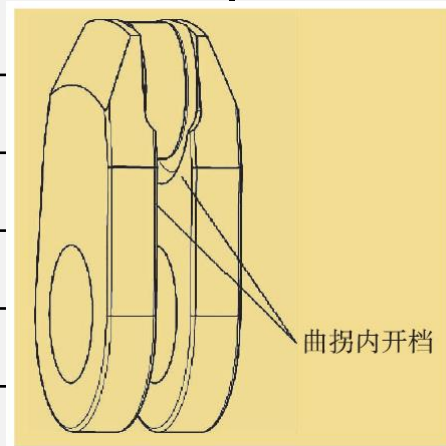
对曲柄和主轴颈的加工要求



*曲拐元件的机械加工工序

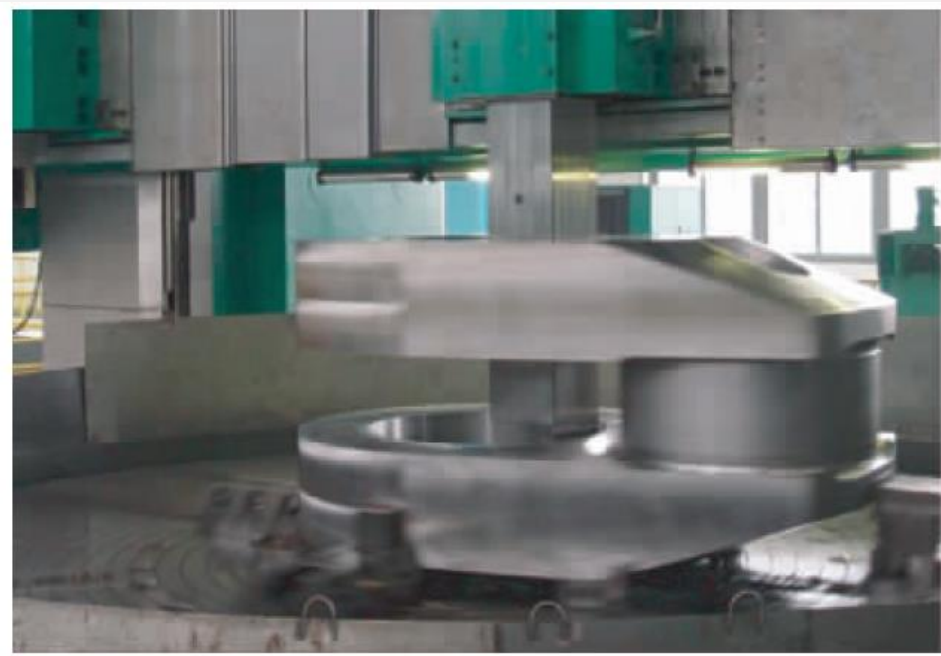
MAN B&W 5S60ME-C 曲轴曲拐零件

检验曲拐毛坯	
粗、半精车内开档平面	专用立车
车总厚上平面基准面	专用立车
精车内开档平面	专用立车
粗、精车曲柄销外圆	专用立车
粗、精车 R 凹槽	专用立车
划线	
加工外轮廓	镗铣床
加工曲拐一侧厚度、斜弧面符图	立车
加工曲拐另一侧厚度、斜弧面符图	立车
半精加工红套孔	立车
精加工红套孔	红套孔精加工专用机床
钳工修整	
探伤、检查	



*曲拐红套孔的半精加工

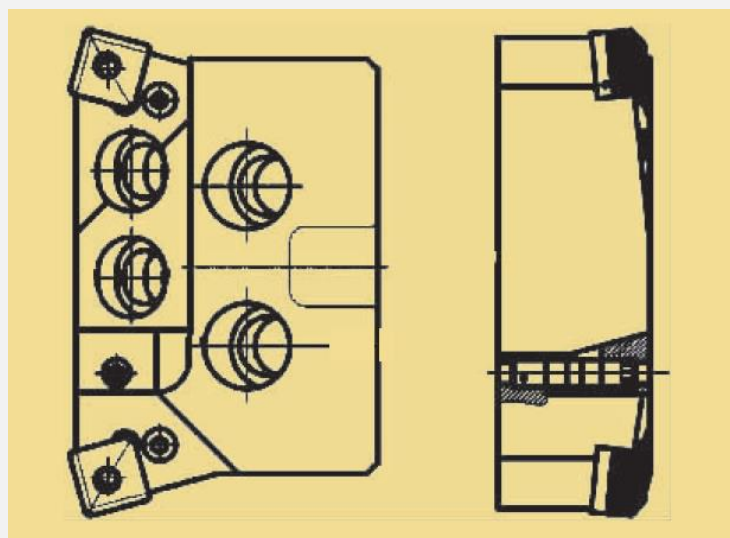
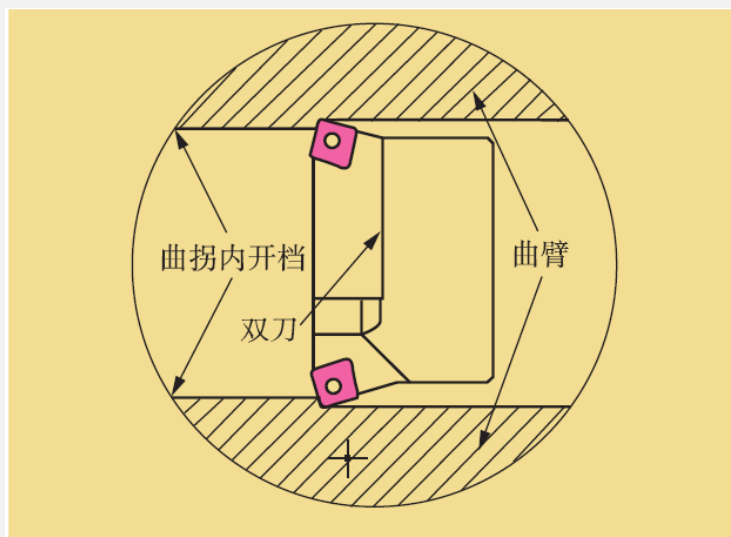
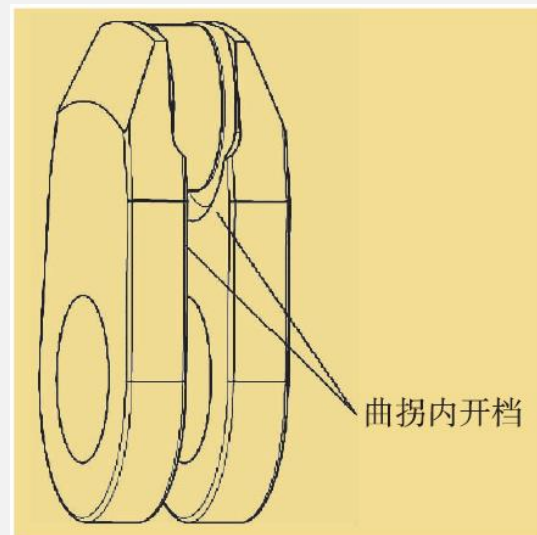
- 半精加工：双柱数控立车；精加工：精加工专用机床
- 半精加工后、红套孔直径余量 1 mm，即单边0.05mm。



曲拐零件红套孔加工

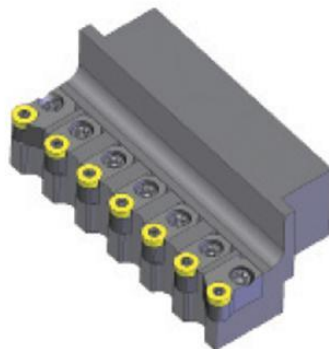
*内开档平面加工的改进和创新

•曲拐内开档 “双刀” 刀具

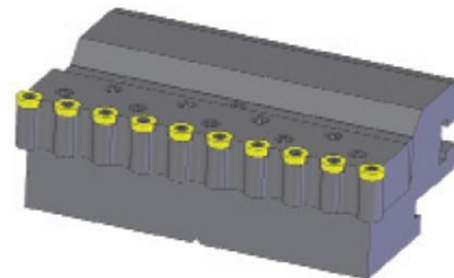


*曲柄销圆柱面加工的改进和创新

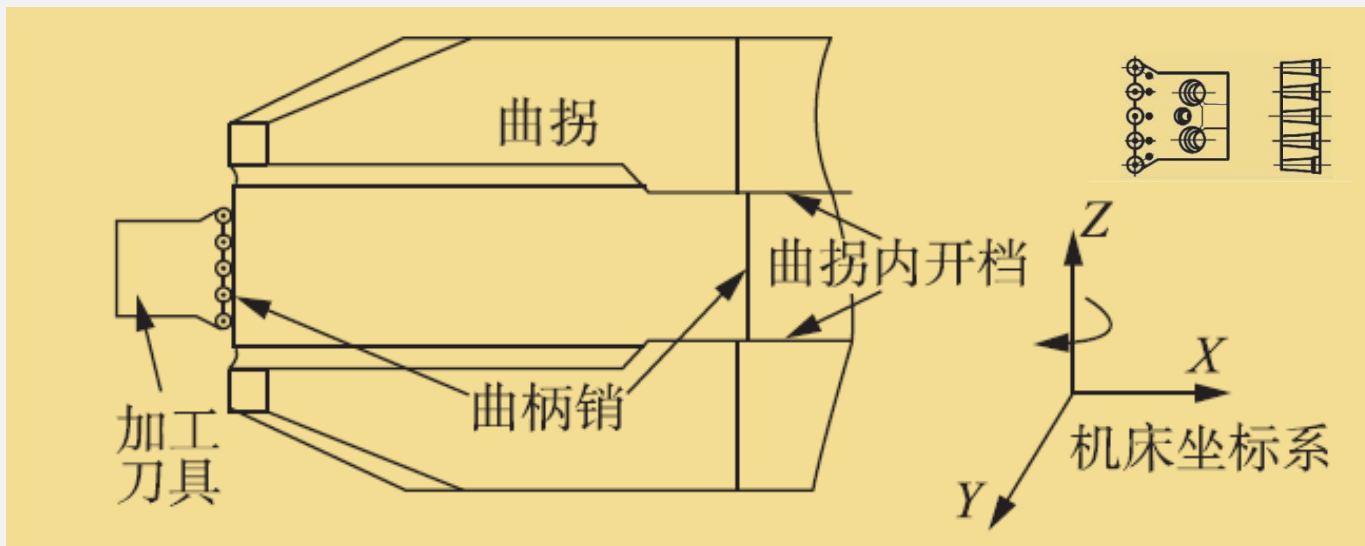
- 多刀片并行排列刀具



小刀座与刀体组合式排刀

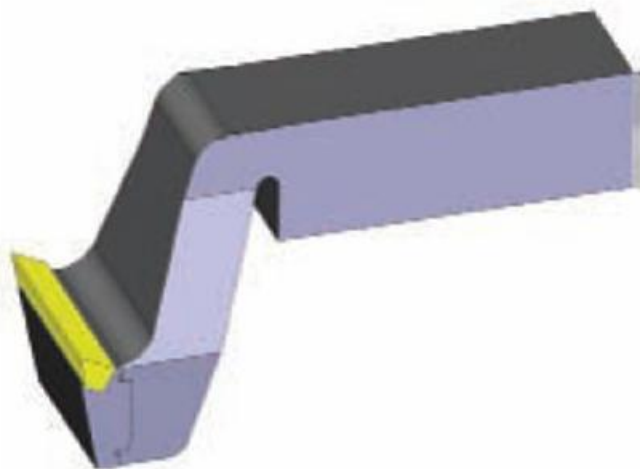


直压刀片一体式组合排刀

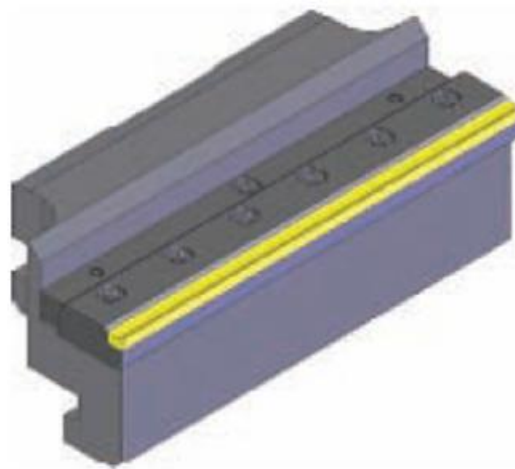


*宽刃刀具

- 对曲轴主轴颈和曲柄销进行精加工
- 是曲轴公司的 Know-how



焊接式切削弯刀



焊接一体式车刀

6. 曲轴红套

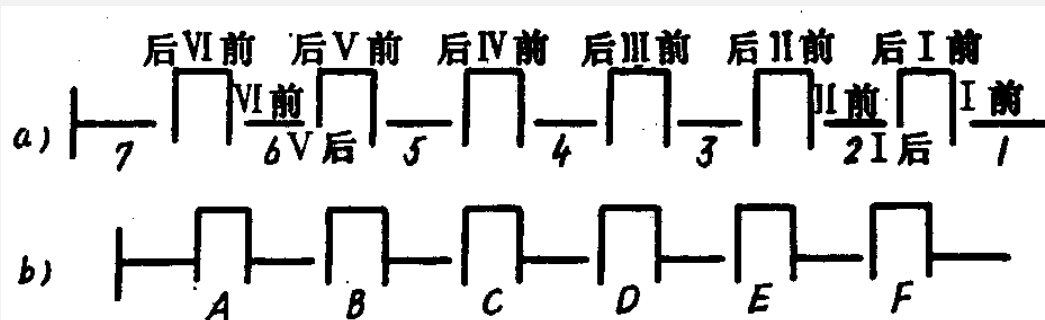
概念

红套是一种热过盈装配工艺，即通过加热包容体（常指孔）使之膨胀，尺寸变大，然后与被包容体（常指轴）进行安装的工艺过程。

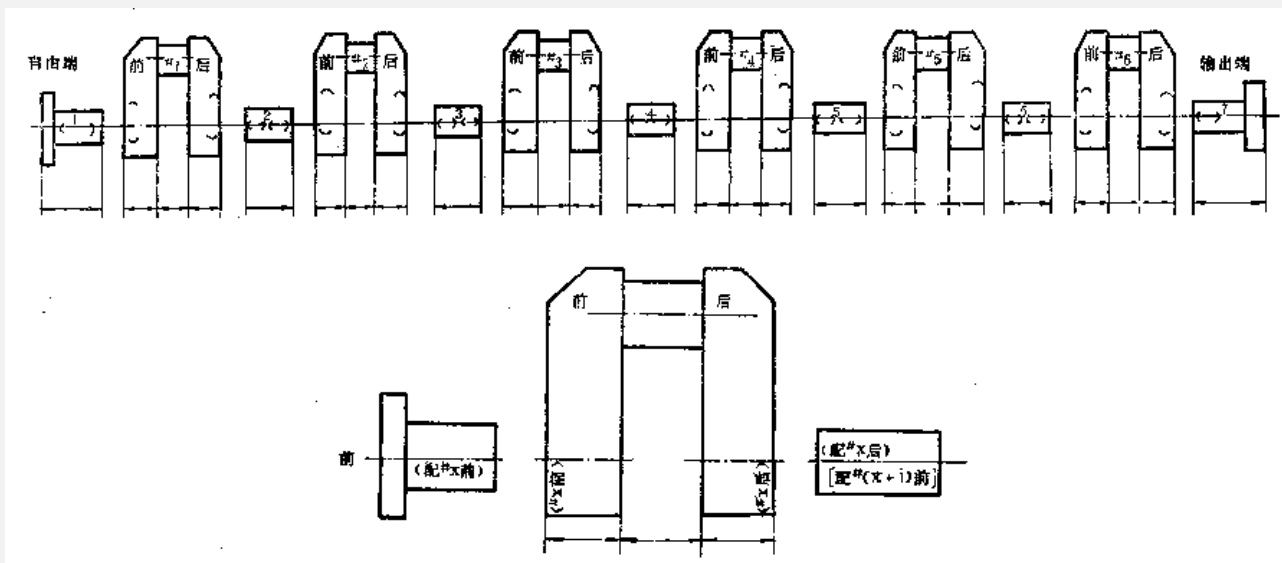


曲轴红套前的准备

- ①探伤检验、编号
- ②划线；
- ③准备工具。



组合曲轴红套顺序及编号



*加热的方法

加热方法主要有燃气加热和电磁感应加热两种。



中频电磁感应曲拐红套工艺
(上海船用曲轴有限公司, 2009)

曲柄单件套合（单套）

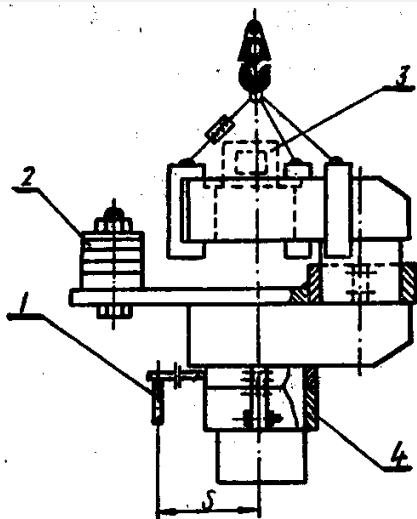
- 一个主轴颈套入第一个红套孔的红套过程。
- 单套后的曲臂和主轴颈则成为一个曲臂轴颈组合(简称为曲臂组合)。



曲轴的红套

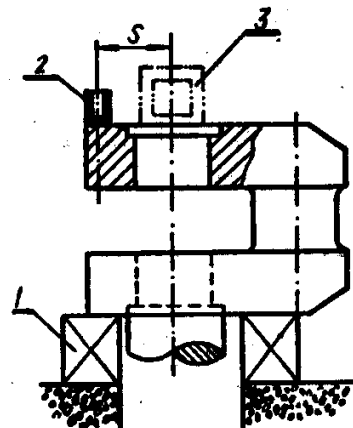
竖套原理

若曲臂红套孔为4A孔, 则与之相对应的轴颈称为4a。



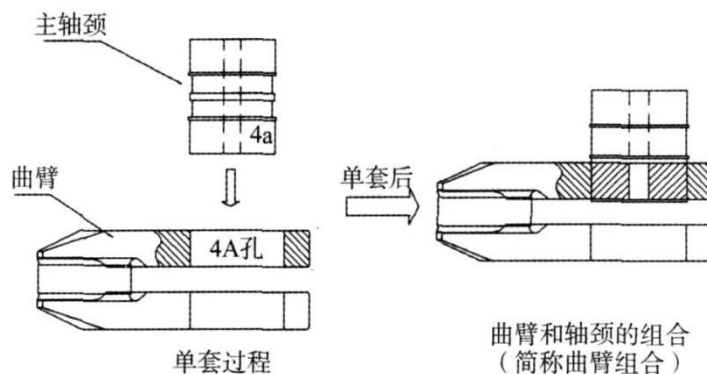
曲轴红套时曲柄组件吊运情况

1-角度定位器；2-平衡重；3-水平仪；4-轴向定位器



曲轴组件红套时放置情况

1-垫铁；2-角度定位座；3-水平仪



*平套法

- 1、红套前的准备工作
- 2、单个曲柄与主轴颈红套成曲柄组
- 3、各曲柄组红套成整根曲轴

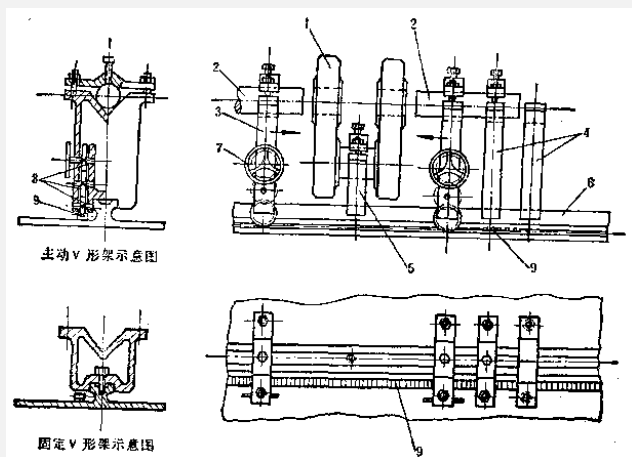
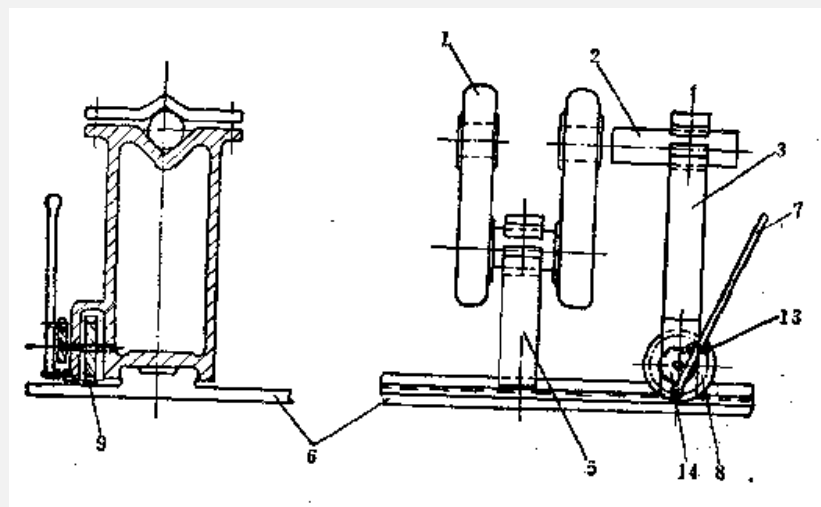
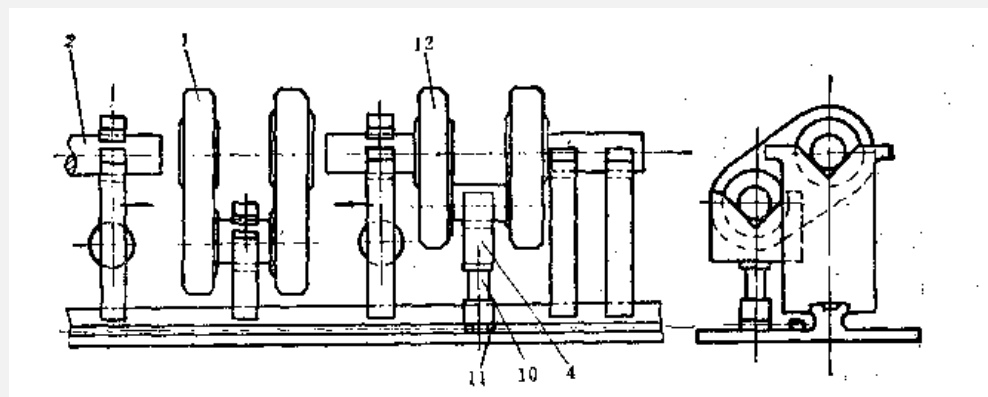


图 曲轴红套平套法示意图
(a)用手轮式主动V形架的单曲轴红套；
(b)用手柄式主动V形架的单曲轴红套；
(c)各曲柄组红套成整根曲轴



1—曲柄；2—主轴颈；3—主动V形架；4—从动V形架；
5固定V形架；6—底座；7—手轮或手柄；8—齿轮组；
9—齿条；10—千斤顶；11—滚轮；12—曲柄组；13—
爪；14—棘轮



*液压套合法

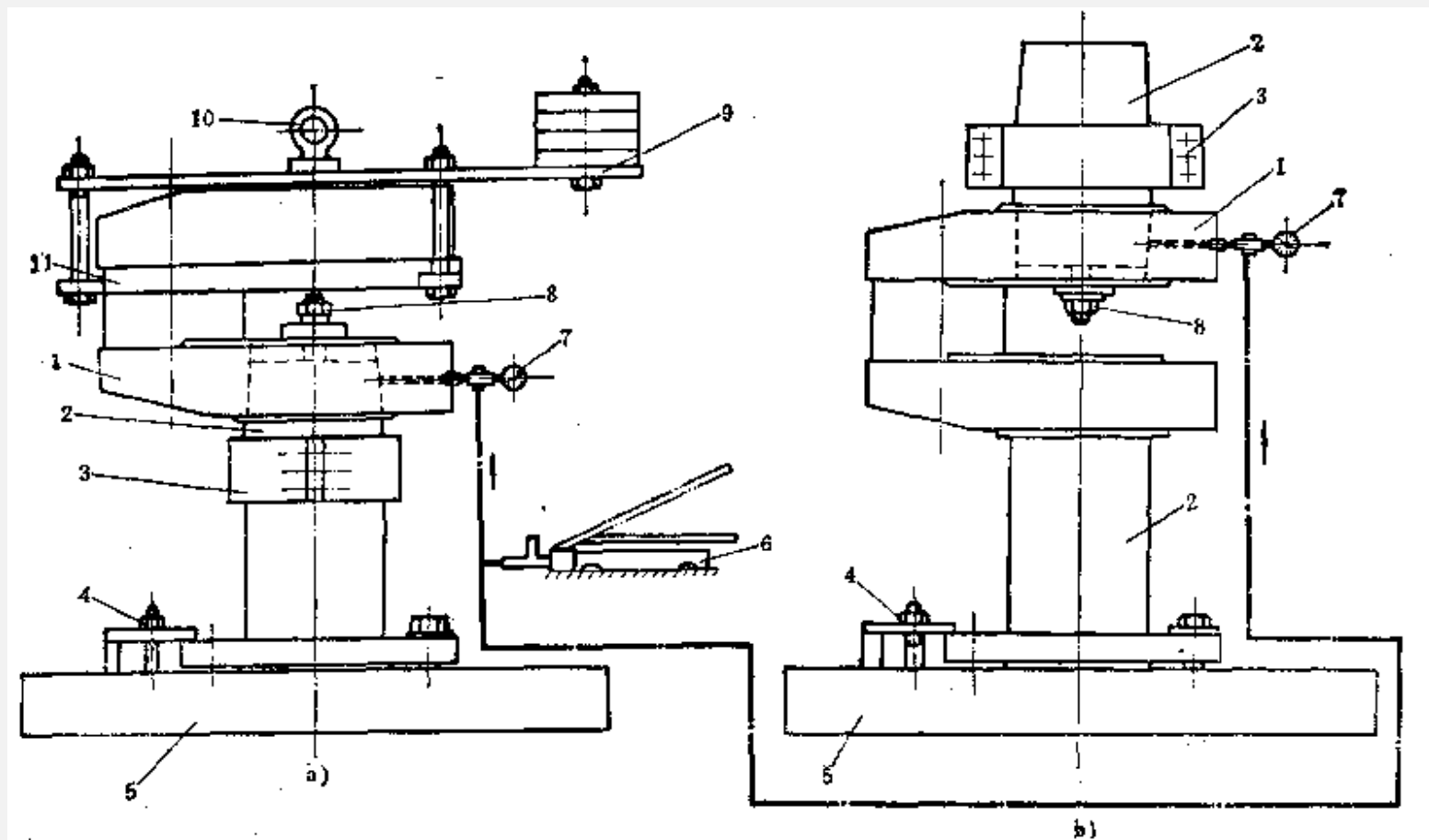


图 曲轴液压套合示意图

(a)曲柄套在主轴颈上示意图；(b)主轴颈套在曲柄上示意图。

1—曲柄；2—主轴颈；3—轴向定位箍；4—固定螺栓组；5—平板；6—手动高压油泵；
7—高压压力表；8—拉紧螺栓组；9—平衡工具；10—吊环；11—吊箍

组件套成整根曲轴（复套）

一个曲臂组合的主轴颈套入另一个曲臂的红套孔的过程。



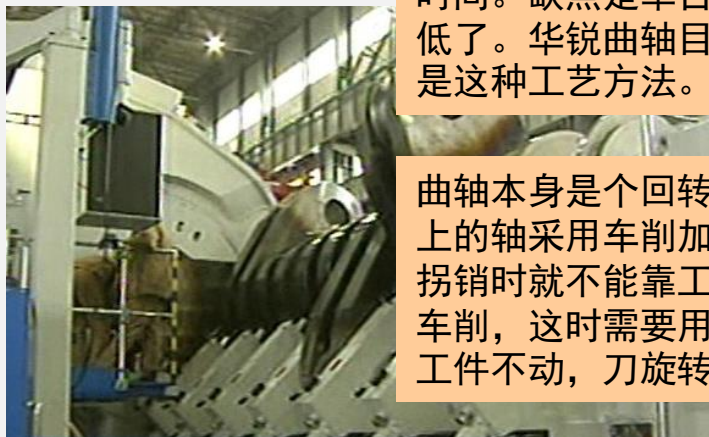
7. 组合曲轴套合后的加工-车

曲轴的加工工艺有两种工艺方法：一种是分开加工，车床加工是一个工序，曲拐销的加工是另外一个单独工序，这种工艺方法以日本和捷克为代表，是一种传统加工方式。



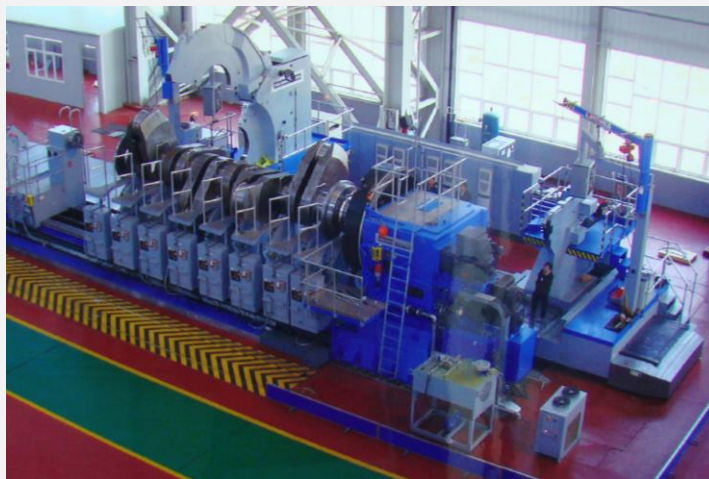
- 带回转中心架的专用曲轴机床
- 一次装卡加工
- 梳式车刀粗加工
- 宽车刀精加工
- 刀旋转切削曲拐销

另一种加工方式以韩国为代表，就是在一台机床上一次装卡完成全部加工，减少了装卡的次数和时间。缺点是单台机床的效率降低了。华锐曲轴目前采取的方式是这种工艺方法。



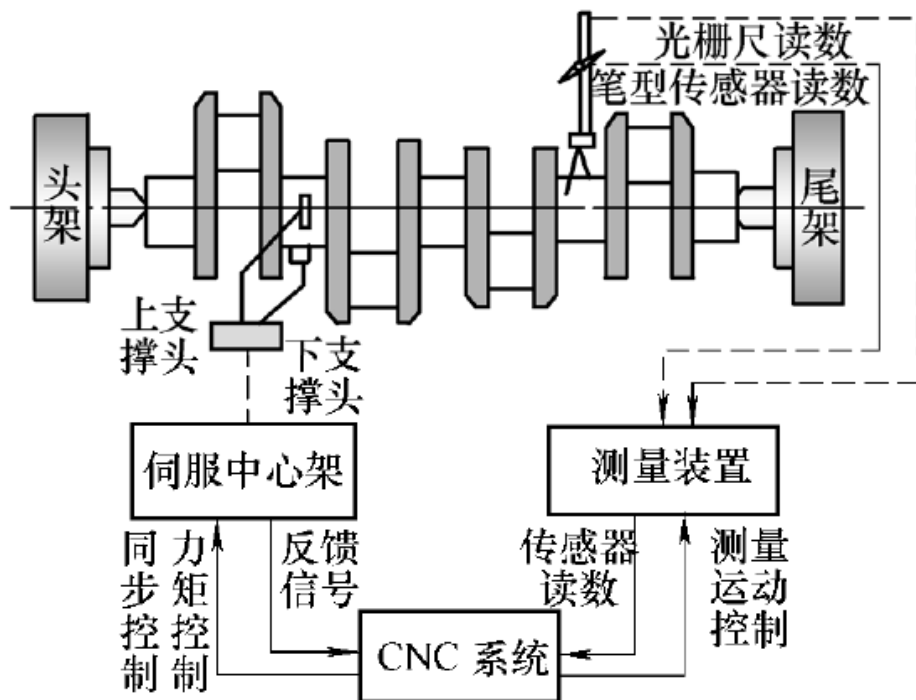
曲轴本身是个回转体，加工轴线上的轴采用车削加工，而加工曲拐销时就不能靠工件的旋转进行车削，这时需要用刀将工件含住，工件不动，刀旋转切削（??）

车床上加工



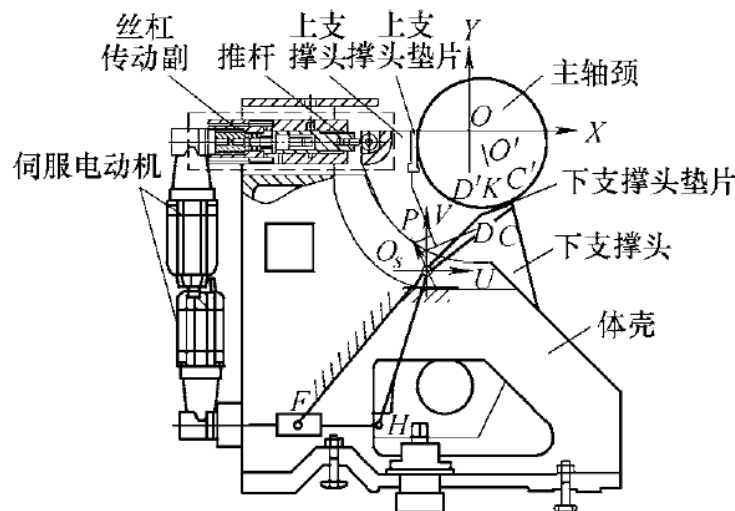
余云岚，张坚（上海船用曲轴有限公司）.我国船用低速大功率柴油机曲轴制造技术的发展.上海造船 2009 年第4 期（总第80 期）： 38-41.

*曲轴变形在线测量与校调系统

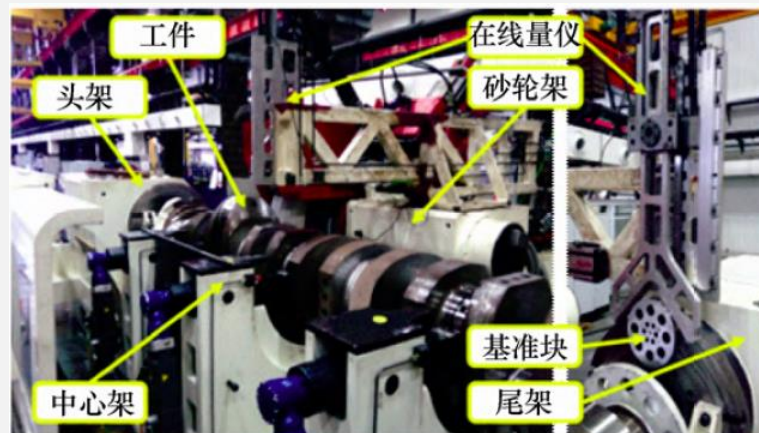


曲轴变形在机测量与校调系统

主要包括带有V形块的高度尺、笔型位移传感器、光栅尺和气缸等部分。

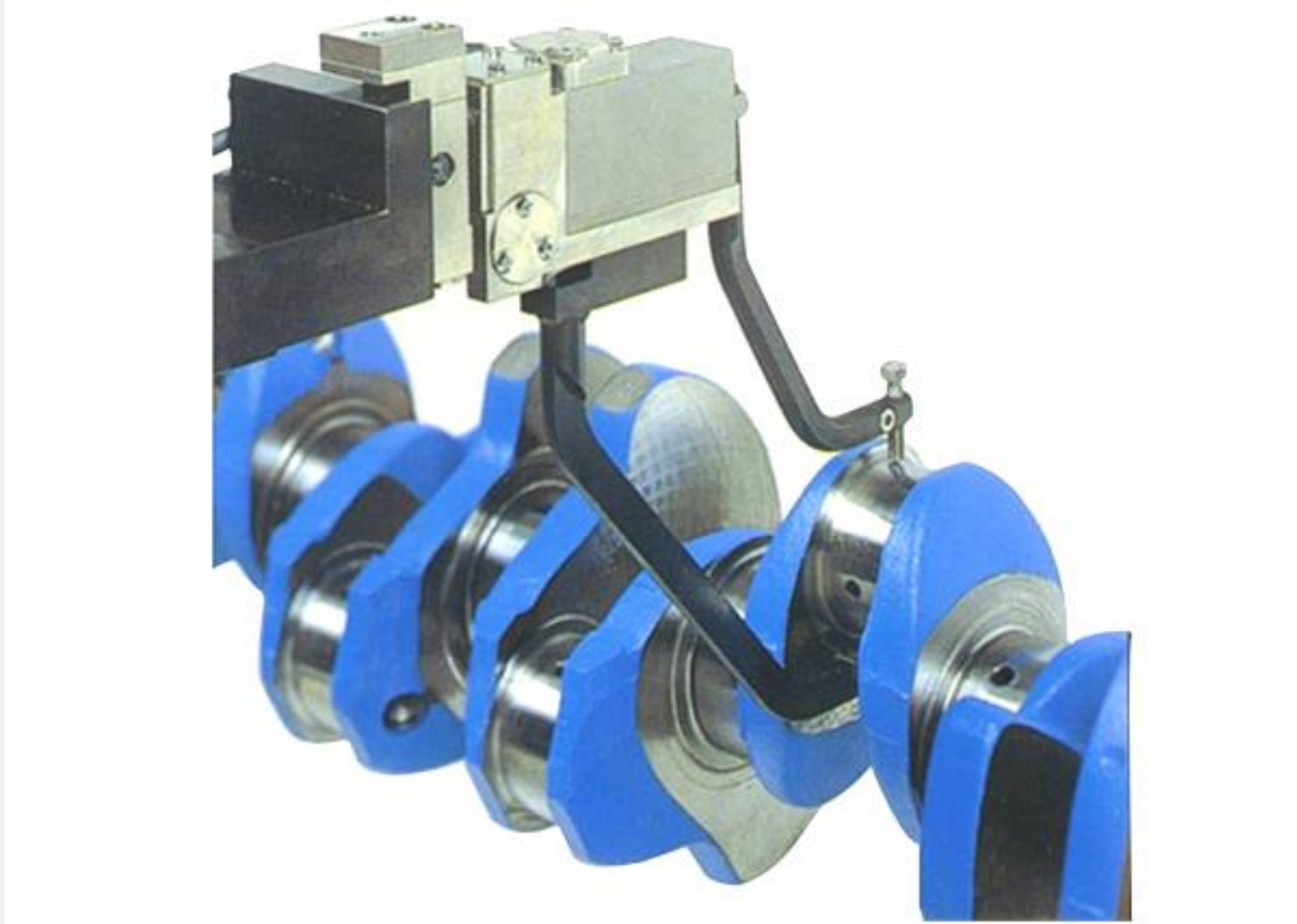


伺服中心架结构



大型数控曲轴磨床

*曲轴主动测量- 磨削



8. 加工后的探伤



荧光磁粉探伤机

4、曲轴的检验

Inspection of
crankshaft

问题：曲轴成品检验有哪些主要项目？如何检验（画简图说明）？

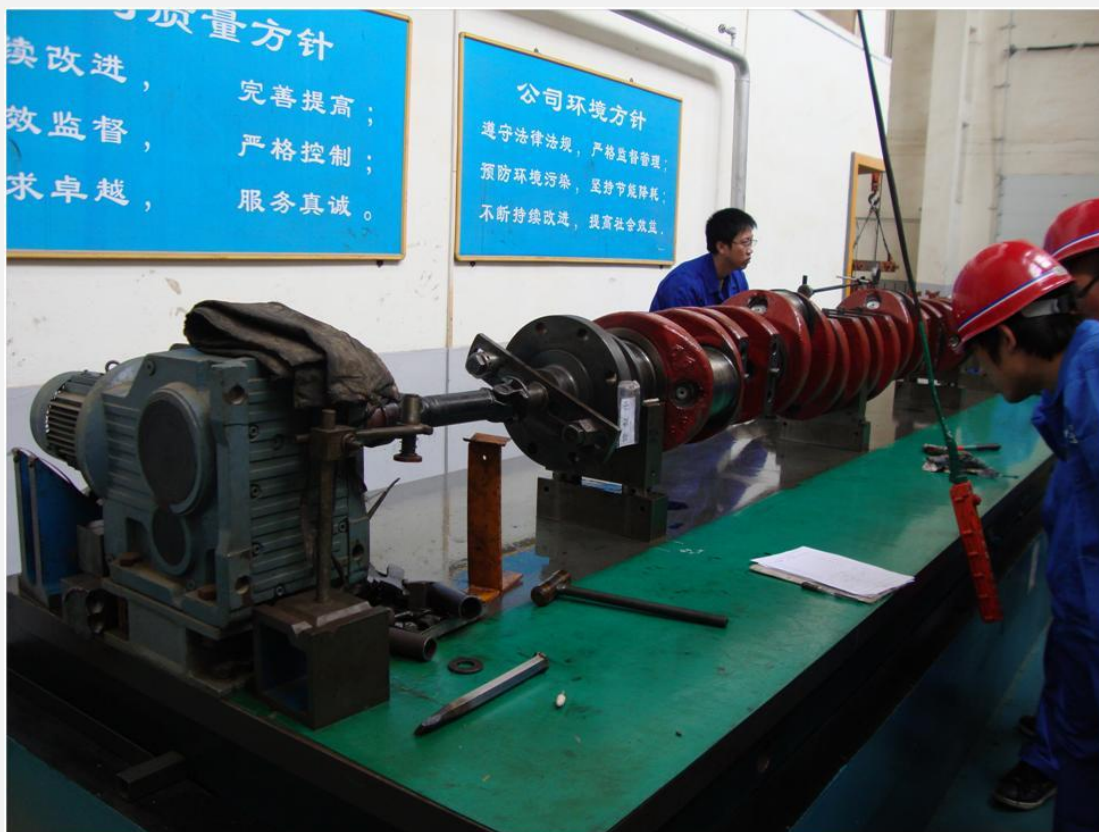


图 测量平台

1. 轴颈直径、圆度和圆柱度检验

轴颈直径:通常是用**外径测量卡尺**测量。

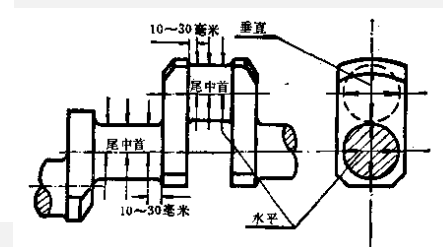
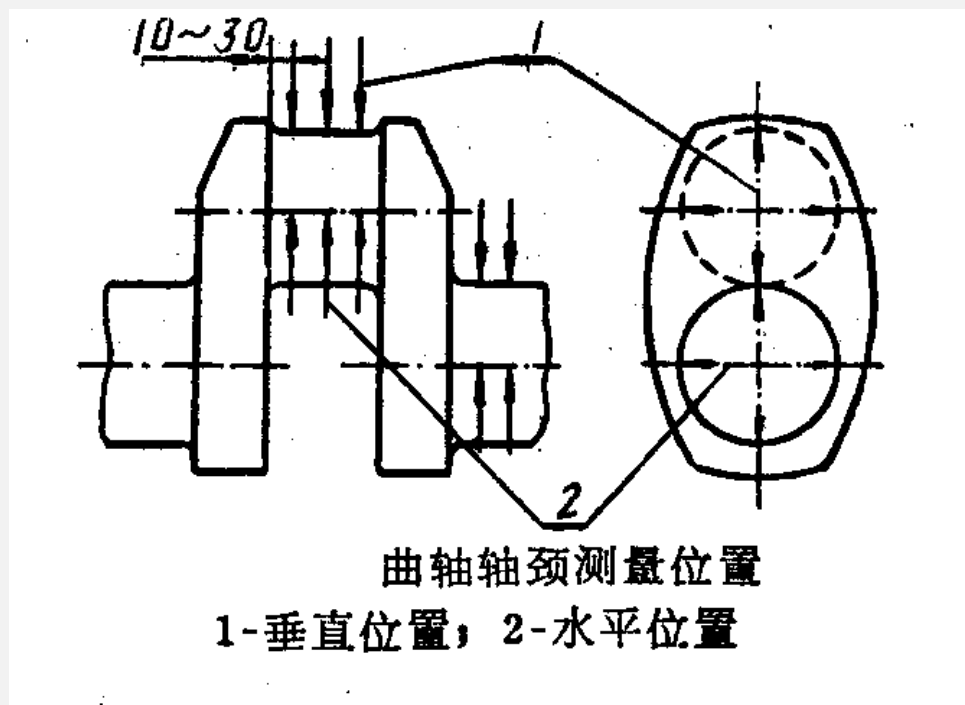


图 轴颈测量位置

*实例：曲轴直径测量方法

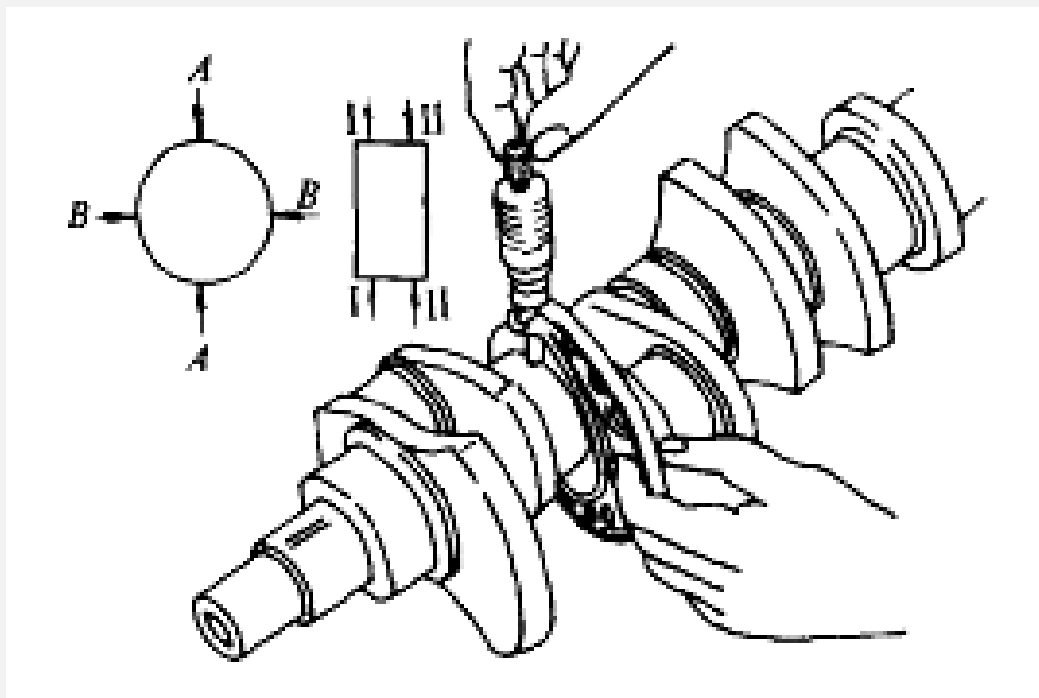
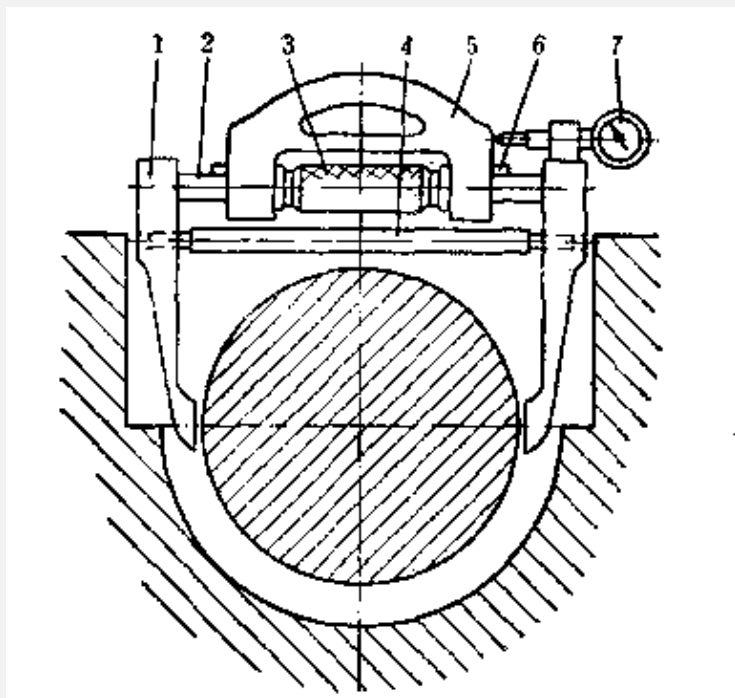


图 用手提式外径测量卡测量主轴颈

1—测量杆；2—螺柱；3—手旋螺母；4—导向杆；5—手提框架；6—键；
7—百分表。

*实例：曲轴直径测量方法

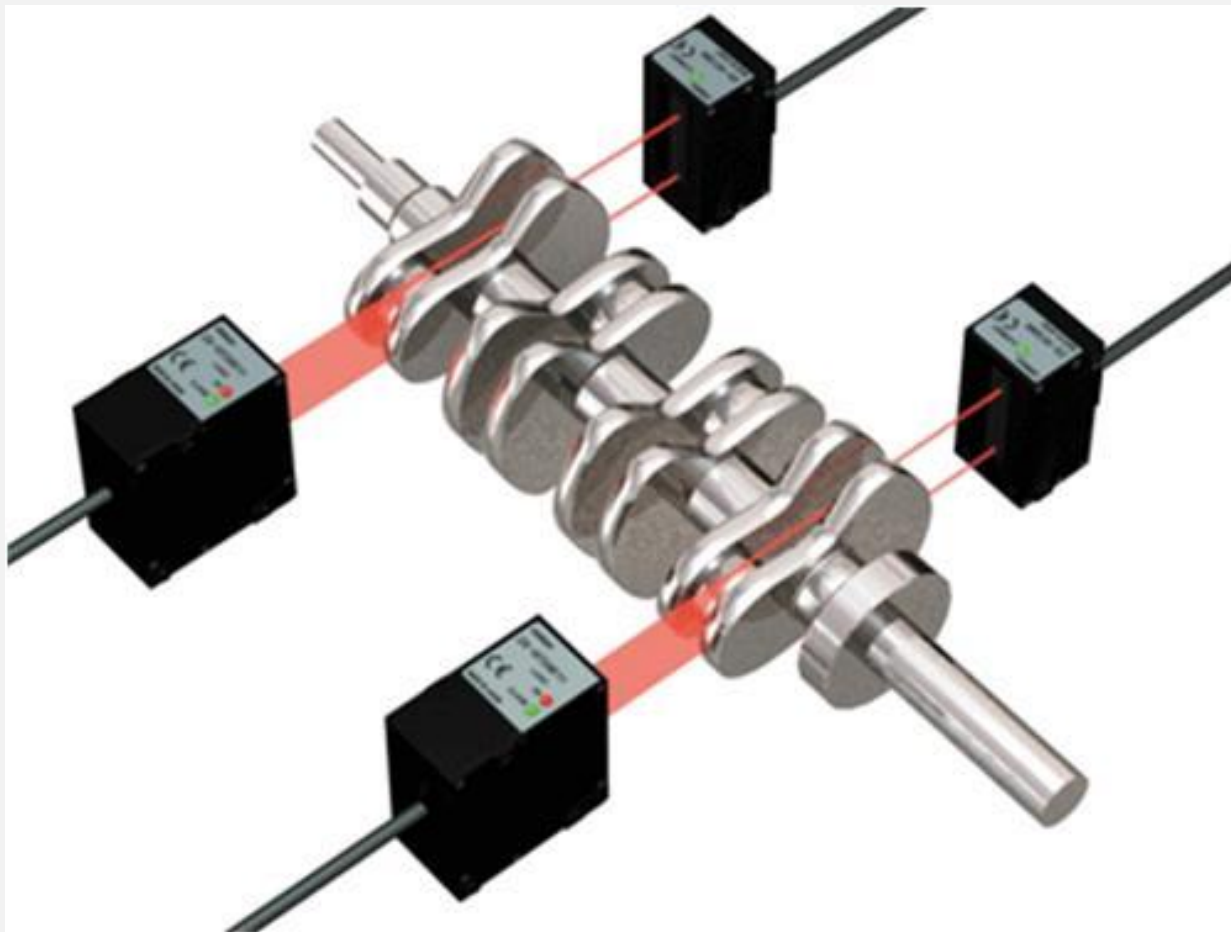


图 曲轴直径激光测量

2. 主轴颈与曲柄销轴线距检验

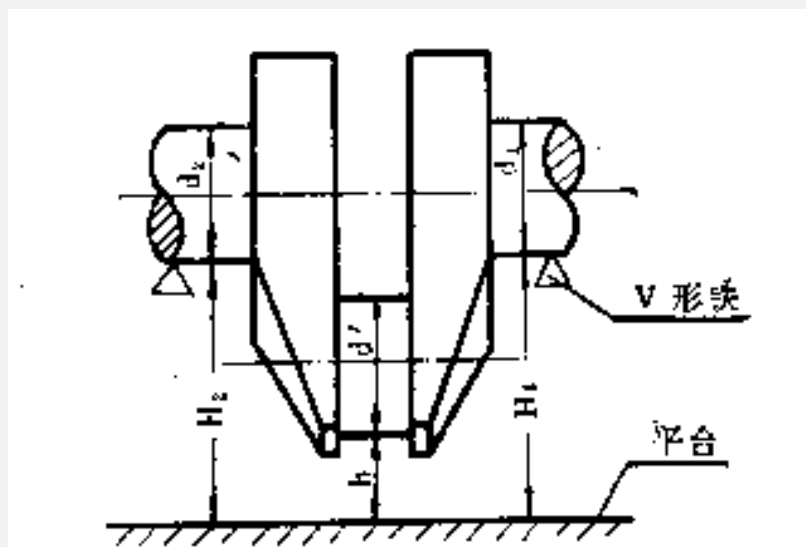


图 主轴颈与曲柄销轴线距检验

$$\frac{S}{2} = \frac{(H_1 + d_1/2) + (H_1 + d_2/2)}{2} - (h + d'/2)$$

式中： S ——活塞行程。

3. 曲柄销轴线与主轴颈轴线平行度检验

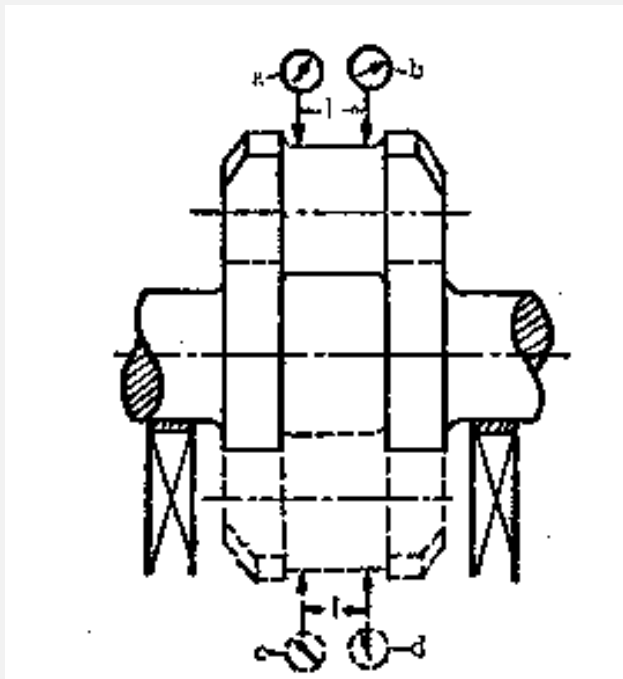


图 曲柄销与主轴颈平行度误差检验

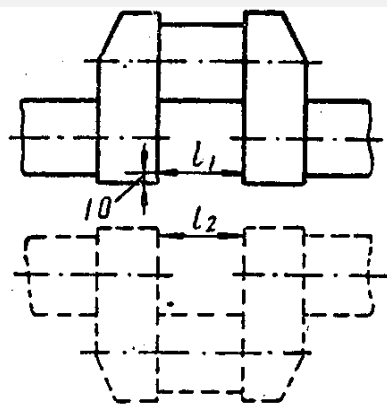
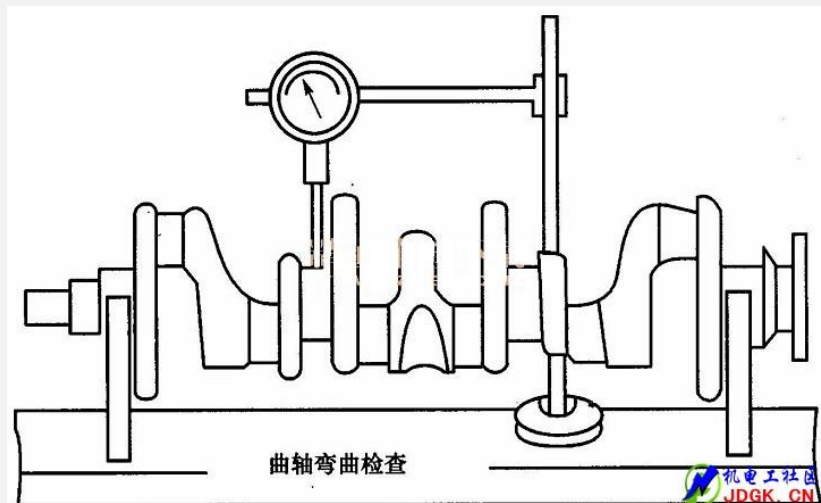
$$\delta = \frac{(a - b) + (c - d)}{2l}$$

式中： δ ——曲柄销轴线与主轴颈轴线不平行度。

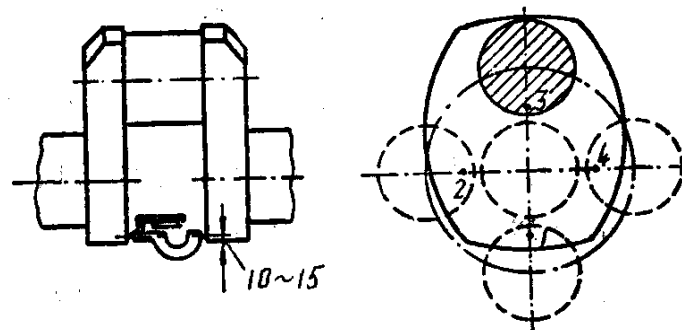
*实例：曲柄销与主轴平行度测量方法



4. 曲柄销轴线直线度检验

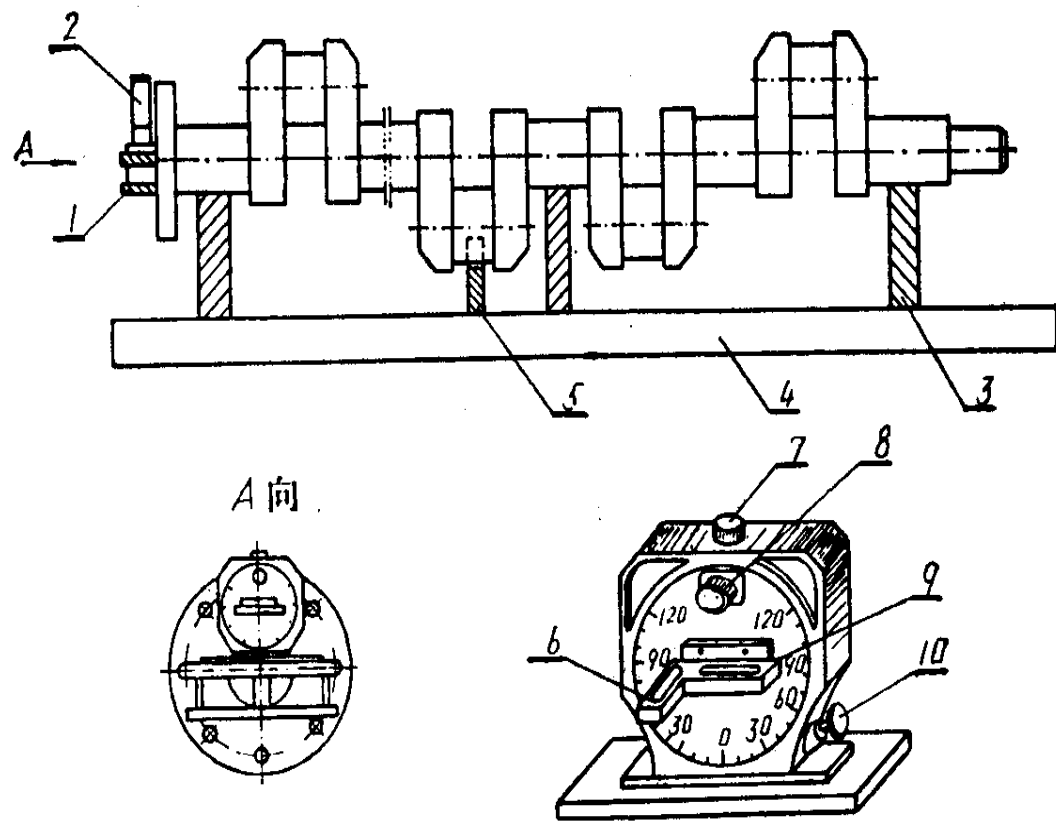


曲轴臂距差的测定



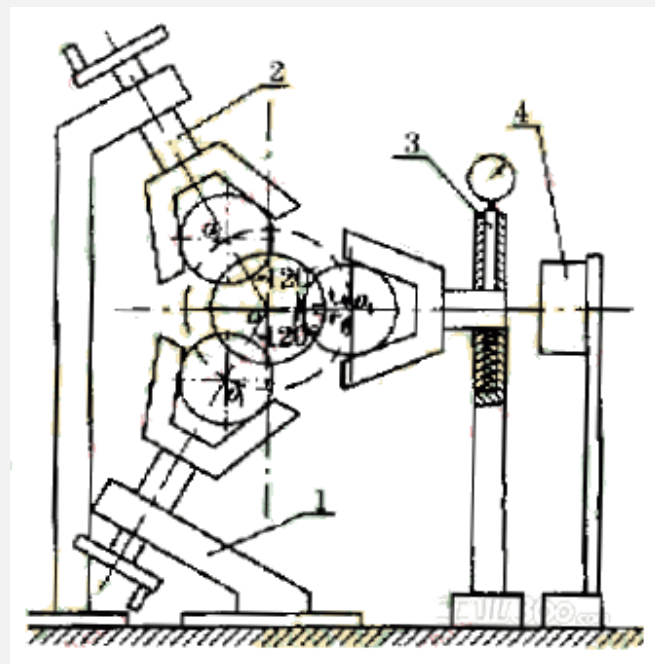
臂距差测量位置

5. 曲柄夹角的检验



用光学象限仪检查曲柄夹角

1-平板; 2-光学象限仪; 3-托架; 4-平台; 5-V形块; 6-旁向水准仪; 7-止动螺钉; 8-观察目镜; 9-水准器; 10-微调螺钉



6. 曲轴磁粉探伤检验



7. 平衡检验

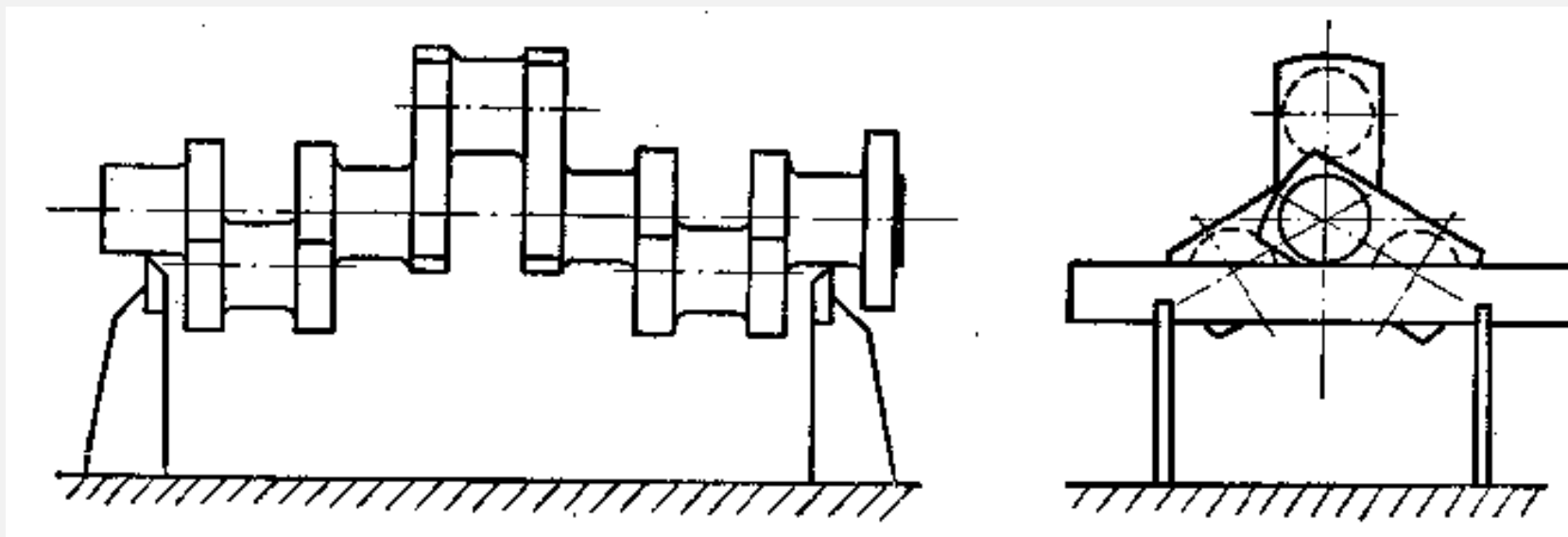
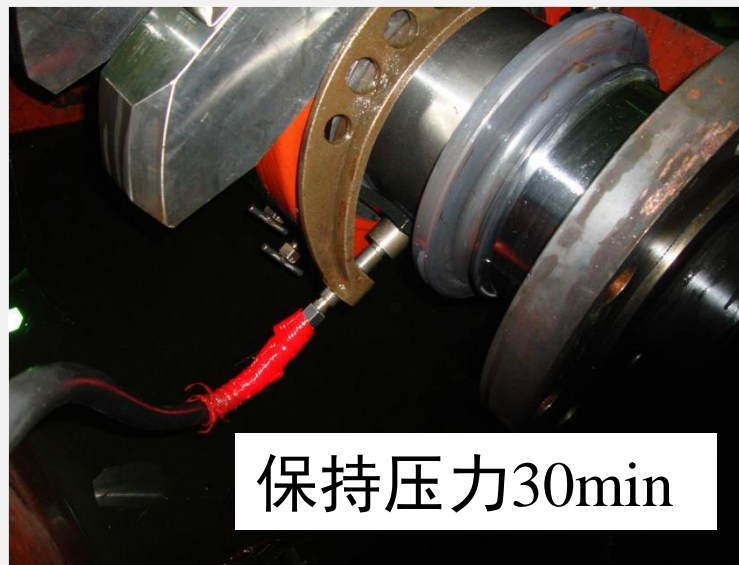
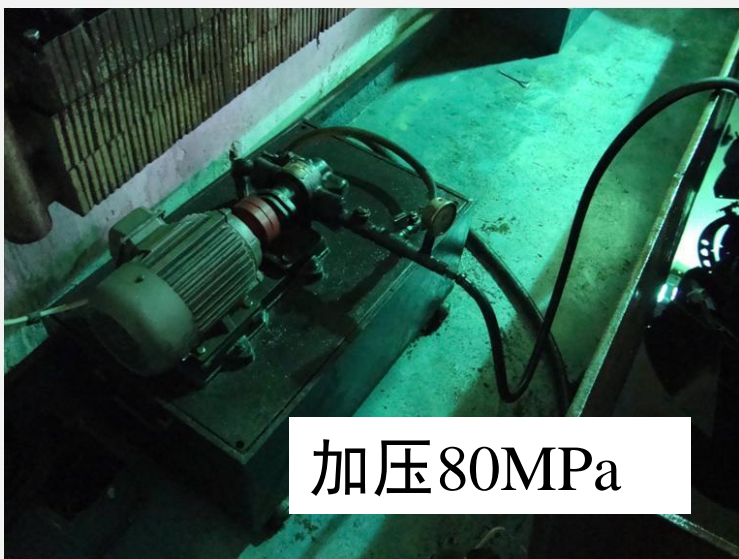


图 中小型曲轴静平衡检验方法

8. 油路密封性检验



*检验报告样式

文件编号: DS-Q/ER-E-07/07-8

曲轴成品形位尺寸检验记录

机型: STC-184 原轴号: 99-40 工程号: 100201

轴号	方向	主轴颈直径 mm		曲柄颈直径 mm		主轴颈 跳动量 mm
		1	2	1	2	
1	T&B					0.01
	P&S					
2	T&B					0.02
	P&S					
3	T&B					0.03
	P&S					
4	T&B					0.04
	P&S					
5	T&B					0.05
	P&S					
6	T&B					0.04
	P&S					
7	T&B					0.03
	P&S					
8	T&B					0.02
	P&S					
9	T&B					0.01
	P&S					
10	T&B					
	P&S					
11	T&B					
	P&S					

曲轴法兰径向跳动与端面跳动

法兰名称	输出端法兰			自由端法兰			齿轮安装 外圆
	径向	端面	止口	径向	端面	止口	
跳动量	0.03			0.03			

曲柄颈与主轴颈轴线平行度

轴颈号		1	2	3	4	5	6	7	8	9
位置	上死点 0°	0	0	0	0	0	0	0	0	
	90°	0	+0.015	0	+0.01	0	0	-0.015	0	
		0	0	0	0	0	0	0	0	

曲柄臂距差

位置	上死点 0°								
	水平 90°								
	下死点 180°								
	水平 270°								

备注:

检查员: (签字): 日期: 年 月 日

*参考文献

- 曹惠芬（中国船舶工业经济研究中心）.我国船用中低速机曲轴市场格局.中国船检, 2013.6: 55-56
- 余云岚, 张坚（上海船用曲轴有限公司）.我国船用低速大功率柴油机曲轴制造技术的发展.上海造船 2009 年第4 期（总第80 期）： 38-41.
- 马志鸿, 余云岚(上海船用曲轴有限公司).半组合式船用低速柴油机曲轴红套研究.柴油机. Vol.32(2010)No.5: 37-41.
- 张学忠, 何文武, 刘建生, 等.大型曲轴弯曲锻造技术的研究[J].机械工程与自化, 2008（6）： 198-200.
- 张文平, 周倩.船用曲轴的制造工艺现状介绍.科技创新与应用2016年第6期： 88-89.
- 宗亮亮, 周焕军, 郭井宽.大功率低速船用半组合式曲轴曲拐零件加工技术研究及创新.上海电气技术. 2013（6）, 6（2）： 33-37.
- 李 静, 沈南燕, 方明伦, 汪学栋, 钱 翔(上海大学上海市智能制造及机器人重点实验室; 上海机床厂有限公司).随动磨削中船用曲轴自动校直系统研究.机械工程学报.Vol.51 No.23, Dec. 2015: 196-204.
- 周焕军,郭井宽(上海船用曲轴有限公司).大型船用低速柴油机半组合式曲轴制造技术综述.上海电机学院学报.vol. 16,No.1/2.2013: 94-99.
- 赵宏杰(中冶南方工程技术有限公司).大型船用组合式曲轴生产规划设计研究.科技视界.80-81
- 赵威(十堰天舒机电科技有限公司).感应加热在船用曲轴制造中的应用.金属加工, 2012年 第19期: 41-42.
- 潘小娟（山西太钢不锈钢股份有限公司）.浅析船用曲轴42CrMoA 的冶金质量要求及控制.《热加工工艺》2014 年8 月第43 卷第16 期： 94-95,101.

复习思考题（典型零件）

•目前活塞生产厂大多采用止口和端面，采用下端面和止口作定位基准的缺点有哪些？

典型的活塞加工加工阶段组成包括哪些？

在活塞粗加工中，比较重要的工序是止口的加工。可以采用哪些表面作为粗基准，分析其优劣。

采用金属硬模浇铸时，活塞外圆表面的粗加工以内表面作为定位基准，进行外圆表面加工。有时，也可用活塞外圆表面定位，在两次安装中粗车外圆，但用该法加工易造成什么问题？

活塞是一个薄壁零件，尺寸精度和位置精度的要求都很高，因此希望以一个统一基面定位来加工这些要求高的表面，此时可以依据什么原则确定加工基准？

实际活塞外圆表面头部常做成锥形，能实现头部锥度加工的方法有哪些？

精镗活塞销孔时，一般采用以头部端面和外圆作为定位基准，这种定位方式可以满足什么原则？活塞销孔精镗加工的定位基准为以下端面 and 止口定位及粗镗后的销孔，这种定位方式可以满足什么原则？

活塞头部燃烧室面一般为成形表面，能实现燃烧室面加工的方法有哪些？

请介绍活塞销孔、外圆及环槽、顶部燃烧室加工的定位方案，并绘制夹具定位简图。

连杆加工可以分为哪些加工阶段？

常用作连杆的材料有哪几种？

具有工字形截面的杆身工字形凹槽是通过什么方法加工的？

大、中型柴油机的连杆毛坯一般采用什么方法制造的？

请介绍连杆加工中，加工连杆大端和小端孔时，一般如何选择定位基准，确定定位方案，说明定位元件限制的自由度数目的方向，并绘制夹具定位简图。

曲轴加工可以分为哪些加工阶段？

画图并说明在定位加工主要表面时，曲轴的定位和夹紧方案。



中国制造2025

谢谢!

Made in China

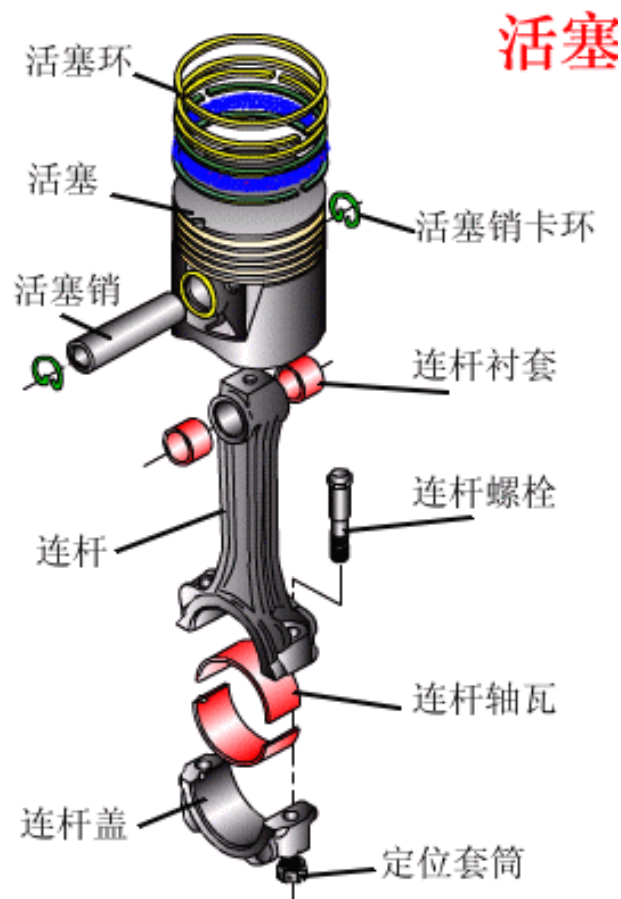


第四节 活塞环制造工艺

Manufacturing technology of piston ring

内容提要

- 一 活塞环的结构特点、材料和加工技术要求
- 二 活塞环的成形方法
- 三 活塞环表面的加工工艺
- 四 活塞环的检验



一 活塞环的结构特点、材料和技术要求

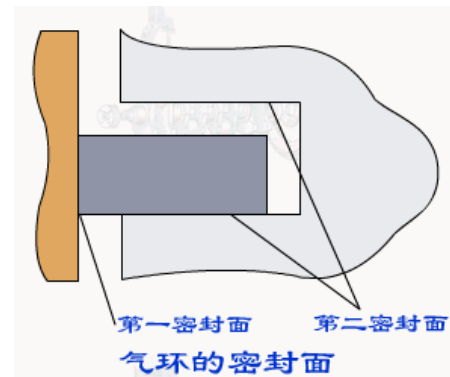
1. 活塞环的结构特点

Structures and properties of piston ring

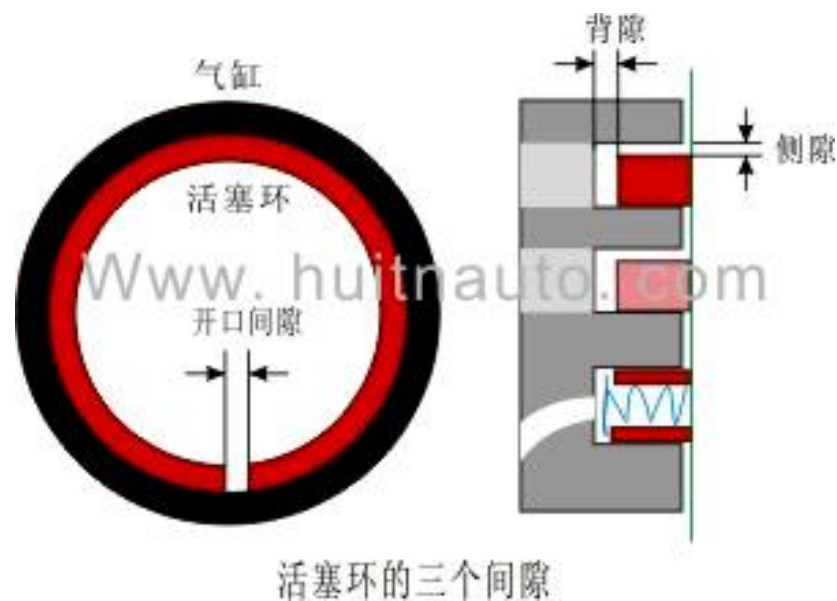
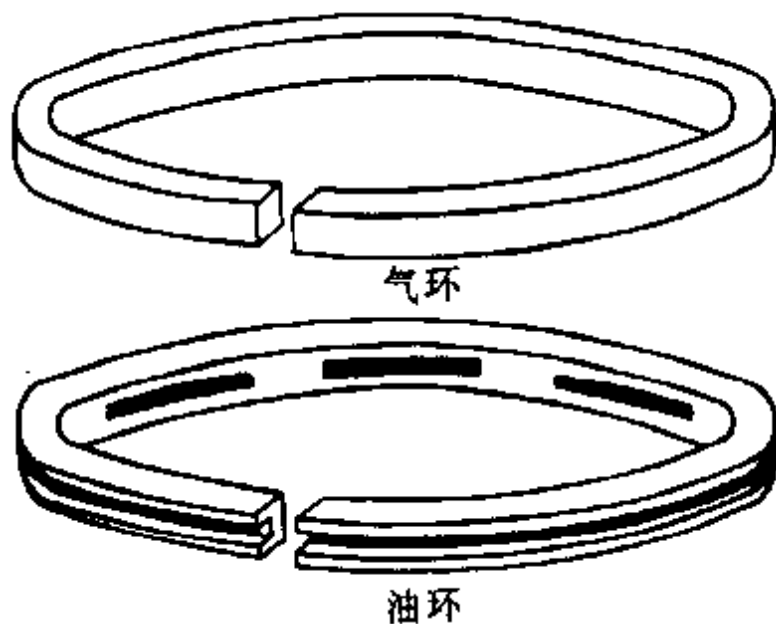
(1) 工作条件:

- 1、温度很高(特别是第一道环温度可高达 300°C),
- 2、活塞环在气缸内随活塞一起作高速运动,
- 3、高温下机油可能变质,使环的润滑条件变坏,磨损严重。
- 4、环受到交变应力而容易折断。

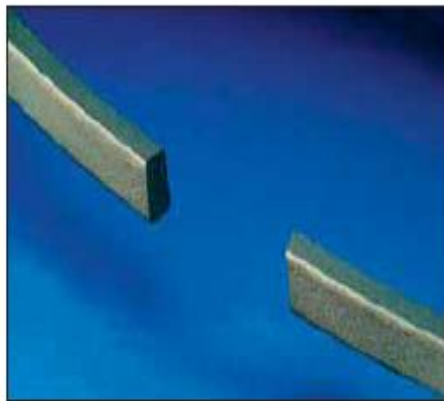
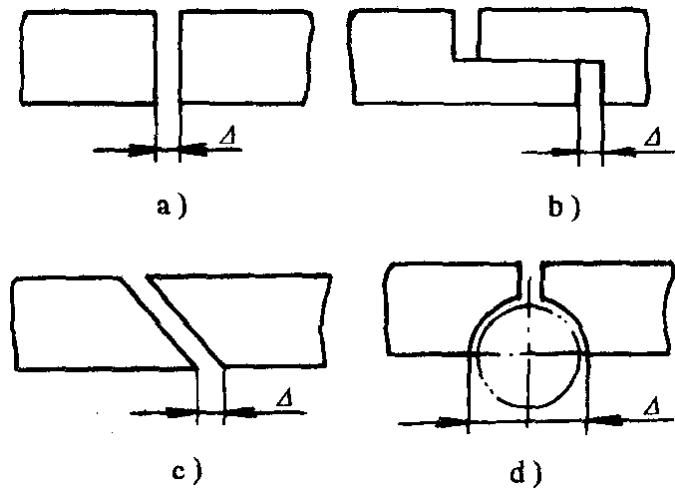
要求活塞环：弹性好，耐高温、强度高、耐磨损。



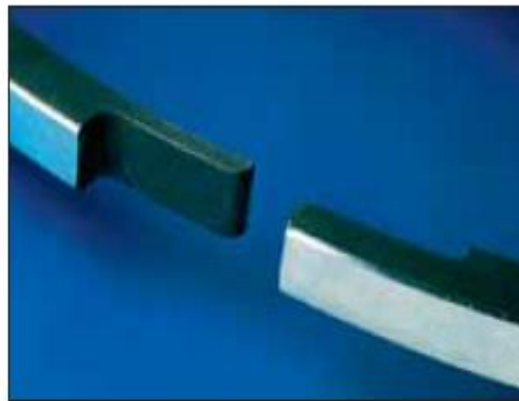
(2) 活塞环种类



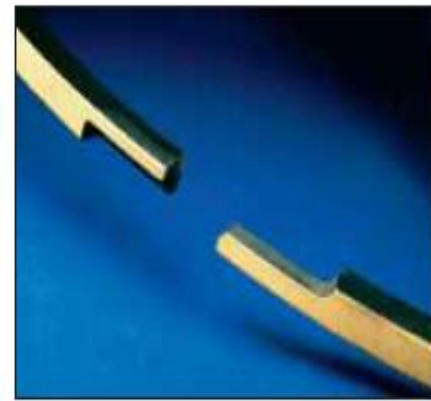
(3) 气环的切口 (搭口) 形状



Oblique cut (left cut 60 degrees)
piston ring



Daroseal type of piston ring



Gas tight type of piston ring

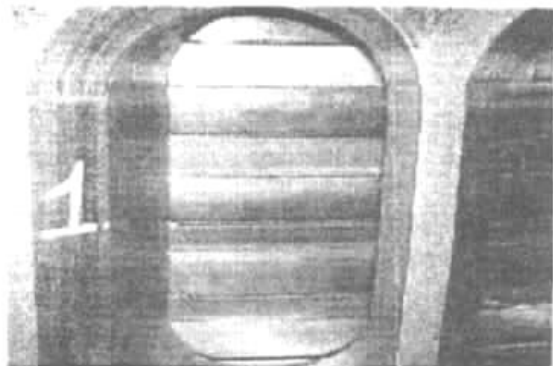
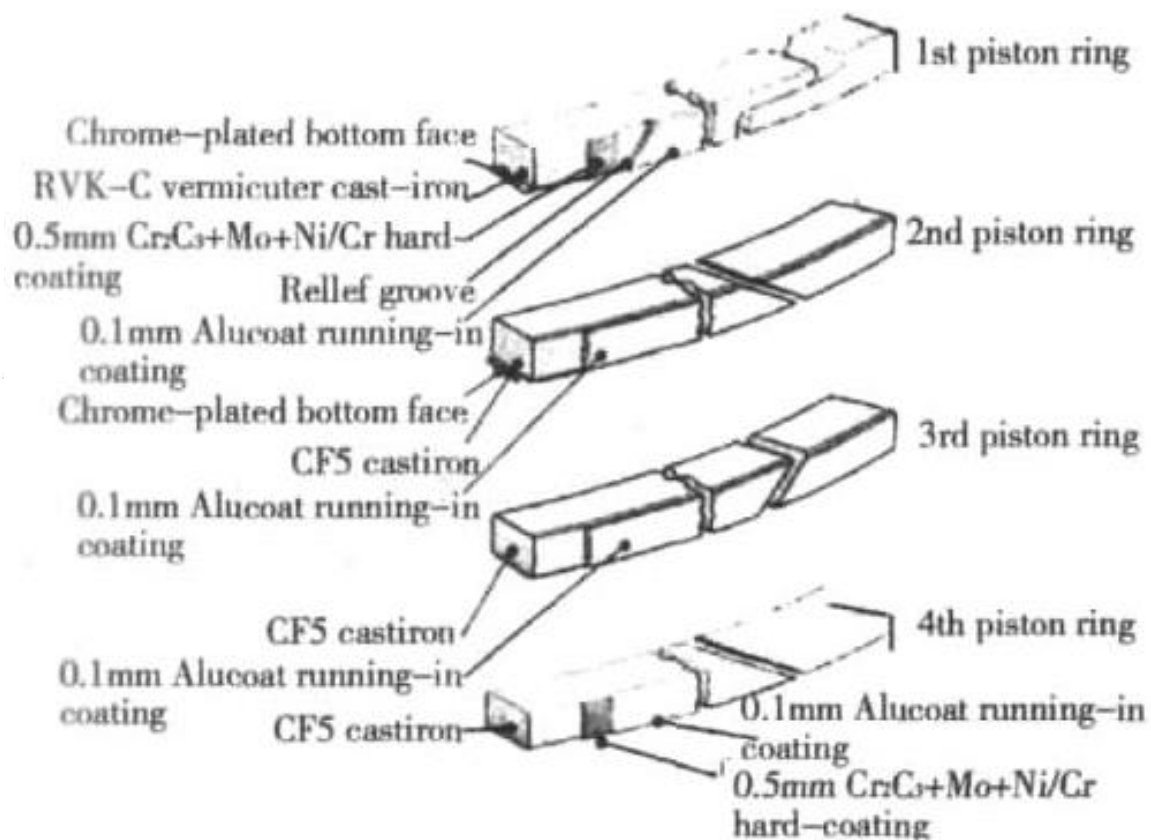



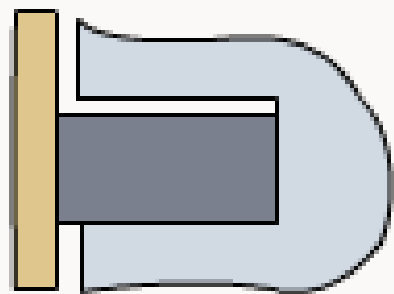
图 4



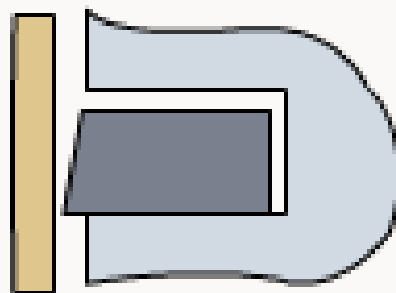
MAN B&W (S90MC-C) 第一道环采用 “” 形设计，大幅降低环搭口所承受的热负荷。

范明康（上海远洋运输有限公司）.介绍一种新型船用柴油机活塞环. 航海技术.2009年第3期：56-57

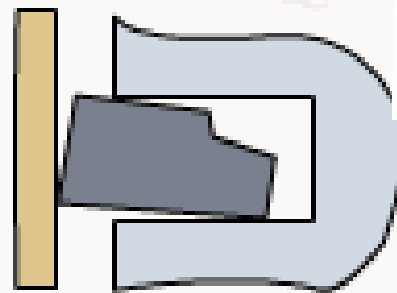
(4) 气环的断面形状



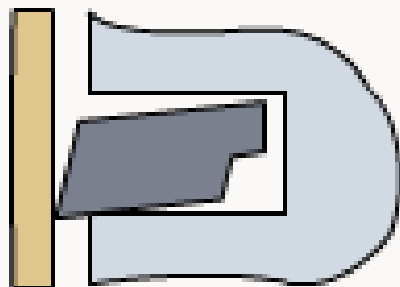
矩形环



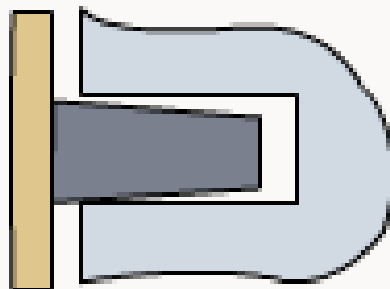
锥面环



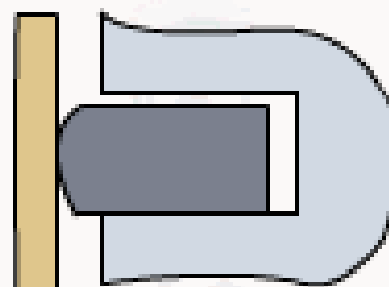
扭曲环



扭曲环



梯形环



桶面环

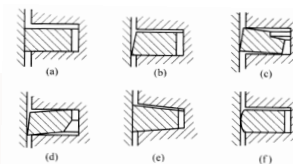


图 2-9 气环的断面形状
(a) 矩形环 (b) 锥面环 (c) 正扭曲内切环
(d) 反扭曲锥面环 (e) 梯形环 (f) 桶面环

(5) 气环的受力

1) 轴向压力分布:

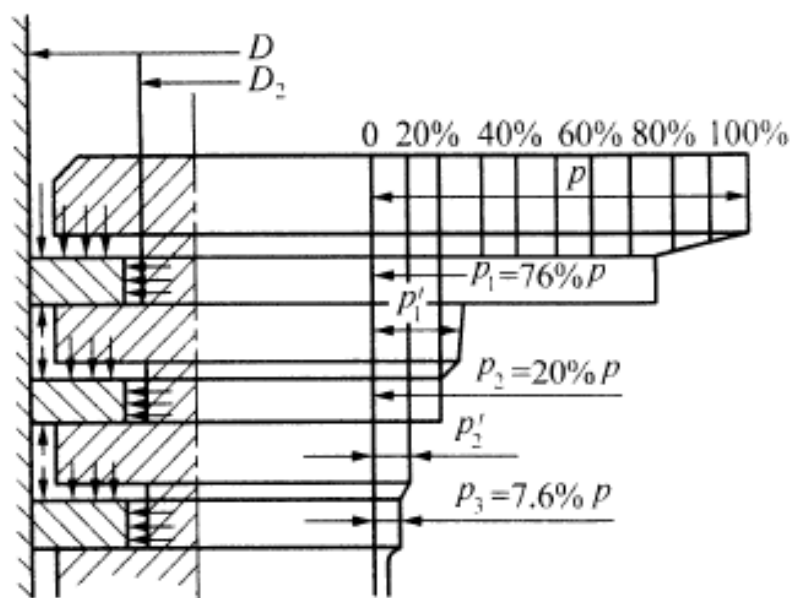
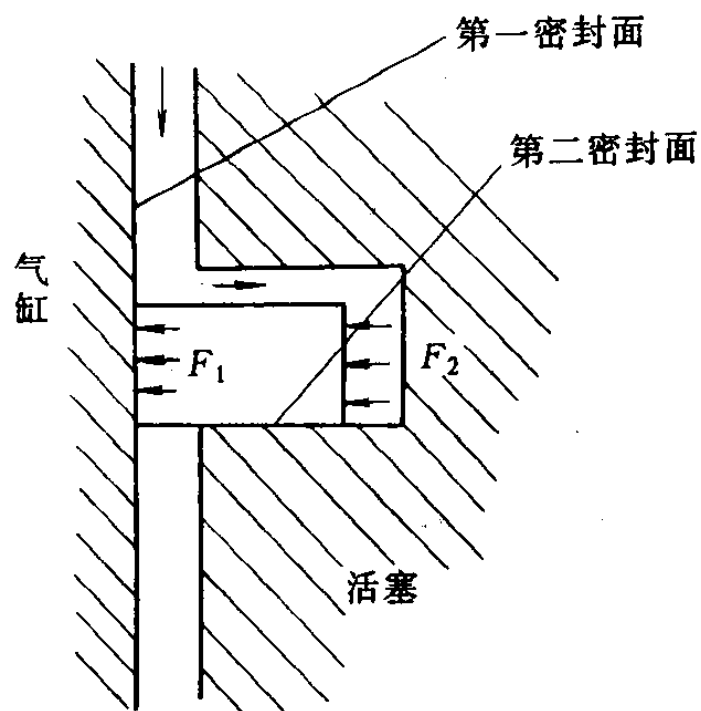


图 2-8 各环间隙处的气体压力递减图

2) 活塞环的运动:

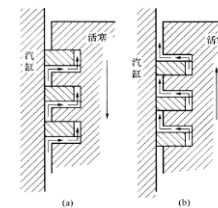
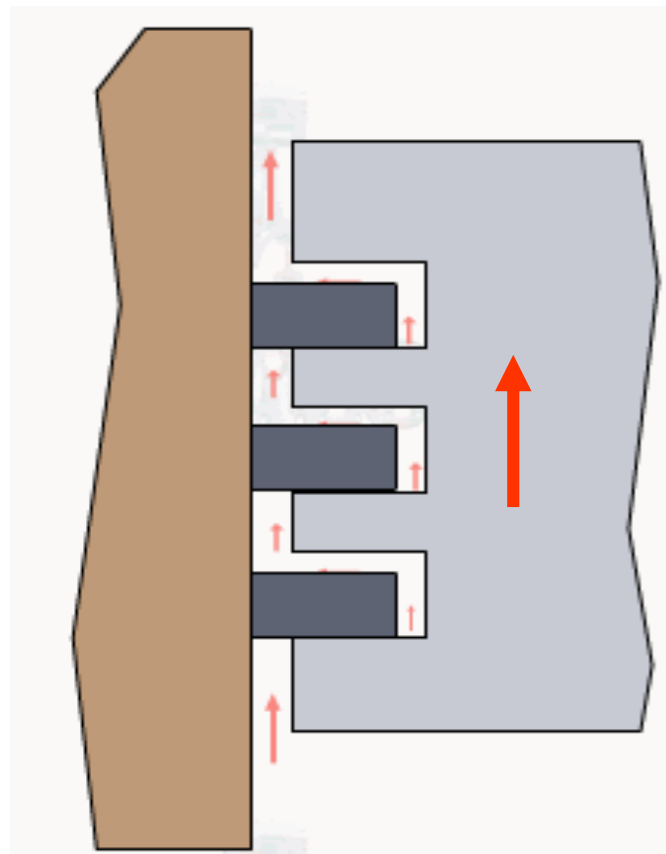
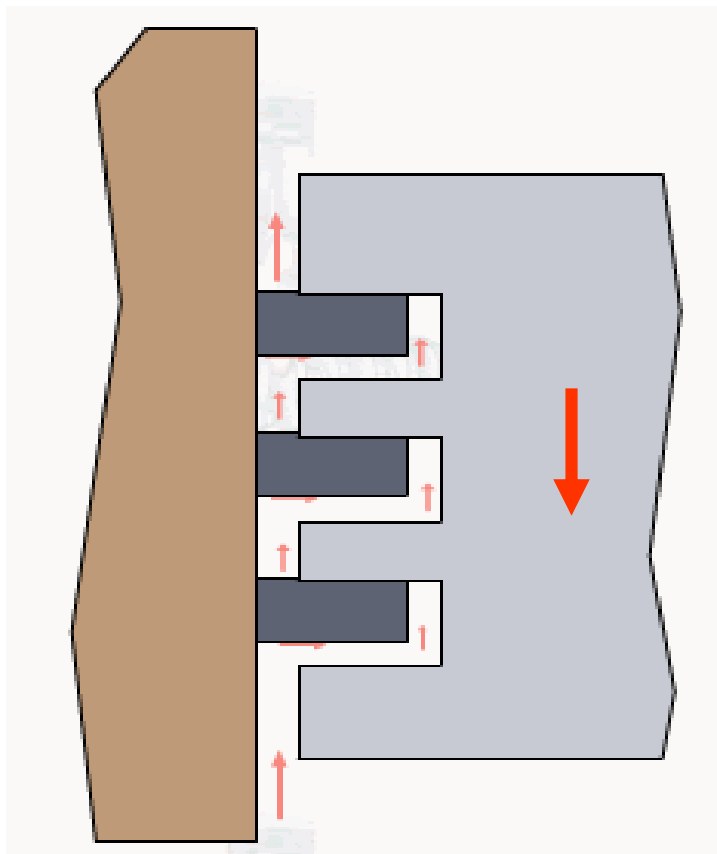
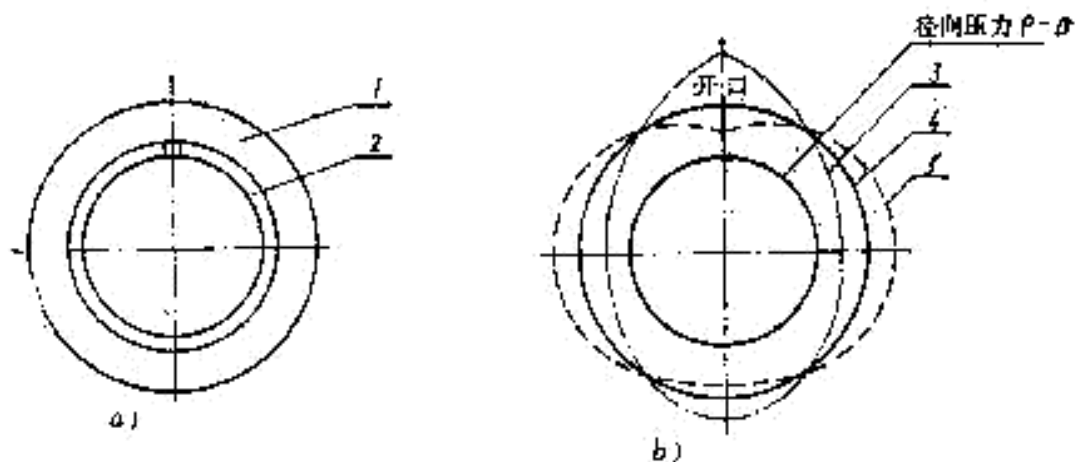


图 2-10 矩形环的泵油作用
(a) 活塞下行 (b) 活塞上行



3) 径向压力分布:

- ①**等压环**: 主要用于四冲程中速柴油机,
- ②**苹果形压力环**: 只应用与二冲程柴油机, 特别是大型船用柴油机,
- ③**桃形压力环**: 装入气缸后在开口处压力较高, 甚至活塞环磨损后在开口处仍能保持一定的径向压力, 特别适合于高速柴油机。



活塞环的径向压力分布

1-气缸套; 2-活塞环; 3-桃形分布; 4-等压分布; 5-苹果形分布

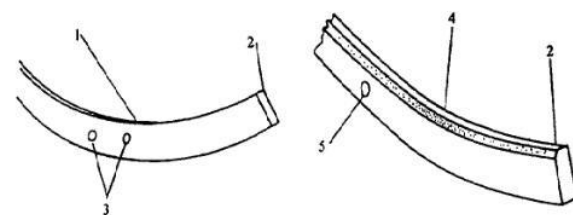
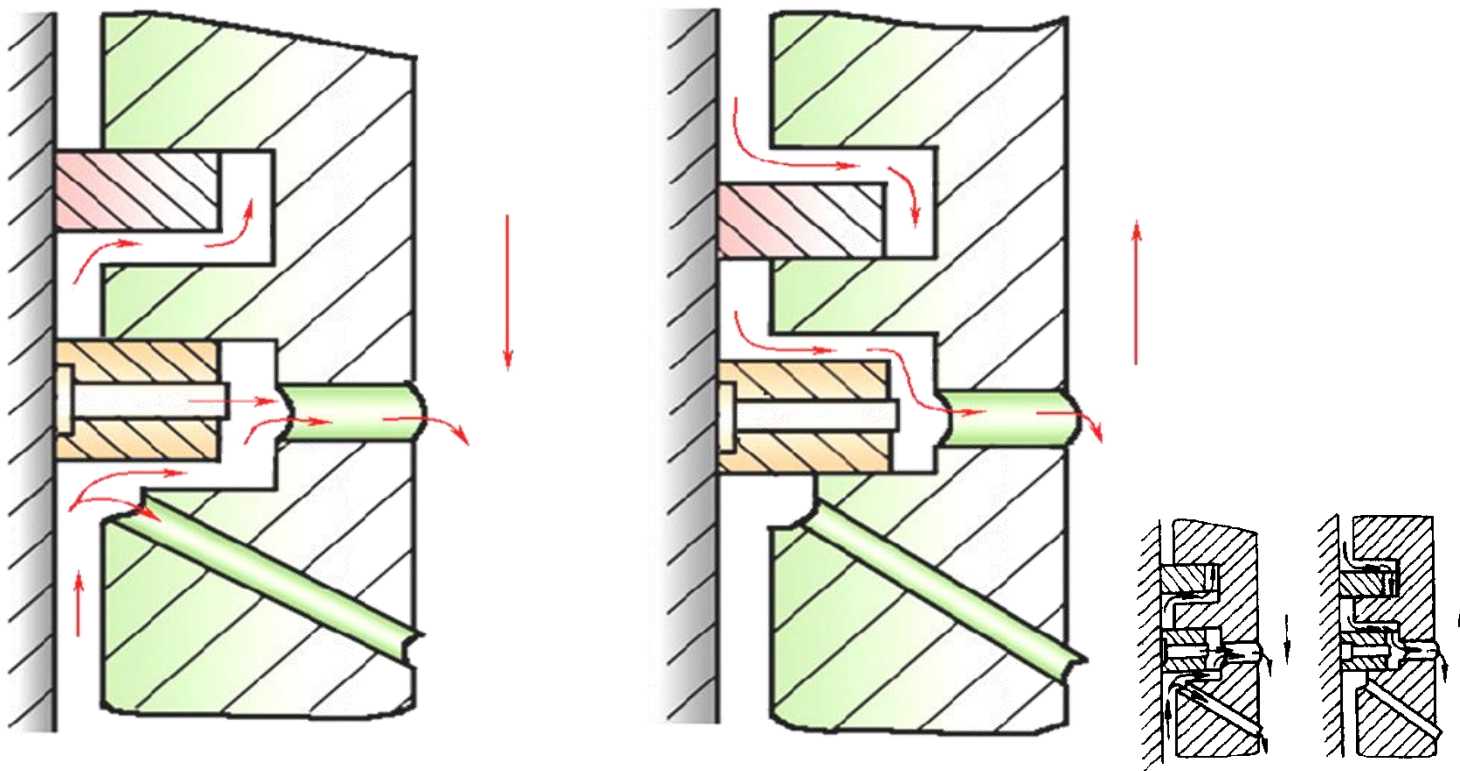


图 2-22 压缩环常见标记

1-第二压缩环 2-倒角 3-第二压缩环标记 4-第一压缩环
5-第一压缩环标记

(6) 油环

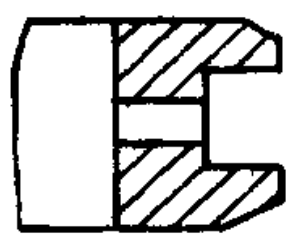
油环 置于最后一道环槽，背隙内气体压力极低，因此，油环置于气缸内时，必须具有较大的初始弹力、接触比压。



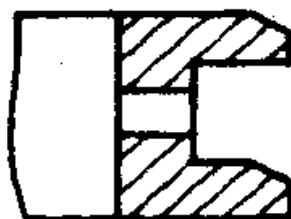
油环的刮油作用

1) 普通槽孔式油环:

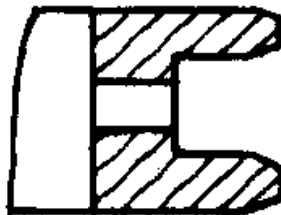
合金铸铁，鼻形倒角



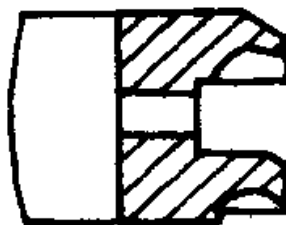
a)



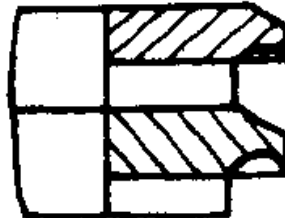
b)



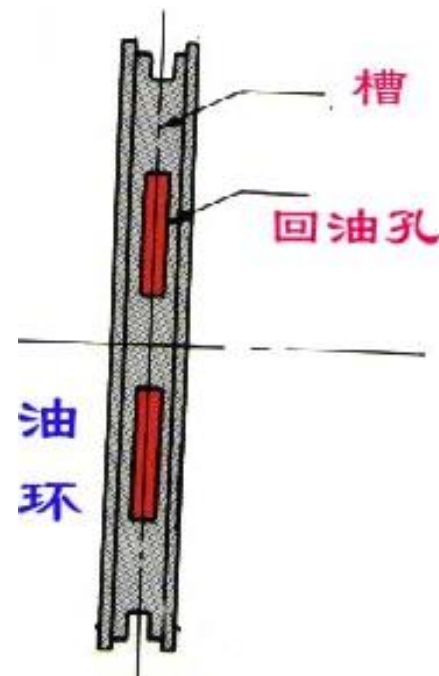
c)



d)



e)



- (a) 异向外倒角油环.. (b) 同向外倒角油环.. (c) 同向内倒角油环..
(d) 鼻式油环.. (e) 双鼻式油环

2) 组合钢片式油环:

由上下刮油片和产生径向、轴向弹力的衬簧组成。接触比压大，刮油能力强，泄油通路大，惯性质量小，但制造成本高。

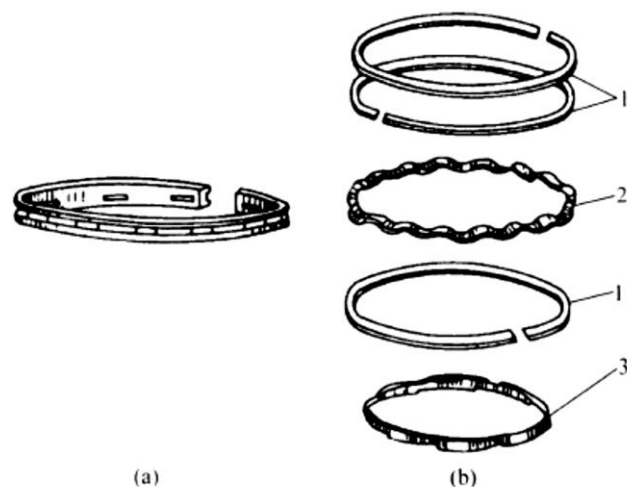
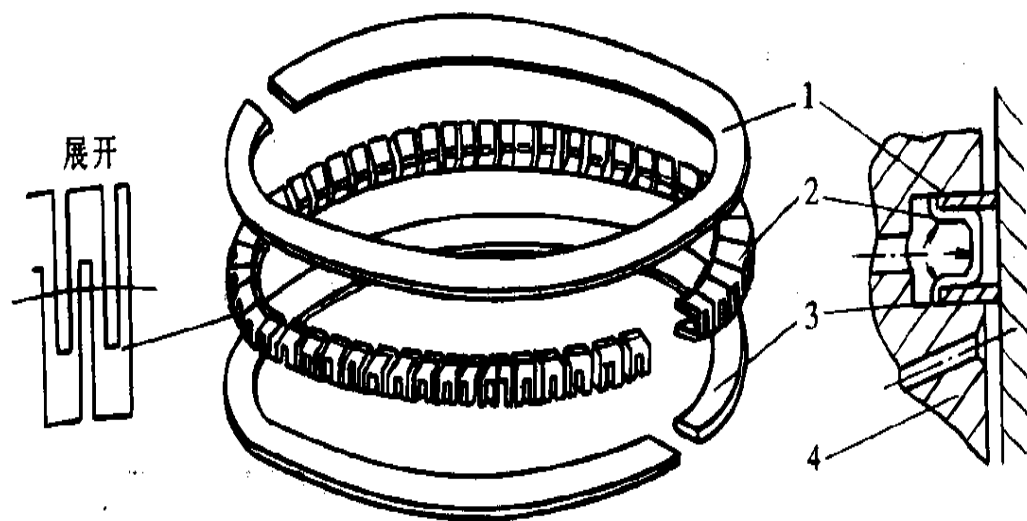


图 2-11 油 环
(a) 普通油环 (b) 组合油环
1. 刮油环 2. 轴向衬环 3. 径向衬环

图 组合油环

1-上刮片 2-衬簧 3-下刮片 4-活塞

2. 活塞环的材料

Materials of piston ring

某型船用活塞环——Stellar标准材质表

材质	合金	基体	抗弯强度 N/mm2	布氏硬度 HB	
Stellar-SU	铜铬	珠光索氏体	520	210	
Stellar-S8	钼钒	珠光索氏体	550	210	
Stellar-SK	铜钒钛	珠光索氏体	500	205	
Stellar-S	铜钼	索氏珠光体	550	210	
Stellar-S1	铜钼铬	索氏珠光体	610	215	
Stellar-S2	铜钼镍铬钒	索氏珠光体	700	230	

(1) 活塞环材料

铸铁类：

问题：为什么船用柴油机活塞环的材质多选用铸铁类？

- 灰口铸铁：HT200-400、HT250-470
- 球墨铸铁：
- 可锻铸铁：
- 合金铸铁：CrMoCu、CrMo、CrMoCuB、VTi。

钢类：

问题：和铸铁类活塞环相比，钢类优缺点是什么？

- 主要用于压缩环、刮油环（常见）
- 碳素钢、低合金钢和不锈钢等。
- 表面通常镀铬、镀锡或磷化等表面处理。

(2) 活塞环材料的性能

硬度

- 中小型柴油机活塞环材料为HB190 ~ 230,
- 大型低速柴油机活塞环材料为HB180 ~ 220,
- 合金铸铁环活塞环材料为HB220 ~ 230。

合金组织

细片状珠光体结构或索氏体状珠光体结构



典型铸铁活塞环主要力学性能

材料	弹性模量/GPa	抗弯强度/MPa	典型硬度 HRB)
低合金灰铸铁	95	390~430	102
灰铸铁	85~110	≥392	97~102
可锻铸铁	150	800	105
球墨铸铁	≥150	≥1 300	100~112
合金铸铁	90~110	≥392	97~108
高合金铸铁 F14	130~160	650~700	109~116
多元合金铸铁 K4	100~130	≥500	108~114

活塞环用钢材主要力学性能

材质	弹性模量 E/ GPa	典型抗拉强度 σ_b / Mpa	硬度
碳素钢	210	1235	HV5 500 ~ 600
低合金钢	206 ~ 210	1250	HRC47 ~ 53
马氏体不锈钢	210	1215	HRC40 ~ 44
奥氏体不锈钢	210	1300	HV1 205 ~ 330

3. 活塞环的主要质量要求

The major demands on
piston ring

(1) 尺寸精度

环高度：h6

径向厚度按h8

环压缩状态下的切口间隙

(2) 形状精度：

外圆柱面几何形状精度

(3) 位置精度

活塞环两端面的平行度

$D_{\text{气缸}} \leq 200\text{mm}, \Delta \leq 0.05\text{mm};$

$D_{\text{气缸}} > 200 \sim 500\text{mm}, \Delta \leq 0.08\text{mm};$

$D_{\text{气缸}} > 500\text{mm}, \Delta \leq 0.10\text{mm}。$

(4) 其他要求：

弹力、径向压力分布。

二 活塞环成形方法

Forming methods of piston ring

同心车削法

偏心车削法

锤击

滚压成型法

热定型法

铸造成型法

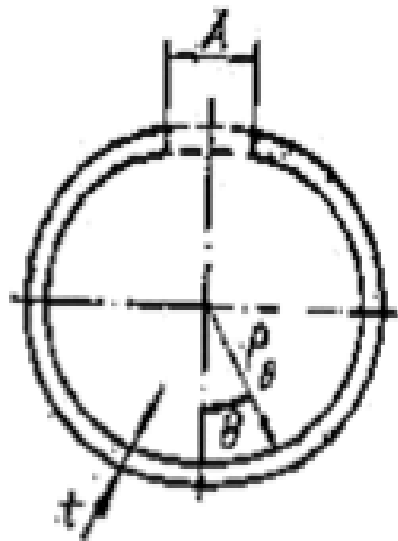
铸造成型法是最基本的
活塞环制造方法

1. 热定形方法

Thermal method

(1) 原理:

热定形是以等压环的特点为基础，用加热消除机械应力的方法获得活塞环自由形状。



理论研究表明，具有等压分布的活塞环，其自由状态的形状是把正圆环在开口处向切线方向拉开的形状相同。利用这一理论：将一个活塞环开口加楔块后的形状做成金属模，用以制造活塞环的毛坯及靠模型线。

(2) 工艺特点

圆形筒状或单体毛坯



机械加工和切开口



金属块插入环开口



装入夹具后放进盐浴槽或电炉



加热至600~650度，保温1800~3600s



空气中冷却

(3) 具体加工过程

- 1) 粗车外圆（留余量1.0mm），粗镗内圆（留余量0.5~0.8mm），切割成单个环；
- 2) 粗磨两端平面；
- 3) 切开口；
- 4) 热定形 加热至600~650℃，保温2400s 以上，在空气中冷却；
- 5) 半精磨两端平面；
- 6) 精车外圆；
- 7) 修整开口；
- 8) 精镗内圆；
- 9) 精磨两端平面；
- 10) 修整开口、倒角、去毛刺；
- 11) 检验；
- 12) 表面热处理：表面镀锡。

2. 靠模机械成形方法

Model forming
technology

椭圆形单体毛坯的加工顺序

粗磨两端平面→

精磨两端平面→

靠模车削外圆→

靠模车削内圆→

切割开口→

车削内圆→

精车外圆→

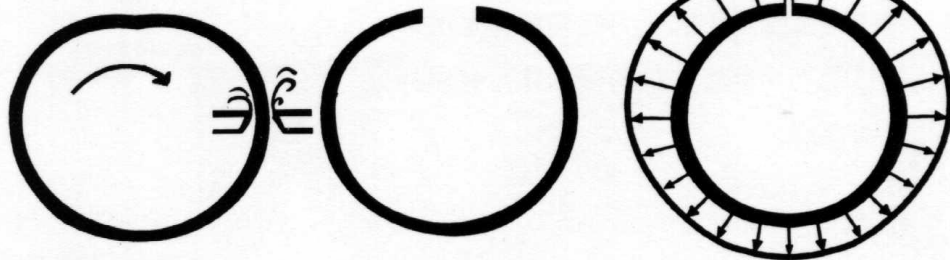
磨外圆→

镀铬→

研磨外圆→

修整开口。

图 2.



1.

椭圆形铸件料用自由状态的活塞环模型进行仿形车削。

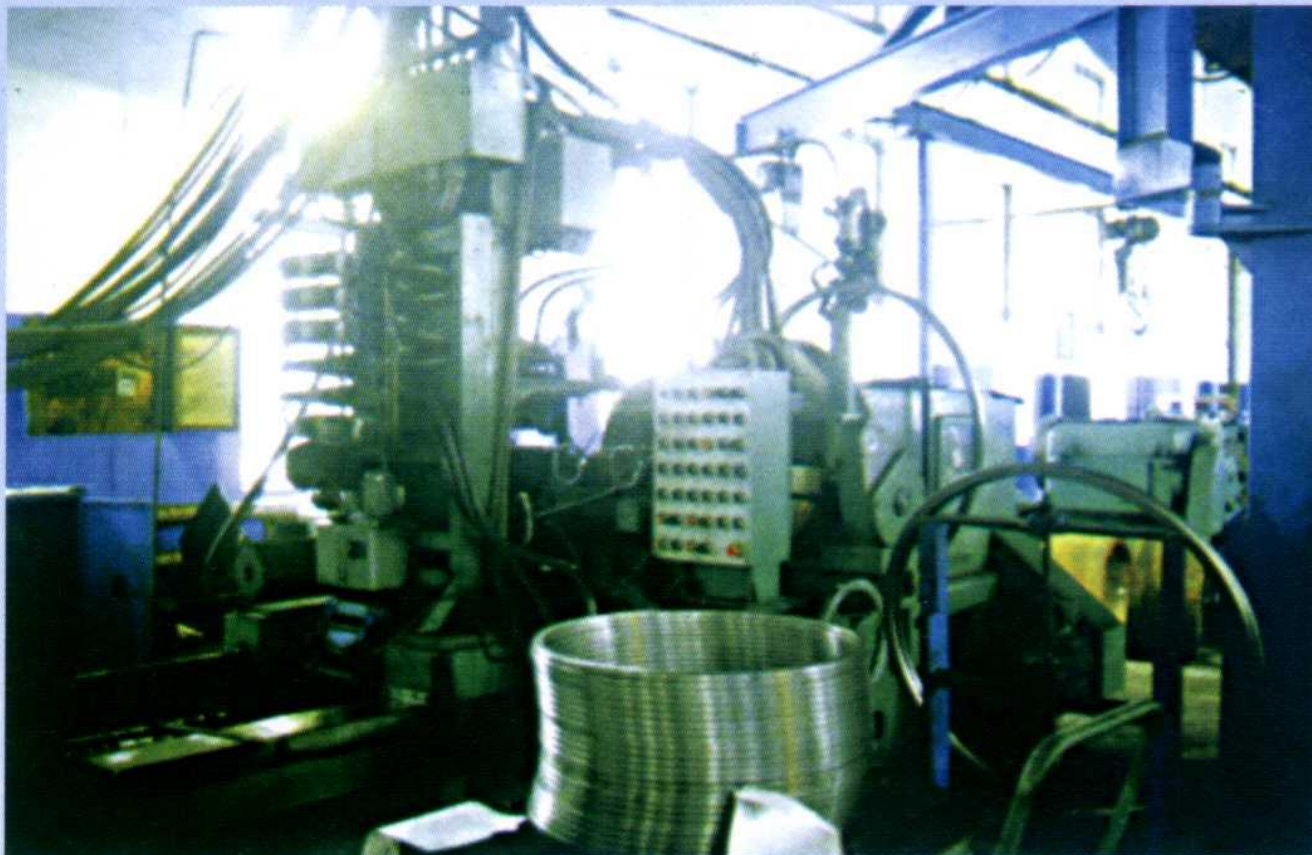
2.

切出自由间隙 S_0 ，通常是直径的 7-13%。

3.

安装在气缸内的活塞环具有正确的侧壁压力分布。以上的例子是一典型的二冲程活塞环。

*靠模机械成形（仿形车削）现场



生产直径500-1100mm活塞环的是集内外缘仿形车削、切割及倒角为一体的欧洲专利数控仿形车床

3. 铸造成形方法（常见方法）

Casting forming
method

(1) 活塞环的铸造工艺

- 单体铸造
- 筒形铸造



All Daros piston ring materials are cast as pots in sand moulds. This casting method ensures a homogeneous and well defined material structure.



按既定的材质配方浇铸高合金铸铁的活塞环毛坯

铸造工艺1：单体铸造

加工余量小、断面均匀、结晶散热条件好, 能够获得致密基体组织和细小石墨, 有良好的弹性和耐磨性, 效率高、质量亦好。

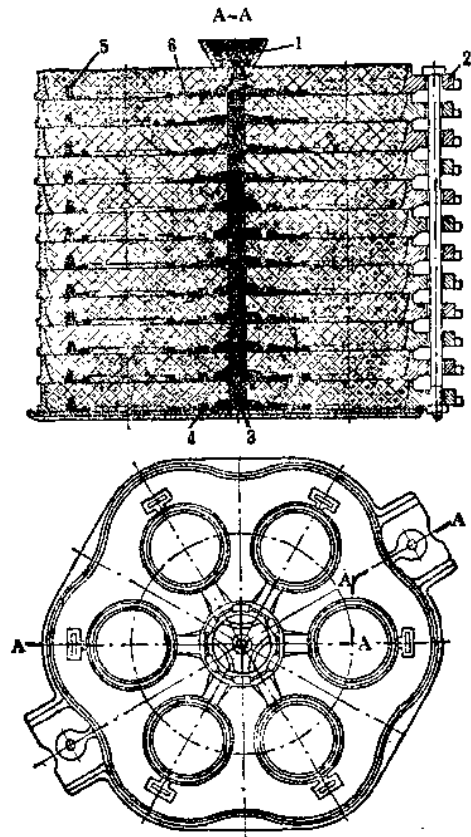


图 活塞环叠箱式造型示意图

1—浇口杯；2—砂箱；3—直浇口；4—集渣槽；5—暗冒口；6—内浇口

铸造工艺2：筒形铸造

1. 砂型铸造
2. 金属模敷砂
3. 离心铸造

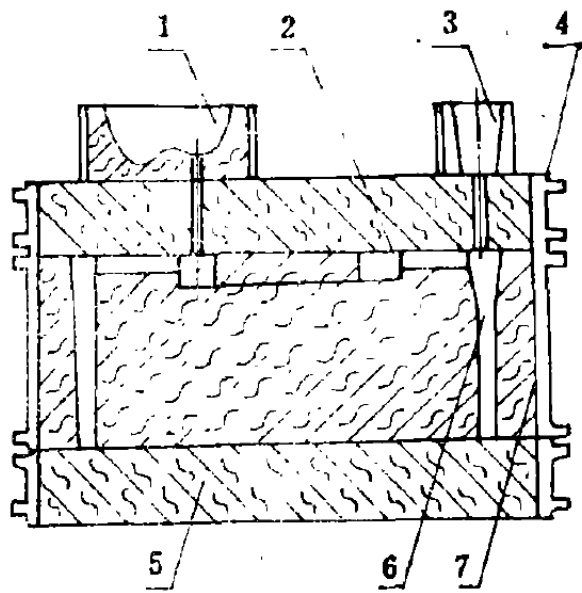
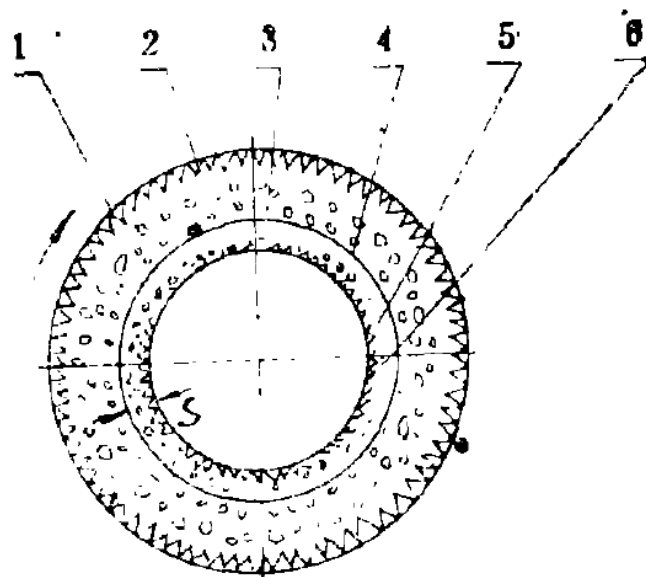


图1砂型铸造工艺图

1. 浇口杯
2. 横浇口
3. 出气冒口
4. 盖箱
5. 底箱
6. 铸件
7. 箱圈



离心浇注结晶示意图

1. 外壁结晶
2. 液态金属
3. 缩松层
4. 夹渣区
5. 内孔结晶
6. 非金属内层

(2) 椭圆形单体毛坯的加工顺序

- ①椭圆形的单体或筒状毛坯
- ②加工活塞环的两端面
- ③靠模车外圆
- ④切开口
- ⑤压缩至工作开口间隙，在车床上加工内外圆

(3) 工艺特点

- ①弹力从铸态下获得，无需复杂热处理。
- ②加工余量小而均匀。
- ③此法常用于大批生产的企业中。



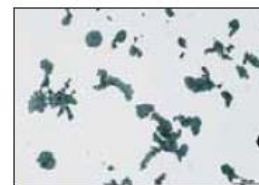
RS, lamellar graphite



RM5, blunt edged lamellar graphite



RM5, perlitic matrix with the blunt edged graphite visible



DARCAST, compacted graphite

注：还有其他工艺如“滚压成形”工艺 (Rolling method)

三 活塞环的加工工艺

Machining processes
of piston ring

定位基准：端面、外圆表面。内圆表面一般只在粗加工时才采用。

1. 两端面的加工

Machining technology of two end-planes

①成批生产，粗加工

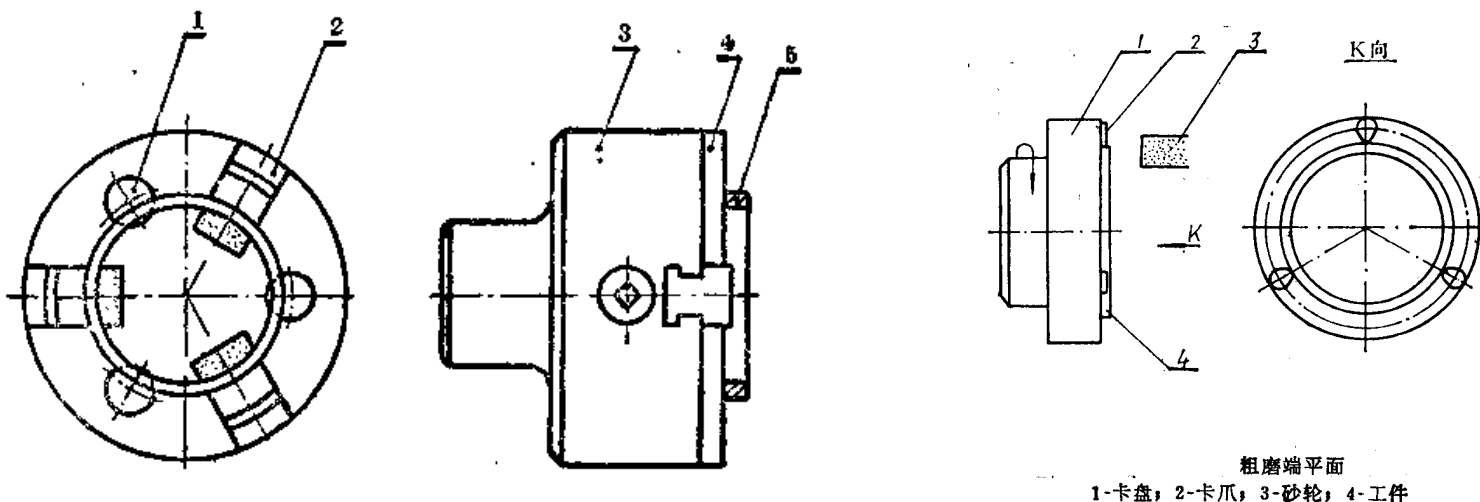


图 在普通车床上粗车活塞环两端面用的夹具

1—垫板固定螺钉；2—三爪；3—卡盘；4—附加垫板；5—工件

②大量生产，粗加工：专用磨床。

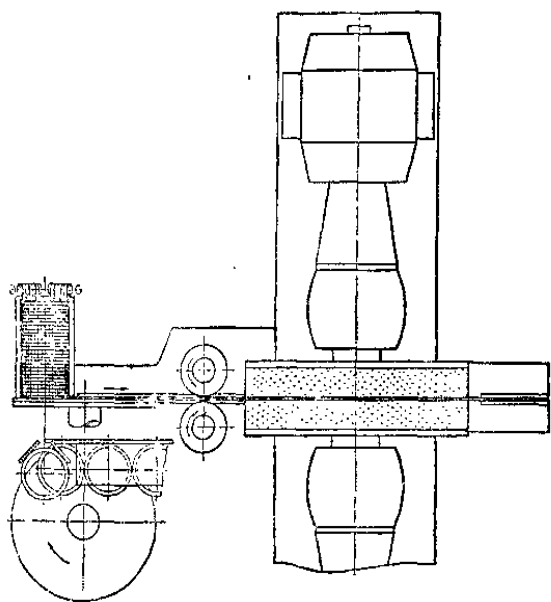


图 在卧式双边自动磨床上初磨活塞环的端面

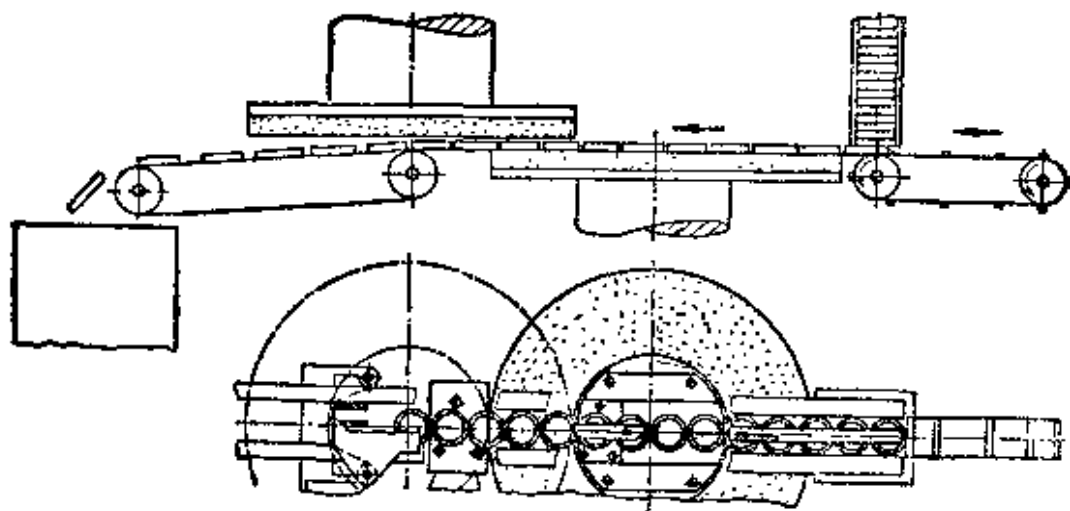


图 在立式双轴自动磨床上精磨活塞环两端面

③生产批量不大，粗、精磨端面：带有磁力工作台的平面磨床加工

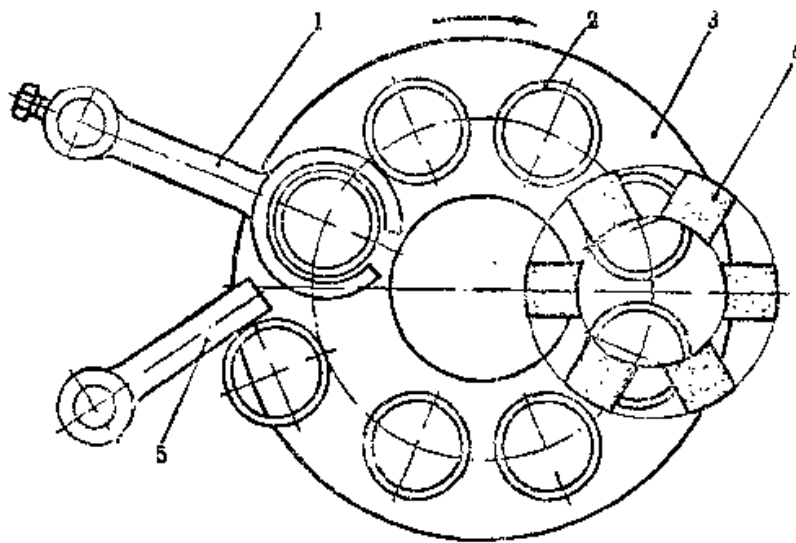


图 在电磁夹盘上自动磨削

1—料斗；2—活塞环；3—电磁夹盘；4—砂轮；5—挡板

2. 内外圆表面的加工

Machining technology of
inner surface

①圆筒型活塞环毛坯的内外圆加工：

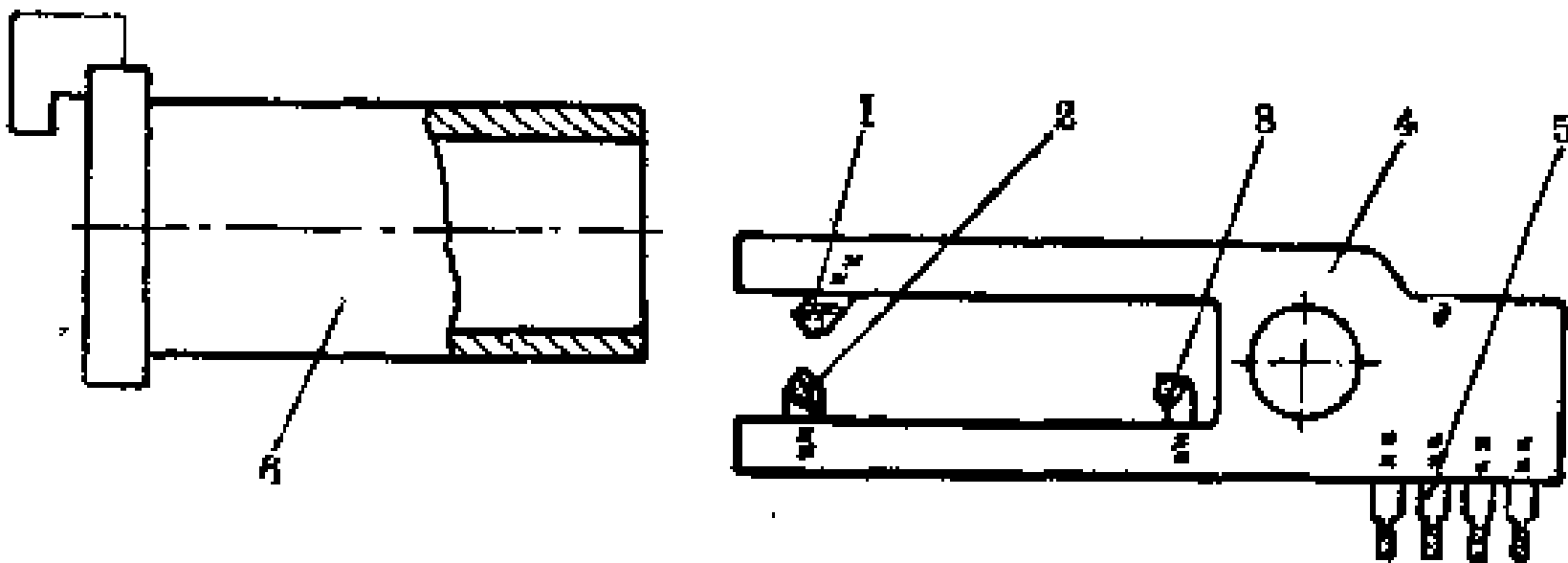
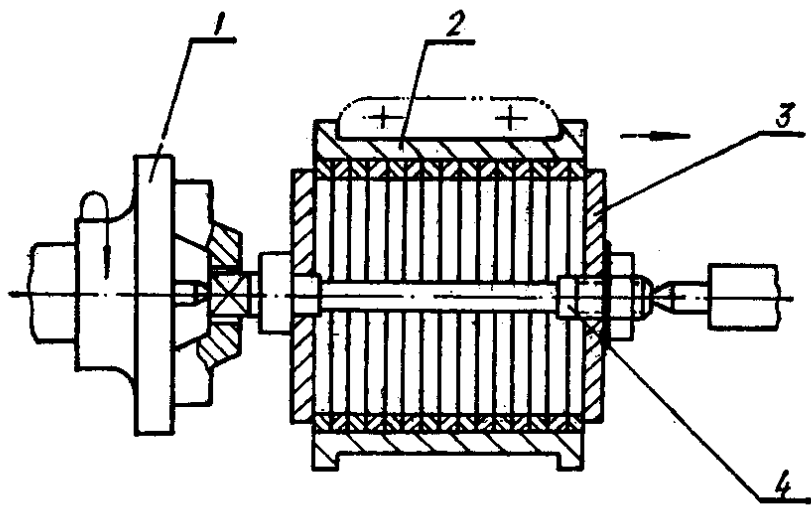


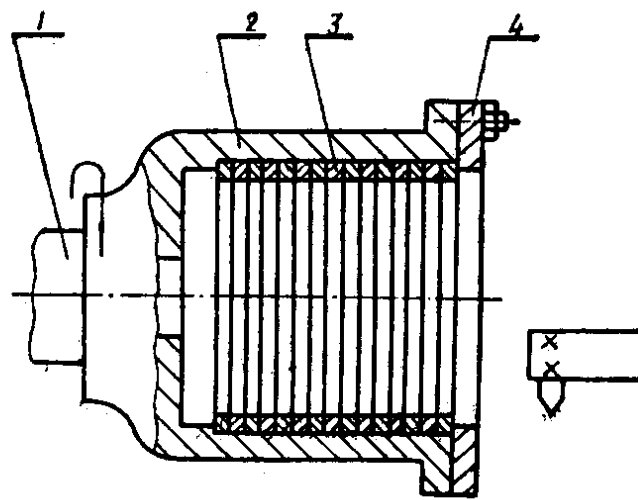
图 在普通车床上车内外圆、端面 and 割下活塞环
1—镗刀；2—外圆车刀；3—端面车刀；4—刀架；5—切断刀；
6—工件

②单体圆柱形毛坯按正圆加工



精车外圆

1-卡盘；2-套筒夹具；3-压板；4-心轴



精镗内圆

1-车床主轴；2-套筒夹具；3-工件；4-压紧环

③大量生产，活塞环内外表面粗在专用的无心磨床上加工

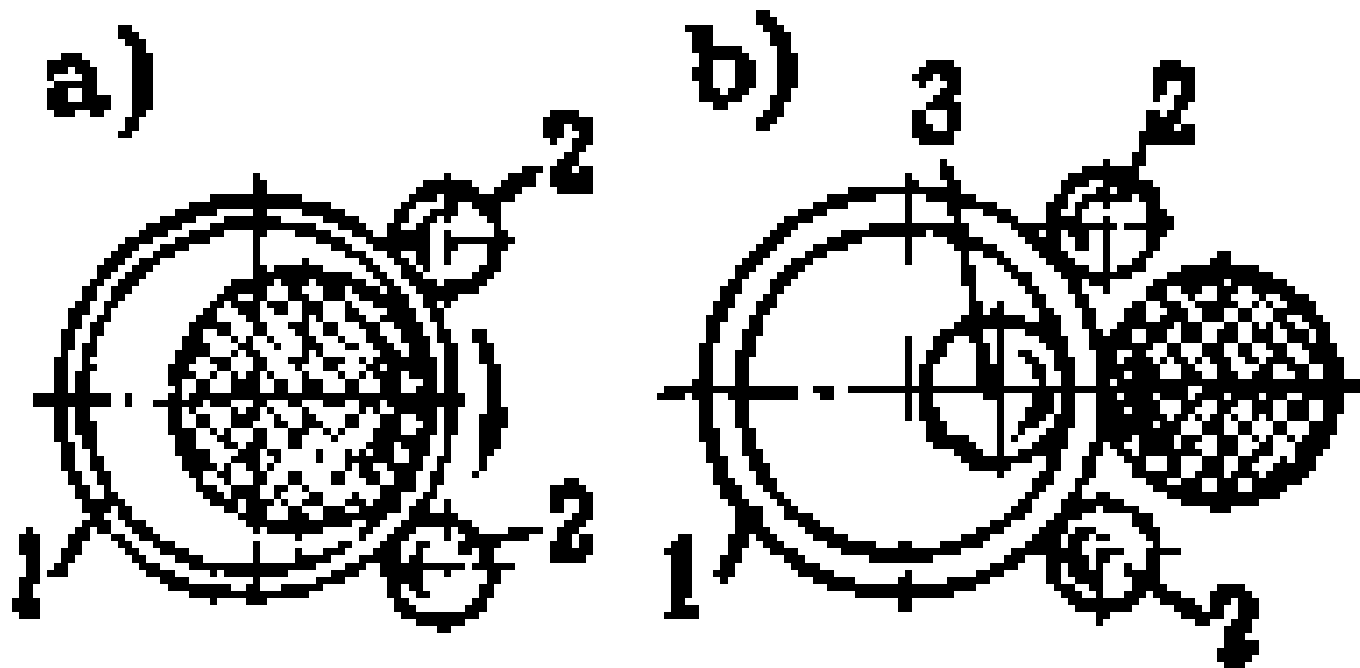


图 在用无心磨床上粗磨活塞环毛坯的内外圆

(a)磨内圆；(b)磨外圆

1—活塞环；2—导轮；3—圆轮

④靠模车削

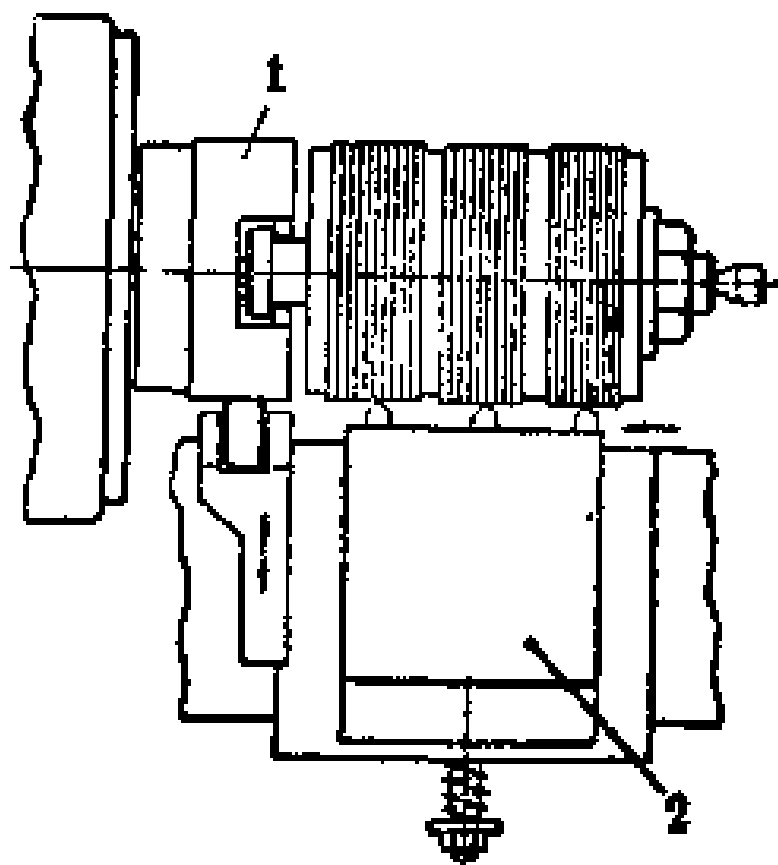


图 在多刀靠模车床上加工活塞环
1—靠模；2—刀架

3. 切口的加工

Cutting method

①圆形活塞环毛坯（热定形）的切口是在小型卧式铣床上切出的。

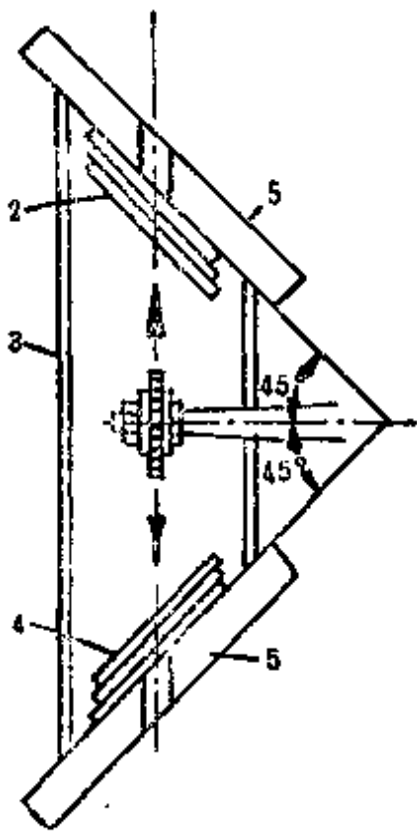


图 在卧式铣床上铣斜切口示意图
1—铣刀；2—左端三个活塞环；3—活塞环V形槽；4—右端三个活塞环；5—支承板

②椭圆形毛坯在靠模车外圆后，不必取下，就可铣直切口。

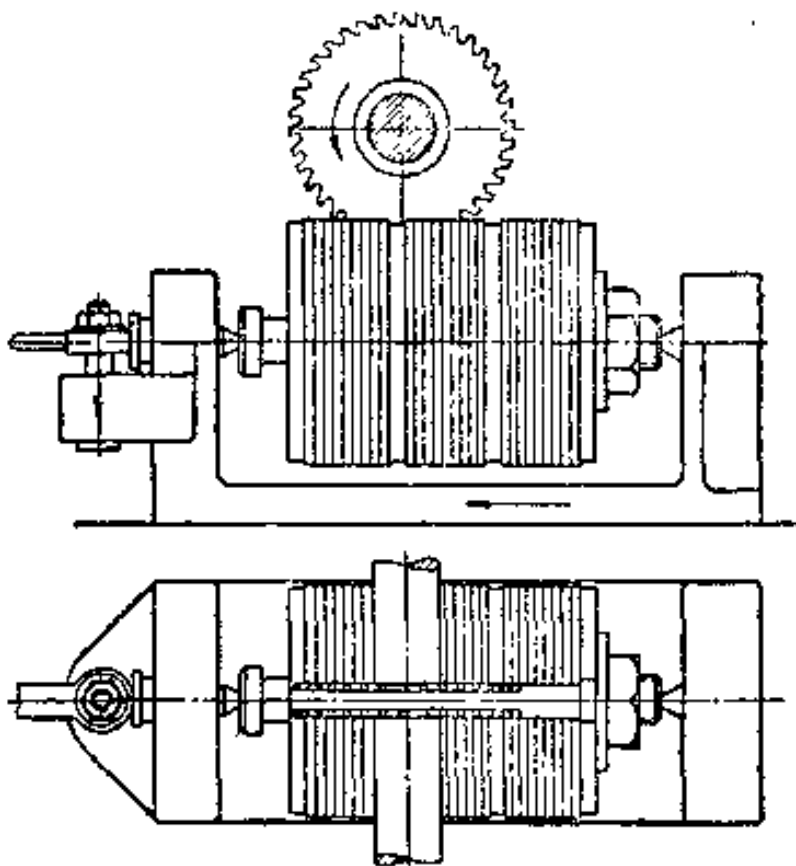


图 活塞环直切口的加工简图

4. 切口的热定形处理(时效)

The thermal forming of cutting notch

- ①活塞环铣断后，在切口处嵌入T型垫片
- ②将它们套在一专用夹具上夹牢
- ③将夹具加热，然后投入硝酸钠盐浴炉内或电炉内加热到 $500\sim 600^{\circ}\text{C}$ 。
- ④保温1小时左右取出，在空气中冷却即可。
- ⑤有时，再装入气缸筒中加热至 400°C ，保温2~4 h，使弹性达到稳定。

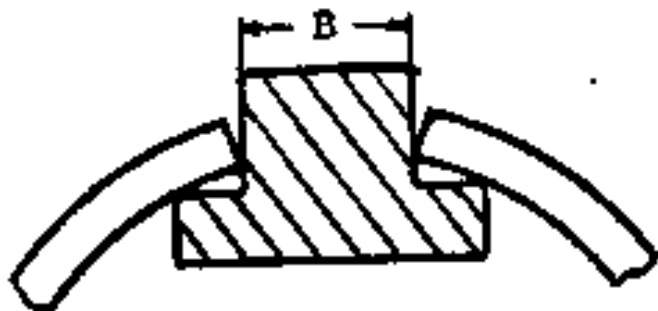


图 活塞环安置在T型垫片上的情况

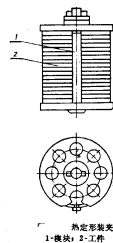
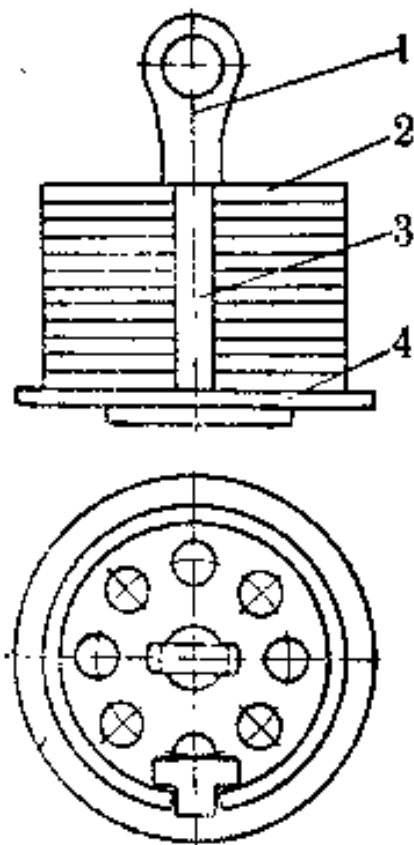


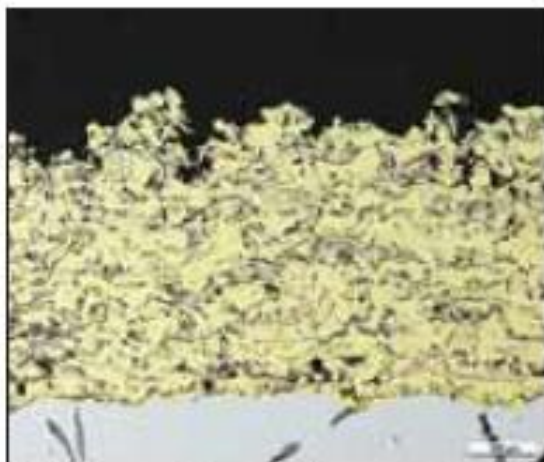
图 活塞环热定形时的卡夹具
1—吊杆；2—工件；3—T型垫片；
4—铁板

5. 活塞环的表面处理

Surface treatment

磷化、镀铬、喷钼、喷镀陶瓷、渗硫处理、镶嵌处理、激光处理、热喷涂、电火花加工等

铸铁的压缩环镀铬层：总厚度0.10~0.25 mm，其中0.05 mm是多孔铬层。



AluCoat – Suitable for new MAN-B&W engines and for retrofit.



RIAS – Running In Anti Scuffing. Developed for deep honed liners

表面镀Cr:

- 硬度可达700 ~ 1000HV;
- 第1 道环寿命比铸铁环延长3 ~ 5倍;
- 工艺过程毒性大, 污染环境 (正趋淘汰) 。

氮化处理:

- 用于钢质活塞环;
- 工艺便宜可靠, 不污染环境;
- 氮化物硬质表层
- 硬度达HV1000 ~ 1400 , 比镀铬环高HV200 ~ 600
- 耐磨性远远高于镀铬环
- 抑制脆性白色层 (脆、剥落) 生成是工艺中重点。

表面喷钼：

- 用火焰喷涂或等离子喷涂的方式；
- 涂层厚度为0.1 ~ 0.2mm，
- 空隙率10 ~ 15 %，有不易拉伤气缸套的特性；
- 硬度约1070HV，较好的耐磨粒磨损的性能；
- 磨损量比镀Cr 大，高温容易氧化剥落。

激光表面处理：

- 激光表面纹理化处理可以降低摩擦副的摩擦；
- 研究发现，在配副过程中，经过部分激光表面纹理化处理的活塞环比没有处理的活塞环摩擦力降低5%。

*活塞环的表面处理实例：镀铬喷钼



常用活塞环表面喷涂材料：

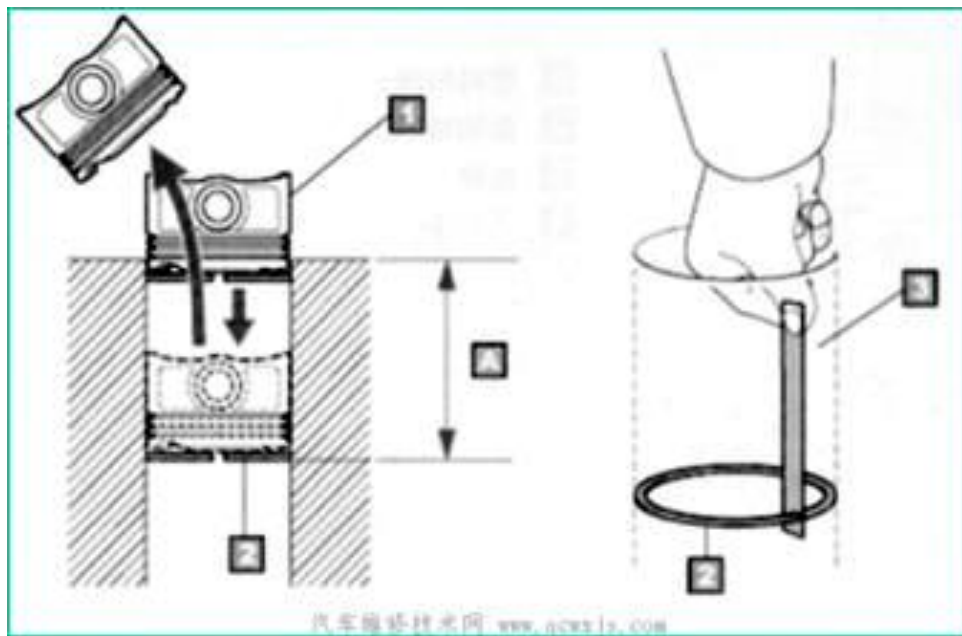
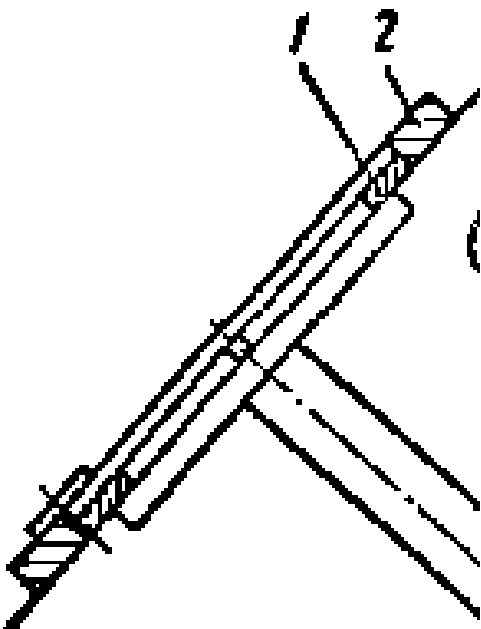
- ✓ 含自熔性镍基硬质合金的钼粉
- ✓ 含Ni-Cr合金和碳化物（如碳化铬、碳化钼、碳化钨）的钼粉

四 活塞环的检验

Inspection of piston ring

1. 检验工作状态中切口的间隙量

活塞环在压够状态小放到一套圈的标准座孔里，然后用厚度规量度切口的间隙量。



1—活塞环；2—量规环

*活塞环切口的间隙量检验现场



2. 检验活塞环在压缩状态下外圆形状

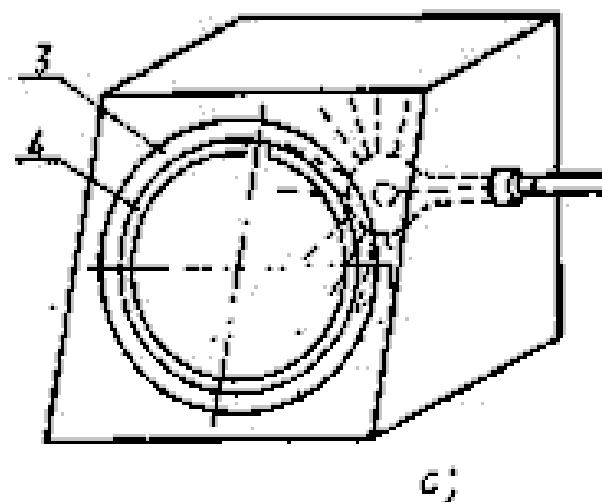
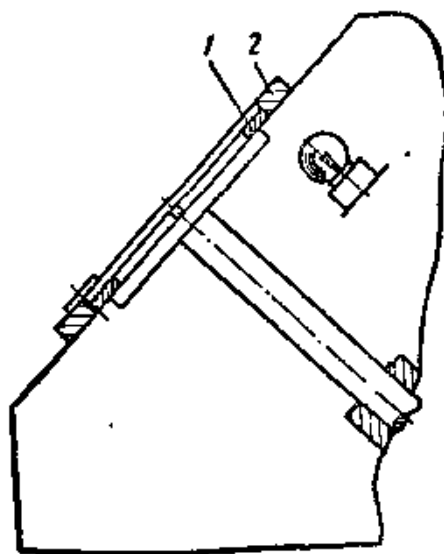
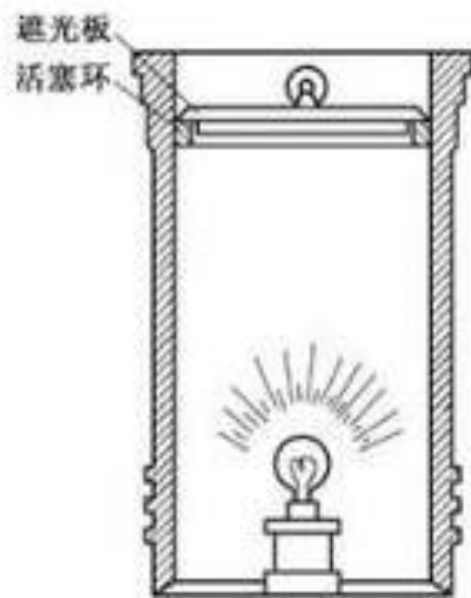


图 5-12 活塞环漏光度的检验

图 视觉漏光检验器
1—活塞环；2—量规环

*活塞环视觉漏光检验现场



3. 检验活塞环的径向厚度

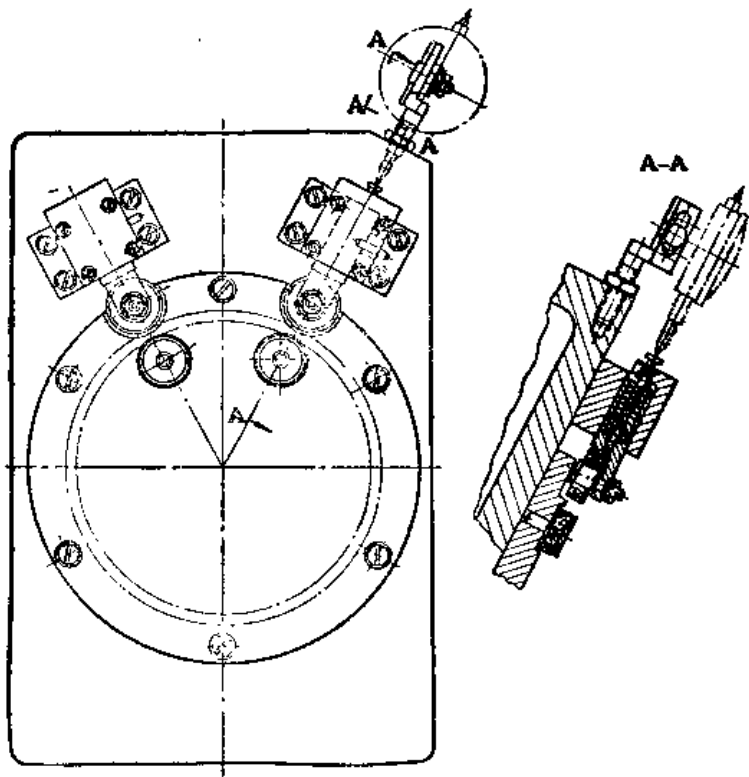


图 检验活塞环径向厚度用的夹具

4. 检验活塞环的高度

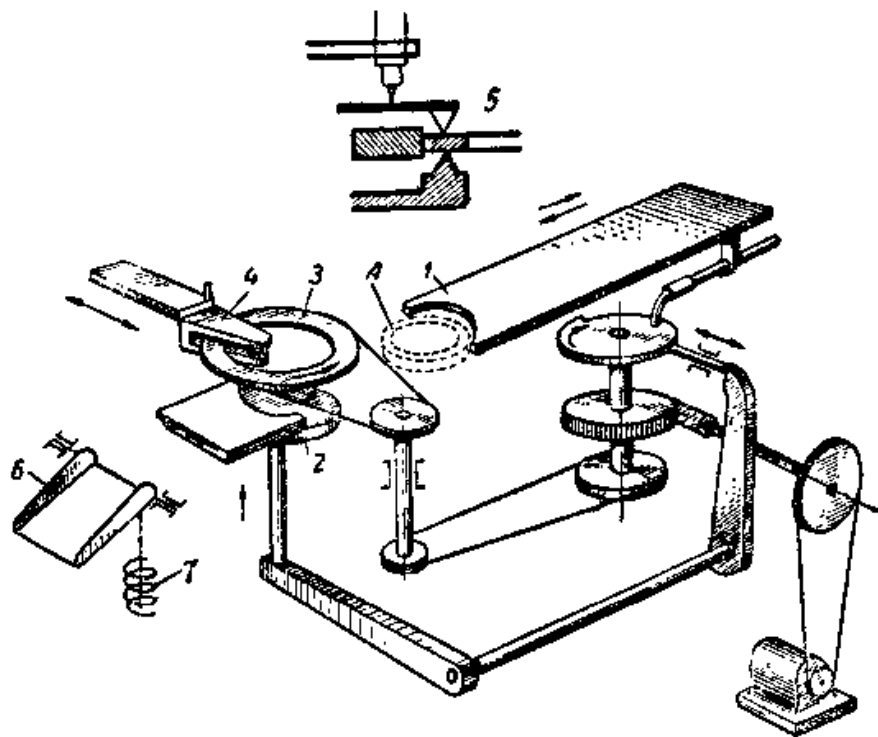


图 检验活塞环高度用的自动检验机的工作原理图
1—滑块；2—圆盘工作台；3—环形量规；4—度量头；5—传感器；
6—托盘；7—电磁铁

5. 检验活塞环的端面翘曲度

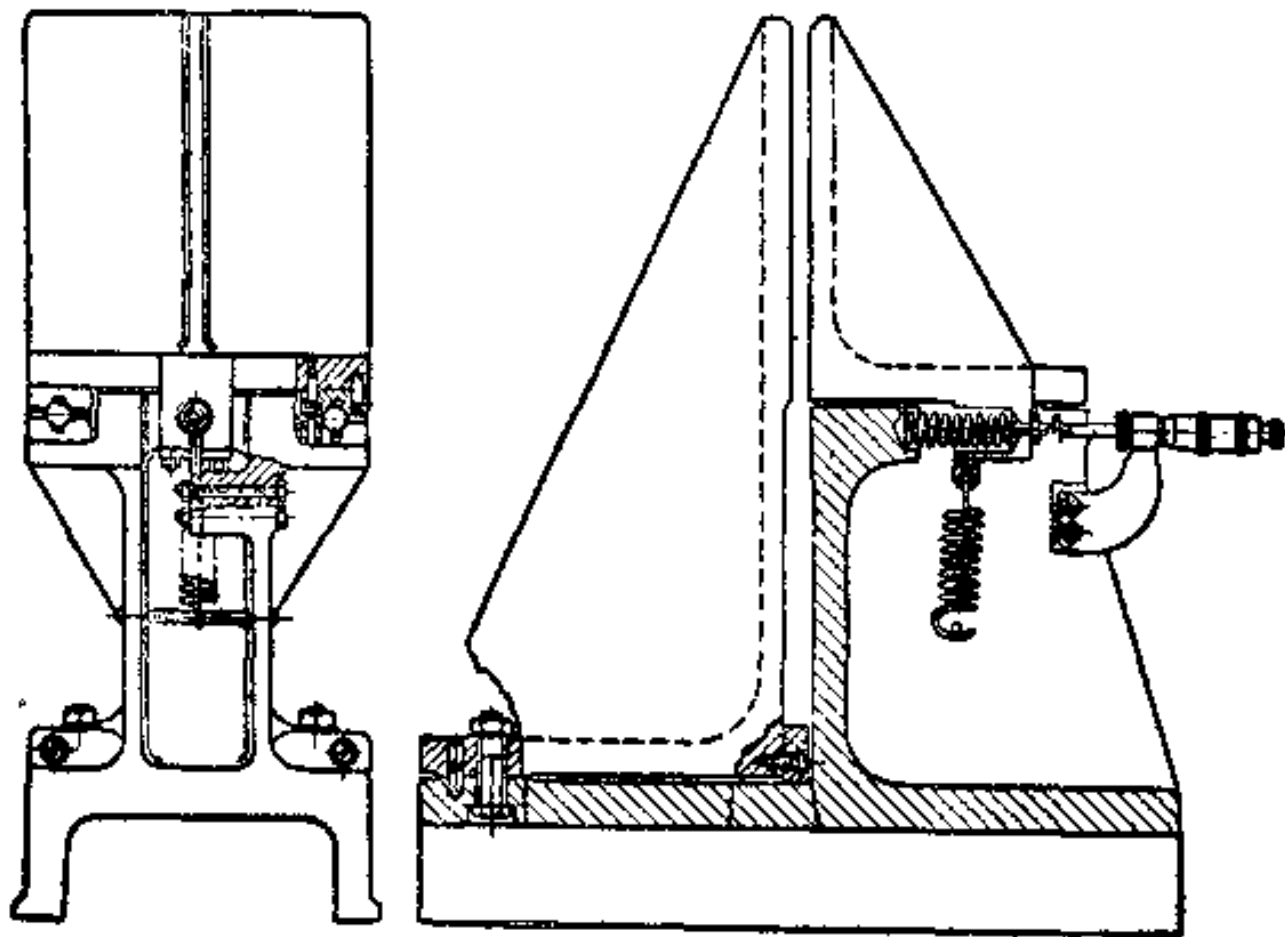


图 检验活塞环高度和翘曲度用的狭缝式夹具

6. 活塞环的弹性和圆周上径向压力的分布

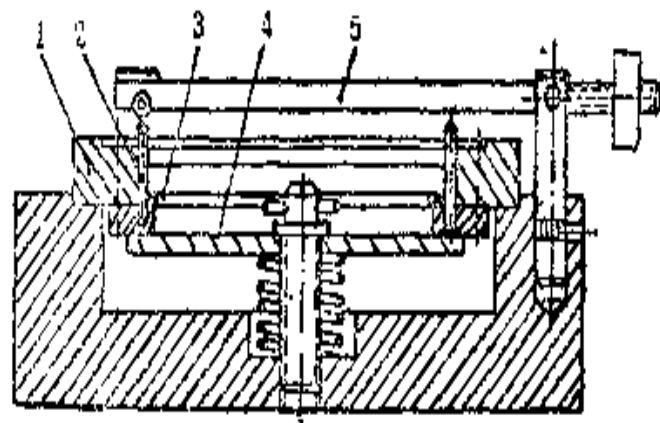
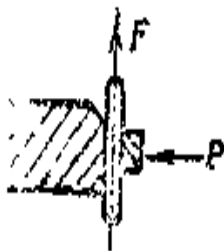
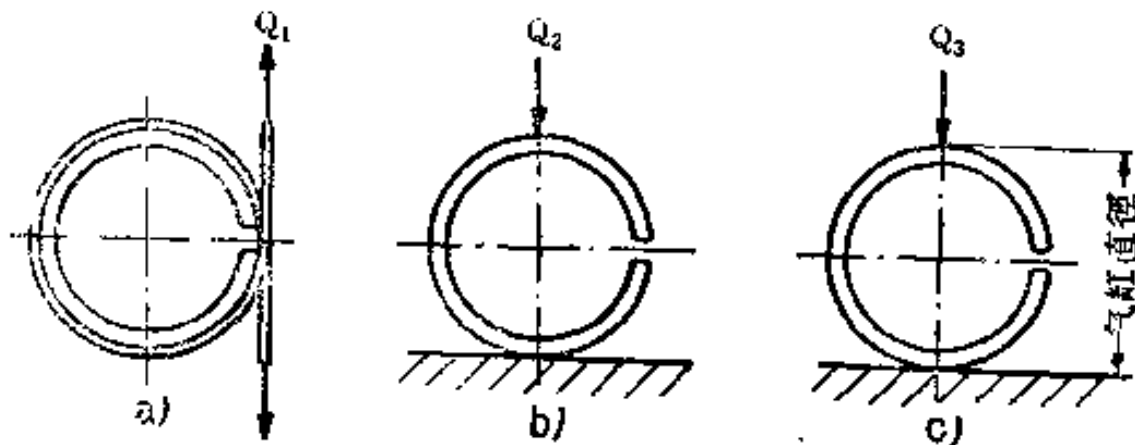
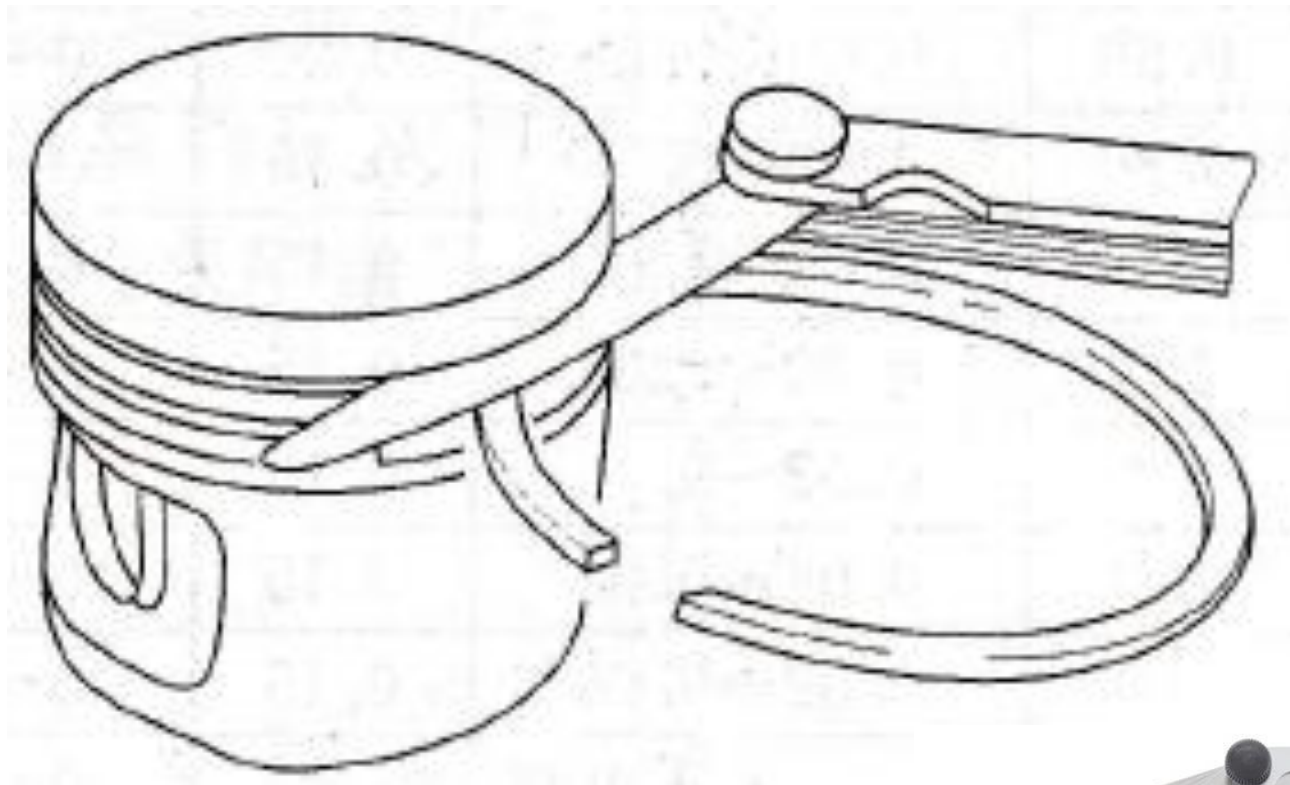


图 活塞环弹性测量示意图

图 简易的机械式径向压力图测定仪
1—环规；2—滚针；3—活塞环；4—托板；5—活动杠杆

7. 工作活塞环侧隙检查



*8. 活塞环检查项目表

表 6 基本尺寸方面的检测项目和要求

序号	检测项目	检查样本	检测器具	检测位置或检图
1	涂层硬度及厚度	2 片 / 批	显微硬度计	开口 5 mm 处
2	扩口	10 片 / 批	扩口机	
3	铬层结合强度	2 片 / 批	目视	开口 5 mm 处
4	基体硬度	2 片 / 批	显微硬度计	
5	环高	全数	外径千分尺	
6	平行度	20 片 / 批	外径千分尺	
7	闭口间隙	全数	环规、厚薄规	
8	径向厚度及偏差	20 片 / 批	径向千分尺	
10	自由开口	5 片 / 批	游标卡尺	
11	切向弹力 F_t	2 片 / 批量	弹力测量仪	
12	开口倒角	全数	目视	
13	断带、带偏和带扭	全数	目视	
14	漏光度	5 片 / 筒	漏光机	
15	挠曲	全数	挠曲板	
16	桶面度	2 片 / 批	外圆轮廓仪	

思考练习题

- 1.在活塞环机械加工时，机械成形法、热定形法、铸造成形法和滚压成形法的含义是什么？
 - 2.画图并说明在定位加工主要表面时，连杆、曲轴、活塞、活塞环的定位和夹紧方案。
-
- 曲轴加工可以分为哪些加工阶段？
 - 在活塞环机械加工时，机械成形法、热定形法、铸造成形法和滚压成形法的含义是什么？
 - 画图并说明在定位加工主要表面时，曲轴、活塞环的定位和夹紧方案。

Thank you!

进入下一章节