

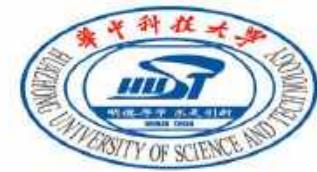
机械制造工艺基础

主讲人：余圣甫

材料科学与工程学院

联系电话：13971277482

2020年4月12日

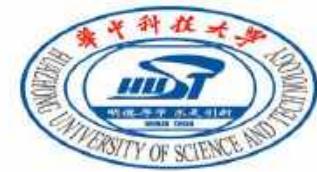


一、本课程的性质与作用地位

“机械制造工艺基础”是我们学习机械制造系列课程必不可少的先修课，也是获得机械制造基本知识的技术基础课。

“机械制造工艺基础”主要介绍从原材料到合格零部件或机器的制造工艺技术。与金工实训形成有机整体，有很强的实践性。

“机械制造工艺基础”是大家掌握机械制造基本知识和提高基本技能等综合素质的基础课程。

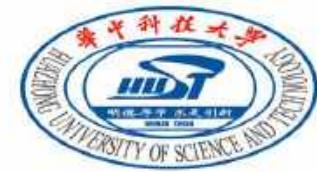


二、制造业在国民经济中的作用

制造业是贯穿我们生活所有阶段的人类活动。制造业的核心是“工艺和技术”，2016年，我国制造业总产值达21.62万亿元，是国民经济的重要支柱产业。

制造技术是制造业为国民经济建设和人民生活生产各种必需物质所使用的一切生产技术的总称，

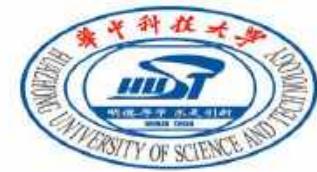
制造工艺主要指产品从原材料到合格零部件或机器的制造工艺技术，以及机械制造工艺方法及工艺过程，零件制造工艺设计的步骤，零件的结构工艺性及工艺规程的制定。



制造业的关键是制造工程。制造工程是研究如何将基础学科和技术学科转化为专业生产技术、工程技术和工艺流程与科学的方法。

包括材料成形和加工工艺

材料成形主要是在保证性能要求的前提下，优质、低成本地获取具有一定结构和形状的毛坯或产品的制造工艺。通常将称之为热加工工艺。主要包括铸造、锻压、焊接、热处理、粉末冶金、塑料成形、陶瓷和复合材料的成形等，内涵远远地超过了所谓热加工的范畴。

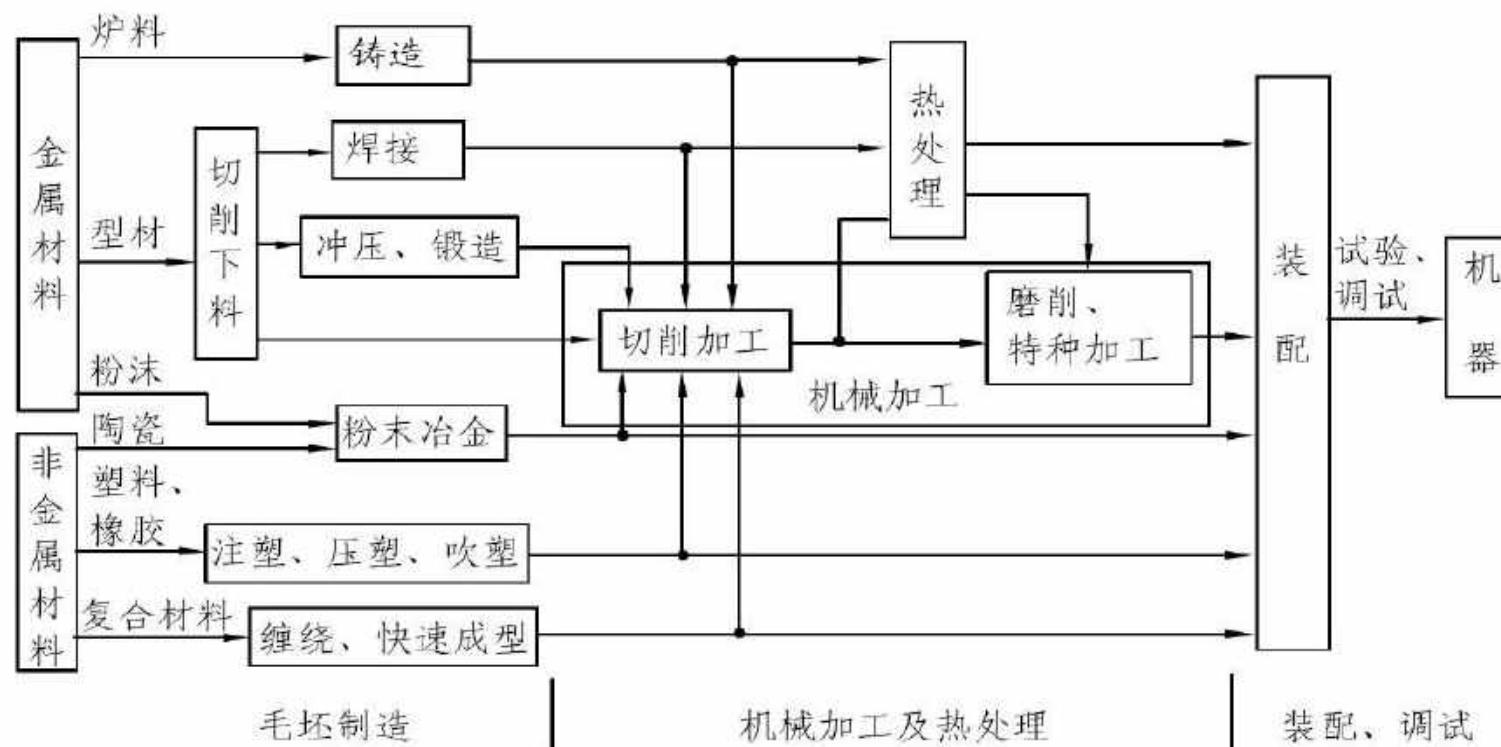


加工工艺一般是指将材料成形所获得的毛坯、通过切除工艺，优质、低成本地获取具有一定结构和形状，一定的精度和表面品质产品的工艺过程。

通常将其称为冷加工工艺。主要包括车削、铣削、刨削、磨削、钳工、现代计算机控制的加工、如数控机床和加工中心等，特种加工、如超声波、电火花和激光加工等，以及快速制造，但其内涵远远地超过了所谓冷加工的范畴。

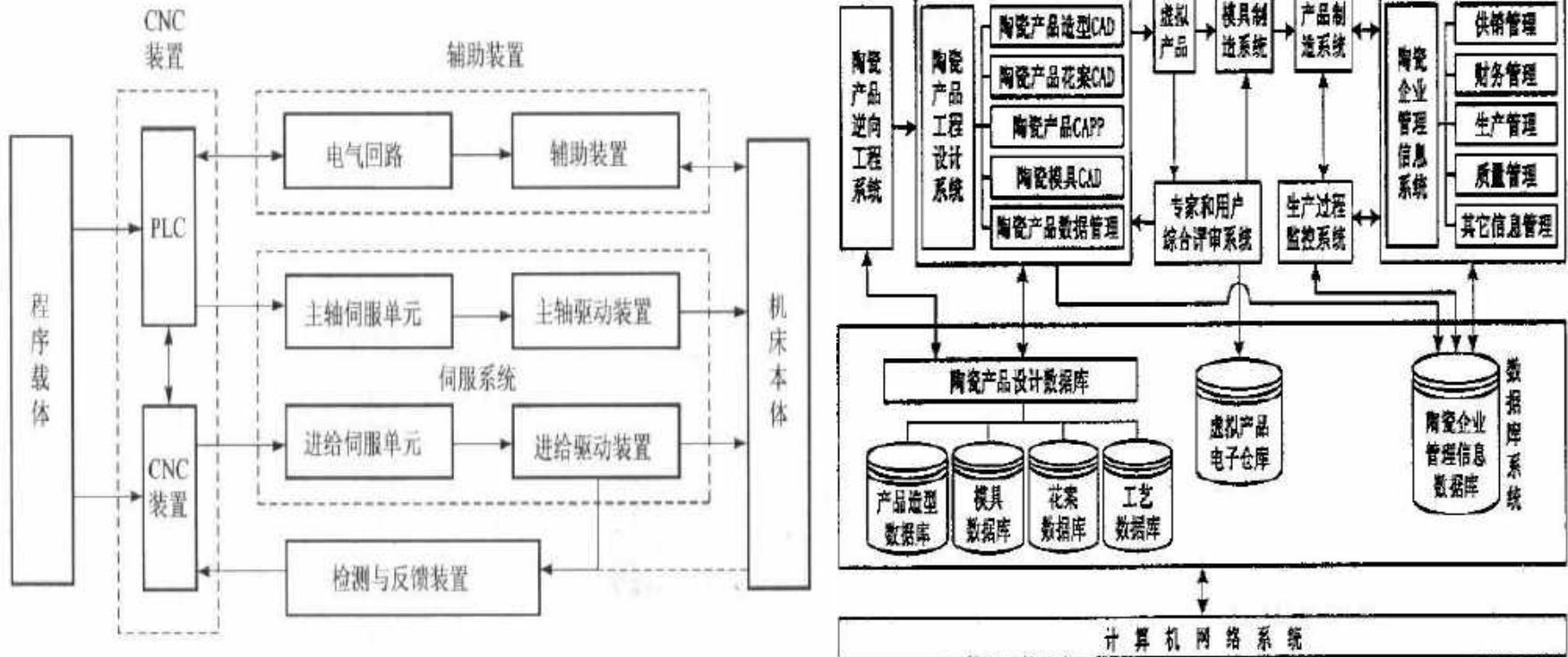
三、课程的特点

传统制造技术与现代制造技术的结合，构成了本课程的基本特征。

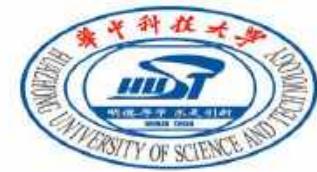


三、课程的特点

现代制造技术

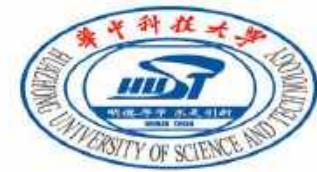


数控机床的组成框图



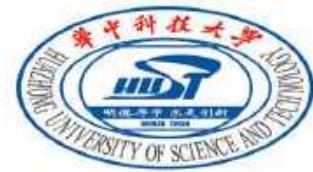
四、机械制造工艺基础课程的任务

- 1、主要掌握的机械制造工艺的基本原理，主要方法和应用特点，熟悉机械零件的常用制造方法及其所用的主要设备和工具，了解新工艺、新技术、新材料在现代机械制造中的应用。
- 2、对典型零件具有选择加工方法和进行工艺分析的初步能力，在主要工种方面应能独立完成典型零件的加工制造工艺过程计划的制订，并具有一定的工艺实验和工程实践的能力。



五、学习要求

- 1、本课程是机械大类平台课程，全校的本科生基本都要学习本课程，可见其重要性。
- 2、每次按时上下课，上课前要签到。
- 3、每次要做课堂作业，并当堂交作业。
- 4、本课程为全校统一考试，**考试 50%** 作业 **20%** 互动 **10%** 测验 **10%** 考勤 **10%**。



1. 1 铸造工艺基础

我国的铸造技术已有 6000 年悠久的历史，是世界上较早掌握铸造技术的文明古国之一，2500 多年以前（公元前 513 年）就铸出 270kg 的铸铁刑鼎。

1953 年在河北省兴隆县古燕国铸冶作坊遗址的挖掘中，发现距今 2200—2350 年的战国时期的铁范等 87 件。

铸造技术：也是当今机械制造中毛坯生产的重要工艺方法。在机械制造业中，铸件的应用十分广泛。



1. 1 铸造工艺基础

铸造的特点：

(1) 铸造是一种液态成形技术，形状十分复杂的铸件可以通过铸造生产。

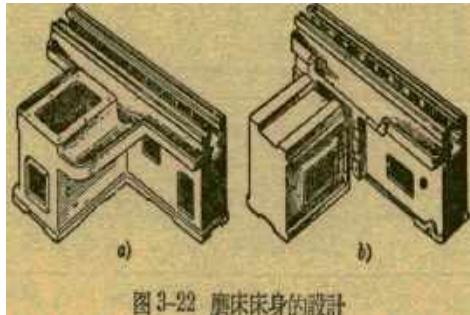
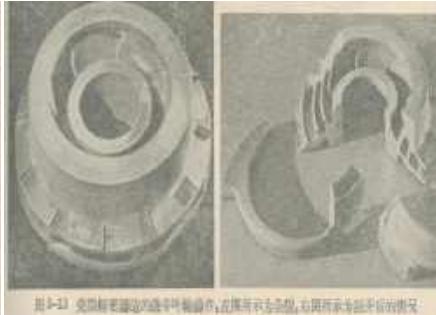
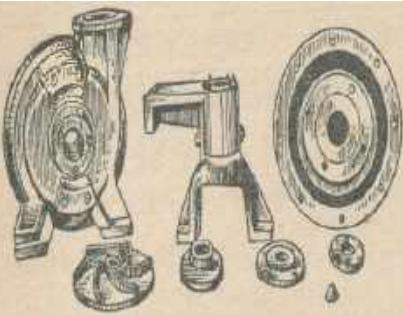
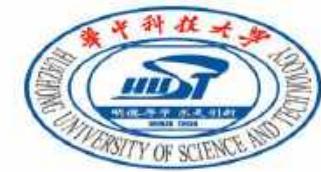


图 3-22 车床床身的设计



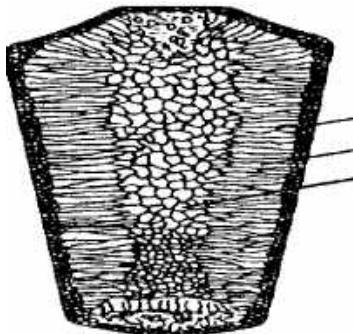
(2) 铸造生产的适应范围非常广，工业上常用的碳钢、合金钢、铸铁、铜合金、铝合金。



第一章 铸造工艺

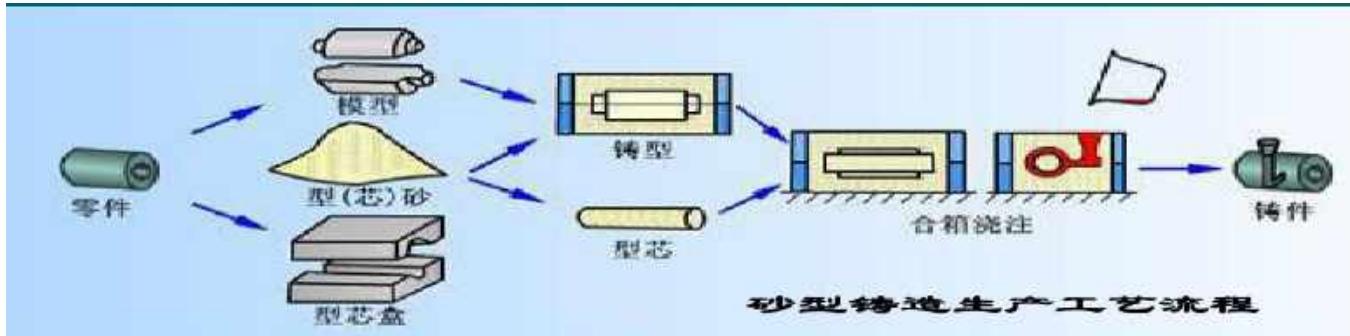
(3) 铸造生产的成本较低。铸件的加工余量小、减少切削加工量、节省金属、从而降低了制造成本。铸造过程中各项费用较低，铸件本身生产成本较低。

(4) 铸态金属的晶粒较为粗大，不可避免地存在一些化学成分的偏析，非金属夹杂物及缩孔或缩松等铸造缺陷。铸造零件的力学性能和可靠性较锻造零件差。



第一章 铸造工艺

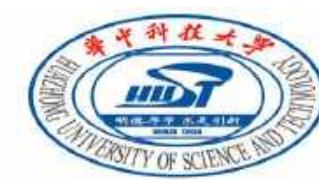
1.1.1 合金的充型能力



(1) 合金充型能力与流动性的概念

液态合金充填型腔的过程称为**充型**，液态合金充满型腔，获得形状完整、轮廓清晰铸件的能力称为**合金的充型能力**。

合金一般是在纯液态下充满型腔的，但也有边充型边结晶的情况。



第一章 铸造工艺

流液态合金本身的充型能力称为合金的流动性。与合金的成分，杂质含量，物理性质和温度有关，而与外界因素无关，是表征合金铸造性能的主要方面之一。

合金流动性的测定是采用螺旋形标准试样。

常用铸造合金中灰铸铁、硅黄铜的流动性最好，铝合金次之，铸钢最差。

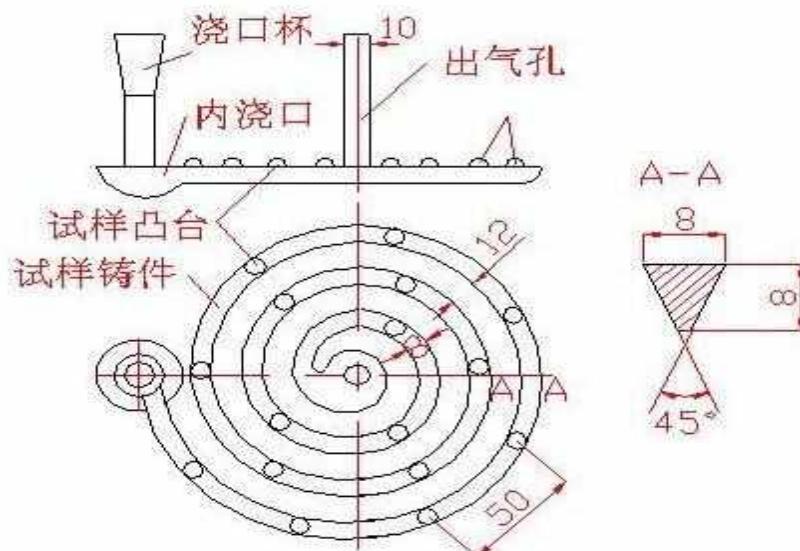


图 1-1 螺旋型标准试样

第一章 铸造工艺

(2) 影响合金充型能力的主要因素

a、合金性质 合金性质是内因，决定了合金本身的流动能力-流动性。

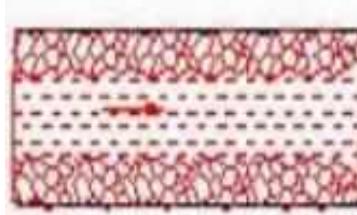
合金的成分：

不同化学成分的合金，因结晶特性、粘度不同，流动性不同。
• 影响金属粘度的成分对流动性有影响。如P和S。

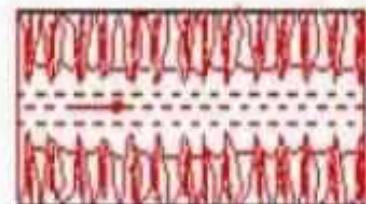
P: 降低粘度, 有冷脆。 S: 使粘度增加。



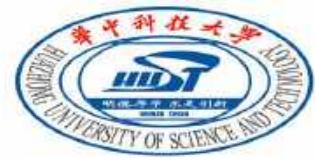
图 1-2 结晶特性不同的合金
 1-液相 2-树枝晶固相
 溢注温度 T_g 过热度 T_h 凝固温度范围



2) 在直角下斜固



b) 在一定的溫度範圍內解固



机械制造工艺基础

主讲人：余圣甫

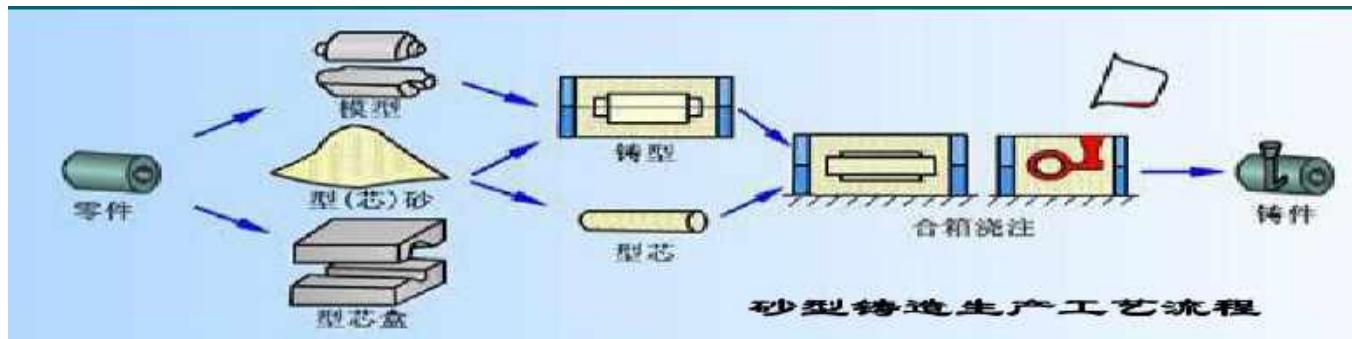
材料科学与工程学院

联系电话：13971277482

2020年4月12日

第一章 铸造工艺

1.1.1 合金的充型能力



(1) 合金充型能力与流动性的概念

液态合金充填型腔的过程称为**充型**，液态合金充满型腔，获得形状完整、轮廓清晰铸件的能力称为**合金的充型能力**。

合金一般是在纯液态下充满型腔的，但也有边充型边结晶的情况。



第一章 铸造工艺

流液态合金本身的充型能力称为合金的流动性。与合金的成分，杂质含量，物理性质和温度有关，而与外界因素无关，是表征合金铸造性能的主要方面之一。

合金流动性的测定是采用螺旋形标准试样。

常用铸造合金中灰铸铁、硅黄铜的流动性最好，铝合金次之，铸钢最差。

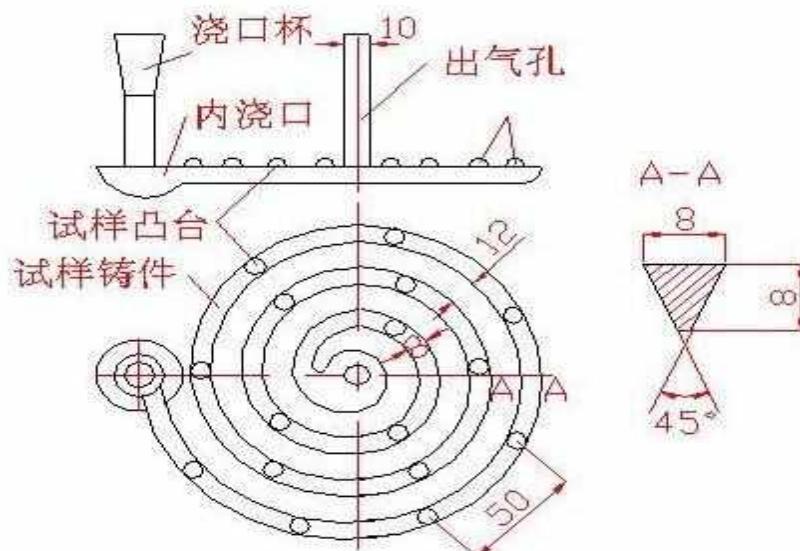


图 1-1 螺旋型标准试样

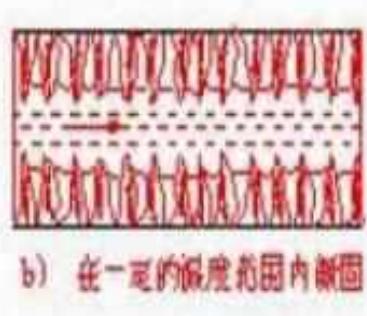
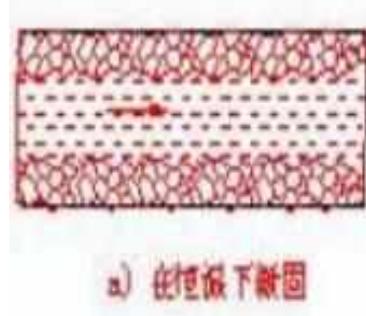
第一章 铸造工艺

(2) 影响合金充型能力的主要因素

a、合金性质

结晶潜热：

纯金属和共晶成分的合金在固定温度下凝固，结晶潜热的作用能够发挥，凝固过程中释放的潜热越多，纯金属与共晶成分的合金，具有较宽结晶区域的合金流动性就越好。





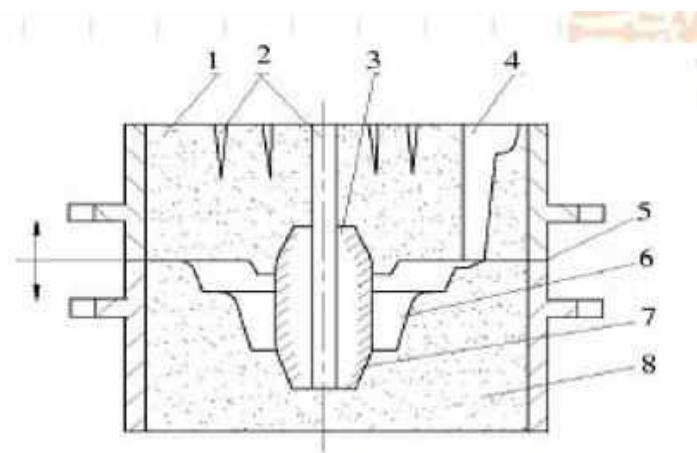
第一章 铸造工艺

(2) 影响合金充型能力的主要因素

b、铸型性质

铸型材料：铸型材料的比热容越大，对液态合金的激冷作用越强，合金充型能力就越差；铸型材料的导热系数越大，合金的充型能力就越差。

铸型指铸造时用以浇入熔化的金属以形成一定形状铸件的模子



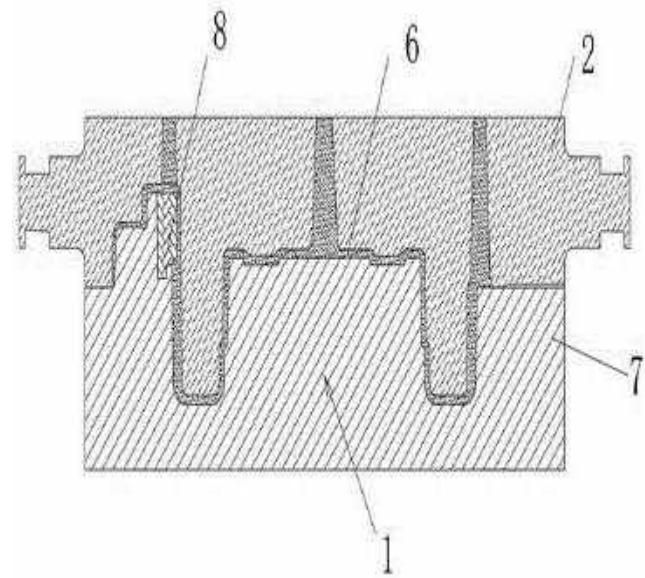
(2) 影响合金充型能力的主要因素

b、铸型性质

铸型温度：铸型温度越高，液态合金与铸型的温差越小，热量的散失速度越小，合金保持流动的时间越长。

铸型中的气体：

在液态合金的热作用下，铸型有可能产生大量的气体，型腔中的气压将增大，对合金的充型产生阻碍。





第一章 铸造工艺

(2) 影响合金充型能力的主要因素

c、浇注条件

浇注温度：注温度对合金的充型能力有决定性的影响

充型压力：液态合金在流动方向上所受到的压力越大，充型能力就越好。

浇注系统：浇注系统的结构越复杂，流动的阻力就越大，液态合金在浇注系统中的散热也越大，充型能力也就下降。

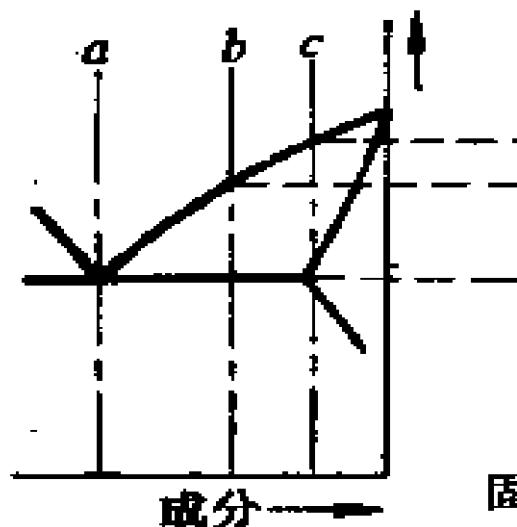
第一章 铸造工艺

1.1.2 铸件的凝固

铸件的成形过程是液态合金在铸型中的凝固过程。合金的凝固方式对铸件的品质、性能及铸造工艺等都有极大的影响。

(1) 铸件的凝固方式

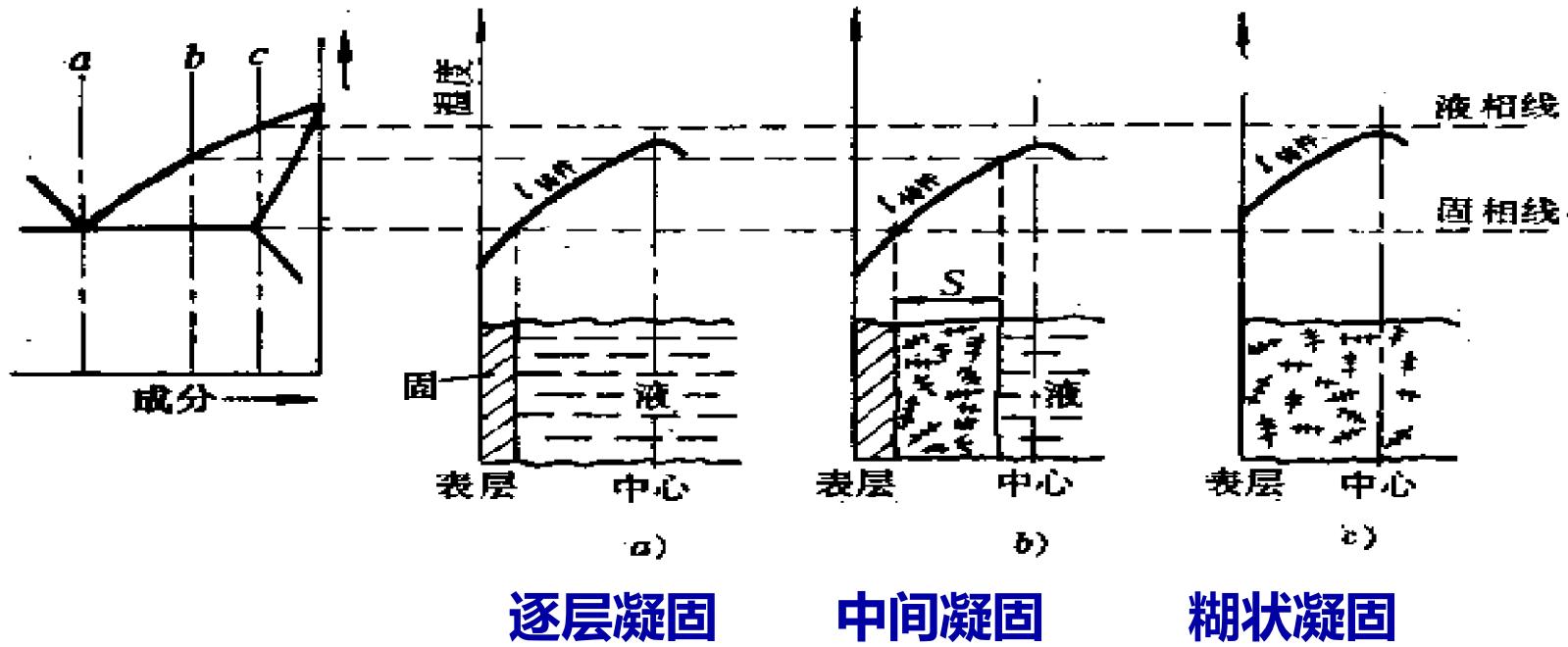
在铸件的凝固过程中，一般存在三个区域，即固相区、凝固区和液相区。对铸件品质影响较大的主要是液相和固相并存的凝固区。



1.1.2 铸件的凝固

(1) 铸件的凝固方式

a、逐层凝固, b、中间凝固, c、糊状凝固





第一章 铸造工艺

1.1.2 铸件的凝固

(2) 影响铸件凝固方式的因素

合金的凝固方式主要受合金的结晶温度范围和凝固时铸件截面上温度分布梯度的影响。

合金的结晶温度范围，铸件的温度梯度

逐层凝固的合金的流动性较好、充型能力强，缩孔，缩松比较集中，便于防止。铸造性能较好。

糊状凝固的合金流动性较差，易产生浇不足，冷隔等缺陷，不易产生缩松不易获得组织致密的铸件。灰铸铁、铝合金等倾向于逐层凝固，而球墨铸铁、锡青铜、铝铜合金等倾向于糊状凝固。

1.1.3 铸造合金的收缩、缩孔与缩松

(1) 收缩

合金从浇注、凝固直至冷却到室温的过程中，其体积或尺寸缩减的现象，称为收缩。收缩经历如下三个阶段。

液态收缩 $\epsilon_{液}$ ；凝固收缩 $\epsilon_{凝}$ ：

以体收缩率表示，是缩孔及缩松的基本原因。

固态收缩 $\epsilon_{固}$ ：以线收缩率表示，是应力变形及裂纹的基本原因。
铸钢收缩率最高，灰铸铁最小。

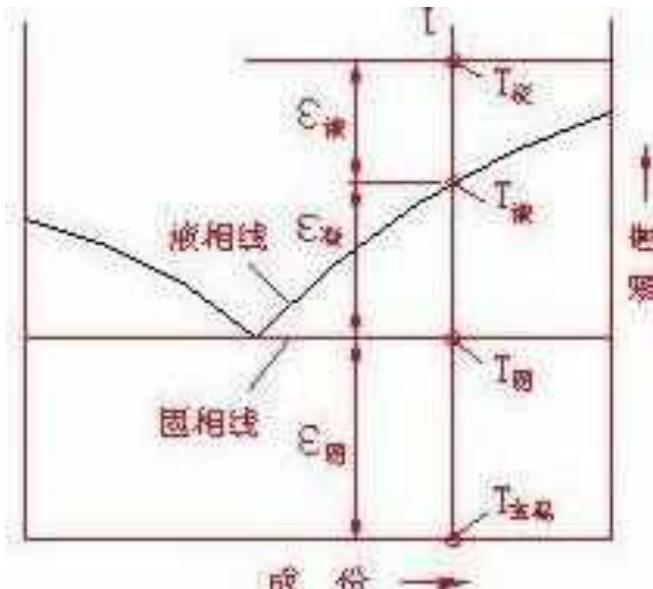


图 1-4 收缩三阶段



第一章 铸造工艺

1.1.3 铸造合金的收缩、缩孔与缩松

影响合金收缩的因素：

化学成分：碳钢的含碳量增加，其 $\epsilon_{\text{凝}}$ 增加，而 $\epsilon_{\text{固}}$ 略减。灰铸铁收缩小。硫可阻碍石墨析出，使收缩率增大。

浇注温度：浇注温度越高，合金的总收缩率加大。

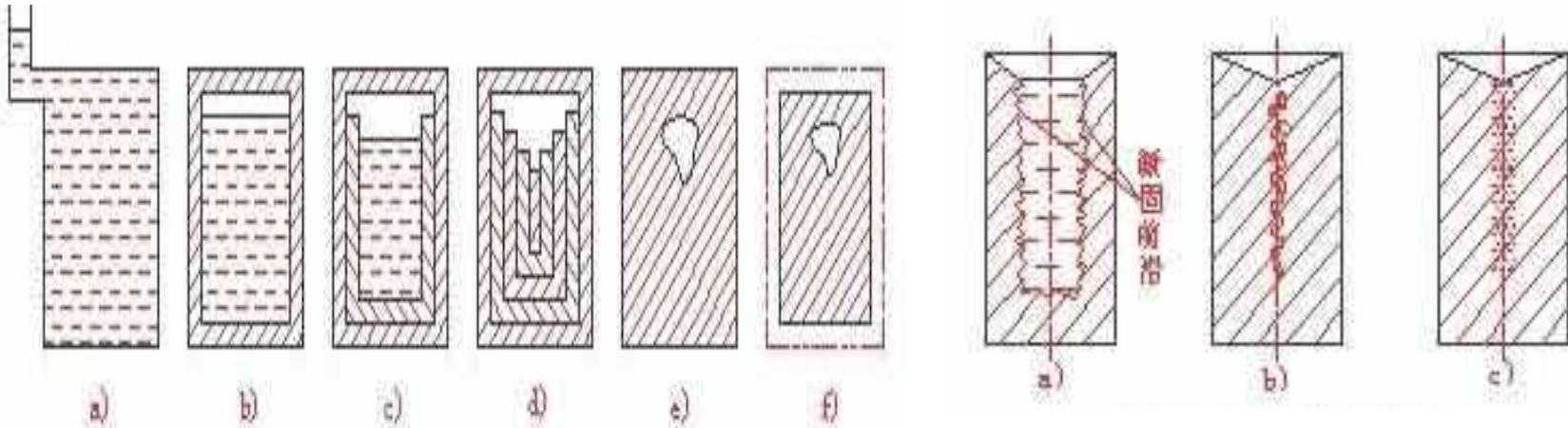
铸件结构和铸型条件：铸件在铸型中受阻收缩。其阻力来源于：①铸件各部分的冷却速度不同，引起各部分收缩不一致，相互约束而对收缩产生阻力。②铸型和型芯对收缩的机械阻力。

1.1.3 铸造合金的收缩、缩孔与缩松

(2) 缩孔与缩松的形成

缩孔的形成：纯金属和共晶成分的合金，易形成集中的缩孔。

缩松的形成：凝固温度范围大的合金，缩松倾向大。缩松分为宏观缩松和显微缩松两种。



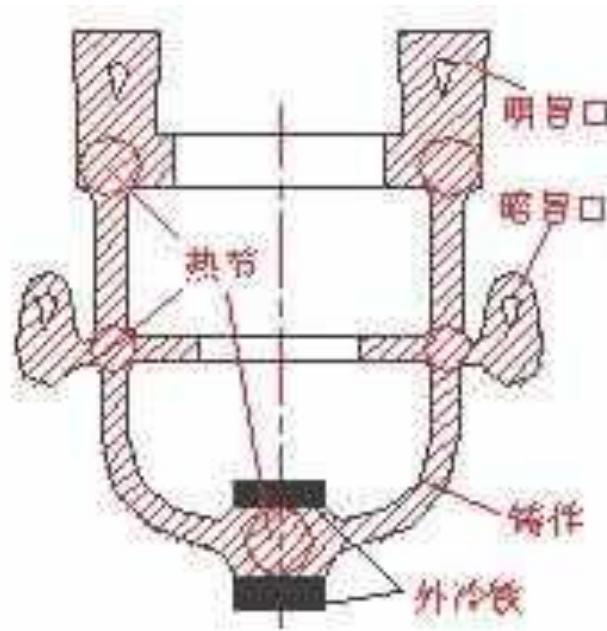
第一章 铸造工艺

1.1.3 铸造合金的收缩、缩孔与缩松

铸件中缩孔和缩松的防止：

防止铸件产生缩孔的根本措施是采用顺序凝固工艺。

顺序凝固：使铸件按规定方向从一部分到另一部分逐渐凝固的过程，在顺序凝固时，先凝固部位的收缩，由后凝固部位的金属液来补充，后凝固部位的收缩，由冒口或浇注系统的金属液来补充。





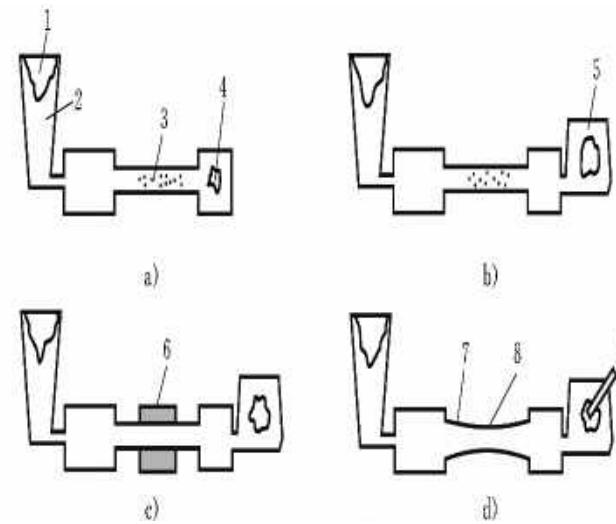
第一章 铸造工艺

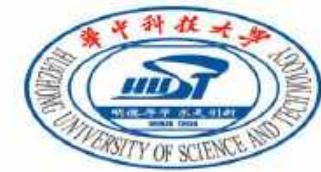
1.1.3 铸造合金的收缩、缩孔与缩松

铸件中缩孔和缩松的防止：

对倾向于糊状凝固的合金，结晶的固体骨架较好地布满了整个铸件的截面，使冒口的补缩通道堵塞，故难以实现顺序凝固。

缩松的防止：采用在热节处安放冷铁或在局部砂型表面涂激冷涂料，加大铸件的冷却速度；或用加大结晶压力，以破碎枝晶，减少其对金属液流动的阻力，从而达到部分防止缩松的效果。





第一章 铸造工艺

1.1.4 铸造应力和铸件的变形、裂纹

铸件凝固后，在凝固末期（结晶骨架已开始形成）的继续冷却过程中，固态收缩若受到阻碍铸件内部将产生应力，称之为铸造应力。这些应力有些一直保留到室温，称为残余应力。铸造应力是铸件产生变形和裂纹的基本原因。

铸造应力的形成

铸造应力按产生的原因不同，分为热应力，机械应力和相变应力三种，铸造应力就是这三种应力之和。

热应力：铸件在凝固和冷却过程中，不同部位由于不均衡的收缩而引起应力，这种应力称为热应力

第一章 铸造工艺

1.1.4 铸造应力和铸件的变形、裂纹

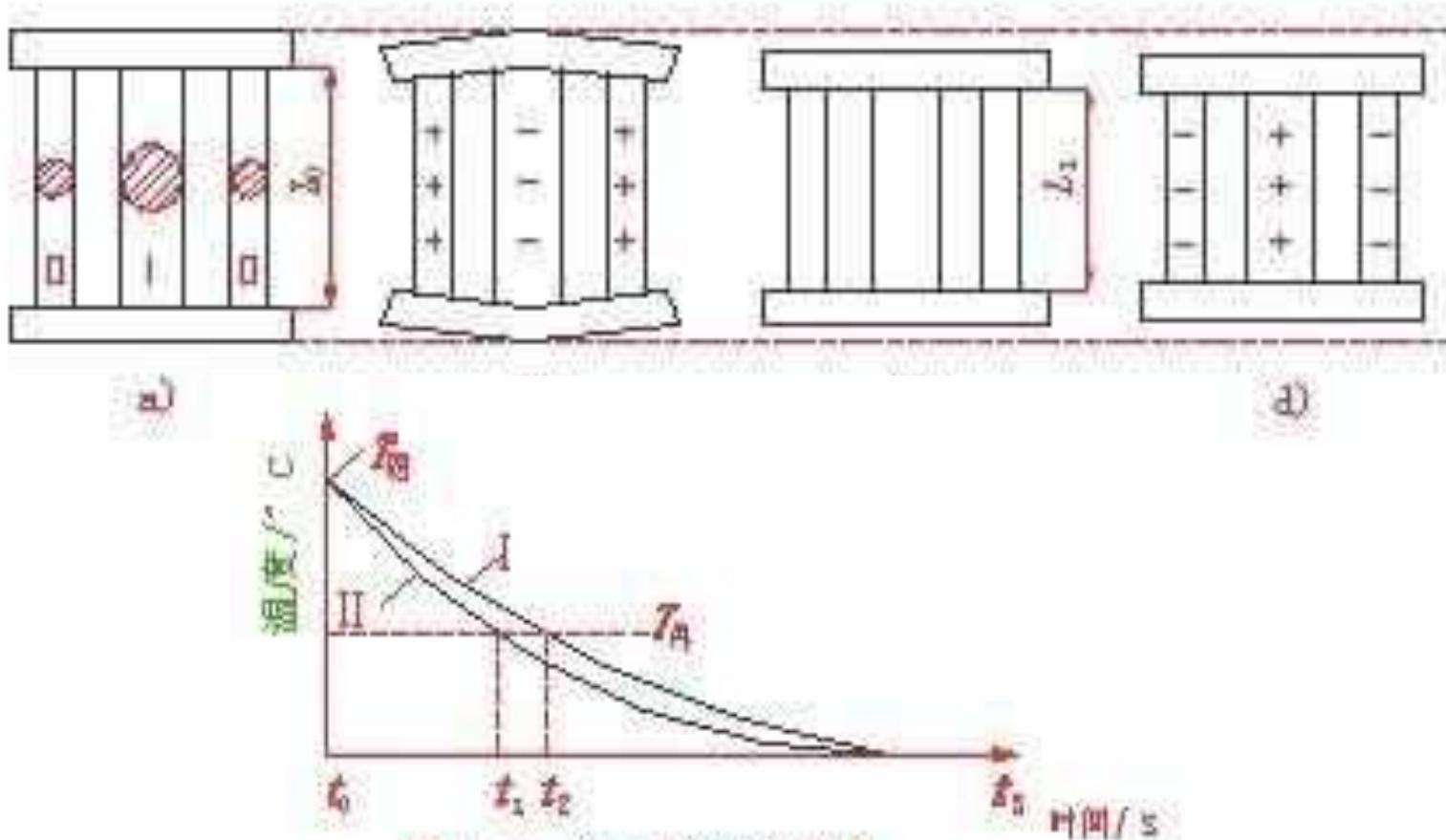


图 1-11 应力框的冷却曲线

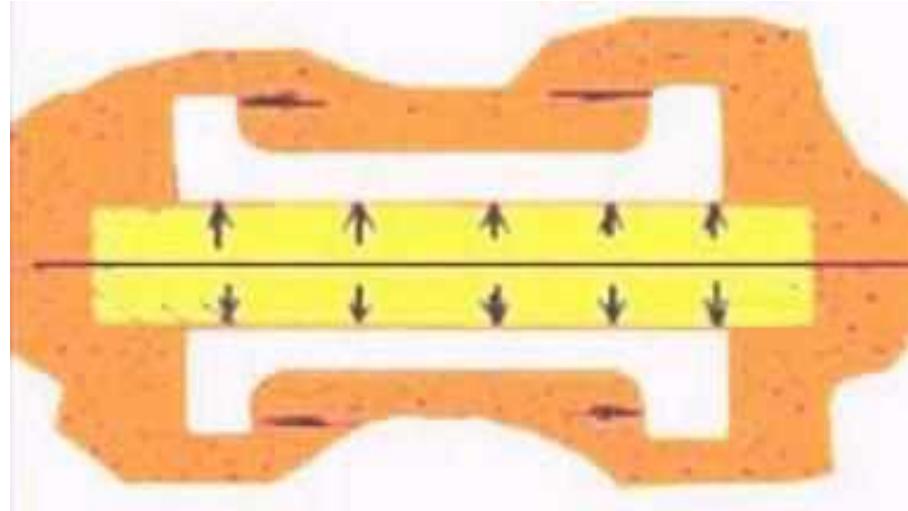
第一章 铸造工艺

1.1.4 铸造应力和铸件的变形、裂纹

机械应力

铸件在固态收缩时、受到铸型、芯型、浇注系统、冒口、箱挡等外力的阻碍产生的应力称为机械应力。

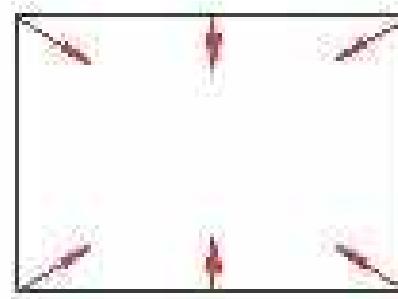
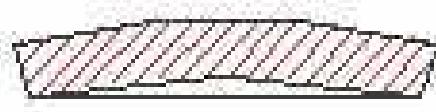
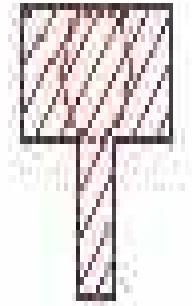
同时凝固是减小和消除铸造应力的重要工艺措施。所谓同时凝固是指采取一些工艺措施使铸件各部分的温差很小，几乎同时进行凝固。



1.1.4 铸造应力和铸件的变形、裂纹

铸件的变形及其防止

处于应力状态的铸件是不稳定的，将自发地通过变形，来减小应力，趋于稳定状态。



1.1.4 铸造应力和铸件的变形、裂纹

铸件的变形及其防止

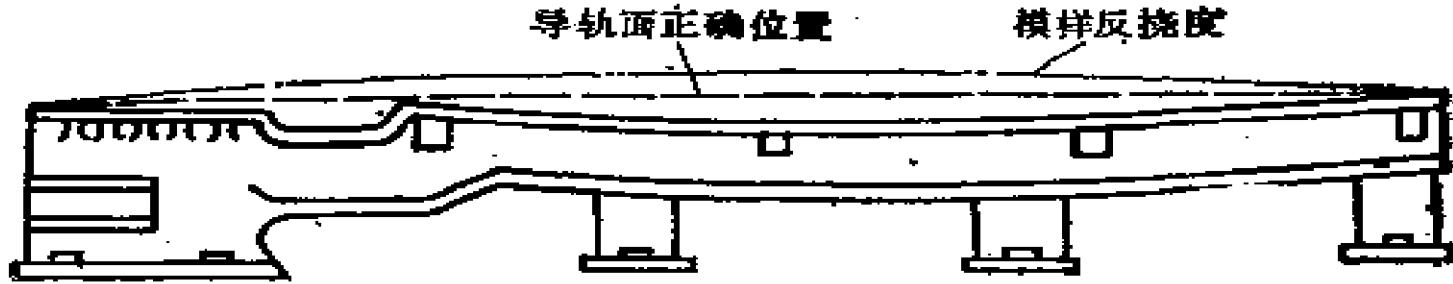


图 1-37 床身导轨面的挠曲变形

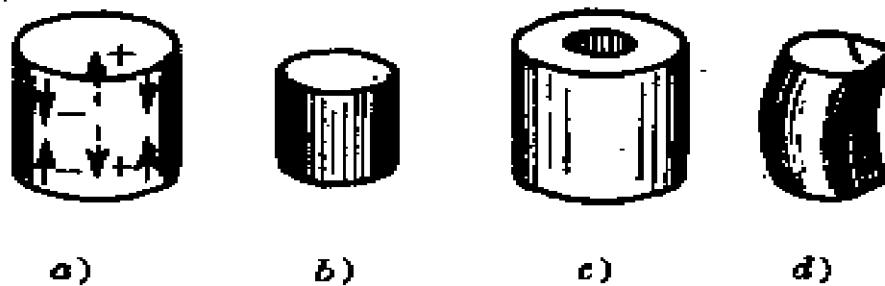
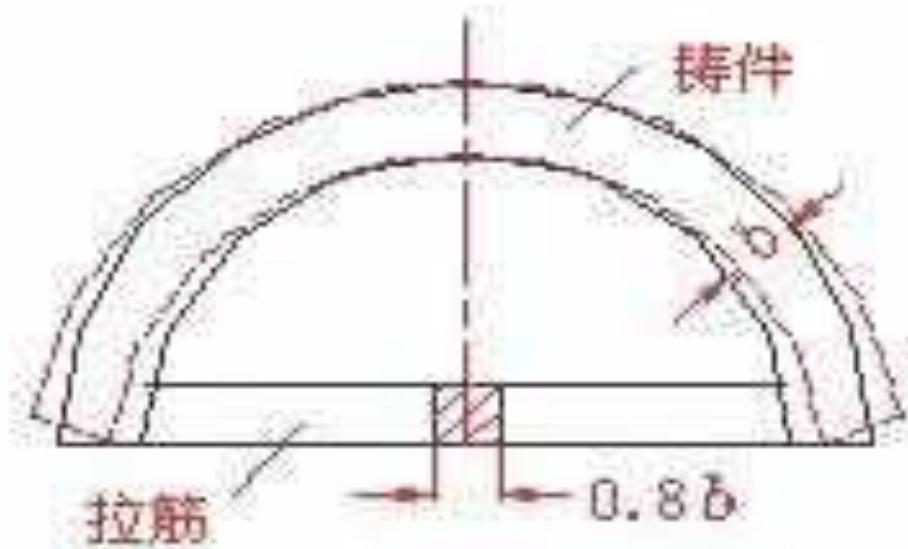


图 1-38 圆柱体铸件变形示意图

第一章 铸造工艺

1.1.4 铸造应力和铸件的变形、裂纹

变形的防止：铸件的壁厚应均匀，形状应对称。采用同时凝固方式、增大加工余量、反变形法、设防变形筋及时效处理（自然时效及人工时效）。





第一章 铸造工艺

1.1.4 铸造应力和铸件的变形、裂纹

铸件的裂纹及其防止

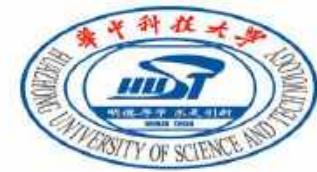
① 热裂：

形状特征：裂纹短、缝隙宽、形状曲折、缝内呈氧化色。

形成原因：热裂是在铸件凝固末期，接近固相线的高温下形成的。

在铸钢和铸造铝合金中较常见。

防止措施：应尽量选择凝固温度范围小、热裂倾向小的合金和改善铸件结构；提高型砂和芯砂的退让性；此外，应严格控制含硫量。



第一章 铸造工艺

1.1.4 铸造应力和铸件的变形、裂纹

铸件的裂纹及其防止

① 热裂：

形状特征：裂纹短、缝隙宽、形状曲折、缝内呈氧化色。

形成原因：热裂是在铸件凝固末期，接近固相线的高温下形成的。

在铸钢和铸造铝合金中较常见。

防止措施：应尽量选择凝固温度范围小、热裂倾向小的合金和改善铸件结构；提高型砂和芯砂的退让性；此外，应严格控制含硫量。



第一章 铸造工艺

1.1.4 铸造应力和铸件的变形、裂纹

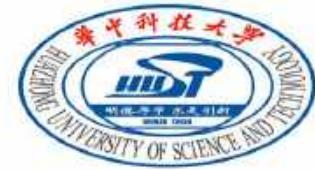
铸件的裂纹及其防止

② 冷裂：

形状特征：裂纹细小，呈连续直线状，缝内有金属光泽或轻微氧化色。

形成原因：较低温度下，由于热应力和收缩应力的综合作用，铸件的内应力超过合金的强度极限而产生的。

出现部位：铸件受拉应力，特别是应力集中处。凡是减少铸件内应力或降低合金脆性的因素均能防止冷裂。控制含P量。



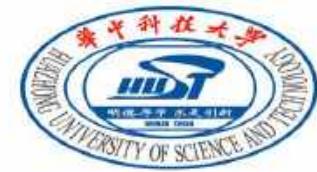
1.1.5 合金的偏析和铸件中的气孔

合金的偏析

铸件各部分化学成分，金相组织不一致的现象称为偏析。有宏观与微观偏析。

凝固时，由于溶质元素在固液相中的重新分配及扩散，先结晶出来的枝晶的枝干和后结晶的枝叶之间成分不均匀，这一现象称为微观偏析。

正偏析多出现在逐层凝固的合金中，随着凝固将低熔点组元推向中心，气体析出将加速这一过程。



第一章 铸造工艺

1.1.5 合金的偏析和铸件中的气孔

合金的吸气性

液态合金中吸入了气体，若在其冷凝过程中不能逸出，或滞流在金属中，则在冷凝后将使铸件内形成气孔缺陷。按照气体的来源，分为侵入性气孔、析出性气孔、反应性气孔。

侵入性气孔：

主要是砂型和型芯中的气体侵入金属液中而形成的气孔。防止途径：降低型砂及芯砂的发气量，增强铸型的排气能力。

第一章 铸造工艺

1.1.5 合金的偏析和铸件中的气孔 析出气孔：

形成原因：气体在液态合金中的溶解度较固态大得多，且随温度升高而加大。溶解的气体在冷凝过程中析出。

特征：尺寸较小，分布面积广。在铝合金中最常见，“针孔”缺陷。

防止措施：保证炉料洁净、干燥，严格遵守熔炼及浇注操作工艺。

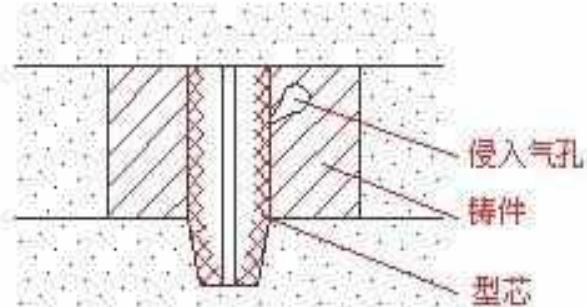


图 1-19 侵入气孔

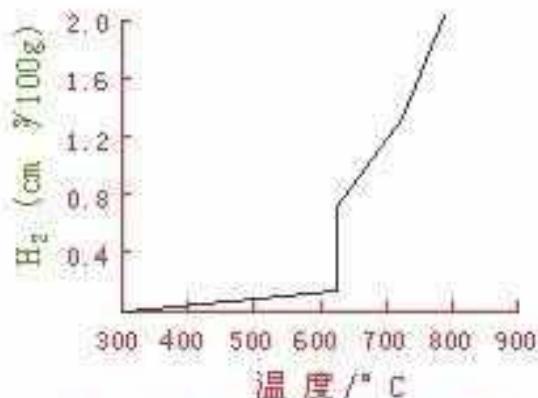


图 1-20 氢在纯铝中的溶解度

1.1.5 合金的偏析和铸件中的气孔

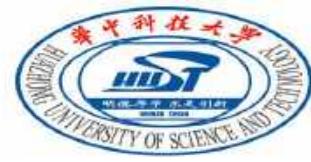
反应气孔：

反应气孔是液态金属与铸型材料、芯撑、冷铁或熔渣之间发生化学反应产生气体而形成的。

皮下气孔：

冷铁气孔： $Fe_3O_4 + 4C = 3Fe + 4CO \uparrow$





机械制造工艺基础

主讲人：余圣甫

材料科学与工程学院

联系电话：13971277482

2020年4月12日

第一章 铸造工艺

上一次课的问题

1、二元相图中比较流动性是看L相-固相的斜率吗？

答：不是，主要看液相-固相的温度范围，即结晶温度范围，一般情况下，结晶温度范围越大，流动性越差。

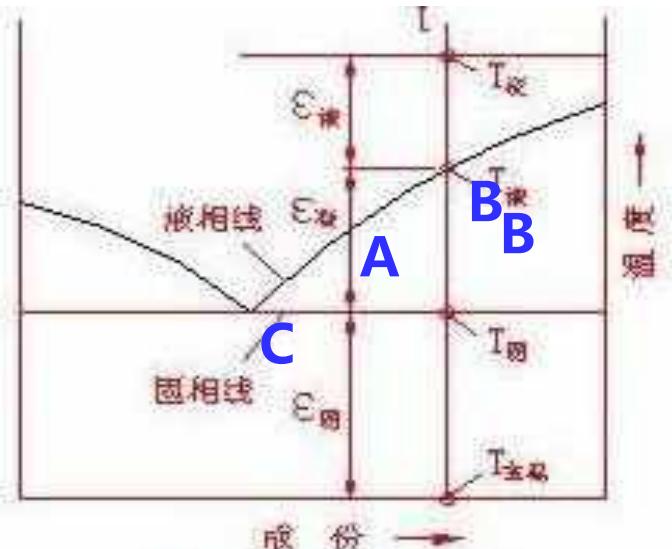
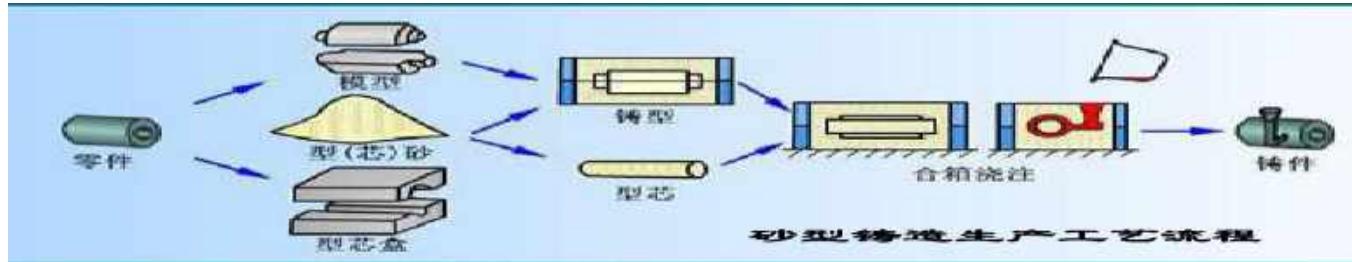


图 1-4 收缩三阶段

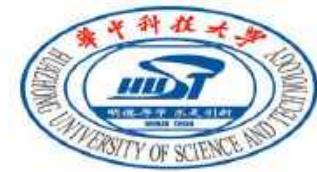
1.2 砂型铸造



按成形工艺不同，铸造可分为砂型铸造与特种铸造

砂型铸造是用来制造大型部件，如灰铸铁，球墨铸铁，不锈钢和其它类型钢等。主要步骤包括绘图，模具，制芯，造型，熔化及浇注，清洁等。





第一章 铸造工艺

1.2 砂型铸造

1.2.1 造型材料

型砂的基本性能要求有强度，透气性，流动性，退让性等。芯砂处于金属液的包围之中，工作条件更加恶劣。对芯砂的基本性能要求更高。

型砂和芯砂：由原砂、黏结剂、水及附加物（如重油、木屑等）按一定比例混合而成。

1.2 砂型铸造

1.2.1 造型材料

- 1. 黏土砂：**以黏土作为黏结剂。可分为湿型、表干型及干型三种。在目前铸造生产中使用最广泛。
- 2. 水玻璃砂：**以水玻璃作黏结剂，由化学反应而硬化。适合于生产大型铸铁件及所有铸钢件。
- 3. 树脂砂：**以合成树脂作黏结剂。常用于制型芯及壳型（芯）。



第一章 铸造工艺

1.2 砂型铸造

1.2.2 造型、制芯方法

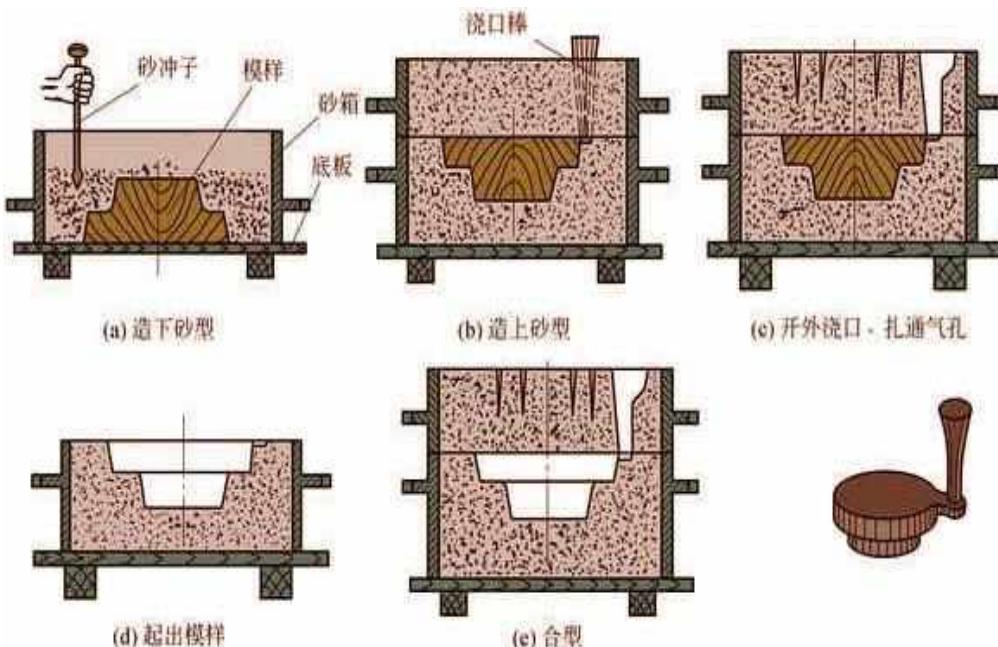
造型、制芯可分为手工造型、制芯和机器造型、制芯两大类。手工造型主要用于单件小批生产，机器造型主要用于成批大量生产。

(1) 手工造型

手工造型中紧砂和起模都是由手工来完成。

a) 整模造型

特点：整体模，分型面为平面，铸型全部在一个沙箱内。造型简单，铸件不会产生错箱。

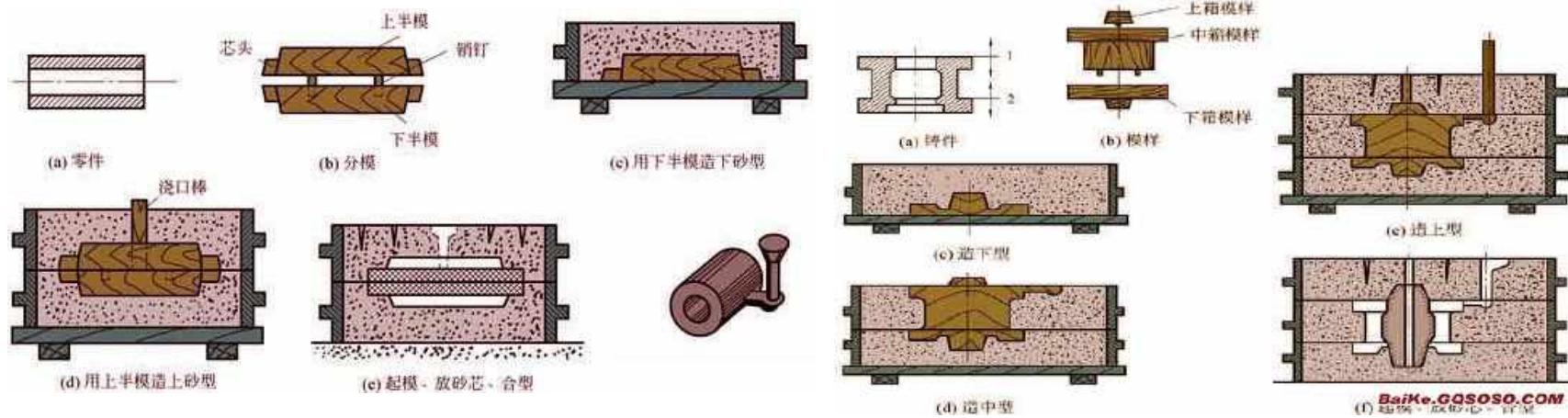


第一章 铸造工艺

1.2 砂型铸造

1.2.2 造型、制芯方法

b) 分模造型（两箱、三箱或多箱造型）



特点：模样沿最大截面分为两半，型腔位于上、下两个沙箱内。应用范围：铸件最大截面在中部，一般为对称性铸件。

特点：铸件两端截面尺寸比中间大，关键是选配高度合适的中箱。应用范围：单件小批量生产，有两个分型面的铸件。

第一章 铸造工艺

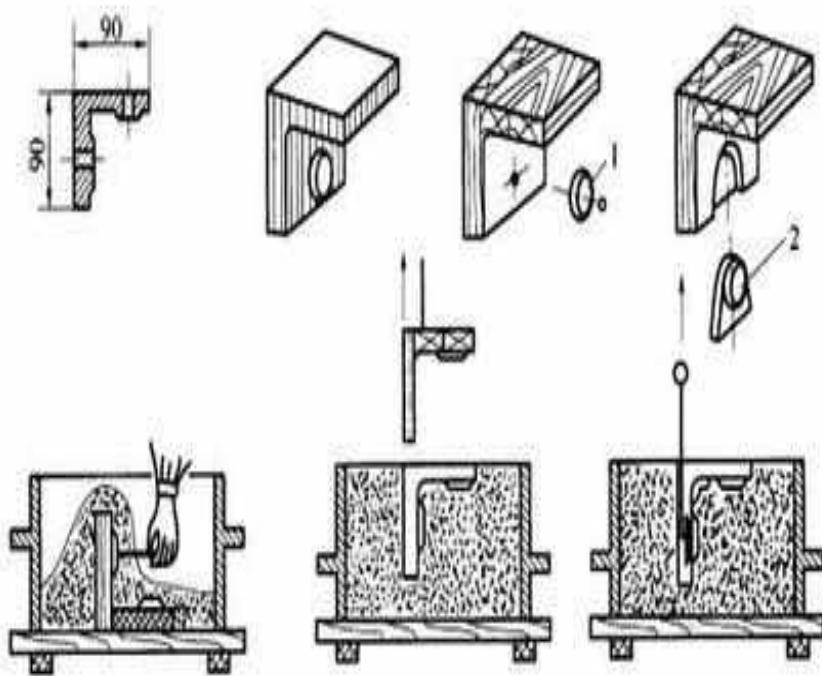
1.2 砂型铸造

1.2.2 造型、制芯方法

c) 活块造型

特点：将模样上妨碍起模的，做成活动的活块，便于造型起模。造型和制造模样都麻烦。

应用：单件小批量生产带有突起部分的铸件。



第一章 铸造工艺

1.2 砂型铸造

1.2.2 造型、制芯方法

(2) 机器造型

机器造型中紧砂是由机器完成。

机器造型的紧砂方法：

紧砂方法有震压造型、高压造型、射压造型、抛砂造型。中小型铸件以震压式应用最广。

振压造型

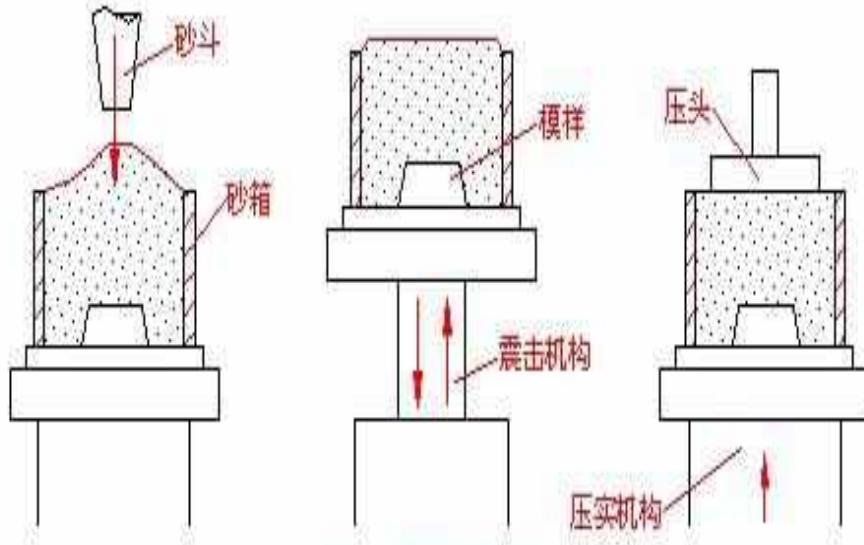


图 3-5 震压紧砂原理

1.2 砂型铸造

1.2.2 造型、制芯方法

高压造型

利用液压系统产生很高的压力，大于 0.7 MPa ，来压实砂型的一种造型工艺。

高压微振造型机制出的砂型紧实度高，铸件尺寸精确，表面粗糙度低，噪声小，生产效率高。



第一章 铸造工艺

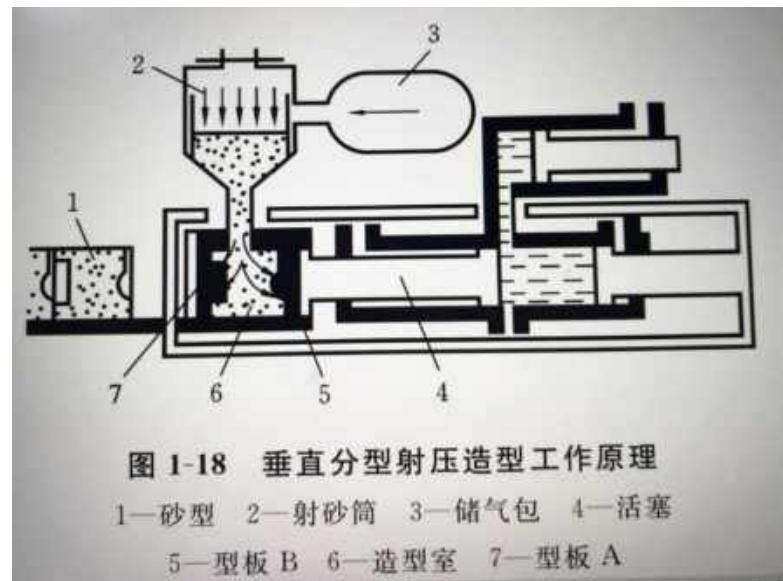
1.2 砂型铸造

1.2.2 造型、制芯方法

采用射砂和压实复合的方法紧实型砂的造型工艺。

用射压造型方法制得的铸件尺寸精度很高，生产效率高，易于实现自动化，常用于中小型铸件的大量生产。

射压造型



第一章 铸造工艺

1.2 砂型铸造

1.2.2 造型、制芯方法

利用高速旋转的叶片将输送带输送过来的型砂高速抛下来紧实砂型的造型工艺。

抛砂造型适应性强，不需要专用砂箱和模板，适用于大型铸件的单件，小批生产。

抛砂造型

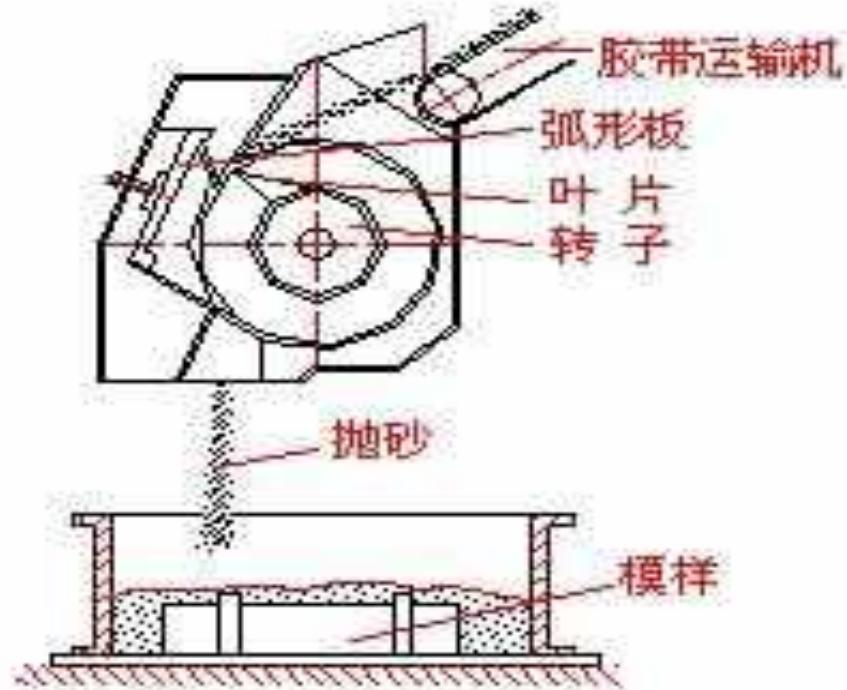
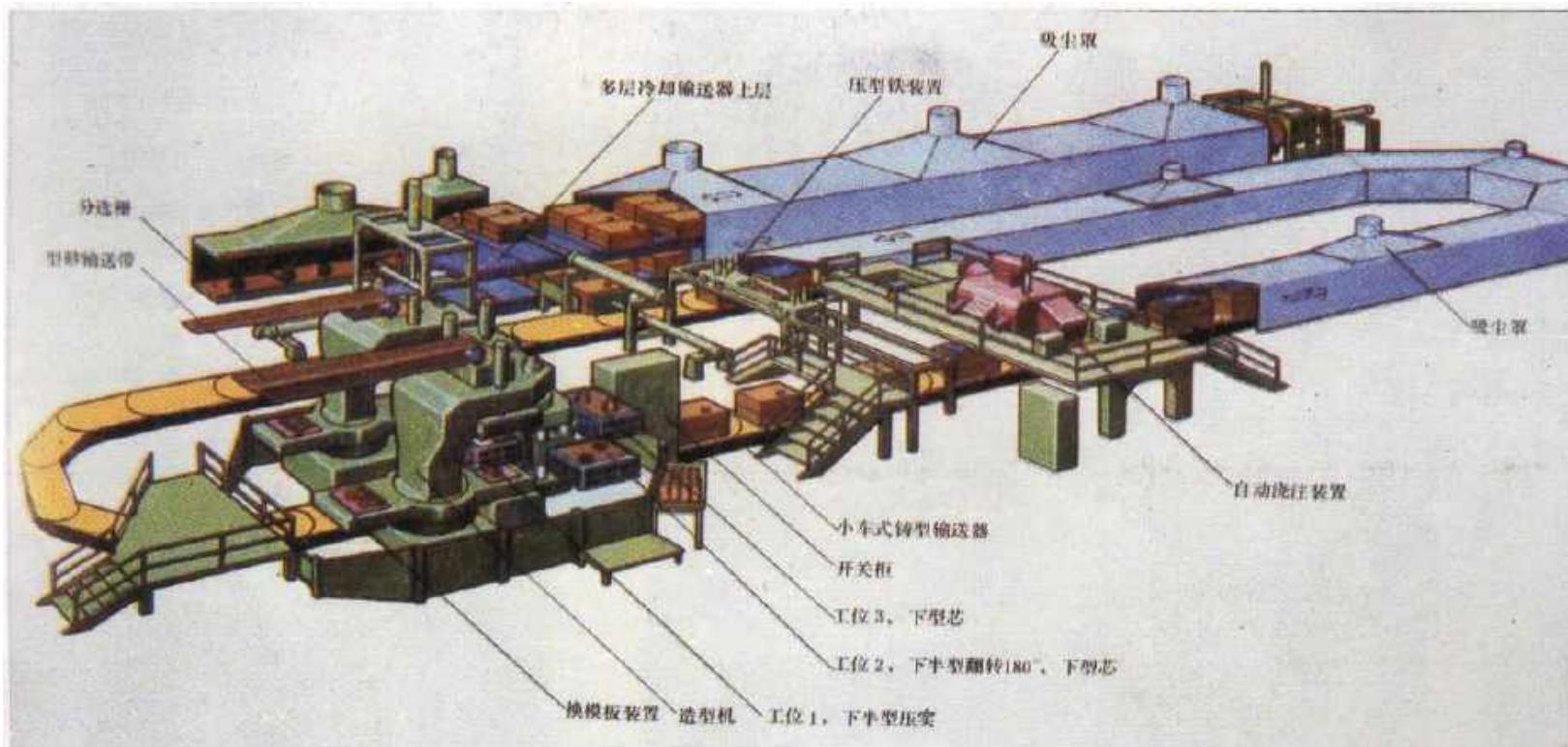


图 3-6 抛砂紧实原理

第一章 铸造工艺

1.2 砂型铸造

1.2.2 造型、制芯方法



彩图 XI 典型铸造自动生产线示意图

1.2 砂型铸造

1.2.2 制芯方法

热芯盒法制芯

将芯砂悬浮在压缩空气的气流中，以高速射入芯盒中而紧实。

热芯盒法制芯生产效率很高，型芯强度高，尺寸精确，表面光洁。

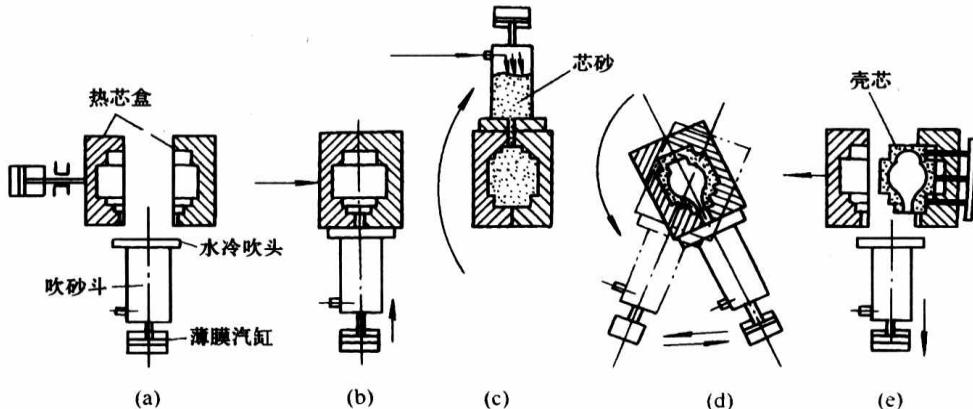
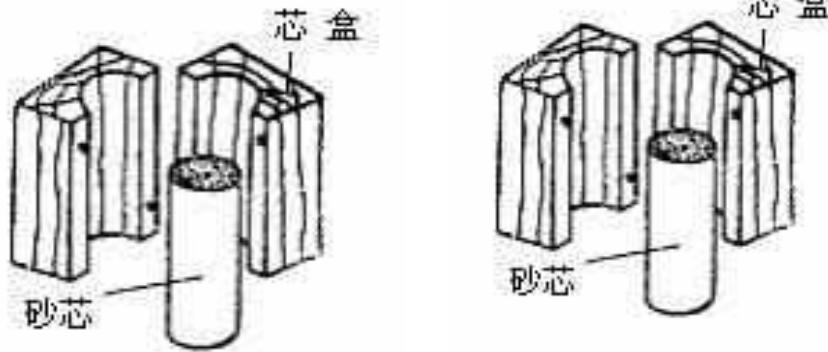


图 1—34 壳芯机工作原理示意图

(a)原始位置;(b)芯盒合拢;(c)翻转吹砂,加热解壳;
(d)转向摇摆,壳芯硬化;(e)芯盒分开,顶芯取芯。

第一章 铸造工艺

1.2 砂型铸造

1.2.2 制芯方法

热芯盒法制芯

将芯砂悬浮在压缩空气的气流中，以高速射入芯盒中而紧实。

热芯盒法制芯生产效率很高，型芯强度高，尺寸精确，表面光洁。

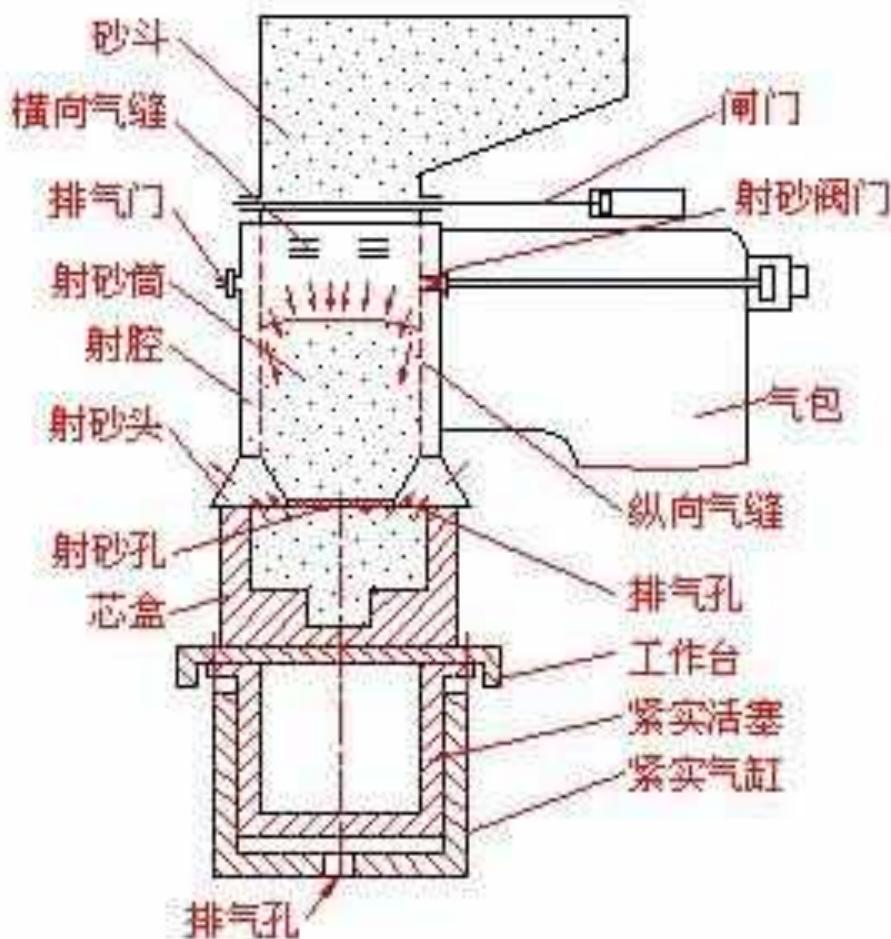


图 3-11 射芯机射砂示意图



第一章 铸造工艺

1.2 砂型铸造

1.2.3 铸件浇注位置和分型面的选择

为了提高铸件质量和生产效率，根据铸件结构特点、技术要求、生产数量和生产条件等预先选择造型方法，确定铸件的浇铸位置和分型面、工艺参数、型芯、和浇注系统等。即铸造工艺方案。

设计依据：

(1) 产品生产的技术文件：

零件图，材料、性能和精度等技术要求，生产批量及期限

(2) 工厂的生产条件：

设备能力、原材料、工人技术和加工能力。

第一章 铸造工艺

1.2 砂型铸造

1.2.3 铸件浇注位置和分型面的选择

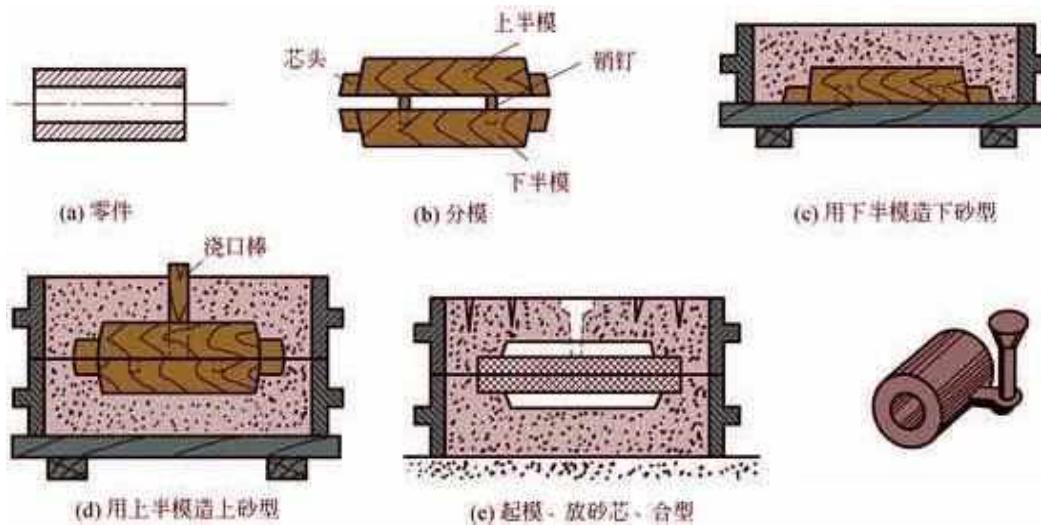
浇注时铸件在铸型内所处的位置，分型面是指两半铸型相互接触的表面。

分模面

分型面

确定分型面的基本原则是便利起模

一般情况下，应先保证铸件质量选择浇注位置，后简化造型工艺决定分型面。



第一章 铸造工艺

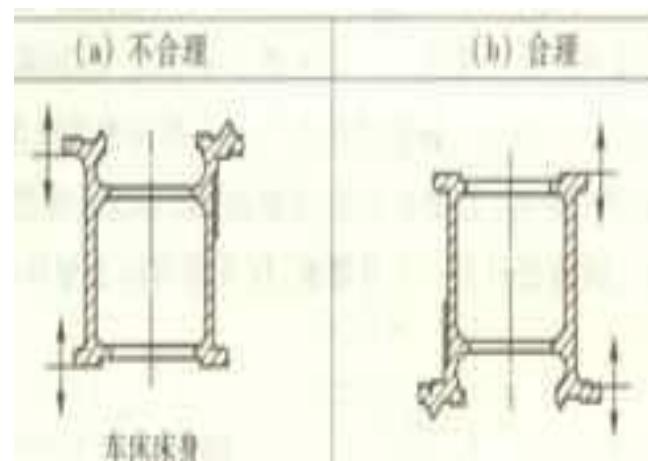
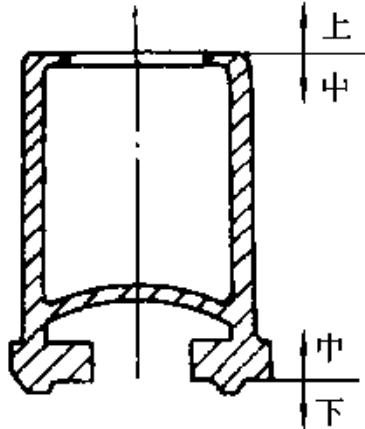
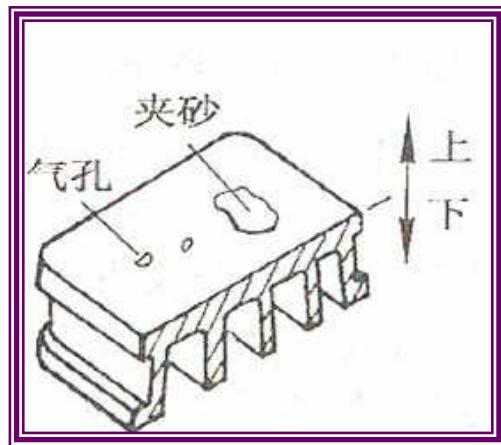
1.2 砂型铸造

1.2.3 铸件浇注位置和分型面的选择

浇注位置的选择原则

a 铸件的重要加工面应处于型腔底面或侧面

因为浇注时气体、夹杂物易漂浮在金属液上面，下面金属质量纯净，结构致密。



第一章 铸造工艺

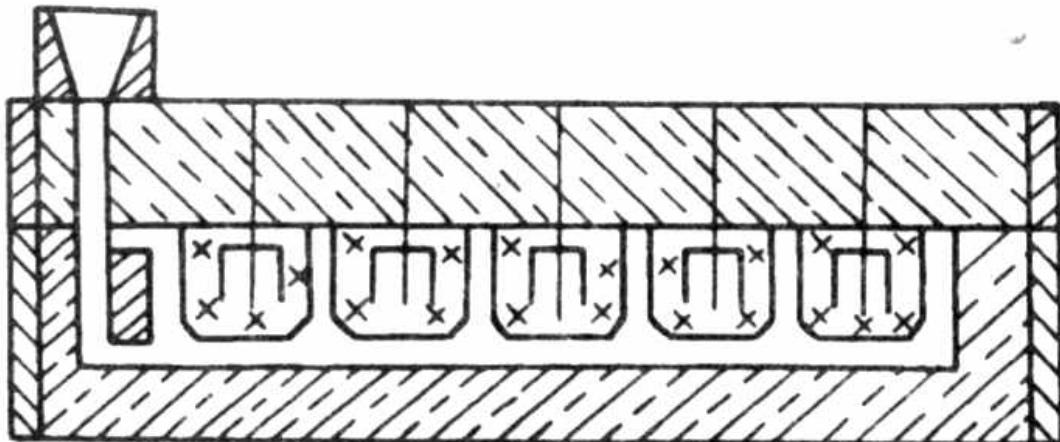
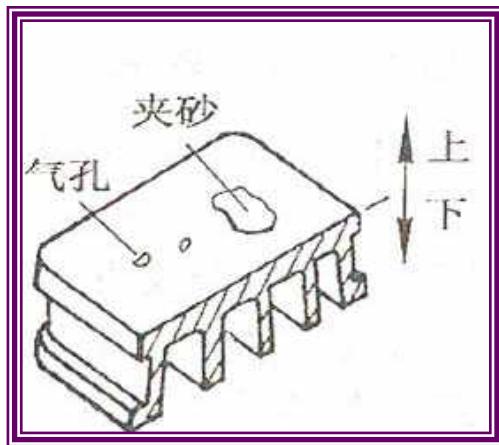
1.2 砂型铸造

1.2.3 铸件浇注位置和分型面的选择

浇注位置的选择原则

b 铸件的大平面应尽量朝下

由于在浇注过程中金属液对型腔上表面有强烈的热辐射，铸型因急剧热膨胀和强度下降易拱起开裂，从而形成夹砂缺陷。



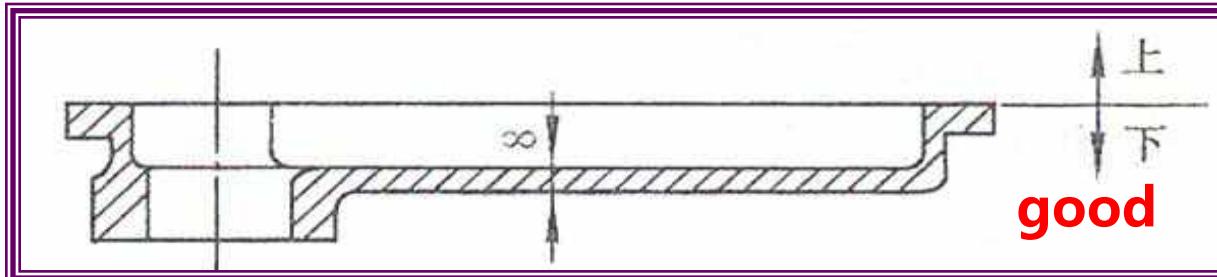
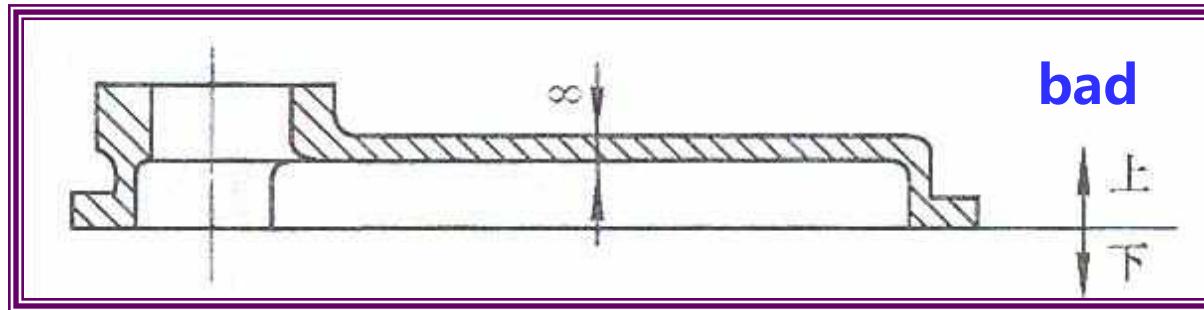
第一章 铸造工艺

1.2 砂型铸造

1.2.3 铸件浇注位置和分型面的选择

浇注位置的选择原则

c 铸件的薄壁部分应放在铸型的下部或侧面，以免产生浇不足或冷隔缺陷。



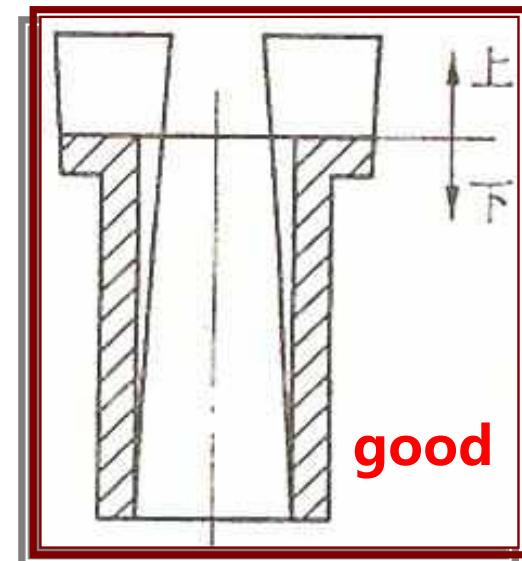
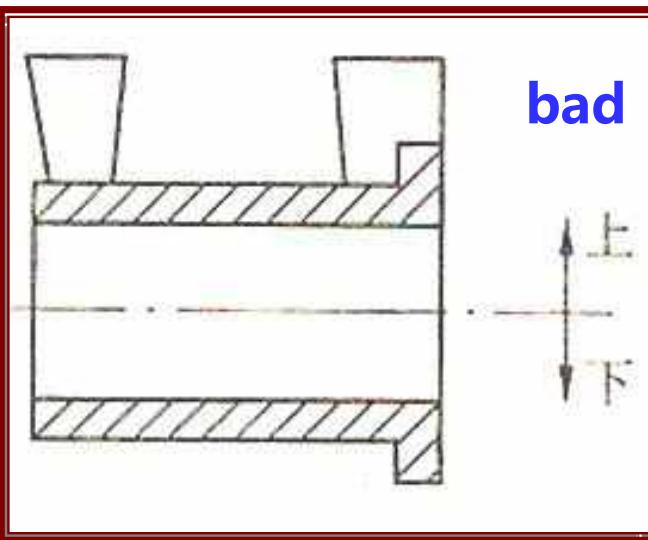
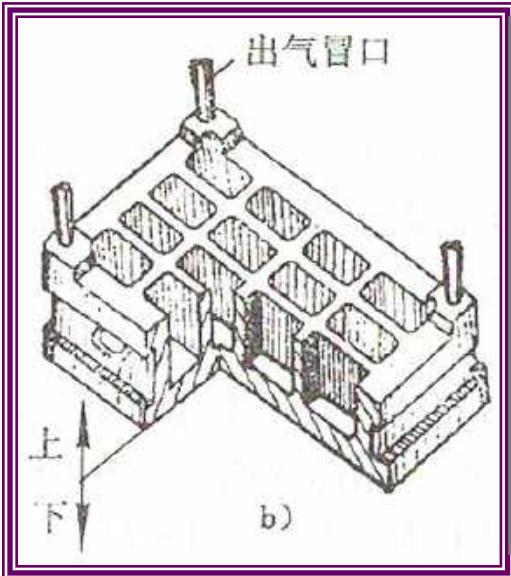
第一章 铸造工艺

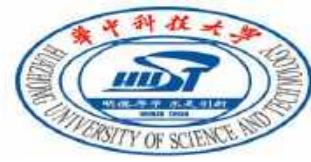
1.2 砂型铸造

1.2.3 铸件浇注位置和分型面的选择

浇注位置的选择原则

对于合金收缩大，壁厚不均匀的铸件，应将厚度大的部分朝上或置于分型面附近，利于安放冒口补缩。





机械制造工艺基础

主讲人：余圣甫

材料科学与工程学院

联系电话：13971277482

2020年4月12日

第一章 铸造工艺

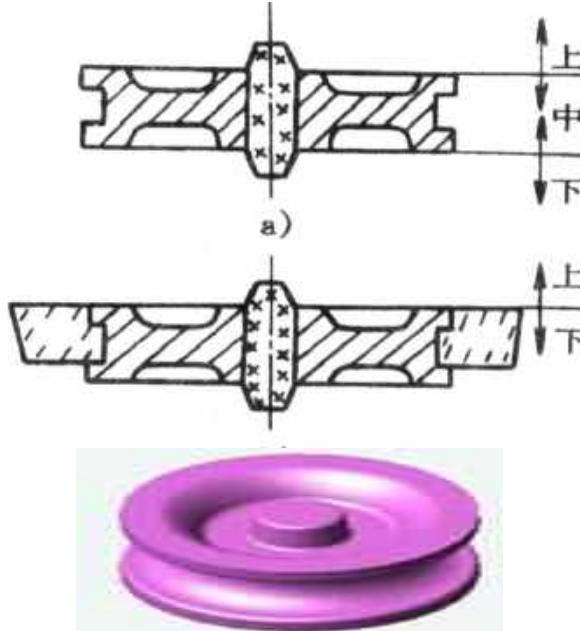
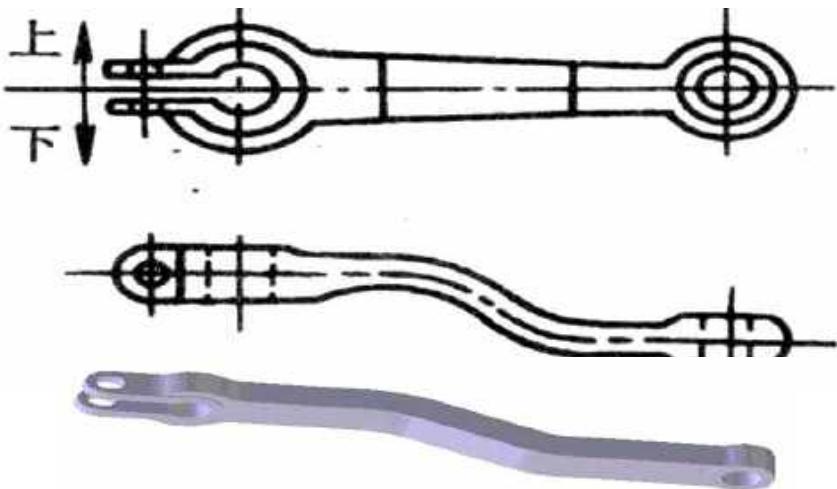
1.2 砂型铸造

1.2.3 铸件浇注位置和分型面的选择

分型面的选择原则

1. 应便于起模, 简化造型工艺

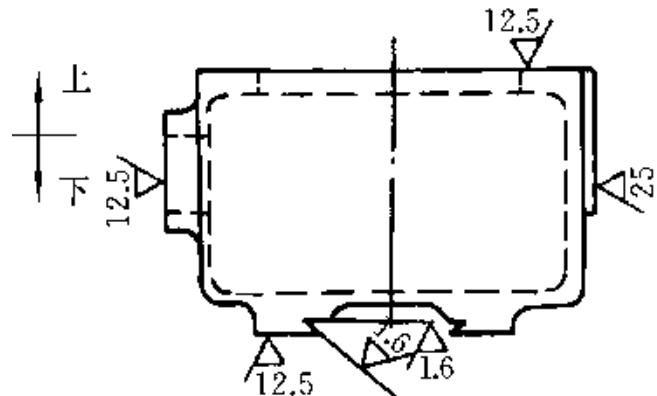
起重臂采用平面分型, 可避免挖砂造型, 提高生产率。绳轮铸件大批量生产加一个环状型芯, 使三箱造型改为两箱造型, 简化了操作。



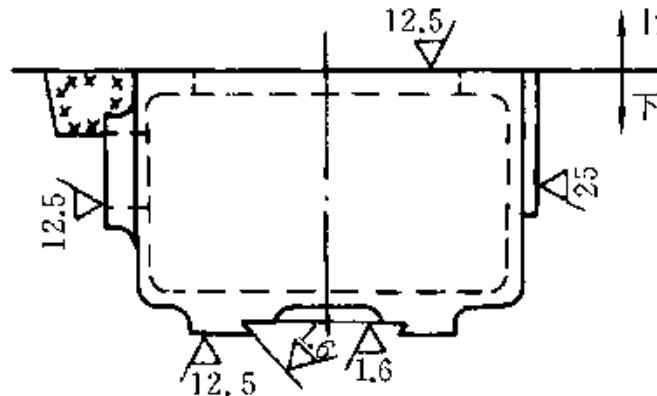
1.2 砂型铸造

2. 尽量使铸件全部或大部分放在同一个砂箱内
顶部平面为加工基准面。

- a) 因易错型而影响铸件尺寸精度。
- b) 使加工面和基准面在同一个砂箱内, 即不会错型也能够保证铸件精度, 适用于批量生产。



(a) 不合理



(b) 合理

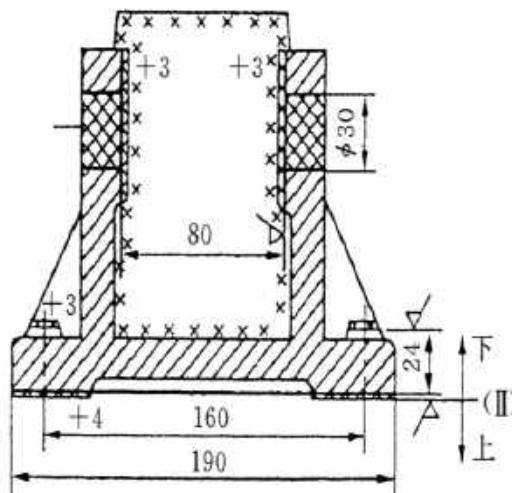
第一章 铸造工艺

1.2 砂型铸造

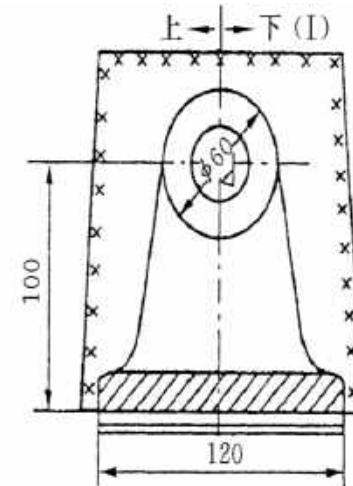
尽量减少型芯和活块的数量

a) 分模造型，轴孔下芯方便，但底板上四个凸台必须采用活块，操作麻烦且容易产生错型缺陷。

b) 采用整模造型，铸件的重要工作面朝下，利于保证铸件的尺寸精度和质量。中间下一个型芯，可成形轴孔，避免了取活块。操作简单，适合批量的生产。



(a)



(b)

收缩率:1%

非加工表面起模斜度:30'~1°



第一章 铸造工艺

1.2 砂型铸造

1.2.4 铸造工艺参数的确定

铸造收缩率：模样和芯盒的制造尺寸应比铸件放大一个该合金的线收缩率

$$\text{铸造收缩率 } K = \frac{L_{\text{模}} - L_{\text{件}}}{L_{\text{件}}} \times 100\%$$

$L_{\text{模}}$ —模样尺寸； $L_{\text{件}}$ —铸件尺寸。

灰铸铁为0.7%~1.0%，铸造碳钢为1.3%~2.0%，铝硅合金为0.8%~1.2%，锡青铜为1.2%~1.4%。

第一章 铸造工艺

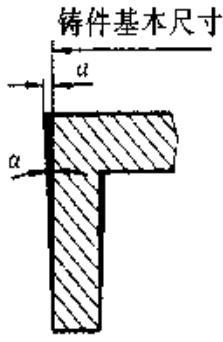
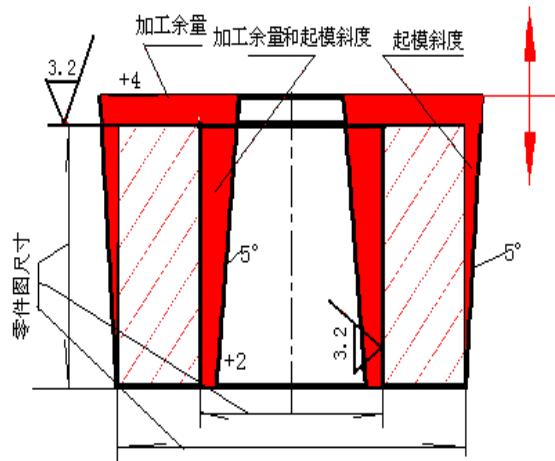
1.2 砂型铸造

1.2.4 铸造工艺参数的确定

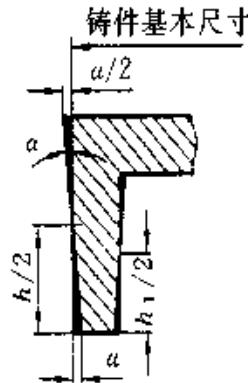
加工余量：铸件加工面上留出的准备切削掉的金属层厚度。

起模斜度：在垂直于分型面的立壁上所增加的斜度，用角度 α 或宽度 a 表示。

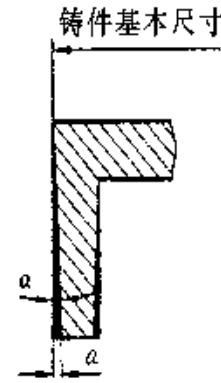
模样越高，斜度取值越小，内壁斜度比外壁斜度大，手工造型比机器造型的斜度大。



(a) 增加铸件厚度



(b) 加减铸件厚度



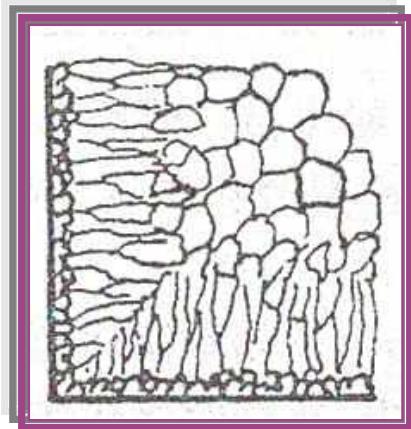
(c) 减少铸件厚度

第一章 铸造工艺

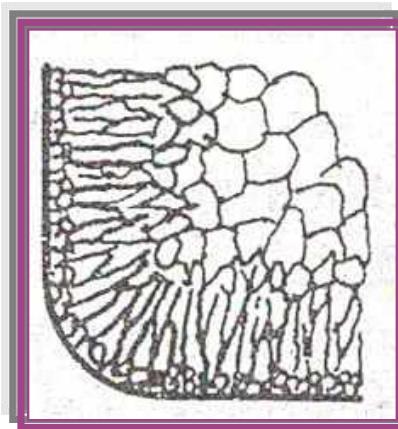
1.2 砂型铸造

铸造圆角

铸件相邻两壁之间的交角，应设计成圆角，防止在尖角处产生冲砂及裂纹等缺陷。圆角半径一般约为相交两壁平均厚度的 $1/3\sim1/2$ 。



不合理



合理



1.2 砂型铸造 型芯头

为了保证型芯在铸型中的定位、固定和排气，模样和型芯都要设计出型芯头。它们之间的尺寸和形状要留有装配用的芯头间隙。

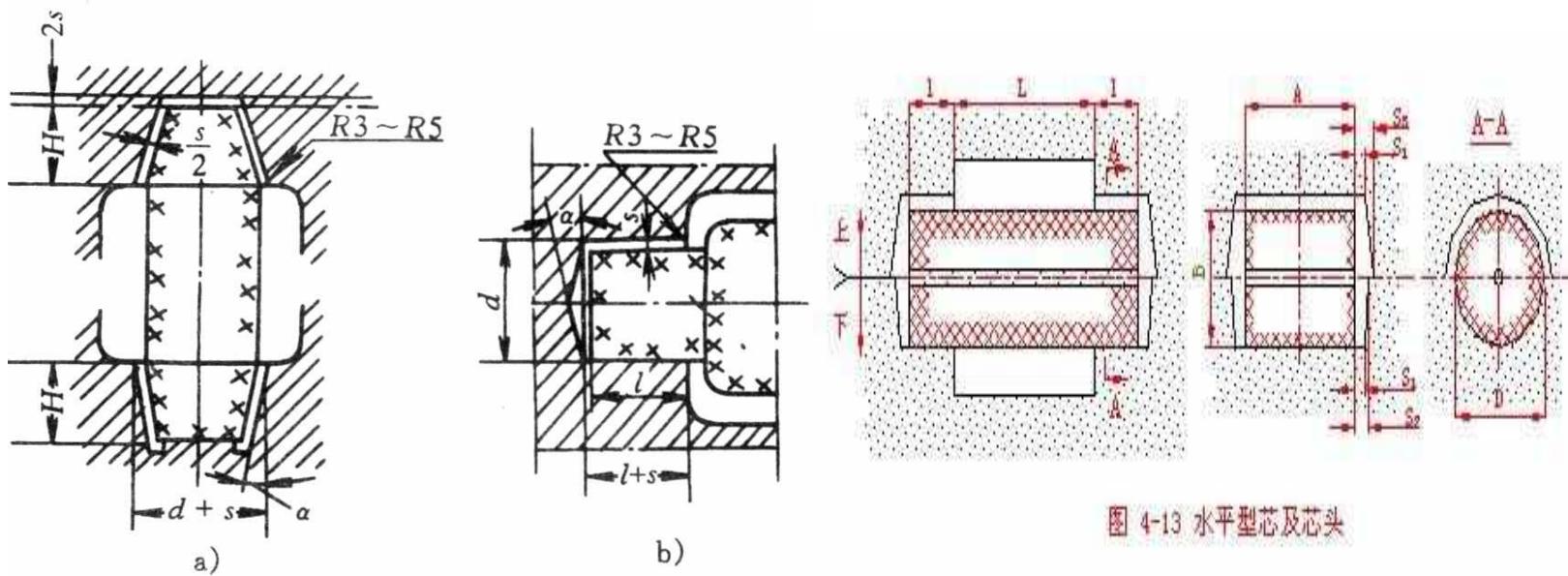


图 4-13 水平型芯及芯头

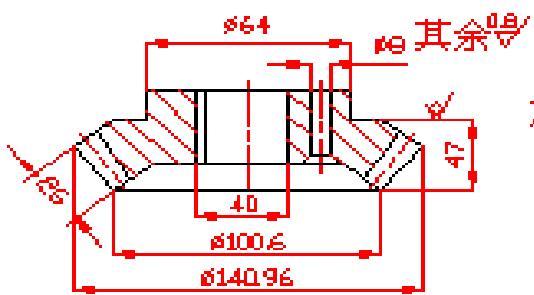
第一章 铸造工艺

1.2 砂型铸造

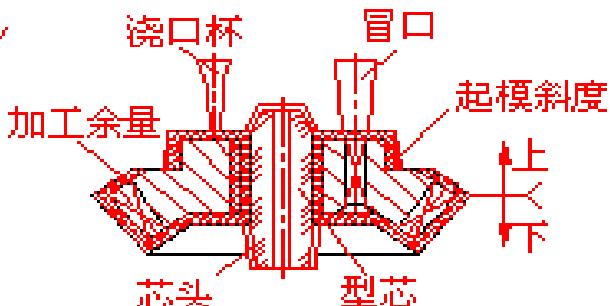
1.2.5 铸造工艺图的绘制

铸造工艺图是在零件图上用规定的符号表示铸造工艺内容的图形，是制造模样和铸型，进行生产准备和铸件检验的依据，是铸造生产的基本工艺文件。

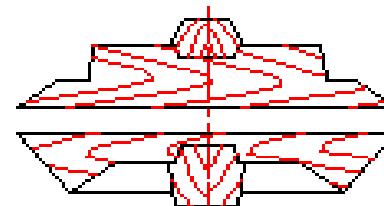
分析铸件品质要求和结构工艺性



a) 零件图



b) 铸造工艺图



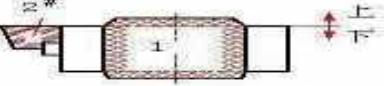
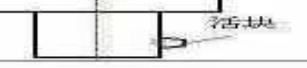
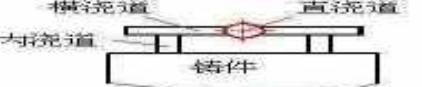
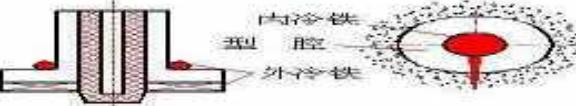
c) 模样图

圆锥齿轮的零件图、铸造工艺图及模样图

1.2 砂型铸造

1.2.5 铸造工艺图的绘制

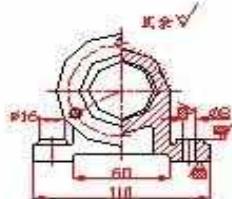
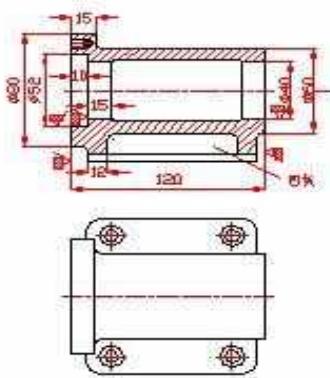
表4-1 铸造工艺图中符号及其表示方法

名 称	符 号	说 明
浇注位置、分型面及分模面		用蓝线或红线和箭头表示。其中汉字及箭头表示浇注位置，直线尾端并叉表示分模面，点、折线表示分型面
机械加工余量和起模斜度		用红线划出轮廓，剖面处涂以红色（或细网纹格）。加工余量值用数字表示。有起模斜度时，一并画出
不铸出的孔和槽		用红“X”表示。剖面处涂以红色（或细网纹格表示）
型 芯		用蓝线划出芯头，注明尺寸。不同型芯用不同剖面线。型芯应按下芯顺序编号
活 块		用红线表示，并注明“活块”
型芯撑		用红色或蓝色表示
浇注系统		用红线绘出，并注明主要尺寸
冷 铁		用绿色或蓝色绘出，注明“冷铁”

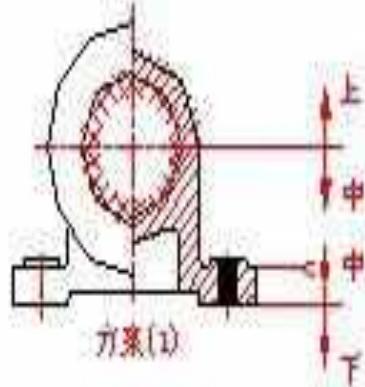
第一章 铸造工艺

1.2 砂型铸造

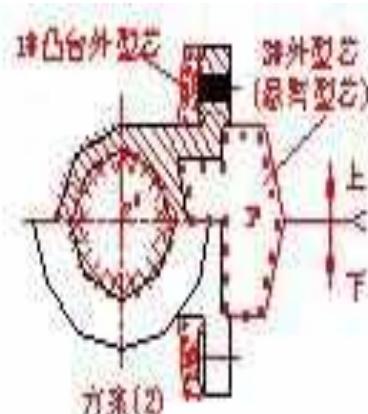
1.2.5 铸造工艺图的绘制



a) 轴座的零件图



b) 轴座零件的两种工艺方案



1) 单件小批生产工艺方案：

采用两个分模面、三箱造型，并选择了底板朝下，轴孔朝上的浇注位置。

2) 大批生产工艺方案：

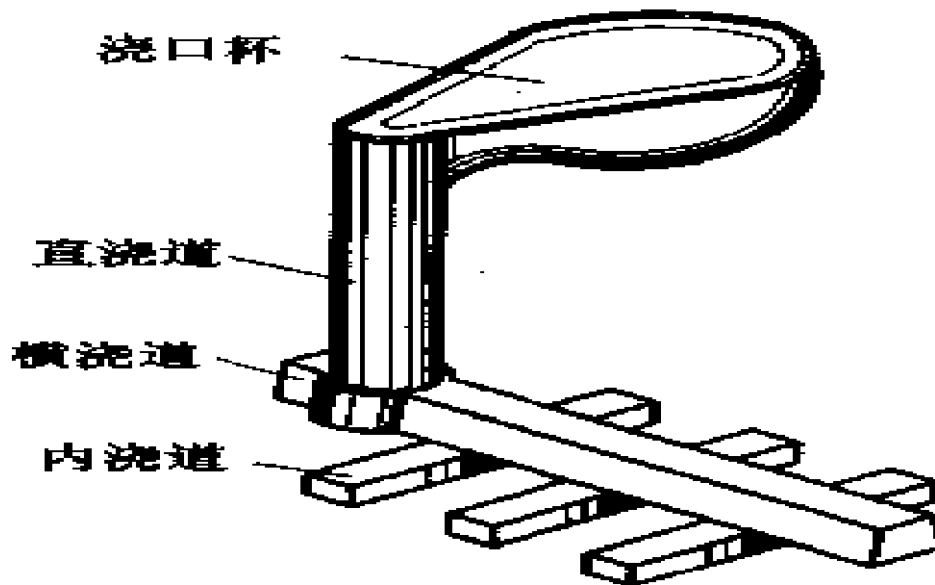
采用分模两箱造型，轴孔处于中间的浇注位置。该方案造型操作简便，生产效率高。

第一章 铸造工艺

1.2 砂型铸造

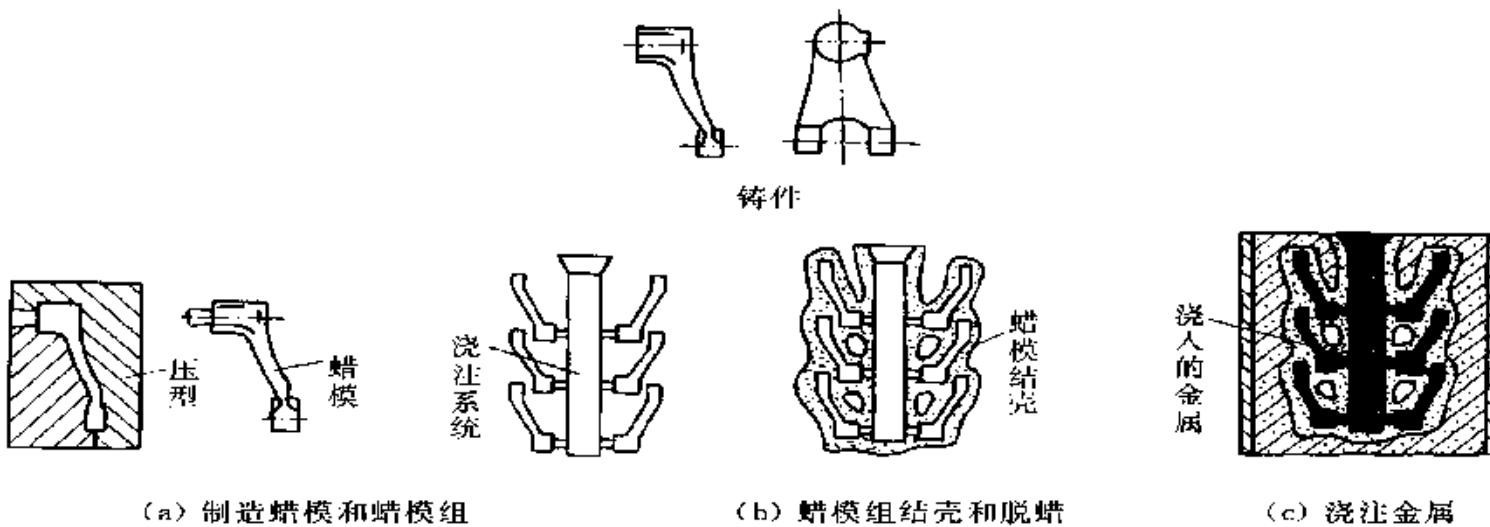
1.2.5 铸造工艺图的绘制

选择造型方法 选择浇注位置和分型面 确定工艺参数
设计型芯 设计浇注系统和冒口



1.3 特种铸造

(1) **熔模铸造**: 用易熔材料制成精确的模样，在其表面涂挂耐火涂料和撒砂制成壳型，熔去模样后，型壳经过焙烧后，浇注金属液，最后获得铸件的铸造方法。**熔模铸造**又称失蜡铸造或精密铸造。



第一章 铸造工艺

1.3 特种铸造

熔模铸造的基本工艺过程：

(1) 蜡模制造：

- ① 制造压型： a) 机械加工压型。 b) 易熔合金压型。
- ② 压制蜡模： 蜡料是50%石蜡和50%硬脂酸，其熔点为50-60°C。
- ③ 装配蜡模组。

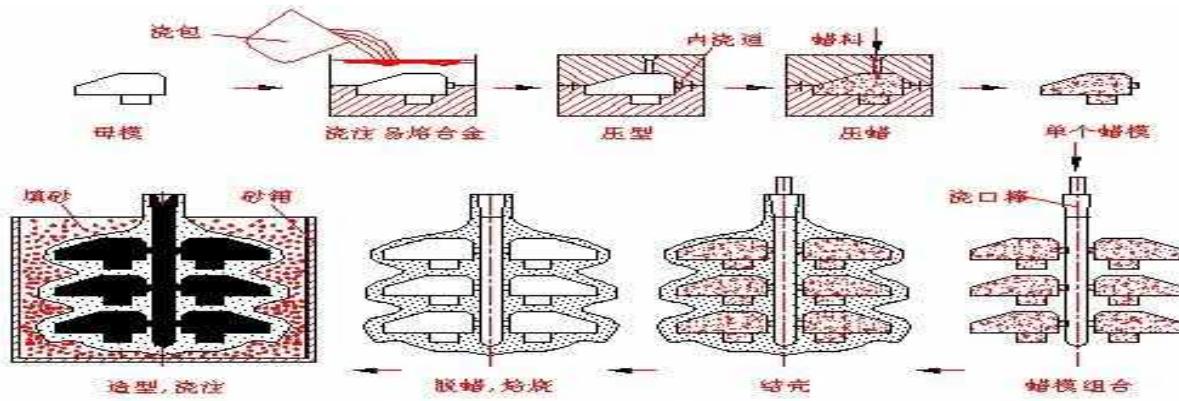


图 3-17 熔模铸造工艺过程

第一章 铸造工艺

1.3 特种铸造

(2) 结壳

① 浸涂料 ② 撒砂 ③ 硬化、风干。

(3) 脱蜡

(4) 熔化和浇注

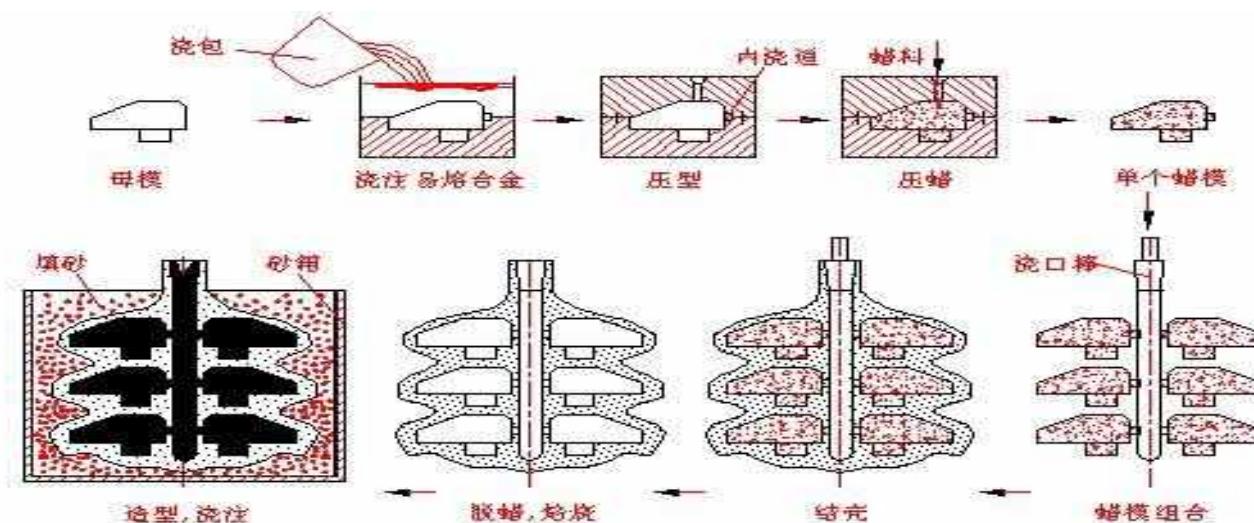
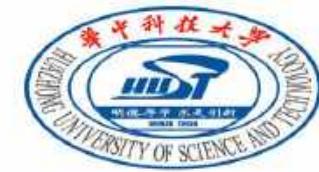


图 3-17 熔模铸造工艺过程



第一章 铸造工艺

1.3 特种铸造

熔模铸造的特点和适用范围

熔模铸造的优点：

- (1) 铸件尺寸精度高，表面粗糙度低，可实现少、无切削加工
- (2) 适合于各种合金的铸造，高熔点和难以切削加工的合金。

高合金钢、耐热合金

- (3) 可铸出形状复杂的薄壁铸件，如铸件上的凹槽、小孔（ $\phi \geq 2.5\text{mm}$ ）均可直接铸出

熔模铸造的缺点：工序繁多，生产周期长，铸件成本高。

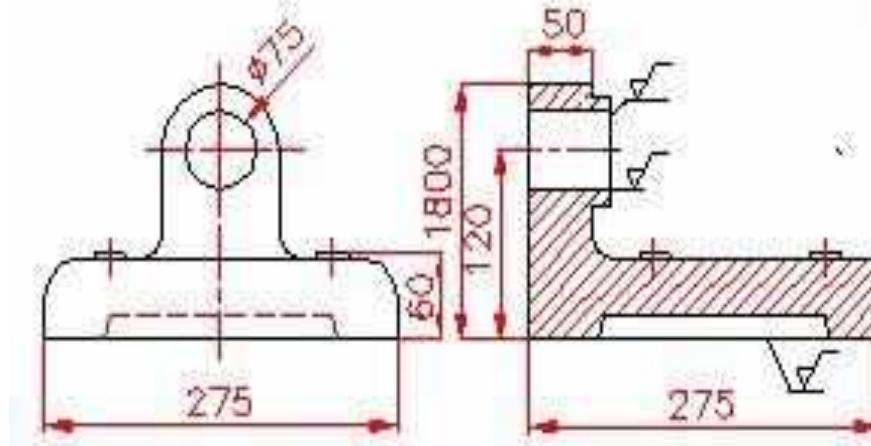
应用：在航空、船舶、汽车、拖拉机、汽轮机、仪表、工模具和机床等制造行业中得到了广泛的应用。

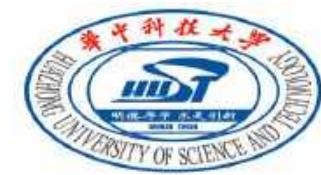
第一章 铸造工艺

作业：

确定图下所示铸件的铸造工艺方案，要求如下：

- (1) 按大批、大量生产条件分析最佳方案；
- (2) 按所选方案绘制铸造工艺图（包括浇注位置、分型面、分模面、型芯、芯头及浇注系统等）。

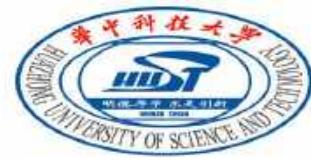




第一章 铸造工艺

作业：

- 2、型砂由哪些物质组成？对其基本性能有什么要求？
- 3、机器造型与手工造型相比具有哪些优点？具体有哪些方法？简述震压造型机的工作过程。



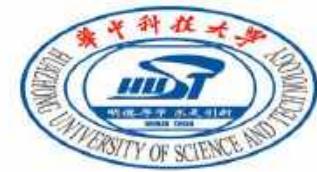
机械制造工艺基础

主□人：余圣甫

材料科学与工程学院

联系电话：13971277482

2020年4月12日



第一章 铸造工艺

1.3 特种□□

熔模□□的特点和□用□围

熔模□□的优点：

(1) □件尺寸精度□，□□粗糙度低，可实现少、无切削加工。

(2) □合于各种合□的□□，□熔点和□以切削加工的合□。□合□□、耐热合□

(3) 可□出形状复杂的□壁□件，如□件上的凹槽、小孔($\phi \geq 2.5\text{mm}$)均可直接□出熔模□□的缺点：工序繁多，生产周期□

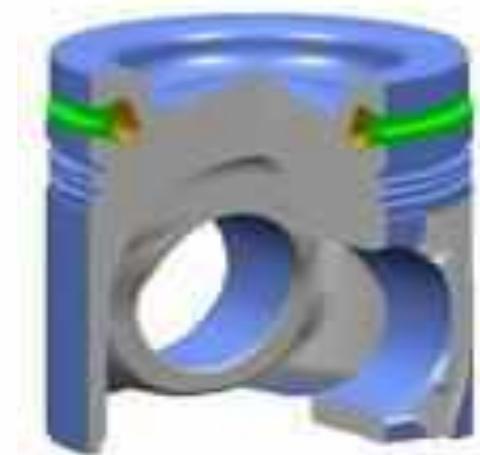
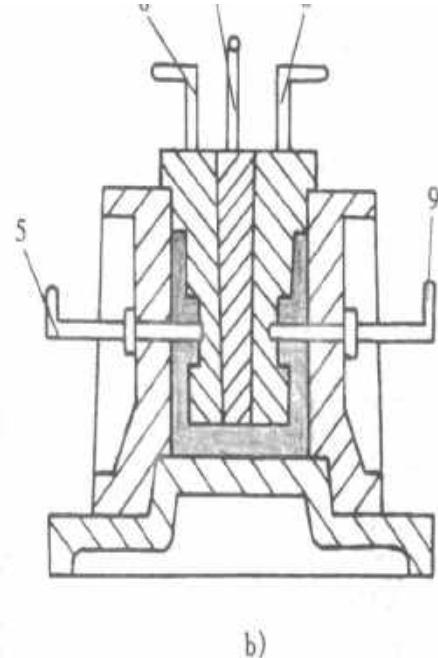
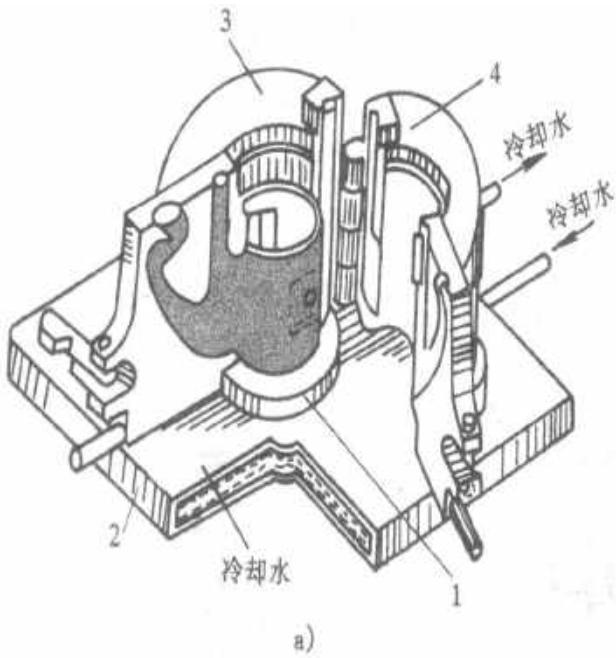
，□件成本□。

应用：在□空、□ 、汽□、拖拉机、汽□机、仪□、工模具和机床等制□□业中得到了广泛的应用。



2. 金属型铸造

在重力作用下将金属液浇入金属型中而得零件的方法，金属型可以反复使用，所以又称为永久型。



2. 金属型铸造

金属型的材料及结构：

灰口、合口口口合口等制口口型，代替砂口型，一个口型可多次浇注

加强口属型的排气

在口属型的工作口面上喷刷涂料

预热口属型并控制其温度

及时开型

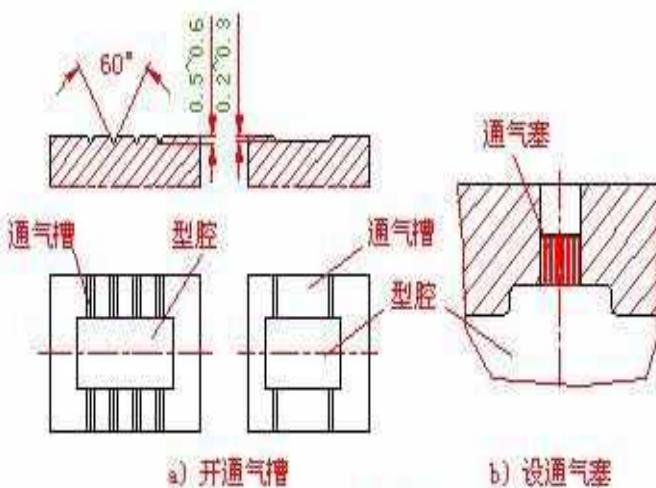
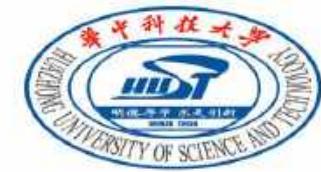


图 3-16 金属型的排气方式



第一章 铸造工艺

2. 金属型铸造

金属型铸造的特点及适用范围：

优点：

- ① 金属型可“一型多铸”，节省了大量的造型材料和生产场地，提高了生产率，易于实现机械化和自动化生产。
- ② 铸件尺寸精度和表面粗糙度均优于砂型铸件，其加工余量可减少。
- ③ 劳动条件好。

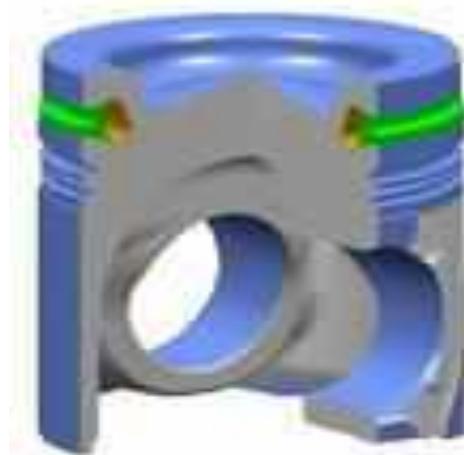
2. 金属铸造

金属型的成本高、制作周期长，不

宜单件小批生产，也不宜生产大型零件。

金属型导热快，不宜铸造形状复杂的壁厚件，壁厚件容易产生白口组织。

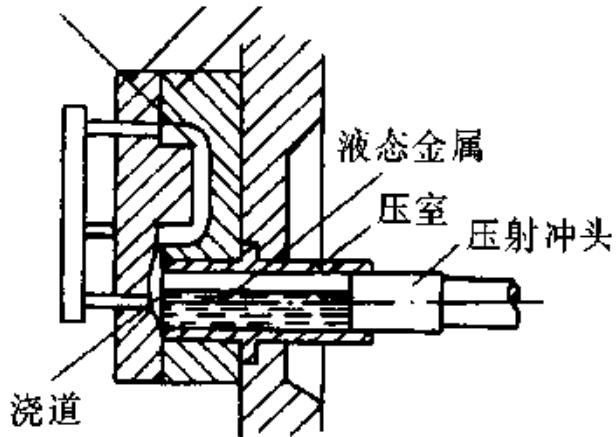
应用：主要用于箱体、盖、壳体等有组合件于像活塞、气缸盖、油泵壳体等形状不太复杂的组合中、小件的大批生产。



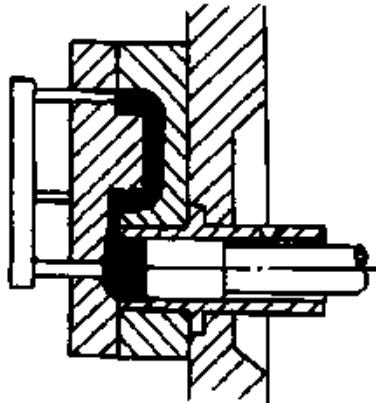
3. 压力铸造

压力铸造-是将液态（或半固态）金属压入型， 并在压力下结晶而得零件的方法， 简称压铸。常用的压射力为25-150MPa, 流速为15-100m/s, 充填时间为 0.01-0.2s。

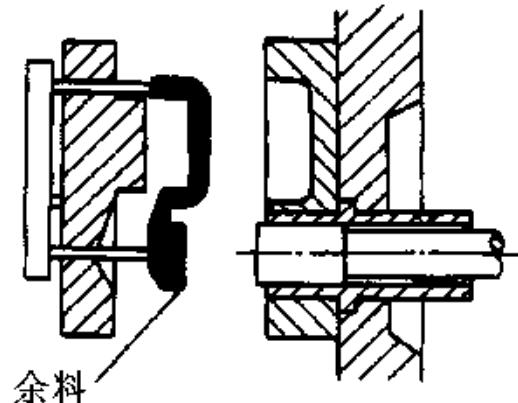
型腔 动型 定型



(a) 合型



(b) 压铸



(c) 开型

3. 压力铸造

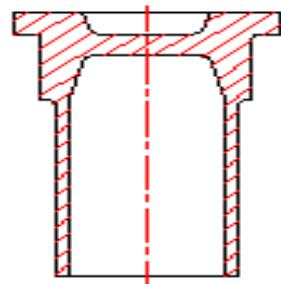
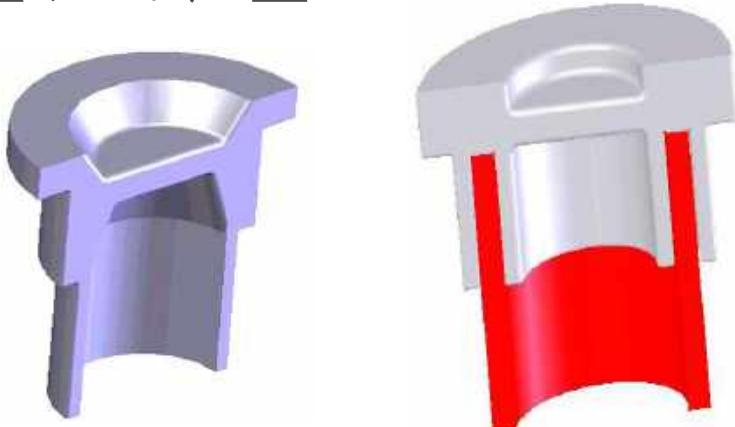
压力铸造的优点：

生产率高，生产过程易于机械化和自动化。

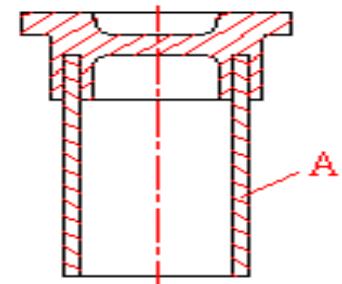
铸件质量高，铸件可不经机械加工而直接使用。

铸件力学性能好。铸件晶粒细小而致密，其抗拉强度比砂型铸造提高25%~30%。

便于采用镶嵌法，实现一件多材料，改善铸件某些性能的性。



a) 整体件



b) 镶嵌件

深腔件的改进

3. 压力铸造

压力铸造的缺点：

□ 皮下方出现皮下气孔。□
件含气□大，不□加工，热处
理或在□温下使用。

压力铸造应用：主□用于汽
□、拖拉机、仪器仪□、医疗
器械等□业中。用于生产10kg
以下的低熔点合□□件。

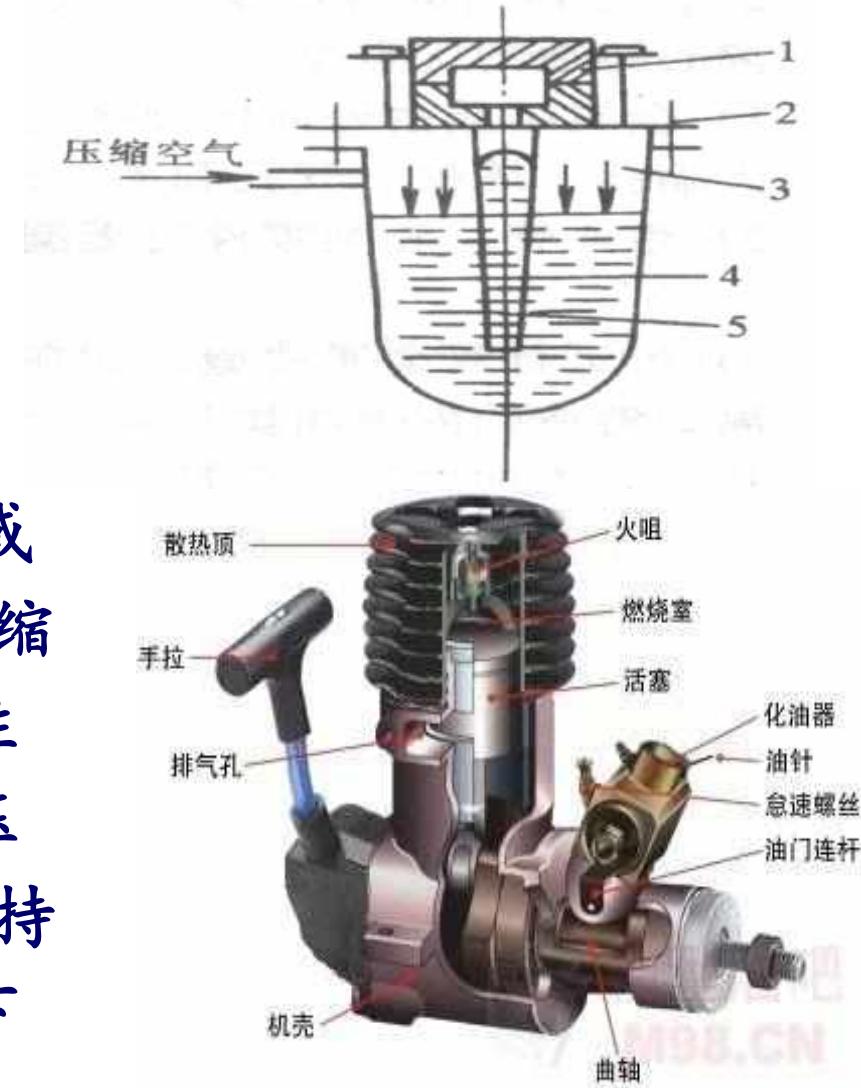


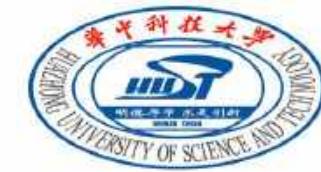
4. 低压铸造

低压铸造是在20~70kPa的压力下，将金属液注入型腔，并在压力下凝固的铸造方法。

1. 低压铸造工艺过程

浇注时，先用真空泵抽真空或由气管向炉内缓慢注入压缩空气，金属液经升液管平稳注入型腔，型腔注满后将空气压力升到一定的工作压力并保持，使金属液在压力下结晶并充分收缩。





第一章 铸造工艺

4. 低压铸造

低压铸造的特点及应用

低压铸造的优点是：

- 1) 浇注时压力和速度便于调节，充型平稳。气体易排除。
- 2) 便于实现顺序凝固，以止缩孔和缩松。
- 3) 铸件的尺寸精度于属型，可生产出壁厚为1.5~2mm的薄壁铸件。
- 4) 由于不用冒口，属的利用率可提高到90~98%。

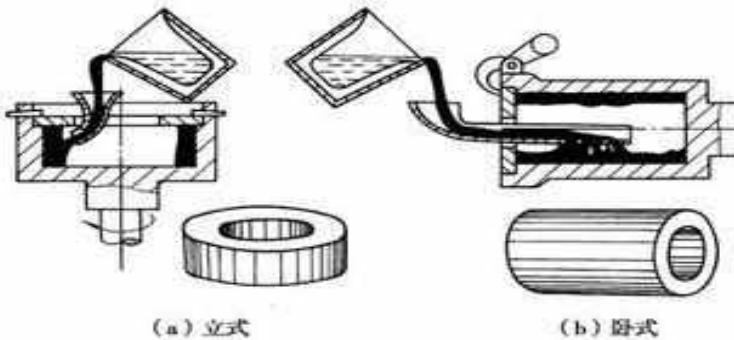
低压铸造应用：用于生产气缸体、气缸盖、活塞、曲箱、壳体等合件、合件；用螺旋桨、内燃机球、曲等。

第一章 铸造工艺

5. 离心铸造

将液态金属液浇入旋转的型腔中，使液态金属液在离心力作用下充填型腔并凝固成形的方法。

离心铸造特别用于生产圆筒形，如（管、套）等零件。为使型腔旋转，离心铸造必在离心机上进行，根据型腔空心位置的不同，离心铸造可分为立式和卧式两大类。



5. 离心~~铸造~~

生产圆筒形□件时，可省去型□，浇注系统和冒口，因而省工、省料、□低了□件成本。

□属结晶由外向内□序凝固，气体和熔渣比□□而向内□□中，□件组织□密，极少存在缩孔，气孔，夹渣等缺□。

可□□双□属□□，如在□套上□□□层□□制作滑动□承等。可□省□□材料。

用离心□□方法生产的□件内□□粗糙、尺寸□差大、品□差。



6. 消失模铸造

用聚乙烯发泡的塑料模代替木模。用干砂（或树砂、水玻璃砂等）代替普通型砂型，直接将温液态金属浇到型中的塑料模上，使其燃烧、气化、消失而形成件。又称气化模或实型模。

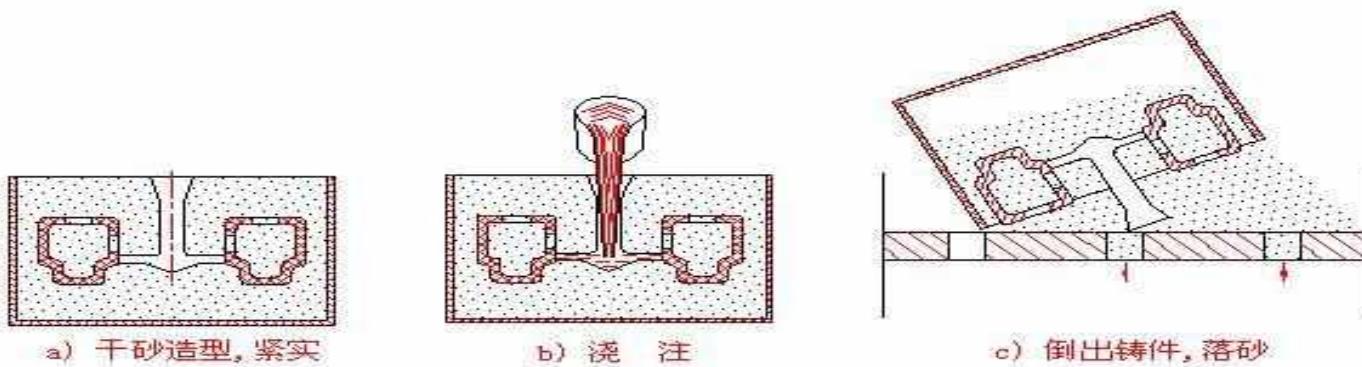
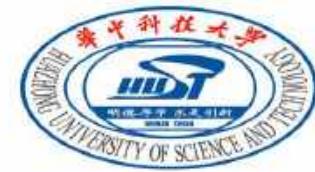


图 3-18 气化模铸造



第一章 铸造工艺

6. 消失模铸造

气化模铸造方法分类：

(1) 干砂负压消失模铸造：将聚苯乙烯颗粒在金属模具内加热膨胀发泡，形成气化模，并采用干砂负压造型。

(2) 树脂砂或水玻璃砂消失模铸造：用聚苯乙烯发泡板材，分块制作然后粘合成气化模样，采用水玻璃砂或树脂砂造型。

(3) 磁型消失模铸造：

2、气化模铸造的特点：



第一章 铸造工艺

6. 消失模铸造

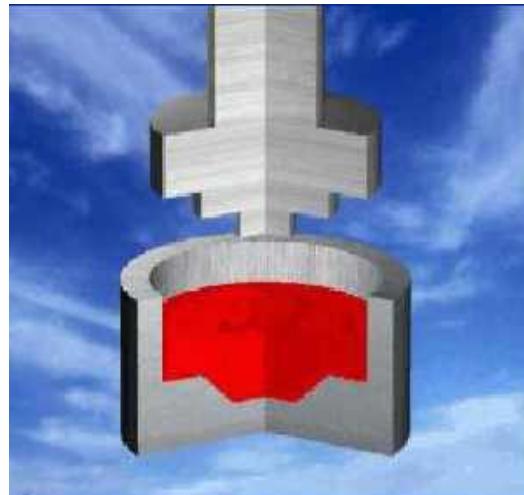
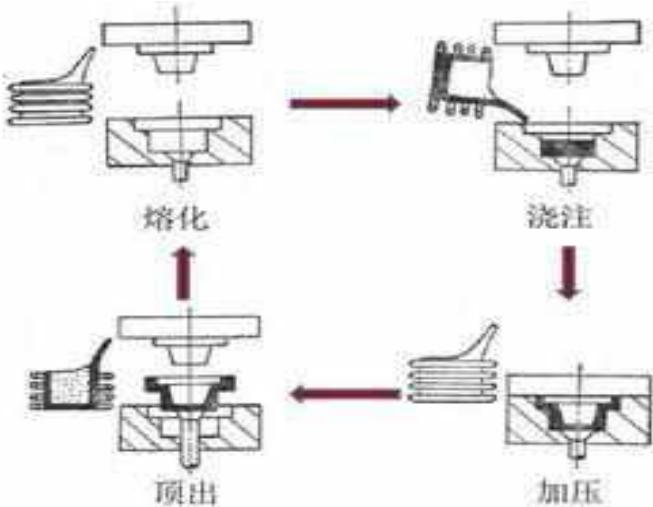
气化模是一种无余量，精确成型的新工艺。无飞边毛刺，减少了铸件尺寸误差。为铸件结构设计提供了充分的自由度。气化模铸造的工序大大简化，无需高技术等级的工人。

气化模铸造的适用范围：

铝、镁和铁（灰铁和球铁）、铜及除低碳钢以外的铸钢。铸件壁厚4mm以上。生产批量可单件小批亦可成批大量。只要利于砂子能将气化模紧实的前提下，对铸件的结构形状几乎无特殊限制。

7. 挤压铸造

也称“液态模锻”是对进入挤压型型腔内的液态（或半固态）的金属施加较高的机械压力，使其成形和凝固，从而获得铸件的铸造方法。是介于铸造与锻造的少无切削加工工艺。



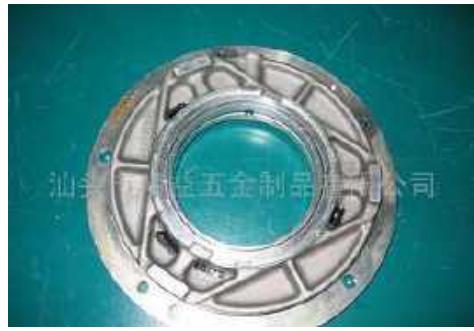
第一章 铸造工艺

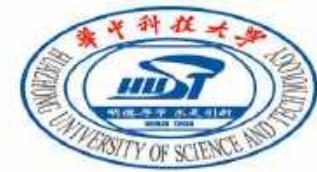
7. 挤压 铸造

挤压件组织致密、有利于防止气孔、缩松、裂纹产生，晶粒细化，可固溶处理，挤压件的力学性能优于其他普通件的，接近同种合金件水平。

挤压件有较高的尺寸精度，较低的表面粗糙度。

挤压件用途广泛，适合于多种合金和部分变形合金。挤压适合生产各种力学性能要求，气密性好的厚壁件，如汽车轮毂，发动机活塞，缸体，制动器零件等，不适合生产结构复杂的零件。





第一章 铸造工艺

1.4 铸件结构设计

设计铸件时，不仅满足使用性的要求，还应符合工艺性和合理性对铸件结构的要求，即所指“铸件结构工艺性”的要求？

铸件的结构工艺性

铸件结构主要是指铸件的外形、内腔、壁厚及壁的连接形式等。

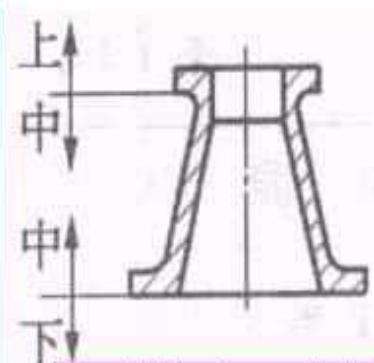
结构工艺性指铸件结构满足工艺及合理性要求。

第一章 铸造工艺

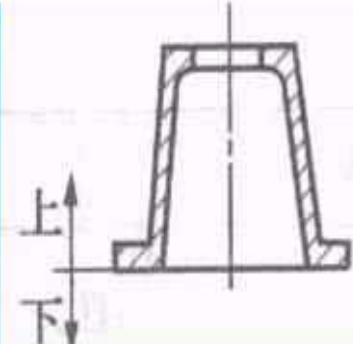
1.4.1 铸造工艺对铸件结构的要求

1. 铸件的外形应便于取出模型

(1) 避免外侧凹—铸件有侧凹，必将增加分型面的数目，使铸件容易产生气孔，影响铸件的外形和尺寸精度。



支腿铸件，由于上部设计了外凸缘，使铸件具有两个分型面，必须采用三箱造型，使造型工艺复杂，



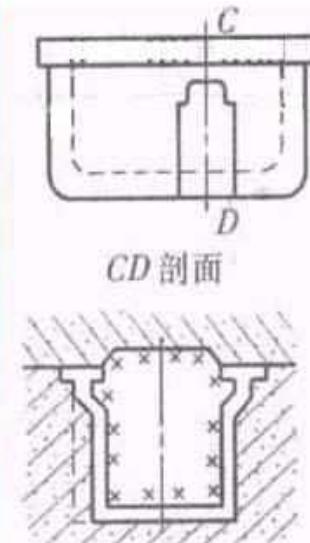
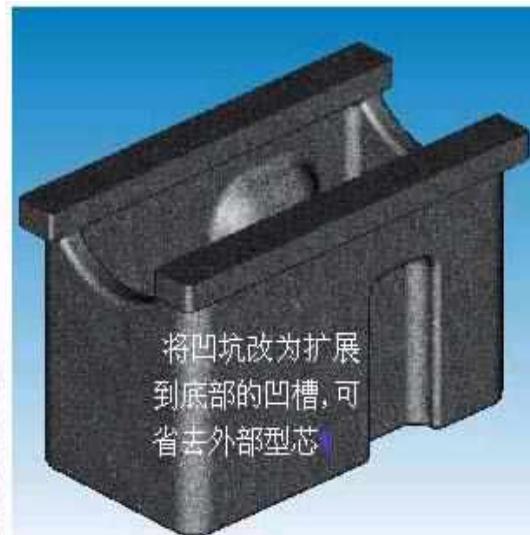
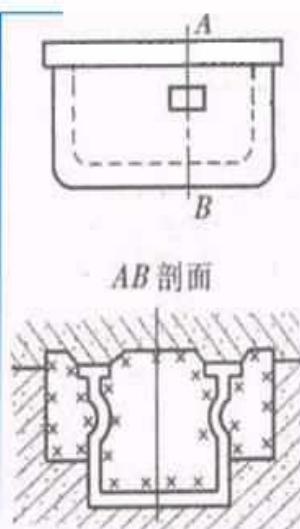
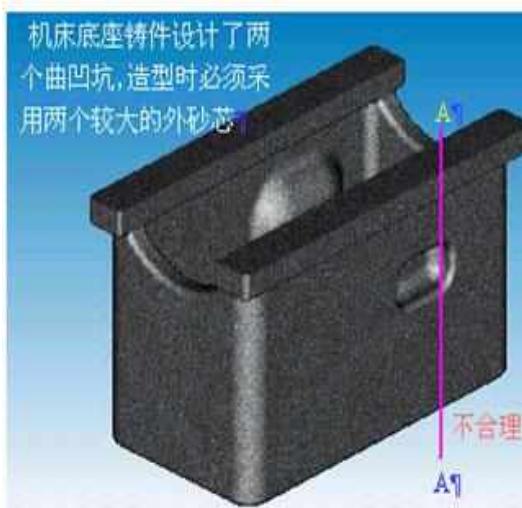
改为内凸线后，减少了一个分型面，采用整模两箱造型，造型工艺简单，铸件精度高。

第一章 铸造工艺

1.4.1 铸造工艺对铸件结构的要求

1. 铸件的外形应便于取出模型

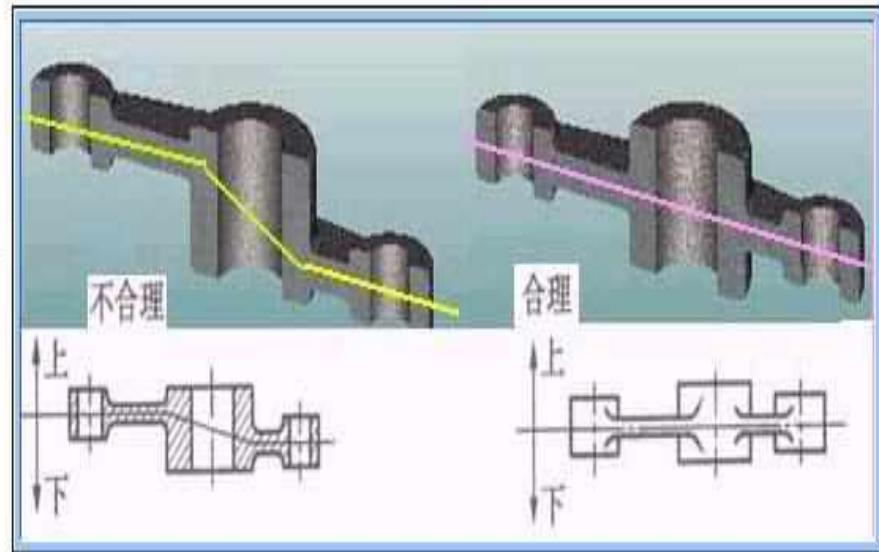
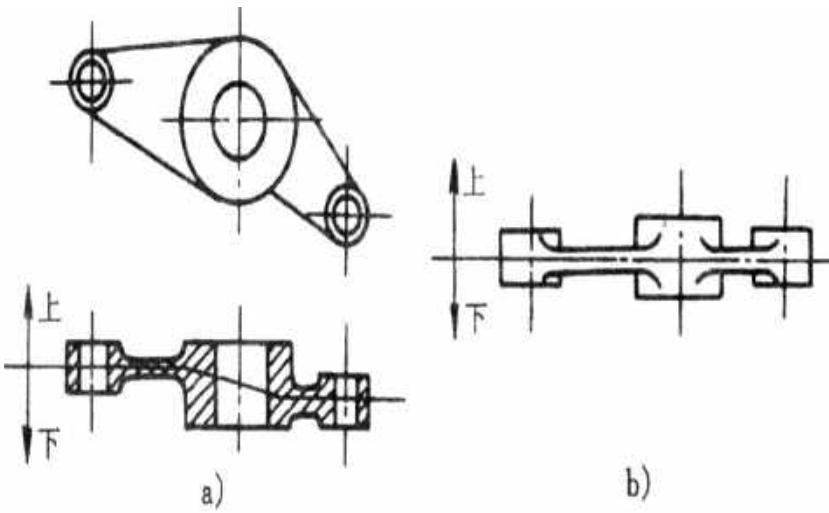
(1) 铸件的外形应便于取出模型。铸件有侧凹，必将增加分型数，使铸件容易产生气孔，影响铸件的外形和尺寸精度。



1.4.1 铸造工艺对铸件结构的要求

1. 铸件的外形应便于取出模型

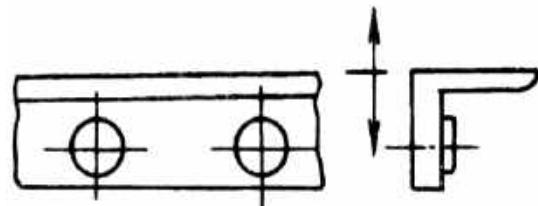
(2) 分型面尽可能平直-可免操作时的挖砂工作，在机器造型时，分型面平直可方便模板的制作。



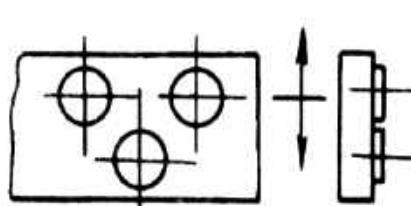
1.4.1 铸造工艺对铸件结构的要求

1. 铸件的外形应便于取出模型

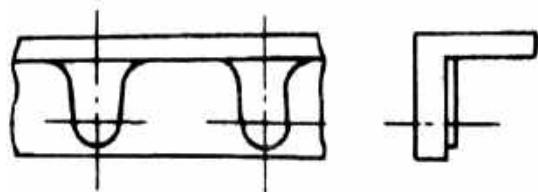
(3) 凸台、板的侧壁的凸台、板时，考虑到模方便，尽可能避免使用活块和型口。



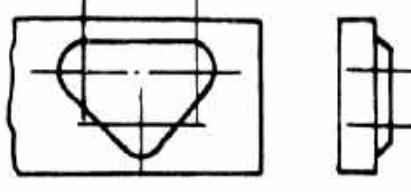
a)



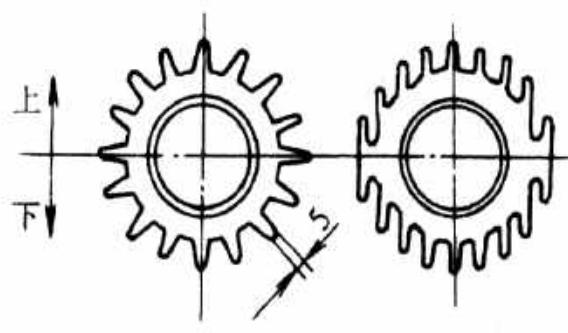
c)



b)



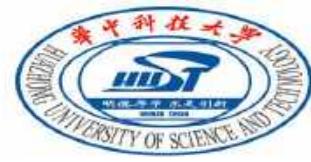
d)



a)



b)



机械制造工艺基础

主讲人：余圣甫

材料科学与工程学院

联系电话：13971277482

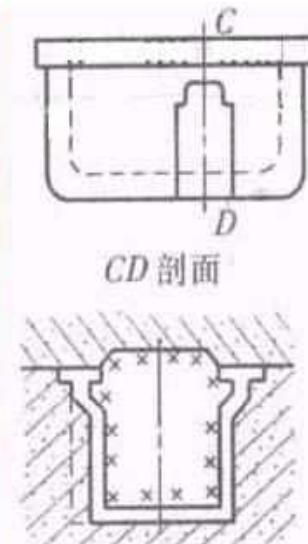
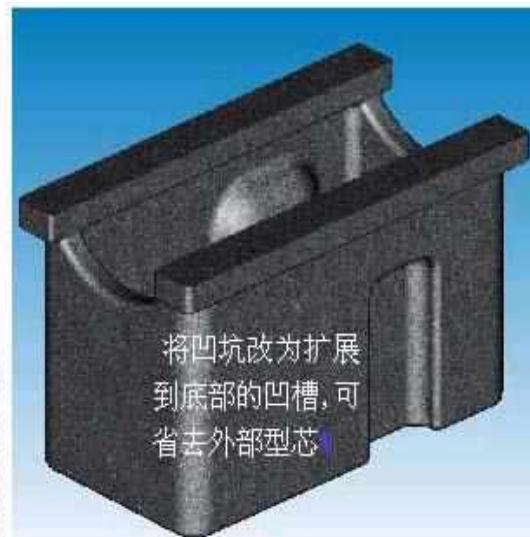
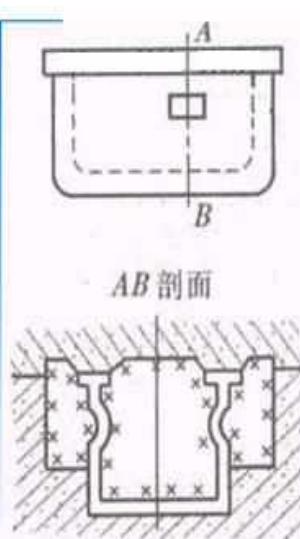
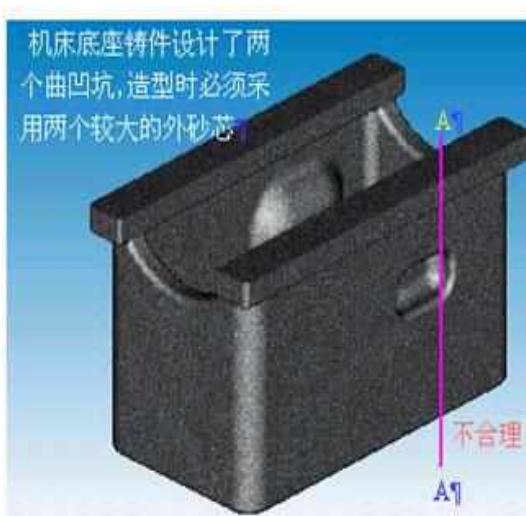
2020年4月12日

第一章 铸造工艺

1.4.1 铸造工艺对铸件结构的要求

1. 铸件的外形应便于取出模型

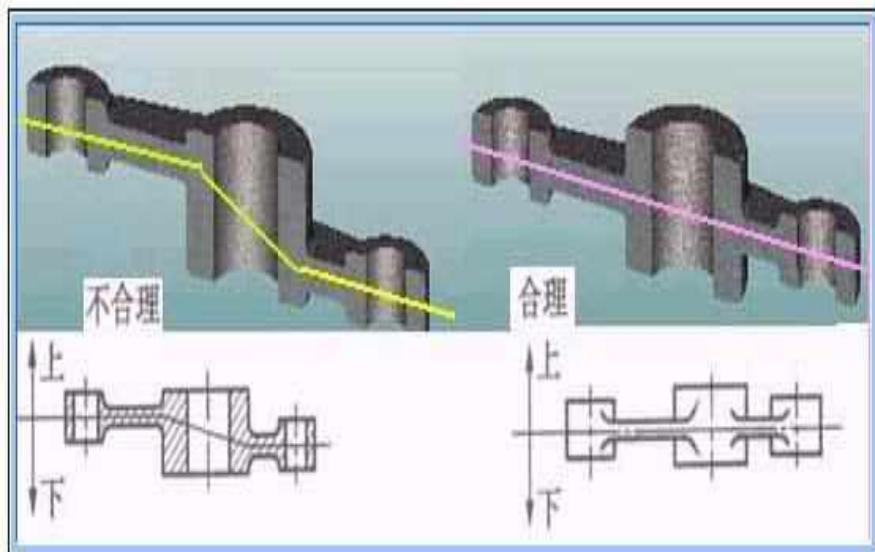
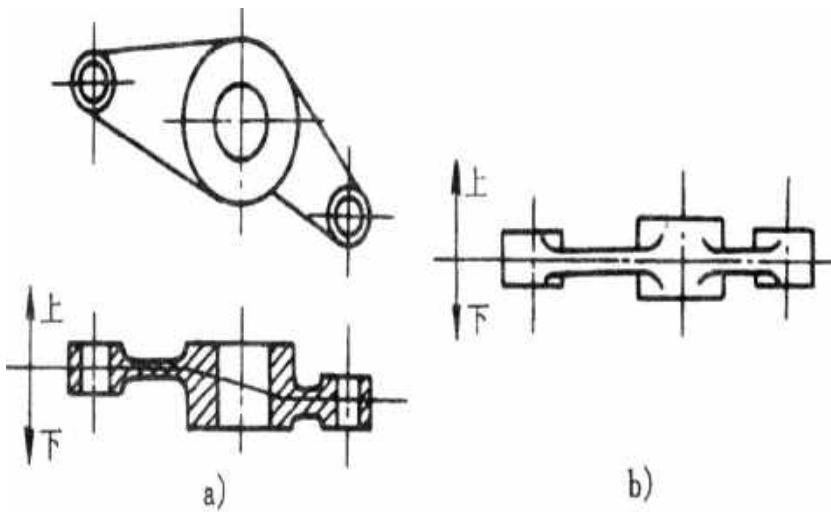
(1) 避免外部侧凹—铸件有侧凹，必将增加分型面的数量，使铸件容易产生错型，影响铸件的外形和尺寸精度。



1.4.1 铸造工艺对铸件结构的要求

1. 铸件的外形应便于取出模型

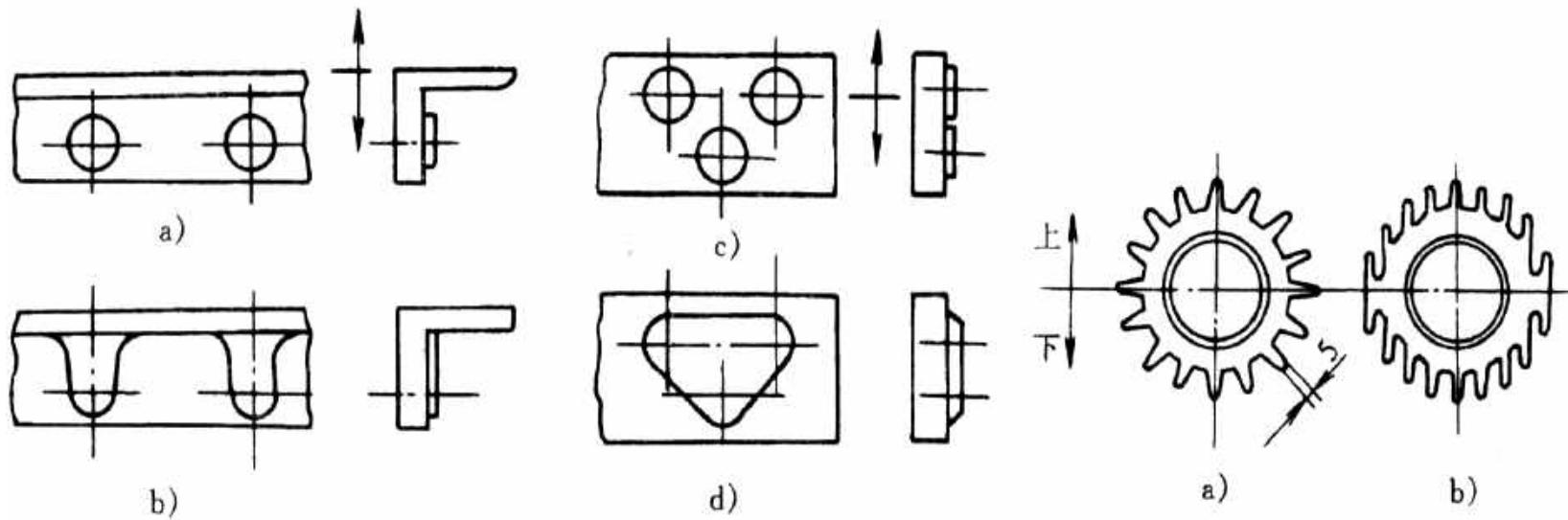
(2) 分型面尽量平直-可避免操作费时的挖砂造型，在机器造型时，分型面平直可方便模板的制造。



1.4.1 铸造工艺对铸件结构的要求

1. 铸件的外形应便于取出模型

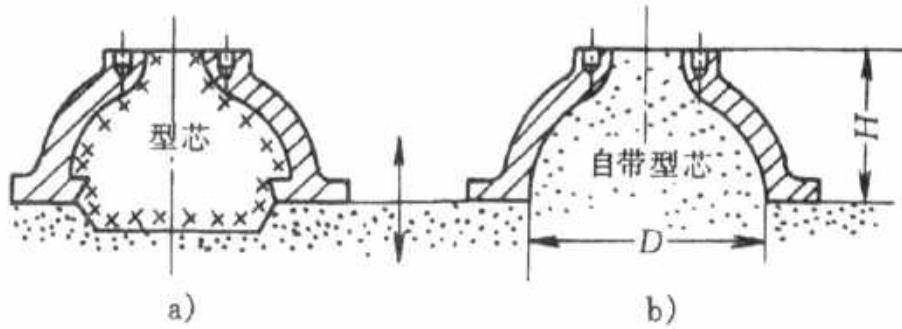
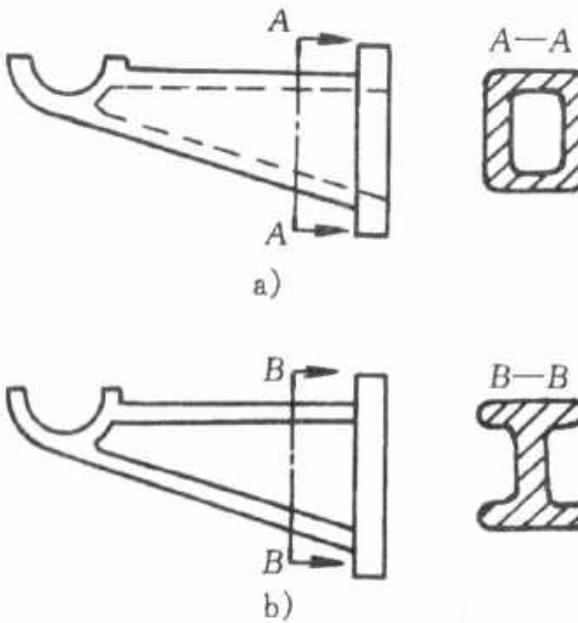
(3) 凸台、肋板的设计-设计侧壁的凸台、肋板时，要考虑到起模方便，尽量避免使用活块和型芯。



1.4.1 铸造工艺对铸件结构的要求

2. 合理设计铸件的内腔

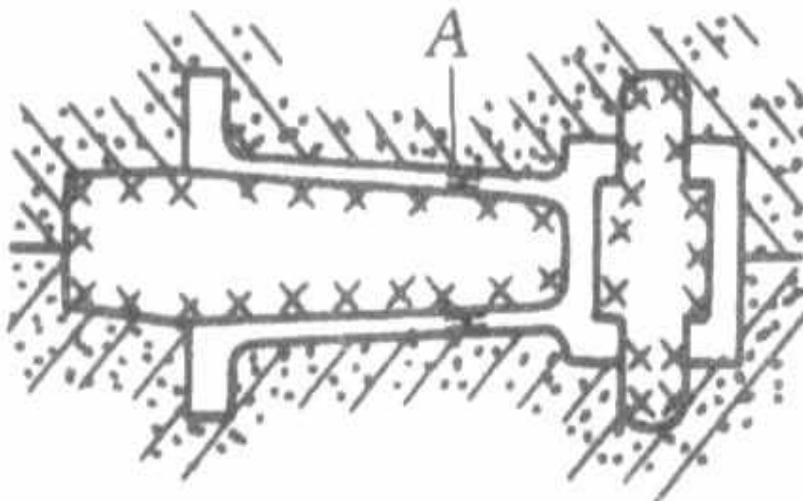
(1) 尽量避免或减少型芯



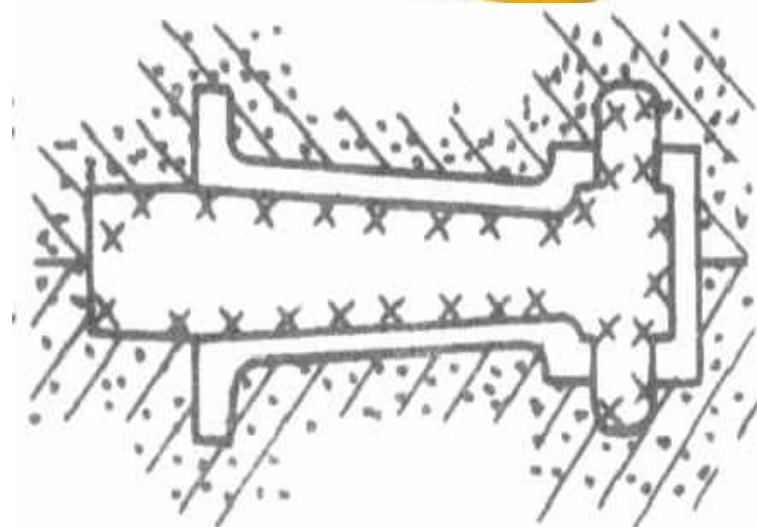
1.4.1 铸造工艺对铸件结构的要求

2. 合理设计铸件的内腔

(2) 型芯要便于固定、排气与清理



a)



b)

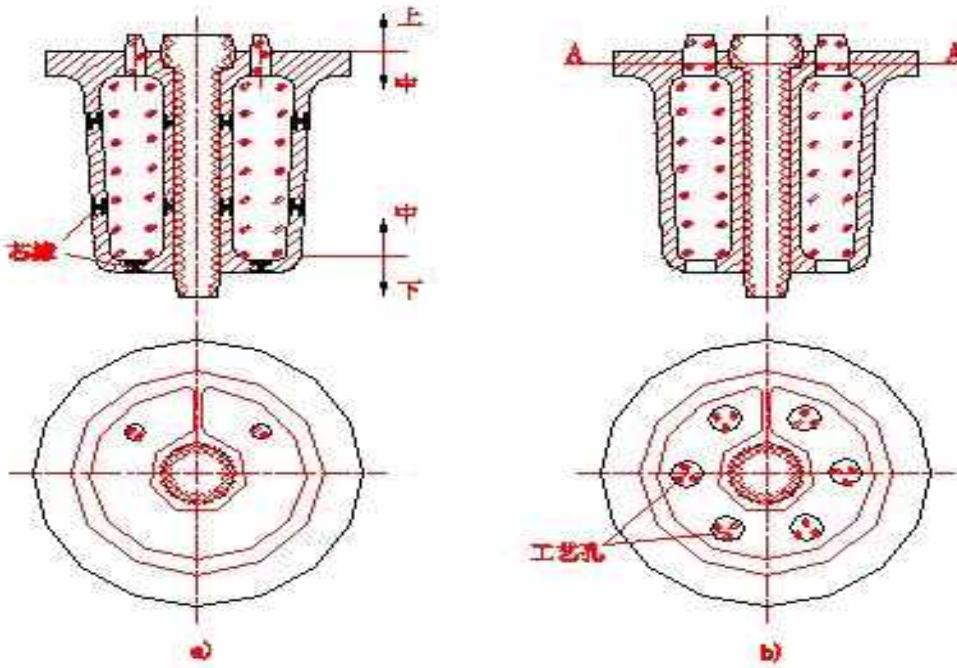


第一章 铸造工艺

1.4.1 铸造工艺对铸件结构的要求

2. 合理设计铸件的内腔

(2) 型芯要便于固定、排气与清理



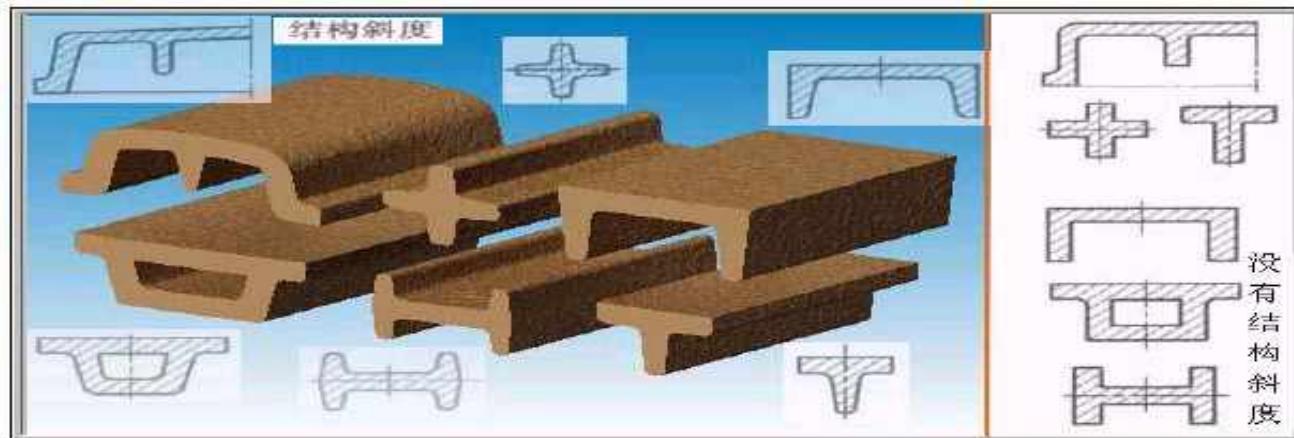
第一章 铸造工艺

1.4.1 铸造工艺对铸件结构的要求

3. 铸件要有结构斜度

垂直于分型面的不加工表面，应设计出结构斜度。

铸件的结构斜度与起模斜度不容混淆。结构斜度是在零件的非加工面上设置的，直接标注在零件图上，且斜度值较大。起模斜度是在零件的加工面上放出的，在绘制铸造工艺图或模样图时使用。

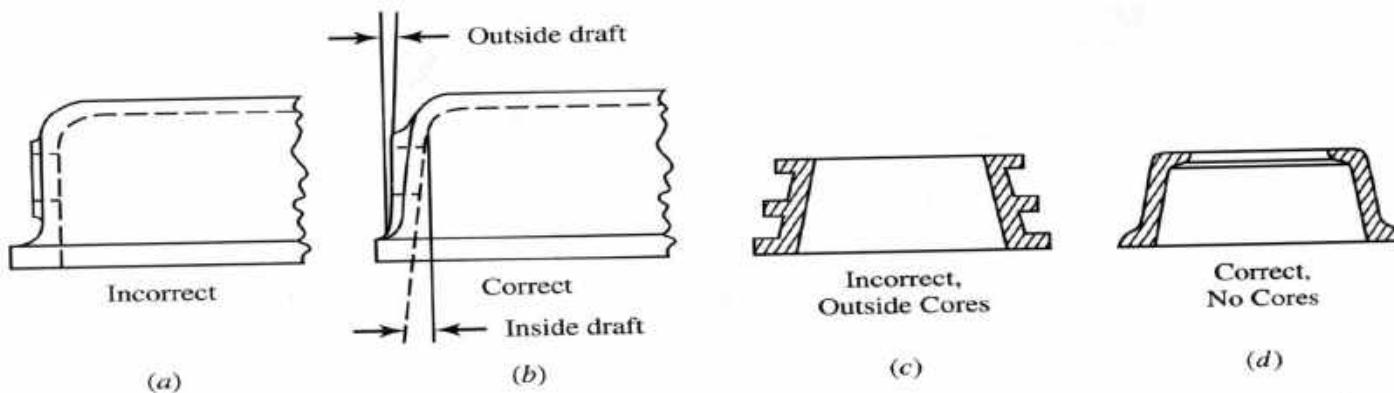


1.4.1 铸造工艺对铸件结构的要求

3. 铸件要有结构斜度

垂直于分型面的不加工表面，应设计出结构斜度。

铸件的结构斜度与起模斜度不容混淆。结构斜度是在零件的非加工面上设置的，直接标注在零件图上，且斜度值较大。起模斜度是在零件的加工面上放出的，在绘制铸造工艺图或模样图时使用。





第一章 铸造工艺

1.4.2 合金铸造性能对铸件结构的要求

铸件的结构设计应考虑到合金的铸造性能的要求

1. 合理设计铸件壁厚

不同合金、不同铸造条件，对合金流动性影响很大。

为了获得完整、光滑的合格铸件，铸件壁厚设计应大于该合金在一定铸造条件下所能得到的“最小壁

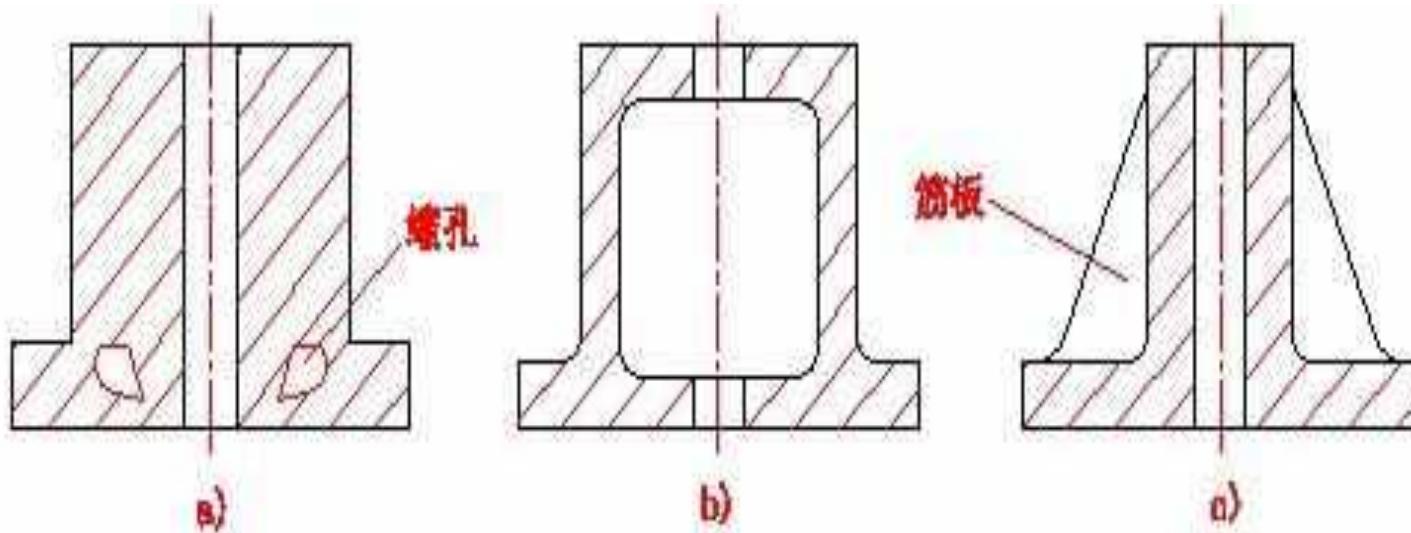
铸造方法	铸件尺寸/mm	合金种类					
		铸钢	灰铸铁	球墨铸铁	可锻铸铁	铝合金	铜合金
砂型铸造	<200×200	8	5~6	6	5	3	3~5
	200×200~500×500	10~12	6~10	12	8	4	6~8
	>500×500	15~20	15~20	15~20	10~12	6	10~12

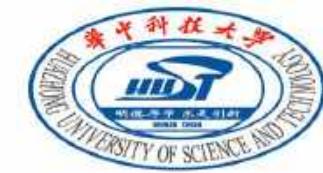
1.4.2 合金铸造性能对铸件结构的要求

铸件的结构设计应考虑到合金的铸造性能的要求

1. 合理设计铸件壁厚

为了保证铸件承载能力，强度和刚度要求较高的铸件，根据载荷性质和大小，选择合理截面形状。可在薄弱部位设置加强肋板，避免厚大截面。





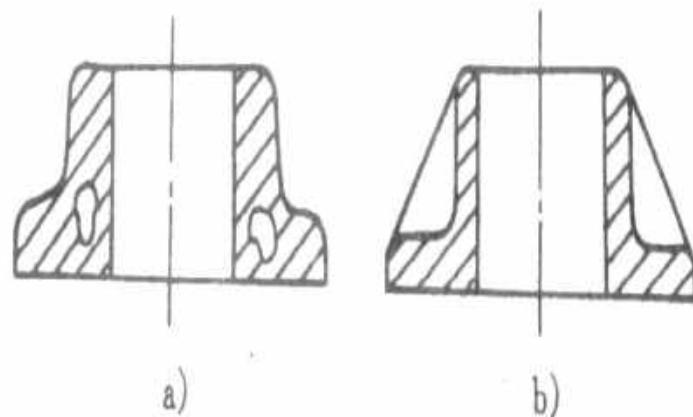
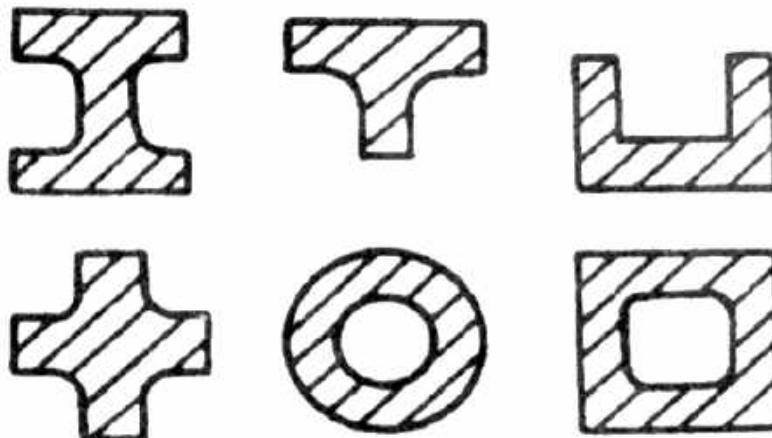
第一章 铸造工艺

1.4.2 合金铸造性能对铸件结构的要求

铸件的结构设计应考虑到合金的铸造性能的要求

1. 合理设计铸件壁厚

为了保证铸件承载能力，强度和刚度要求较高的铸件，根据载荷性质和大小，选择合理截面形状。可在薄弱部位设置加强肋板，避免厚大截面。

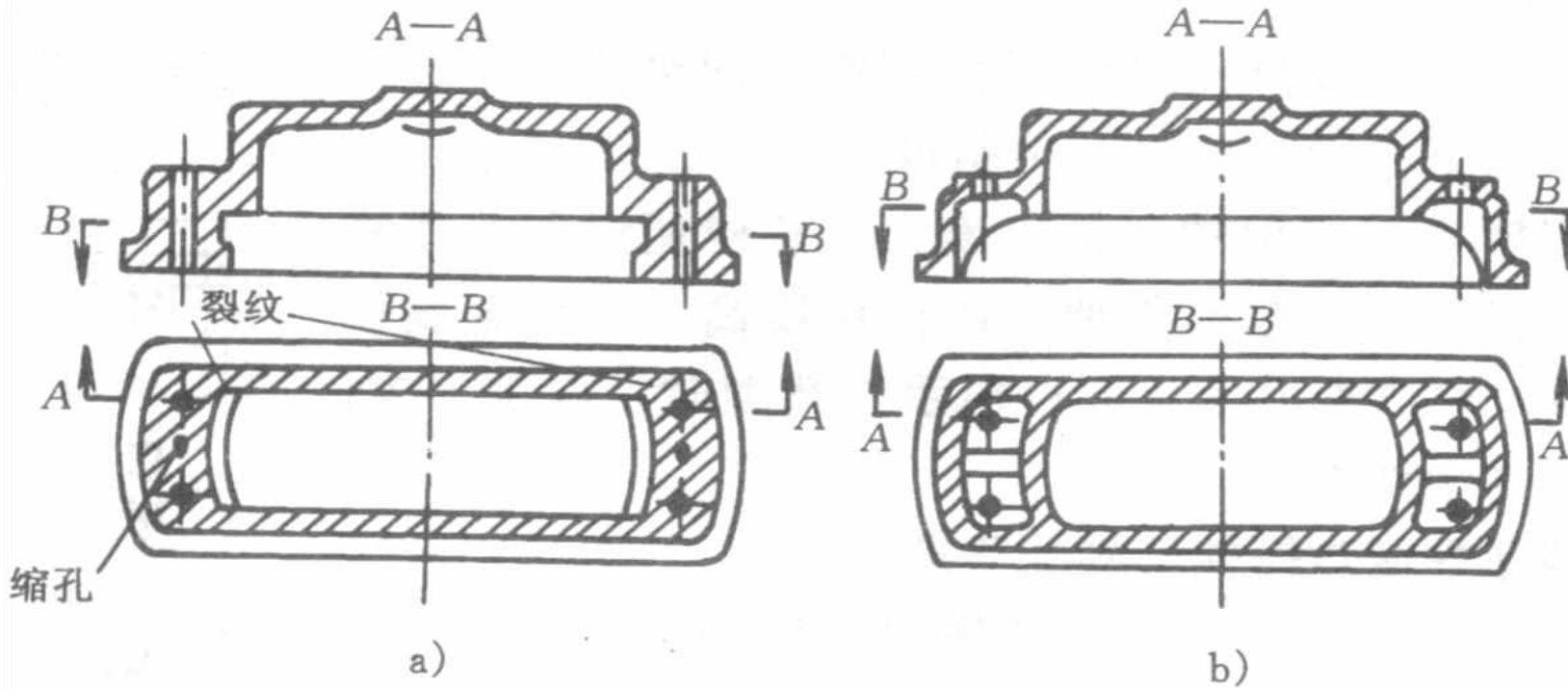


1.4.2 合金铸造性能对铸件结构的要求

铸件的结构设计应考虑到合金的铸造性能的要求

2. 铸件壁厚应尽可能均匀

壁厚均匀可避免铸造缺陷



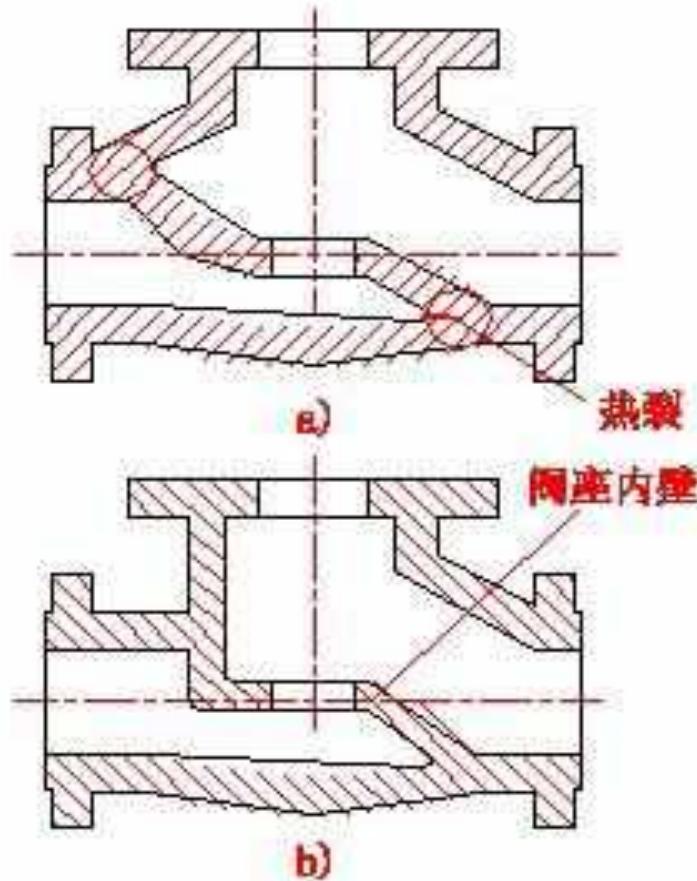
第一章 铸造工艺

1.4.2 合金铸造性能对铸件结构的要求

铸件的结构设计应考虑到合金的铸造性能的要求

2. 铸件壁厚应尽可能均匀

壁厚均匀可避免铸造缺陷

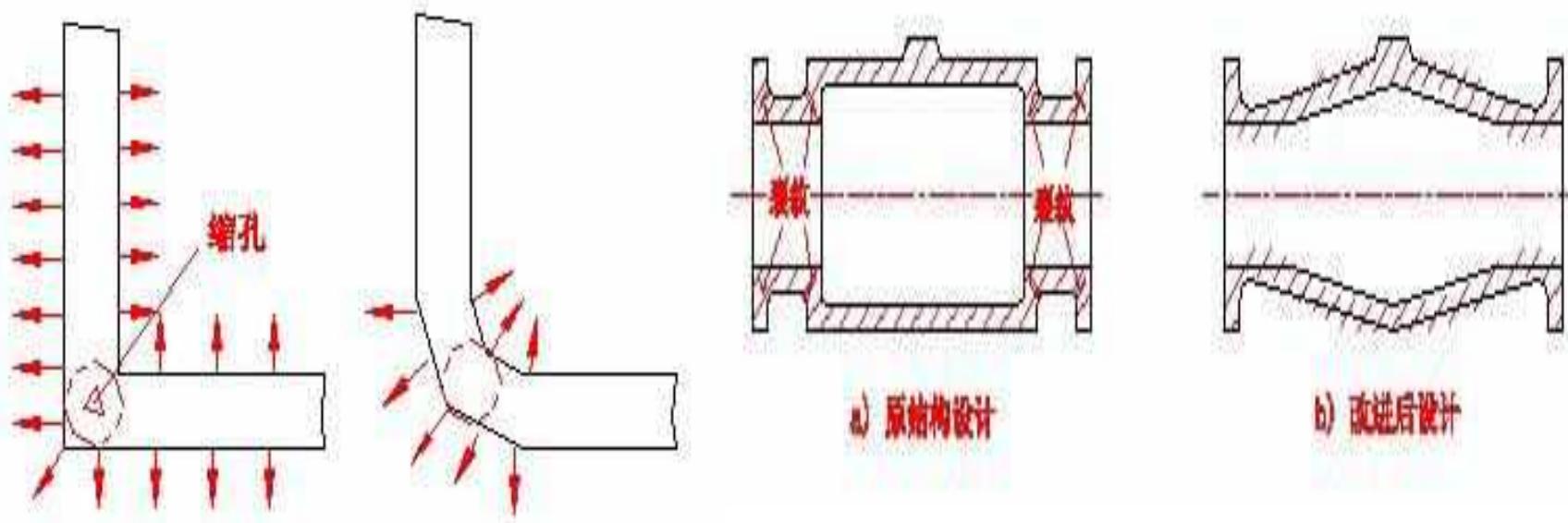


1.4.2 合金铸造性能对铸件结构的要求

铸件的结构设计应考虑到合金的铸造性能的要求

3. 铸件壁的连接方式要合理

采用圆弧连接、圆滑过渡

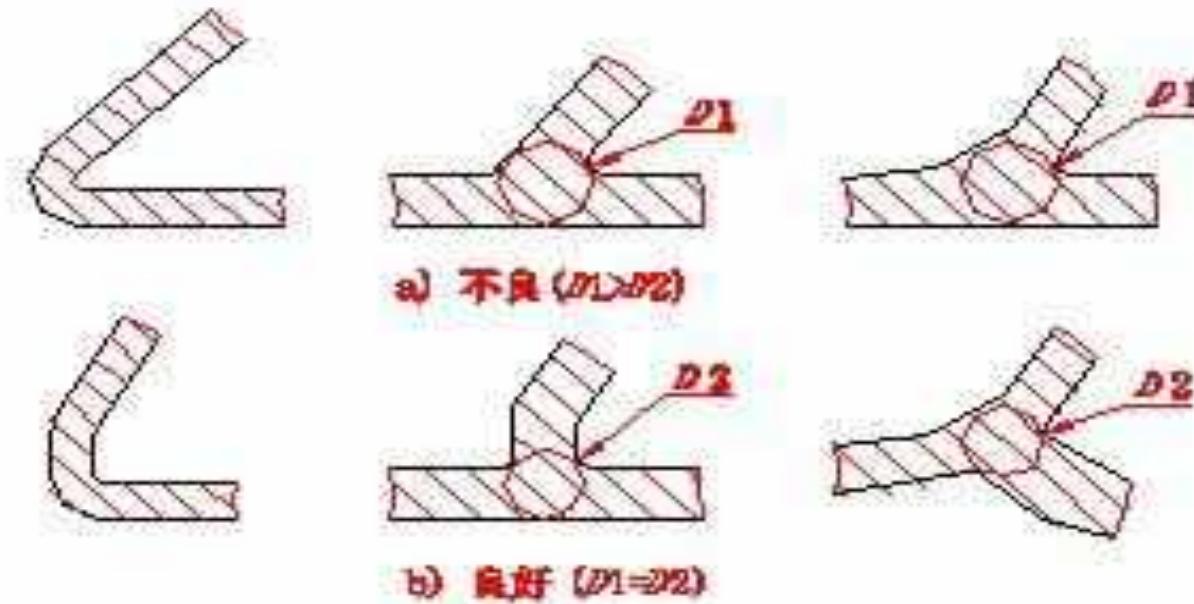


1.4.2 合金铸造性能对铸件结构的要求

铸件的结构设计应考虑到合金的铸造性能的要求

3. 铸件壁的连接方式要合理

避免锐角连接

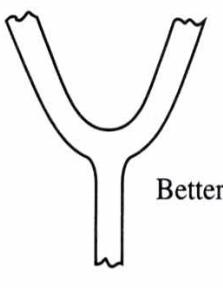
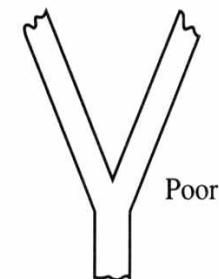
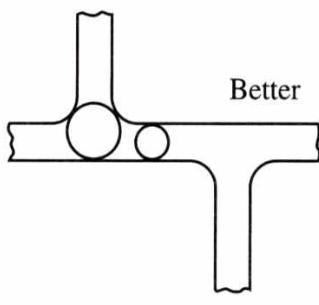
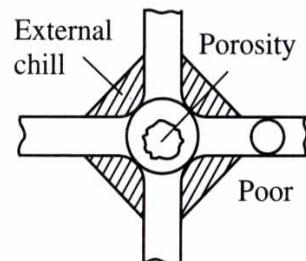
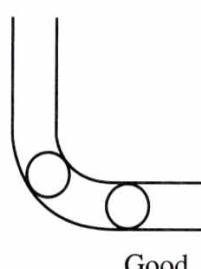
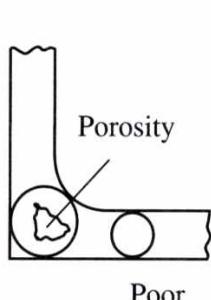


1.4.2 合金铸造性能对铸件结构的要求

铸件的结构设计应考虑到合金的铸造性能的要求

3. 铸件壁的连接方式要合理

避免锐角连接

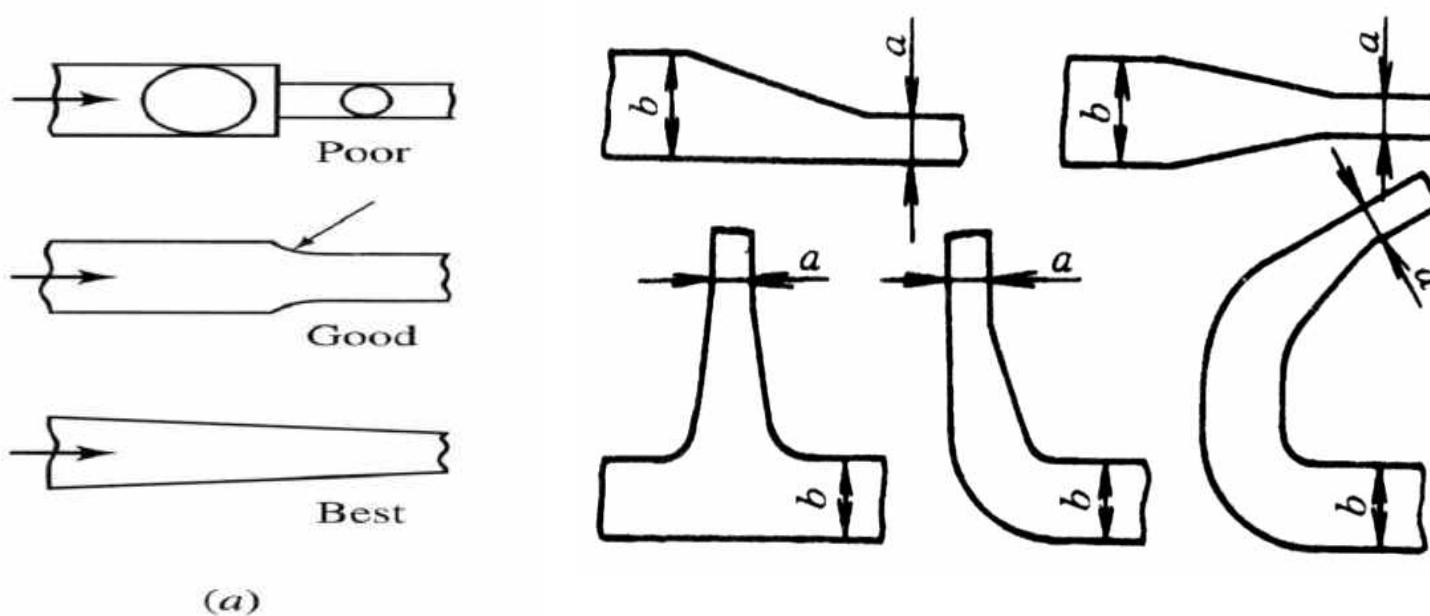


1.4.2 合金铸造性能对铸件结构的要求

铸件的结构设计应考虑到合金的铸造性能的要求

3. 铸件壁的连接方式要合理

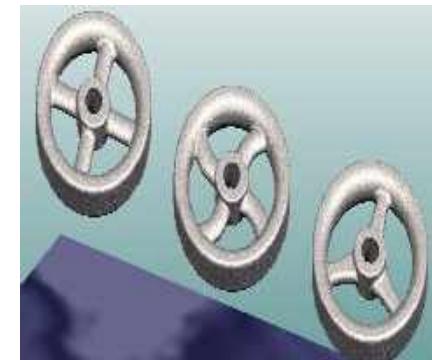
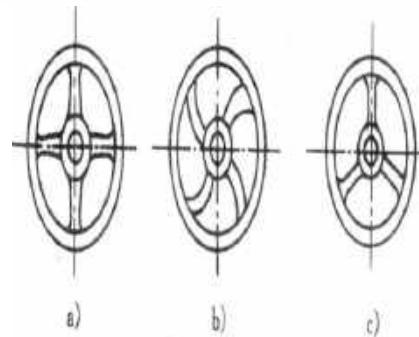
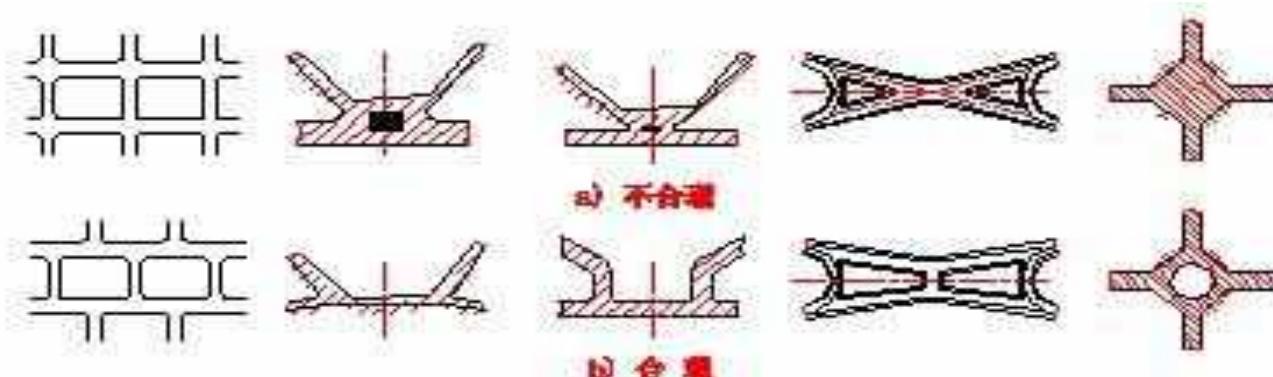
厚壁与薄壁要圆滑过渡



1.4.2 合金铸造性能对铸件结构的要求

铸件的结构设计应考虑到合金的铸造性能的要求

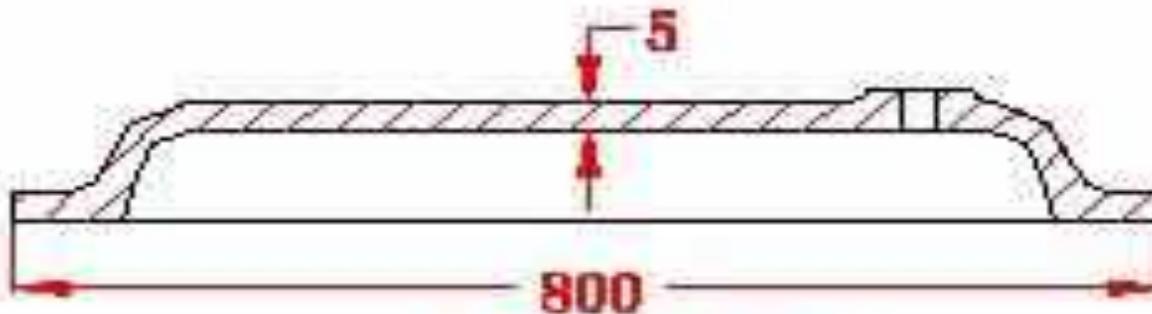
4. 避免铸件收缩受到阻碍



1.4.2 合金铸造性能对铸件结构的要求

铸件的结构设计应考虑到合金的铸造性能的要求

5. 避免大的水平面



a) 薄壁水平面



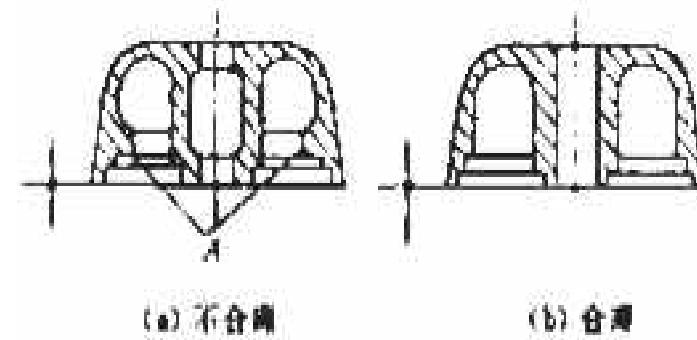
b) 薄壁倾斜面

1.4.3 不同的铸造方法对铸件结构的要求

不同的铸造方法对铸件结构有不同的要求

1. 熔模铸件

- (1) 便于压型中抽出金属型芯
- (2) 孔、槽不应过小、过深。
- (3) 尽量避免大平面
- (4) 熔模铸造工艺上一般不用冷铁，少用冒口，多用直浇口直接补缩，故要求铸件壁厚均匀，或使壁厚分布满足顺序凝固要求，不要有分散的热节。

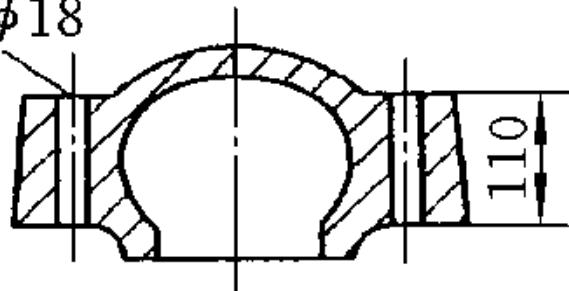


1.4.3 不同的铸造方法对铸件结构的要求

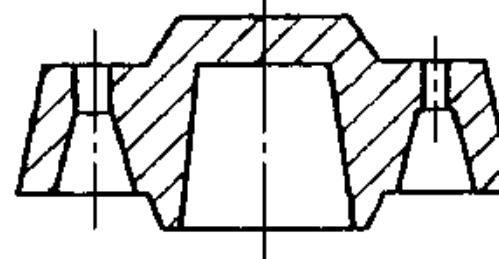
2. 金属型铸件

- 1) 结构斜度应较砂型为大。铸件壁厚差别不能太大，也不能过薄，如铝硅合金铸件的最小壁厚为2~4mm，铝镁合金为3~5mm。
- 2) 铸孔的孔径不能过小、过深。通常铝合金的最小铸出孔为8~10mm，镁合金和锌合金均为6~8mm

$2 \times \phi 18$



(a)

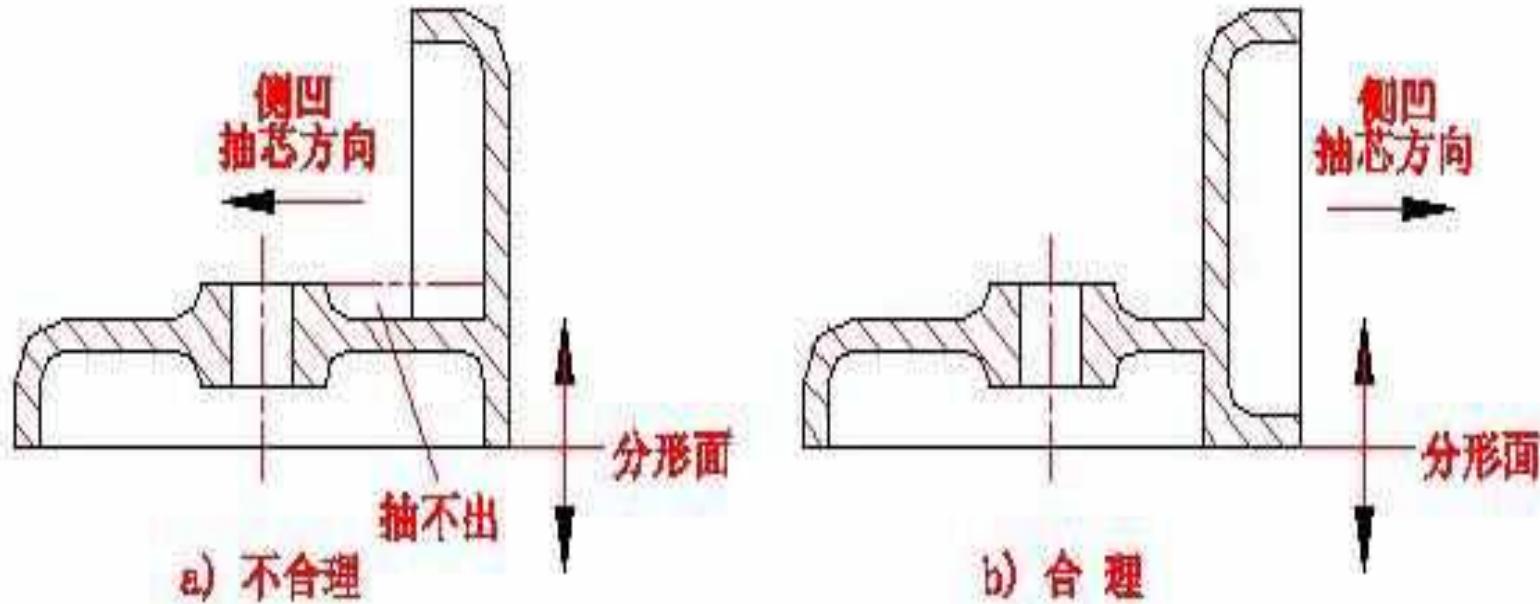


(b)

1.4.3 不同的铸造方法对铸件结构的要求

3. 压铸件

1) 尽量避免侧凹、深腔，使其能顺利地从压型中取出



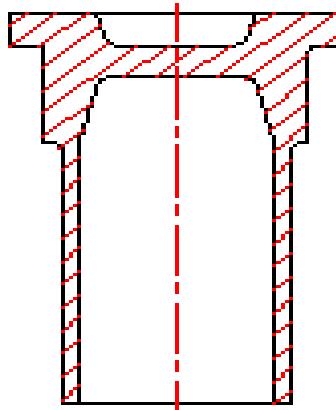
1.4.3 不同的铸造方法对铸件结构的要求

3. 压铸件

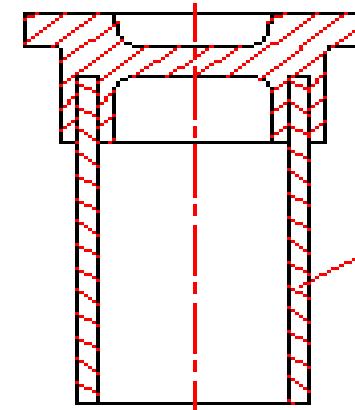
(2) **壁厚要合理。** 保证铸件有足够的强度和刚度的前提下，压铸件应尽可能采用薄壁，壁厚要均匀，以减少气孔、缩孔等铸造缺陷。

(3) 注意嵌件的连接

为使压铸件中的嵌件牢固，压铸前应在与嵌件连接的铸件表面预制出凹槽、凸台或滚花，再进行压铸。



a) 整体件



b) 镶嵌件

深腔件的改进



1.5 铸造金属材料的特性

1.5.1 铸铁及铸铁件生产

一、铸铁及其熔炼：

铸铁通常是指含C 2.5%~4.0% 、Si 1.0%~2.5% 接近共晶成分的铁碳合金。它具有良好的铸造性能，又易于切削加工，最适宜制造形状复杂的铸件。是工业中应用较广的材料，铸铁约占机器重量的50%以上。

白口铸铁： Fe_3C ，硬脆，难加工，应用很少。

麻口铸铁：

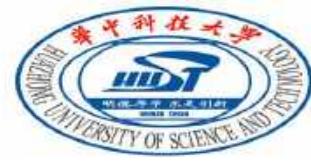
灰口铸铁：石墨

普通灰口铸铁：片状

可锻铸铁：团絮状

球墨铸铁：球状

蠕墨铸铁：蠕虫状



机械制造工艺基础

主讲人：余圣甫

材料科学与工程学院

联系电话：13971277482

2020年4月12日

2.1 热塑性加工基础

利用金属在外力作用下所产生的塑性变形，来获得具有一定形状、尺寸和机械性能的原材料、毛坯或零件的生产方法，称为金属塑性成型（也称为压力加工）。金属塑性成型中作用在金属坯料上的外力主要有两种：冲击力和压力。



第二章 滚压工艺

2.1 热塑性加工基础

轧制, 挤压, 拉拔, 自由锻, 模锻, 板料冲压

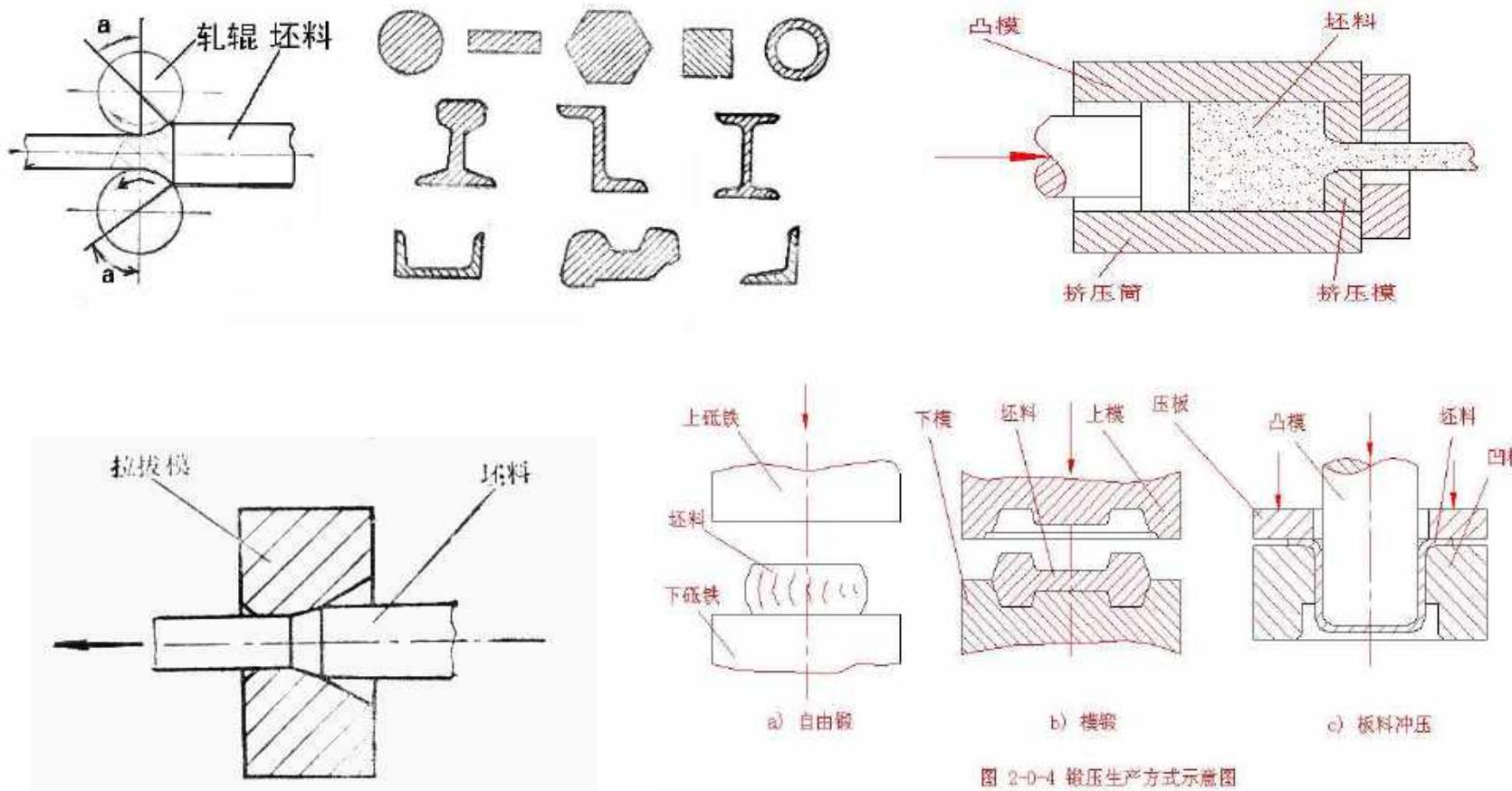
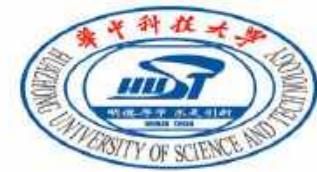


图 2-0-4 锻压生产方式示意图



第二章 段压工艺

2.1 热塑性加工基础

轧制，挤压，拉拔，自由锻，模锻，板料冲压

轧制、挤压、拉拔：主要用于金属型材、板材、钢材和线材等原材料。

锻造：用于承受重载荷的机器零件，如机器的主轴、重要齿轮、连杆、炮管和枪管等。

板料冲压：广泛用于汽车制造、电器、仪表及日用品工业等方面。

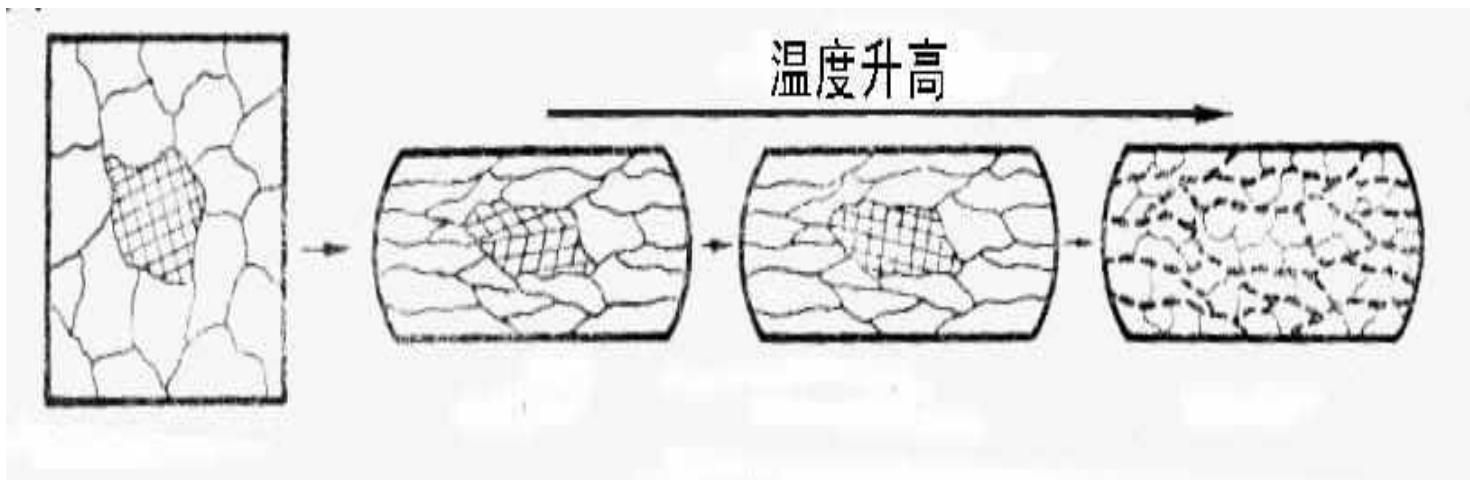
第二章 段压工艺

2.1 热塑性加工基础

2.1.1 加工硬化、回复和再结晶

(1) 塑性变形后金属组织的变化

- 1) 晶粒沿变形最大的方向被拉长，
- 2) 晶格与晶粒发生扭曲，产生内应力，
- 3) 晶粒间产生碎晶。



2.1 热塑性加工基础

2.1.1 加工硬化、回复和再结晶

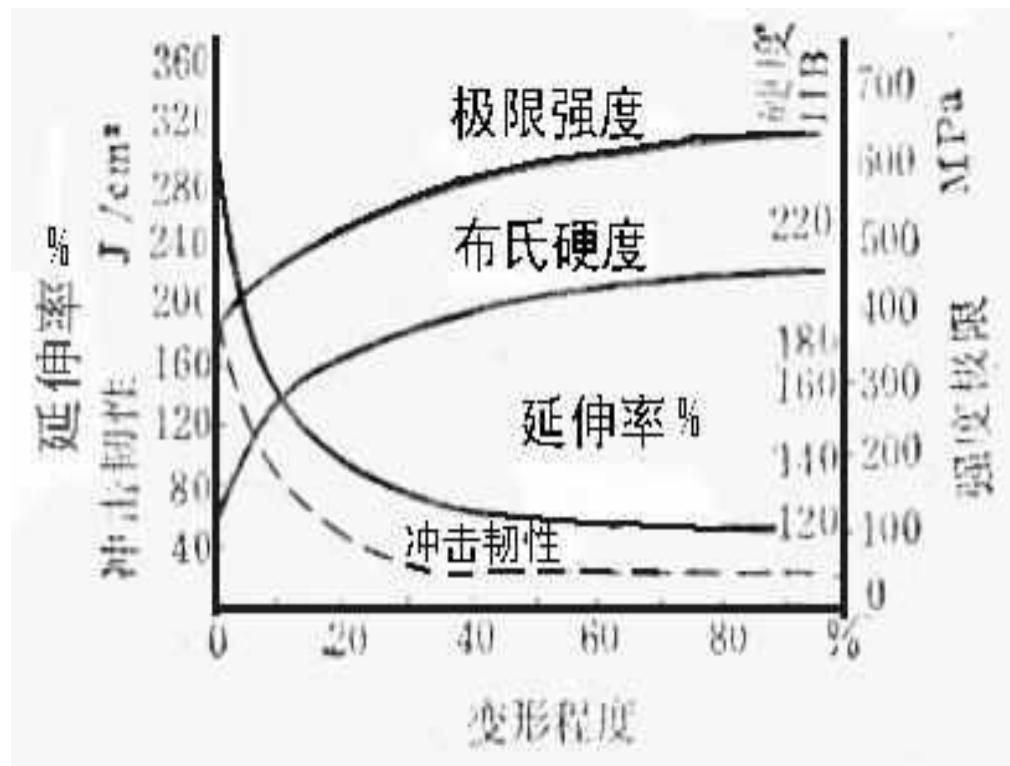
(2) 塑性变形后

金属的机械性能：

强度和硬度升高，

塑性和韧性下降，

产生加工硬化。

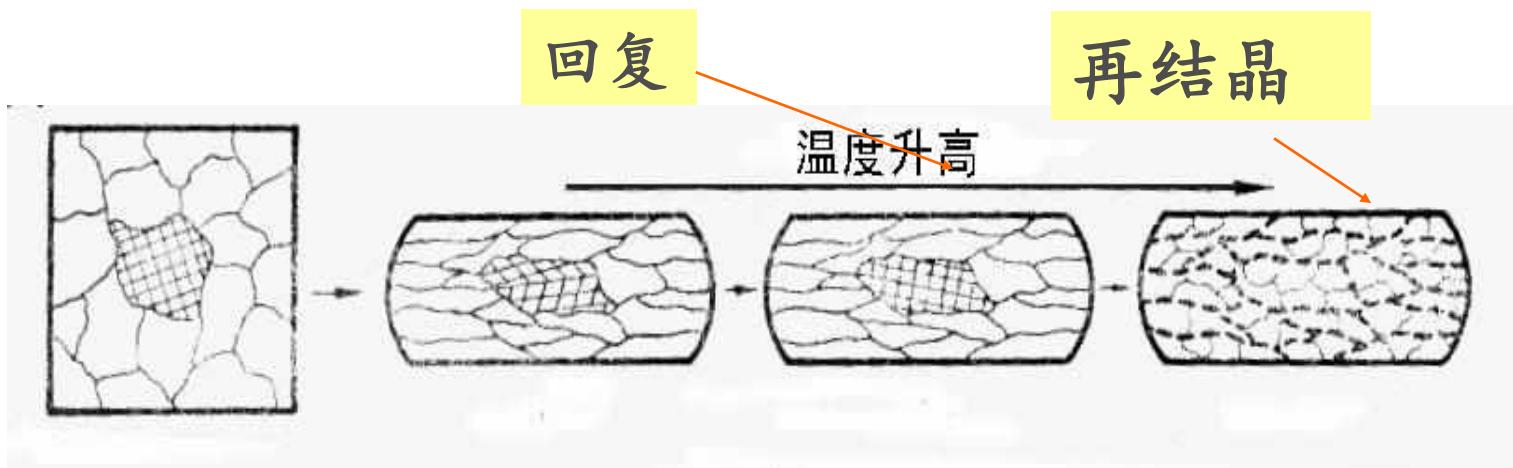


第二章 段压工艺

2.1 热塑性加工基础

2.1.1 加工硬化、回复和再结晶

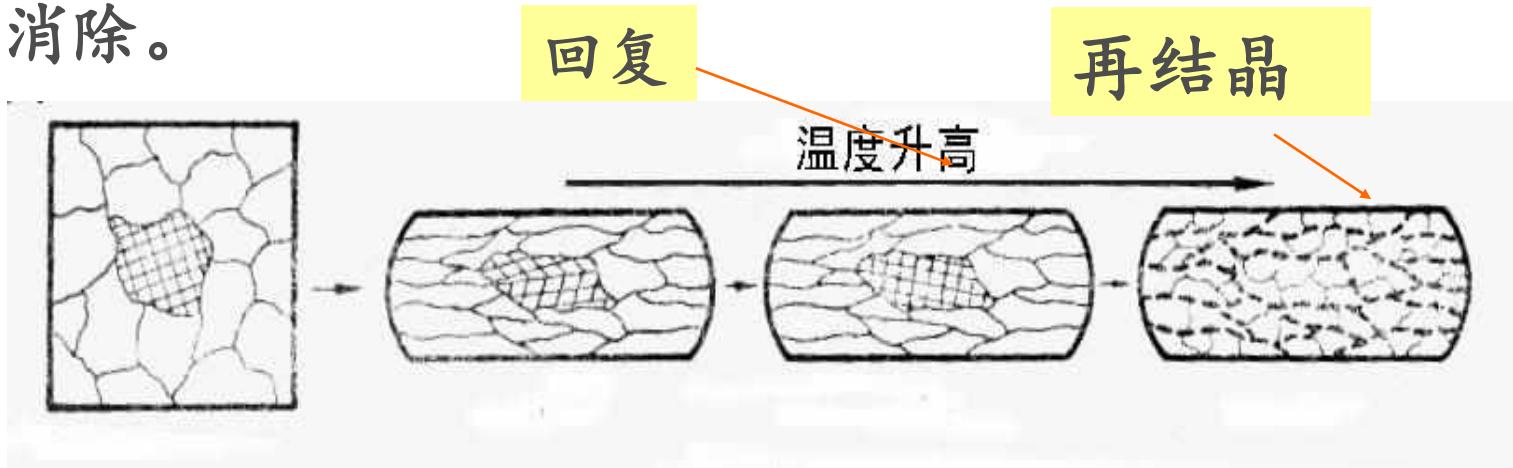
2) 回复: 提高温度, 原子获得热能, 热运动加剧, 使原子得以回复正常排列, 消除晶格扭曲, 但纤维组织并没有变化, 可使加工硬化得到部分消除。这一过程称为回复。 $T_{\text{再}} = (0.25-0.3) T_{\text{熔}}$

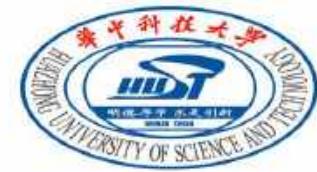


2.1 热塑性加工基础

2.1.1 加工硬化、回复和再结晶

3) 再结晶: 继续升温, 原子获得足够能量, 并以某些碎晶或杂质为核心结晶成新的晶粒, 加工硬化完全消除。 $T_{再} = 0.4T_{熔}$, 经再结晶后, 变形金属又重新获得塑性。高温下变形金属经历了加工硬化, 但很快被再结晶所消除。





第二章 段压工艺

2.1 热塑性加工基础

2.1.2 冷变形与热变形

(1) 冷变形：变形温度小于再结晶温度，有加工硬化现象产生。

冷变形优点：产品具有较高的硬度和低的粗糙度，表面质量好、尺寸精度高、机械性能好，一般不再切削加工。

冷变形缺点：变形时需要很大的变形力，而且变形程度小，易降低模具寿命或使工件破裂。



第二章 段压工艺

2.1 热塑性加工基础

2.1.2 冷变形与热变形

(2) 热变形：变形温度大于再结晶温度，有再结晶现象产生。热变形后的金属可在较小的力下产生较大的变形，变形后的金属具有较高的机械性能。

热变形优点：金属能以较小的功达到较大的变形，加工尺寸较大和形状比较复杂的工件，同时获得具有高机械性能的再结晶组织。

热变形缺点：金属表面容易形成氧化皮，而且产品尺寸精度和表面质量较低，劳动条件和生产率也较差。

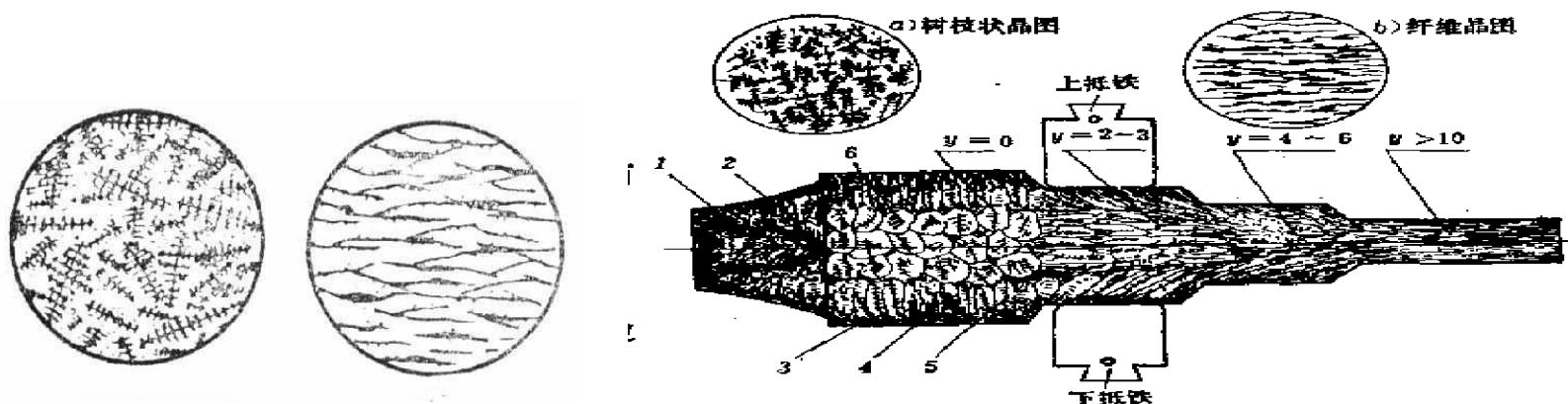
第二章 段压工艺

2.1 热塑性加工基础

2.1.3 锻造比与流线

将铸锭加热进行压力加工后，由于金属经过塑性变形及再结晶，从而改变了粗大的铸造组织，获得细化的再结晶组织。

同时还可以将铸锭中的气孔、缩松等结合在一起，使金属更加致密，其机械性能会有很大提高。



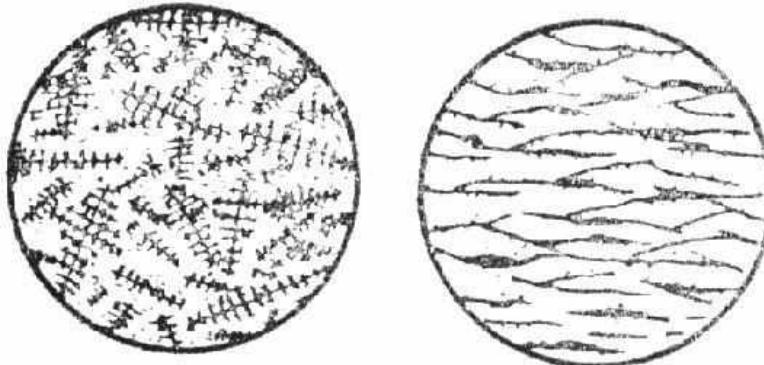
第二章 段压工艺

2.1 热塑性加工基础

2.1.3 锻造比与流线

将铸锭加热进行压力加工后，由于金属经过塑性变形及再结晶，从而改变了粗大的铸造组织，获得细化的再结晶组织。

同时还可以将铸锭中的气孔、缩松等结合在一起，使金属更加致密，其机械性能会有很大提高。

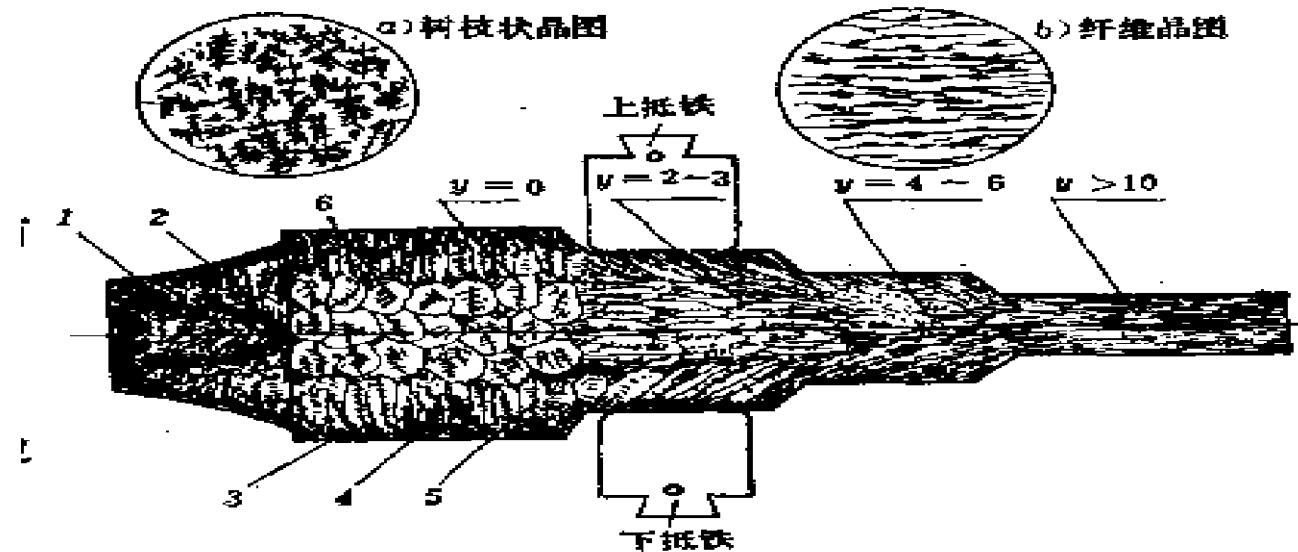


第二章 段压工艺

2.1 热塑性加工基础

2.1.3 锻造比与流线

金属变形时，晶粒沿变形方向伸长，塑性夹杂物也随着变形一起被拉长，脆性夹杂物被打碎呈链状分布，晶粒通过再结晶过程后得到细化，而夹杂物却依然呈条状和链状被保留下，形成了流线组织。





第二章 段压工艺

2.1 热塑性加工基础

2.1.3 锻造比与流线

压力加工过程中，常用锻造比 Y 来表示变形程度，一般用锻造过程中典型工序的变形程度来表示，其计算公式与变形方式。有关拔长时的锻造比为：

$$Y_{拔} = F_0 / F$$

镦粗时的锻造比为： $Y_{镦} = H_0 / H$

流线组织的化学稳定性强，热处理是不能消除的，不同方向上的锻压才能改变流线组织的分布状况。

使流线分布与零件的轮廓相符合而不被切断，使零件所受的最大拉应力与流线方向平行，最大切应力与流线方向垂直。



第二章 段压工艺

2.2 金属的可锻性

可锻性常用金属材料在经受压力加工产生塑性变形的工艺性能来表示。是以金属的塑性和变形抗力来综合评定。

(1) 塑性 指金属材料在外力作用下产生永久变形,而不破坏其完整性的能力。用截面收缩率,延伸率和冲击韧性来表示。

(2) 变形抗力。金属对变形的抵抗力。

金属的可锻性取决于材料的性质(内因)和加工条件(外因)。



第二章 段压工艺

2.2 金属的可锻性

2.2.1 材料性质的影响

(1) 化学成分：成分应靠近纯金属，杂质元素含量尽可能低。合金含量应低，以降低变形抗力。

(2) 组织结构：组织应以单相固溶体为好，组织中应尽量减少脆性相含量，不能有网状脆性相存在。晶粒应细小而均匀。



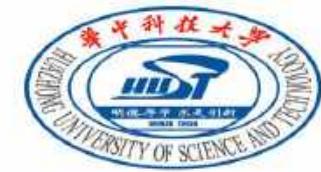
第二章 段压工艺

2.2 金属的可锻性

2.2.1 材料性质的影响

(1) 化学成分：成分应靠近纯金属，杂质元素含量尽可能低。合金含量应低，以降低变形抗力。

(2) 组织结构：组织应以单相固溶体为好，组织中应尽量减少脆性相含量，不能有网状脆性相存在。晶粒应细小而均匀。



第二章 段压工艺

2.2 金属的可锻性

2.2.2 加工条件的影响

(1) 变形温度：随着温度升高，原子动能升高，易于产生滑移变形，提高了金属的可锻性，所以加热是压力加工成形中很重要的变形条件，加热要控制在一定范围内，加热温度过高，则晶粒急剧长大，金属的力学性能降低，称为过热，加热温度更高，接近熔点，晶界氧化破坏了晶粒间的结合，使金属失去塑性，坯料报废。这一现象称为过烧。



第二章 段压工艺

2.2 金属的可锻性

2.2.2 加工条件的影响

(1) 变形温度：金属锻造加热时允许的最高温度称为始锻温度，锻压过程中，金属坯料温度不断降低，当温度降低到一定程度时，塑性变差，变形抗力增大，不能再锻造，否则会引起加工硬化甚至开裂，此时应停止锻造，停止锻造时的温度称为终锻温度，**始锻温度与终锻温度之间的范围称为锻造温度。**

第二章 段压工艺

2.2 金属的可锻性

2.2.2 加工条件的影响

(2) 变形速度：变形速度是指单位时间内的变形程度。对可锻性的影响是矛盾的，随着变形速度的增大，回复和再结晶不能及时克服产生加工硬化现象。金属在变形过程中，消耗于塑性变形的能量有一部分转化为热能 使金属温度升高，称为热效应现象。

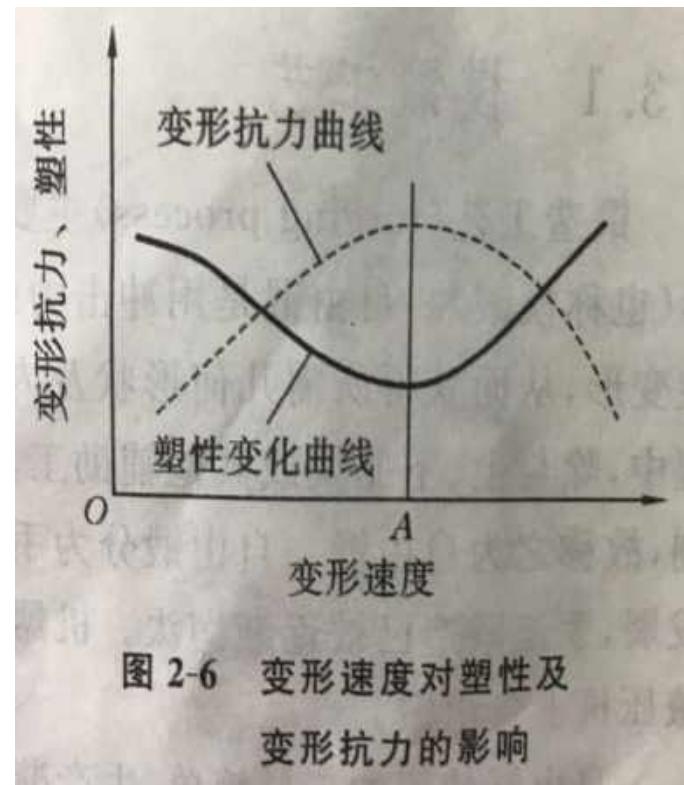


图 2-6 变形速度对塑性及变形抗力的影响

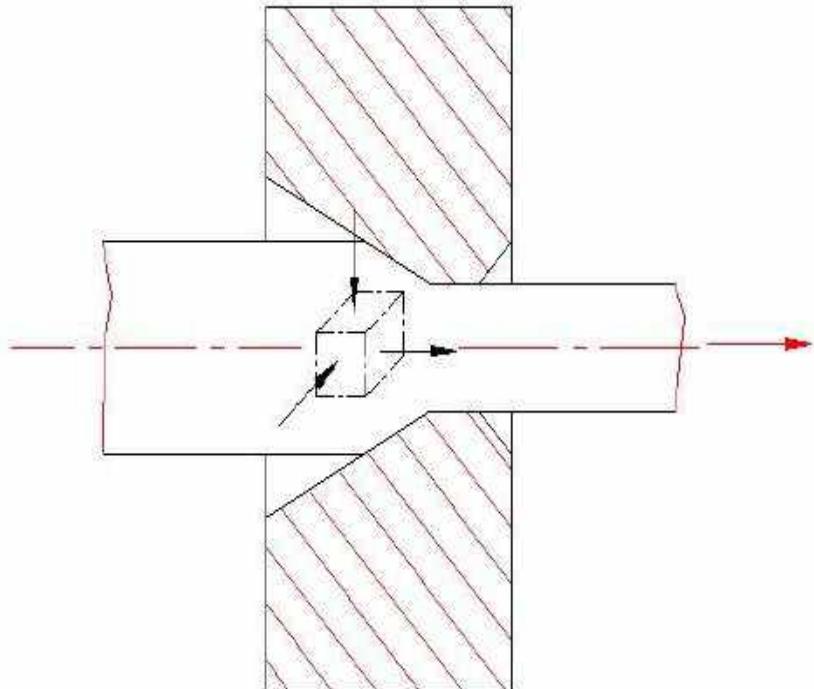
第二章 段压工艺

2.2 金属的可锻性

2.2.2 加工条件的影响

(3) 应力状态：三个方向中压应力数目愈多，金属的塑性愈好；拉应力的数目愈多，金属的塑性愈差。

因为拉应力会使缺陷处产生应力集中，而压应力则可使缺陷焊合。



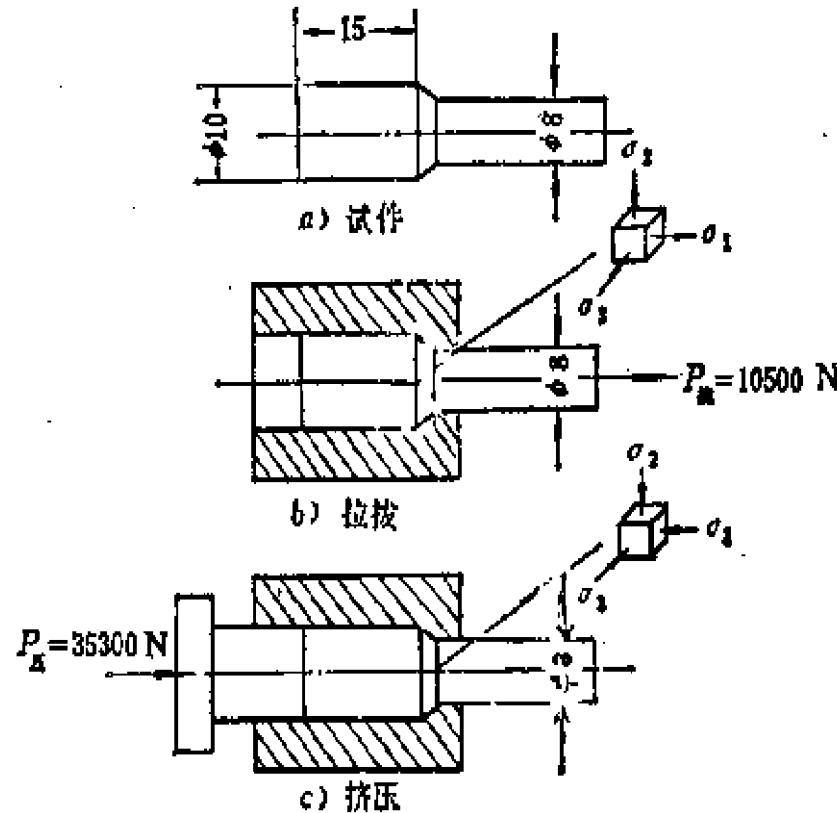
第二章 段压工艺

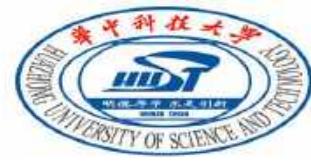
2.2 金属的可锻性

2.2.2 加工条件的影响

(3) **应力状态**: 三个方向中压应力数目愈多, 金属的塑性愈好; 拉应力的数目愈多, 金属的塑性愈差。

因为拉应力会使缺陷处产生应力集中, 而压应力则可使缺陷焊合。





机械制造工艺基础

主□人：余圣甫

材料科学与工程学院

联系电话：13971277482

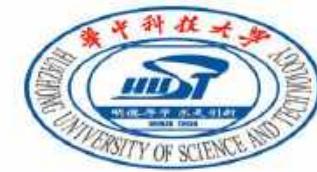
2020年4月12日

第二章 段压工艺

2.1 热塑性加工基础

利用金属在外力作用下所产生的塑性变形，来获得具有一定形状、尺寸和机械性能的原材料、毛坯或零件的生产方法，称为金属塑性成型（也称为压力加工）。金属塑性成型中作用在金属坯料上的外力主要有两种：冲击力和压力。





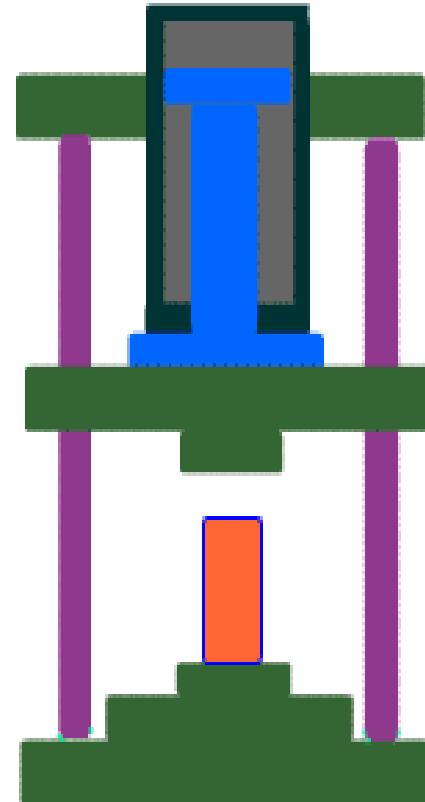
第二章 段压工艺

2.3 铸造工艺

金属塑性成型方法主要分为无模自由成型(也称为自由锻)和模膛塑性成型(也称为模锻)。

(1) 自由锻：工具简单、通用，生产准备周期短，灵活性大，特别适用于单件、小批量生产。而且，自由锻是大型件唯一的锻造方法。

但自由锻造的生产效率低，对工人的技艺要求高，劳动强度大，锻件精度差。



2.3 铸造工艺

(2) 模锻:

坯料在模型内

受压变形，最

终获得与模型

形状一致的锻

件的材料成型

方法。

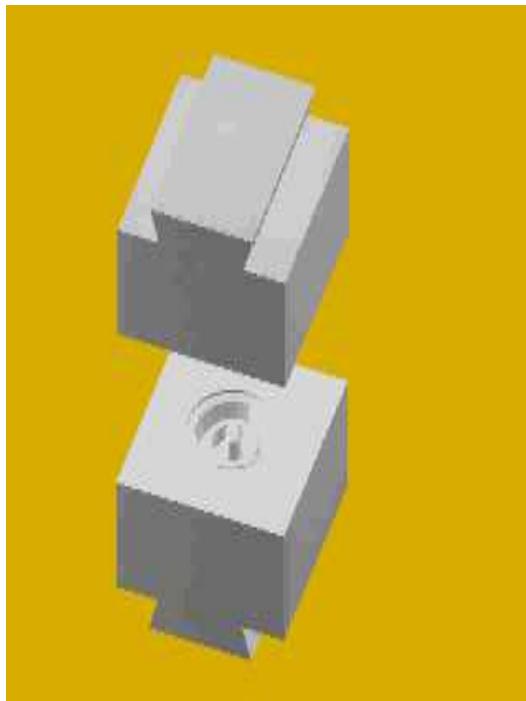


图 5-19 模锻成形示意图

1—锤头；2—楔铁；3—上模；4—下模；5—模棒；6—砧块；7—坯料；8—锻造中的坯料；9—带飞边和连皮的螺栓；10—飞边和连皮；11—螺栓；12—模座



第二章 段压工艺

2.3 铸造工艺

(3) 模锻与自由锻的比较：

- 1) 生产率高：比自由锻高10倍以上。
- 2) 铸件尺寸精度高，表面粗糙度小，铸造公差比自由锻小 $2/3-1/4$ 。
- 3) 能铸造形状复杂的铸件，得到形状理想的流线，铸件性能好。
- 4) 操作简单，生产条件好。

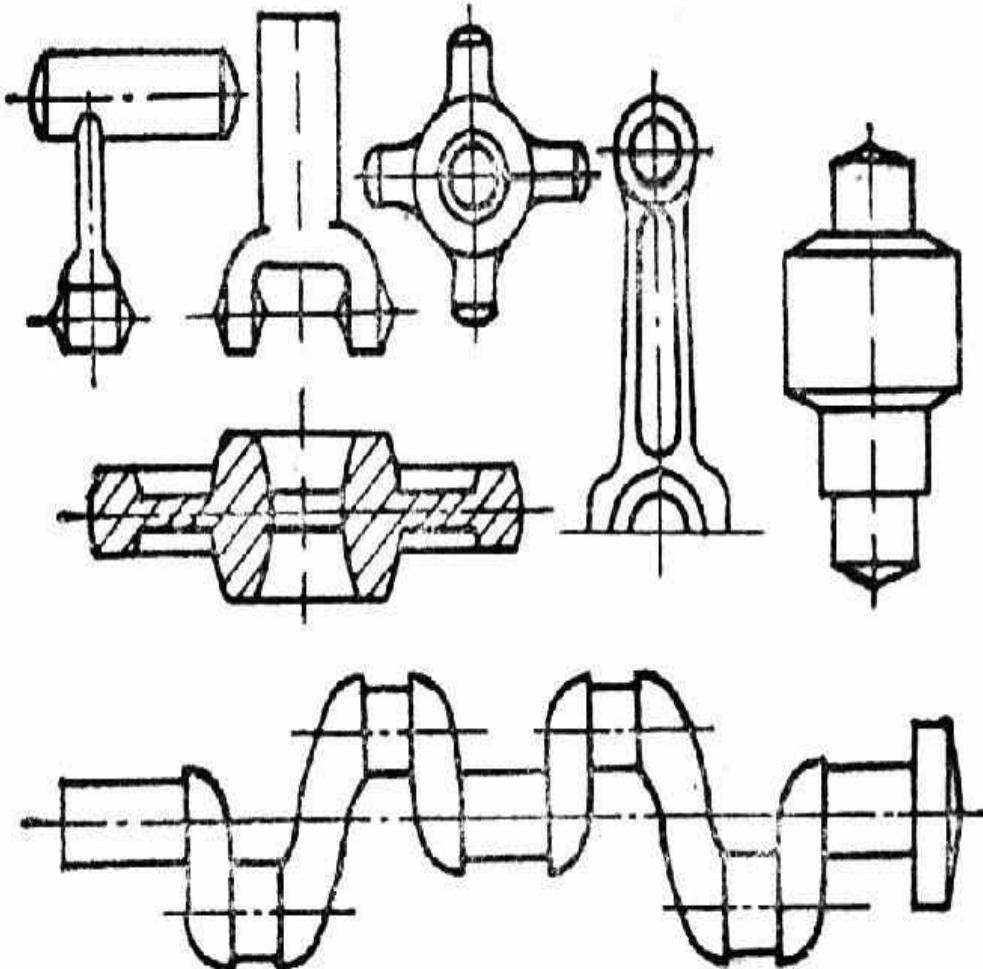
缺点：工艺成本和设备成本高，生产灵活性差。

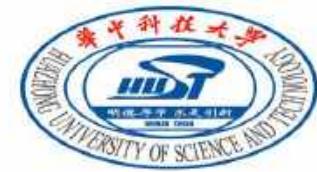
第二章 段压工艺

2.3 铸造工艺

(4) 模锻的应用：

模锻适宜小型锻件的大批大量生产。主要用于汽车、飞机、坦克和拖拉机的曲轴、连杆、齿和阶梯轴等。





第二章 段压工艺

2.3 铸造工艺

模膛塑性成形按模型不同可分为胎模铸造成形和固定模膛铸造成形。

1. 胎模铸造成形

- 1) 胎模铸造成型是在自由锻设备上，使用可移动的胎模具生产锻件的铸造方法。
- 2) 胎模成型只适用于小批量生产，多用在没有模锻设备的中小型工厂中。

2.3 铸造工艺

模种类多，主要有扣模、筒模及合模三种。

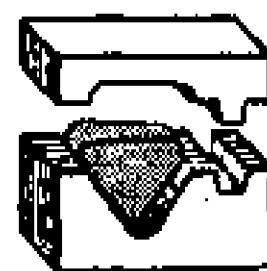
(1) 扣模：扣模用来对坯料全或局部扣形，生产杆回体件。也可以为合模制坯。用扣模时坯料不动。



a)



b)



c)

图 3-45 扣模

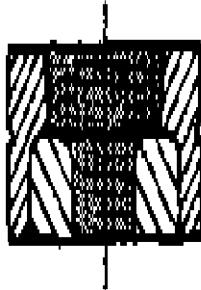
2.3 铸造工艺

模种类多，主要有扣模、筒模及合模三种。

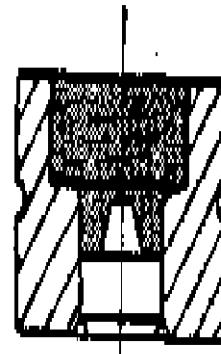
(2) 筒模：模呈圆筒形，主要用于法兰盘等回体盘类件。根据具体条件筒模可制成整体模、块模或带垫模的筒模。



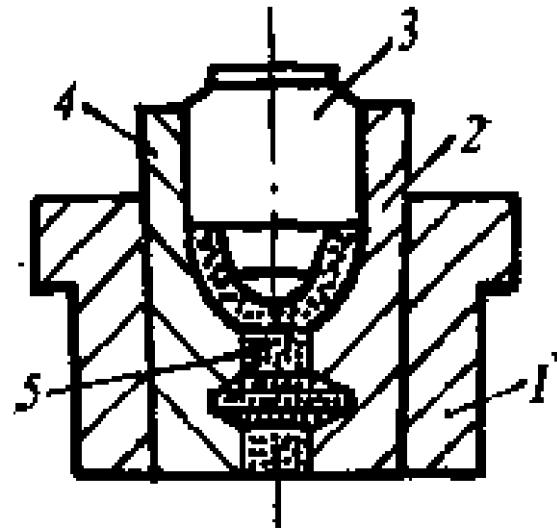
a) 整体筒模



b) 块模筒模



c) 带垫模筒模

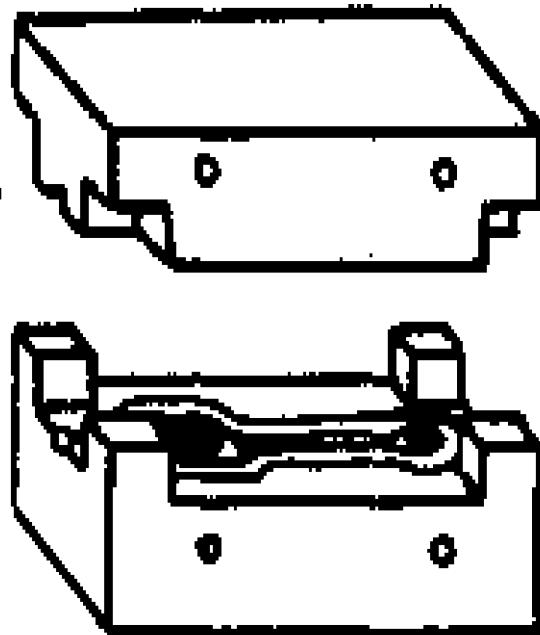


第二章 段压工艺

2.3 铸造工艺

模种类多，主要有扣模、筒模及合模三种。

3) 合模：常由上模和下模两部分组成。为了使上下模吻合及不使零件产生位移，经常用导柱和导柱定位。合模多用于生产形状复杂的回体零件。如杆、叉形件等零件。





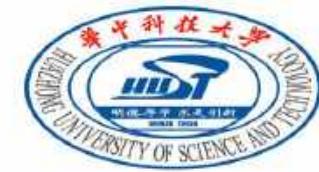
第二章 段压工艺

2.3 锻造工艺

固定模膛成形：

- 1) 固定模膛成型工艺主要分为锤上模膛成型工艺和压力机上模膛成型工艺。
- 2) 锤上模锻成型用于大批量锻件生产。
- 3) 所用设备有蒸汽-空气锤、无砧座锤、高速锤等。
- 4) 压力机上模膛成型常用的设备有曲柄压力机、摩擦压力机和平锻机、模锻水压机等。

第二章 段压工艺

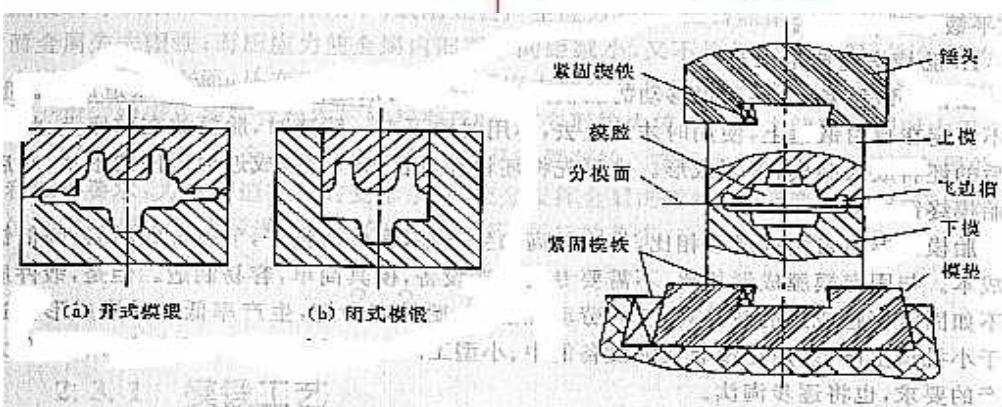
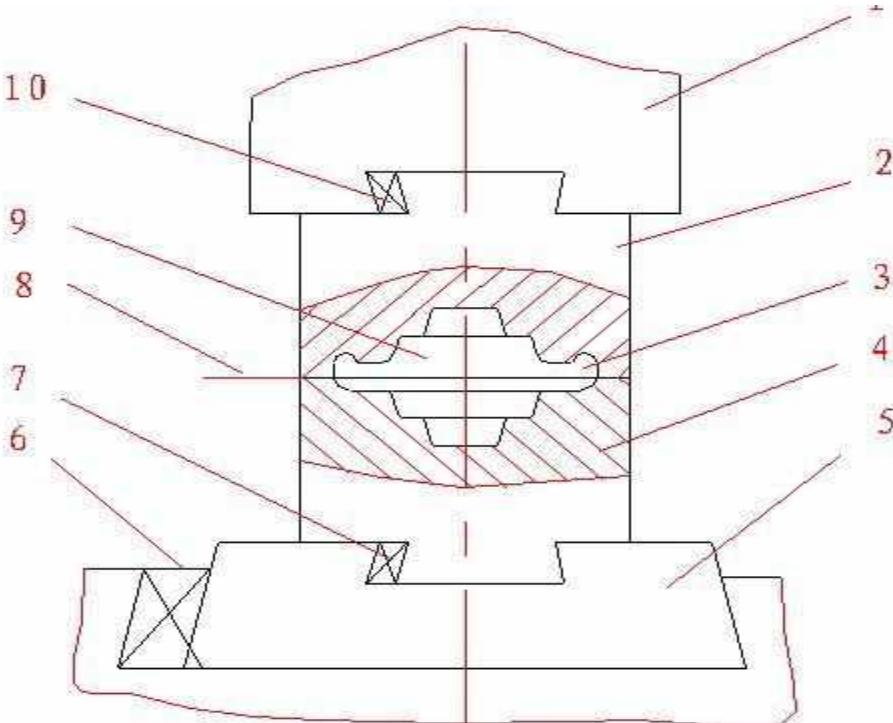


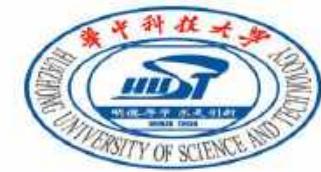
2.3 锻造工艺

上模由模用模上模和下模两部分组成。

常用的制模材料为
5CrMnMo和5CrNiMo。

分为模锻模腔和制坯模腔。





第二章 挤压工艺

2.3 铸造工艺

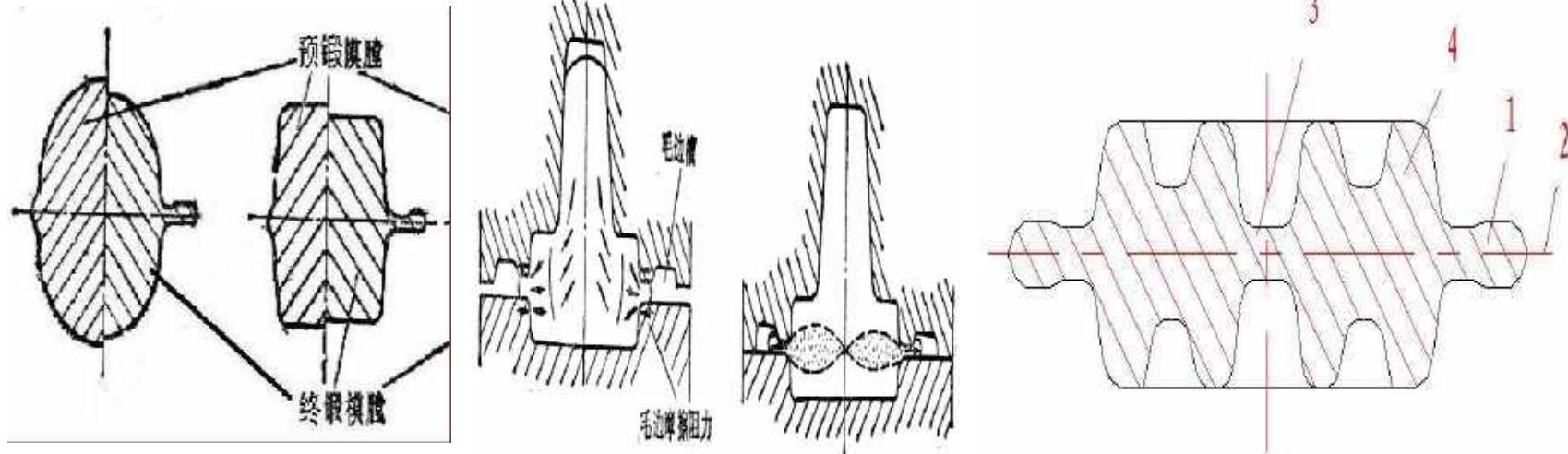
模□模□根据其功用的不同可分为模□模□和制坯模□两大类。模□模□包含终□模□与□□模□。

(1) 终□模□：使坯料最后变形到□件所□求的形状和尺寸，它的形状应与□件的实□形状相同，因□件冷却时□收缩，终□模□的尺寸应比□件尺寸放大一个收缩率。对于具有□孔的□件，不可□□上下模的凸□□分把□属完全挤压掉故终□后在孔内留下一□层□属 称为冲孔□皮。

第二章 挤压工艺

2.3 铸造工艺

(2) 模具：模具的作用是使坯料变形到接近于零件的实形状和尺寸，再终时，模具圆和斜度大，没有槽，形状简单或批不大的模具件可不置模具。

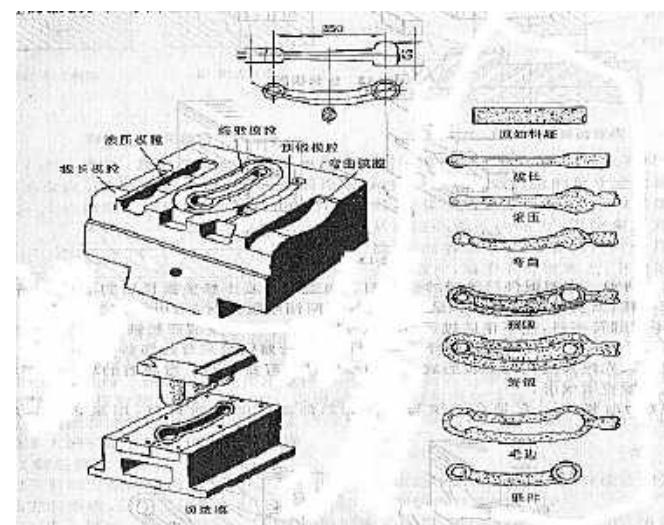
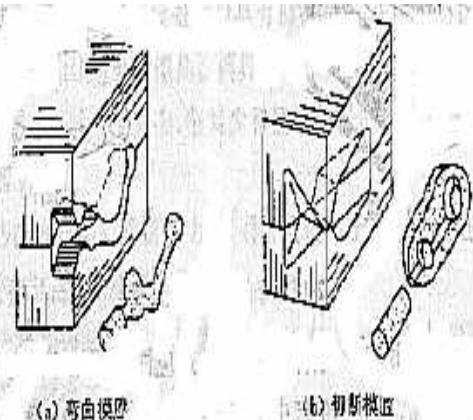
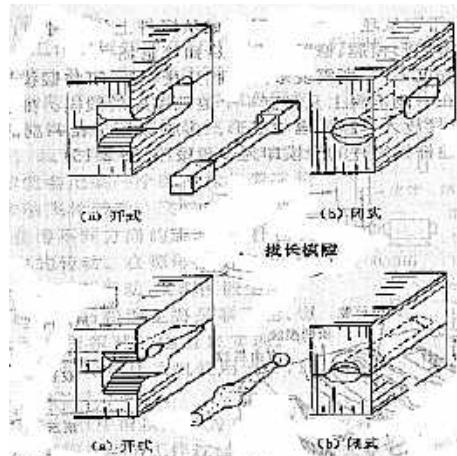


第二章 挤压工艺

2.3 铸造工艺

2) 制坯模□ 对于形状复杂的模□件，使坯料形状接□模□件实□形状，使□属□合理分布和很好地充满模□，就必□□先在制坯模□内制坯。

(1) 拔□模□ (2) 滚压模□ (3) 弯曲模□ (4) 切断模□

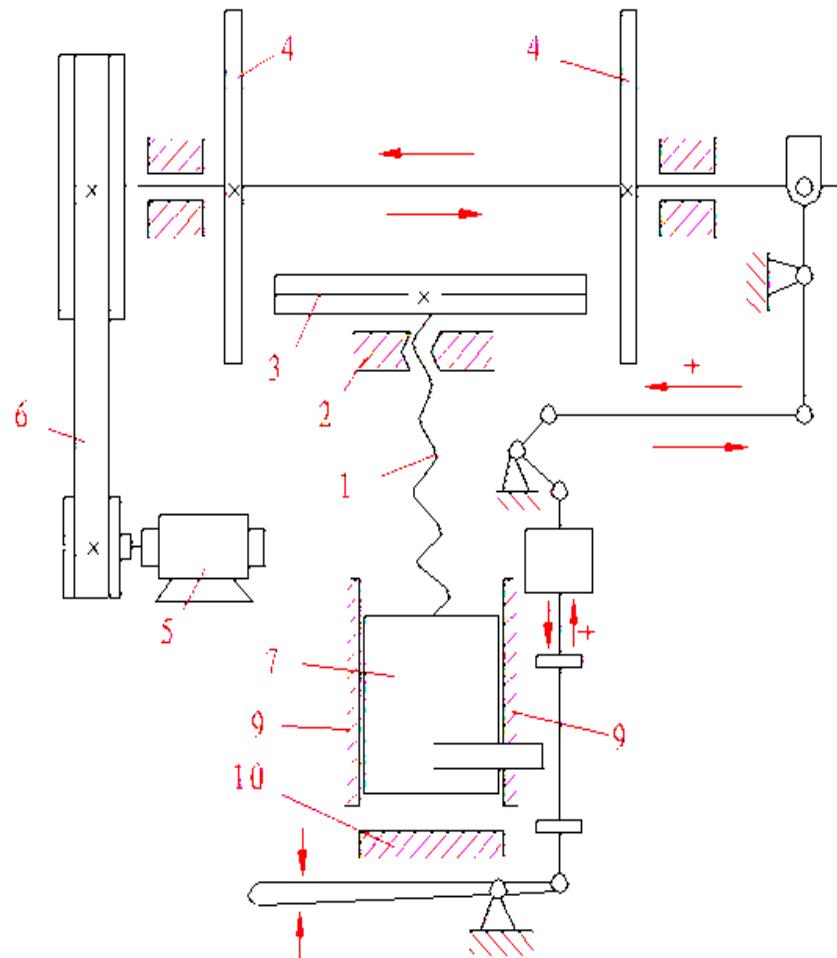


2.3 铸造工艺

3. 摩擦压力机上模

摩擦压力机的工作原理：

摩擦压力机是通过摩擦盘带动飞轮转动，利用飞轮带动螺杆和滑块向下运动时所积累的能量使锻件变形。





第二章 滚压工艺

2.3 铸造工艺

摩擦压力机上模锻的特点：

- ① 不仅能满足模锻各种主要成型工序的要求，还可以进行弯曲、压印、热压、精压、切飞边、冲连皮及校正等工序。
- ② 特别适合于铸造低塑性合金钢和有色金属（如铜合金）等。
- ③ 模具设计和制造得以简化，节约材料和降低生产成本，同时可以锻制出形状更为复杂，敷料和模锻斜度都很小的锻件，并可将轴类锻件直立起来进行局部锻压。

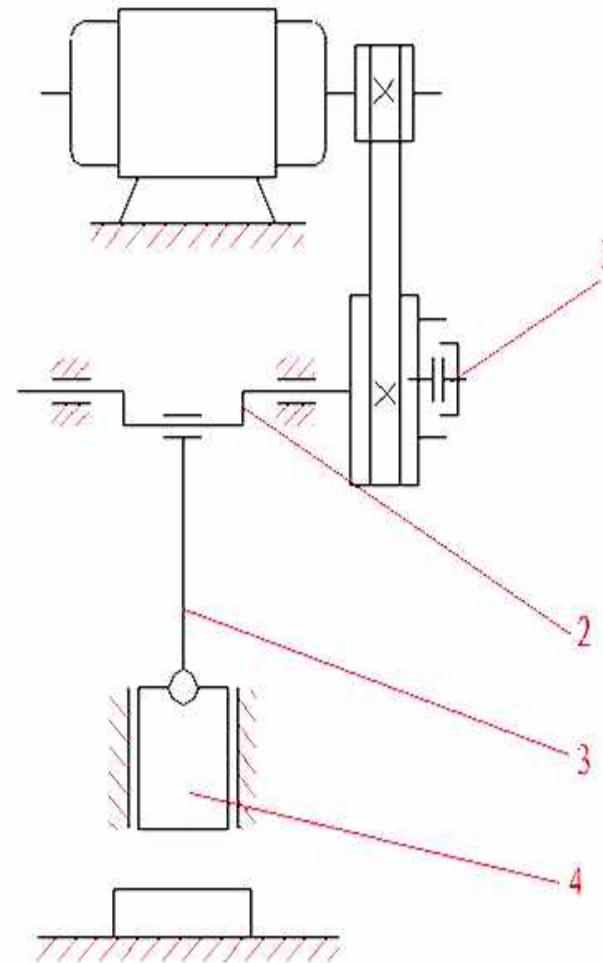
第二章 段压工艺

2.3 铸造工艺

4、曲柄压力机上模

曲柄压力机的传动系统：

曲柄压力机上模具有精度高，生产效率高，劳动条件好和节省金属等优点，适合于大量生产条件下加工中小型锻件，但由于曲柄压力机设备复杂造价高，我国仅在大型工厂使用。

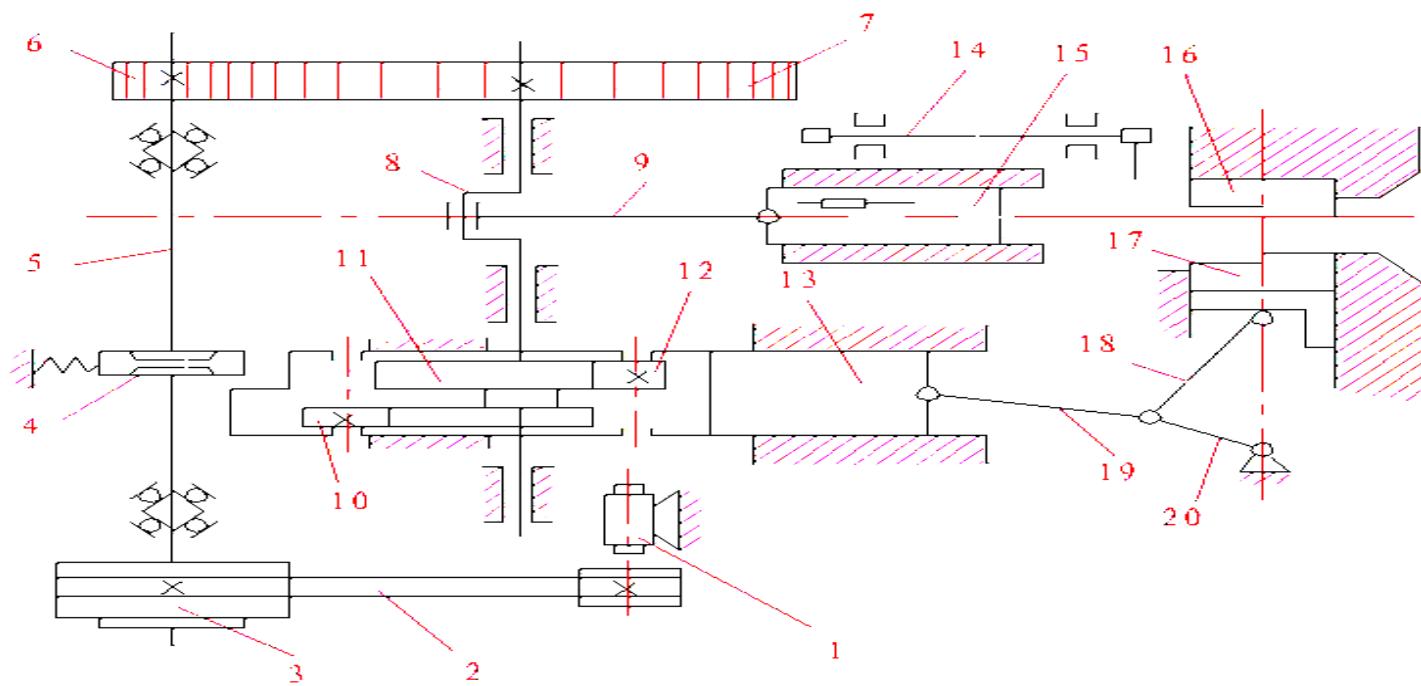


第二章 段压工艺

2.3 铸造工艺

5、平锻机上模锻：

平锻机的主要结构与曲柄压力机相同。只因滑块是作水平运动，故称平锻机。

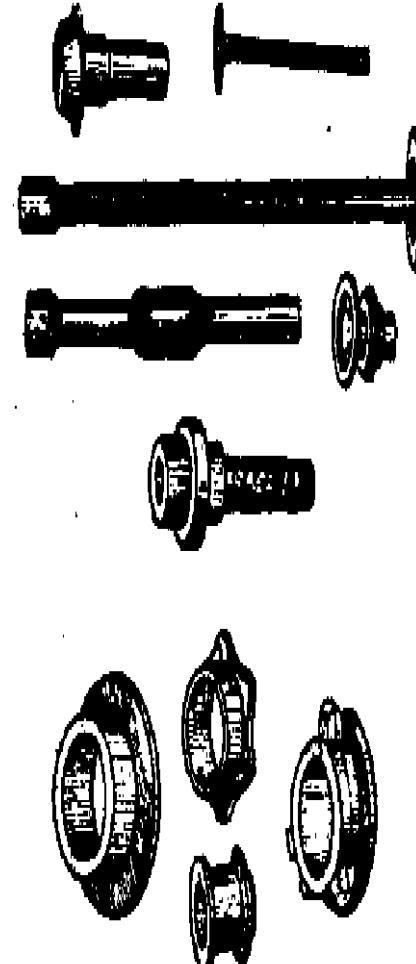


2.3 铸造工艺

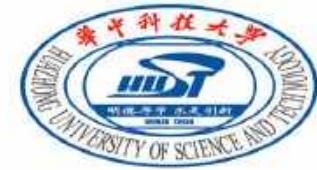
5、平锻机上模锻：

平锻机上模锻的特点：

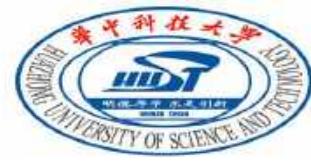
- (1) 有两个分模面，可以锻出其他模锻方法无法锻出的锻件。
- (2) 生产率高，400-900件/小时。
- (3) 锻件尺寸精确，表面粗糙度低。
- (4) 材料利用率高达85-95%。
- (5) 非回转体及中心不对称的锻件较难锻造。平锻机造价高。
- (6) 适合于带头部的杆类和有孔零件的模锻成型。



第二章 段压工艺



□□方法	□用□围	效率	精度□	模具特点	劳动条件
□由□	单件小批	低	低	□用□用工具, 无 专用模具	差
□上模□	中小型□件, 大批□ 生产. □合□□各种 类型模□件	□	中	□模固定在□头和 砧座上, 模□复杂, □价□	差
摩擦压力 机上模□	小型□件, 中批□生 产. 可□□精密模□	中	□□	一□为单□□模	好
曲柄压力 机上模□	中小型□件, 大批□ 生产. 不易□□拔□ 和滚压工序	□	□	组合模, 有导柱导 套和□出□置	好
平□机上 模□	有头的杆件及有孔 件, 大批□生产	□	□	由一个凸模和两个 凹模组成, 有两个 分模□	好
□模□	中小型□件, 中小批 □生产	中	中	模具简单, 且不固 定在□备上	差



机械制造工艺基础

主讲人：余圣甫

材料科学与工程学院

联系电话：13971277482

2020年4月12日



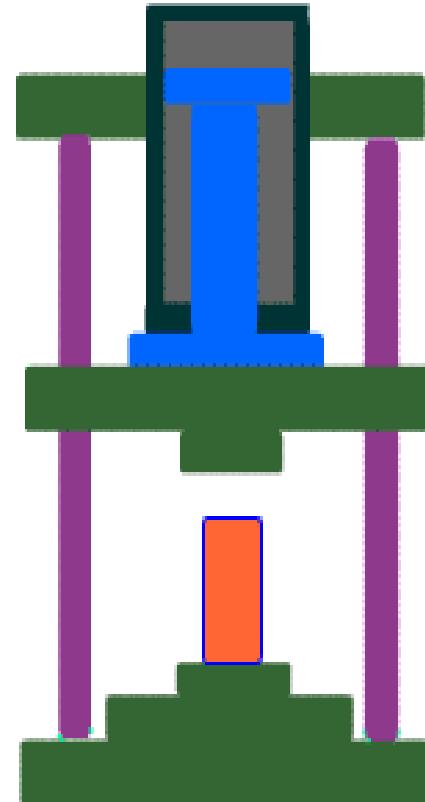
第二章 段压工艺

2.3 锻造工艺

金属塑性成型方法主要分为无模自由成型(也称为自由锻)和模膛塑性成型(也称为模锻)。

(1) 自由锻: 工具简单、通用，生产准备周期短，灵活性大，特别适用于单件、小批量生产。而且，自由锻是大型件唯一的锻造方法。

但自由锻造的生产效率低，对工人的技艺要求高，劳动强度大，锻件精度差。





第二章 段压工艺

2.3 锻造工艺

2.3.2 锤上模锻工艺规程的制定

锤上模锻成型的工艺过程一般为：

切断毛坯→加热坯料→模锻→切除模锻件的飞边→校正锻件→锻件热处理→表面清理→检验→成堆存放。

制定锻件图、计算坯料尺寸、确定模锻工步(选择模膛)、选择设备及安排修整工序等。其中最主要的是锻件图的制定和模锻工步的确定。

第二章 段压工艺

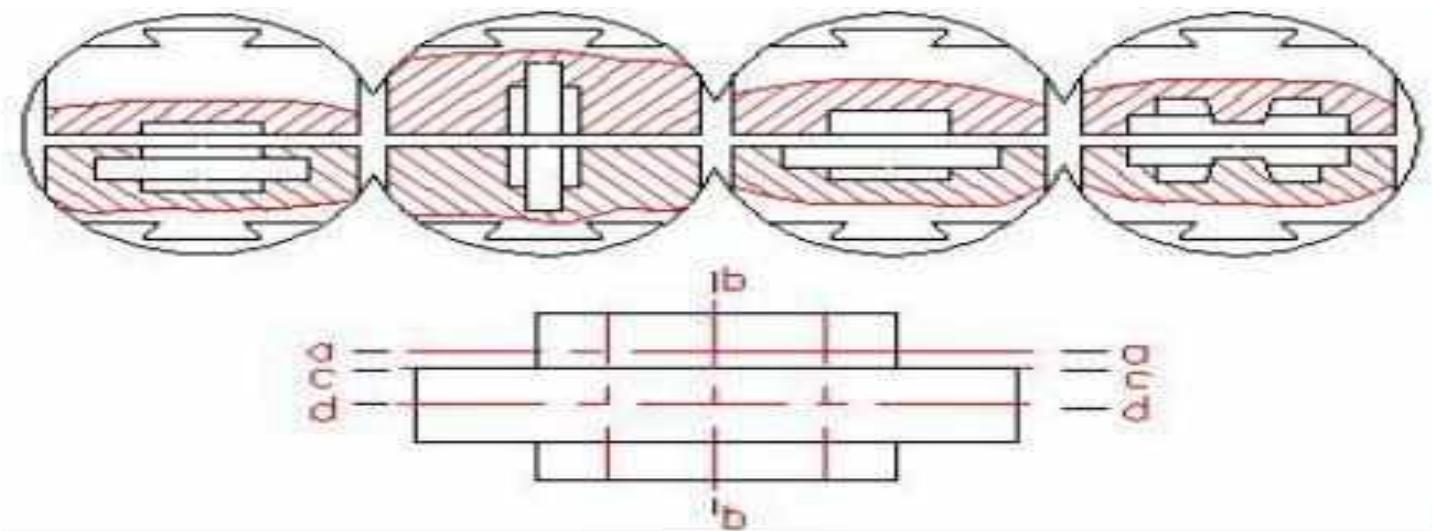
2.3 锻造工艺

2.3.2 锤上模锻工艺规程的制定

1、模锻件图的绘制

1) 选择模锻件的分模面：

(1) 分模面应为最大截面，并使模膛深度较浅。



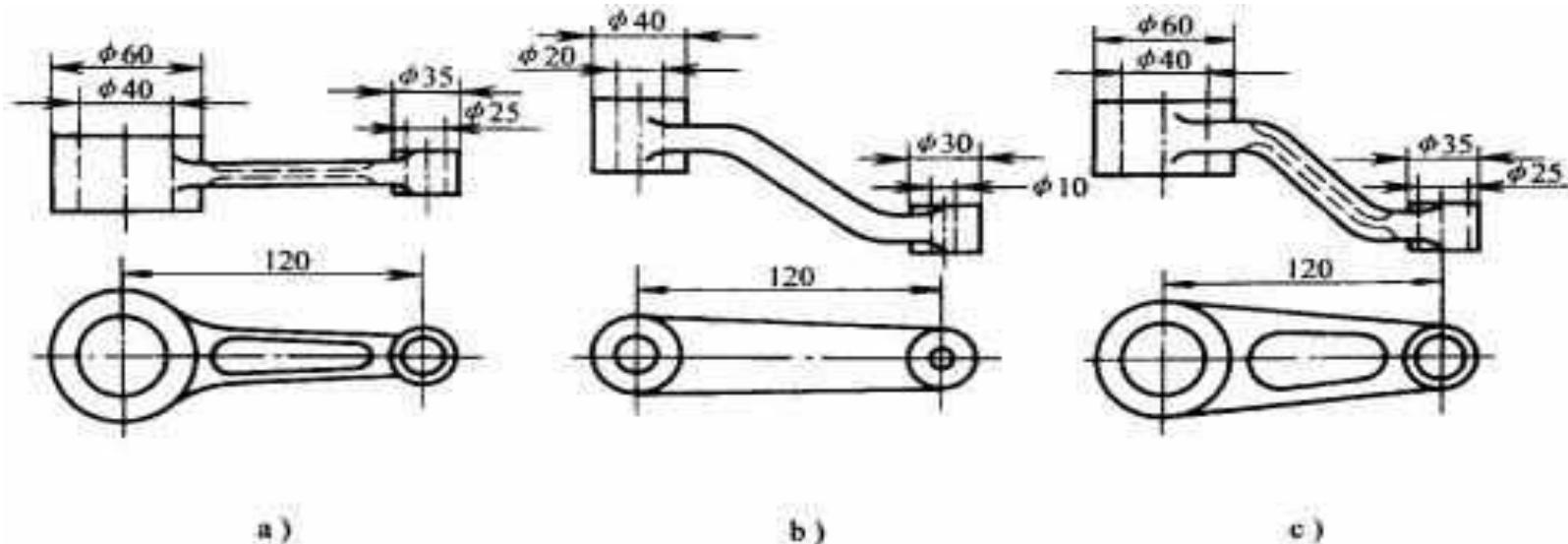
2.3 锻造工艺

2.3.2 锤上模锻工艺规程的制定

1、模锻件图的绘制

1) 选择模锻件的分模面:

(2) 分模面应为平面, 模膛加工应方便。



第二章 段压工艺

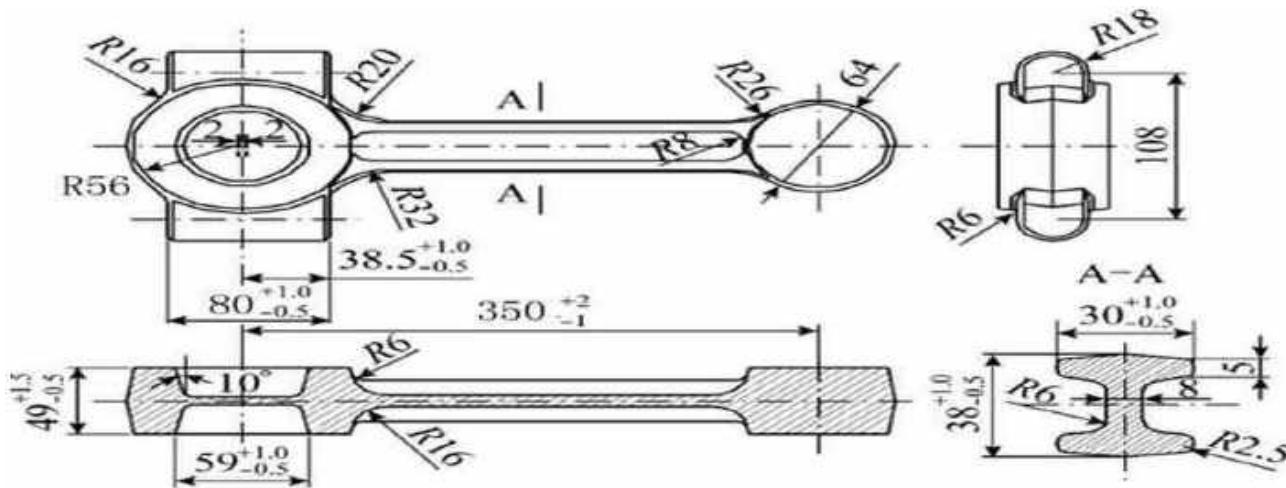
2.3 锻造工艺

2.3.2 锤上模锻工艺规程的制定

1、模锻件图的绘制

1) 选择模锻件的分模面:

(3) 应使上、下两模沿分模面的模堂轮廓仪致。



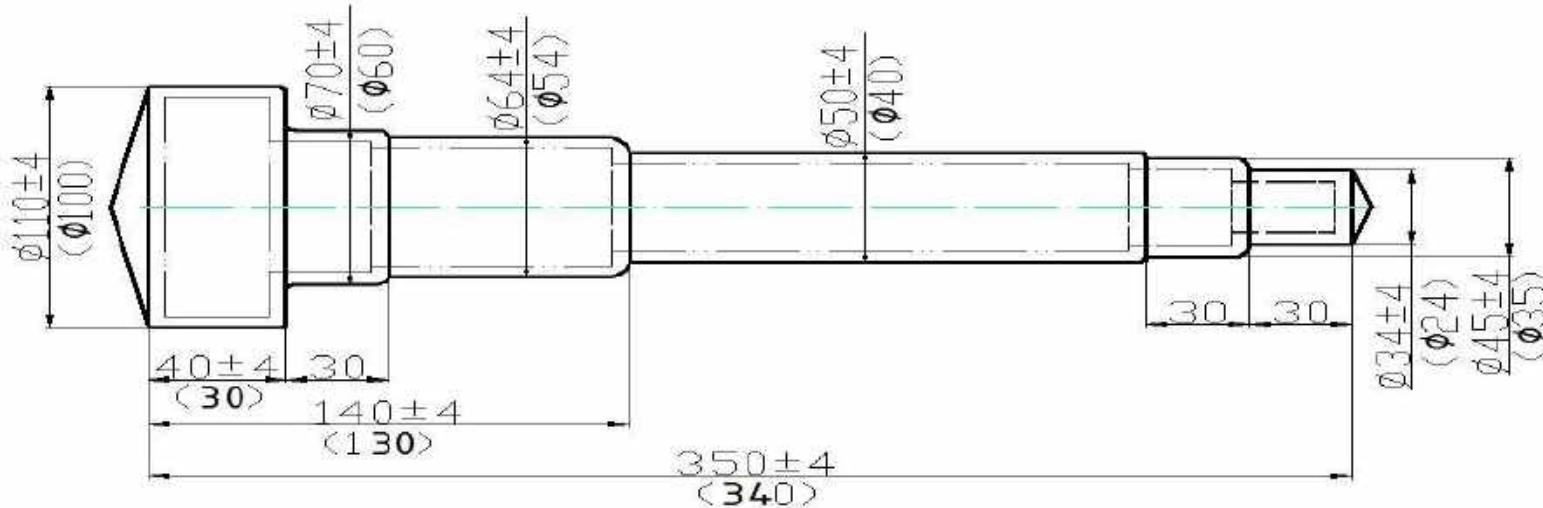
2.3 锻造工艺

2.3.2 锤上模锻工艺规程的制定

1、模锻件图的绘制

1) 选择模锻件的分模面：

(4) 最好把分模面选在模膛深度最浅的位置处。



第二章 锻压工艺

2.3 锻造工艺

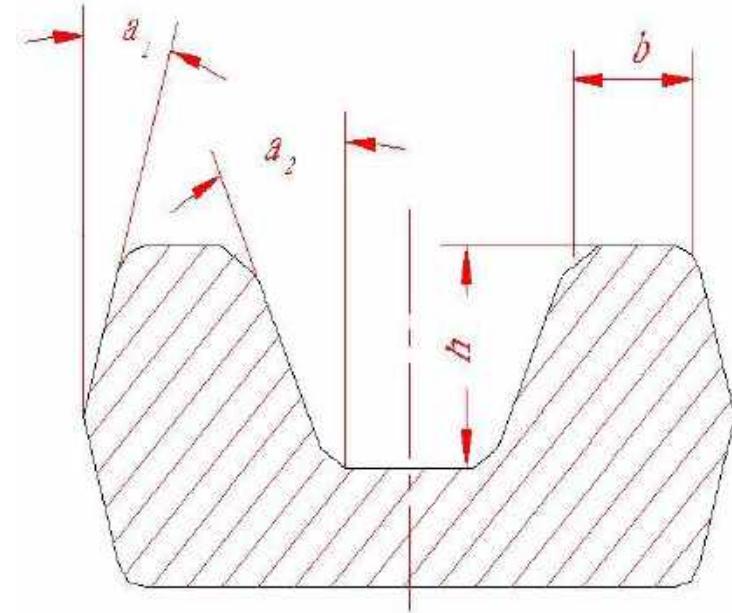
2.3.2 锤上模锻工艺规程的制定

1、模锻件图的绘制

2) 机械加工余量及锻件公差：

只有机械加工面才应有加工余量。一般加工余量为0.5-5mm, 公差0.3-3mm。

3) 模锻斜度：沿锤击方向或垂直于分模面的表面应有模锻斜度。外壁斜度小于内壁斜度。



第二章 段压工艺

2.3 锻造工艺

2.3.2 锤上模锻工艺规程的制定

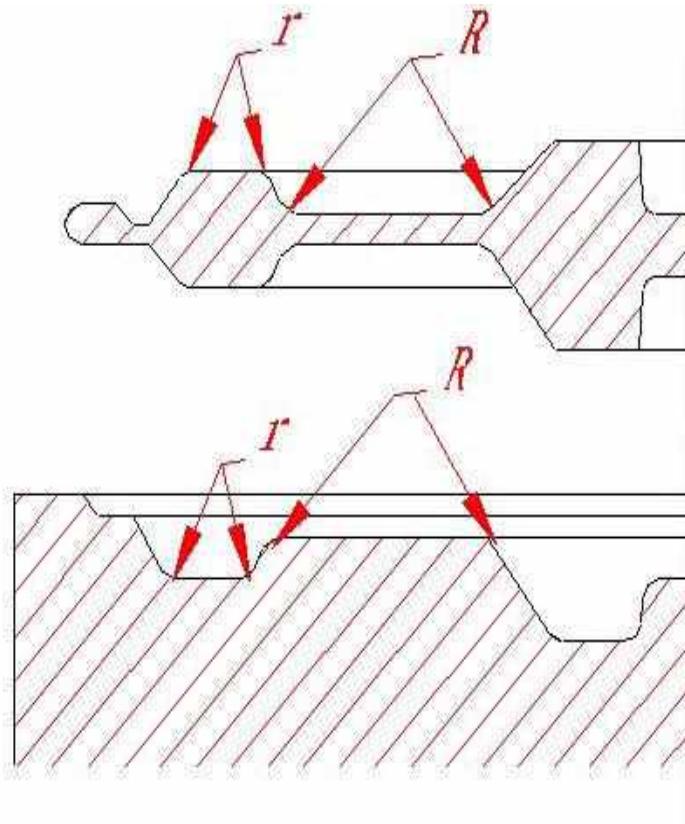
1、模锻件图的绘制

4) 锻模圆角：

所有两表面交角处都应有圆角。一般内圆角半径 (R) 应大于其外圆半径 (r)。

5) 留出冲孔连皮：

锻件上直径小于25mm的孔，一般不锻出，或只压出球形凹穴。

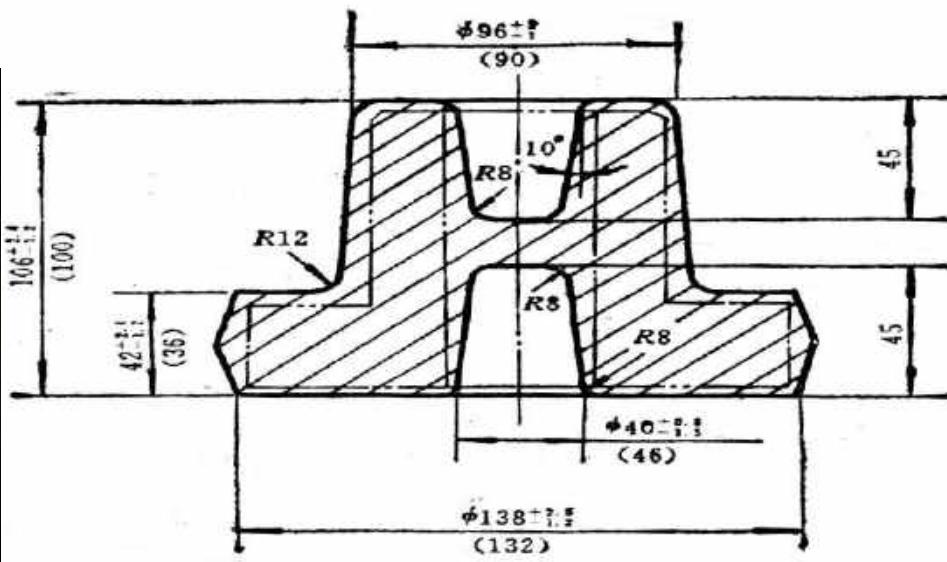


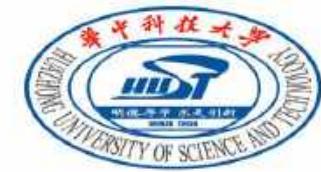
第二章 锻压工艺

2.3 锻造工艺

1、模锻件图的绘制

考虑以上五个问题后，便可绘出锻件图，绘制锻件图时，用粗实线表示锻件的形状，以双点画线表示零件的轮廓形状。





第二章 锻压工艺

2.3 锻造工艺

2.3.2 锤上模锻工艺规程的制定

2、模锻工步的确定

模锻工步主要是根据锻件的形状和尺寸来确定的，模锻件按形状可分为两大类，一类是长轴类锻件，如台阶轴，曲轴、连杆、弯曲摇臂等。另一类为盘类模锻件，如齿轮、法兰等。

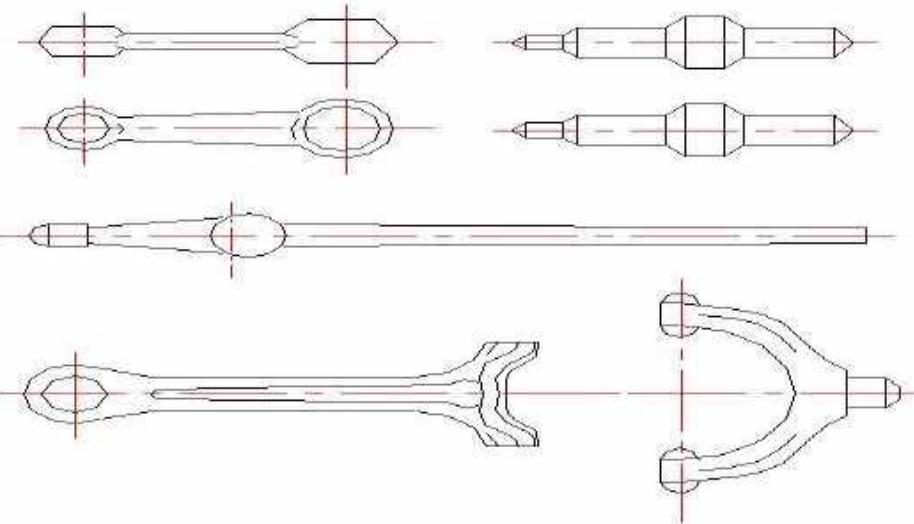
模锻工步确定以后，再根据已确定的工步选择相应的制坯模膛和模锻模膛。

2.3 锻造工艺

2.3.2 锤上模锻工艺规程的制定

2、模锻工步的确定

长轴类锻件，如台阶轴、曲轴、连杆、弯曲摇臂等；
一般为拔长、滚挤、预锻、弯曲、预锻、终锻成型。



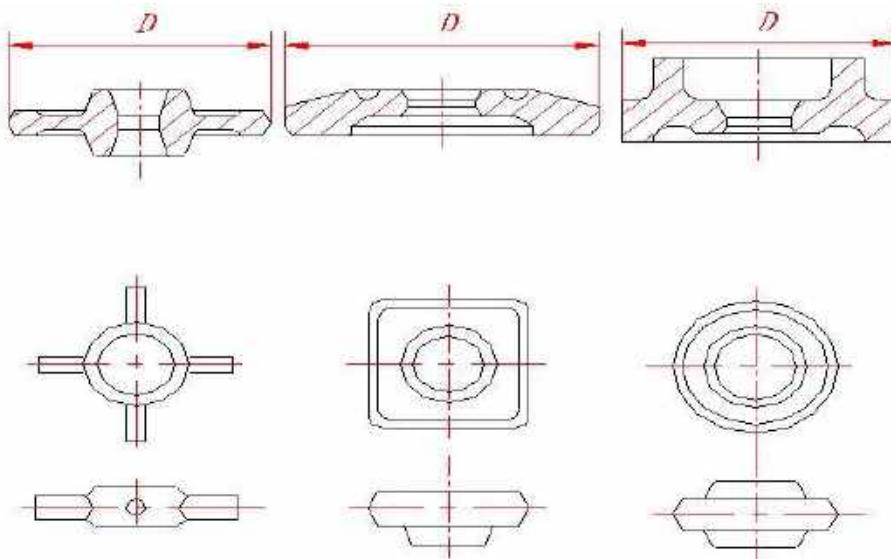
第二章 段压工艺

2.3 锻造工艺

2.3.2 锤上模锻工艺规程的制定

2、模锻工步的确定

盘类模锻件，如齿轮、法兰盘等。一般为镦粗、预锻、终锻成型。

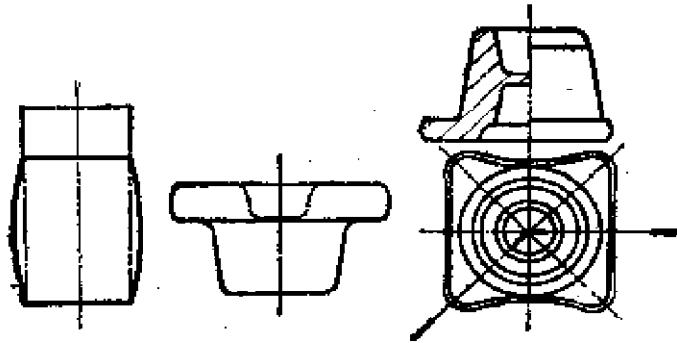


第二章 段压工艺

2.3 锻造工艺

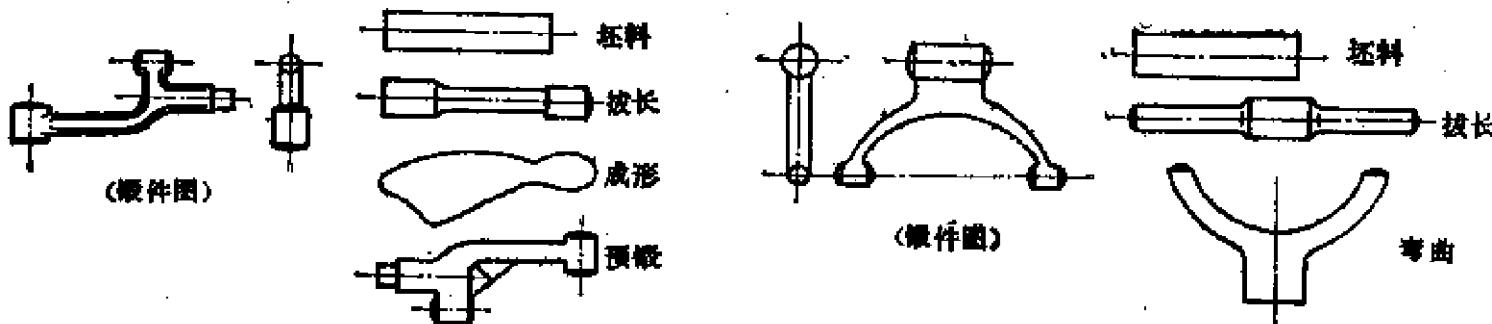
2.3.2 锤上模锻工艺规程的制定

2、模锻工步的确定



a) 略粗 b) 成形略粗 c) 终锻

图 2-44 高速锻件的变形工艺





第二章 段压工艺

2.3 锻造工艺

2.3.3 模锻成型件的结构工艺性：

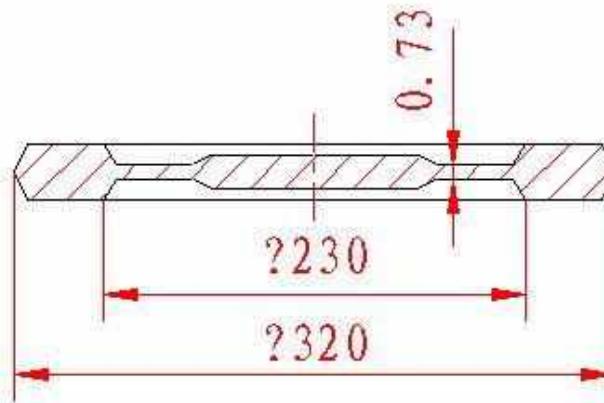
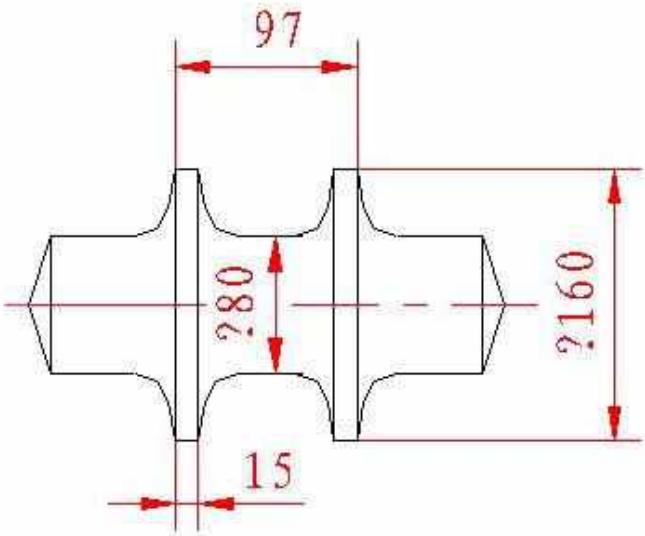
- ① 模锻零件必须具有一个合理的分模面，以保证模锻件易于从锻模中取出、敷料最少、锻模容易制造。
- ② 零件上只有与其它机件配合的表面才需进行机械加工，其它表面均应设计为非加工表面。零件上与锤击方向平行的非加工表面，应设计出模锻斜度。非加工表面所形成的角都应按模锻圆角设计。

第二章 锻压工艺

2.3 锻造工艺

2.3.3 模锻成型件的结构工艺性：

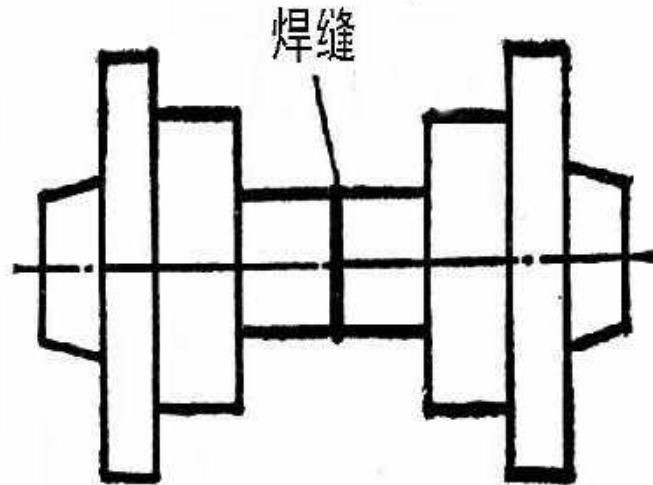
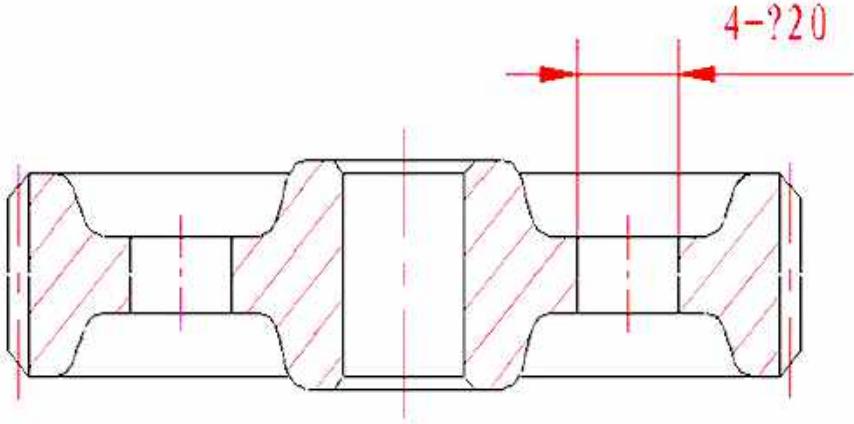
③ 为了使金属容易充满模膛和减少工序，零件外形力求简单、平直和对称，尽量避免零件截面间差别过大，或具有薄壁、高筋、凸起等结构。



2.3 锻造工艺

2.3.3 模锻成型件的结构工艺性：

- ④ 在零件结构允许的条件下，设计时尽量避免有深孔或多孔结构。
- ⑤ 在可能条件下，应采用锻-焊组合工艺，以减少敷料，简化模锻工艺。





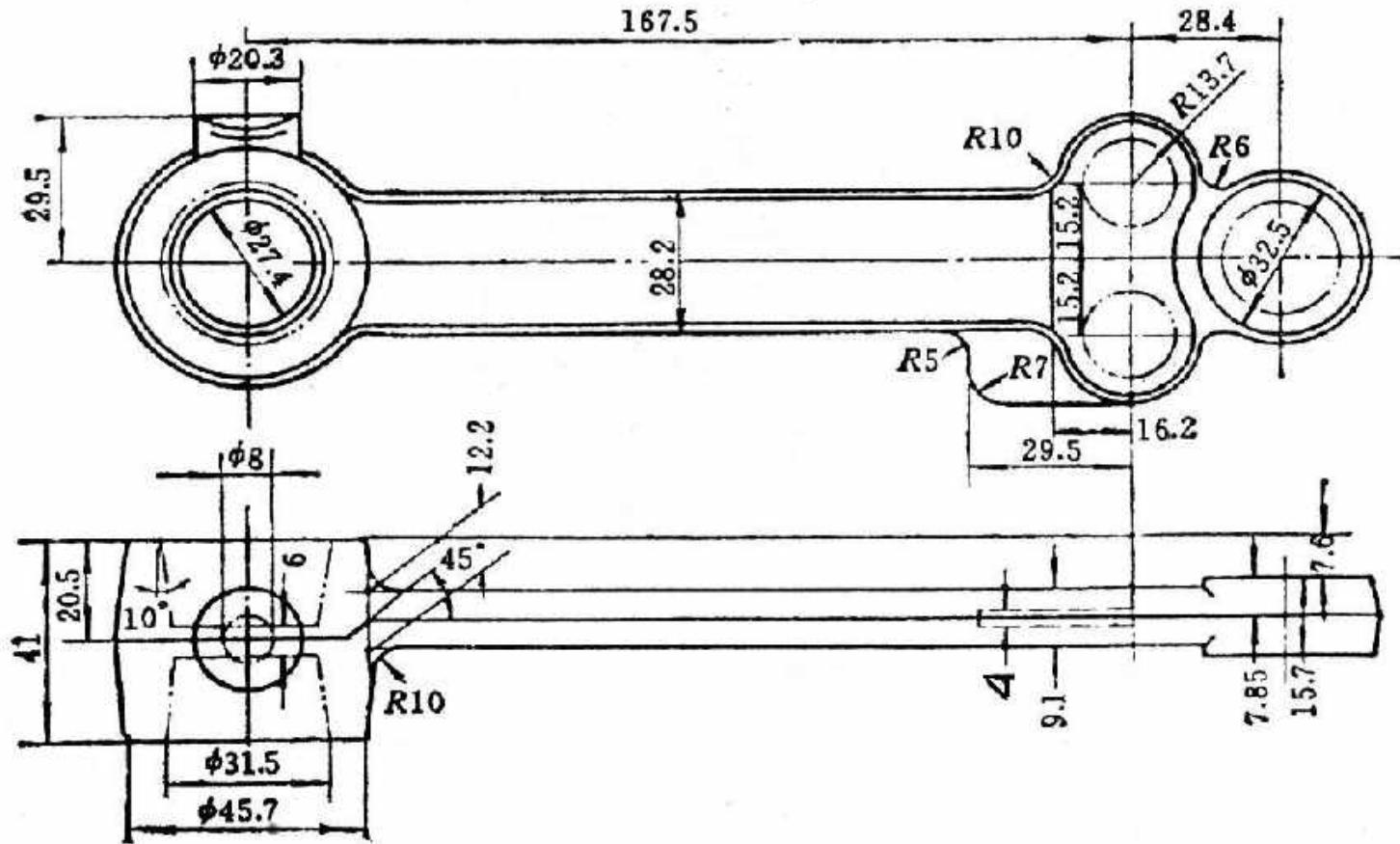
第二章 段压工艺

2.3 锻造工艺

- (1) 零件图纸的分析
- (2) 选择分模面
- (3) 确定锻孔
- (4) 确定模锻工序
- (5) 绘制锻件图
- (6) 锻模设计

汽车后闸传动杆零件，上下端面、四个大孔、 $\phi 20.3$ 孔的端面和 $\phi 8$ 孔需机械加工，其余均需模锻锻出。

2.3 锻造工艺

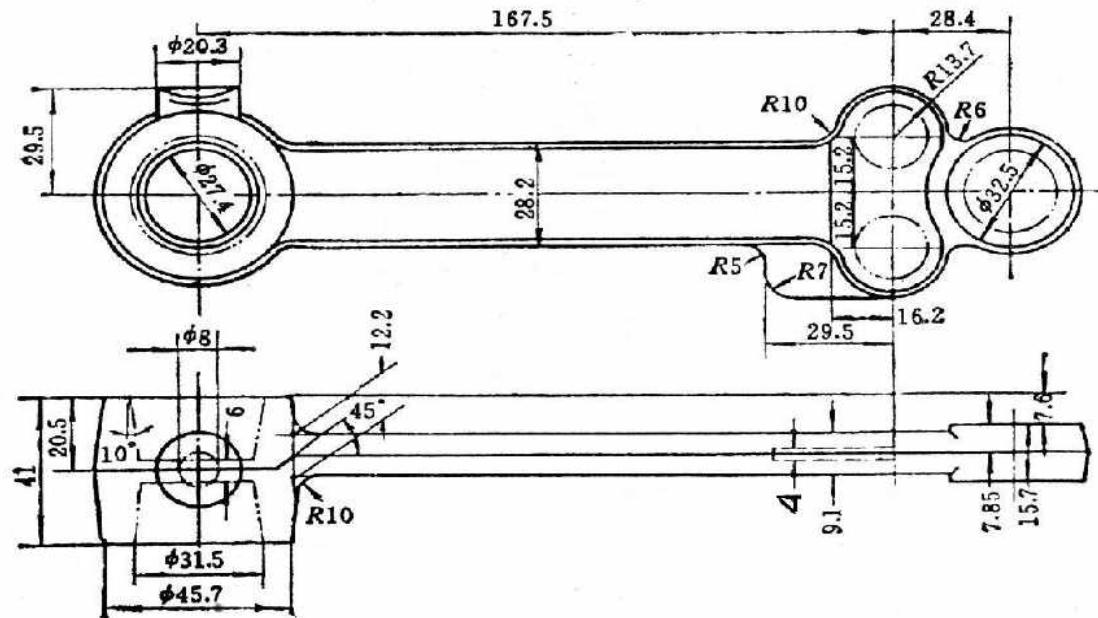


第二章 段压工艺

2.3 锻造工艺

(1) 零件图纸的分析

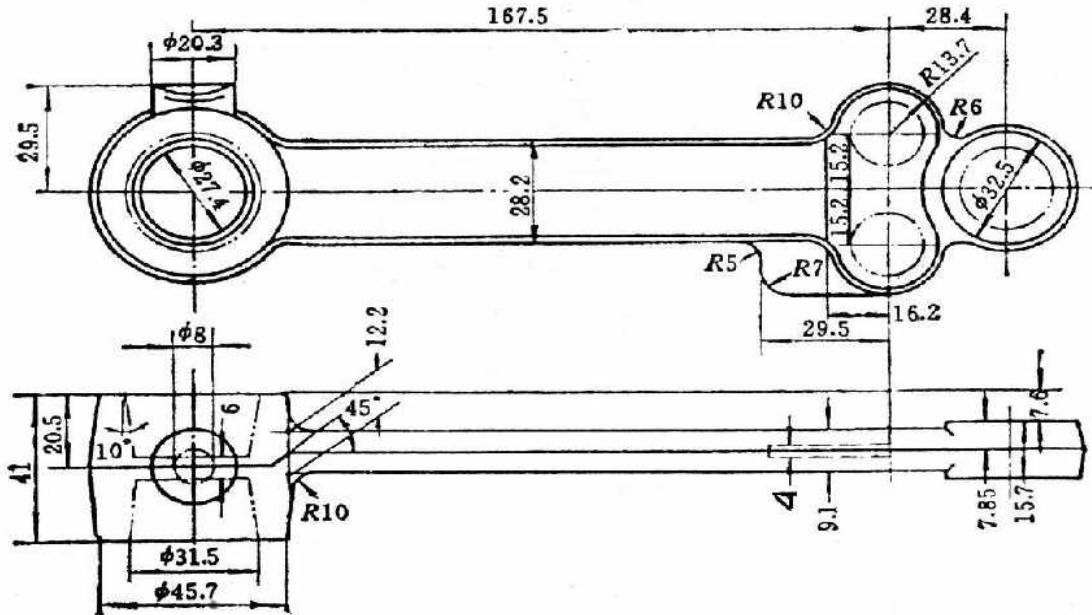
汽车后闸传动杆零件，上下端面、四个大孔、 $\phi 20.3$ 孔的端面和 $\phi 8$ 孔需机械加工，其余均需模锻锻出。



2.3 锻造工艺

(2) 选择分模面

- 1) 主视图中的中心线。这样分模面为一平面，但所有的孔和槽都不能锻出。
- 2) 俯视图中的对称面。分模面为一折面，但孔和槽都能锻出。

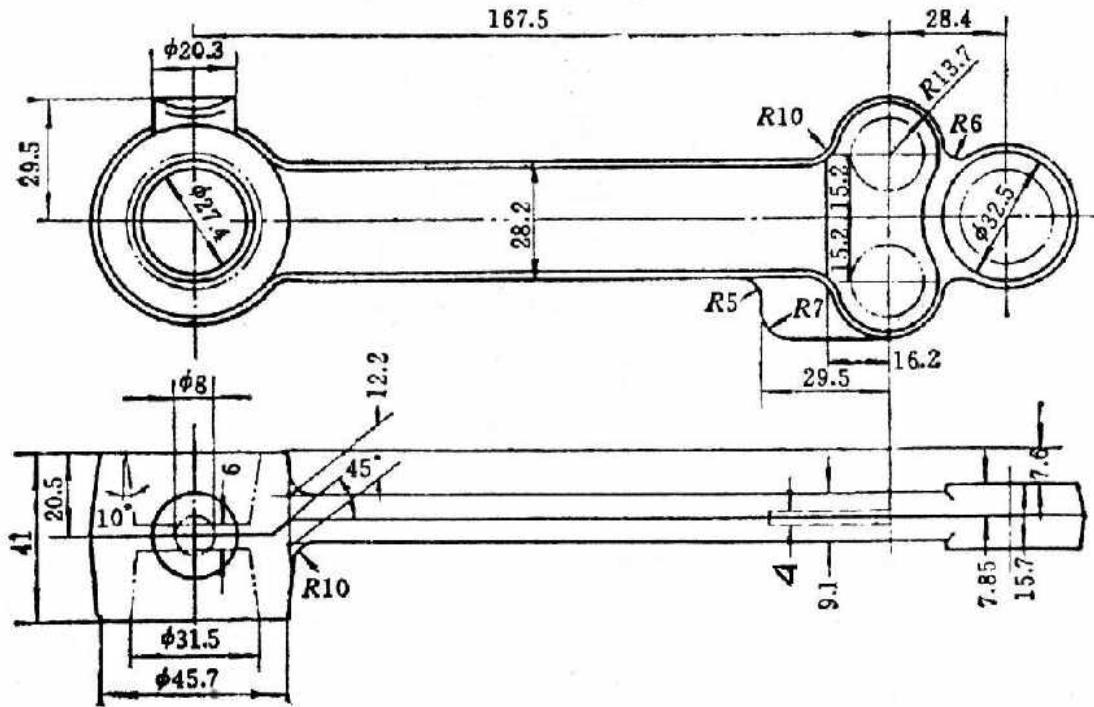


第二章 段压工艺

2.3 锻造工艺

(3) 确定锻孔

零件上大于25毫米的孔都应锻出，其余的孔不锻出。

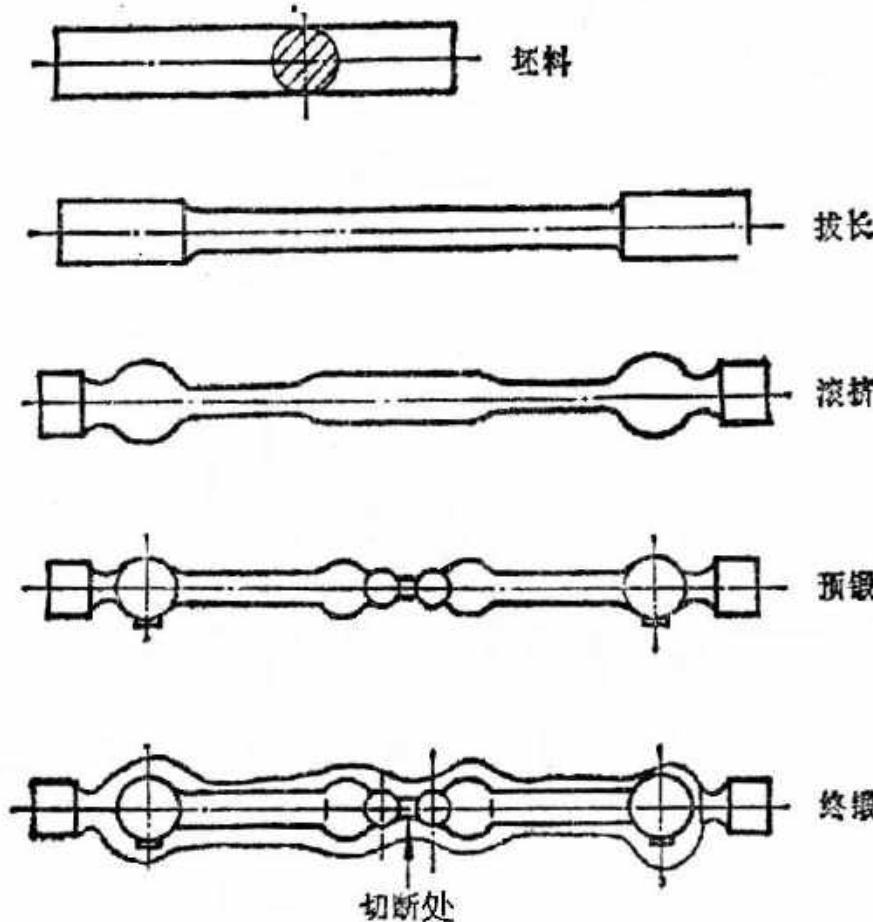


第二章 锻压工艺

2.3 锻造工艺

(4) 确定模锻工序

为提高生产率，采用一坯锻两件。因零件为长轴类零件，确定锻造工序为：拔长、滚挤、预锻、终锻和切断。

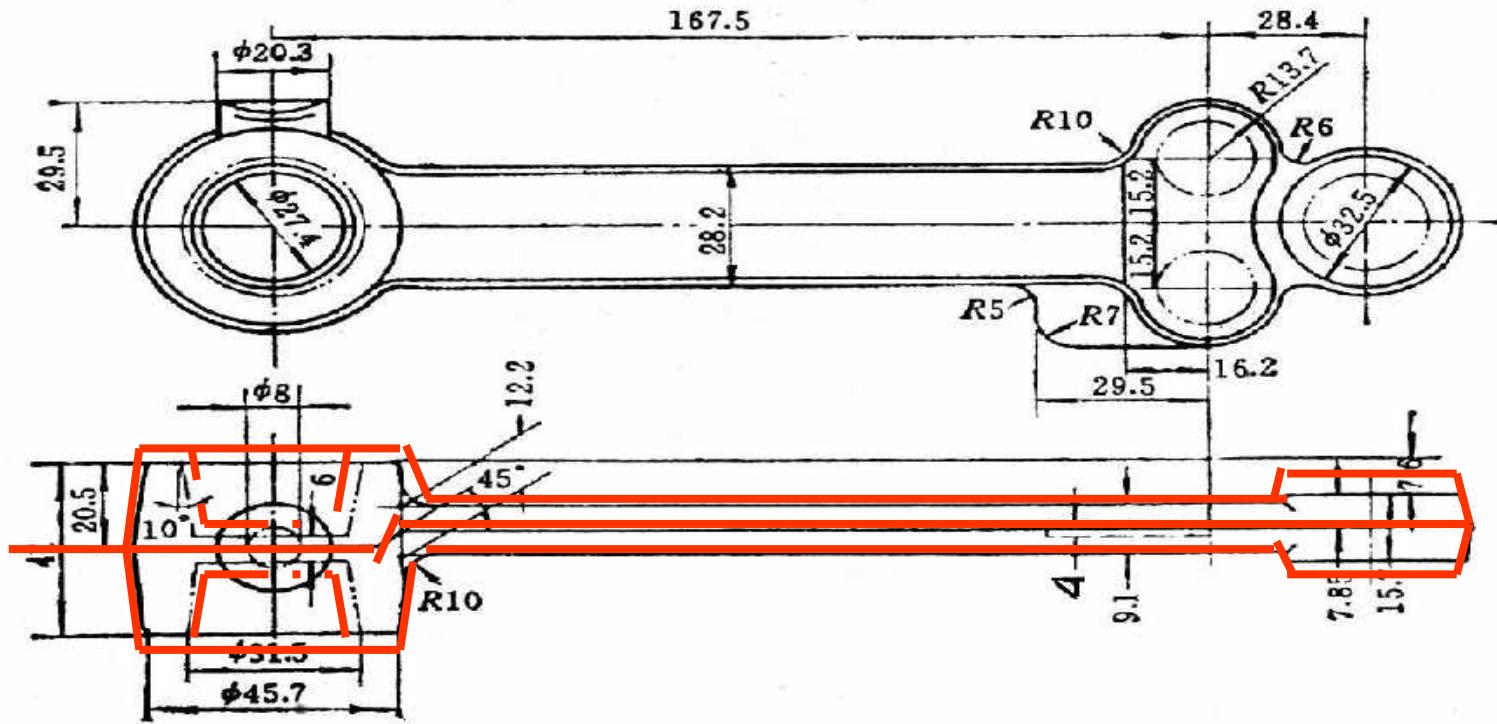


第二章 段压工艺

2.3 锻造工艺

(5) 绘制锻件图

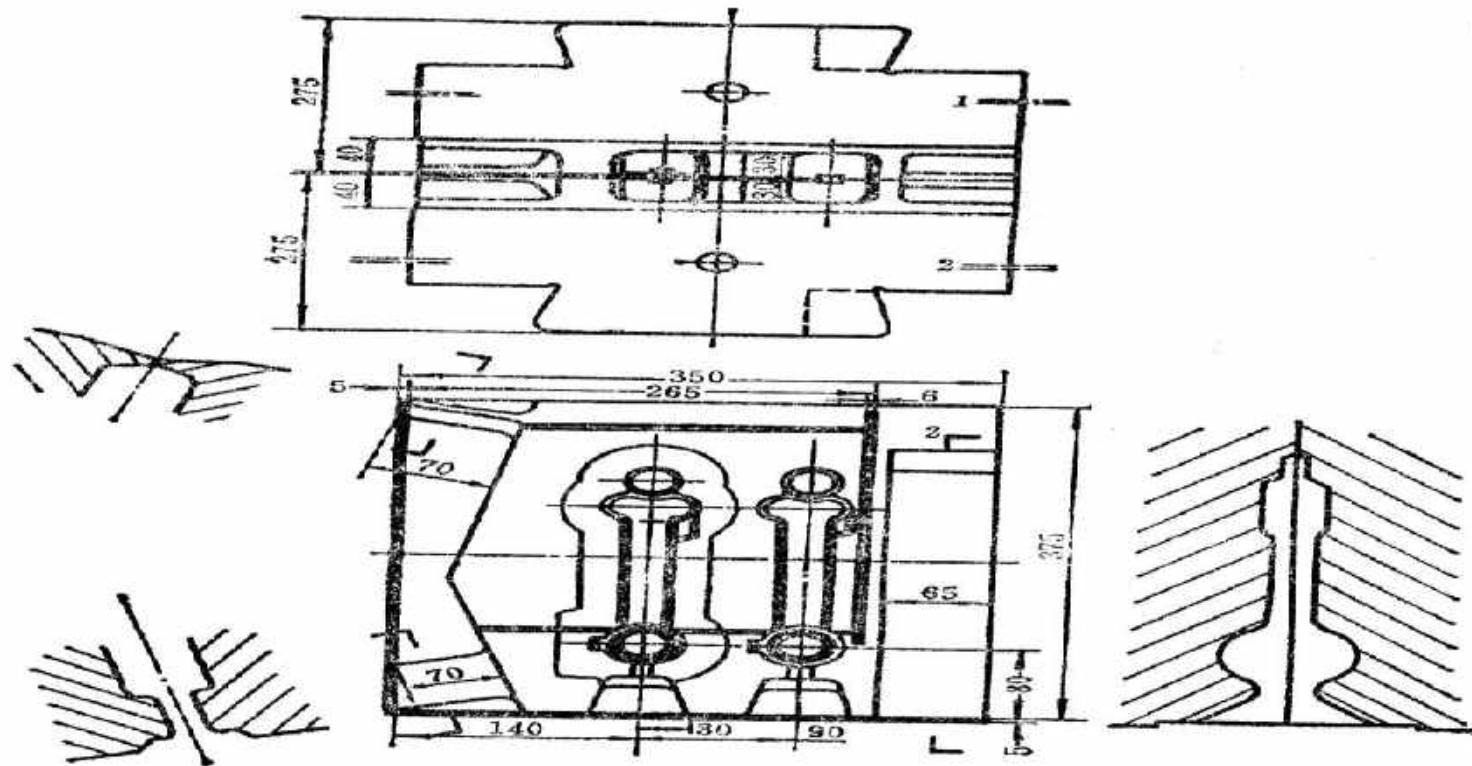
将分模面、加工余量、锻件公差、冲孔连皮、斜度和圆角半径加在零件图上。



2.3 锻造工艺

(6) 锻模设计

根据锻件图和工序图设计锻模。





机械制造工艺基础

主讲人：余圣甫

材料科学与工程学院

联系电话：13971277482

2020年4月12日



第二章 锻压工艺

2.3 锻造工艺

2.3.4 特种压力加工

发展了许多先进的工艺，如精密模锻、零件挤压、零件轧制和超塑性成形、高能高速成形等。

压力加工先进工艺的特点：

形状接近零件的实际形状，达到少无切削加工，纤维组织合理，力学性能和使用性能好的零件，具有更高的生产效率，

减小变形力，小的锻压设备上制造出大锻件，采用电加热和少无氧化加热，提高锻件表面品质，改善劳动条件。



第二章 段压工艺

2.3 锻造工艺

1、精密模锻

1、工艺过程：先用普通模锻工艺锻制中间坯料，对中间坯料进行严格清理，无氧化或少氧化气氛中加热，精锻。最大限度减少氧化，提高精锻件品质，精锻加热温度较低，精锻又称为温模锻。

2、精密模锻工艺特点：

- (1) 精确下料；
- (2) 坯料表面清理严格；
- (3) 加热气氛控制严格；
- (4) 锻模加工精度高；
- (5) 模锻时要很好地润滑和冷却锻模。



第二章 段压工艺

2.3 锻造工艺

1、精密模锻

(6) 由于精锻件一般不留或少留加工余量，高度（厚度），壁厚或肋宽等尺寸比一般模锻件的小，无论是镦粗成形，压入成形还是挤压成形，都将使变形抗力增大，尤其在室温或中温成形时，可能使模具的强度满足不了要求，这就要求采用一些可以降低变形抗力的工艺措施，例如等温成形。

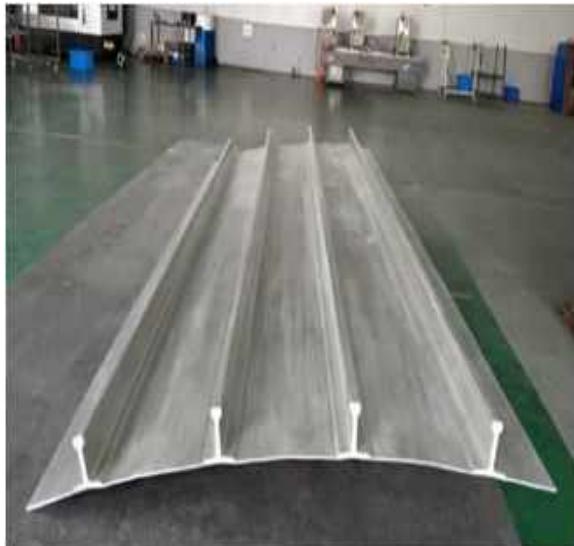
(7) 模锻时要很好的润滑和冷却锻模。钢件变形抗力较大，采用高温成形。先预锻，再进行温精压。

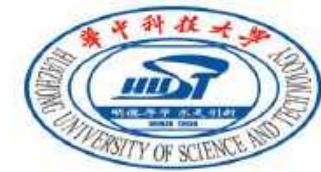
第二章 锻压工艺

2.3 锻造工艺

2、挤压

三个方向的压应力作用下，从模孔中挤入或流入模膛内以获得需形状和尺寸的制品的塑性成形工艺。在冶金厂，挤压方法用来生产复杂截面的型材。在机械制造厂，挤压方法广泛用来生产各种零件。





第二章 锻压工艺

2.3 锻造工艺

2、挤压

1、零件挤压的特点：

- (1) 挤压时金属坯料处于三向受压状态下变形，提高金属坯料的塑性。
- (2) 可以挤压出各种形状复杂、深孔、薄壁、异型截面的零件。
- (3) 零件精度高，表面粗糙度低。
- (4) 提高了零件的机械性能。
- (5) 节约原材料，材料利用率可达70%，生产率也很高，可比其它锻造方法提高几倍。

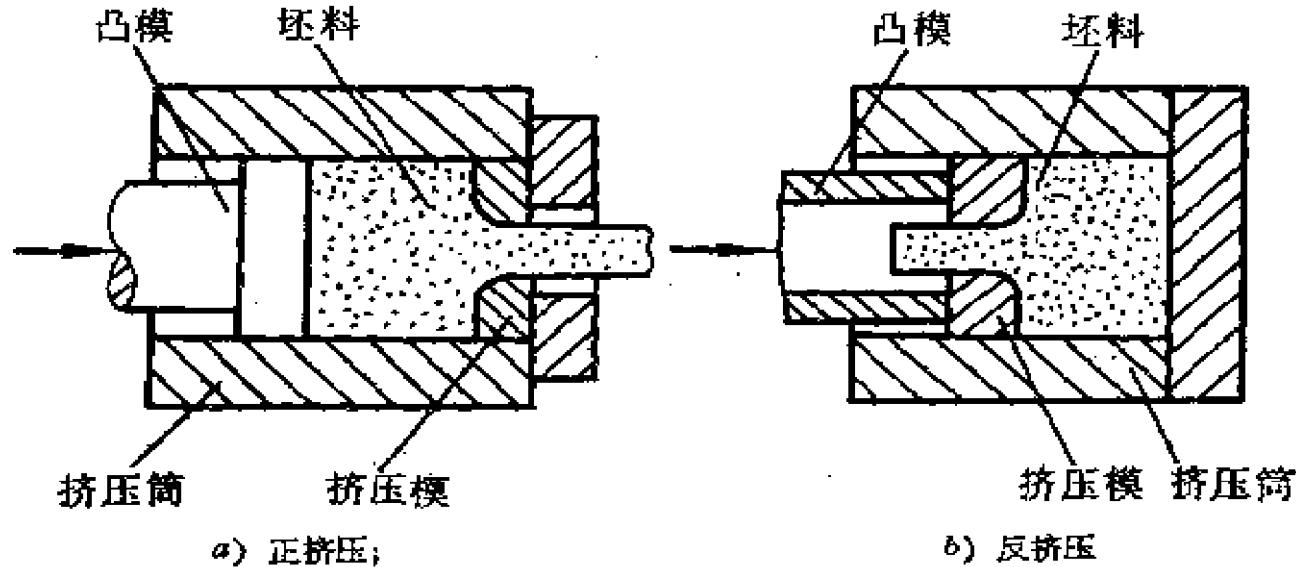
2.3 锻造工艺

2、挤压

2、零件挤压的类型：

1) 按金属流动方向与坯料运动方向分类：

①正挤压 ②反挤压 ③复合挤压 ④径向挤压



第二章 锻压工艺

2.3 锻造工艺

2、挤压

2、零件挤压的类型：

1) 按金属流动方向与坯料运动方向分类：

①正挤压 ②反挤压 ③复合挤压 ④径向挤压

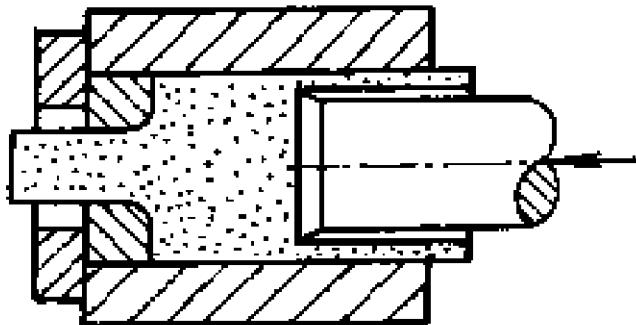


图 3-85 复合挤压

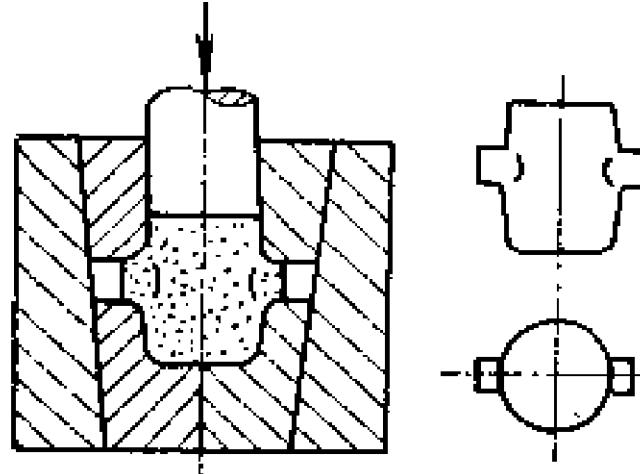


图 3-86 径向挤压



第二章 锻压工艺

2.3 锻造工艺

2、挤压

2、零件挤压的类型：

2) 按金属坯料所具有的温度分类：

(1) 热挤压：坯料变形温度高于材料的再结晶温度的挤压工艺；

(2) 冷挤压：坯料变形温度低于材料再结晶温度（经常是在室温下）的挤压工艺；

(3) 温挤压：坯料温度介于热挤压和冷挤压之间的挤压工艺。

2.3 锻造工艺

3、零件的轧制

轧制方法除了用来生产型材，板材和管材外，近年来常用来生产各种零体。

根据轧辊轴线与坯料轴线方向的不同，轧制分为：纵轧，横轧，斜轧等。





第二章 段压工艺

2.3 锻造工艺

3、零件的轧制

零件轧制的特点：

设备结构简单，吨位小。

劳动条件好，易于机械化和自动化，生产率高。

轧制模具可用价廉的球墨铸铁或冷硬铸铁来制造，节约贵重的模具钢材，加工也较容易。

锻件质量好。

材料利用率高，可达到90%以上，即达到少切屑，甚至无切屑。

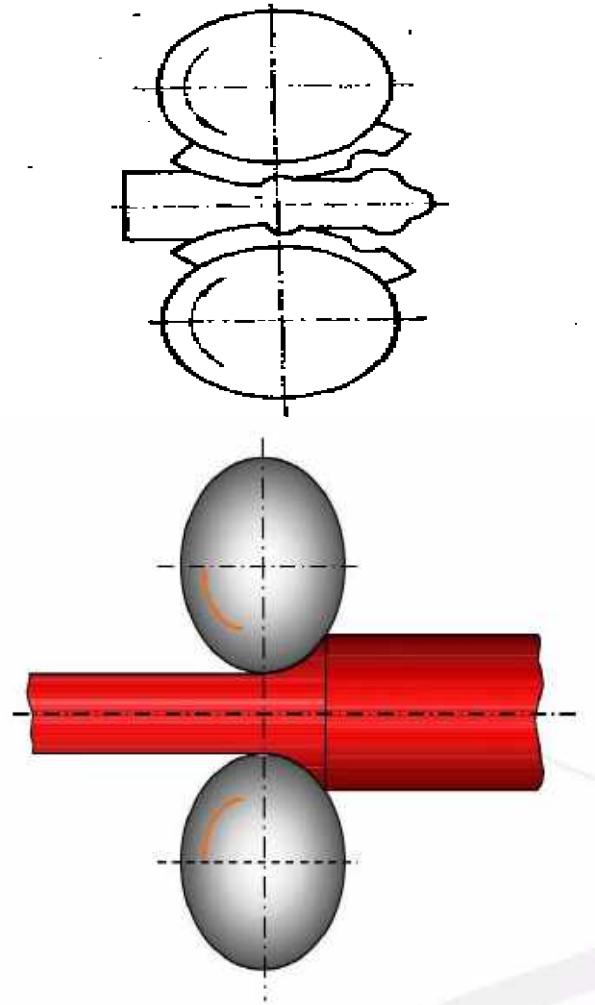
2.3 锻造工艺

3、零件的轧制

零件轧制的类型：

1) 纵轧：轧辊轴线与坯料轴线互相垂直的轧制方法，包括各种型材轧制、辊锻轧制、輥环轧制等。

(1) 辊锻轧制：辊锻是使坯料通过装有圆弧形模块的一对相对旋转的轧辊时，受压而变形的生产方法。



1. 轧制

2.3 锻造工艺

3、零件的轧制

(2) 辊环轧制：辊环轧制是用来扩大环形坯料的外径和内径，从而获得各种环状零件的轧制方法。

这种方法生产环类体其横截面可以是各种形状的，如火车轮箍、轴承座圈、齿轮及法兰等。

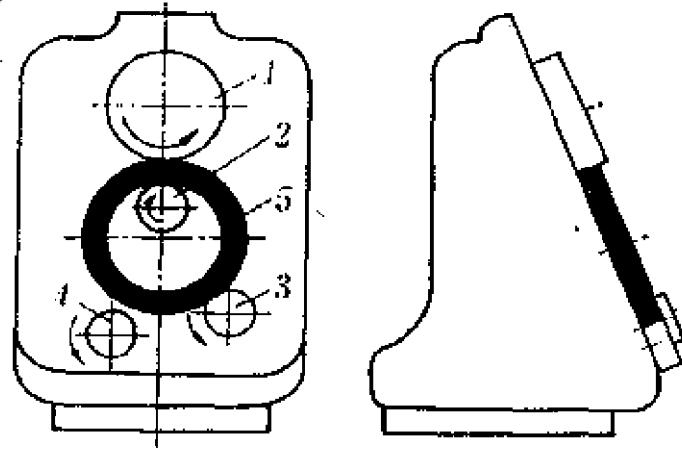


图 3-91 辊环轧制示意图



2.3 锻造工艺

3、零件的轧制

2) 横轧: 轧辊轴线与坯料轴线互相平行的轧制方法。如轧制齿轮等。

齿轮轧制是一种无屑或少屑加工齿轮的新工艺。直齿轮和斜齿轮均可用热轧制造。

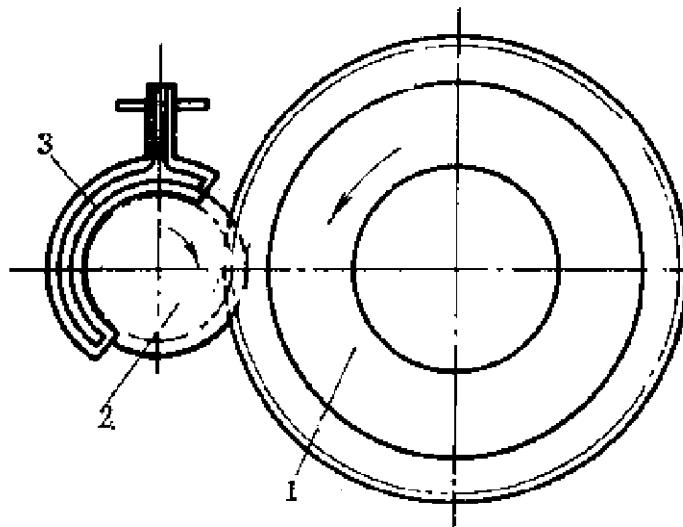


图 5.49 横轧示意图

2.3 锻造工艺

3、零件的轧制

3) 斜轧：也为螺旋斜轧。

轧辊轴线与坯料轴线成一定角度的轧制方法。如周期轧制、钢球轧制、冷轧丝杠。

螺旋斜轧采用两个带有螺旋型槽的轧辊互相交叉成一定角度，同方向旋转，使坯料在轧辊间既绕自身轴线转动，又前进，同时受压变形

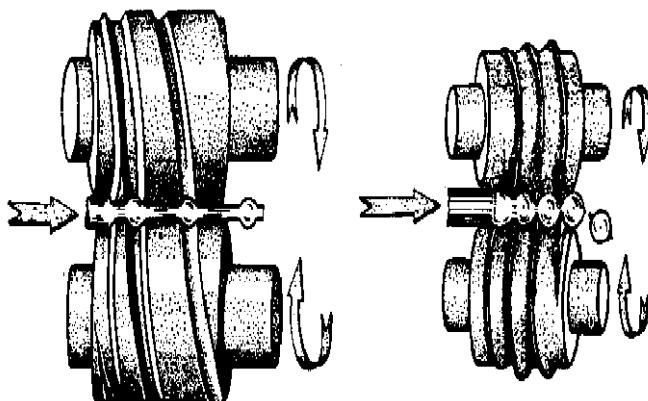
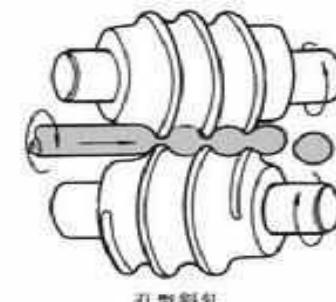
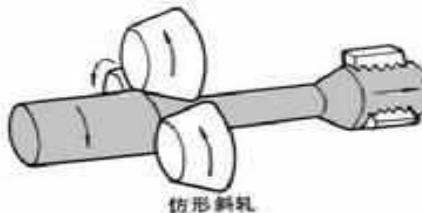


图 8-93 螺旋斜轧



孔型斜轧



仿形斜轧

图 8-94
斜轧示意图

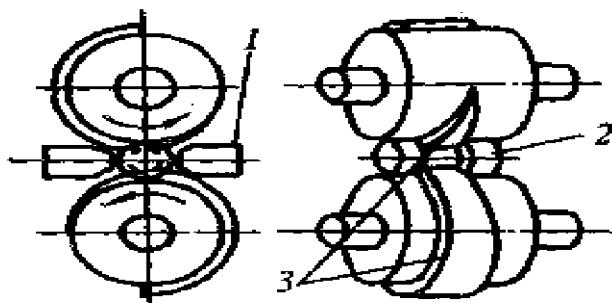
第二章 段压工艺

2.3 锻造工艺

3、零件的轧制

4) 楔横轧: 利用两个外表面镶有楔形凸块、并作同向旋转的平行轧辊对沿轧辊轴向送进的坯料进行轧制的方法称为楔横轧。

楔横轧变形过程主要是靠两个楔形凸块压缩坯料, 使坯料径向尺寸减小, 长度增加。



1—导板; 2—轧件; 3—带楔形凸块的轧辊
图 3-94 两辊式楔横轧

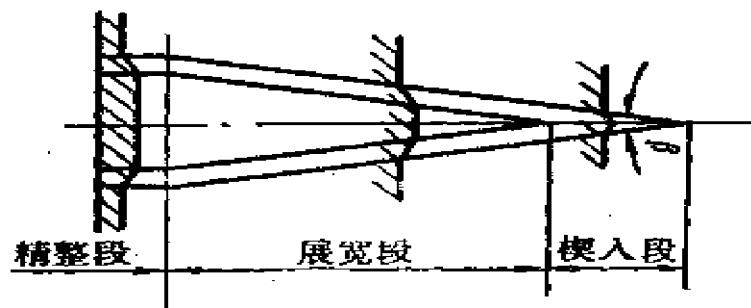


图 3-95 楔形凸块展开图

第二章 段压工艺

2.3 锻造工艺

4、超塑性成形

利用超塑性状态下金属均匀塑性变形的特性，在较高的温度和低的形变速率下，使金属产生大于100%的变形，获得形状复杂零件的压力加工工艺。

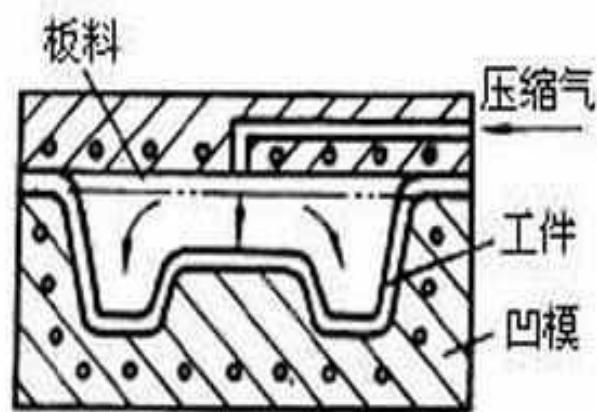
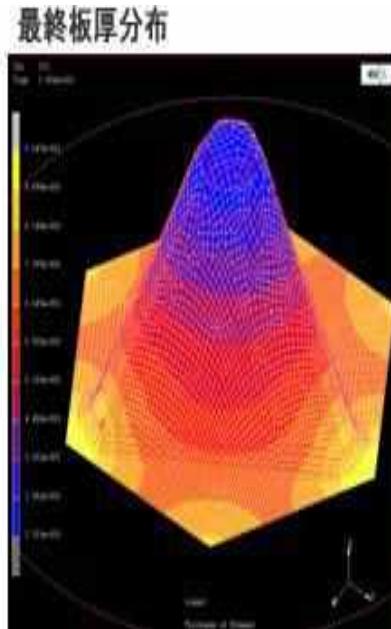
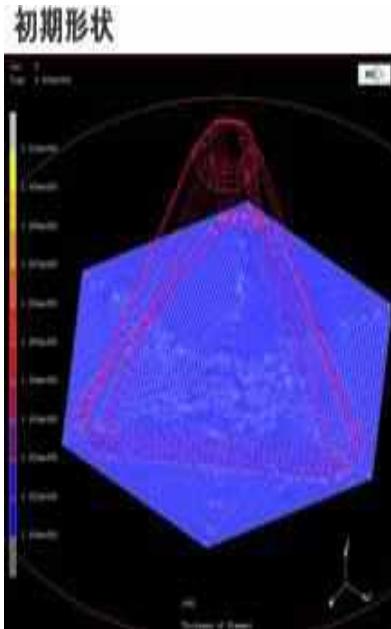


图 2 超塑气压胀形



第二章 段压工艺

2.3 锻造工艺

3、超塑合金及应用：

目前具有超塑性的合金主要为Zn-Al, Al-Cu, Al-Si, Cu-Al, Ti-Al, Mg-Zn, Fe-C, Fe-Ni等。

可在无弹性变形的情况下，一次吹制成形状复杂的零件，零件尺寸精度高。

4、零件的超塑成型：

（1）板料冲压：

当拉深系数很小时，必须进行多次拉深才能成型。但若在超塑状态下拉深，可一次拉深成型，零件尺寸精度高，无各向异性。

2.3 锻造工艺

(2) 板料的气压成形：

对形状复杂，表面有精细图案的零件，采用气压超塑成型的工艺，可简化工序，实现少无切削加工。

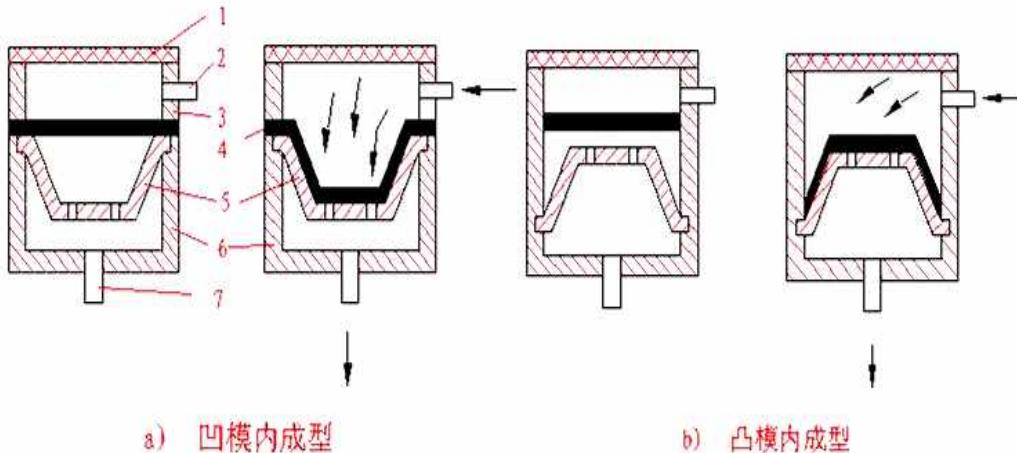
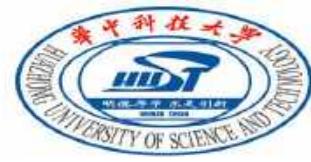


Figure 2. Integral panel with the dimensions 210x230 mm².



机械制造工艺基础

主讲人：余圣甫

材料科学与工程学院

联系电话：13971277482

2020年4月12日



第二章 段压工艺

2.4 冷塑性加工基础

冷塑性加工：在再结晶温度以下的塑性加工工艺。

板料的冲压：利用冲模使板料产生分离或变形，而得到制件的加工方法。又可以称为**冷冲压**。

板料冲压具有以下特点：

优点：

- (1) 可以冲压出形状复杂的零件，且废料较少。
- (2) 冲压件的形状和尺寸由冲模保证，冲压件的质量稳定，互换性好。
- (3) 能获得质量轻、材料消耗少、强度和刚度都较高的零件。



第二章 段压工艺

2.4 冷塑性加工基础

(4) 冲压操作简单，易于实现机械化和自动化。

缺点：冲模制造复杂，成本高，
只有在大批量生产条件下。

板料冲压所用材料：

轧制钢板和钢带，铜、铝合金及不锈钢等。

冲压所用设备：剪床和冲床。

冲压生产基本工序：分离工序和成形工序。

分离工序：使坯料的一部分与另一部分互相分离的工序，如落料、冲孔、切断和修边。

切断：将板料沿不封闭曲线分离的一种方法

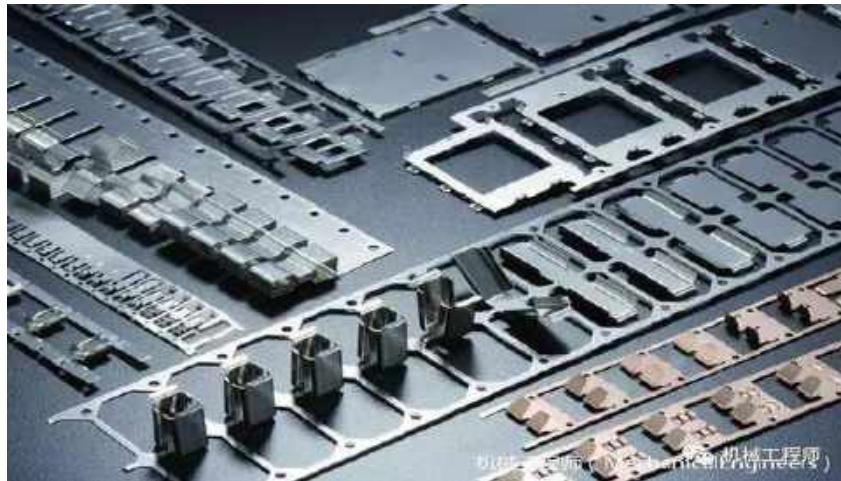
2.4 冷塑性加工基础

冲裁：利用冲模以封闭轮廓与坯料分离的冲压方法。
其有：落料和冲孔两种形式。

落料：被分离部分为成品，留下部分为废品。

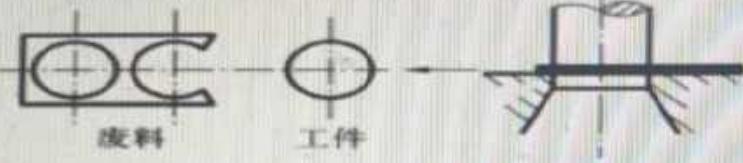
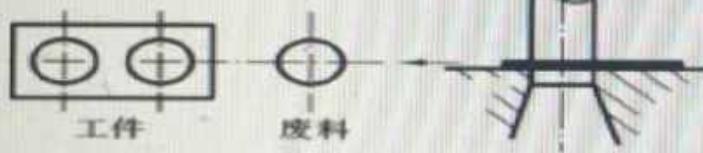
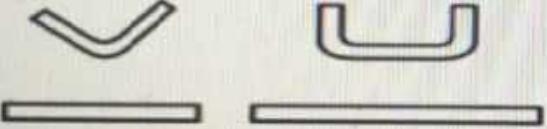
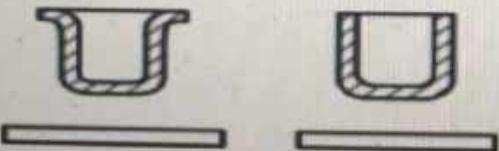
冲孔：被分离部分为废品，留下部分为成品。

成形工序：使坯料的一部分相对另一部分产生位移而不破坏的工序。如拉伸、弯曲、翻边、胀形



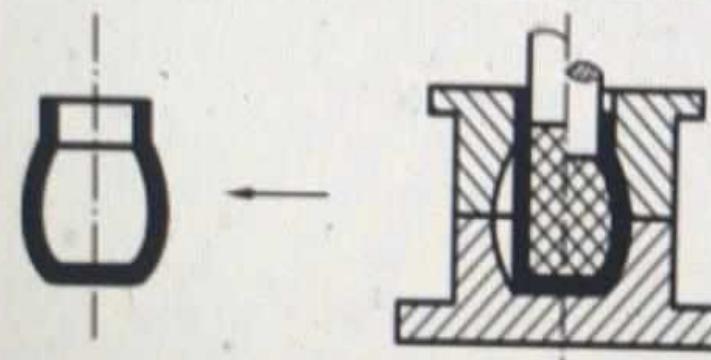
2.4 冷塑性加工基础

表 2-2 板料冲压的基本工序

工序性质	工序名称	工序简图	工序定义	典型零件
分离工序	落料	 废料 工件	用模具沿封闭线冲切板料，冲下的部分为工件，其余部分为废料	
	冲孔	 工件 废料	用模具沿封闭线冲切板材，冲下的部分是废料，其余部分为工件	
成形工序	弯曲		将板料弯成一定角度或一定形状	
	拉深		将平板坯料变成任意形状的空心件	

第二章 段压工艺

2.4 冷塑性加工基础

工序性质	工序名称	工序简图	工序定义	典型零件
成形工序	翻边		将板料或工件上有孔的边缘翻成竖立边缘	
	胀形		使空心件（或管料）的一部分沿径向扩张，呈凸肚形	

2.4 冷塑性加工基础

1. 冲裁变形过程

冲裁过程大致可以分成三个阶段：
弹性变形阶段，塑性变形阶段，断裂分离阶段

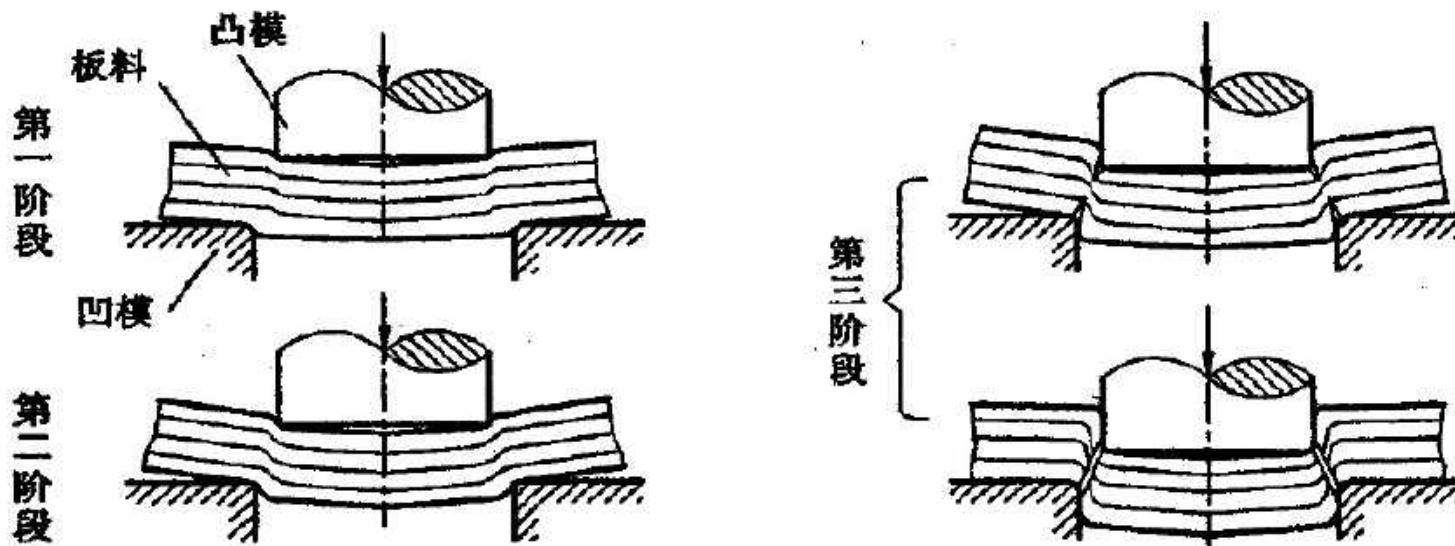


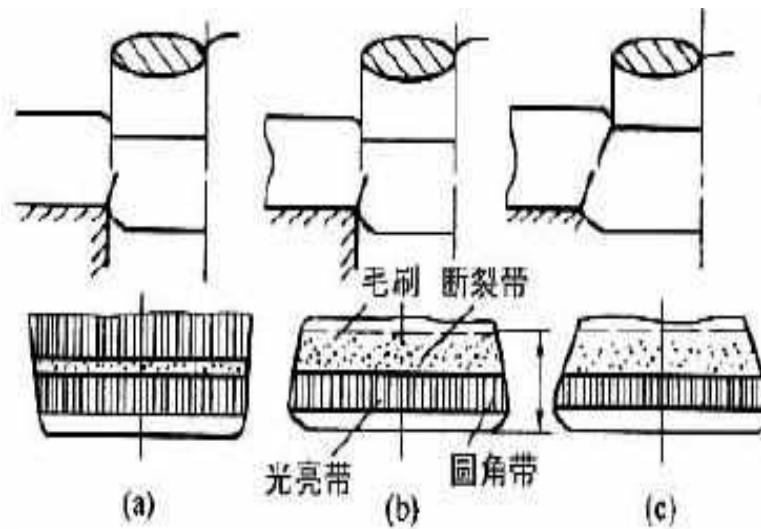
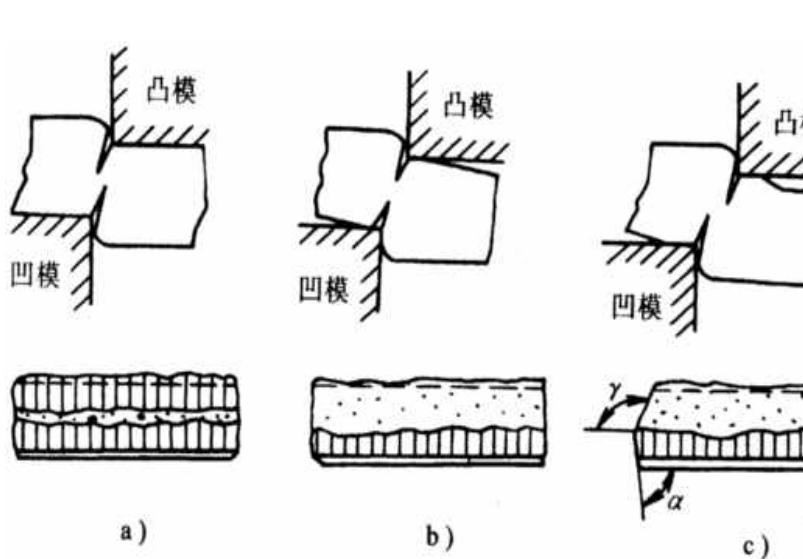
图 8-1 冲裁变形过程

2.4 冷塑性加工基础

2. 间隙对切断面质量的影响

间隙：冲裁模的凸模一般都小于凹模，在凸模和凹模间存在的适当空隙成为间隙。

- (1) 模具间隙影响落料或冲孔质量。
- (2) 模具间隙影响模具寿命。

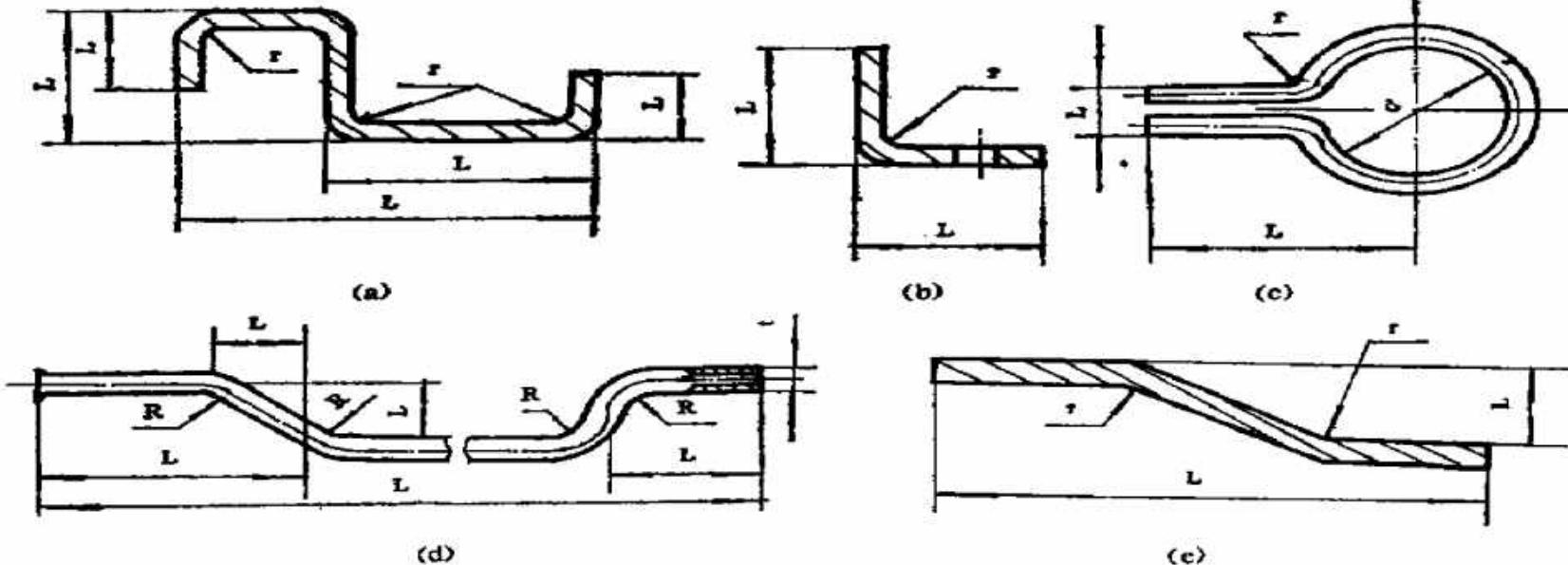


2.4 冷塑性加工基础

3. 板料成形时的变形过程

(1) 弯曲变形：弹性变形

塑性变形，不允许产生微裂纹。



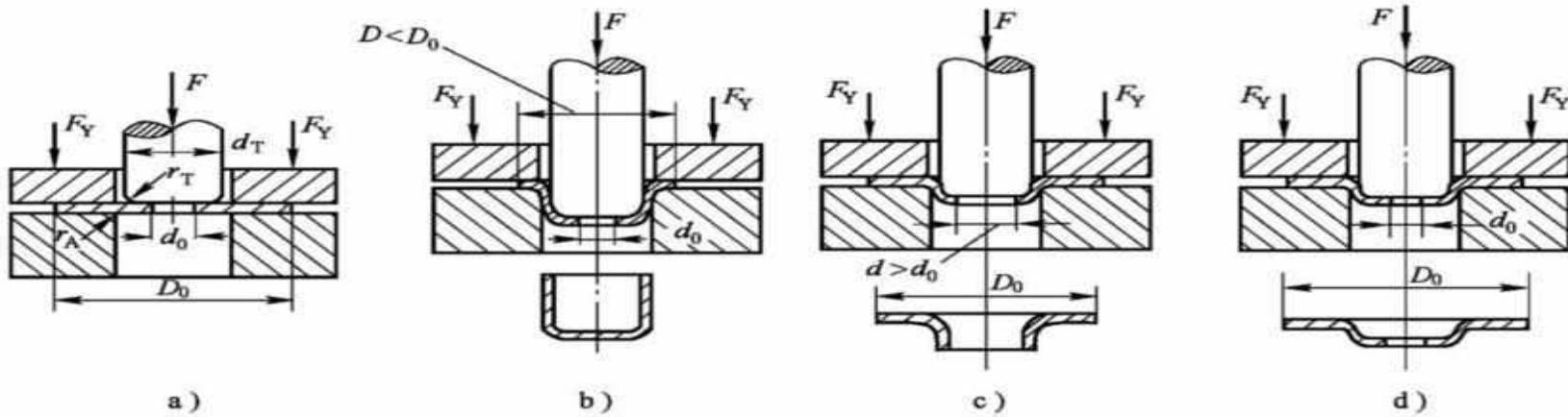
第二章 段压工艺

2.4 冷塑性加工基础

3. 板料成形时的变形过程

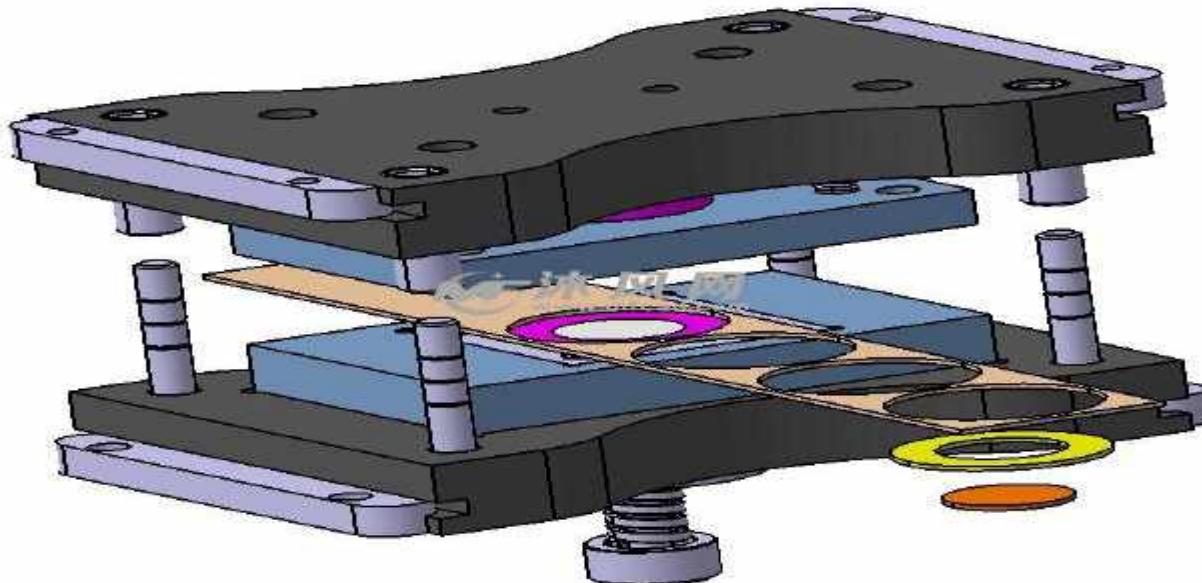
(2) 板料的拉深变形：利用模具

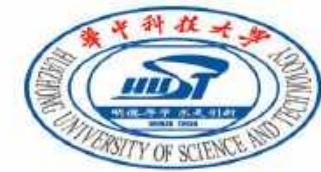
使冲裁后得到的平板毛坯变形
成开口空心零件的工序



2.5 冲裁工艺

冲裁：使坯料按封闭轮廓分离的工序，包括落料和冲孔工序。落料时，冲落部分为成品，余下为废料，冲孔是获得带孔的冲裁件，冲落部分为废料。





第二章 段压工艺

2.5 冲裁工艺

1. 凸模与凹模刃口尺寸的确定

冲裁模合理间隙是由凹模和凸模刃口尺寸及其公差来保证的，因此必须正确决定冲裁模刃口尺寸。

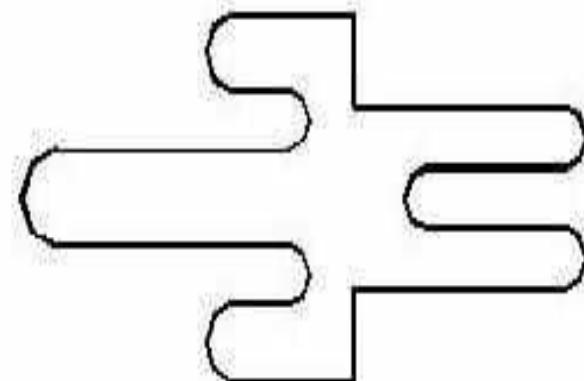
模具刃口尺寸的确定

(1) 落料模具刃口尺寸的确定

(2) 下料模具刃口尺寸的确定

2. 冲裁模的结构工艺性

1) 冲裁件的形状



2.5 冲裁工艺

2) 冲裁件的圆角

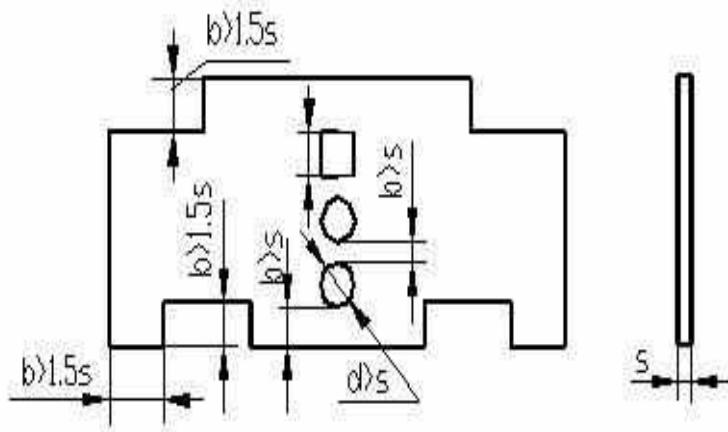
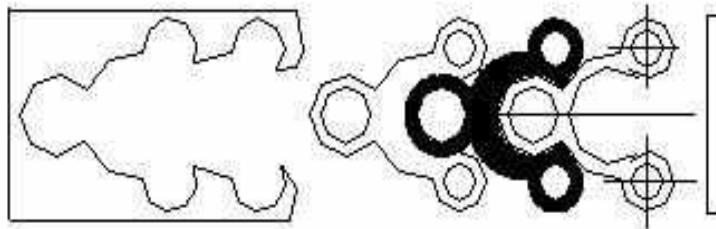
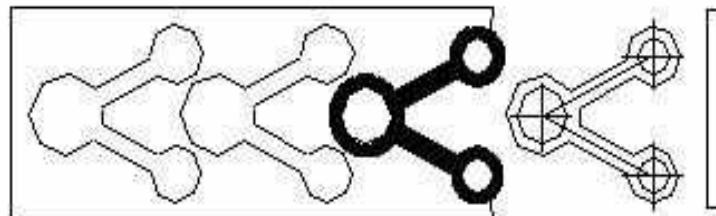
所有拐角均应有圆弧连接。

3) 冲裁件的孔径及孔位距 孔及有关尺寸：

孔 $d > S$, 方孔边长 $b > 0.9S$,

孔间距、孔边距 $b > S$, 外缘

凸出或凹进 $b > 1.5S$.



第二章 段压工艺

2.5 冲裁工艺

4. 精密冲裁

精密冲裁是变形区受力状态为三向压应力状态，变形状态为平面应变，故精冲时材料的塑性变形过程可视为纯剪切过程。

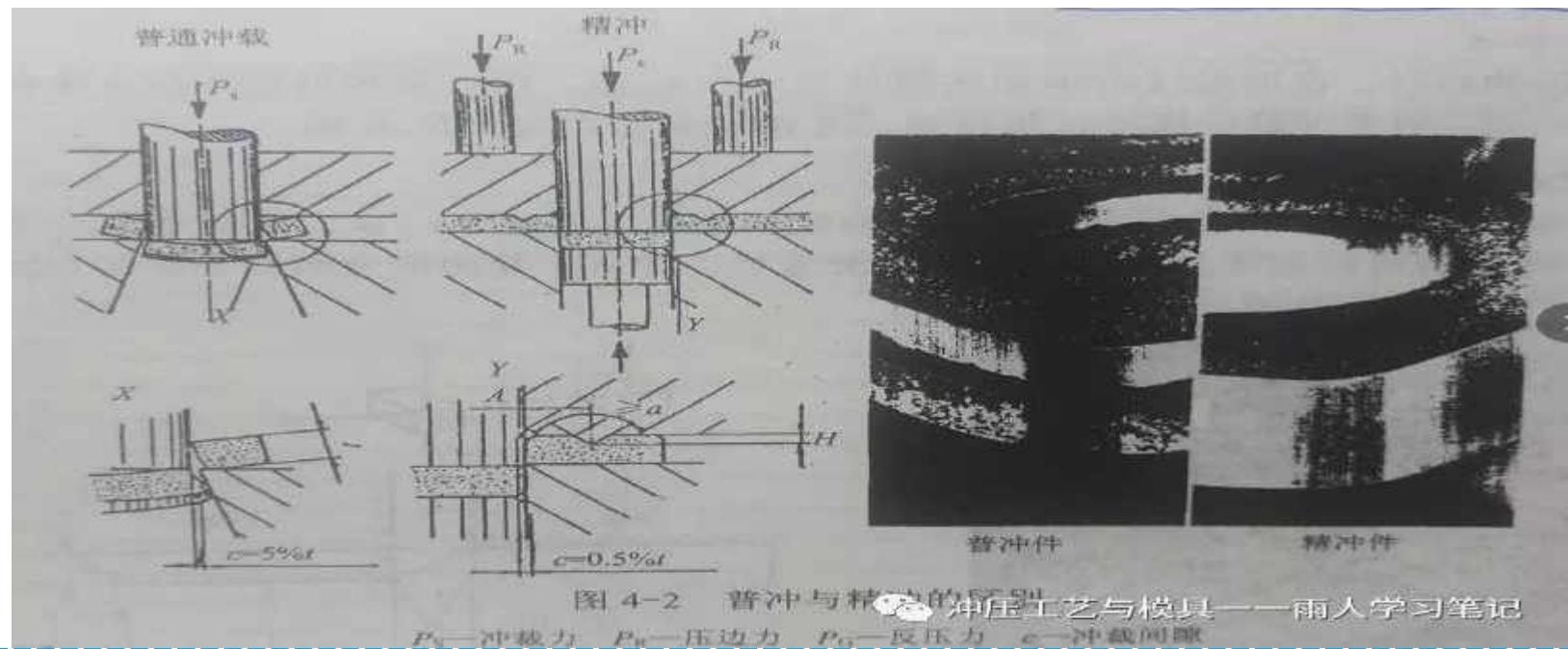
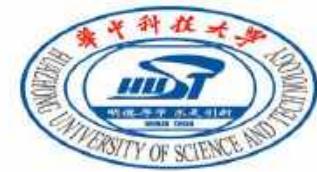


图 4-2 普冲与精密的冲裁工艺与模具——雨人学习笔记

P_1 —冲裁力 P_2 —压边力 P_3 —反压力 c —冲裁间隙



第二章 滚压工艺

2.6 成形工艺

1. 弯曲

将坯料弯成具有一定角度和形状的工艺方法。

1. 弯曲工艺及特点

回弹：在弯曲结束后，由于弹性变形的恢复，坯料略微弹回一点，使被弯曲的角度增大。此现象称为“回弹”。

2. 弯曲伸长与尺寸计算

弯曲件的展开长度为： $L_{\text{总}} = \sum L_{\text{直边}} + \sum L_{\text{弯曲}}$

3. 柔性模与管子的弯曲

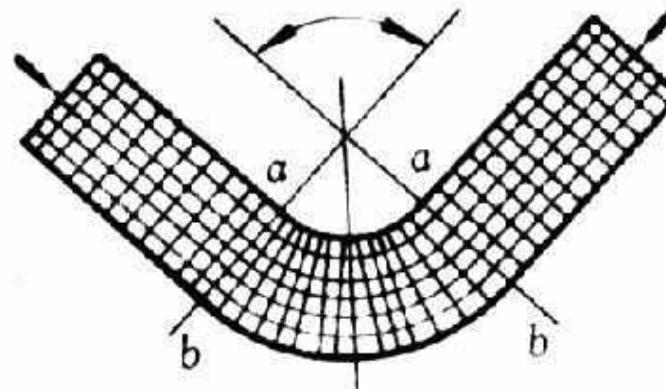
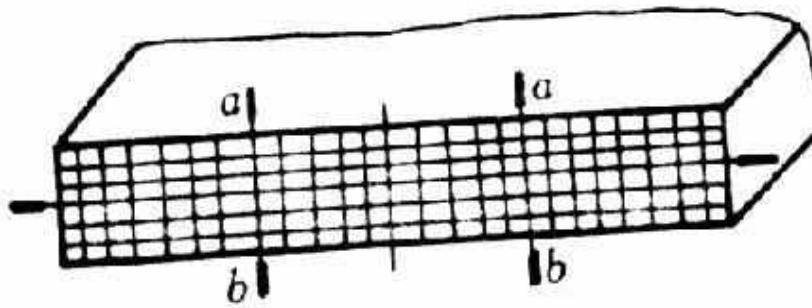
2.6 成形工艺

1. 弯曲

1) 弯曲变形过程:

(1) 变形区集中在圆角部分, 正方形网格变成了扇形。

(2) 纵向纤维受拉而伸长(外侧), 内侧受压而缩短, 在拉伸向压缩过渡处的纤维长度不变, 称应变中性层。



2.6 成形工艺

1. 弯曲

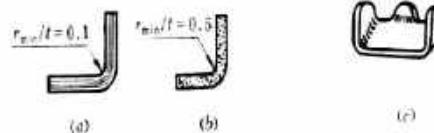
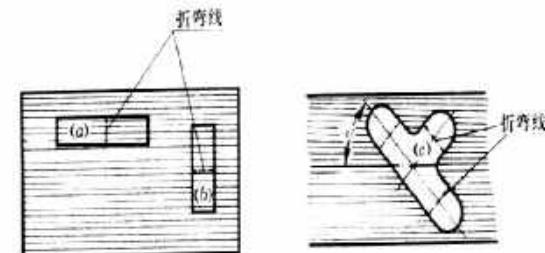
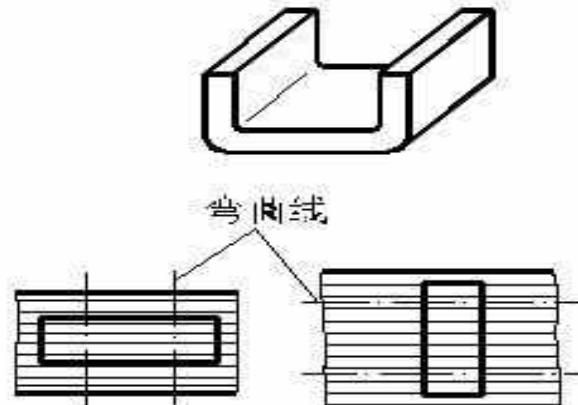
2) 最小弯曲半径:

工件内表面所能弯曲的最小圆角半径 r_{min} 。

$$r_{min} = (0.25 \text{---} 1) \cdot S$$

材料塑性愈好, r_{min} 愈小
弯曲时还应尽可能使弯曲线
与 坯料纤维方向 垂直。

弯折线与材料纤维垂直时,
不易弯裂, r_{min} 可较小。



2.6 成形工艺

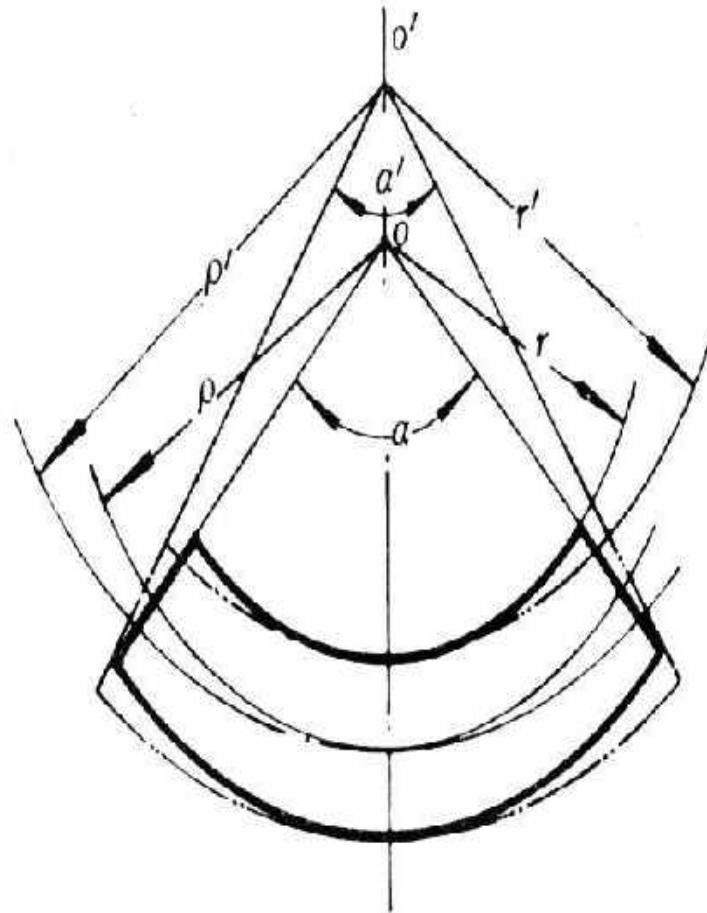
1. 弯曲

3) 弯曲件的回弹:

因弯曲塑性变形的同时，也产生弹性变形，所以，当外力消除时，弯曲件将产生弹性恢复，称为回弹

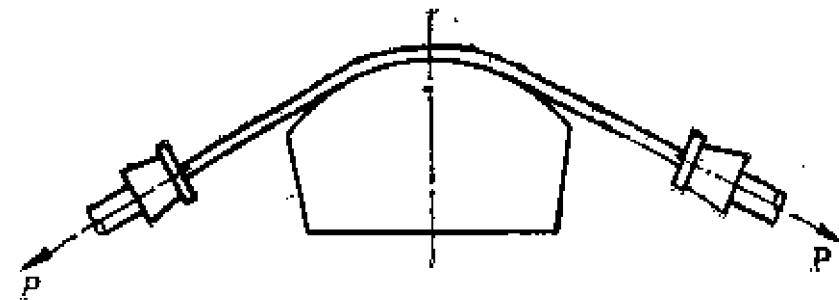
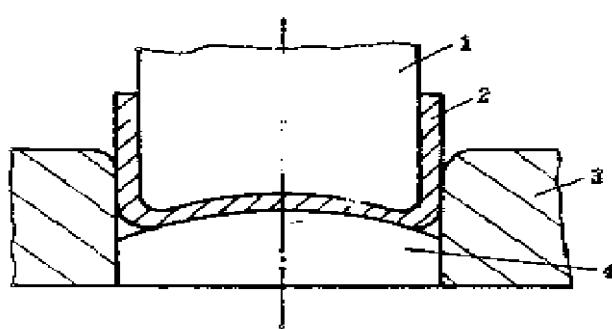
。回弹角 $\Delta\alpha = 3\sigma_s \rho \alpha / E S$
(0-10°).

模具角度 $\alpha = \alpha_0 - \Delta\alpha$



2.6 成形工艺

弹复现象会影响弯曲件的尺寸精度。弹复角的大小与材料的机械性能、弯曲半径、弯曲角等因素有关。材料的屈服强度越高、弹复角越大、弯曲半径越大(弯曲程度越轻)，则在整个弯曲过程中，弹性变形所占的比例越大，弹复角则越大，曲率半径大的零件不易弯曲成形。为了克服弹复现象对弯曲零件尺寸的影响，通常采取的措施是利用弹复规律，增大凸模压下量，或适当改变模具尺寸，使弹复后达到零件要求的尺寸。



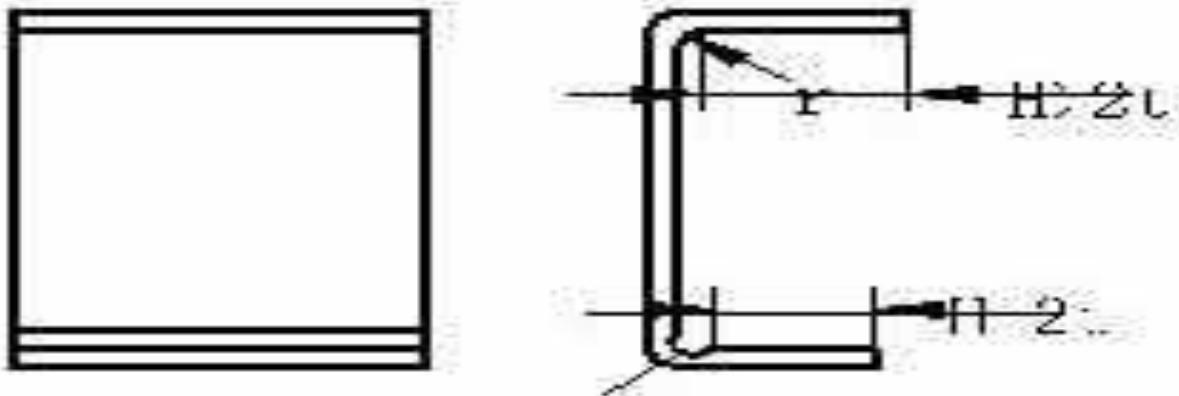
2.6 成形工艺

对弯曲件的要求：

形状对称，弯曲半径不能小于最小弯曲半径，材料的纤维方向应与弯曲线垂直或交叉。

弯曲边过短不易弯成型，应使弯曲边高度 $H > 2s$ 。

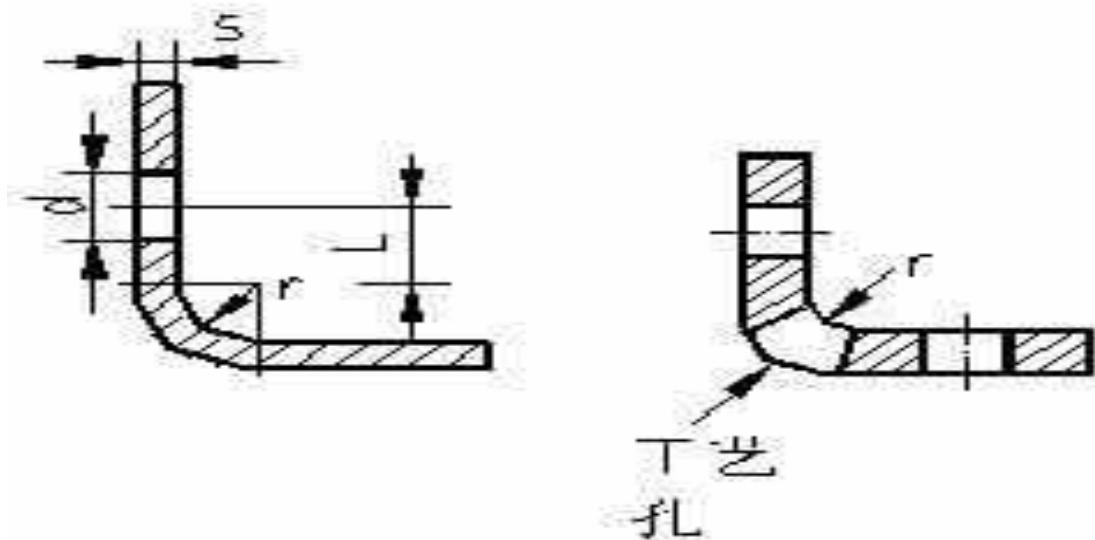
若 $H < 2s$ ，必须压槽，增加弯曲边高度，然后加工去掉。

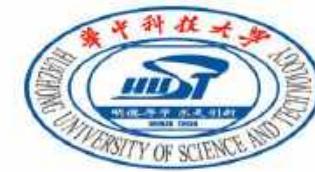


第二章 滚压工艺

2.6 成形工艺

弯曲带孔件时，为避免孔的变形，孔的边缘距弯曲中心应有一定的距离。 $L > 1.5-2s$ 。当 L 过小时，可在弯曲线上冲工艺孔，如对零件孔的精度要求较高，则应弯曲后再冲孔。





第二章 段压工艺

2.6 成形工艺

除弯曲和拉深以外的冲压成形工艺，包括胀形、翻边等。共同特点是通过局部变形改变形状和尺寸。变形特点不同，其中伸长类易产生拉裂，而压缩类易产生失稳起皱。

1) 胀形：

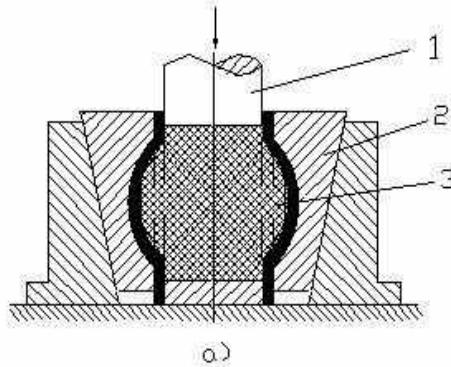
胀形主要用于平板毛坯局部胀形（或叫起伏成型），如压制凹坑，加强筋，起伏形的花纹及标记等。另外，管类毛坯的胀形（如波纹管）、平板毛坯的拉形等，均属胀形工艺。

2.6 成形工艺

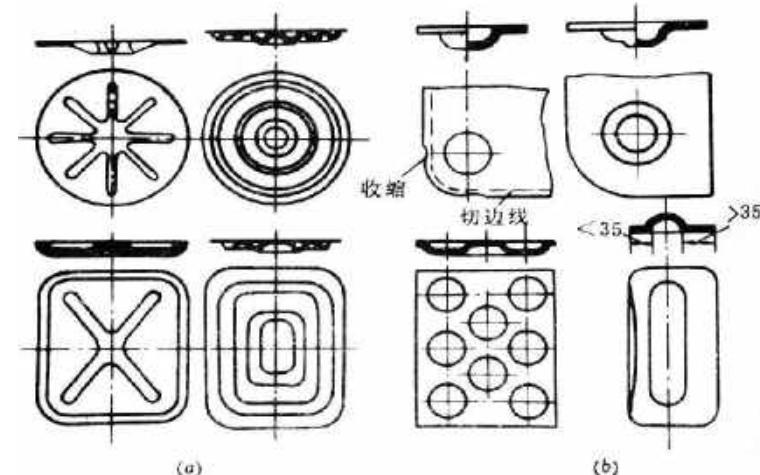
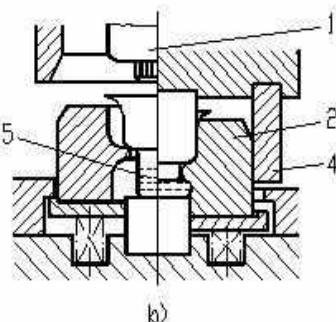
坯料的塑性变形局限于一个固定的变形区内。

极限变形程度取决于材料的塑性。

模具分为刚模和软模两类。软模变形均匀，易于保证精度，可成形复杂空心零件，应用广泛。



1-凸模 2-分块凹模 3-橡胶 4-侧模 5-液体



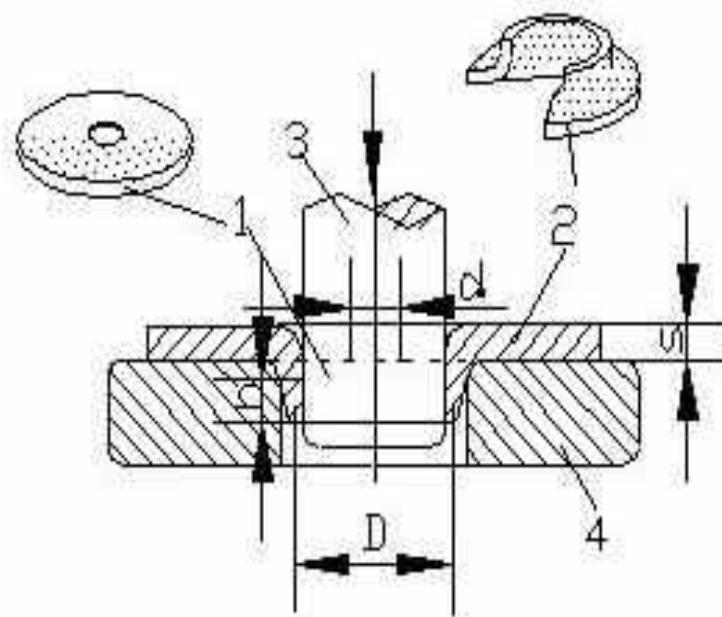
2.6 成形工艺

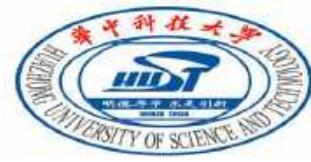
翻边是在坯料的平面部分或曲面部分上使板料沿一定的曲率翻成竖立边缘的冲压成型方法。内孔翻边和外缘翻边。

内孔翻边变形程度可用翻边系数 $K_0=d/D$ 表示。

板料不产生翻裂的最小 K_0 值称为极限翻边系数。愈小，翻边愈容易。

当凸缘较高，一次翻边成形困难时，可采用先拉深、后冲孔、再翻边工艺来实现。





机械制造工艺基础

主讲人：余圣甫

材料科学与工程学院

联系电话：13971277482

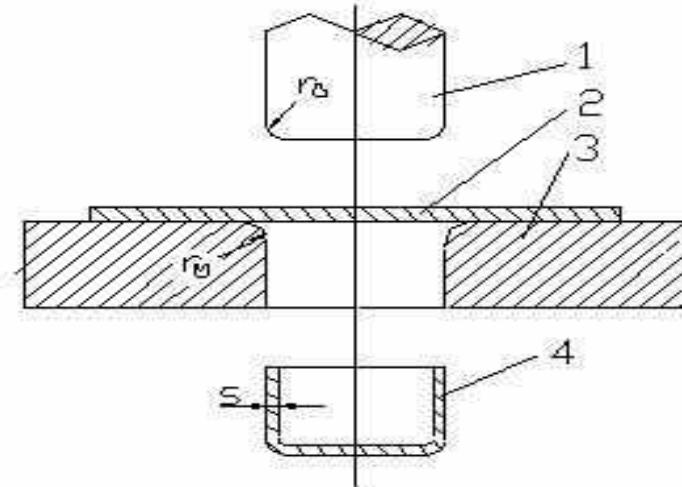
2020年4月12日

第二章 滚压工艺

2. 拉深

拉深是利用拉深模使平面坯料（工序件）变成开口空心件的冲压工序。拉深可以制成筒形、阶梯形、盒形、球形、锥形及其它复杂形状的薄壁零件。

1) 拉深变形过程及特点：



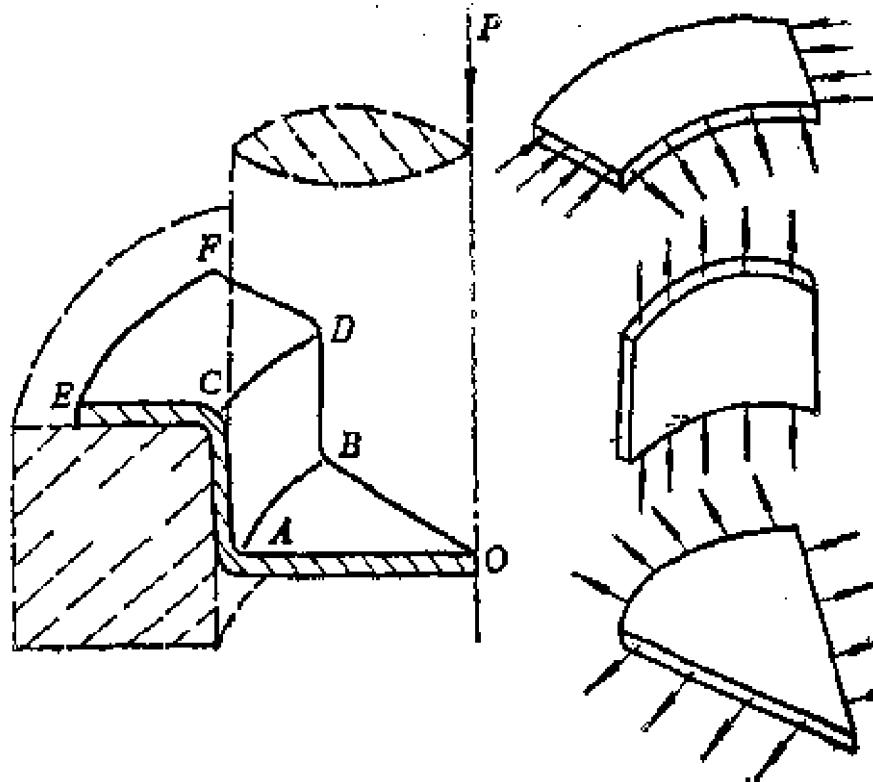
1-凸模 2-毛坯 3-凹模 4-工件

图9-7 圆筒形零件的拉深



第二章 挤压工艺

2. 拉深



a) 变形过程

b) 应力分布

图 2-66 拉深过程中的变形和应力

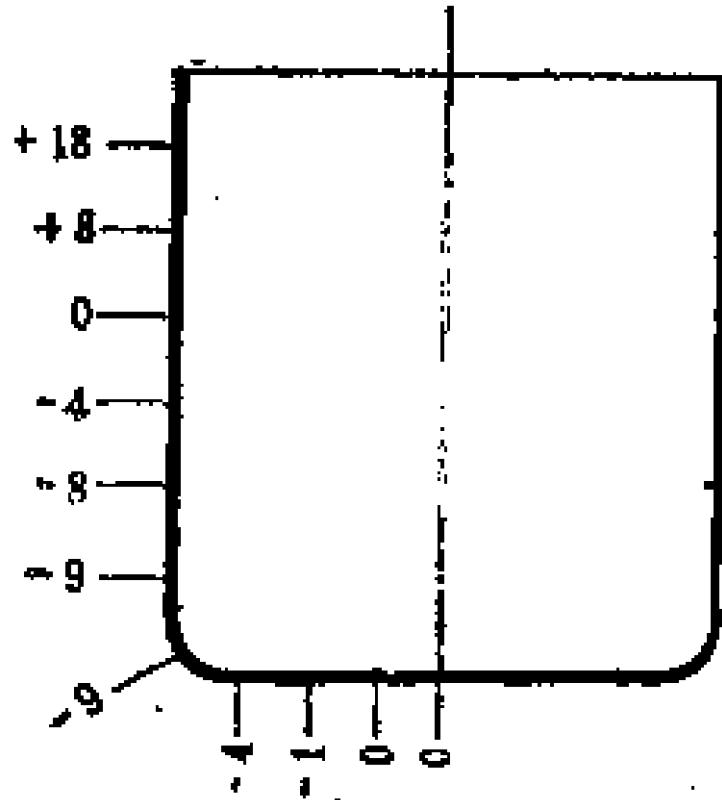


图 2-67 圆筒形拉深件壁厚的变化率(%)

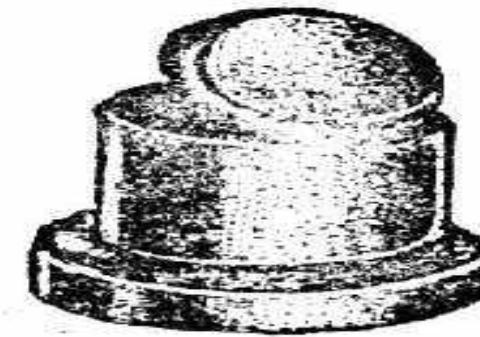
2. 拉深

2) 拉深中常见废品及防止措施：

拉裂：拉伸件中最危险的部位是直壁与底部的过渡圆角处，当拉应力超过材料的强度极限时，此处将被“拉裂”。防止“拉裂”的措施是：

拉深件直径d与坯料直径D的比值称为拉深系数，用m表示，即 $m = d/D$ 。

$M=0.5 \sim 0.8$ 。如果拉深系数过小，不能一次拉深成形时，则可采用多次拉深工艺。



第二章 深压工艺

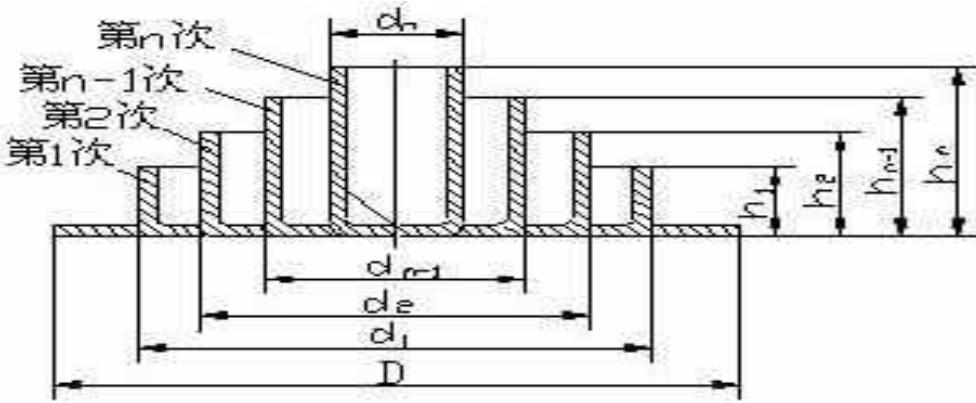
2. 拉深

总的拉深系数 $m_{\text{总}} = m_1 \times m_2 \times \dots \times m_n$ 。

凸凹模的圆角半径：材料为钢的拉深件，取 $r_{\text{凹}} = 10s$ ，而 $r_{\text{凸}} = (0.6 \sim 1) r_{\text{凹}}$ 。这两个圆角半径过小，产品容易拉裂。

凸凹模间隙：一般取 $Z = (1.1 \sim 1.2) s$ 。

注意润滑、退火、温差成形、软模成形。



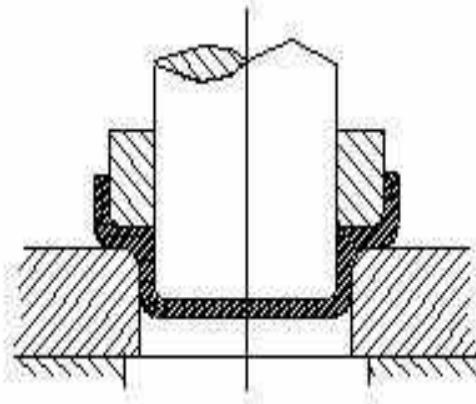
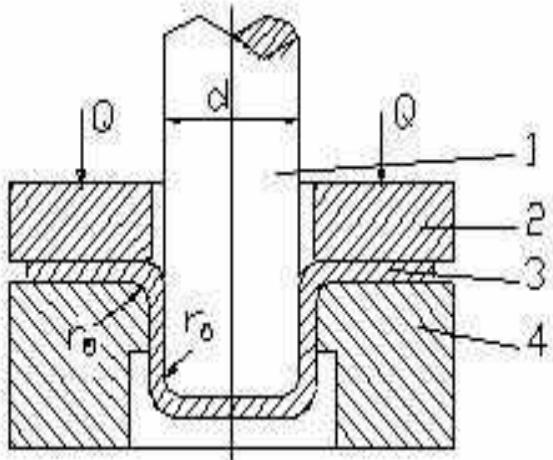
第二章 深压工艺

2. 拉深

(2) 起皱: 在凹模圆角处, 切向压应力过大, 板料过薄, 易产生失稳起皱。

坯料相对厚度 S/D_0 愈小, 愈易起皱。 m 愈小, 愈易起皱。 $S/D_0 \geq (0.09-0.17)(1-m)$.

采用压边圈: 因厚向压力作用, 阻止凸圆拱起。

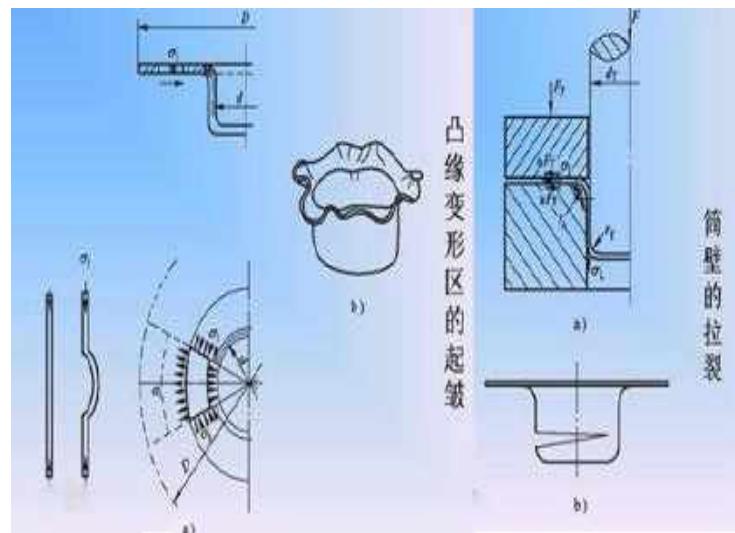
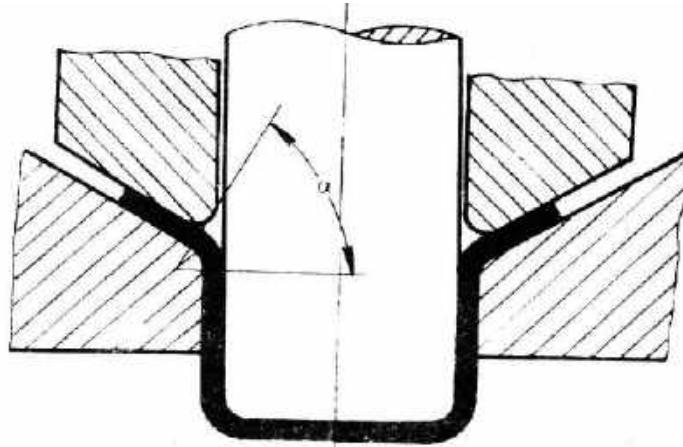


第二章 深压工艺

2. 拉深

采用反拉深：将已拉深件套于凹模，凸模压在坯件底部，进行与前相反的拉深。因凸缘处摩擦阻力、弯曲力和径向拉应力增大，因此可防止起皱。

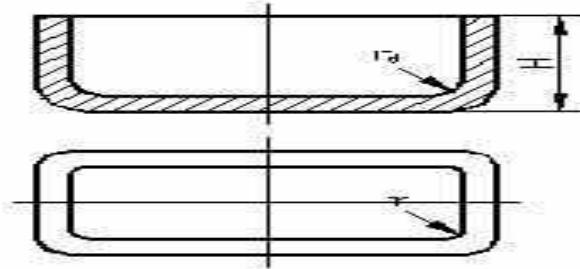
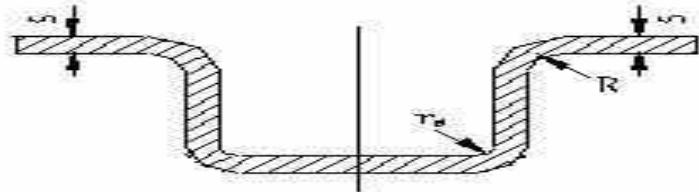
采用锥形凹模：毛坯的过渡形状成曲面形，外缘变形区具有更强的抗失稳能力，能较好地防止起皱。



2. 拉深

(3) 对拉深件的要求:

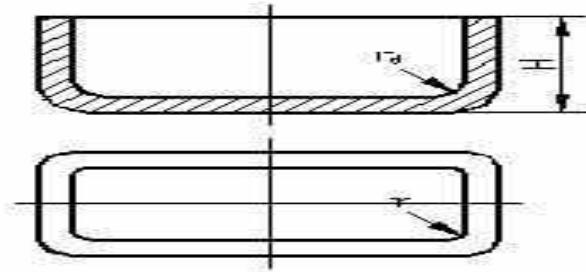
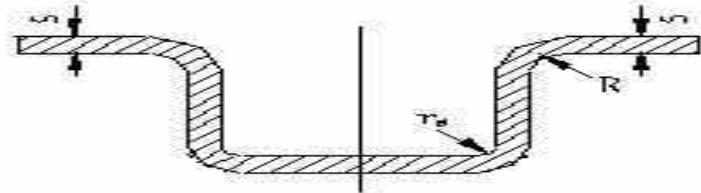
- ① 拉深件外形应简单、对称，且不宜太高。以便使拉深次数尽量少，并容易成型。
- ② 拉深件的圆角半径应满足: $r_d \geq s$, $R \geq 2s$, $r \geq 3s$ 。否则，应增加整形工序。
- ③ 拉深件的壁厚变薄量一般要求不应超出拉伸工艺壁厚变化的规律（最大变薄率约10%~18%左右）。



2. 拉深

(3) 对拉深件的要求:

- ① 拉深件外形应简单、对称，且不宜太高。以便使拉深次数尽量少，并容易成型。
- ② 拉深件的圆角半径应满足: $r_d \geq s$, $R \geq 2s$, $r \geq 3s$ 。否则，应增加整形工序。
- ③ 拉深件的壁厚变薄量一般要求不应超出拉伸工艺壁厚变化的规律（最大变薄率约10%~18%左右）。



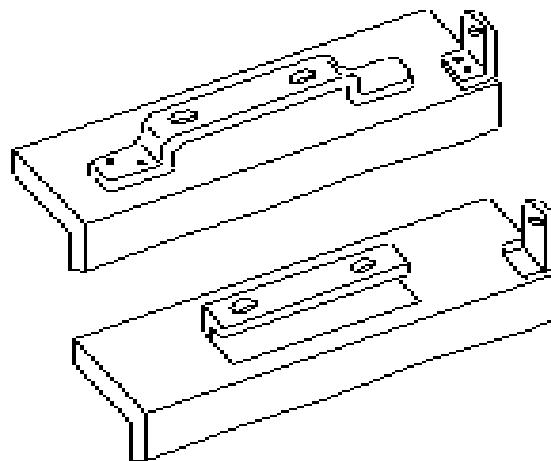
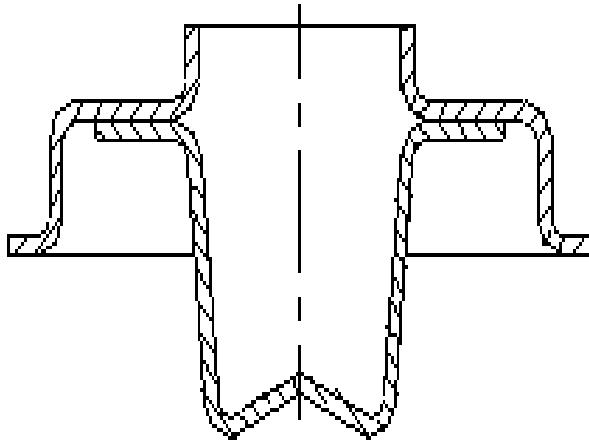
2. 拉深

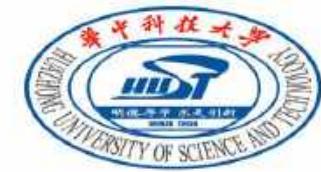
改进冲压件的结构：

采用冲压-焊接结构。化复杂为简单。

采用冲口工艺，减少组合件数量，简化工艺过程。

在使用性能不变情况下，应尽量简化拉深件结构，以便减少工序，节省材料，降低成本





第二章 滚压工艺

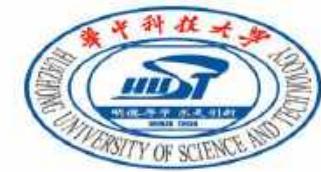
2、拟订冲压工艺方案：

1) 选择冲压基本工序：

冲压基本工序的选择，主要是根据冲压件的形状、尺寸、公差及生产批量确定。

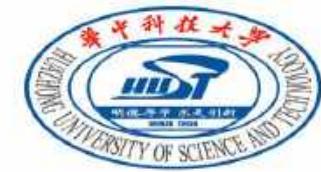
2) 确定冲压工序的顺序与数目：

- ① 有孔或有切口的平板零件：采用单工序模冲裁时，先落料，后冲孔；连续模冲裁时，先冲孔后落料。
- ② 多角弯曲件：简单弯模分次弯曲成型，先弯外角，后弯内角。孔位于变形区（或靠近变形区）或孔与基准面有较高要求时，必须先弯曲，后冲孔。否则，都应先冲孔，后弯曲。这样安排工序可使模具结构简化。



第二章 段压工艺

- ③ 对于旋转体复杂拉深件：一般是由大到小的顺序进行拉深，或先拉深大尺寸的外形，后拉深小尺寸的内形；对于非旋转体复杂拉深件，则应先拉深小尺寸的内形，后拉深大尺寸的外形。
- ④ 对于有孔或缺口的拉深件：一般应先拉深，后冲孔（或缺口）。对于带底孔的拉深件，有时为了减少拉深次数，当孔径要求不高时，可先冲孔，后拉深。当底孔要求较高时，一般应先拉深后冲孔，也可先冲孔，后拉深，再冲切底孔边缘达到要求。



第二章 段压工艺

⑤校平、整形、切边工序：应分别安排在冲裁、弯曲拉深之后进行。

3、确定模具类型与结构形式：

根据确定的冲压工艺方案选用冲模类型，并进一步确定各零件、部件的具体结构形式。

4、选择冲压设备：

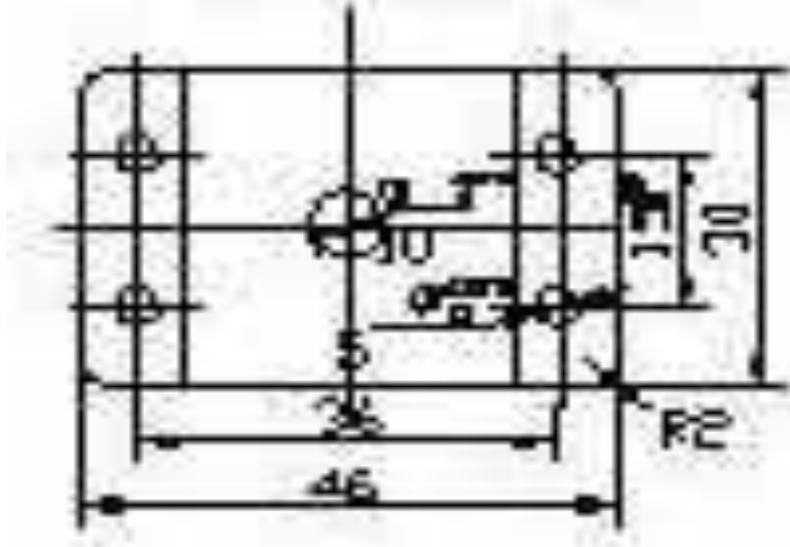
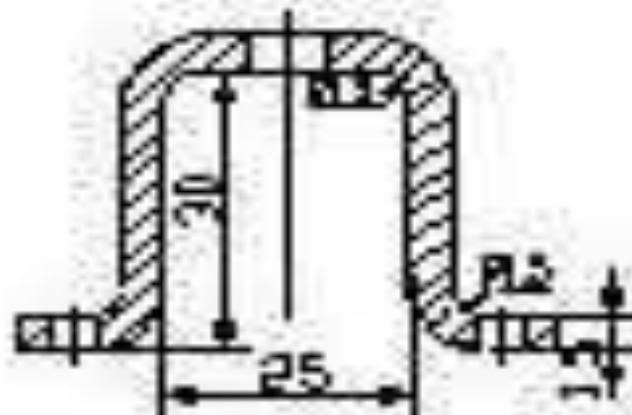
根据冲压工序的性质选定设备类型，根据冲压工序所需冲压力和模具尺寸的大小来选定冲压设备的技术规格。

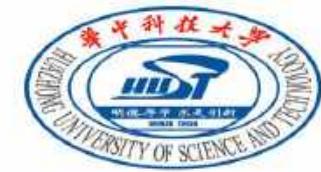
第二章 段压工艺

5、编写冲压工艺文件：

以托架为例分析：材料为08钢板，年产量两万件，要求无严重划伤，孔不允许变形。

- 1) 工艺分析：
- 2) 确定工艺方案及模具结构形式：从零件结构形状可知，所需基本工序为冲孔、落料、弯曲三种。



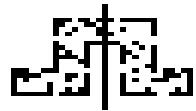


第二章 段压工艺

5、编写冲压工艺文件：

其中弯曲成型的方式有以下三种：

a) 直弯



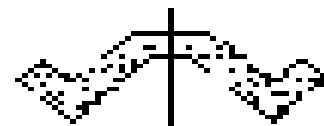
a)

b) 斜弯



b)

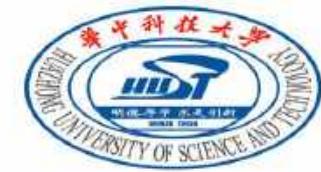
c) 里弯



c)

相应地，可能的工艺方案有以下几种：

方案一：冲中心孔、落料-弯外角与顶角45°-弯内角-冲4个Φ5mm孔

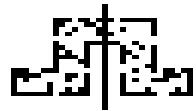


第二章 段压工艺

5、编写冲压工艺文件：

其中弯曲成型的方式有以下三种：

a) 直弯



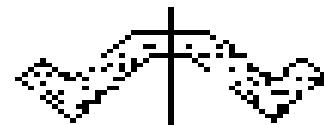
a)

b) 斜弯



b)

c) 里弯

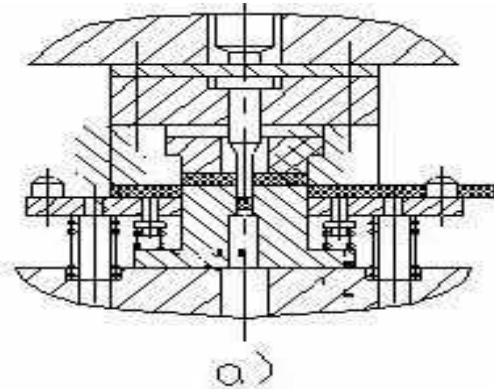


c)

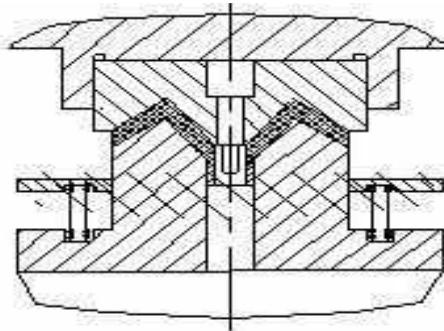
相应地，可能的工艺方案有以下几种：

方案一：冲中心孔、落料-弯外角与顶角45°-弯内角-冲4个Φ5mm孔

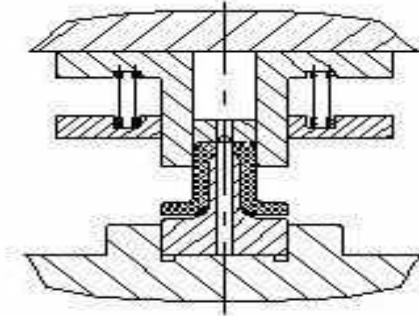
5、编写冲压工艺文件：



a)

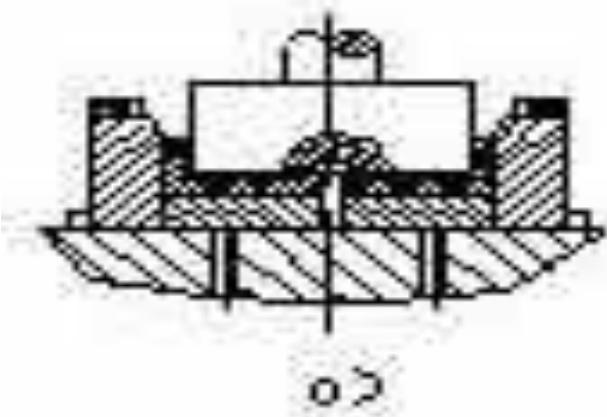


b)

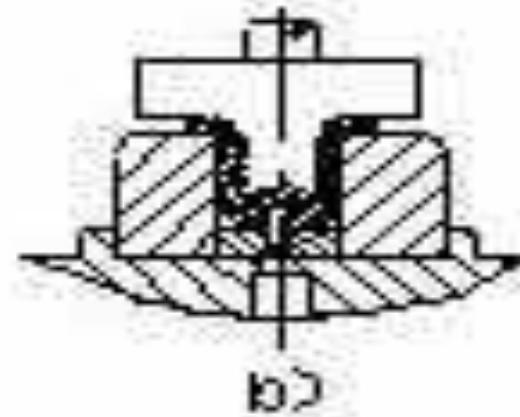


c)

方案二：冲孔、落料-弯外角-弯内角-冲孔



d)

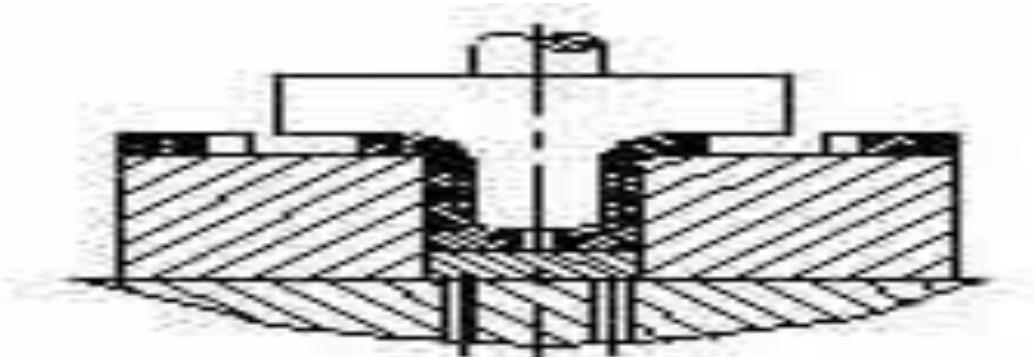


e)

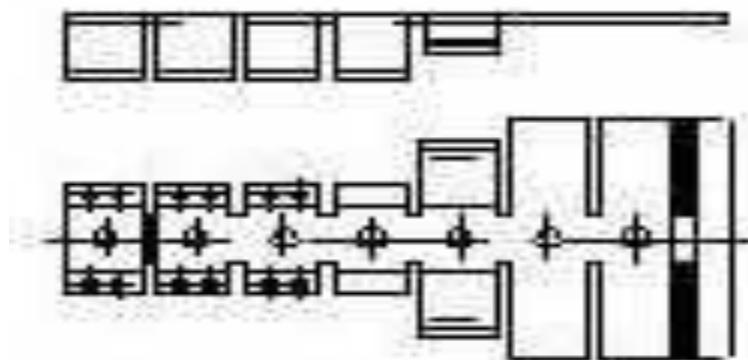
第二章 滚压工艺

5、编写冲压工艺文件：

方案三：冲孔、落料-弯四角-冲孔



方案四：全部工序合并，采用带料连续冲压成型



机械制造工艺基础

主讲人：余圣甫

- 材料科学与工程学院
- 联系电话：13971277482

2020年5月6日



3.1 概述

3.2 焊接的基本原理

一、熔化焊的基本原理

三、焊接检验

3.3 焊接工艺

一、熔化焊的方法及工艺

三、钎焊简介

3.4 金属焊接性

一、金属材料的可焊性

三、有色金属的焊接

3.5 焊接结构设计

一、焊接材料的选择

三、焊接接头工艺设计

二、压力焊的基本原理

二、压力焊的方法及工艺

二、碳钢及低合金钢的焊接

四、异种金属的焊接

二、焊接方法的选择

四、典型焊件的工艺设计

1. 焊接 是将两个分离的金属通过加热或加热、加压，产生原子的结合与扩散作用而形成永久性连接的焊接方法特点

- ① 可将大而复杂的结构分解为小而简单的坯料拼焊
- ② 可实现不同材料间的连接成形
- ③ 可实现特殊结构的生产(如 126×10^4 kW核电站锅炉)
- ④ 焊接结构重量轻

但焊接结构是不可拆卸的，更换修理部分的零部件不便，焊接易产生残余应力，焊缝易产生裂纹、夹渣、气孔等缺陷引起应力集中，降低承载能力，缩短使用寿命，甚至造成脆断。

3. 焊接分类

- (1) 熔化焊 利用局部加热，使焊件接头处熔化并加入填充金属，待其冷却凝固后连接成整体的焊接方法。
- (2) 压力焊 利用加热或其它方法使金属接头处于半熔化或高塑性状态，在足够的压力下产生塑性变形，通过原子间的结合连结金属的方法。
- (3) 钎 焊 利用低熔点钎料被加热熔化，在焊件接头处与母材相互扩散而形成焊接接头的方法。

熔焊

电弧焊(手弧焊、气体保护焊、埋弧焊)
电渣焊、电子束焊、激光焊
等离子弧焊

压焊

电阻焊、摩擦焊、超声波焊
爆炸焊、扩散焊、高频焊

钎焊

软钎焊、硬钎焊

4. 焊接的应用

1). 金属结构的焊接

如锅炉、压力容器、管道、桥梁、海洋平台和起重机等，
船舶、车辆、飞机、火箭的梁架和外壳。

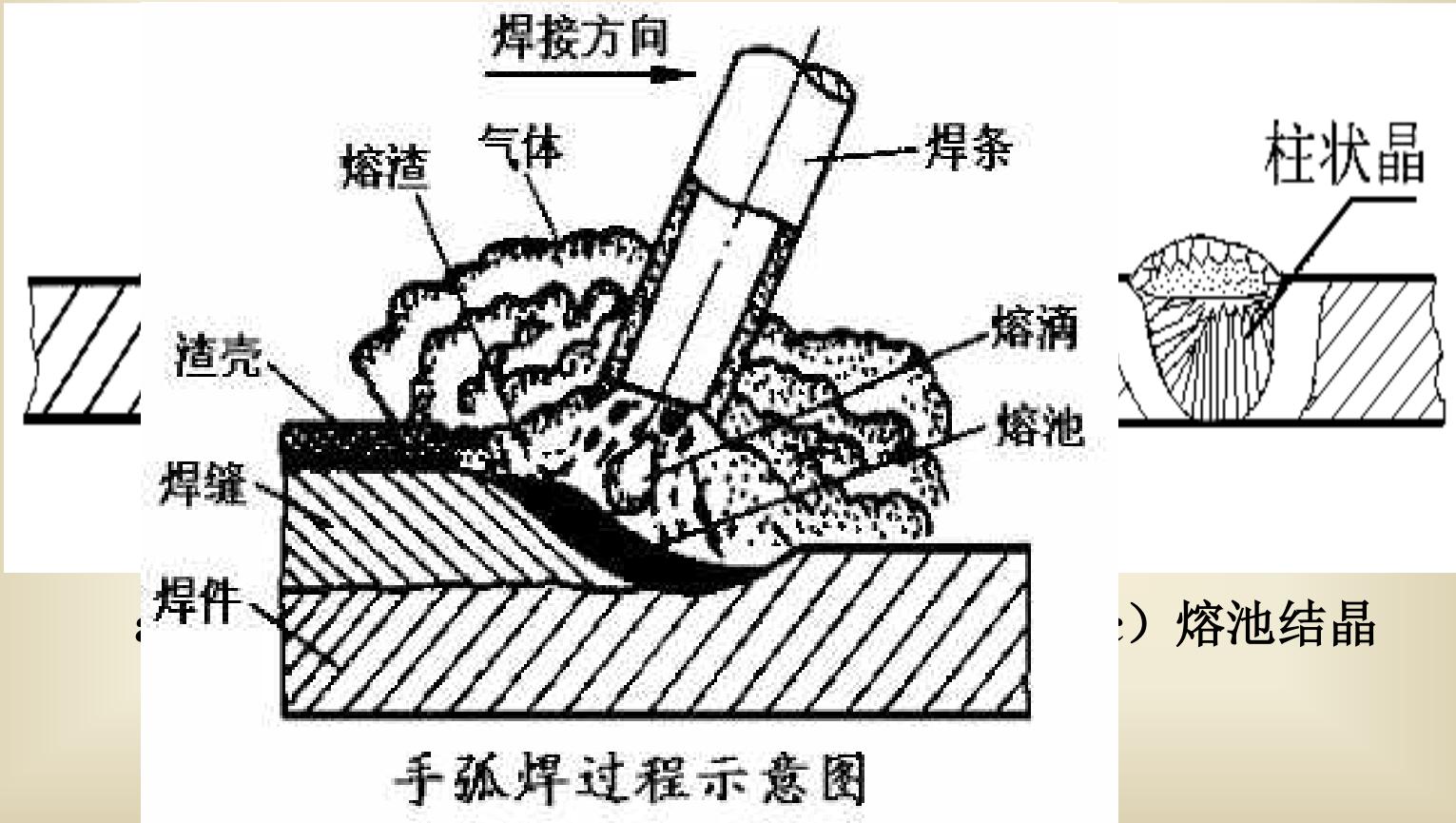
2). 机械零件的焊接

机械零件的焊接如轴、齿轮、锻模和刀具等。

一、熔化焊的基本原理

1. 熔化焊的本质及特点

① 小熔池熔炼与铸造，是金属熔化与结晶的过程；



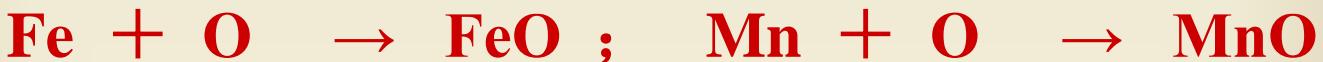
- ② 熔池存在时间短，温度高；
- ③ 冶金过程进行不充分，氧化严重；
- ④ 热影响区大；
- ⑤ 冷却速度快，结晶后易生成粗大的柱状晶。

2. 熔化焊的三要素

三要素	要 求	种 类
热 源	能量要集中，温度要高。保证金属快速熔化，减小热影响区	电弧、等离子弧、电渣热、电子束和激光
熔池保护	防止氧化，进行脱氧、脱硫和脱磷，给熔池过渡合金元素。	渣保护、气保护 渣-气联合保护
填充金属	保证焊缝填满及给焊缝带入有益的合金元素，满足机械性能等性能的要求	焊芯和焊丝

3. 熔池的冶金反应

① 空气在高温下发生分解并与金属发生氧化还原反应:



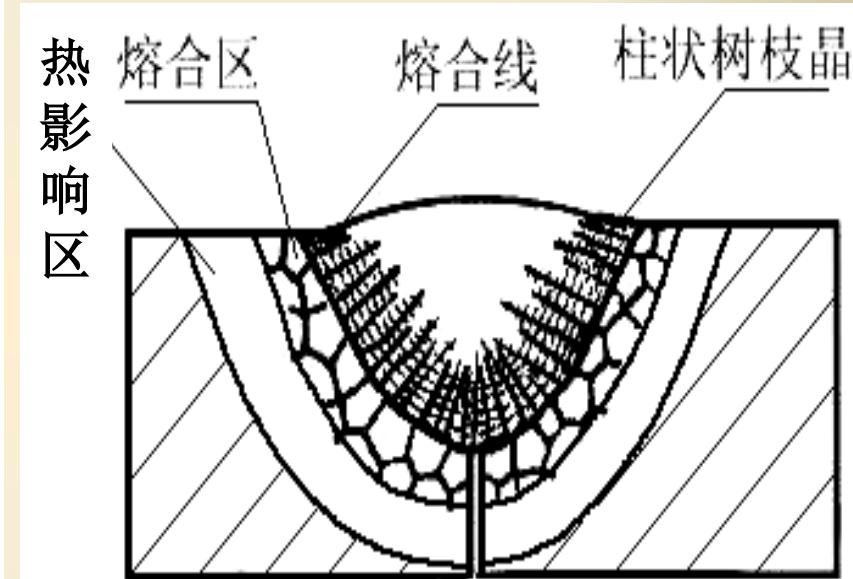
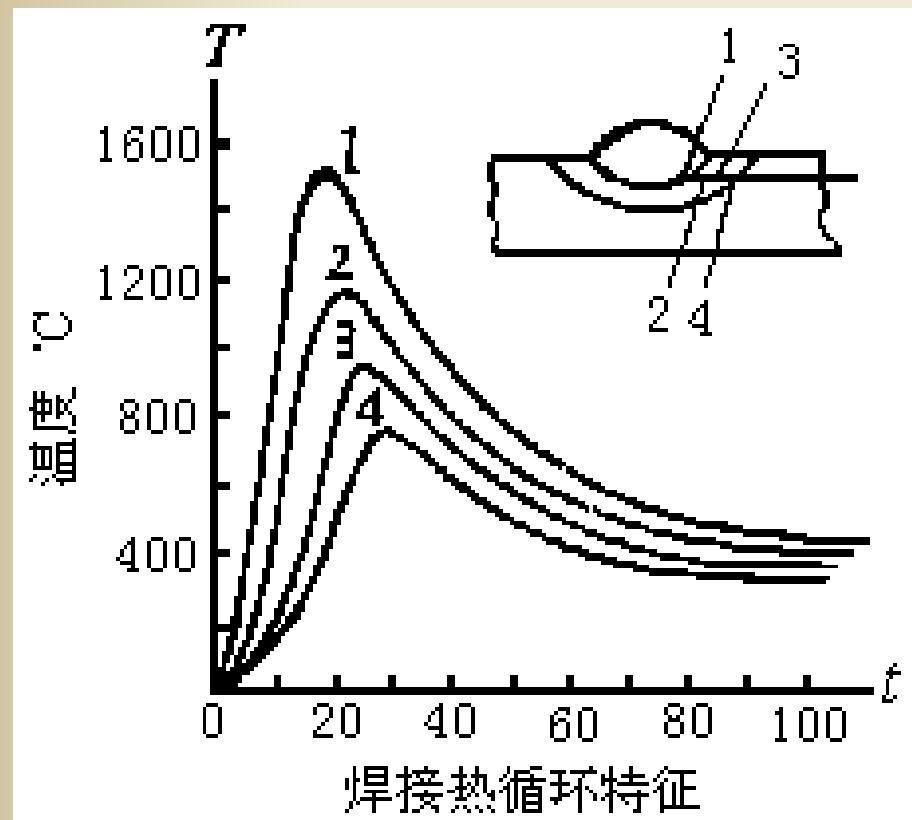
后果: 使Fe、C、Mn、Si、Cr等元素大量烧损, 使焊缝金属含氧量大大增加, 力学性能明显下降, 尤其使低温冲击韧度急剧下降, 引起冷脆等现象。

② 氮和氢在高温时溶于液态金属中, 氮能与铁反应形成FeN、Fe₂N和Fe₃N等(呈片状)。

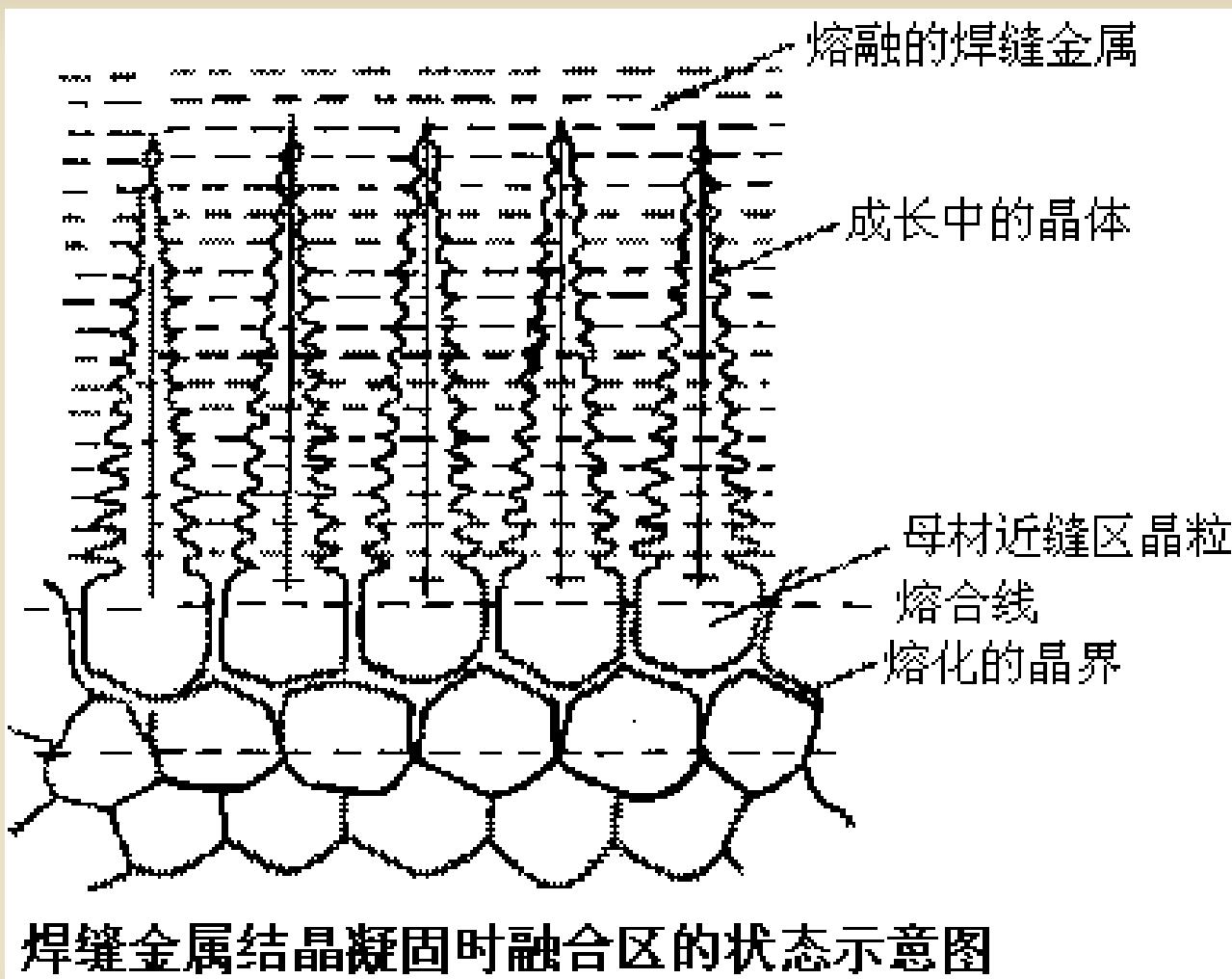
后果: 片状氮化物和氢在熔池冷却时形成的气孔, 引起氢脆和冷裂。

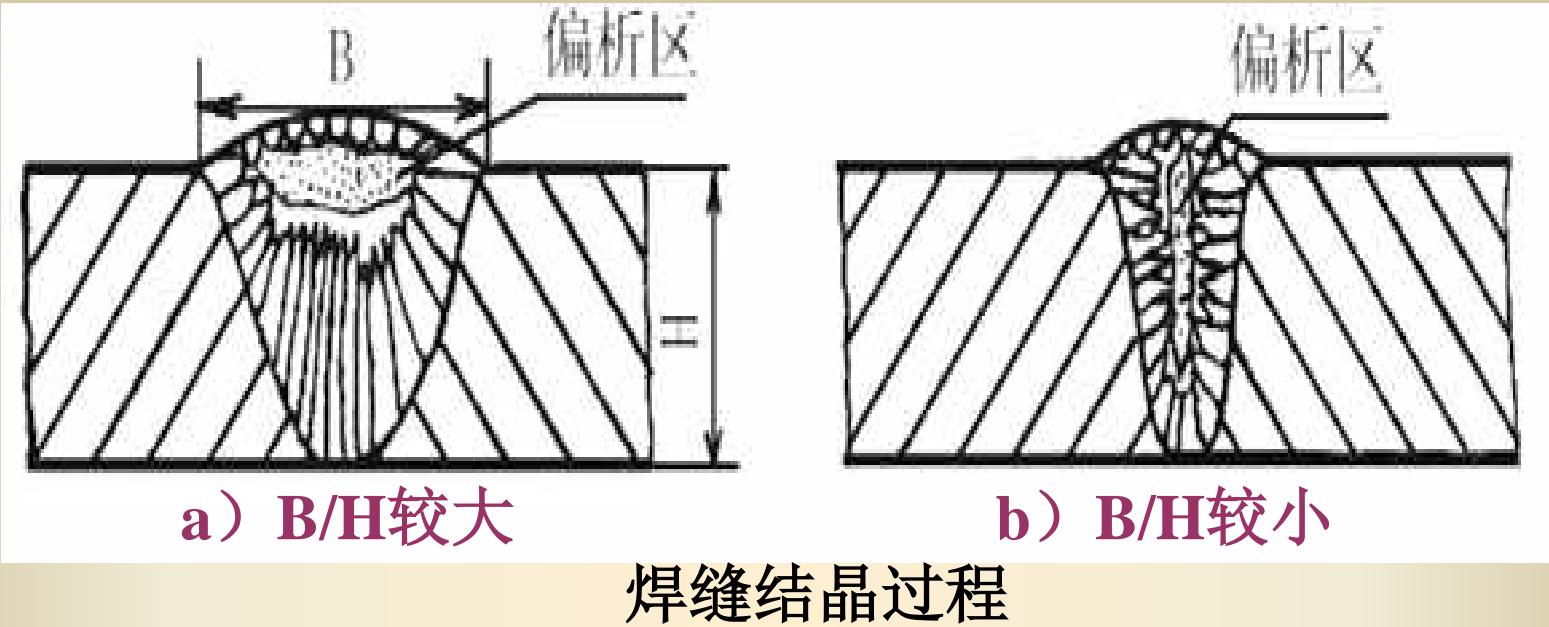
4. 焊接接头的组织和性能

(1). 焊接热循环



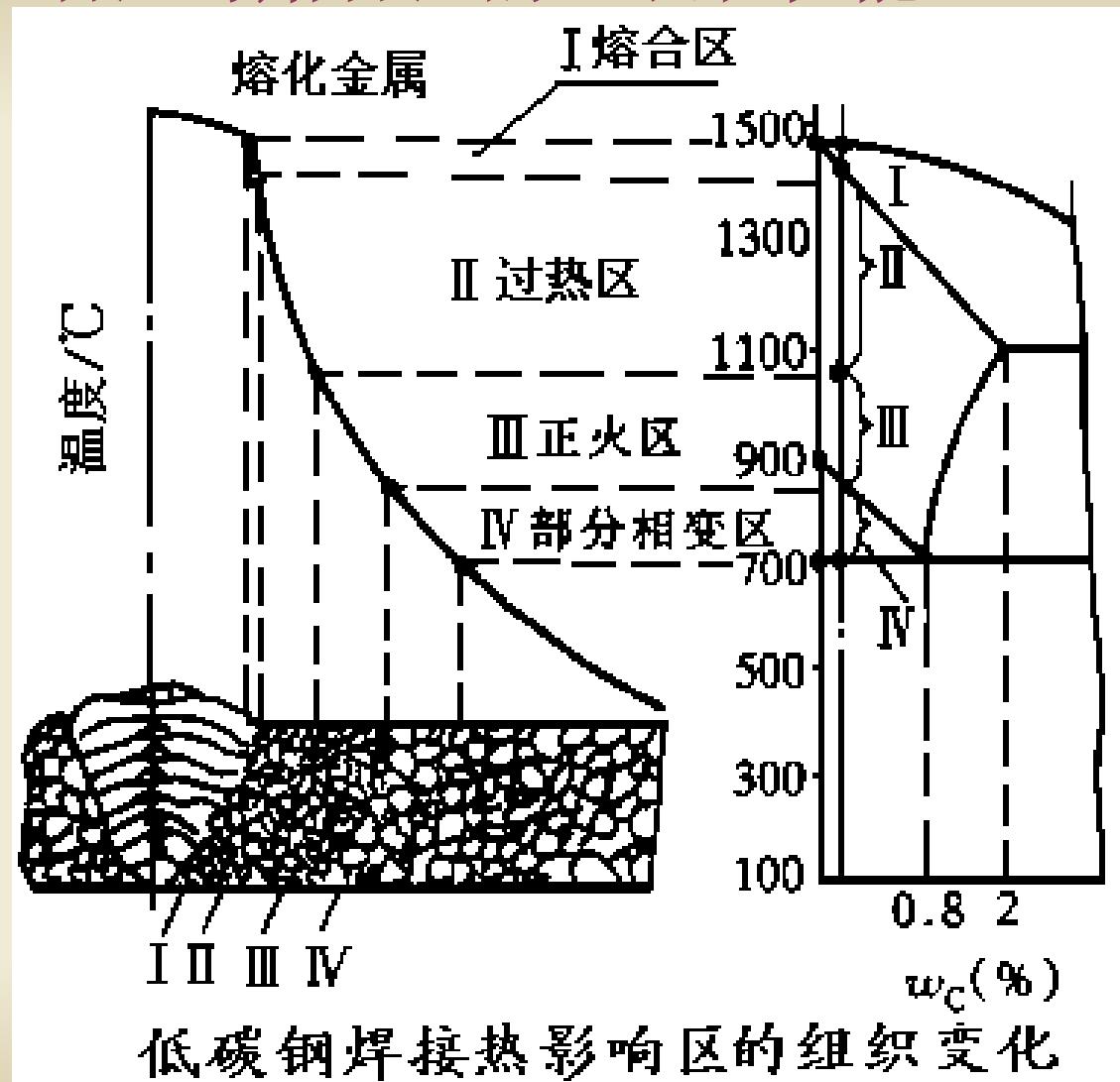
(2). 焊缝的组织和性能





焊缝的宏观组织形态是柱状晶，晶粒粗、成分偏析严重、组织不致密。但是，由于焊接是小熔池炼钢，冷却快，化学成分控制严格，碳、磷、硫等含量低，通过渗合金调整焊缝的化学成分，使其有一定的合金元素，这样焊缝金属的强度可与母材相当。

(3). 热影响区与熔合区的组织和性能



低碳钢熔合区与热影响区的组织和性能

	温度	组织特征	性能特征
熔合区	半熔化区	过热或淬硬组织, (0.1~1mm宽)	性能最差, 易应力集中
过热区	>1100℃	过热组织, 晶粒粗大	性能差, 易产生裂纹
正火区	850 ~1100℃	P+F, 晶粒细小	性能优于母材
部分 相变区	700 ~850℃	P+F, F晶粒大小不均	性能略差

易淬火钢：热影响区为淬火区($>A_{C3}$)，部分淬火区($A_{C1} \sim A_{C3}$)；由于焊后冷却速度快，易产生淬硬组织。

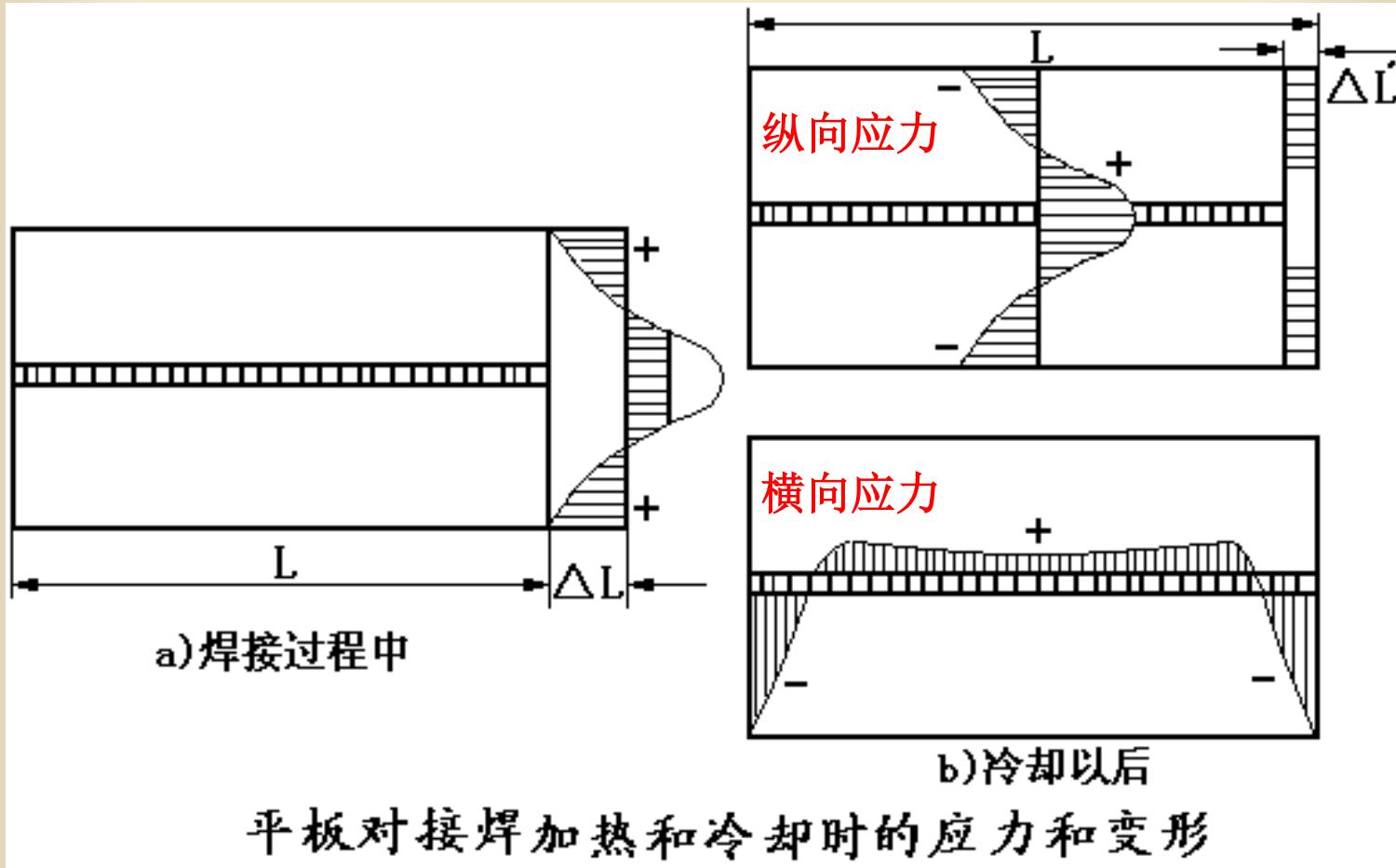
合金调质钢(焊前)：热影响区为淬火区、部分淬火区和软化区($<A_{C1}$)；淬火区机械性能严重下降，易引起冷裂纹。

改善焊接热影响区组织性能的方法

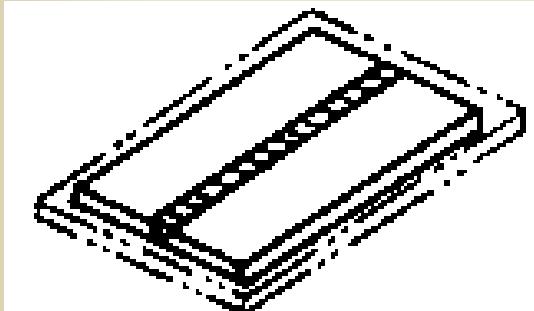
- ① 碳素钢与低合金钢构件，采用焊后正火处理。
- ② 对焊后不能热处理的金属材料或构件，通过正确选择焊接方法与焊接工艺来减少焊接热影响区的范围。

5. 焊接应力与变形

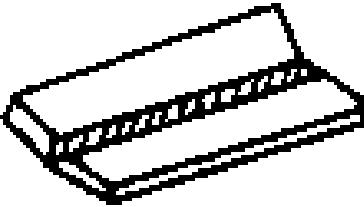
1). 焊接应力与变形产生的原因



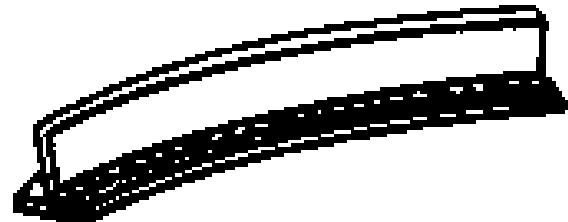
2). 焊接变形的基本形式



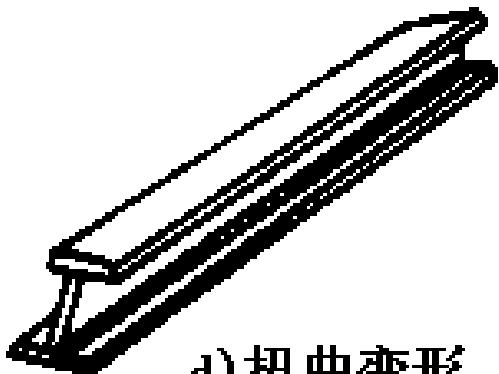
a) 纵向和横向收缩变形



b) 角变形



c) 弯曲变形



d) 扭曲变形



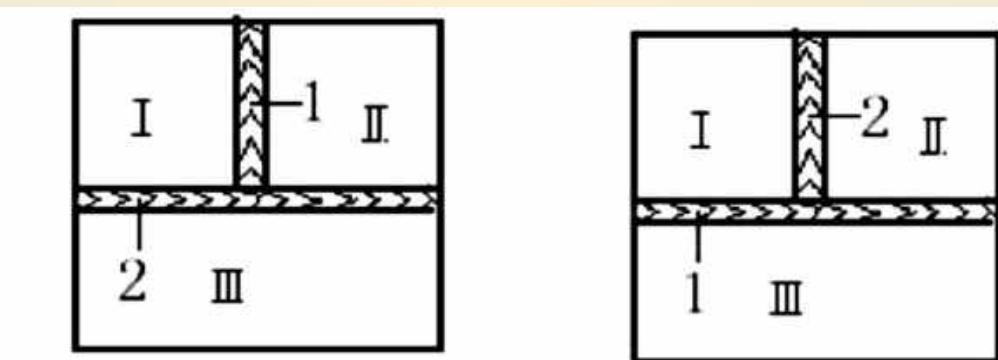
e) 波浪形变形

焊接变形的基本形式

3). 焊接应力与变形的防止

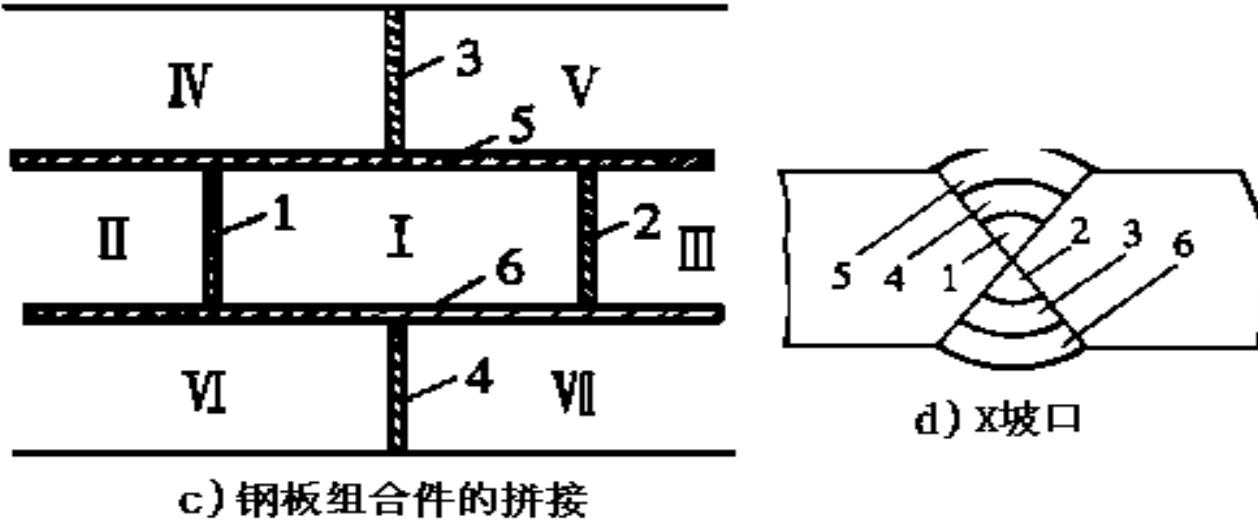
★ 焊接应力的防止

- ① 焊缝不要有密集交叉，截面和长度也要尽可能小，以减小焊接局部加热，从而减少焊接应力；
- ② 选择合理的焊接次序，使焊缝能够自由地收缩，以减少应力；



a) 焊接应力小 b) 焊接应力大

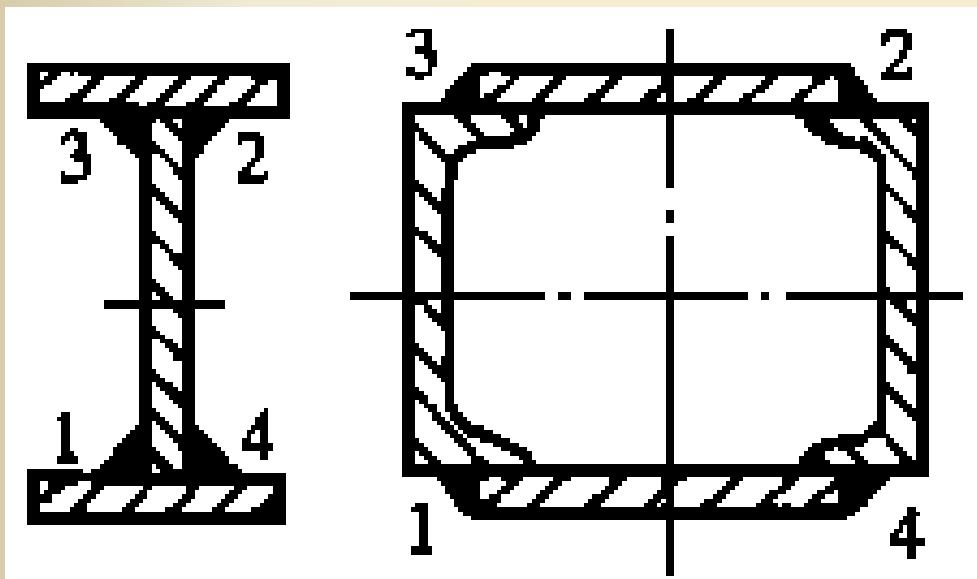
焊接顺序对焊接应力的影响



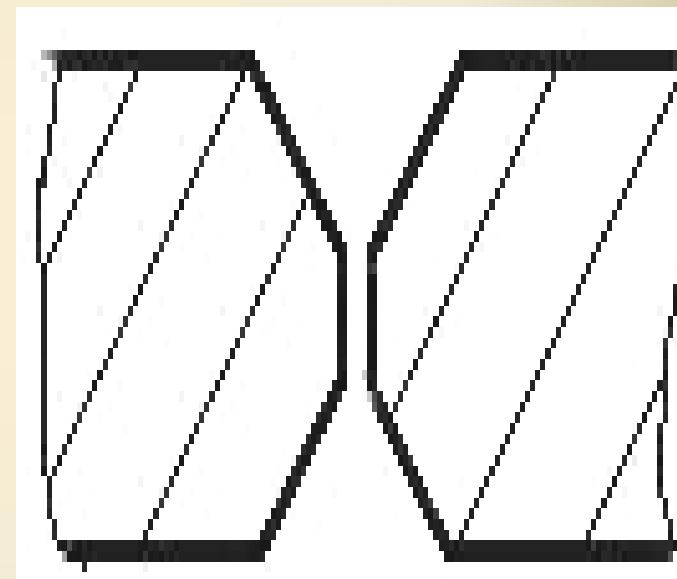
- ③ 采用小线能量，多层焊，也可减少焊缝应力。
- ④ 焊前预热可以减少工件温差，也能减少残余应力。
- ⑤ 当焊缝还处在较高温度时，锤击焊缝使金属伸长，也能减少焊接残余应力。
- ⑥ 焊后进行消除应力的退火可消除残余应力。
- ⑦ 可以用机械法来消除应力，如加压和振动等

★. 焊接变形的防止

- ① 焊缝不要有密集交叉，截面和长度也要尽可能小，以减少焊接局部加热，从而减少焊接变形；

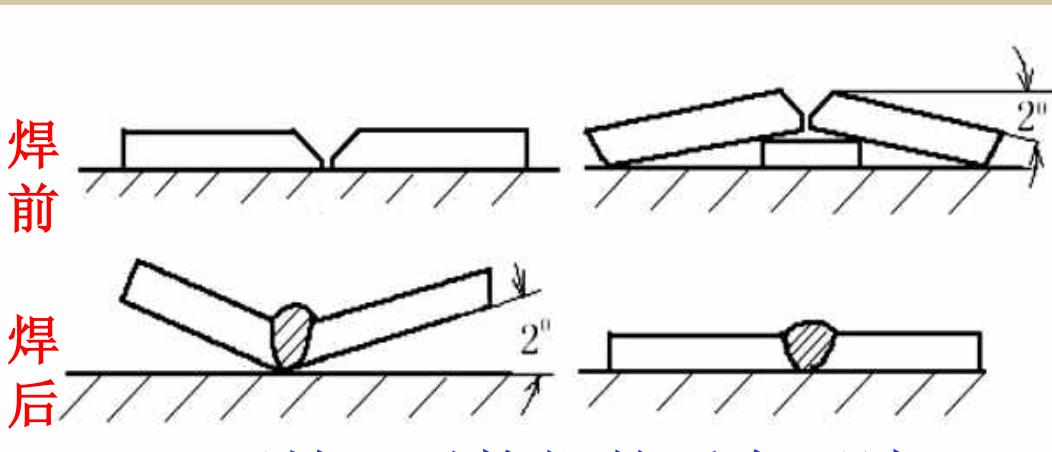


焊缝对称布置



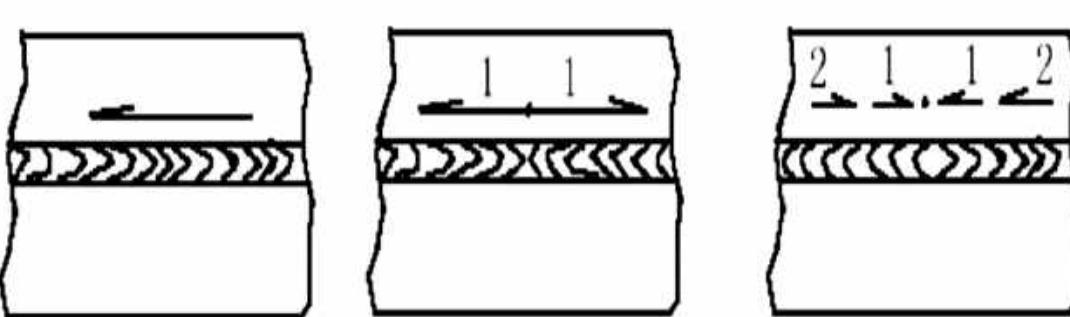
对称坡口

② 采用反变形方法；



Y形坡口对接焊的反变形法

③ 采用高能量密度的热源(如等离子弧、电子束等), 采用小线能量, 采用分段倒退焊和采用多层多道焊, 都能减少焊接变形。



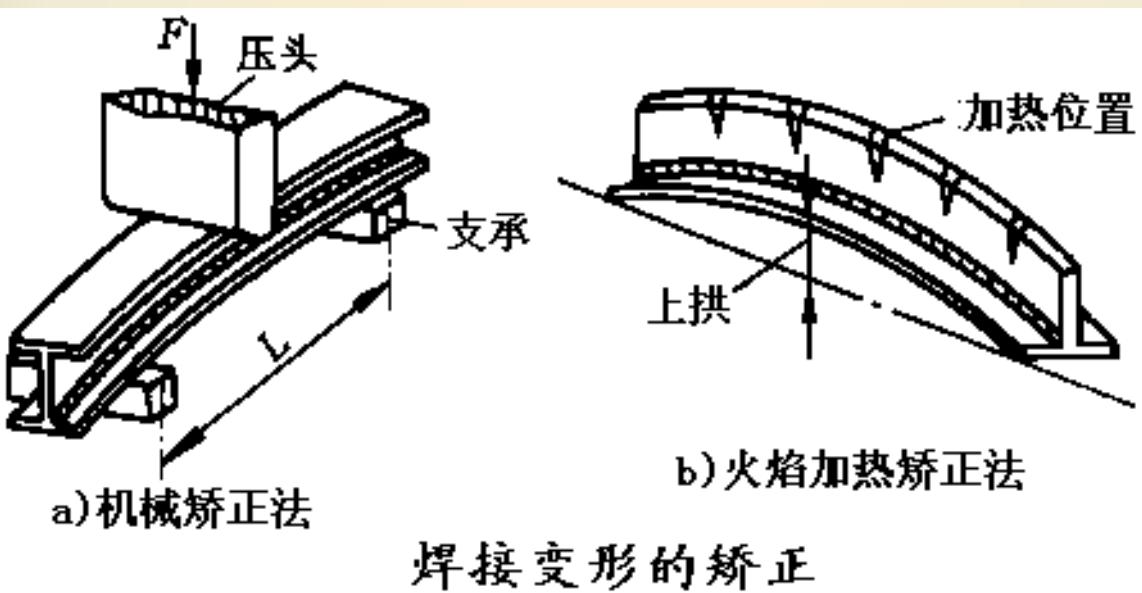
a) 变形最大

b) 变形较小

c) 变形最小

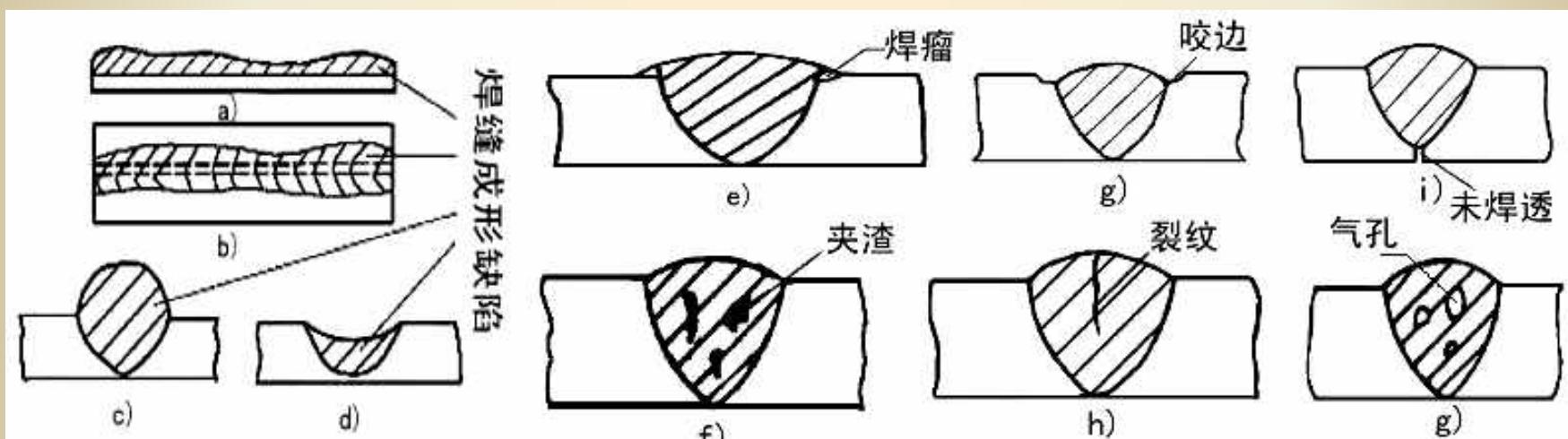
分段退焊方法在长焊缝中的应用

- ④ 采用焊前刚性固定组装焊接，限制产生焊接变形，但这样会产生较大的焊接应力，如采用定位焊组装也可防止焊接变形；
- ⑤ 焊前预热，焊接过程中采用散热措施，锤击还处在高温的焊缝等都能减少焊接变形；
- ⑥ 常采用机械矫正法和火焰矫正法矫正已产生的变形。



6. 焊接缺陷及其防止

焊接缺陷主要有焊接裂纹、未焊透、夹渣、气孔和焊缝外观缺陷等。这些缺陷减少焊缝截面，降低承载能力，产生应力集中，引起裂纹，降低疲劳强度，易引起构件破裂，导致脆断。其中危害最大的是焊接裂纹和气孔。



常见焊接缺陷

二、压力焊的基本原理

压力焊是指通过加热等手段使金属达到塑性状态，加压使其产生塑性变形、再结晶和扩散等作用，使两个分离表面的原子接近到晶格距离($0.3\sim0.5\text{nm}$)，形成金属键，从而获得不可拆卸接头的一类焊接方法。

压力焊可分为：**冷压焊**、**扩散焊**和**热压焊**。

1. 扩散焊的热源与接头形成

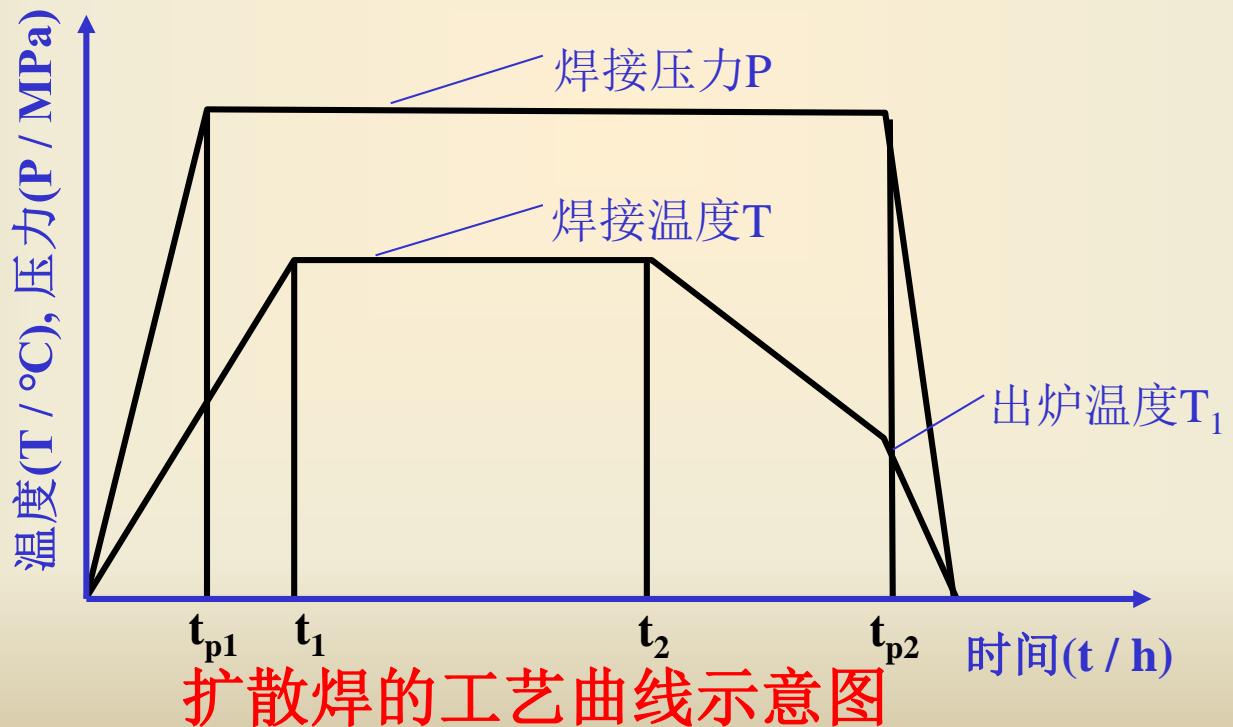
扩散焊通常要将焊件整体加热到低于焊件材料固相线的某一温度，并长时间加压保温，通过接触面附近的塑性变形、再结晶和扩散形成焊接接头。

1) 热 源

采用感应加热热源, 热源功率为:

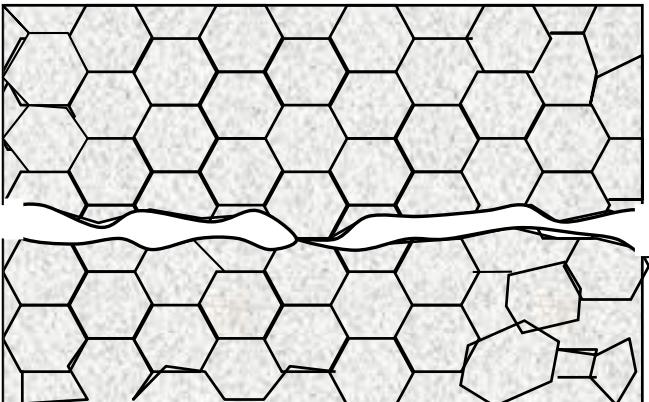
$$N = 1.06 WCT / t_1 \quad (\text{KW})$$

式中: W --加热部分重量(kg); T --温升(K);
 C --比热(KW·h/kg·K); t_1 --加热时间 (h)。

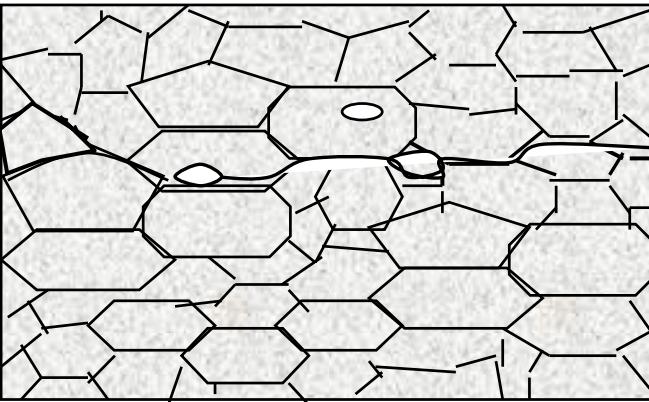


2) 接头的形成

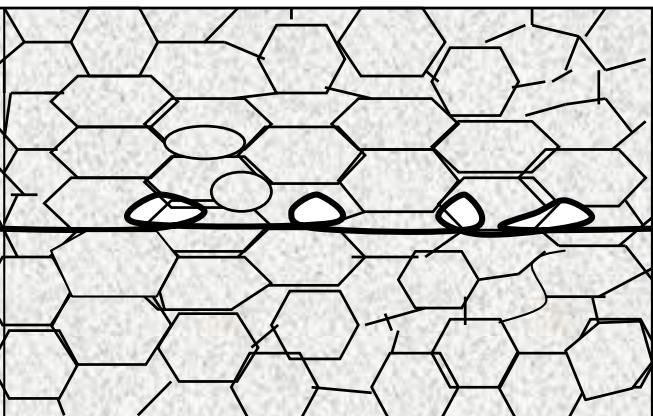
★ 固态扩散焊过程示意图如下：



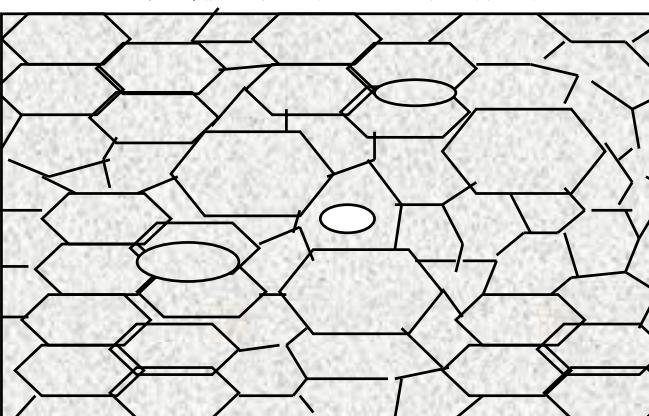
a) 室温装配状态



c) 扩散-界面推移阶段

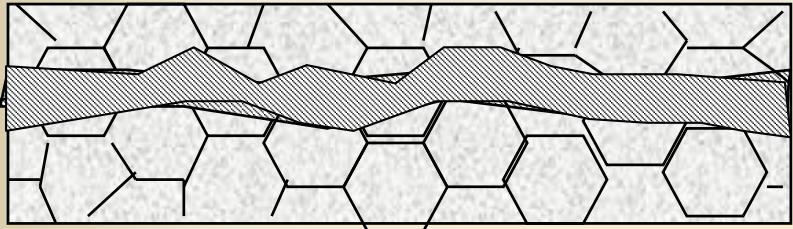


b) 变形-接触阶段

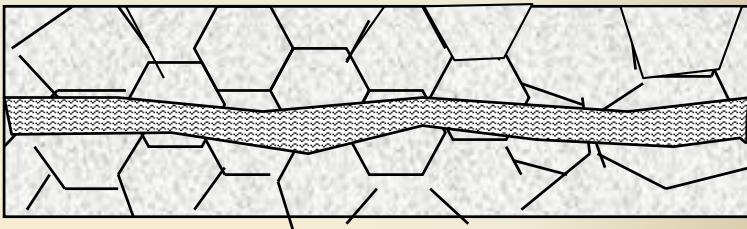


d) 界面和孔洞消失阶段

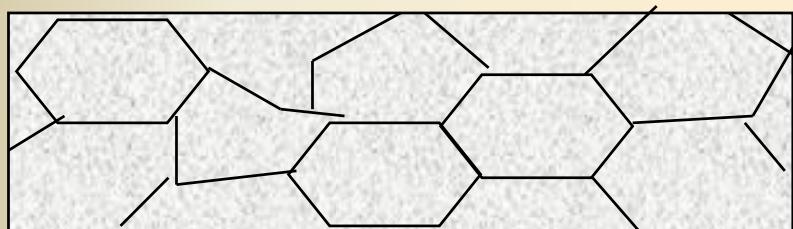
★ 瞬时液相扩散焊过程示意图如下：



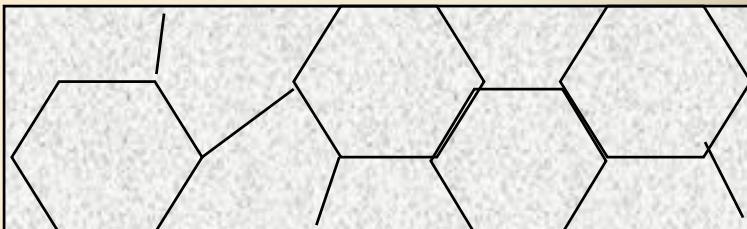
a) 夹层材料装夹



b) 液相生成



c) 等温凝固



d) 均匀化

1) 热 源

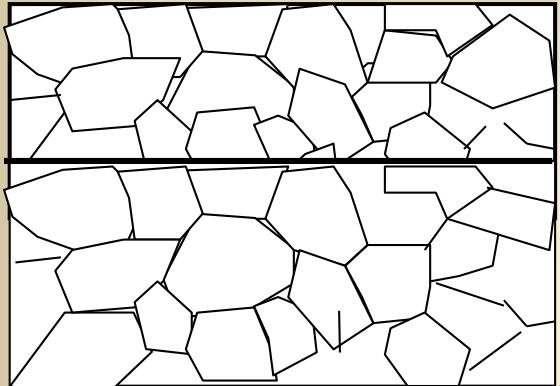
常用热压焊热源的大小特性和应用

	表达式	主要影响因素	特 性	应 用
电 阻	$Q = 0.24I^2Rt$	外因是电流和通电时间；内因是电阻包括焊件电阻和接触电阻。	功率大，效率高，控制方便；热源在两焊件结合面内，隔绝了空气，无须保护焊缝。	点焊、缝焊、凸焊、对焊等。不适合电阻太小的材料。
摩 擦	$Q = 2/3\pi p n \int f dt$	外因是摩擦力、摩擦速度和摩擦时间，内因是焊接材料的摩擦系数。	节能、效率高，有清理待焊部位的作用，不适合摩擦系数太小的材料。	主要用于惯性摩擦焊、搅拌摩擦缝焊。

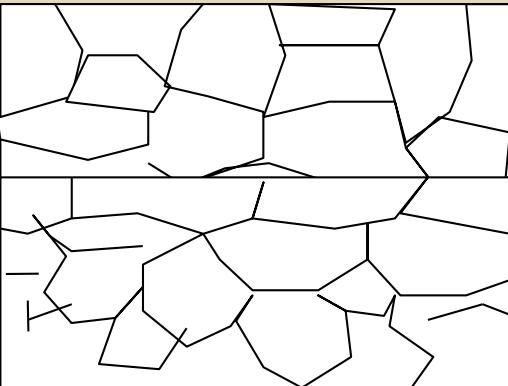
常用热压焊热源的大小特性和应用 (续)

	表达式	影响因素	特性	应用
超声	$E = 63H^{3/2}t^{3/2}$	外因是超声频率, 振幅和时间, 内因是焊件的硬度和厚度。	节能、效率高, 热源在两焊件结合面内, 隔绝了空气, 无须保护焊缝。	点焊、缝焊非导电材料和硬度较高及脆性材料。
爆炸	$Q = n pCGV$	外因是炸药装载量, 内因焊件材料比重和焊接部位金属的体积。	节能、效率高, 热源在两焊件结合面内, 冲击变形塑性流动量大, 隔绝了空气, 无须保护焊缝。	异种材料的大面积焊接, 复合板和管的制造。

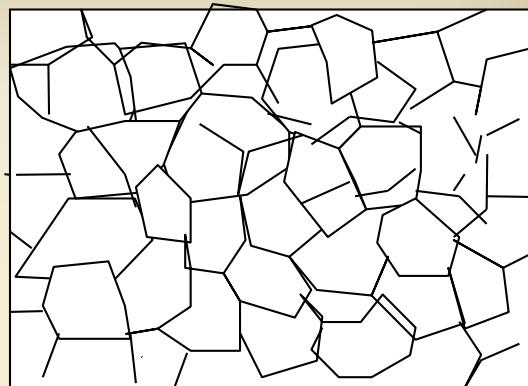
2) 接头的形成



a) 初始接触阶段



b) 塑性变形阶段



c) 再结晶形成统一晶粒

热压焊接头的形成过程示意图

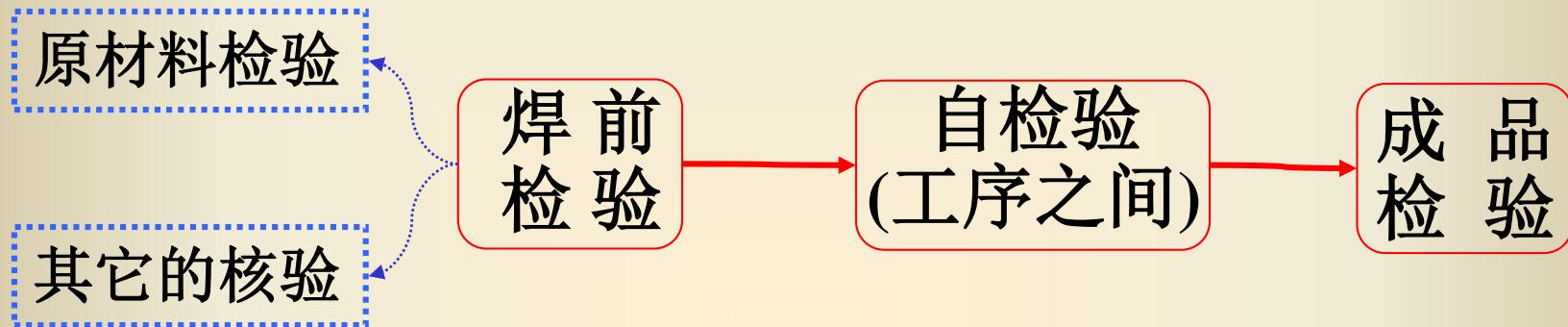
3. 扩散焊和热压焊接头的组织与性能

扩散焊接头的组织为等轴晶粒，与母材一致；无热影响区。接头性能与母材完全一样。

热压焊接头的组织为再结晶组织，接触面附近晶粒细小；热影响区为正火区，晶粒细小。接头性能优于母材。

三、焊接检验

1. 焊接检验过程



2. 外观检验

用肉眼或低倍数(小于20倍)放大镜检查焊缝区有否可见的缺陷, 如表面气孔、咬边、未焊透、裂缝等, 并检查焊缝外形及尺寸是否合乎要求。外观检验合格以后, 才能进行其它方法检验。

3. 无损检验

磁粉检验

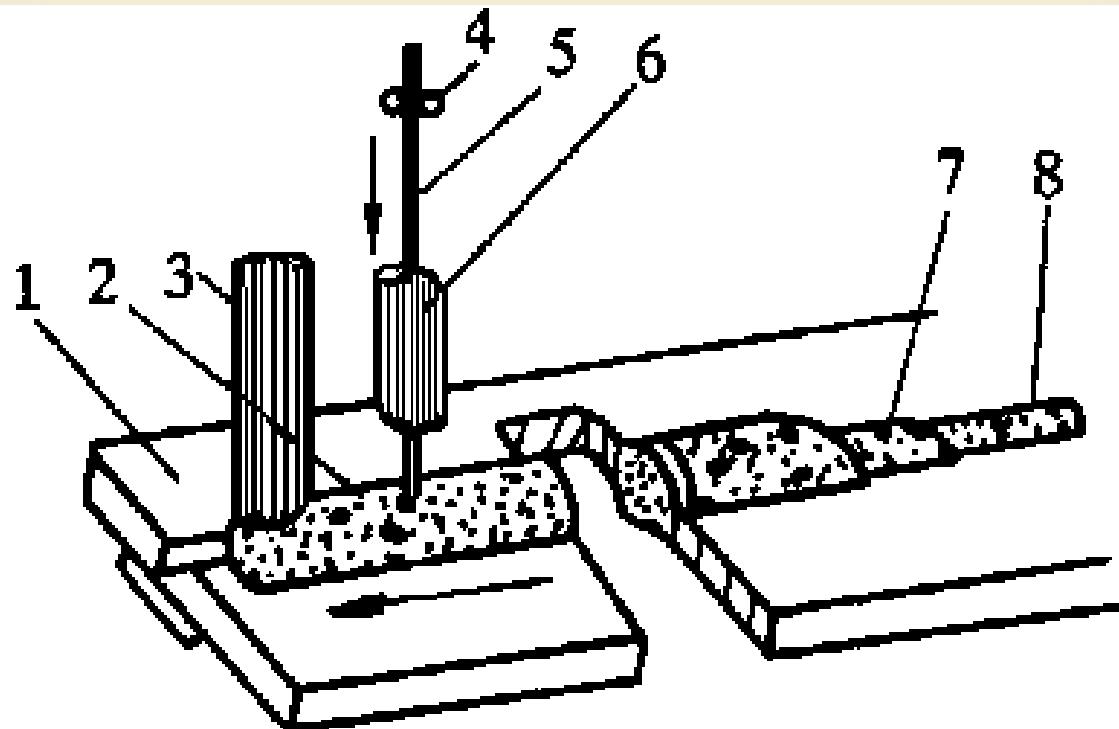
着色检验

超声波检验

χ 射线和 γ 射线检验

1. 埋弧焊

1). 埋弧焊的原理及特点



1-焊件 2-焊剂 3-焊剂漏斗 4-送丝滚轮
5-焊丝 6-导电嘴 7-渣壳 8-焊缝

埋弧自动焊的焊接过程

埋弧自动焊的特点

- ① 生产率高：其生产率比手弧焊提高5~10倍；
- ② 焊接质量好：焊缝内气孔、夹渣少，焊缝美观；
- ③ 成本低：因焊接电流大、熔深大，小于20mm厚的焊件可不开坡口，可节省更换焊条的时间和焊条头的浪费,未熔化的焊剂可回收使用。
- ④ 劳动条件好：看不到弧光，烟雾也少，劳动强度低。
- ⑤ 适应性差：只适合平焊直线长焊缝和较大直径的环形焊缝，不能焊小于6mm的钢板。
- ⑥ 焊前准备工作严格

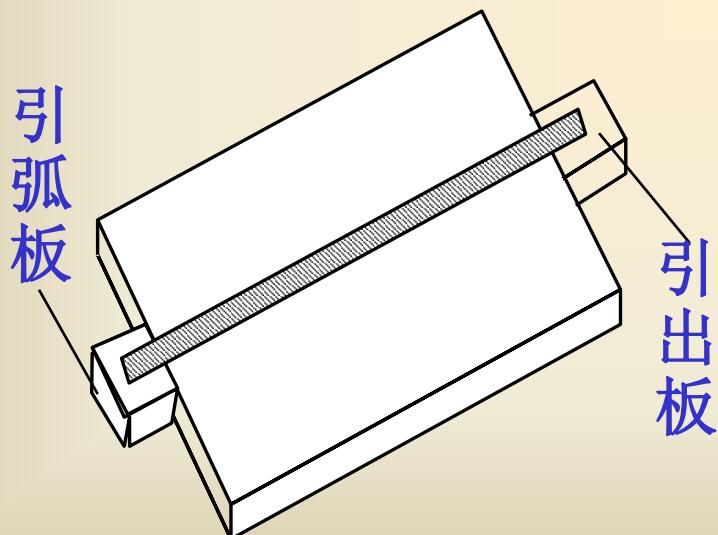
2) 埋弧焊的工艺

(1) 焊前准备

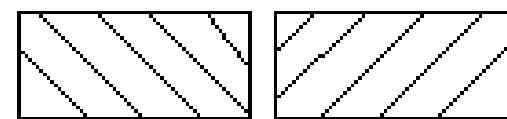
开坡口?

装引弧板和熄弧板

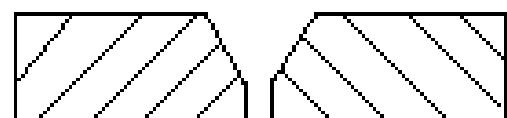
- 双Y/U型坡口: $S=22\sim50\text{mm}$
- I型坡口: $S\leq14\text{mm}$
- Y/U型坡口: $S=14\sim22\text{mm}$



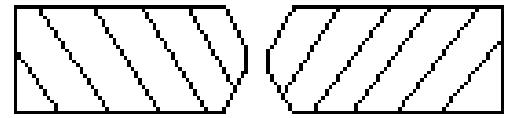
坡口型式



a) I型坡口

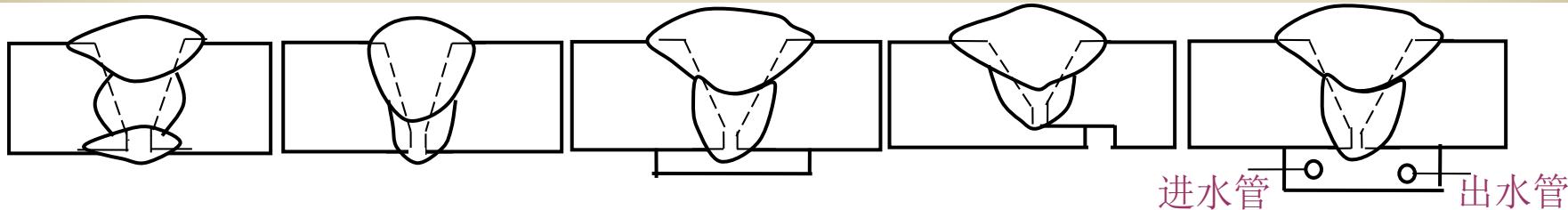


b) Y型坡口



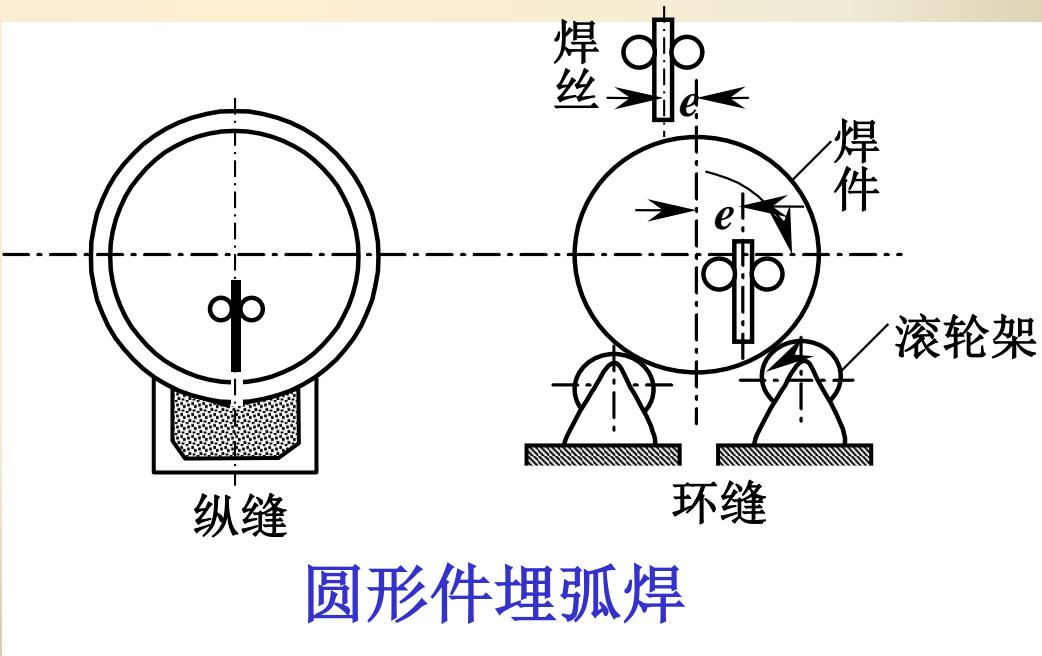
c) 双Y型坡口

(2) 平板对接焊



a) 双面焊 b) 打底焊 c) 采用垫板 d) 采用锁底坡口 e) 水冷铜板

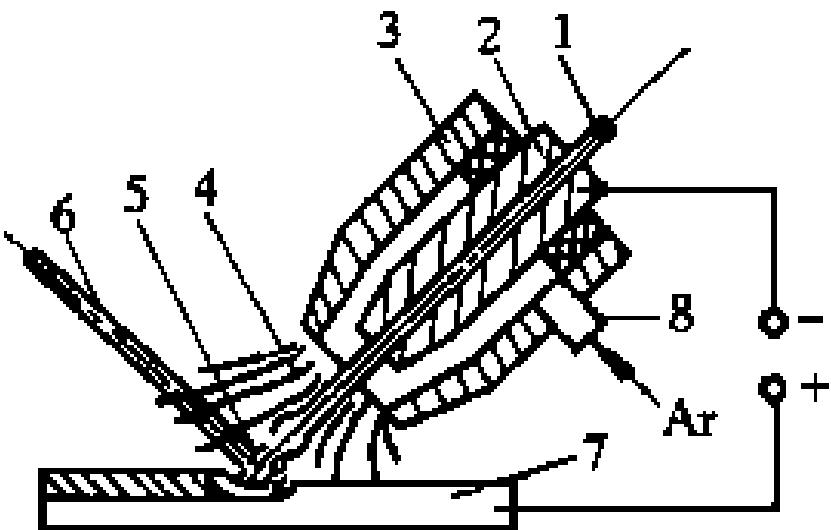
平板对接焊工艺



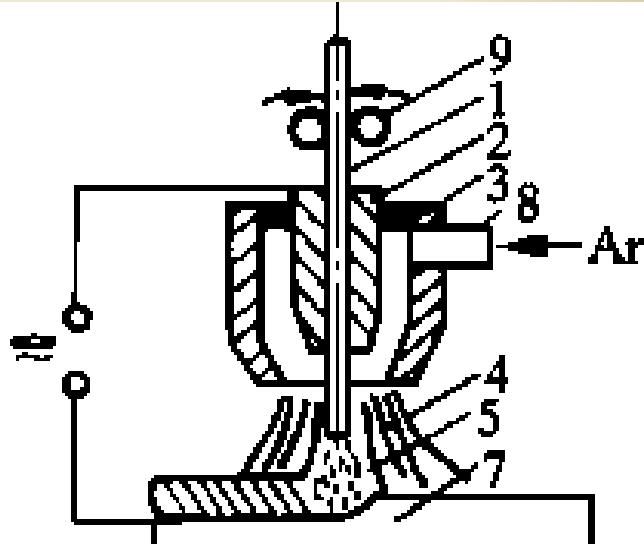
3) 埋弧焊的应用

埋弧焊主要用于压力容器的环缝焊和直缝焊，锅炉冷却壁的长直焊缝焊接，船舶和潜艇壳体的焊接，起重机械(行车)和冶金机械(高炉炉身)的焊接。

1 氩弧焊及其特点



a) 不熔化极氩弧焊



b) 熔化极氩弧焊

氩弧焊示意图

1-焊丝或电极 2-导电嘴 3-喷嘴 4-氩气流
5-电弧 6-填充焊丝 7-工件 8-进气管 9-送丝辊轮

(1) 钨极氩弧焊

电极常用钍钨棒或铈钨棒做，焊接时钨棒仅有少量损耗。焊接电流不能过大，**只能焊4mm以下的薄板。**

焊钢材板：直流正接法；

焊铝、镁合金：直流反接法或用交流电源焊接。

(2) 熔化极氩弧焊

以连续送进的金属丝做电极并填充焊缝，可采用自动焊或半自动焊，可选较大的焊接电流，**适焊厚25mm以下的焊件。**

(3) 氩弧焊的特点

- 1) 焊接过程无冶金反应，焊接质量好，适用焊非铁金属和各种合金钢；
- 2) 电弧热量集中，熔池小，热影响区小，故焊后变形小；
- 3) 电弧稳定，金属飞溅少，焊缝无熔渣、美观；
- 4) 可全方位焊接，且明弧操作，便于观察、控制和调整；
- 5) 氩气成本高，一般情况下不采用。

(4) 钨极脉冲氩弧焊新工艺

焊接时，电流的幅值按一定的频率由高到低周期的变换，其电流波形如图4-12。高值脉冲电流时形成熔池、低值基本电流时加热少、熔池凝固。

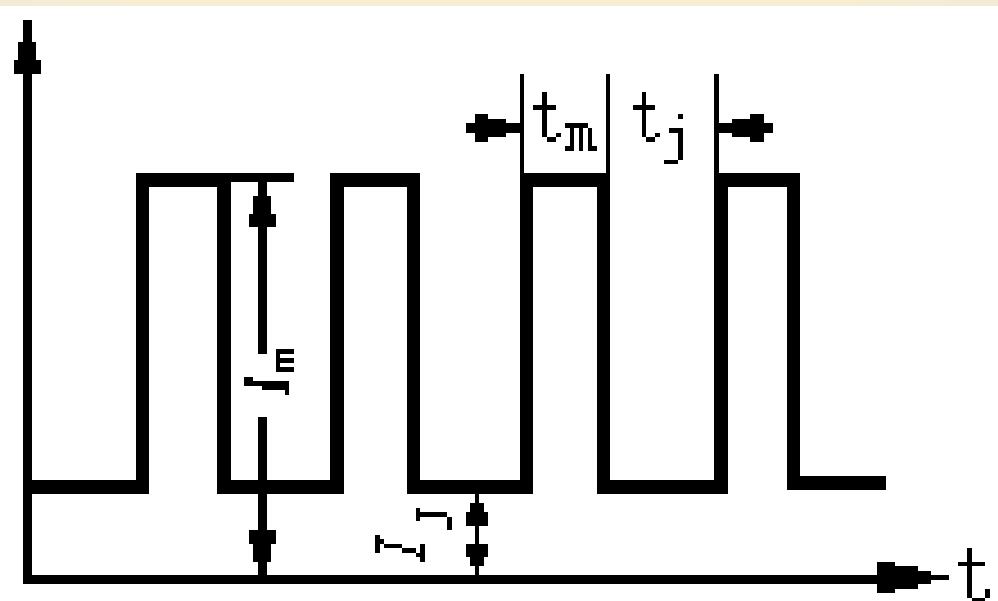


图4-12 脉冲电流波形示意图

I_m -脉冲电流 t_m -脉冲电流持续时间

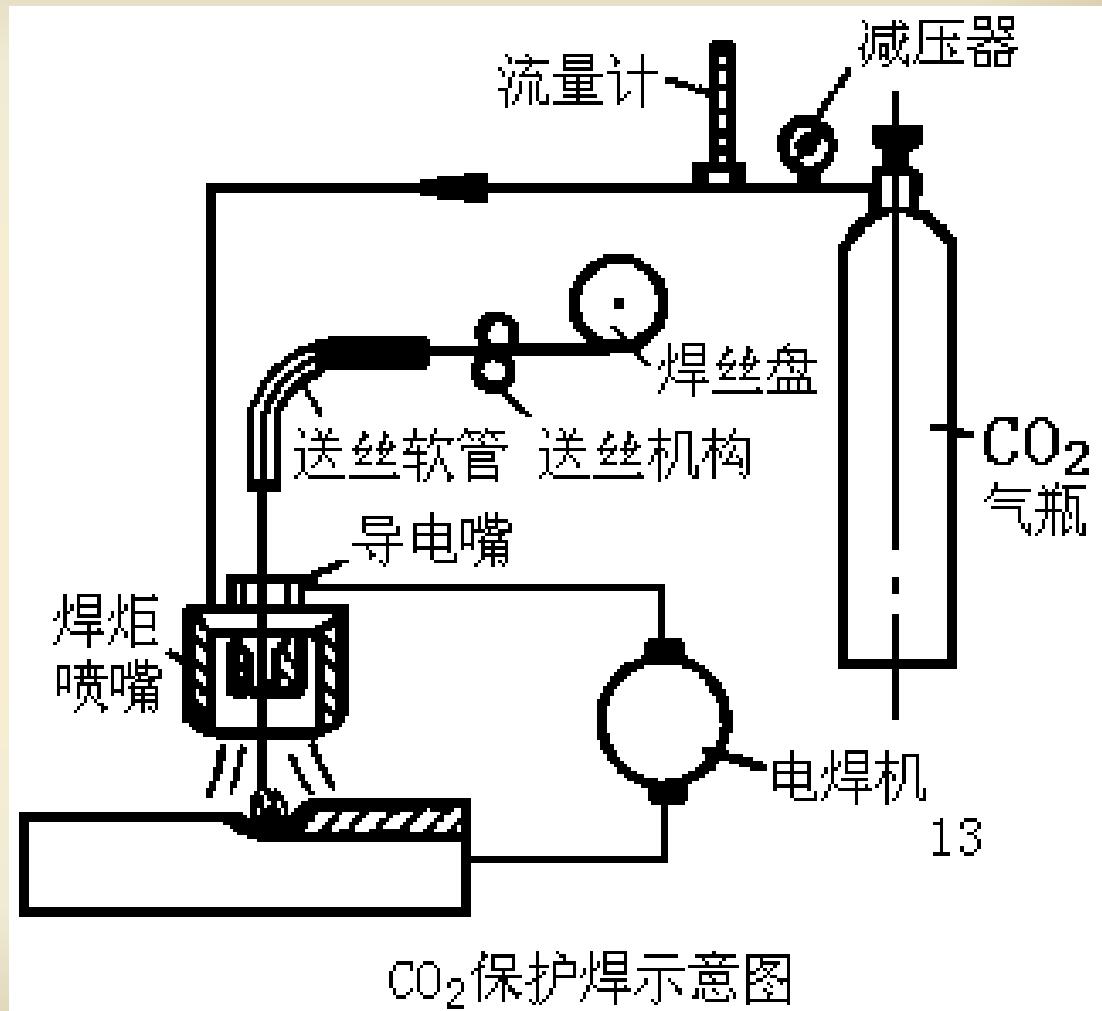
I_J -基本电流 t_J -基本电流持续时间

钨极脉冲氩弧焊的特点为：

- 1) 焊缝熔化凝固易于控制，避免薄件烧穿，适于焊0.1~5mm的钢材或钢管，能实现单面焊双面成形，保证根部焊透；
- 2) 适合于各种空间位置焊接，易于实现全位置动化；
- 3) 焊接规范容易调节，可减少裂纹倾向和焊接变形；
- 4) 焊缝质量稳定，接头机械性能高于普通氩弧焊。

2 CO₂气体保护焊

(1) 焊接过程

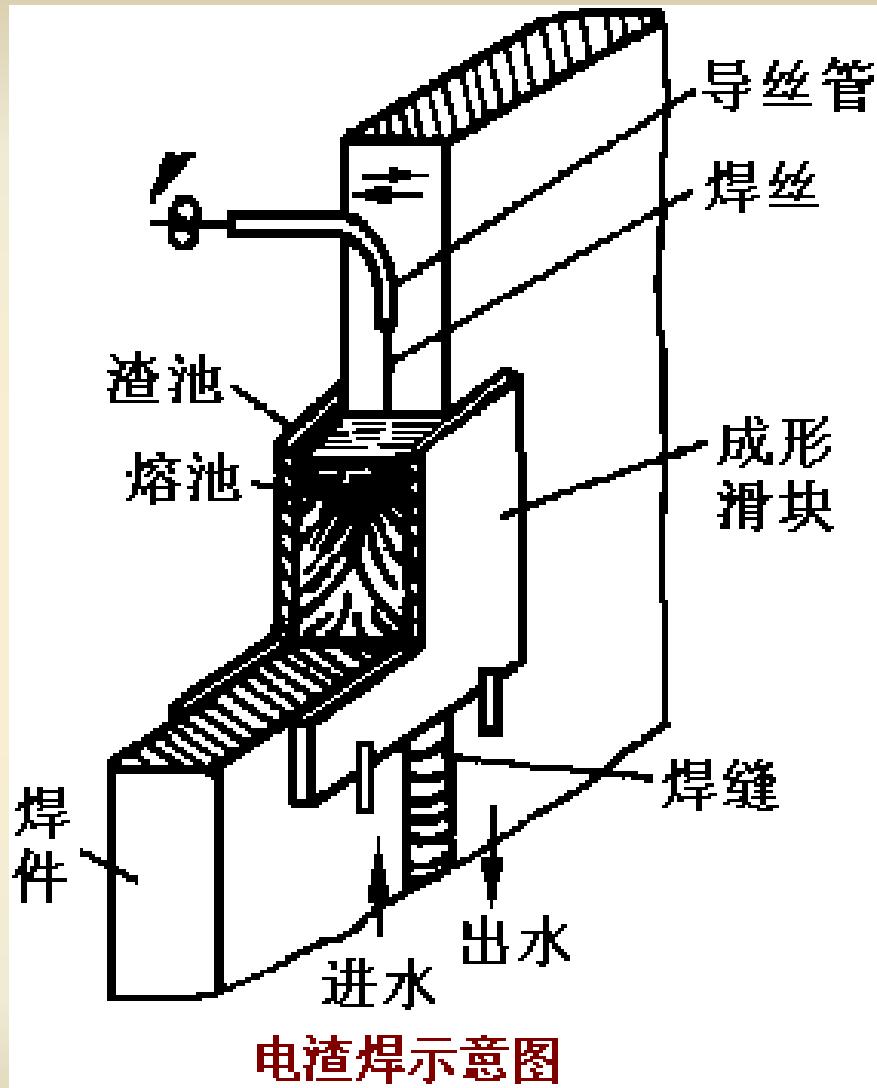


(2) CO₂气体保护焊的特点

- a) CO₂气体来源广、价格低，其焊接成本只有埋弧自动焊和手弧焊的40%~50%；
- b) CO₂保护焊焊缝含氢量低，抗裂性好；电弧集中，热影响区小，变形和裂纹倾向小；
- c) 焊接时电流密度大，熔深大，焊接速度快，无清渣过程，故生产率高；
- d) 可进行全方位的焊接，可焊1mm左右厚的薄钢板，常用于焊30mm以下的低碳钢和低合金钢的焊接；
- e) CO₂是氧化性保护气体，焊接时液滴飞溅大，焊缝不够平滑，只能采用直流电焊接。

3 电渣焊

(1) 电渣焊工艺过程



(2) 电渣焊的特点

① 生产率高：

适用于焊厚40mm以上的结构焊接,且一次焊成。

② 焊缝缺陷少：

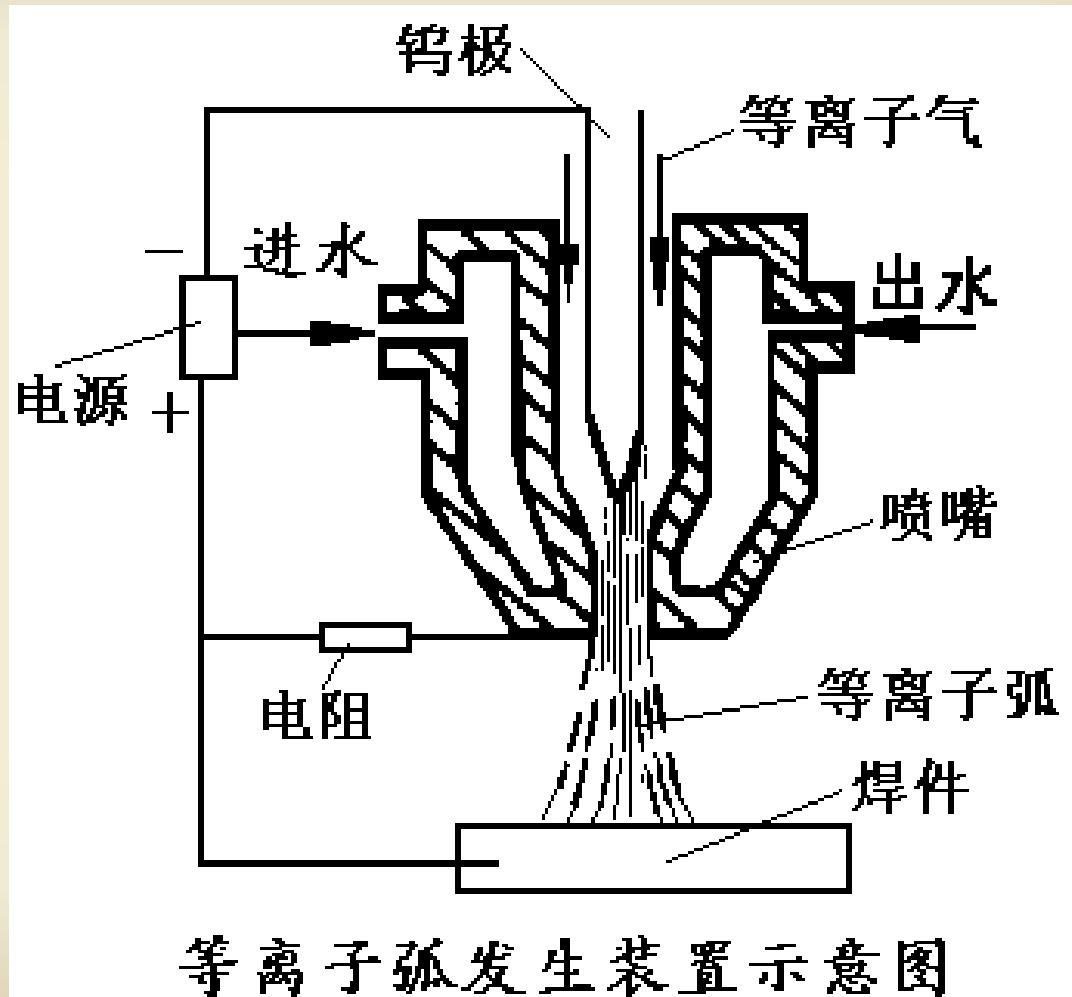
不易产生气孔、夹渣和裂纹等缺陷。

③ 成本低： 省电和省熔剂。

④ 焊件需正火热处理

4 等离子弧焊

(1) 焊接过程



(2) 焊接特点

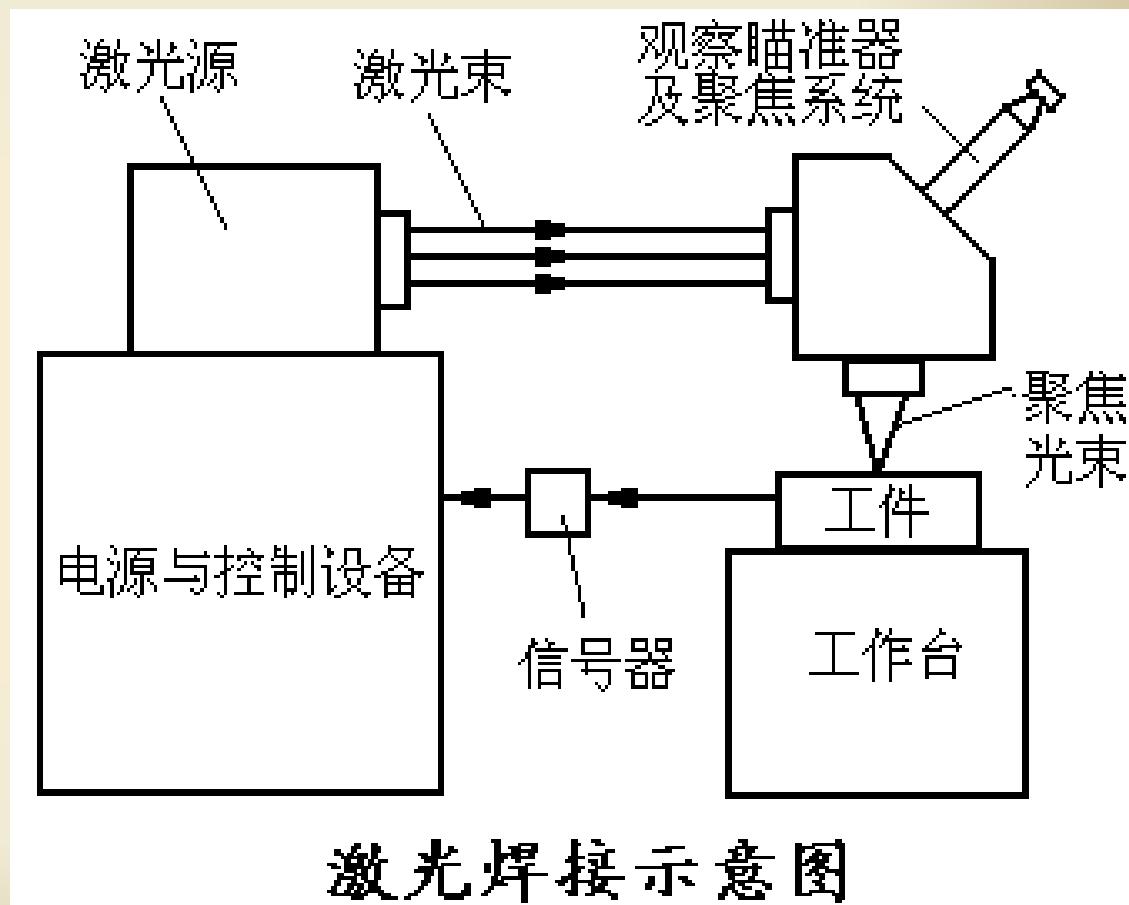
- ① 等离子弧能量密度大($10^5 \sim 10^6 \text{W/cm}^2$)，弧柱温度高(20000K)，穿透能力强，可单面焊接双面成形；
- ② 焊接电流小到0.1A，等离子弧仍能保持良好的挺直性和方向性，可焊厚度为0.025mm的金属箔材；
- ③ 焊接速度快，生产率高，热影响区小，焊接变形小，焊缝质量高。
- ④ 可焊接难熔、易氧化和热敏性强的材料，如钼、钨、钛、镍等合金和双金属焊接；
- ⑤ 焊接设备复杂，气体消耗量大，宜在室内焊接。

1 激光焊

激光焊是利用激光通过聚焦后产生的光斑，将光能转化为热能，使金属熔化形成焊接接的方法。

固体激光器→脉冲激光焊

气体激光器→连续激光焊



激光焊的特点：

- ① 能量密度大($10^{13}W/cm^2$)， 热量集中， 焊接时间短， 生产率高， 而且热影响区小， 变形小， 可焊精密零件和热敏感材料；
- ② 激光能量释放极其迅速， 被焊材料不易氧化， 可直接在大气中焊接；
- ③ 可对一般焊接方法难以接近的部位进行焊接和对内部金属进行焊接；
- ④ 可焊接异种金属材料， 和金属与非金属的焊接。



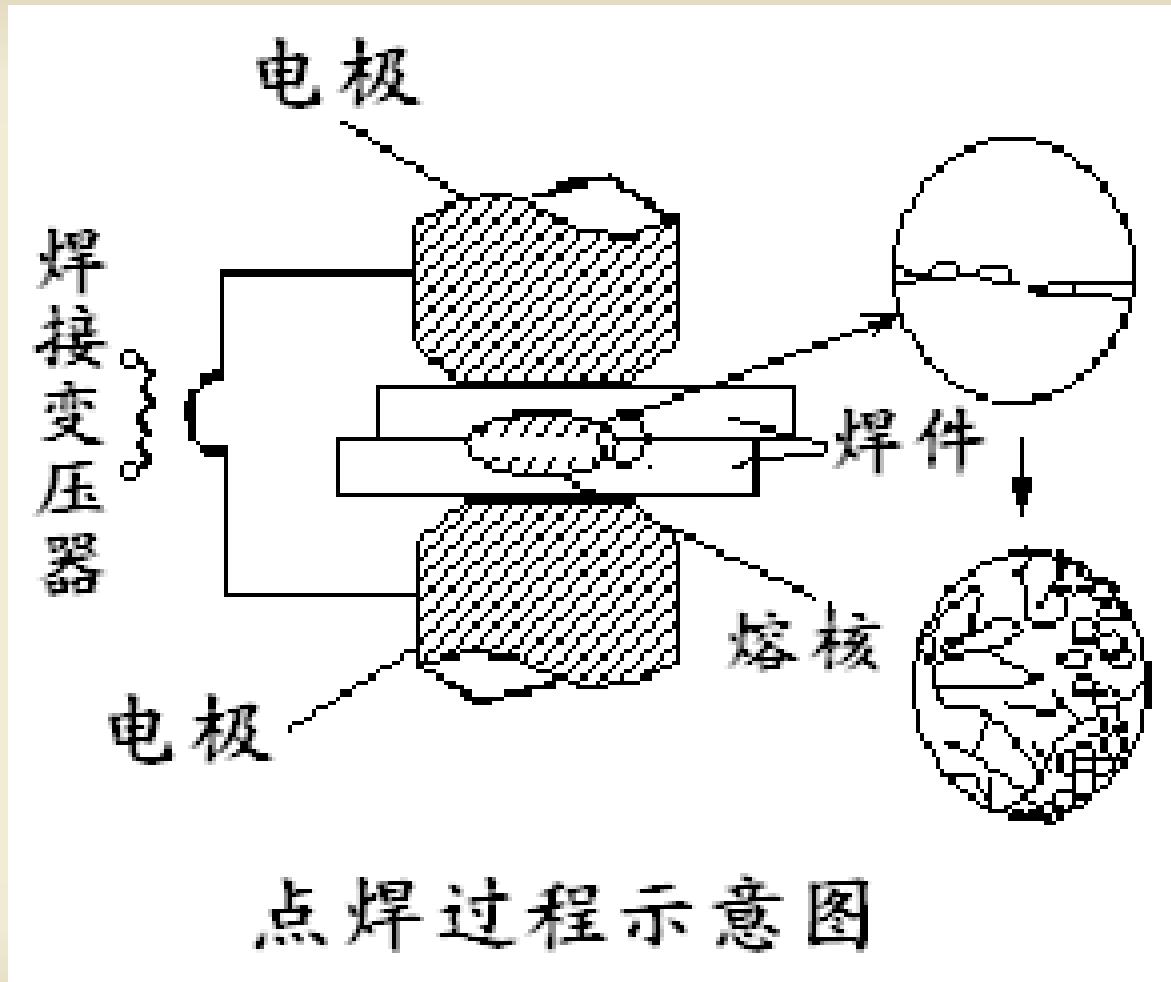
压力焊 利用加热或其它方法使金属接头处于半熔化或高塑性状态，在足够的压力下产生塑性变形，通过原子间的结合连结金属的方法。

1. 电阻焊

电阻焊 利用电流通过焊件接触面所产生的电阻热，将焊件局部加热到高塑性或半熔化状态，并在一定的压力下结晶凝固形成焊接接头的方法。它需采用大电流、低电压的大功率电源。其基本形式有**点焊**、**缝焊**和**对焊**。

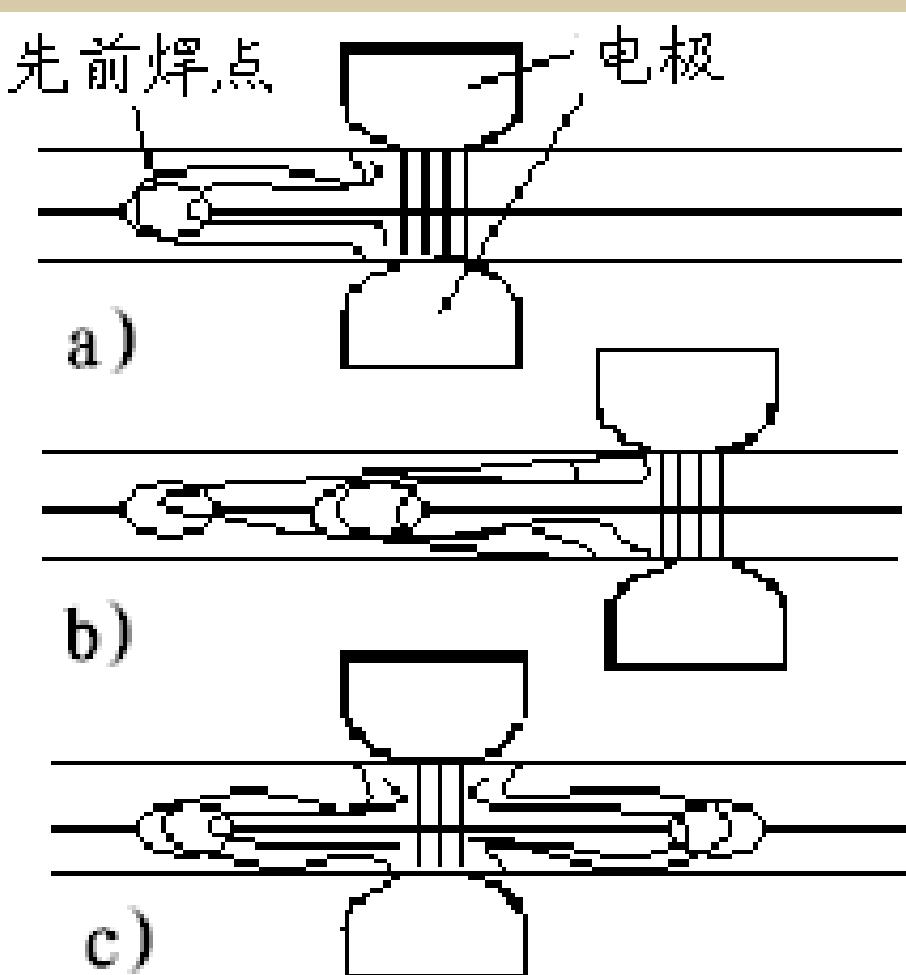
特点：的生产率高，焊接变形小，不需要填充金属，劳动条件好，操作简单，易于实现自动化生产。但焊接设备复杂，耗电量大，对焊件厚度和接头形式有一定限制，常适用于大批量生产。

1). 点焊



分流现象

点焊时电流会产生分流($I_1=K\delta/L$)现象，即有一部分电流通过已焊好的焊点，使焊接电流减少而影响焊接质量。焊件厚度越大，材料导电性越好，则分流现象越严重。因此两焊点间有一最小间距(见下表)。

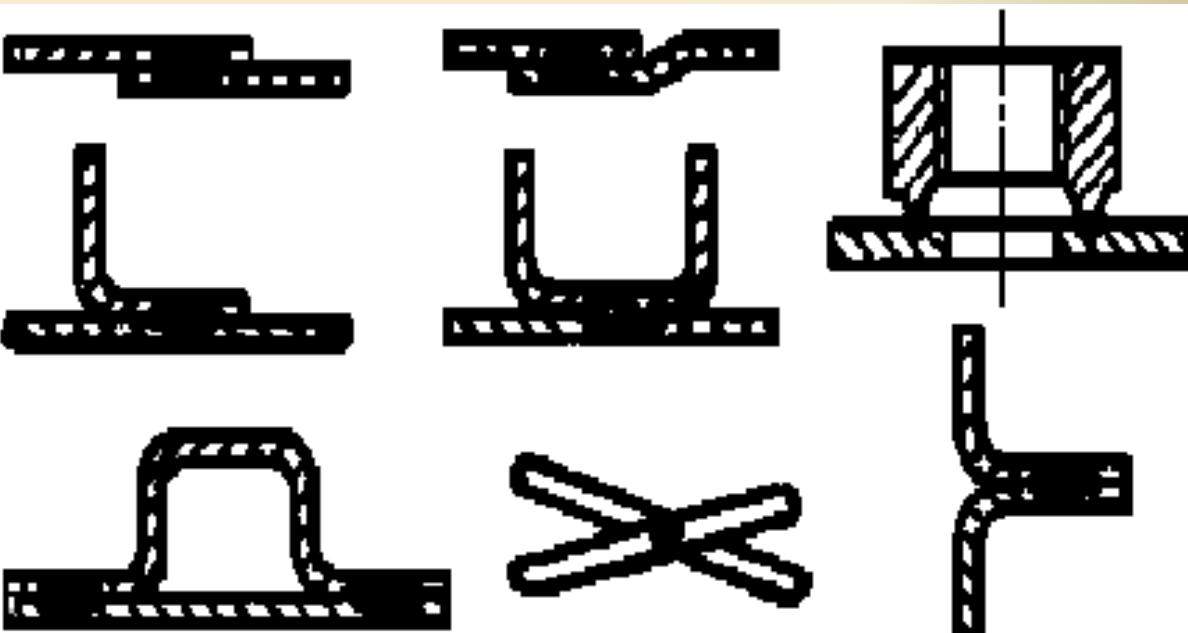


点焊时分流示意图

结构钢点焊的焊点间最小距离(mm)

工件厚度	0.3	0.5	0.8	1.0	1.2	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
焊点最小距离	7	10	11	12	13	14	18	20	24	28	32

★ 点焊接头形式



点焊接头型式

★ 点焊工艺参数(电流、压力和时间)

强规范: 大电流/短时间。薄板和导热性好的金属的焊接，不同厚度或不同材料及多层薄板的点焊。

弱规范: 小电流/长时间称为。用于厚板和易淬火钢的点焊。

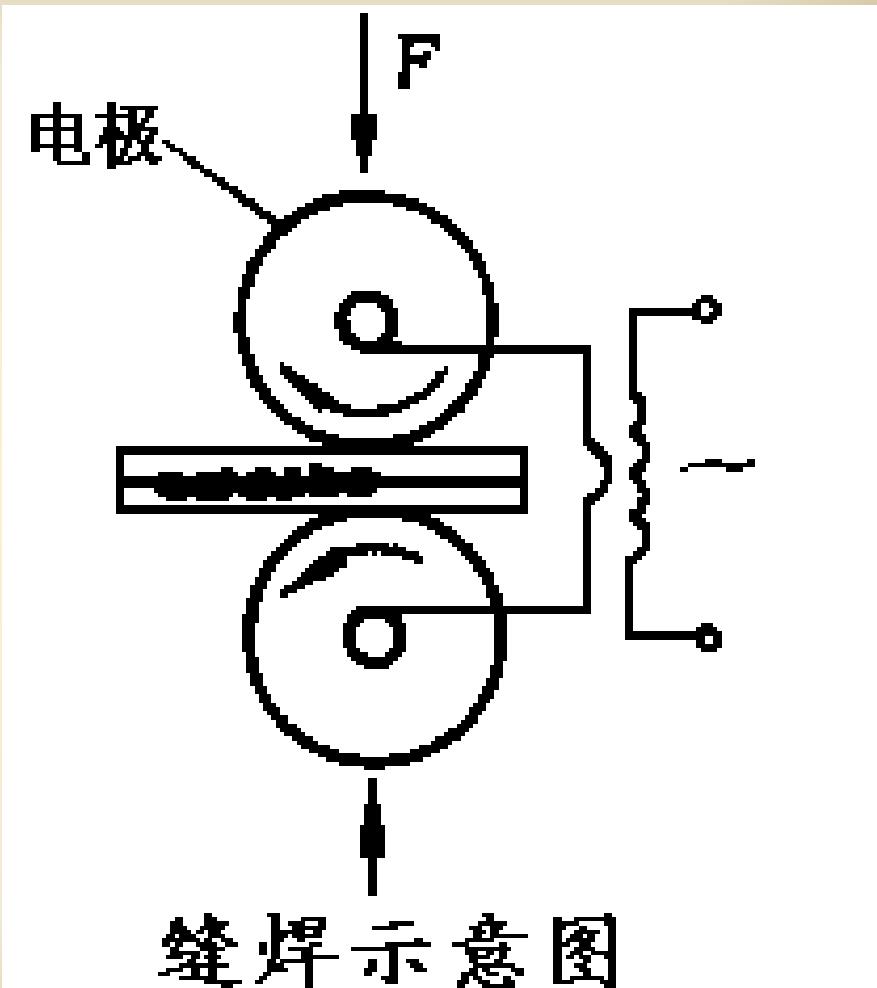
★ 点焊的应用

主要适用于汽车、飞机、机车、电子仪表和日常生活等生产部门的薄板结构($\leq 4\text{mm}$)和钢筋构件。

2). 缝焊

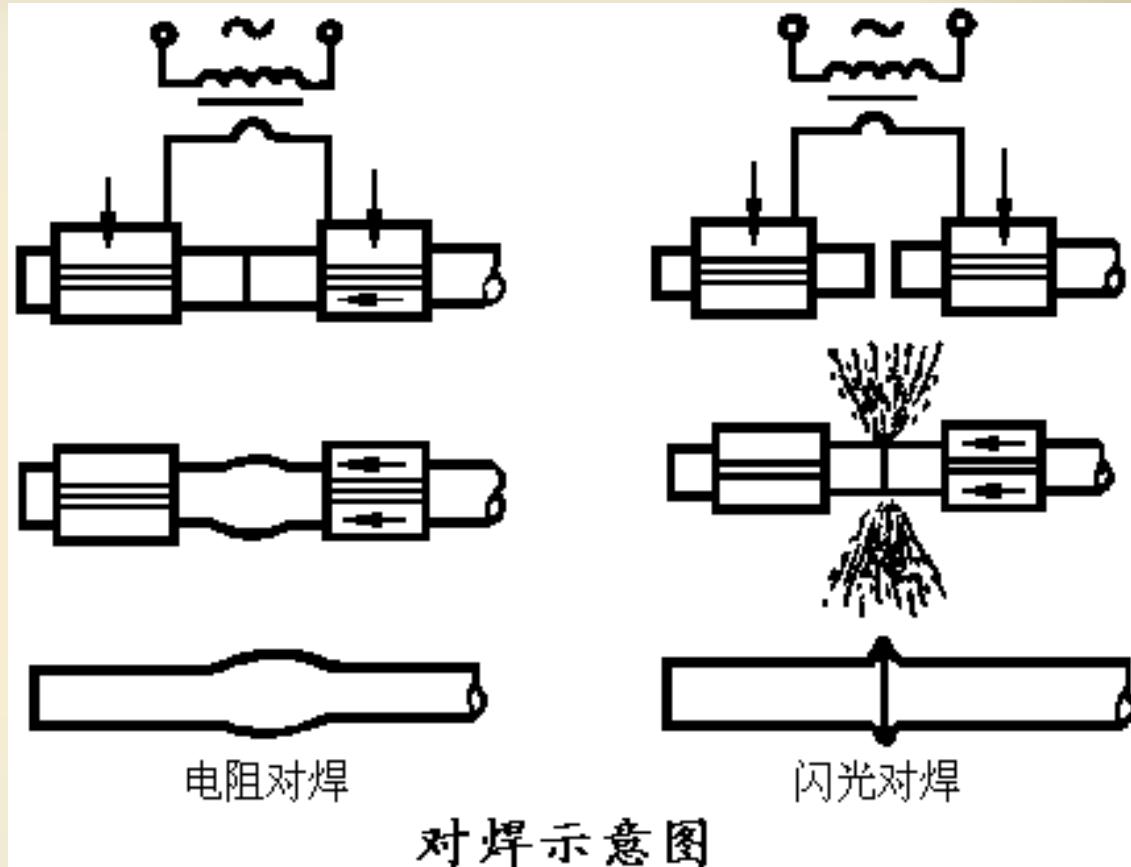
缝焊的电极是一对旋转的圆盘(滚轮)，焊件在滚轮间一边随滚轮转动而送进，一边受压通过脉冲电流，得到连续的相互重叠的焊点组成的焊缝。

缝焊时焊点互相重叠，焊件密封性好，但分流现象严重，故缝焊需要的焊接电流较点焊高出50%~100%，焊件厚度 $\leq 3\text{mm}$ 。一般采取连续送进、间断通电的操作。



3). 对焊

对焊是用对接的方式，在整个接触面上通电产生电阻热使焊件连接在一起的焊接方法。根据焊接过程的不同，可分为电阻对焊和闪光对焊。



2. 其他压焊的方法及工艺

其他压焊方法包括摩擦焊、超声波焊、扩散焊和爆炸焊；它们的工艺原理、方法、特点及应用列于表3-10中。（[自学内容](#)）

钎焊是将熔点比焊件低的钎料加热熔化后渗入固态焊件间的间隙内，将焊件连接起来的焊接方法。根据钎料的熔点不同钎焊可分为硬钎焊和软钎焊。

1. 硬钎焊

钎料熔点高于450°C，接头强度较高($>200\text{ MPa}$)，主要用于受力较大或工作温度较高的工件。常用的钎料有铜基、银基和镍基合金等。熔剂为硼砂、硼酸、氯化物和氟化物的各种组成物。主要用于受力较大的钢材、铜合金构件的焊接和刀具、工具的焊接。

2. 软钎焊

钎料低于450°C，接头强度低($\leq 100\text{MPA}$)，主要用于受力较小或工作温度较低的工件。常用钎料是锡铅合金(焊锡)。熔剂是松香、氯化锌或氯化铵溶液。软钎焊广泛用于受力不大的钢结构、铜合金构件和仪表、导电元件的焊接。

钎焊加热方式有烙铁加热、火焰加热、电阻加热、炉内加热和盐浴加热等，其中烙铁加热温度低，只适合软钎焊。

3. 钎焊特点

- ① 工件加热温度较低，组织和性能变化很小，变形也小。接头光滑平整，工件尺寸精确。
- ② 可焊接性能差异很大的异种金属，对工件厚度无限制。
- ③ 对工件整体加热时，可同时钎焊由多条焊缝组成的复杂形状构件，生产率高。
- ④ 钎焊设备简单，生产投资费用少。

一、金属材料的可焊性

1. 可焊性概念

焊接性是指被焊金属在采用一定的焊接方法、焊接材料、工艺参数及结构形式下，获得优质焊接接头的难易程度。即金属材料在一定的焊接工艺条件下，表现出“好焊”和“不好焊”的差别。

材料的焊接性不是一成不变的，同一种金属材料，采用不同的焊接方法、焊接材料与焊接工艺（包括预热和热处理等），其焊接性可能有很大的差别，如钛及其合金的焊接。

工艺焊接性

主要指焊接接头产生工艺缺陷的倾向，尤其是出现各种裂纹的可能性；

使用焊接性

主要指焊接接头在使用中的可靠性，包括焊接接头的机械性能及其它特殊性能(如耐热、耐蚀性能等)。

金属材料这两方面的可焊性通过估算和试验方法来确定。工业上应用的绝大多数金属材料都是可焊的，只是焊接的难易程度不同而已。

2. 钢材可焊性的估算

钢材可焊性主要受化学成分的影响，其中碳最明显，其它元素的影响可折合成碳的影响，常用碳当量 $W(C_E)$ 估算被焊钢材的可焊性。

$$W(C_E) = \left(\frac{W_C + \frac{W_{Mn}}{6}}{6} + \frac{W_{Cr} + W_{Mo} + W_V}{5} + \frac{W_{Ni} + W_{Cu}}{15} \right) \times 100\%$$

- ① $W(C_E) < 0.4\%$ 时，钢材塑性良好，淬硬倾向不明显，焊接性良好；
- ② $W(C_E) = 0.4\% \sim 0.6\%$ 时，钢材塑性下降，淬硬倾向明显，焊接性较差；
- ③ $W(C_E) > 0.6\%$ 时，钢材塑性较低，淬硬倾向很强，焊接性不好。

二、碳钢及低合金钢的焊接

1. 碳钢的焊接

★低碳钢的含碳量少，焊接性良好。焊接过程中不需要任何特殊的工艺措施，几乎所有的焊接方法都能获得优质焊接接头。

★中碳钢随着碳含量的增加焊接性变差，产生淬硬组织和裂纹的倾向增大。应适当进行预热($W(C_E) < 0.45\%$ 时， $150^{\circ}\text{C} \sim 250^{\circ}\text{C}$ ， $W(C_E) > 0.45\%$ 时， $150^{\circ}\text{C} \sim 250^{\circ}\text{C}$)，并采用选用抗裂性能好的低氢型焊条，采用细焊条、小电流开坡口多层焊、焊后缓冷和去应力退火等工艺。

★高碳钢的焊接型很差，一般只对高碳钢工件进行焊补，而不进行结构焊接。

2. 低合金钢的焊接

当低合金钢的 $W(C_E) < 0.4\%$ 时，焊接性良好。在室温下的焊接性与低碳钢接近。

当低合金钢的 $W(C_E) = 0.4\% \sim 0.6\%$ 时，焊接性较差，易产生淬硬组织和裂纹；焊前一般需预热，焊接时工艺措施要求严格，选用低氢焊条及焊后进行退火处理，以避免产生裂纹和变形。

三、铸铁的补焊

1. 铸铁的焊接性

铸铁碳、硅含量高，塑性很差，属于焊接性很差的材料。基本不考虑作为焊接结构件，只是对铸造生产时产生的一些铸造缺陷或在使用过程中铸件产生的局部破损进行焊补和修复。铸铁件的焊补和修复常用手弧焊和气焊，焊补方法分为热补焊和冷补焊。

2. 铸铁焊接差的原因

- ① 熔合区易产生白口组织和淬火组织；
- ② 铸铁因强度低、塑性差，焊接时极易产生裂纹；
- ③ 铸铁因碳、硅含量高，焊接时极易产生CO、CO₂和熔渣，易产生气孔和夹渣缺陷；
- ④ 铸铁熔化后，流动性好，只适合平焊。

四、有色金属的焊接

1. 有色金属的焊接性差的因为

- ① 容易氧化
- ② 吸气性大
- ③ 导热系数大
- ④ 线膨胀系数大

2. 铝及铝合金的焊接

常用氩弧焊、气焊、点焊、缝焊和钎焊。

氩弧焊是焊接铝及铝合金较好的方法，焊接时可不用焊剂，但氩气纯度要求大于99. 9% 。

3. 铜及铜合金的焊接

焊接方法	焊丝	熔剂
氩弧焊、气焊	紫铜	硼砂和硼酸(紫铜或锡青铜)
碳弧焊、钎焊	磷青铜	氯化盐和氟化盐(铝青铜)



五、异种金属的焊接

两种金属本身的物理化学性能差异和力学等性能的差异使异种金属的焊接比同种金属难得多。

1. 异种金属的焊接性分析

1) 治金学互溶性

冶金学互溶性即结晶化学性的差异(它包括晶格结构、原子半径、原子的电子结构等方面)。

互溶性取决两种金属液态/固态的互溶性和焊接时产生金属间化合物(中间相)的可能性。

在选择材料搭配时，首先要满足互溶性。纯铅和铜，铁与镁，铁与铅等因互溶性差而不好焊接。

2) 物理性能的差异

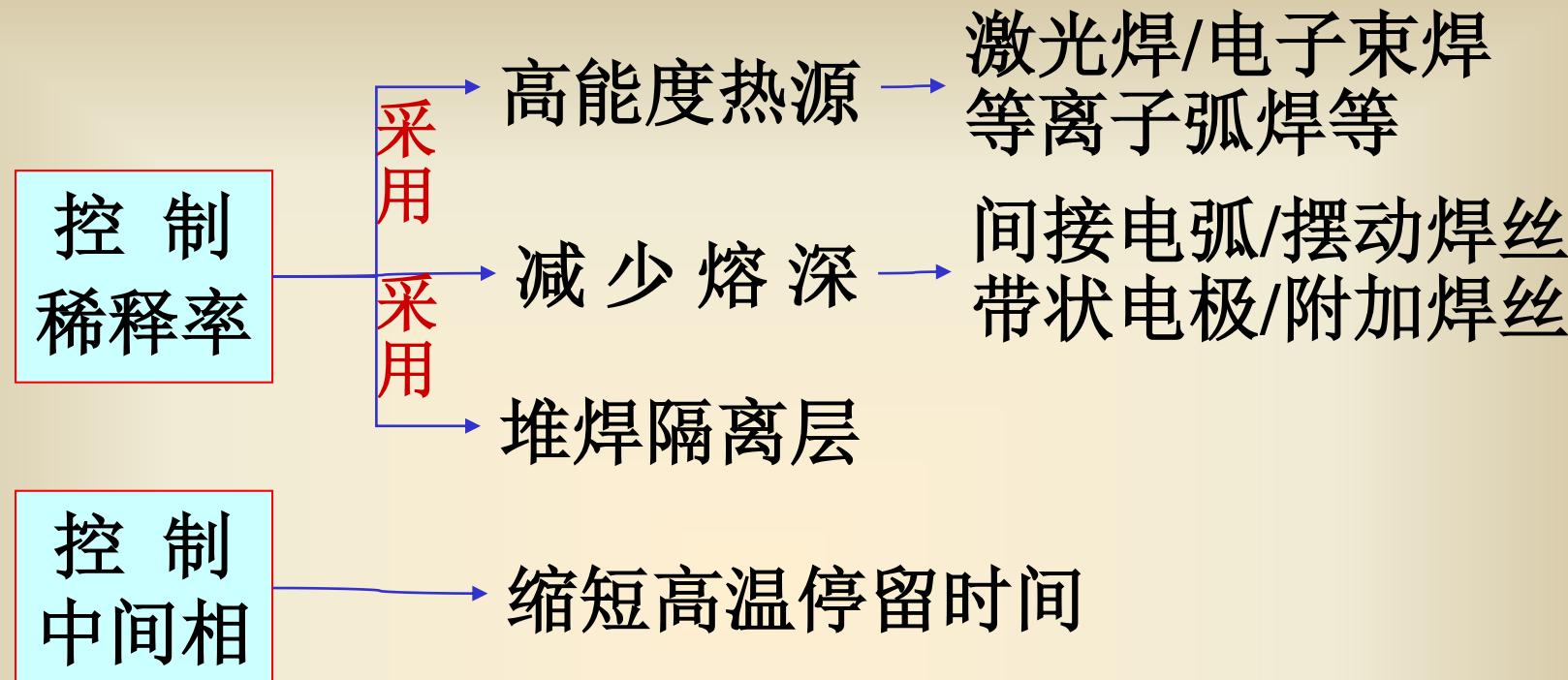
金属的物理性能主要是熔化温度，膨胀系数，导热系数和电阻率等。它们的差异将影响焊接的热循环过程和结晶条件，增加焊接应力，降低接头质量，使焊接困难。

2. 异种金属的焊接方法

1) 熔焊

常用手弧焊、埋弧焊、气体保护焊、电渣焊、等离子弧焊、电子束焊、激光焊等方法。

熔焊时主要控制稀释率和中间相的产生。



对一些熔合不理想的金属，可通过增加过渡层金属，使其能更好地熔合在一起。

2) 压焊

大多数压焊方法都只是将被焊金属加热至塑性状态或甚至不加热，而施加一定压力为基本特征。用压焊焊接异种金属具有一定的优越性。

- ① 只熔化异种金属交界表面(闪光焊和摩擦焊);
- ② 因加热温度很低，基本不产生中间相;
- ③ 因稀释而引起的焊缝金属性能的变化微不足道。

只要接头形式允许，采用压焊焊接异种金属是理想的选择。（点焊/缝焊/超声波焊…搭接接头；摩擦焊…旋转体工作面；爆炸焊…大截面）



设计焊接件时,不仅要考虑到焊件的使用性能,还要考虑焊件结构的工艺性能,使焊件生产简便、质量优良、成本低廉。焊件结构工艺性应包括结构材料的选择、接头形式、焊缝布置等方面。

一、焊接件材料的选择

1. 尽量选用可焊性好的材料

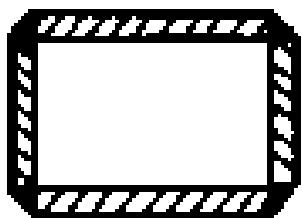
① $C < 0.25\%$ 的低碳钢或 $CE < 0.4\%$ 的低合金钢。

因这类钢淬硬倾向小,塑性高,焊接工艺简单。

② 尽量选用镇静钢。镇静钢含气量低,特别是含 H_2 和 O_2 量低,可防止气孔和裂纹等缺陷。

2. 异种金属焊接时焊缝应与低强度金属等强度，而工艺应按高强度金属设计

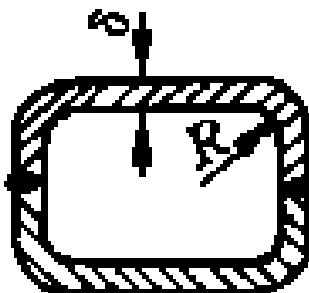
3. 尽量采用工字钢、槽钢、角钢和钢管等型材，以减少焊缝数量、简化焊接工艺，还可以增加结构件的强度和刚度。



a) 用四块钢板焊成

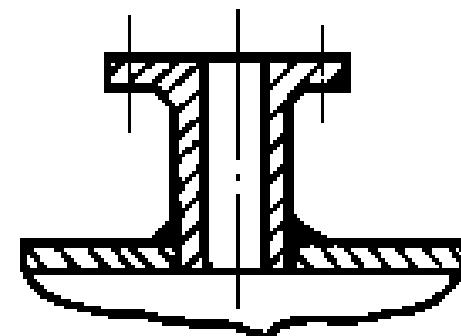


b) 用两根槽钢焊成



$$R \geq (1.5 \sim 2)\delta$$

c) 用两块钢板
弯曲后焊成



d) 容器上的
铸钢件法兰

合理选材与减少焊缝



二、焊接方法的选择

1. 生产单件钢结构件

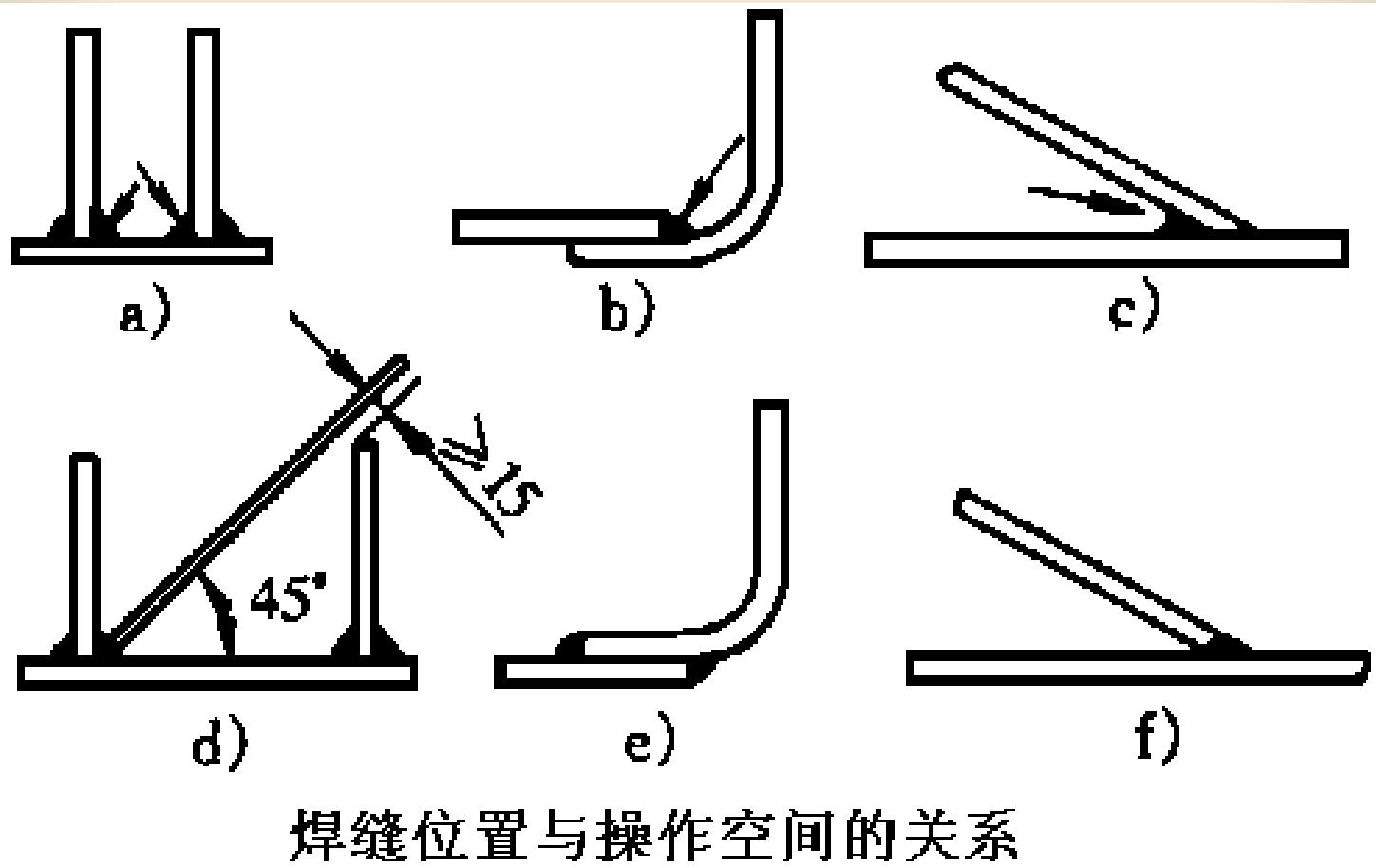
- ① $\delta < 3$ mm, 焊缝较短应选用CO₂焊。
- ② $\delta = 3 \sim 10$ mm, 强度较低, 且焊缝较短应选用手弧焊。
- ③ $\delta > 10$ mm, 焊缝为长直焊缝或环焊缝应选用埋弧焊。

2. 生产大批钢结构件

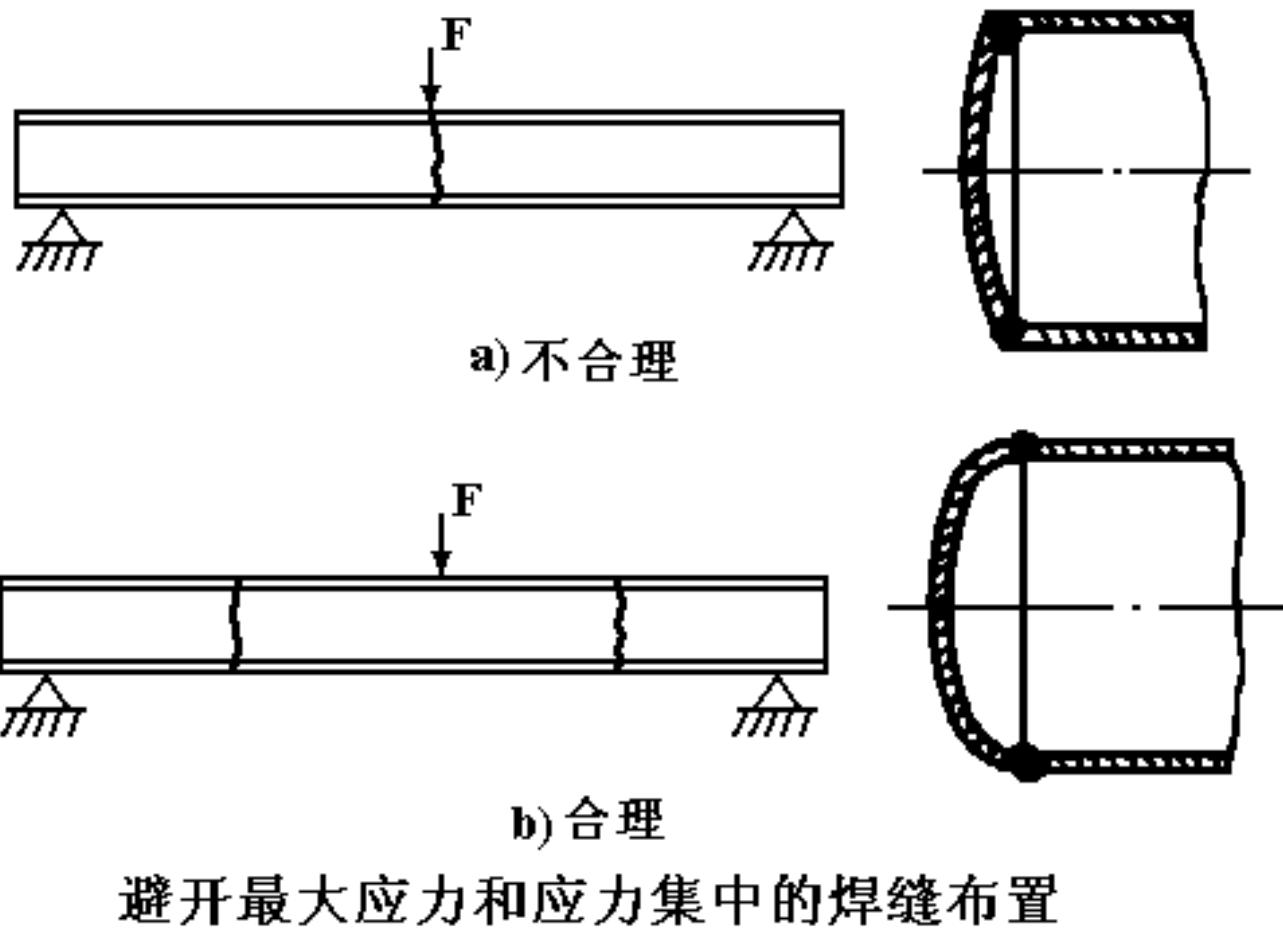
- ① $\delta < 3$ mm, 无密封要求选点焊, 有密封要求选缝焊。
- ② $\delta = 3 \sim 10$ mm, 长直焊缝或环焊缝, 选CO₂自动焊。
- ③ $\delta > 10$ mm, 长直焊缝和环焊缝, 选埋弧焊或电渣焊。

三、 焊缝的布置

1. 焊缝的位置应便于操作

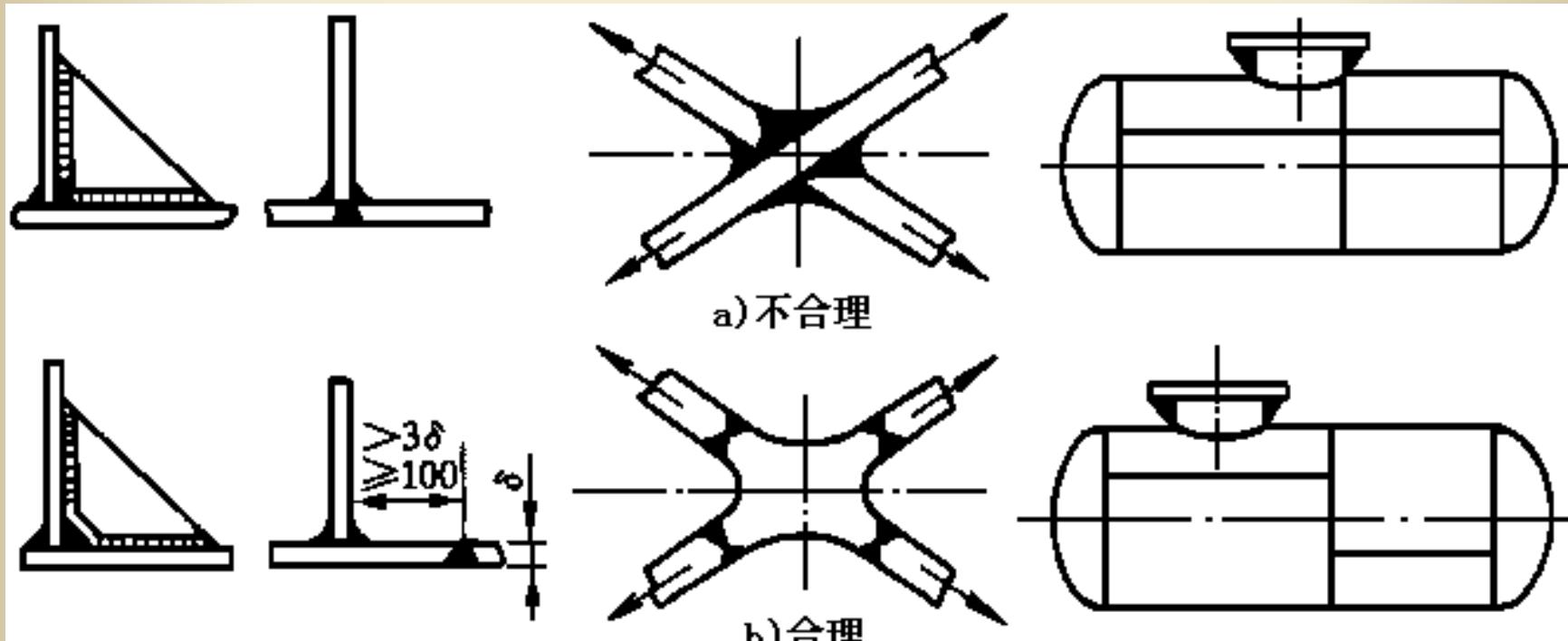


2. 焊缝应避开应力最大和应力集中的部位



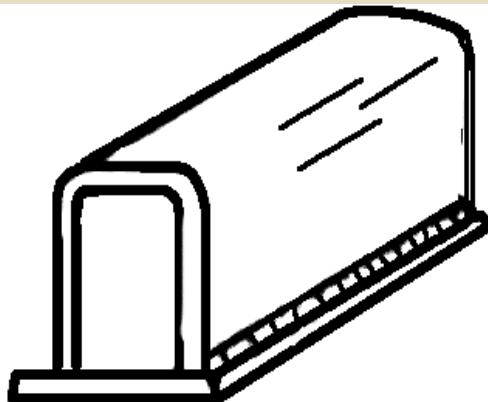
3. 焊缝布置应尽可能分散

焊缝的交叉和密集使接头部位严重过热，组织恶化，性能下降，而且会产生变形和裂纹。

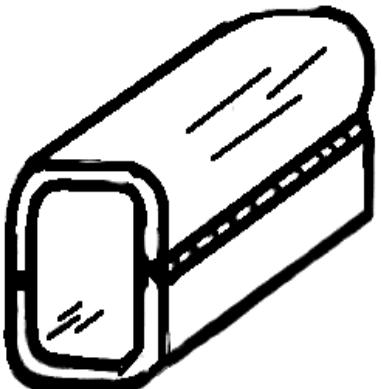


焊缝应避免过分集中和密集交叉

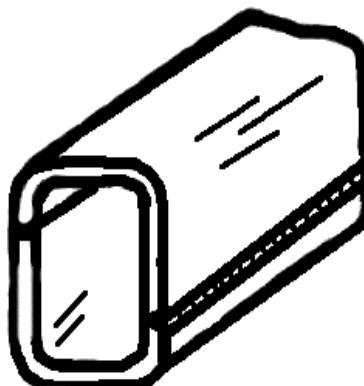
4. 焊缝位置应尽可能对称，以便减少变形



a) 不合理

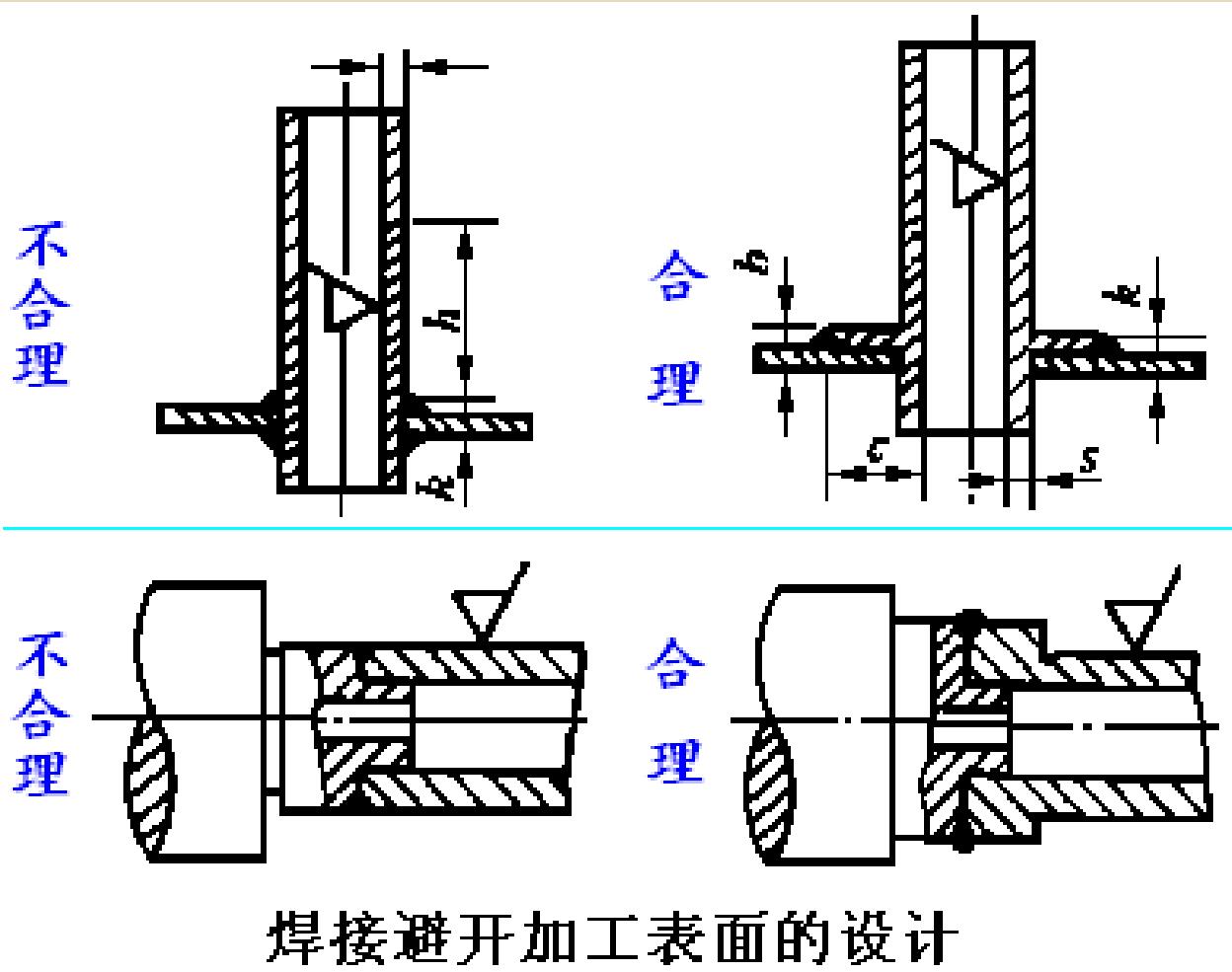


b) 合理



c) 合理

5. 焊缝位置应远离加工表面





四、焊接接头形式和设计

1. 接头形式

接头型式应根据结构形状、强度要求、工件厚度、焊后变形大小、焊条消耗量、坡口加工难易程度等各个方面因素综合考虑决定。接头基本形式有对接接头、搭接接头、角接接头和丁字接头。

对接接头：应力分布均匀、接头质量好、节省材料；

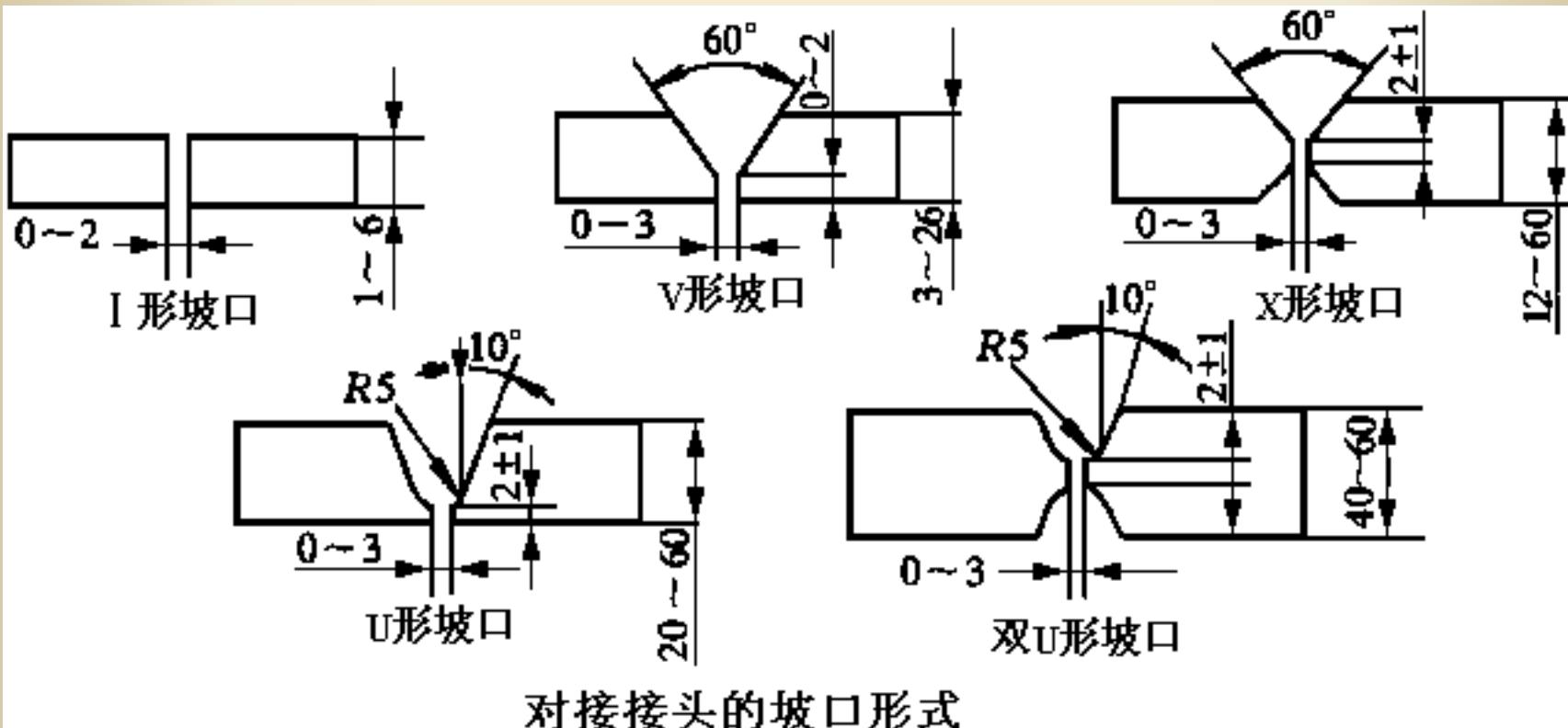
焊前准备和装配要求较高。最常用接头

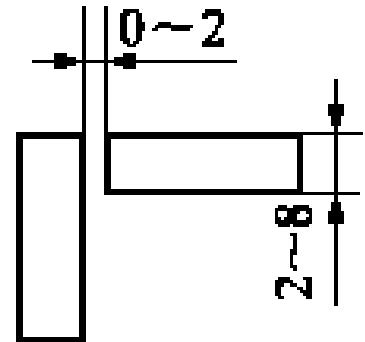
搭接接头：不开坡口、装配要求低；受力时产生附加弯矩，金属消耗量较大。一般应避免采用。

角接或丁字接头：当接头构成直角或一定角度连接时采用。

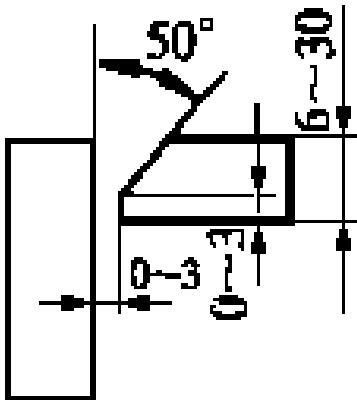
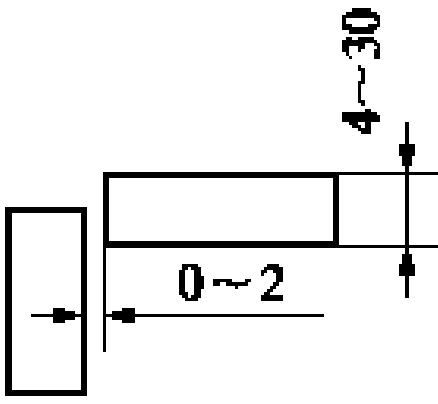
2. 坡口形式、选用及加工要求

当焊件厚度较大时, 为保证焊透, 接头处应根据工件厚度加工出各种坡口; 常用的坡口形式为I形坡口、V形坡口、X形坡口、U形坡口和K形坡口。

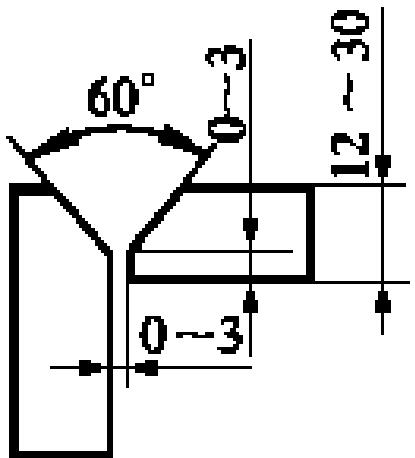




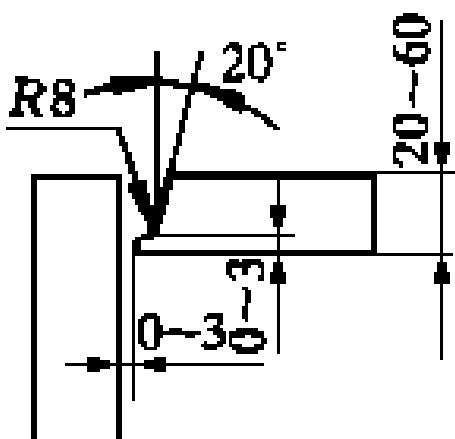
I形坡口



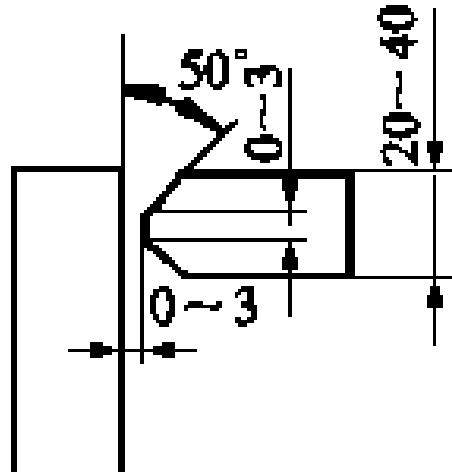
单边V形坡口



V形坡口

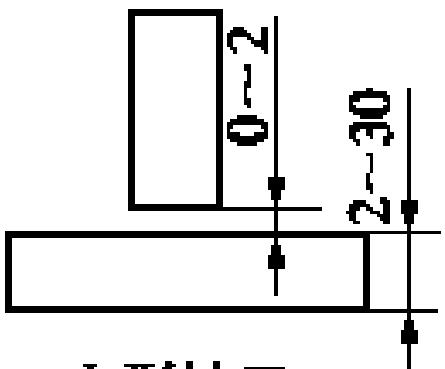


单边U形坡口

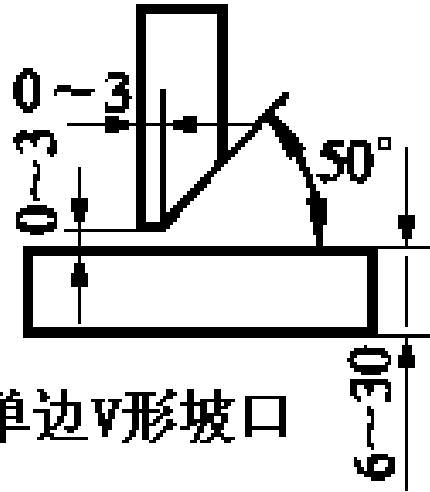


K形坡口

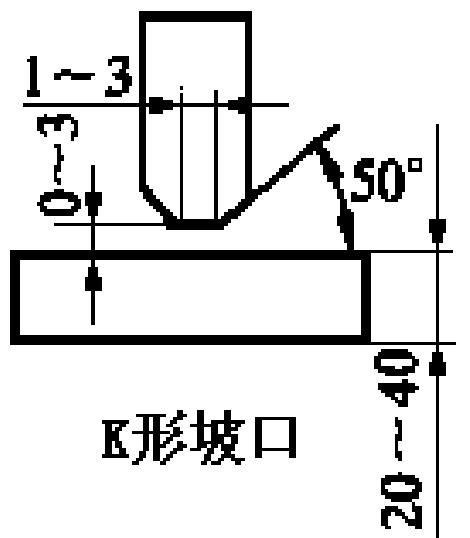
角接接头的坡口形式



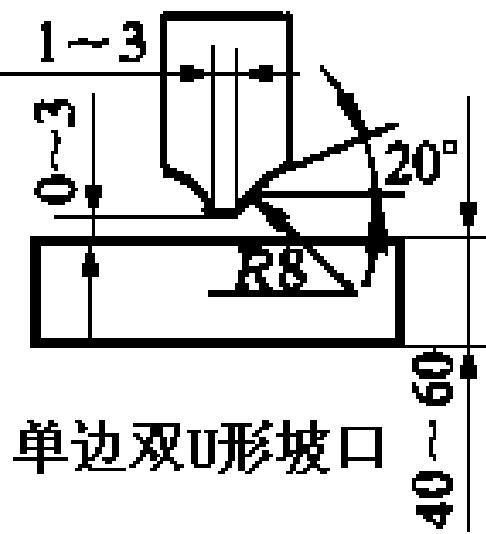
I形坡口



单边V形坡口



K形坡口



单边双U形坡口

丁字接头的坡口形式

V形和U形坡口单面焊，焊条容易到位，但焊后变形较大，焊条消耗量也大。

X形和双U形坡口受热均匀，变形小，焊条消耗较少，但必须双面施焊，有时受焊件结构所限制。

坡口形式的选择主要根据板厚和熔透要求，同时应考虑坡口加工经济性和焊接工艺性。通常，要求焊透的重要受力焊缝应尽量采用双面焊，以利于保证质量。

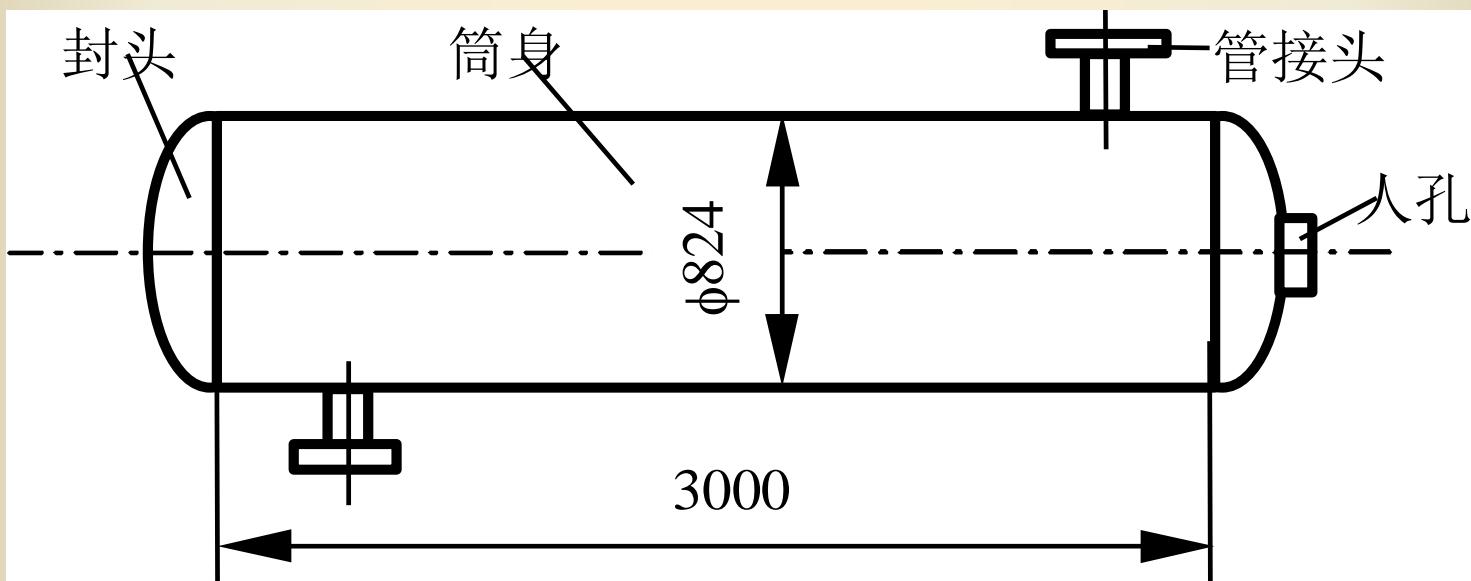
五、典型焊件的工艺设计

名称：中压容器

材料：Q345E(16MnR) (原材尺寸为 $1200 \times 5000\text{mm}^2$)

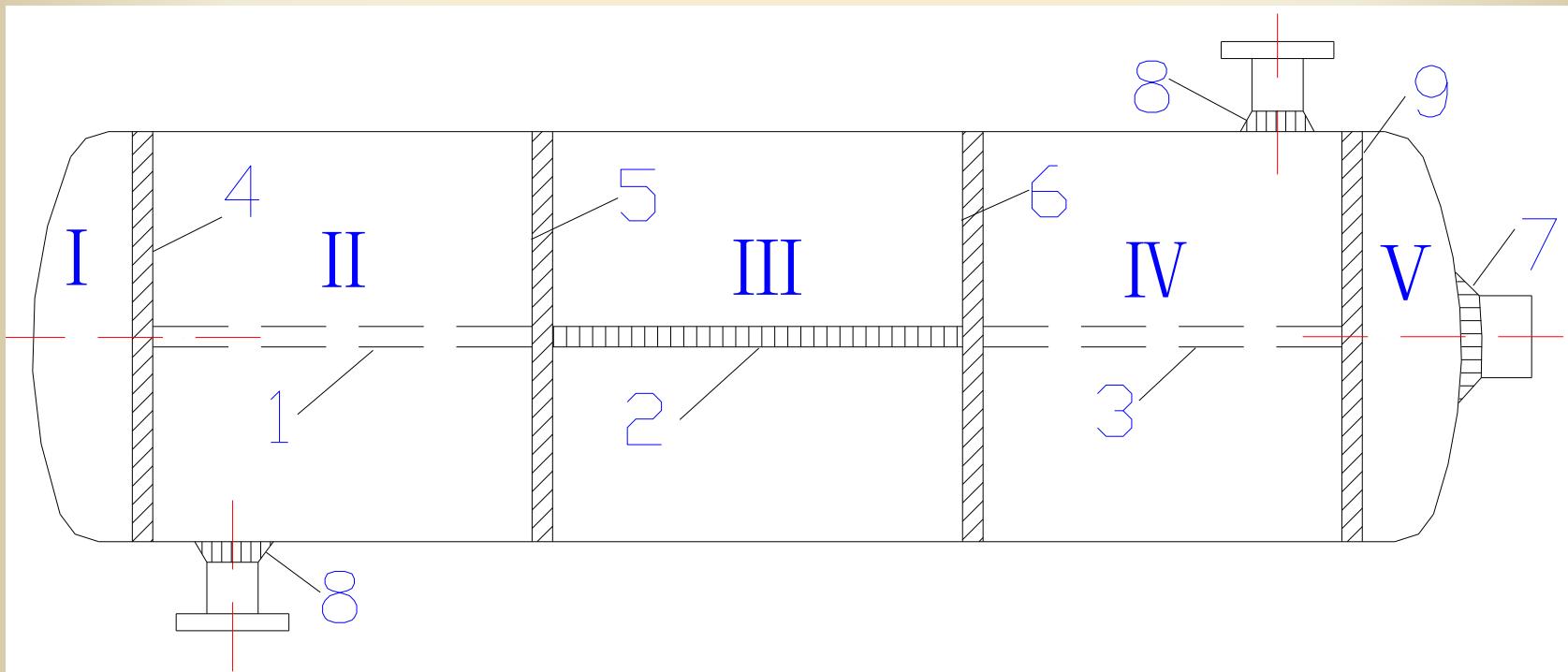
件厚：筒身12mm；封头14mm；人孔圈20mm；管接头7mm

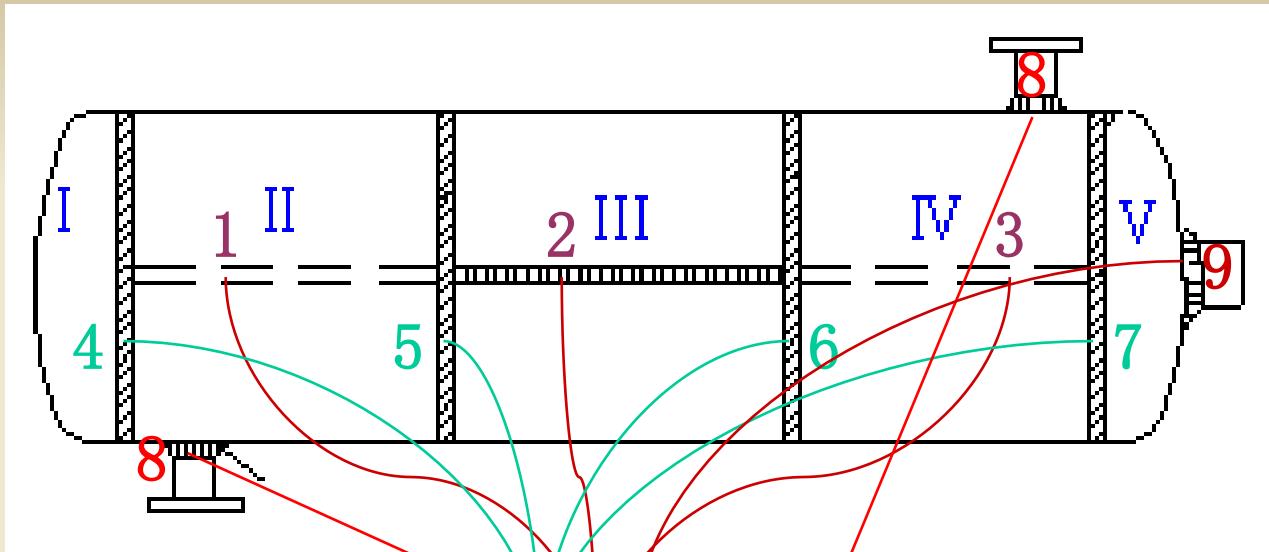
批量：小批生产



中压容器外形图

筒身用钢板冷卷，分为三节，为避免焊缝密集，筒身纵焊缝可相互错开180°，封头应采用热压成型，与筒身连接处应有30mm~50mm的直段，使焊缝躲开转角应力集中位置。人孔圈如卷板机功率有限，可加热卷制，其工艺图如下图。





V → 扔孔圈焊接

处于立焊位置的圆角焊缝, 手
弧焊, 单面坡口双面焊, 焊透

采用
内后

入
焊

IV → 入孔圈纵缝

$\delta=20\text{mm}$, 焊缝短(100mm)
手弧焊, 平焊位置, V型坡口



第四章 材料切削加工基础

4. 1 概述

4. 2 金属切削加工的基础理论

4. 3 切削加工的技术经济评价

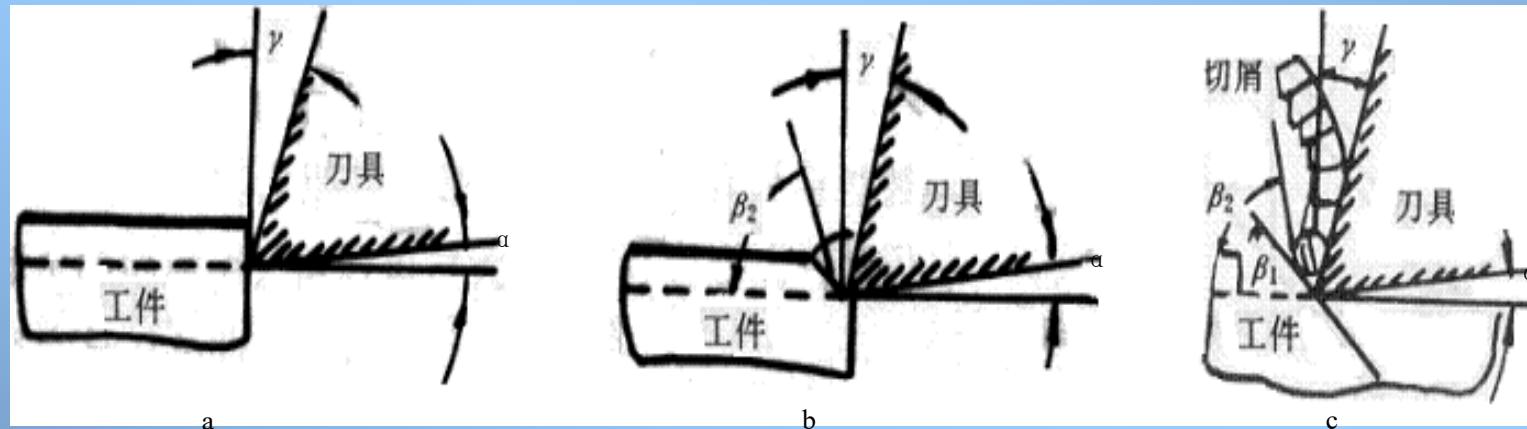
本章重点：切削运动、刀具材料及结构、切削力及热、工件材料的可切削性。

本章难点：刀具角度。

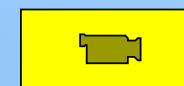
4.2 金属切削加工的基础理论

4.2.1 切削过程及切屑种类

1. 切屑形成过程



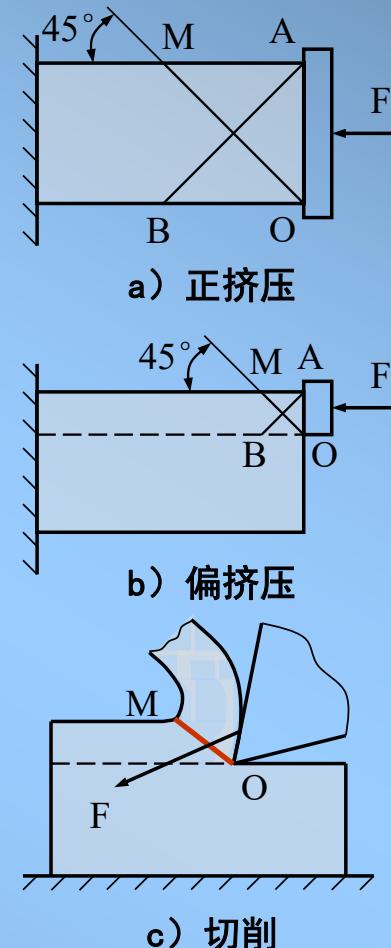
弹性变形 —— 塑性变形 —— 被挤裂 —— 沿前刀面
流出成为切屑



● 挤压与切削



- 切屑的形成与切离过程，是切削层受到刀具前刀面的挤压而产生以滑移为主的塑性变形过程。
- **正挤压**：金属材料受挤压时，最大剪应力方向与作用力方向约成 45° 。
- **偏挤压**：金属材料一部分受挤压时，OB线以下金属由于母体阻碍，不能沿AB线滑移，而只能沿OM线滑移
- **切削**：与偏挤压情况类似。弹性变形→剪切应力增大，达到屈服点→产生塑性变形，沿OM线滑移→剪切应力与滑移量继续增大，达到断裂强度→切屑与母体脱离。



金属挤压与切削比较

金属切削变形过程

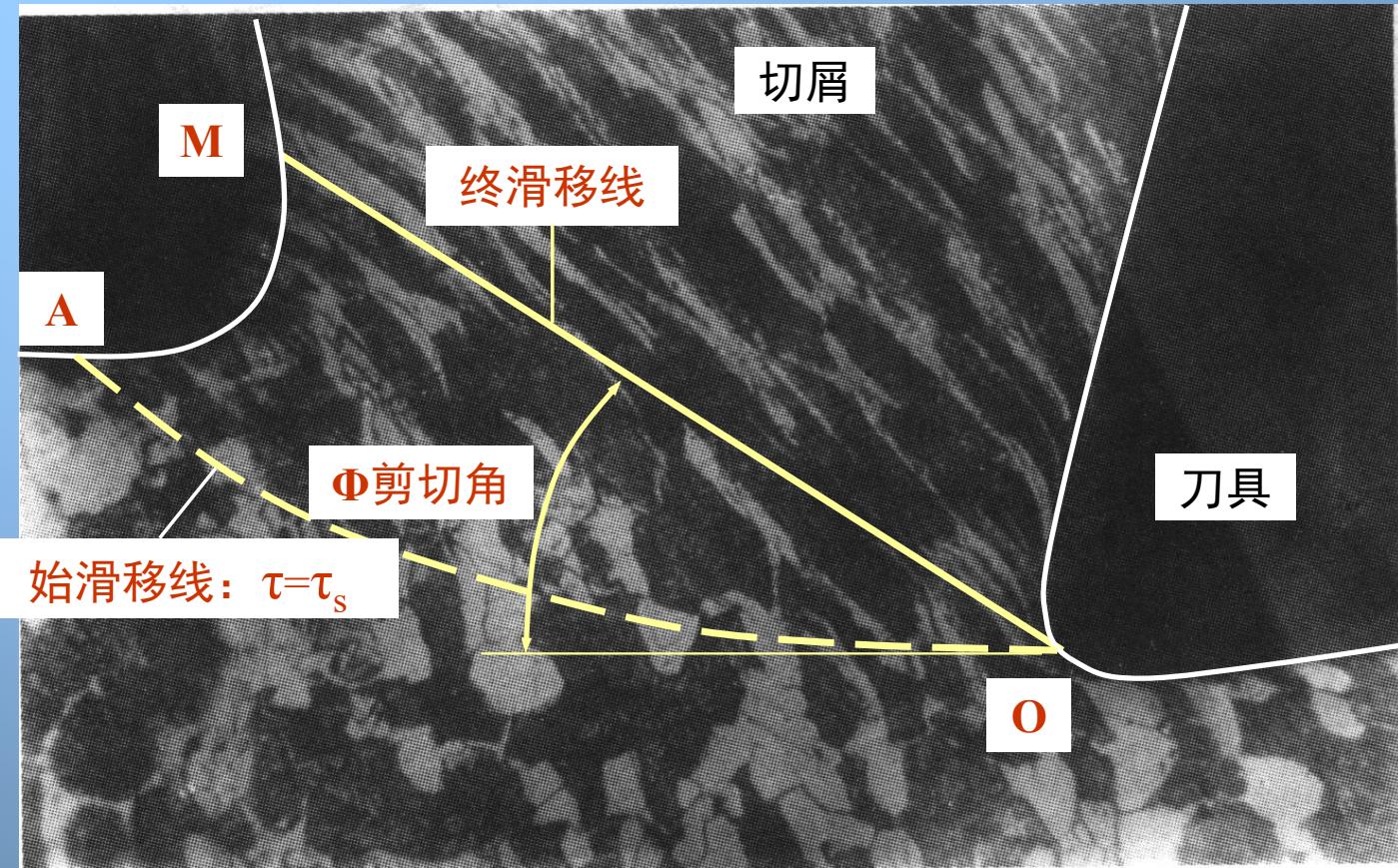
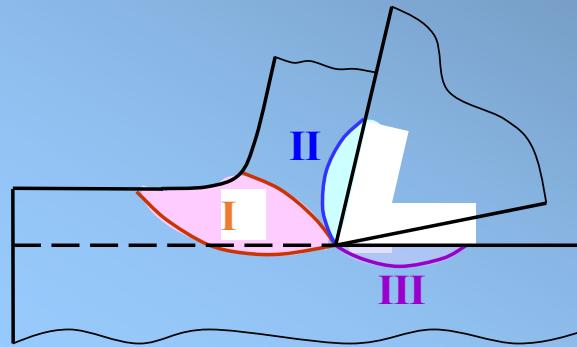


图3-3 切屑根部金相照片

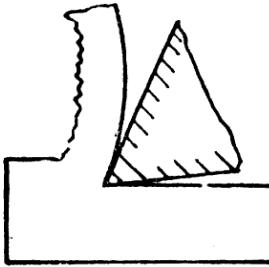
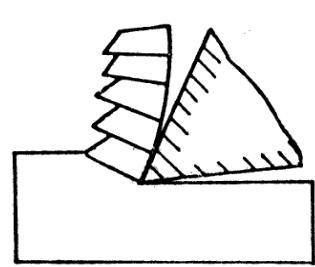
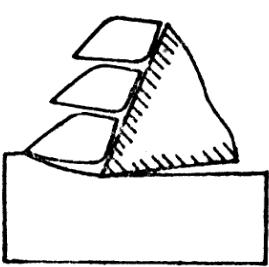
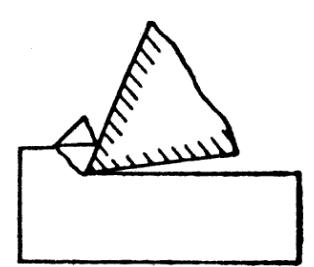
● 三个变形区分析

- **第Ⅰ变形区**: 即剪切变形区, 金属剪切滑移, 成为切屑。金属切削过程的塑性变形主要集中于此区域。
- **第Ⅱ变形区**: 靠近前刀面处, 切屑排出时受前刀面挤压与摩擦。此变形区的变形是造成前刀面磨损和产生积屑瘤的主要原因。
- **第Ⅲ变形区**: 已加工面受到后刀面挤压与摩擦, 产生变形。此区变形是造成已加工面加工硬化和残余应力的主要原因。

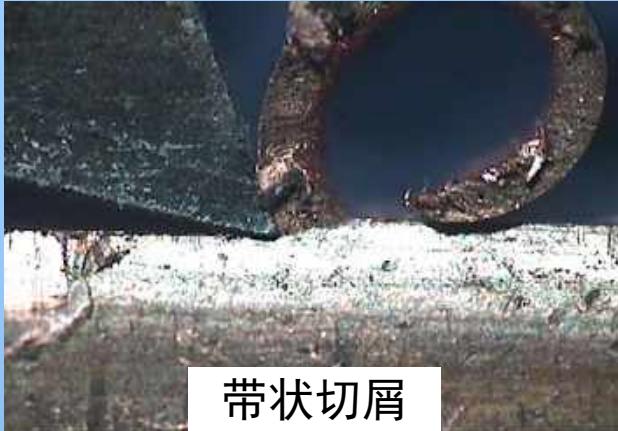


切削部位三个变形区

切屑类型及形成条件

名称	带状切屑	挤裂切屑	单元切屑	崩碎切屑
简图				
形态	带状, 底面光滑, 背面呈毛茸状	节状, 底面光滑有裂纹, 背面呈锯齿状	粒状	不规则块状颗粒
变形	剪切滑移尚未达到断裂程度	局部剪切应力达到断裂强度	剪切应力完全达到断裂强度	未经塑性变形即被挤裂
形成条件	加工塑性材料, 切削速度较高, 进给量较小, 刀具前角较大	加工塑性材料, 切削速度较低, 进给量较大, 刀具前角较小	工件材料硬度较高, 韧性较低, 切削速度较低	加工硬脆材料, 刀具前角较小
影响	切削过程平稳, 表面粗糙度小, 妨碍切削工作, 应设法断屑	切削过程欠平稳, 表面粗糙度欠佳	切削力波动较大, 切削过程不平稳, 表面粗糙度不佳	切削力波动大, 有冲击, 表面粗糙度恶劣, 易崩刀

● Chip types 切屑的种类



带状切屑



挤裂切屑

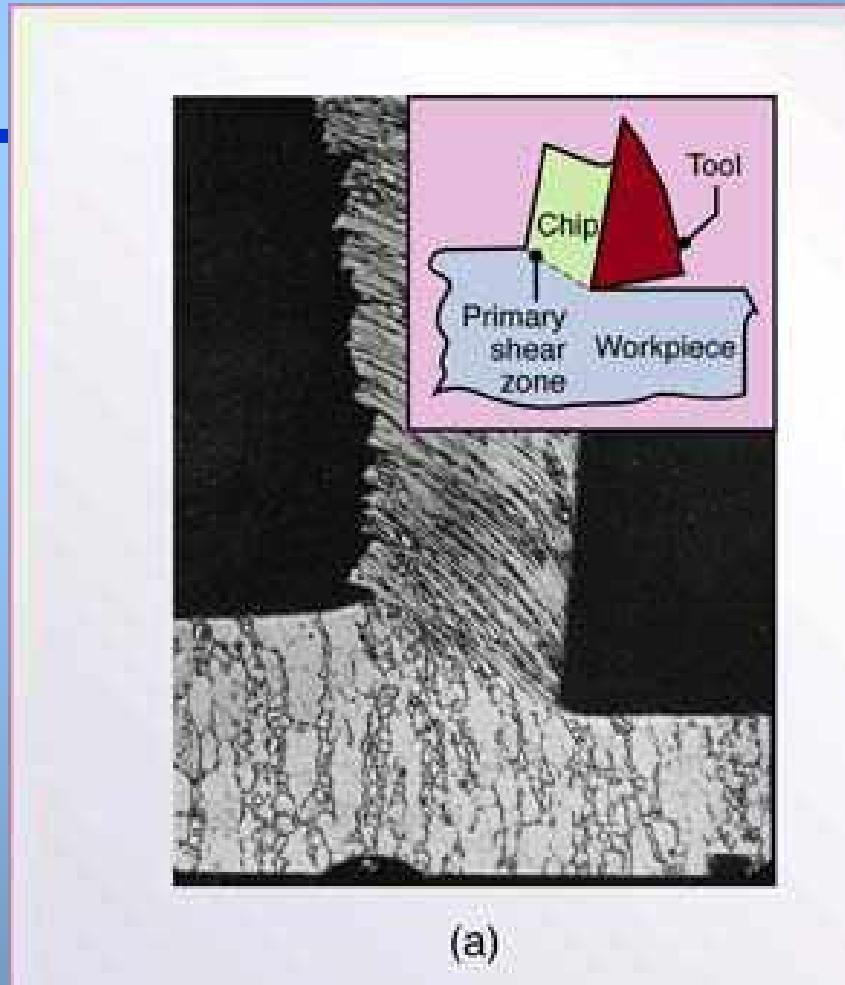


单元切屑



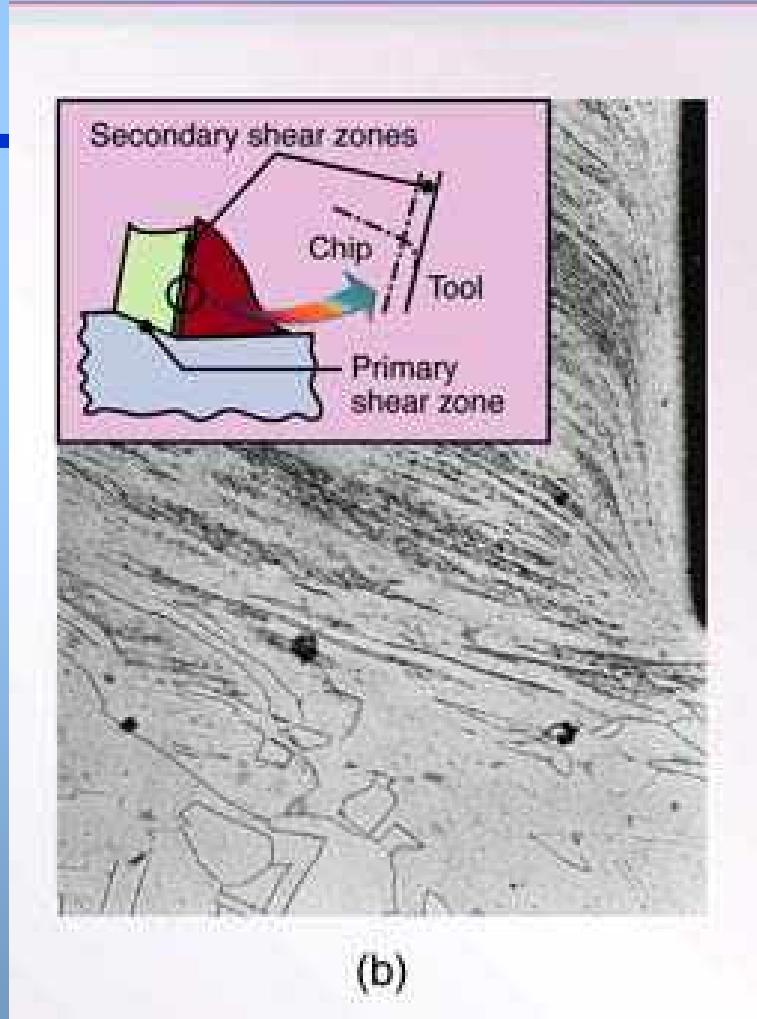
崩碎切屑

图3-6 切屑形态照片



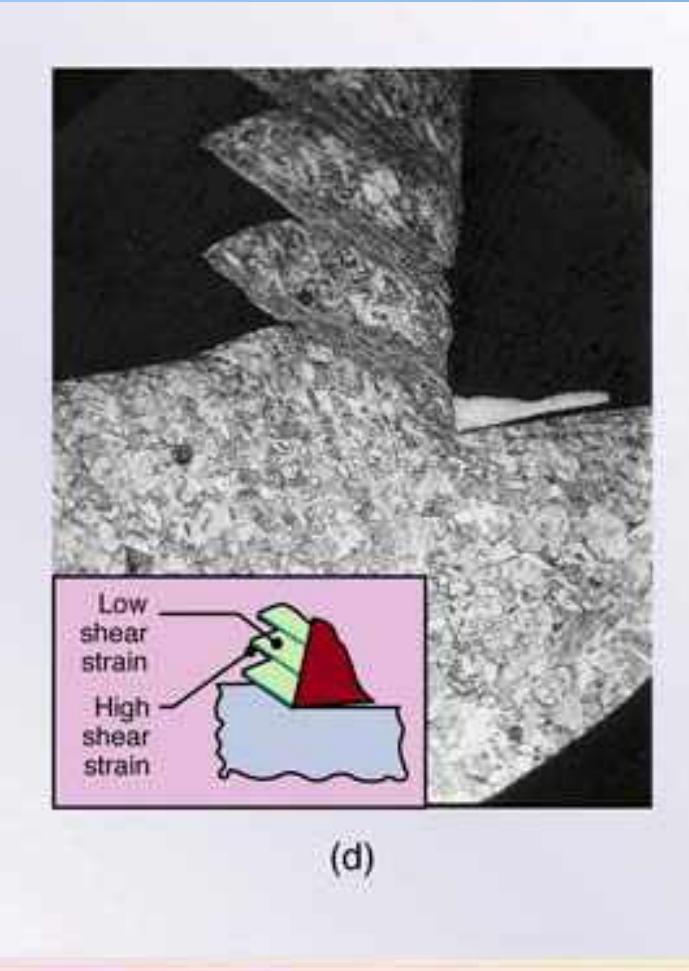
Chips Produced in Orthogonal Metal Cutting

Figure 21.5 (a) 带状切屑, 注意窄, 直的变形区; 常见于高速或大前角切削塑性金属时.



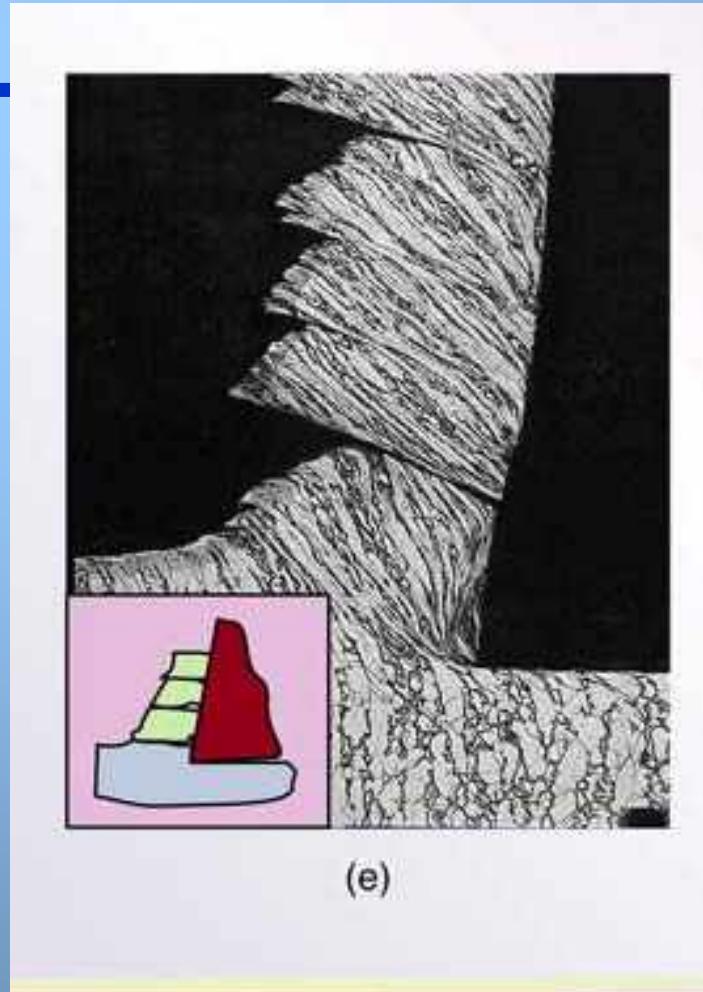
Chips Produced in Orthogonal Metal Cutting

Figure 21.5 (b) 带状切屑, 注意切屑-刀具界面上的第二剪切变形区;



Chips Produced in Orthogonal Metal Cutting

Figure 21.5 (d) **单元切削**；热导率低且强度随温度显著下降的
金属如钛，等显示出这种特征。



Chips Produced in Orthogonal Metal Cutting

Figure 21.5 (e) 崩碎切屑. 例如脆性金属, 具有石墨片的灰铁.

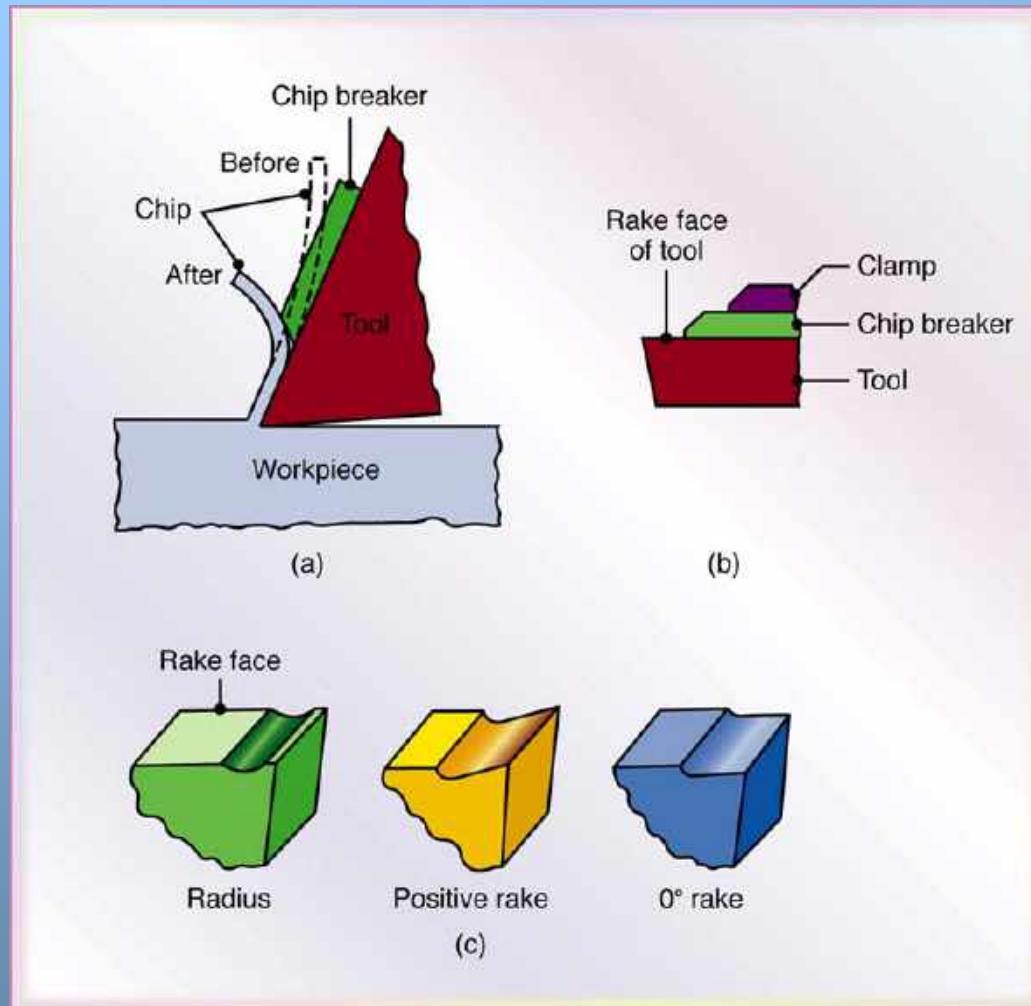


Figure 21.7

(a) chip breaker 作用示意图.

注意chip breaker减小了切屑的曲率半径最终使其断裂.

(b) 刀具前刀面上装夹的Chip breaker.

(c) 刀具上的槽充当chip breaker. 现在使用的大多数刀具采用具有断屑特征的刀片.

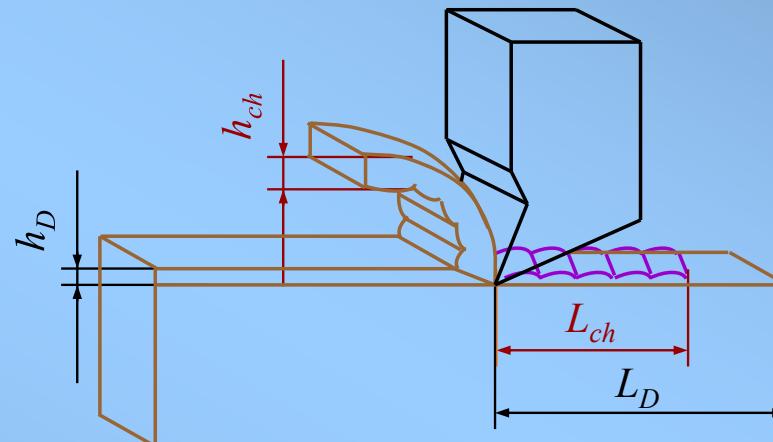
切削层经塑性变形后，厚度增加，长度缩小，宽度基本不变。可用其表示切削层的变形程度。

◆ 厚度变形系数

$$\Lambda_h = \frac{h_{ch}}{h_D}$$

◆ 长度变形系数

$$\Lambda_L = \frac{L_D}{L_{ch}}$$



切屑与切削层尺寸

厚度变形系数越大，切削力越大，切削热越大，切削温度越高，已加工面也越粗糙

4.2.2 积屑瘤

积屑瘤成因

- ◆ 一定温度、压力作用下，切屑底层与前刀面发生粘接。
- ◆ 粘接金属严重塑性变形，产生加工硬化。

积屑瘤形成过程

滞留—粘接—长大

积屑瘤影响

- ◆ 增大前角，保护刀刃
- ◆ 影响加工精度和表面粗糙度

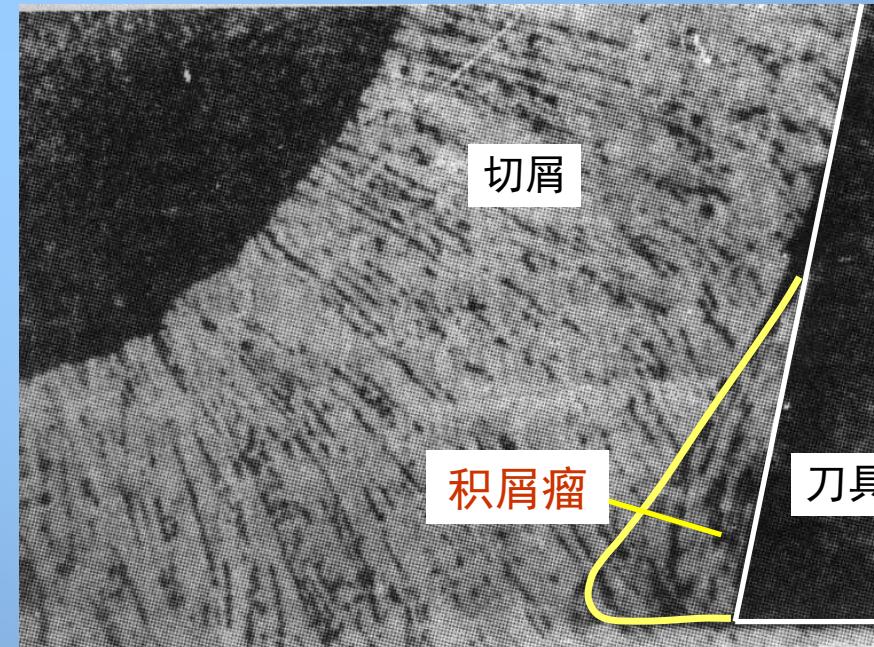
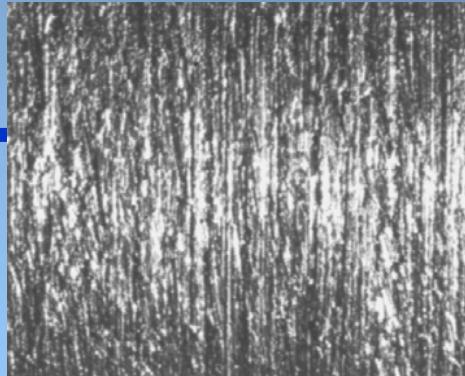
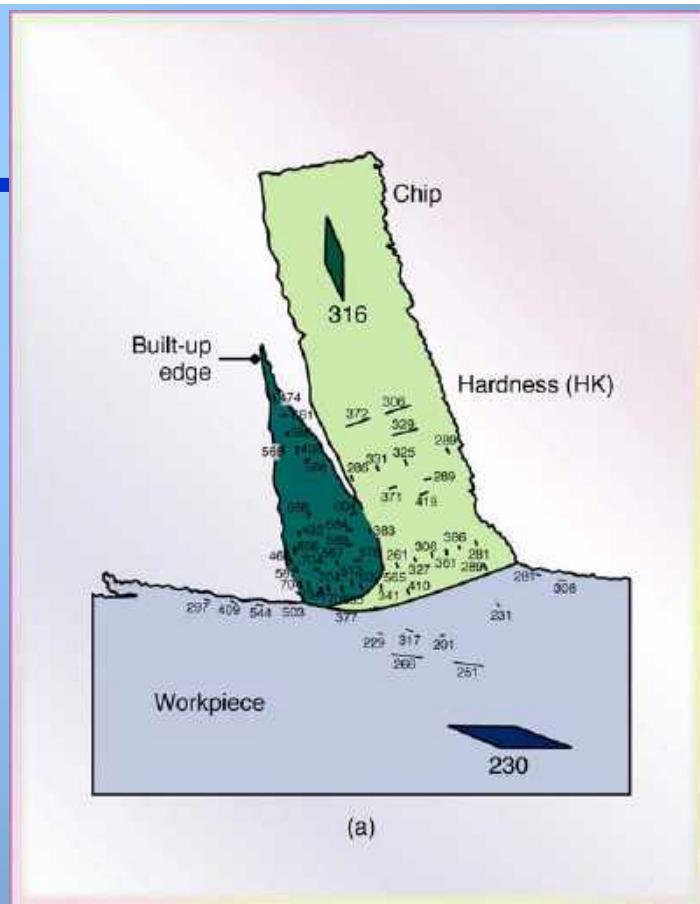


图3-23 积屑瘤



(b)



(c)

Figure 21.6

(a) 切削区积屑瘤的硬度分布 (material, 3115 steel). 注意积屑瘤的硬度可达母材的三倍.

(b) 车削5130钢时有积屑瘤时的表面质量.

(c) 端铣1018钢的表面质量.

● 积屑瘤的控制



影响积屑瘤形成的主要因素有工件材料的性能、切削速度和冷却润滑条件等。

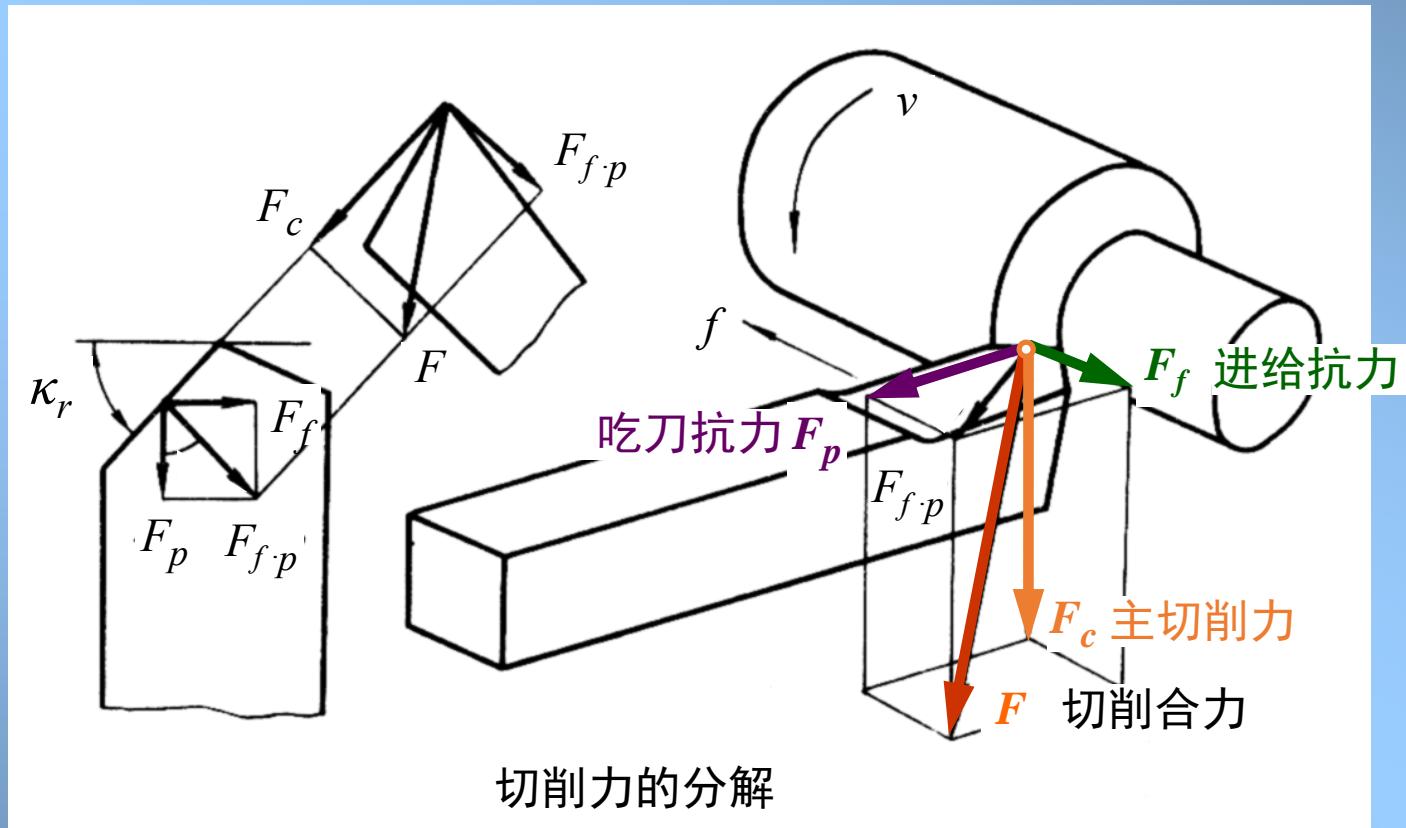
- ◆ 工件材料的性能：主要是塑性；
- ◆ 切削速度：5~50m/min；
- ◆ 采用适当的切削液：
精车、精铣 ——> 高速切削
拉削、铰削、宽刀精刨 ——> 低速切削

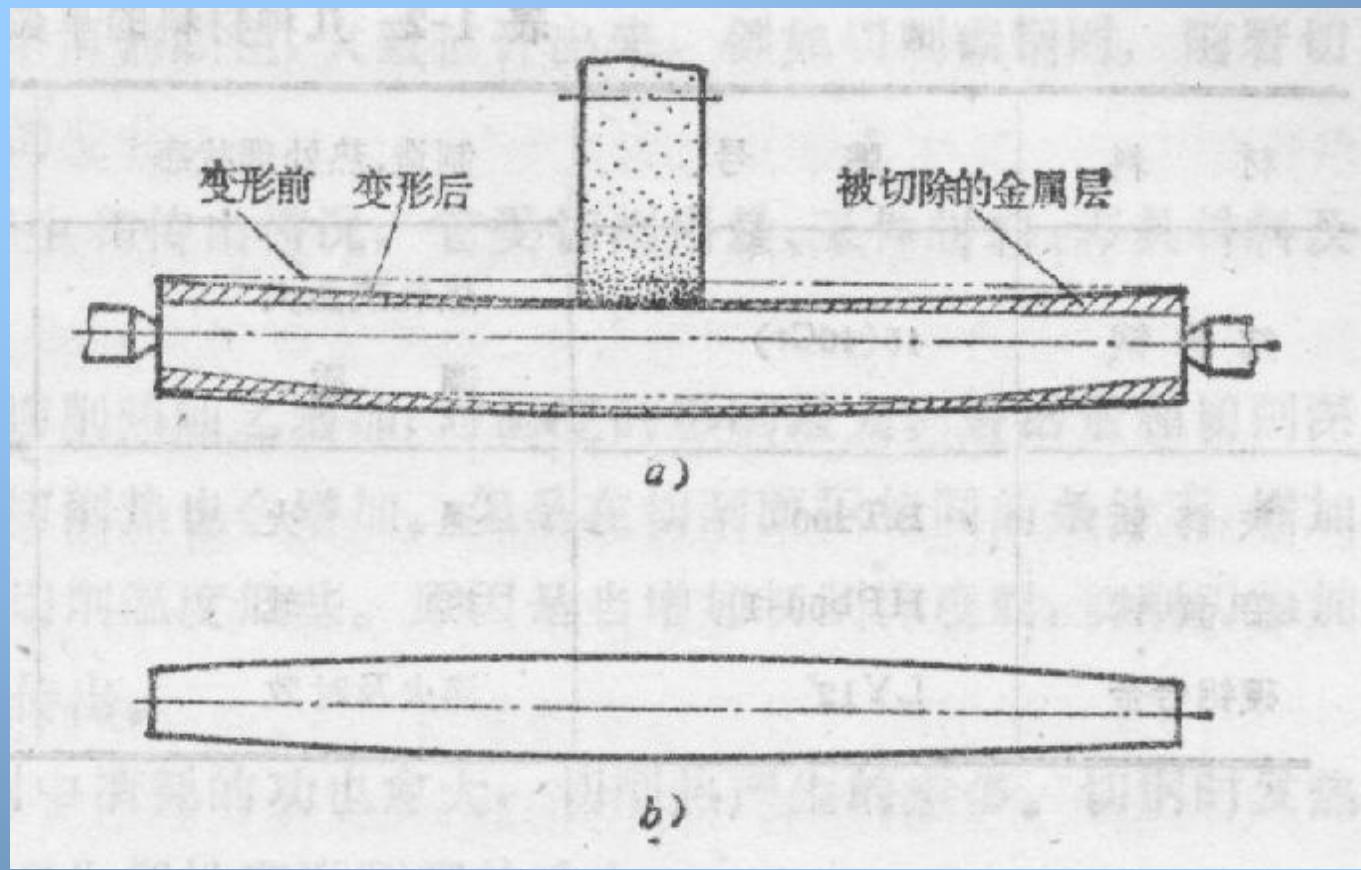
4. 2. 4 切削力与切削功率

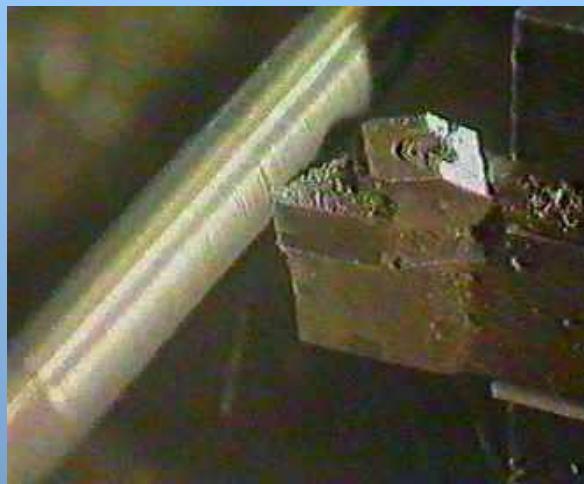
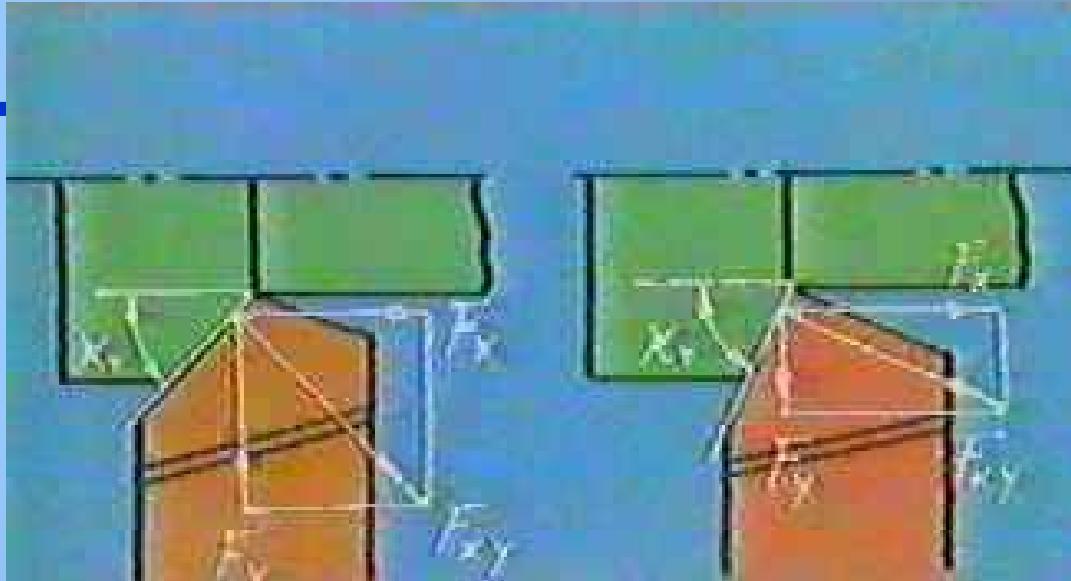
● 切削力来源

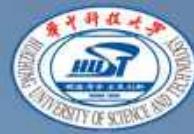
- ★ 3个变形区产生的弹、塑性变形抗力
- ★ 切屑、工件与刀具间摩擦力

● 切削力分解









● 切削力经验公式

$$F_c = C_{F_c} \cdot a_p^{x_{F_c}} \cdot f^{y_{F_c}} \cdot K_{F_c}$$

式中 C_{F_c} —— 与工件、刀具材料有关系数；
 x_{F_c} —— 背吃刀量 a_p 对切削力影响指数；
 y_{F_c} —— 进给量 f 对切削力影响指数；
 K_{F_c} —— 考虑切削速度、刀具几何参数、刀具磨损等因素影响的修正系数。

例如：硬质合金车刀前角10°、主偏角45°，车削结构钢外圆时：
 $C=1470$, $x=1$, $y=0.75$ 。

表明背吃刀量的影响 > 进给量的影响。

● 单位切削力

切除单位切削层面积的主切削力 (令修正系数 $K_{F_c} = 1$)

$$p = \frac{F_c}{A_D} = \frac{C_{F_c} \cdot a_p^{x_{F_c}} \cdot f^{y_{F_c}} \cdot K_{F_c}}{a_p \cdot f} = \frac{C_{F_c} \cdot a_p^{x_{F_c}}}{a_p \cdot f^{1-y_{F_c}}}$$

● 切削功率

$$P_c = F_c \cdot v \cdot 10^{-3} \quad (KW)$$

式中 F_c —— 主切削力 (N) ;
 v —— 主运动速度 (m/s) 。

4.2.5 切削热

切削热来源

★ 切削过程变形和摩擦所消耗功，绝大部分转变为切削热

$$q \approx P_c \approx F_c v_c$$

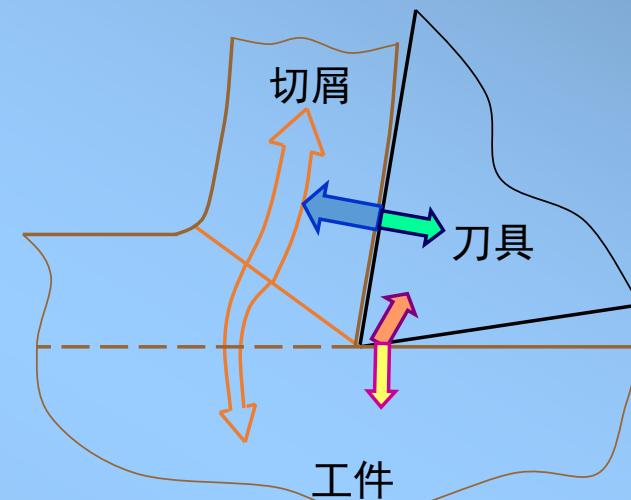
★ 主要来源

$$Q_A = Q_D + Q_{FF} + Q_{FR} \quad (3-12)$$

式中， Q_D ， Q_{FF} ， Q_{FR} 分别为切削层变形、前刀面摩擦、后刀面摩擦产生的热量

切削热传出

切削热由切屑、工件、刀具和周围介质（切削液、空气）等传散出去



切削热的来源与传出

Proportion of Heat from Cutting Transferred as a Function of Cutting Speed

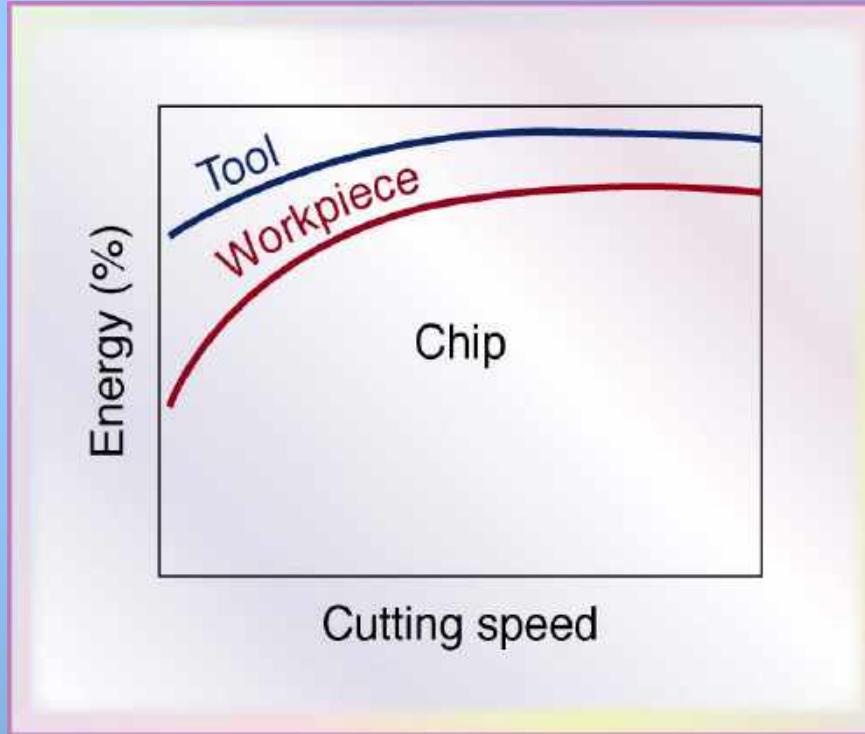


Figure 21.14 热量传播的比例随切削速度的变化，注意切屑带走大部分热量，高速切削时，切屑带走更多的热。

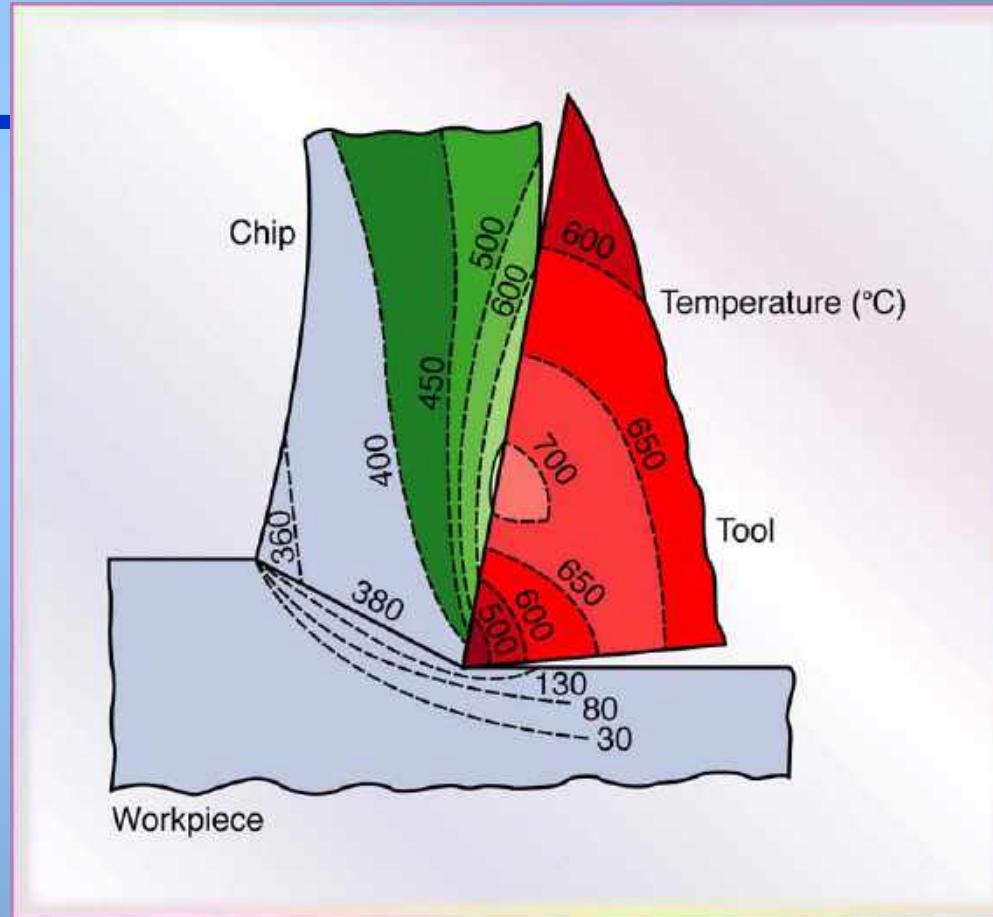


Figure 21.12 切削区的典型温度分布. 注意刀具和切屑内的温度梯度, 工件温度相对较低.

● 切削温度及其影响因素

一般是指切削区的平均温度。

★ 切削用量的影响: $v > f > a_p$

$v \rightarrow 2v, 32\%$ $f \rightarrow 2f, 18\%$ $a_p \rightarrow 2 a_p, 7\%$

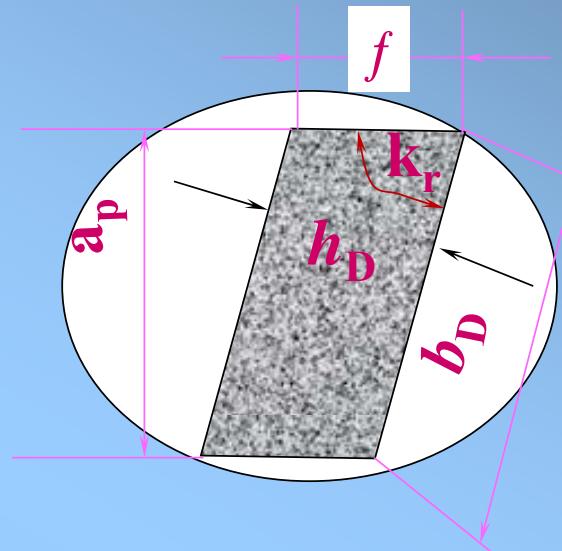
★ 刀具几何参数的影响

A 前角 γ_0 : $\gamma_0 < 15^\circ$ 时, $\gamma_0 \uparrow$, 切削温度 \downarrow ;

B 主偏角 K_y : $K_y \downarrow$ 时, 切削温度 \downarrow , 刀具强度 \uparrow 。

★ 工件材料的影响

通过强度、硬度和导热系数等性能的不同对切削温度产生影响。





4. 2. 6 冷却润滑液的应用

生产中常用的冷却润滑液主要有：

- (1) **水基类**：如水溶液、乳化液等，热容量大，流动性好，因此冷却效果极佳。多用于粗加工。
- (2) **油基类**：如植物油、矿物油等，热容量小，流动性比前者稍差，但润滑效果非常好。常用于精加工或某些成形表面的加工中。

4.2.7 刀具磨损与耐用度

● 刀具磨损形态

◆ 正常磨损

➤ 前刀面磨损

形式：月牙洼

形成条件：加工塑性材料，
 v 大， h_D 大

影响：削弱刀刃强度，降低
加工质量

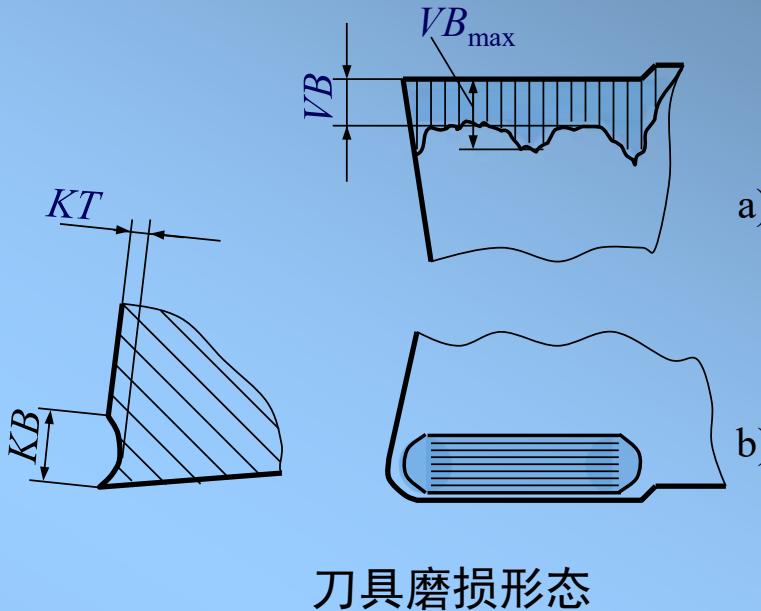
➤ 后刀面磨损

形式：后角=0的磨损面（参数—— VB , VB_{max} ）(mm)

形成条件：加工塑性材料， v 较小， h_D 较小；加工脆性材料

影响：切削力↑，切削温度↑，产生振动，降低加工质量

➤ 前、后刀面磨损



Wear Patterns on Tools

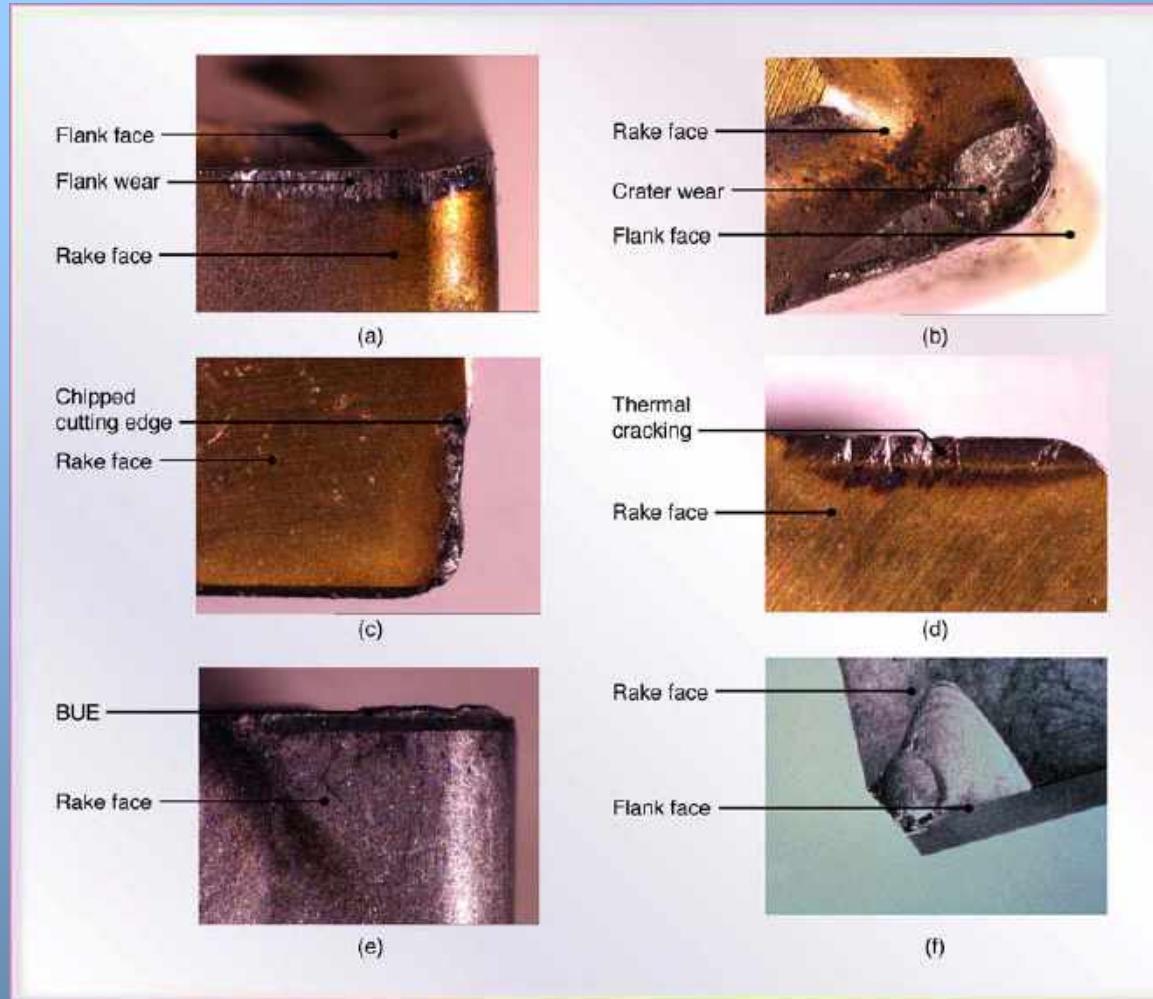


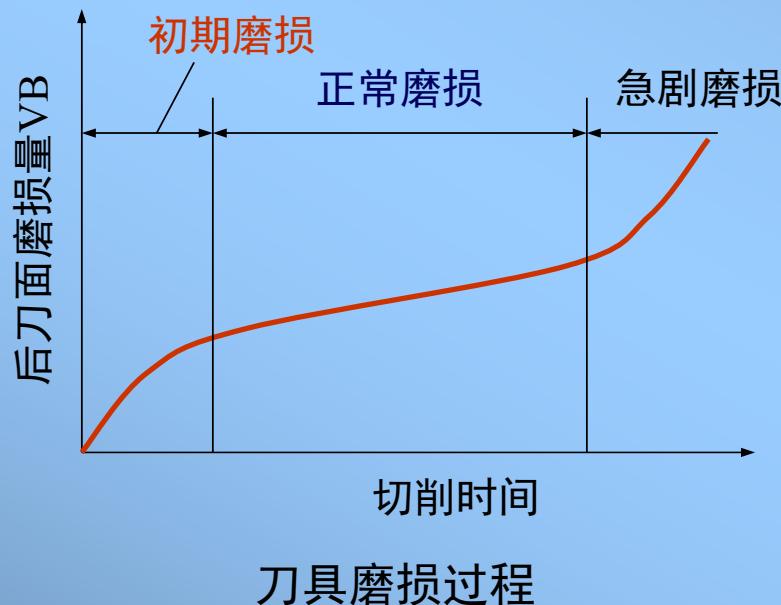
Figure 21.15
Types of wear on a
turning tool:

1. 后刀面磨损;
2. 前刀面磨损;
3. 切削刃磨损;
4. 前刀面热裂纹;
5. 积屑瘤;
6. 严重破裂.

◆ 非正常磨损

破损（裂纹、崩刃、破碎等），卷刃（刀刃塑性变形）

● 刀具磨损过程 3个阶段



● 磨钝标准 常取后刀面最大允许磨损量VB



● 刀具寿命（耐用度）概念

- ◆ **耐用度**：刀具从切削开始至磨钝标准的切削时间， T 。
- ◆ 刀具总寿命 —— 一把新刀从投入切削开始至报废为止的总切削时间，其间包括多次重磨。

● 刀具寿命（耐用度）经验公式

$$T = \frac{C_T}{v^{\frac{1}{m}} \cdot f^{\frac{1}{n}} \cdot a_p^{\frac{1}{p}}}$$

最低生产成本耐用度

式中 C_T 、 m 、 n 、 p 为与工件、刀具材料等有关的常数。

用硬质合金刀具切削碳钢 ($\sigma_b = 0.763 \text{ GP}_a$) 时，有：

$$T = \frac{C_T}{v^5 \cdot f^{2.25} \cdot a_p^{0.75}}$$

可见 v 的影响最显著； f 次之； a_p 影响最小。



刀具耐用度合理数值有两种：最高生产率耐用度 T_p 、最低生产成本耐用度 T_c 。

粗加工时，多以切削时间（min）表示刀具耐用度。

硬质合金车刀→60min

高速钢钻头→80~120

硬质合金端铣刀→120~180

高速钢齿轮刀具→200~300



4. 2. 8 材料切削加工性

材料切削加工性是指材料被切削加工的难易程度。常用的指标如下：

- **一定刀具耐用度下的切削速度 V_T** ：即刀具耐用度为 T 时，切削某种材料所允许的切削速度。
- **相对加工性 K_r** ：以正火处理后的45钢的 V_{60} 值作为基准，将其它材料的 V_{60} 值与其比较，得到 K_r 。常用材料的相对加工性可分为8级。
- 已加工表面质量：
- 切屑控制或断屑的难易：
- 切削力：

材料相对加工性等级

加工性等级	材料名称及种类		相对加工性 K_r	代表性材料
1	很易切削材料	一般有色金属	>3.0	铜铝合金, 铝铜合金, 铝镁合金
2	容易切削材料	易切削钢	2.5~3	退火15Cr, $\sigma_b=0.373\sim0.441\text{GPa}$ 自动机钢, $\sigma_b=0.393\sim0.491\text{GPa}$
3		较易切削钢	1.6~2.5	正火30钢, $\sigma_b=0.441\sim0.549\text{GPa}$
4	普通材料	一般钢、铸铁	1.0~1.6	45钢, 灰铸铁
5		稍难切削材料	0.65~1.0	2Cr13, 调质 $\sigma_b=0.834\text{GPa}$ 85, 钢 $\sigma_b=0.883\text{GPa}$
6	难加工材料	较难切削材料	0.5~0.65	45Cr, 调质 $\sigma_b=1.03\text{GPa}$ 65Mn, 调质 $\sigma_b=0.932\sim0.981$
7		难切削材料	0.15~0.5	50CrV, 调质; 1Cr18Ni9Ti, 钛合金
8		很难切削材料	<0.15	某些钛合金, 铸造镍基高温合金



4. 3 切削加工的技术经济评价

1. 产品质量：包括精度和表面质量。

(1) 精度：

a尺寸精度：用尺寸公差表示。

b形状精度：指零件表面与理想表面之间在形状上接近的程度。

c位置精度：指表面间实际位置与理想位置接近的程度。



(2) 表面质量：

包括表面粗糙度、表层加工硬化的程度和深度、表层残余应力的性质和大小。

a 表面粗糙度：

已加工表面具有的较小间距和微小峰谷的不平度，称为表面粗糙度。

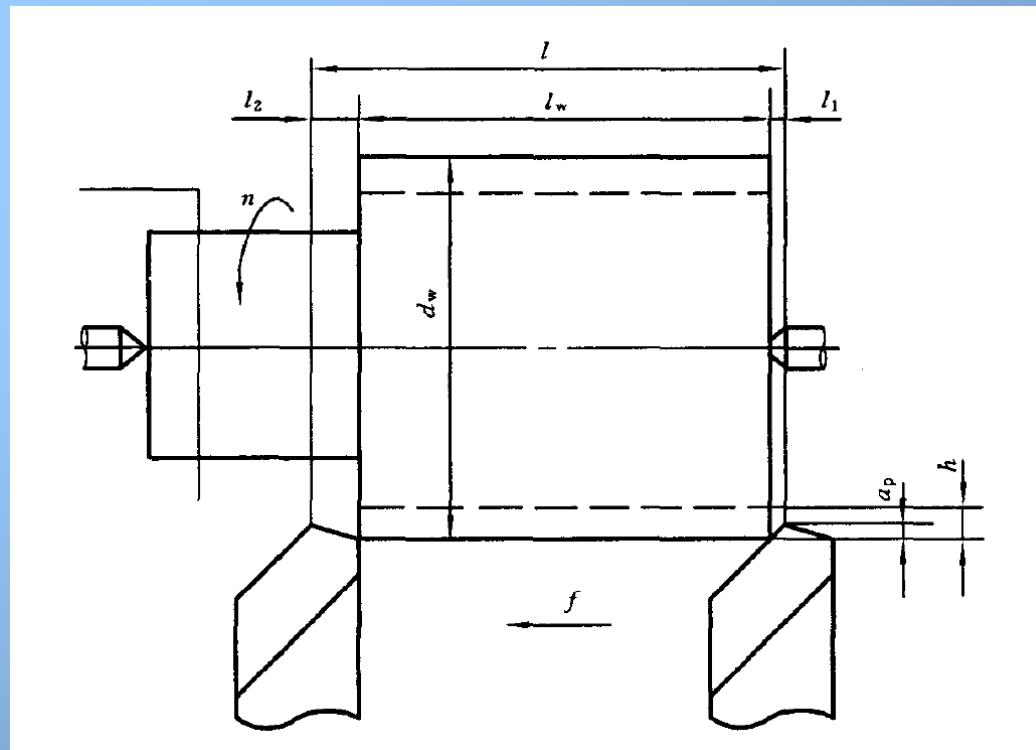
b 已加工表面的加工硬化和残余应力：

2. 生产率

以单位时间内生产零件的数量表示。

$$R_0 = 1 / t_w = 1 / (t_m + t_c + t_0)$$

t_w : 生产一个零件所需的时间； t_m : 基本工艺时间； t_c : 辅助时间； t_0 : 其他时间



$$t_m = \frac{l}{nf} \frac{h}{a_p} = \frac{\pi d_w h}{1000 v f a_p}$$



3. 经济性

保证使用要求前提下成本最低。

$$C_w = t_w * M + t_m * C_t / T = (t_m + t_c + t_0) * M + t_m * C_t / T$$

C_w —— 每个零件切削加工的费用

M —— 单位时间分担的全厂开支

T —— 刀具耐用度

C_t —— 刀具刃磨一次的费用

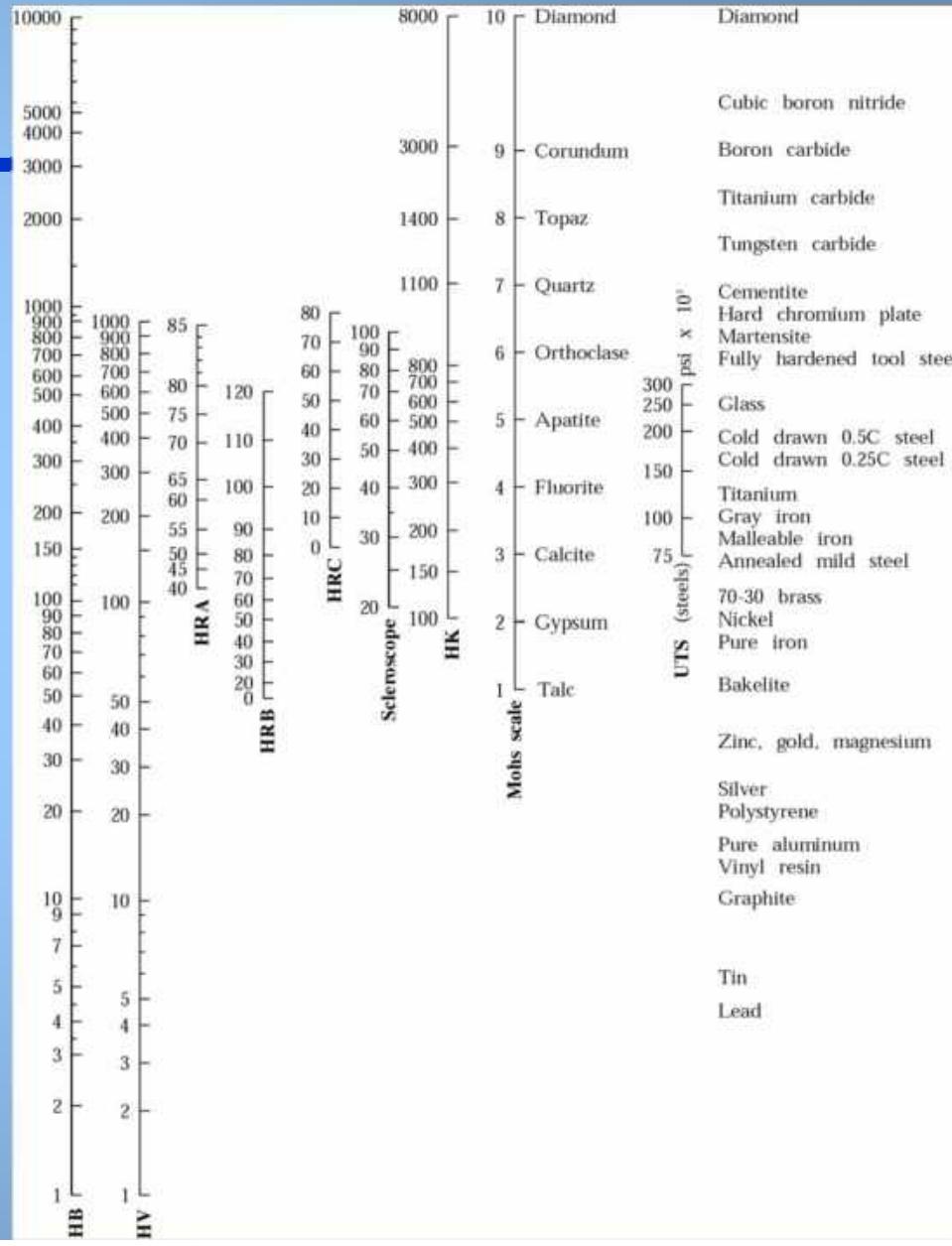
零件切削加工的成本包括工时成本(t_m)和刀具成本两部分。



减少基本工艺时间 T_m 的主要方法

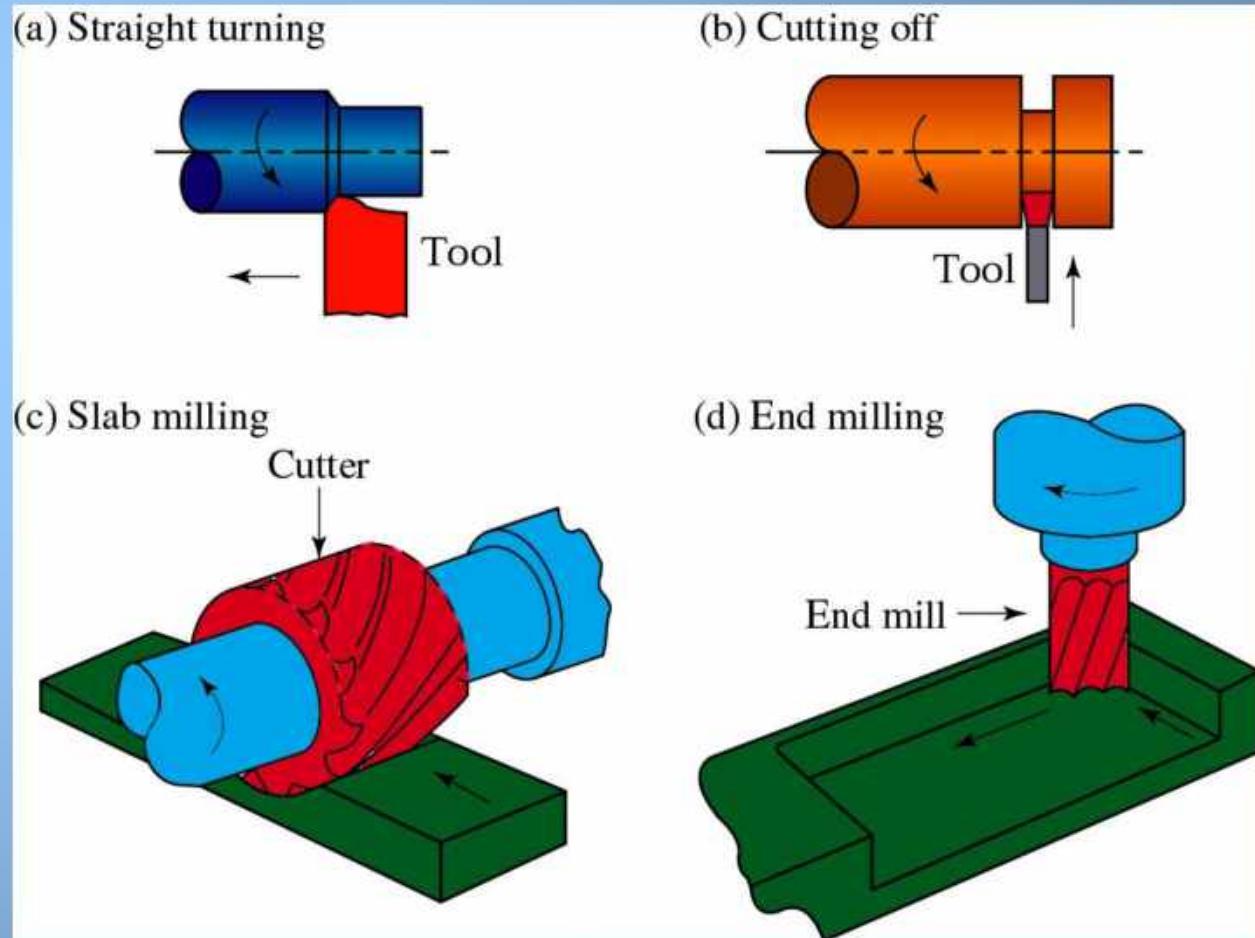
- 采用先进的毛坯制造工艺和方法，减少切削加工余量；
- 合理地选择切削用量，粗加工时采用强力切削以增大 f 、 ap 值，精加工时采用高速切削以增大 vc 值；
- 改善其他切削条件，如使用切削液等；

硬度与强度



练习

哪个是主运动?
哪个是进给 (ji) 运动?





第四章 材料切削加工基础

4. 1 概述

4. 2 金属切削加工的基础理论

4. 3 切削加工的技术经济评价

本章重点：切削运动、刀具材料及结构、切削力及热、工件材料的可切削性。

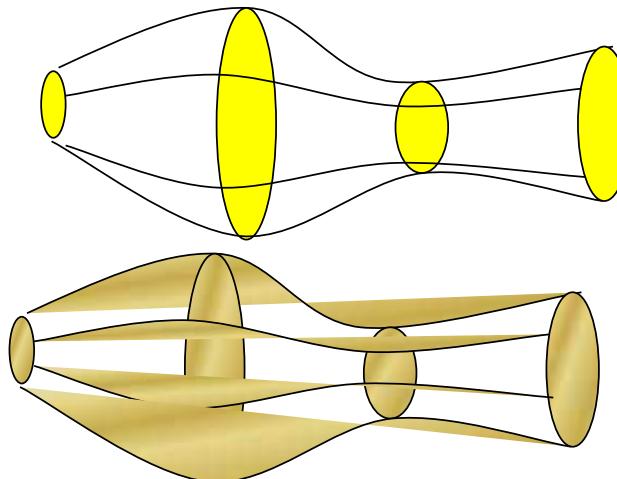
本章难点：刀具角度。

4.1.3 切削用量及选用

4.1.3.1 零件表面的形成及切削运动

<1>表面:外圆面, 内圆面, 平面和成型面.

Fig1-1



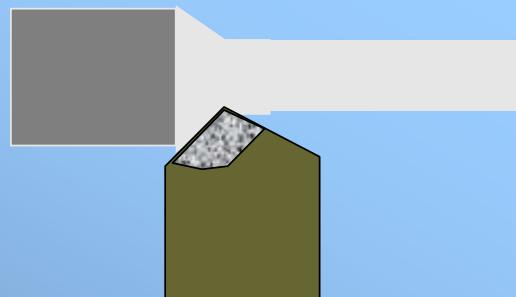
切削用量及选用

<2>切削运动: 刀具与工件之间的相对运动。

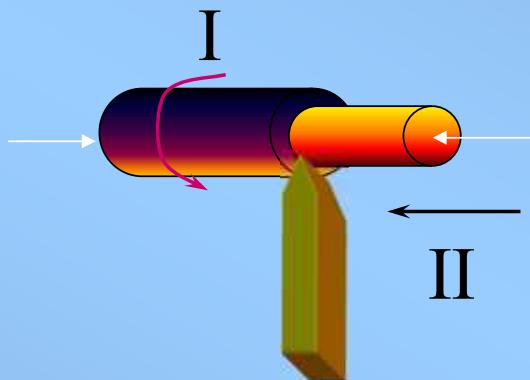
A. **主运动**<Ⅰ>: 切下切屑最基本的运动。

B. **进给运动**<Ⅱ>: 使金属层不断投入切削, 从而加工出完整表面所需的运动。

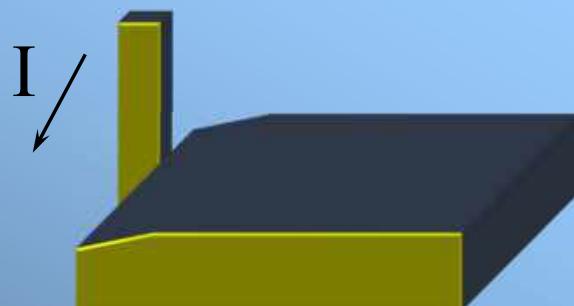
工件加工三个变化的表面: 待加工表面; 加工表面(或过渡表面); 已加工表面。



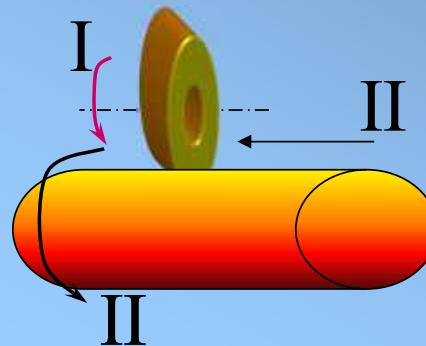
切削用量及选用



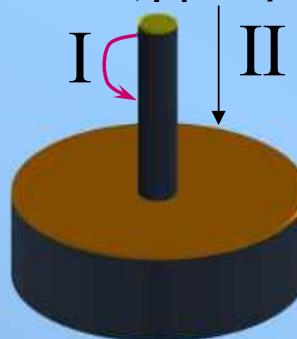
a) 车外圆面



c) 刨平面



b) 磨外圆面



d) 钻孔

返回

4. 1. 3. 2 切削要素

切削要素包括 **切削用量三要素** 和 切削层几何参数。

<1> **切削速度**: 工件和刀具沿主运动方向的相对位移。

车外圆: $v = \pi d_w n / 1000 \times 60$ (m/s)

刨或插: $v = 2L n_r / 1000 \times 60$ (m/s)

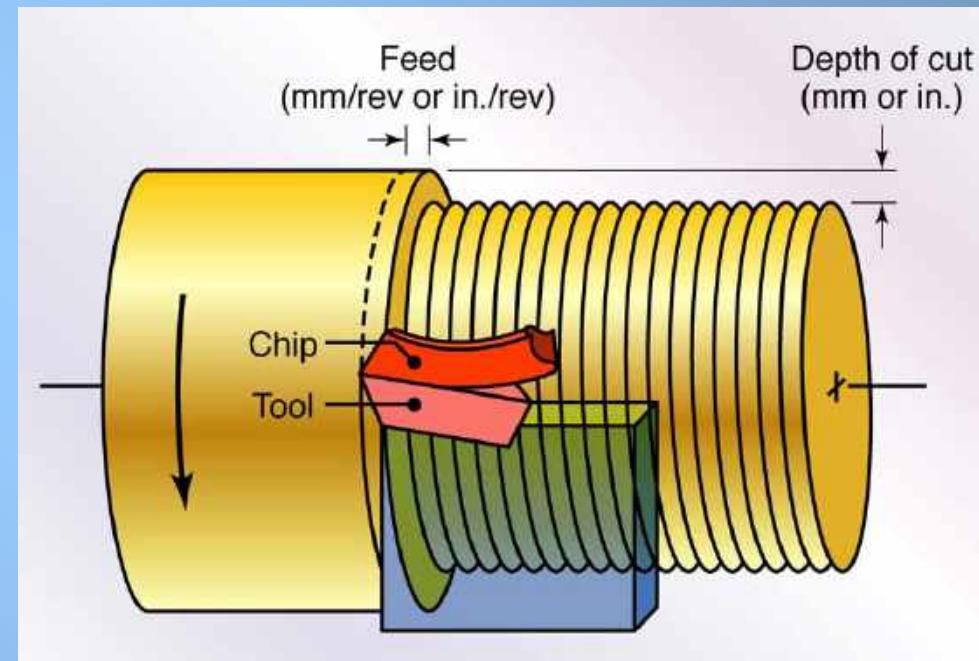
d_w -- 待加工表面直径 (mm)

n -- 工件转速 (r/min)

L -- 往复运动行程长度

n_r -- 主运动每分钟的往复次数

高速切削: 钢切速50m/s (3000r/min), 铝100m/s以上, 最高达150m/s

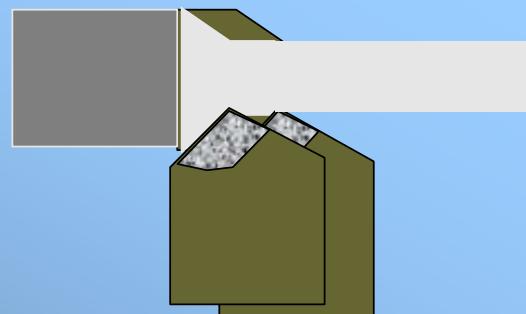


切削要素

<2> **进给量**:工件或刀具运动在一个工作循环内, 刀具与工件之间沿进给运动方向的相对位移(进刀量).

- A. 车削时: 每转进给量 f (mm/r).
- B. 刨削: 每行程进给量 f (mm/stroke).
- C. 铣削: 每齿进给量 a_f (mm/Z)

进给速度 v_f (mm/s) $v_f = f \cdot n/60 = a_f \cdot z \cdot n/60$ (mm/s)

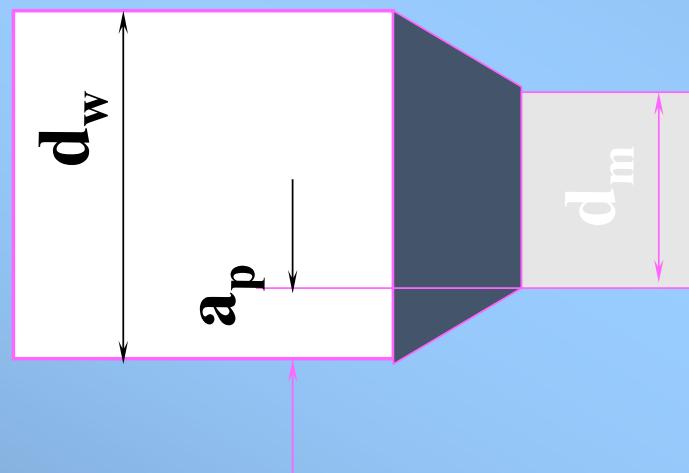


切削要素



<3> **背吃刀量** a_p : 待加工表面间的垂直距离。

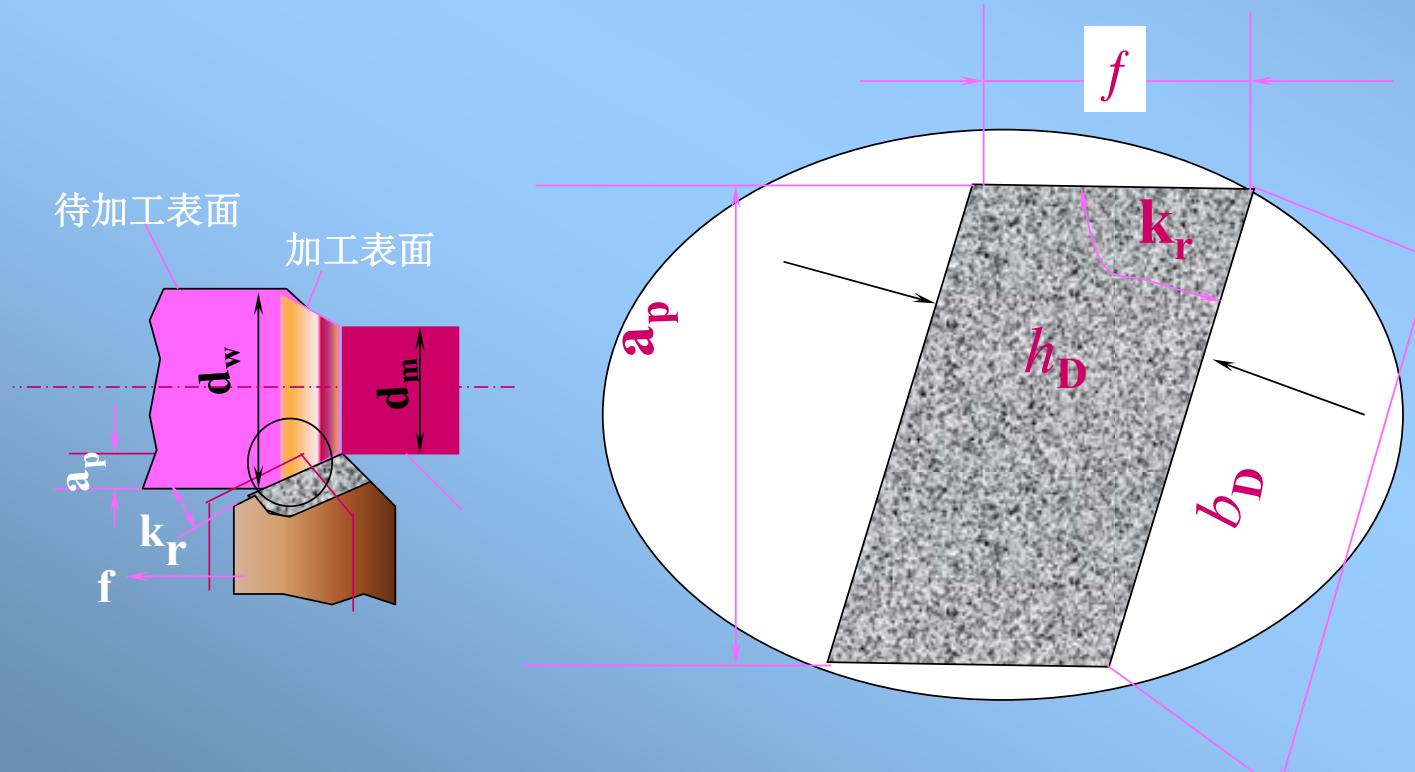
对车外圆: $a_p = (d_w - d_m) / 2$



GBT 12204-2010 金属切削 基本术语

切削层几何参数

两个相邻加工表面之间的那层材料, 垂直于切削速度的平面内观察和度量, 切削厚度, 切削宽度和切削面积。



切削层几何参数

(1) 切削厚度 h_D : 两相邻加工表面间的垂直距离.

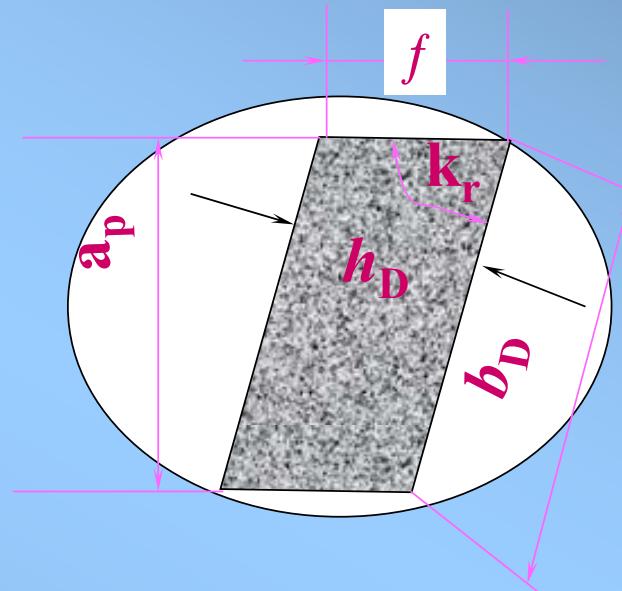
$$h_D = f \cdot \sin k_r \text{ (车)}$$

(2) 切削宽度 b_D : 沿主切削刃度量的切削尺寸.

$$b_D = a_p / \sin k_r$$

(3) 切削面积 A_D : 切削层在垂直于切削速度截面内的面积.

$$A_D = h_D \cdot b_D = f \cdot a_p$$





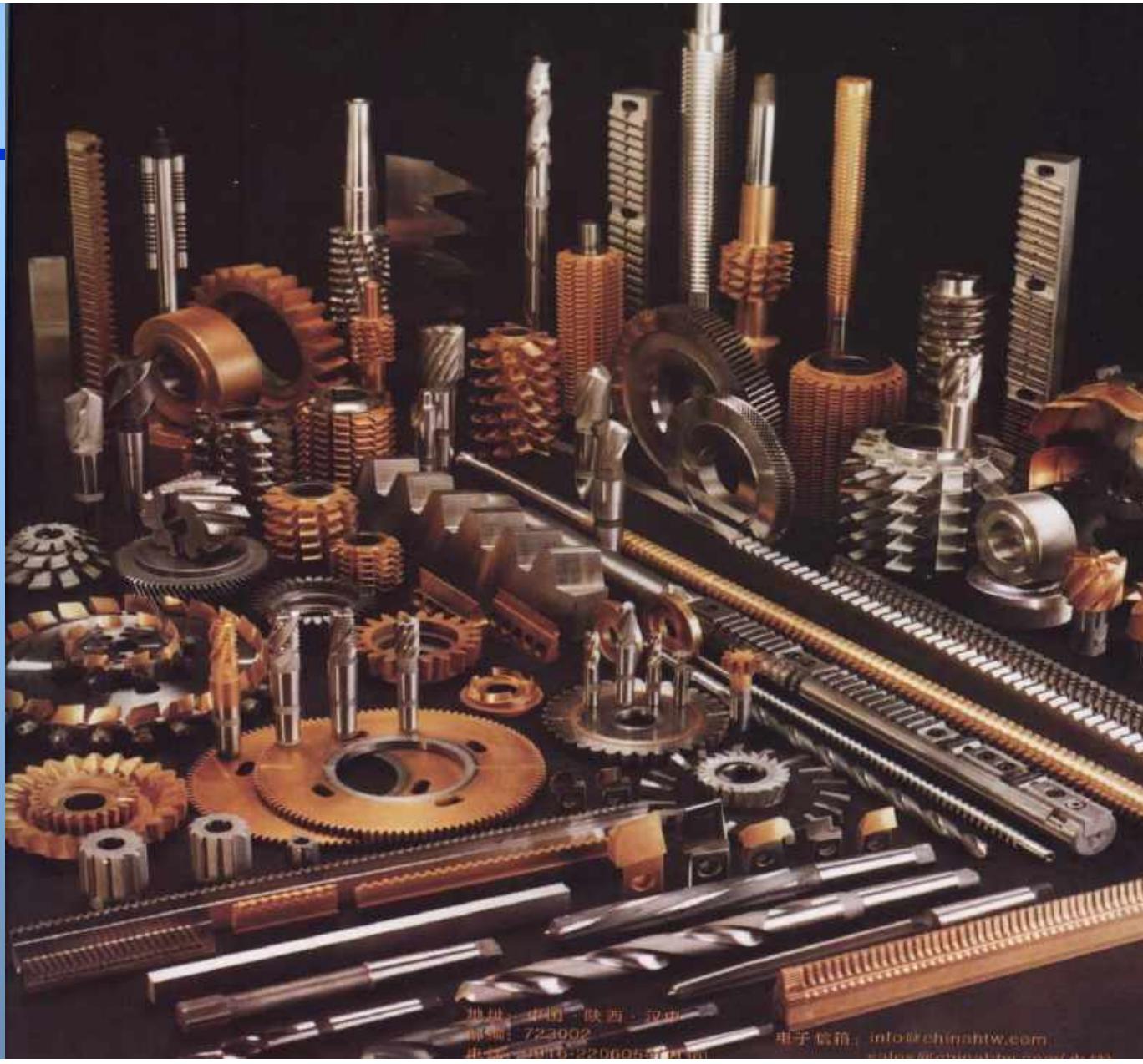
4.1.3.3 切削用量的选择原则

- 在实际应用中，一般首先选尽可能大的背吃刀量，其次选尽可能大的进给量，最后选尽可能大的切削速度。
 - (1) 背吃刀量的选择：第一次走刀的背吃刀量，应在机床工艺系统的承受能力范围内尽可能取大值，其后的背吃刀量相对的可取小些。
 - (2) 进给量的选择：粗加工时，尽可能取大值。精加工时，宜选择较小数值。
 - (3) 切削速度的选择：在选定了背吃刀量及进给量后，可根据合理的刀具耐用度，用计算法或查表法选择切削速度。（切削加工手册）



4.1.4 切削刀具

- 按刀具切削加工类型，可分为切刀类、孔加工类、铣刀类、拉刀类、螺纹刀具类、齿轮刀具类、磨具类及其它。
- 按刀具材料，分为碳素钢刀具、高速钢刀具、硬质合金刀具、陶瓷刀具等。
- 按刀具结构，分为整体式、镶片式、复合式刀具等。

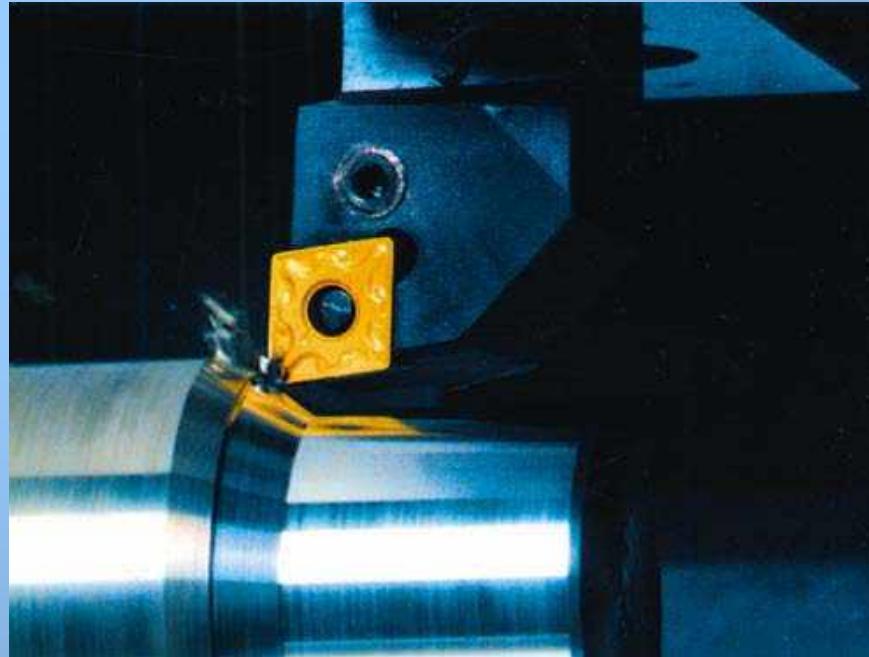


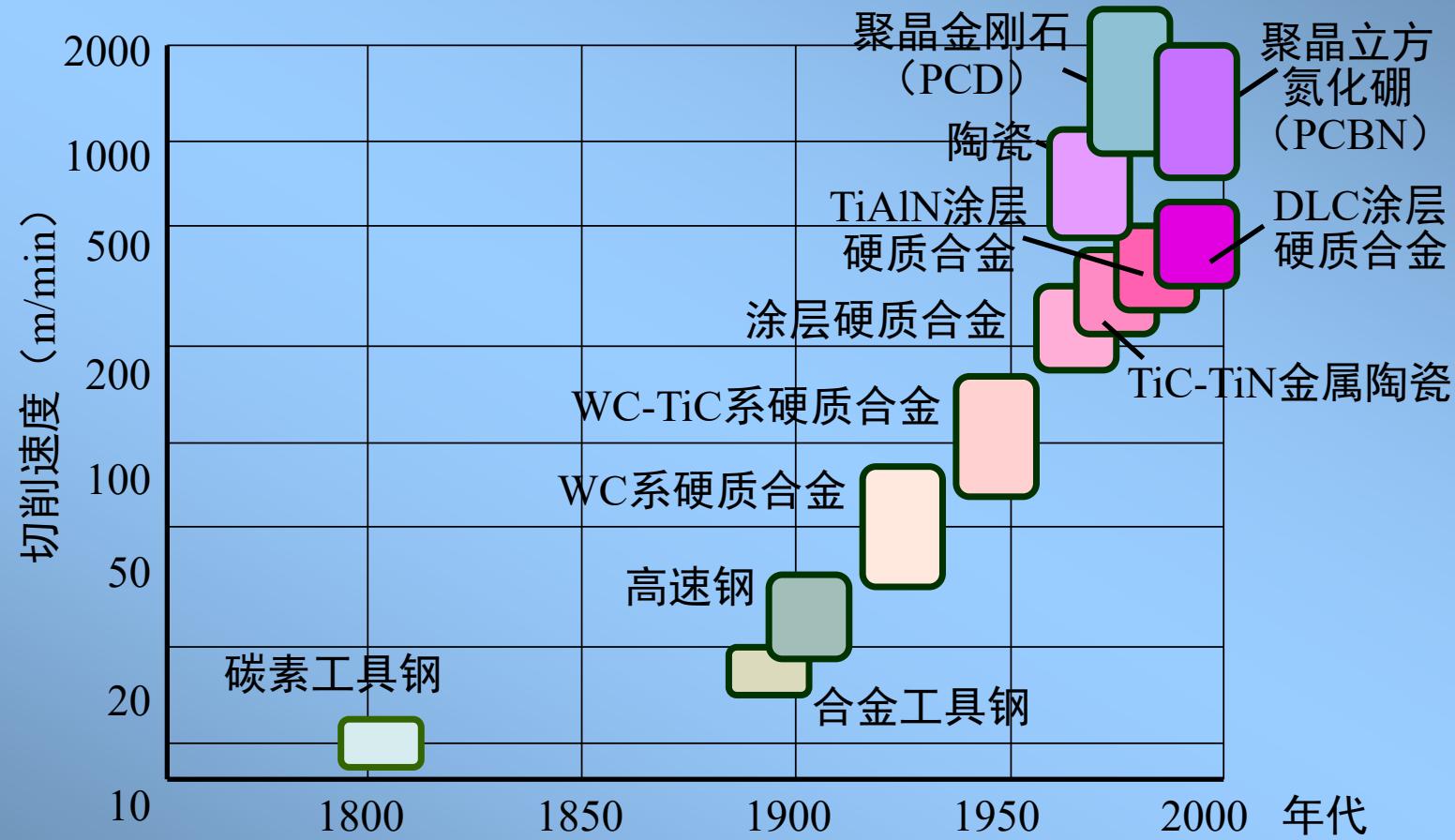
4. 1. 4. 2 刀具材料

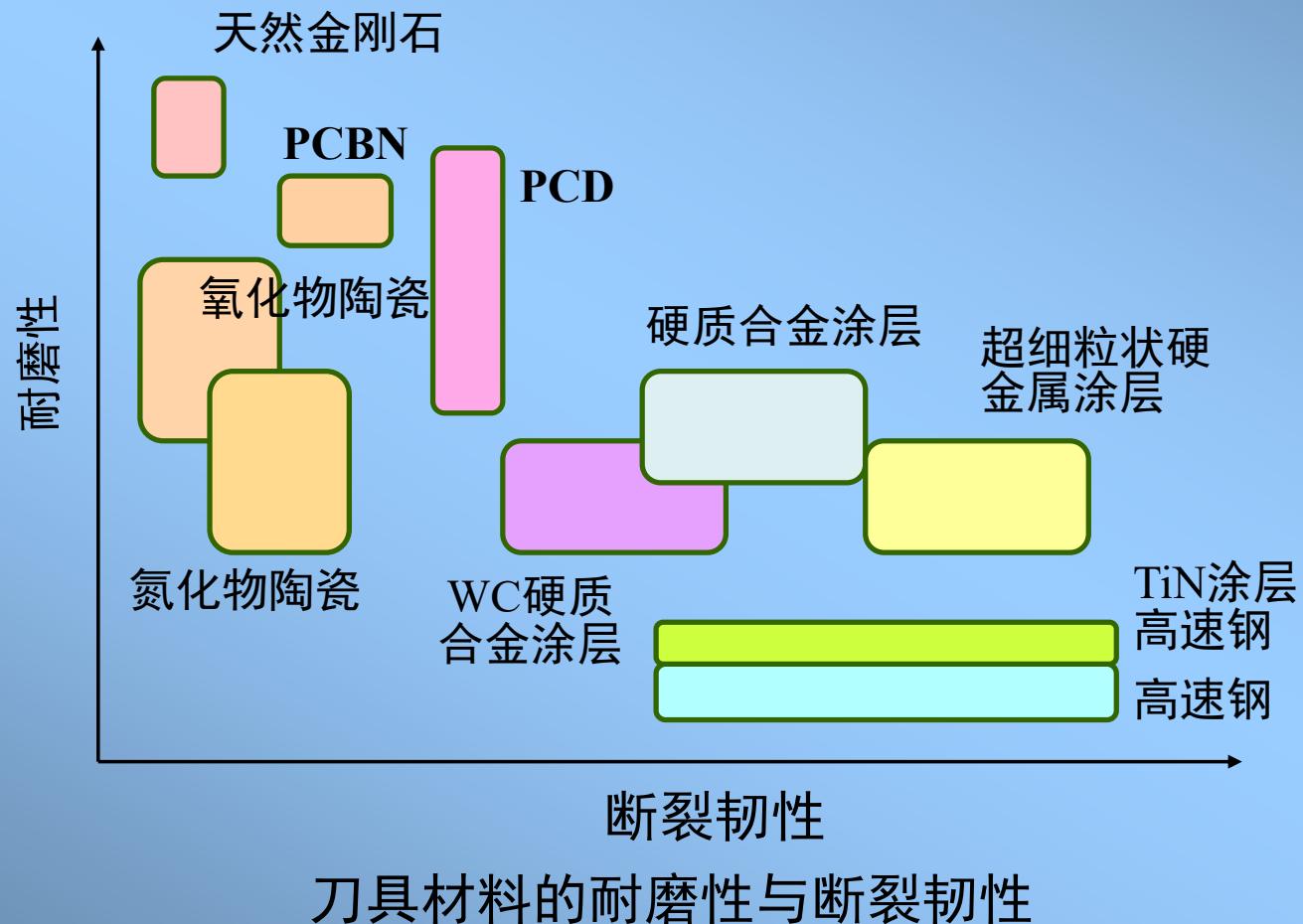
● 对刀具切削部分材料的要求

- 1) 高的硬度和耐磨性
- 2) 足够的强度和韧性
- 3) 较好的热硬性
- 4) 良好的工艺性
- 5) 经济性

● 刀具材料的发展









2. 常用刀具材料

刀具材料种类很多，常用的有工具钢（包括碳素工具钢、合金工具钢和高速钢）、硬质合金、陶瓷、金刚石（天然和人造）和立方氮化硼等。碳素工具钢和合金工具钢，因其耐热性很差，目前仅用于手工工具。

◆ 高速钢

➤ 高速钢：100年前，美国机械工程师泰勒（F. W Taylor）和冶金工程师怀特（M. White）在经过广泛而系统的切削试验之后，确立了切削用高速钢的最佳成分W18Cr4V（C0.75%，W18%，Cr4.0%，V1.0%），当时切削中碳钢速度为30m/min，比之前提高了十几倍。

◆ 高速钢

- 特点：1) 强度高，抗弯强度为硬质合金的2~3倍；
2) 韧性高，比硬质合金高几十倍；
3) 硬度HRc63以上，且有较好的耐热性；
4) 可加工性好，热处理变形较小。
- 应用：常用于制造各种复杂刀具（如钻头、丝锥、拉刀、成型刀具、齿轮刀具等）。

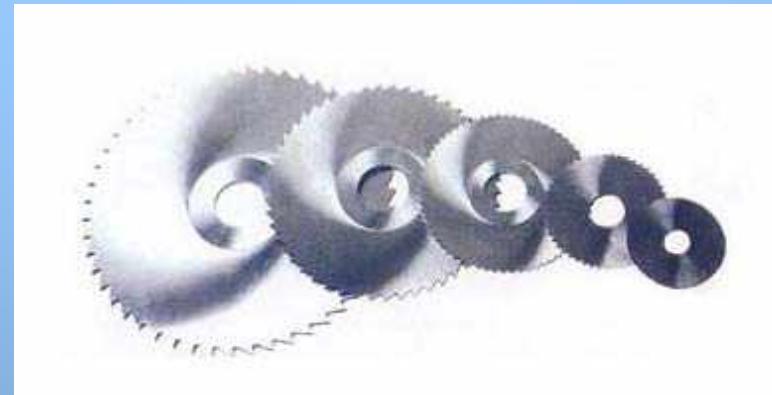




表2-9 常用高速钢牌号及其应用范围

类别	牌 号	主要用途
普通高速钢	W18Cr4V	广泛用于制造钻头、绞刀、铣刀、拉刀、丝锥、齿轮刀具等
	W6Mo5Cr4V2	用于制造要求热塑性好和受较大冲击载荷的刀具,如轧制钻头等
	W14Cr4VmnRe	用于制造要求热塑性好和受较大冲击载荷的刀具,如轧制钻头等
高性能高速钢	高碳 95W18 Cr4V	用于制造对韧性要求不高,但对耐磨性要求较高的刀具
	高钒 W12Cr4V4 Mo	用于制造形状简单,对耐磨性要求较高的刀具
	W6Mo5Cr4V2Al	用于制造复杂刀具和难加工材料用的刀具
	W10Mo4Cr4V3Al	耐磨性好,用于制造加工高强度耐热钢的刀具
	W6Mo5Cr4V5SiNbAl	用于制造形状简单的刀具,如加工铁基高温合金的钻头
	W12Cr4V3 Mo3Co5Si	耐磨性、耐热性好,用于制造加工高强度钢的刀具
	W2Mo9Cr4VC08 (M42)	用作难加工材料的刀具,因其磨削性好可作复杂刀具,价格昂贵



◆ 硬质合金

- 1923年，硬质合金的出现使得切削速度提高到每分钟一百多米至几百米，而且其硬度很高，可以切削高速钢所加工不了的材料。
- 硬质合金是用高硬度、高熔点的金属碳化物（如WC、TiC、TaC、NbC等）粉末和金属粘结剂（如Co、Ni等）经高压成型后，再在高温下烧结而成的粉末冶金制品。
- 硬质合金的硬度、耐磨性、耐热性都很高，允许的切削速度远高于高速钢，且能切削诸如淬火钢等硬材料。硬质合金的不足是与高速钢相比，其抗弯强度较低、脆性较大，抗振动和冲击性能也较差。

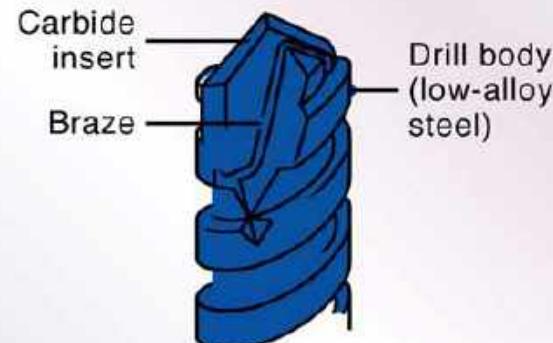
◆ 硬质合金

➤ 硬质合金因其切削性能优良而被广泛用来制作各种刀具。在我国，绝大多数车刀、面铣刀和深孔钻都采用硬质合金制造，目前，在一些较复杂的刀具上，如立铣刀、孔加工刀具等也开始应用硬质合金制造。



Drill with indexable carbide inserts

(c)



Drill with brazed carbide tip

(d)



表2-10 各种硬质合金的应用范围

常用硬质合金有三类：
YG类 (K类)
WC+Co
YT类 (P类)
WC, TiC+Co
YW类 (M类)
WC, TiC, 少量TaC或NbC+Co
钢结硬质合金
TiC+钢

牌号	应用范围	
YG3X	↑ 硬度、耐磨性、切削速度	铸铁、有色金属及其合金精加工、半精加工，不能承受冲击载荷
YG3(K)		铸铁、有色金属及其合金精加工、半精加工，不能承受冲击载荷
YG6X		普通铸铁、冷硬铸铁、高温合金的精加工、半精加工
YG6		铸铁、有色金属及其合金的半精加工和粗加工
YG8		铸铁、有色金属及合金、非金属材料粗加工，也可用于断续切削
YG6A		冷硬铸铁、有色金属及其合金的半精加工，亦可用于高锰钢、淬硬钢的半精加工和精加工
YT30(P)		碳素钢、合金钢的精加工
YT15		碳素钢、合金钢在连续切削时的粗加工、半精加工，亦可用于断续切削时的精加工
YT14		同YT15
YT5		碳素钢、合金钢的粗加工，也可以用于断续切削
YW1(M类)	↑ 硬度、耐磨性、切削速度	高温合金、高锰钢、不锈钢等难加工材料及普通钢料、铸铁、有色金属及其合金的半精加工和精加工
YW2		高温合金、高锰钢、不锈钢等难加工材料及普通钢料、铸铁、有色金属及其合金的粗加工和半精加工

◆ 陶瓷刀具材料

- 陶瓷材料比硬质合金具有更高的硬度 (HRA91~95) 和耐热性, 在1200°C的温度下仍能切削, 耐磨性和化学惰性好, 摩擦系数小, 抗粘结和扩散磨损能力强, 因而能以更高的速度切削, 并可切削难加工的高硬度材料。
- 主要缺点是性脆、抗冲击韧性差, 抗弯强度低。



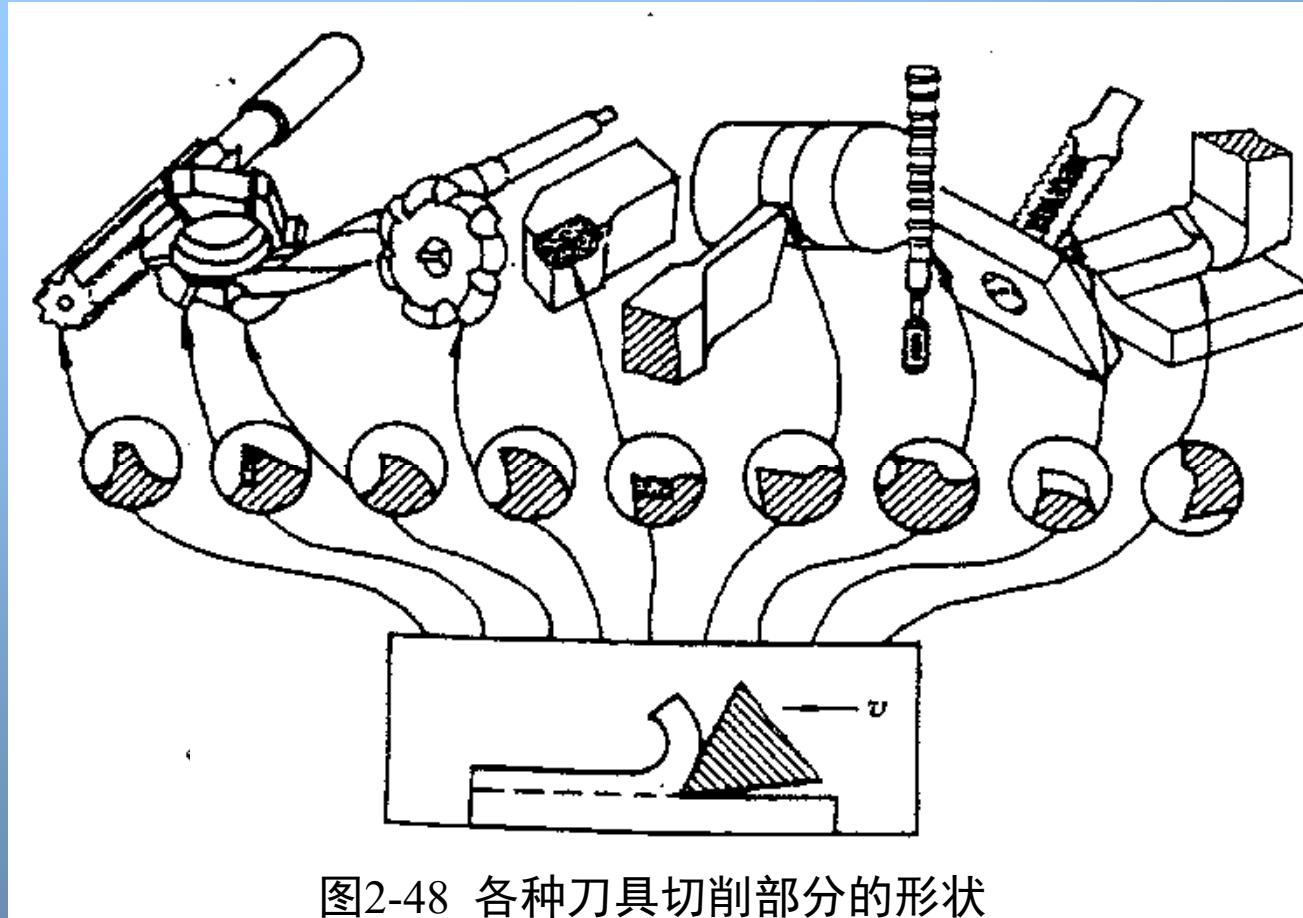


◆ 超硬刀具材料

- **天然金刚石**是自然界最硬的材料 (HV10000)，耐磨性极好，刃口锋利，切削刃的钝圆半径可达 $0.01\text{ }\mu\text{m}$ ，刀具寿命可达数百小时。因价格昂贵，主要用于高速、精密加工。
- **聚晶金刚石**由金刚石微粉在高温高压下聚合而成，硬度比天然金刚石略低 (HK6500~8000)，价格便宜，焊接方便，可磨削性好，已成为金刚石刀具主要材料。
- **金刚石刀具**不适于加工钢及铸铁。
- **聚晶立方氮化硼 (CBN)**由单晶立方氮化硼微粉在高温高压下聚合而成。硬度为HV 3000~4500，耐热性达 1200°C ，化学惰性很好，在 1000°C 的温度下不与铁、镍和钴等金属发生化学反应。主要用于加工淬硬工具钢、冷硬铸铁、耐热合金及喷焊材料等。用于高精度铣削时可以代替磨削加工。

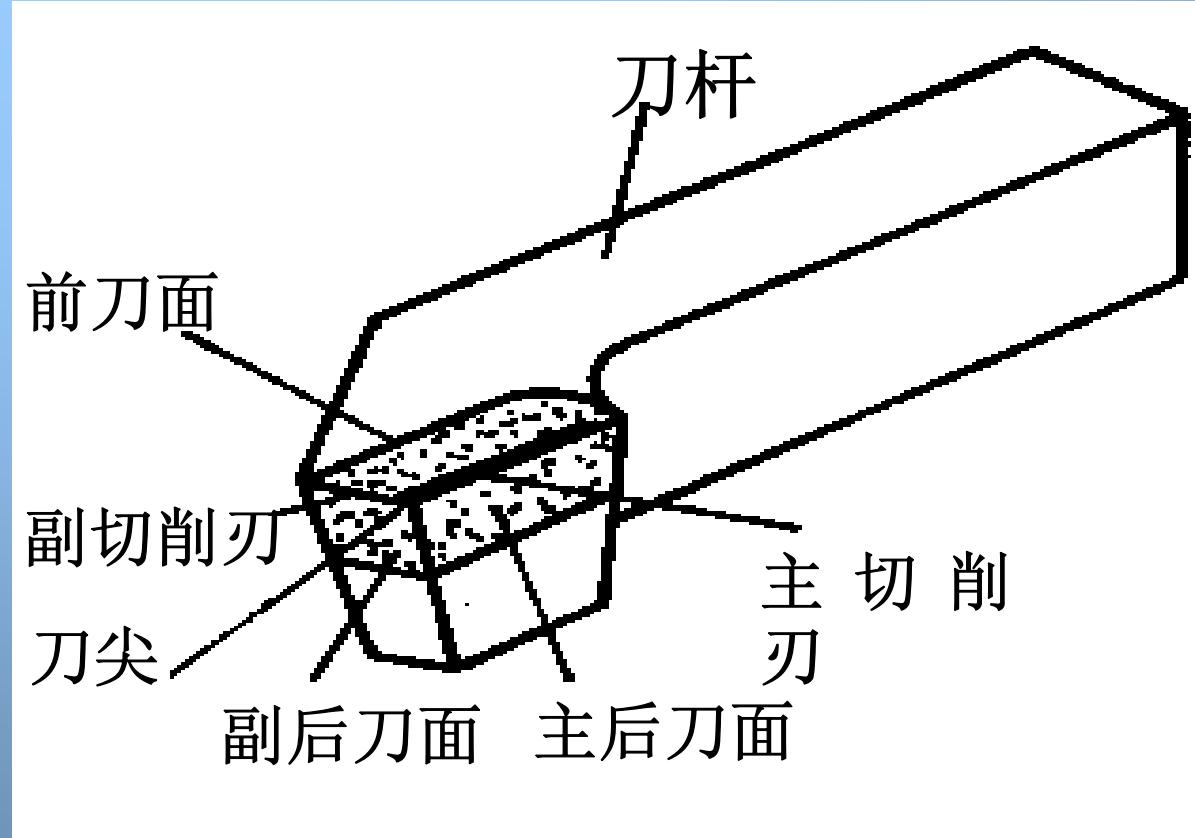
4.1.4.3 刀具的几何形状及参数

- 刨刀、铣刀、钻头等其他刀具可视为车刀的演变或组合。



1. 车刀的组成

➤ 车刀的切削部分由3个刀面、2个刀刃和1个刀尖组成。



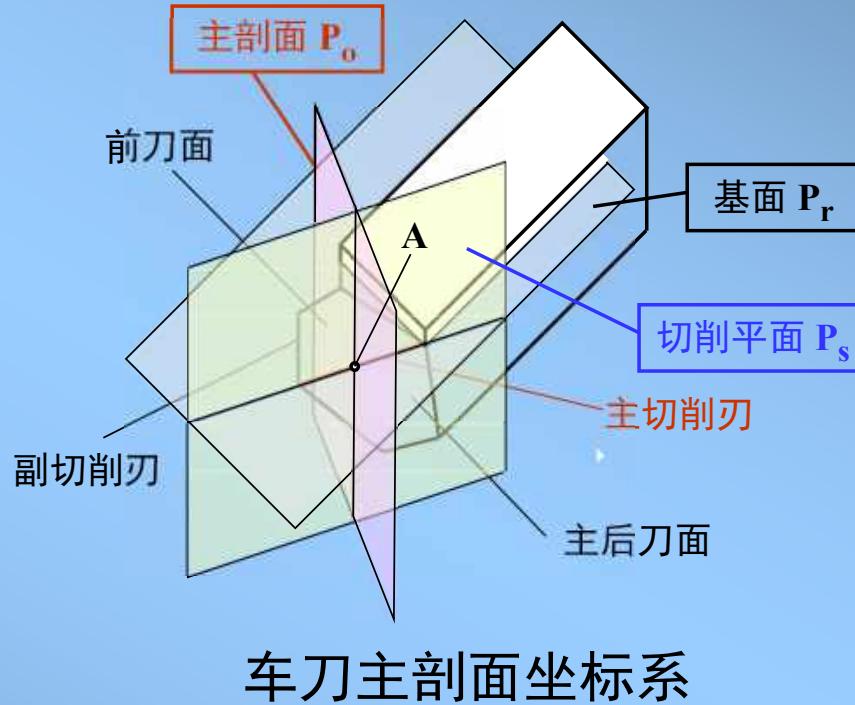


- A. **前刀面:** 切屑流出所经过的表面。
- B. **主后刀面:** 刀具与工件的加工表面相对的表面.
- C. **副后刀面:** 刀具上与工件的已加工表面相对的表面.
- D. **主切削刃:** 前刀面与主后刀面的交线, 切削工作.
- E. **副切削刃:** 前刀面与副后刀面的交线, 部分切削工作.
- F. **刀尖:** 主切削刃与副切削刃交点, 过渡圆弧.

2 车刀切削部分的几何参数

● 刀具标注角度坐标系

- 1) **基面 P_r** ：通过切削刃选定点与主运动方向垂直的平面。基面与刀具底面平行。
- 2) **切削平面 P_s** ：通过切削刃选定点与主切削刃相切且垂直于基面 P_r 的平面。
- 3) **主剖面 P_o** ：通过切削刃选定点垂直于基面 P_r 和切削平面 P_s 的平面。

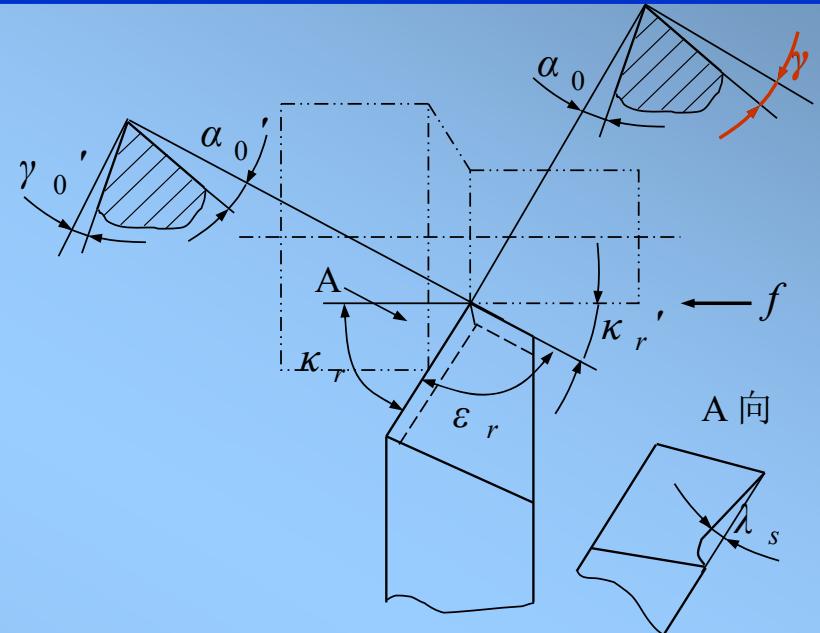


● 刀具标注角度

1) 前角 γ_0 。

➤ 在主剖面内测量，是前刀面与基面的夹角。

➤ γ_0 影响切削难易程度。
。增大前角可使刀具锋利，切削轻快。但前角过大，刀刃和刀尖强度下降，刀具导热体积减小，影响刀具寿命。

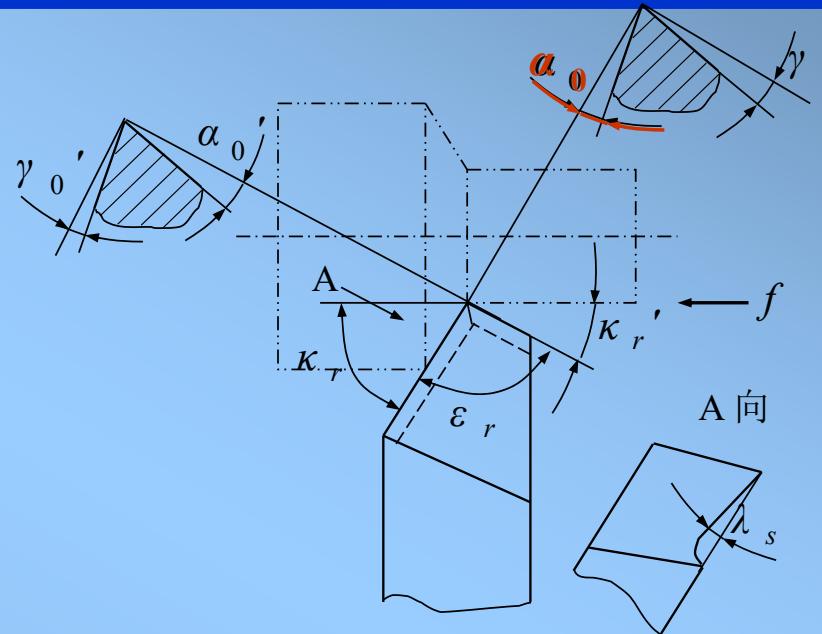


车刀的主要角度

□ 用硬质合金车刀切削钢件， γ_0 取 $10\sim20^\circ$ ；切削灰铸铁， γ_0 取 $5\sim15^\circ$ ；切削铝及铝合金， γ_0 取 $25\sim35^\circ$ ；切削高强度钢， γ_0 取 $-5\sim-10^\circ$ 。

2) 后角 α_0 。

- 后角 α_0 在主剖面内测量，是主后刀面与切削平面的夹角。
- 后角的作用是为了减小主后刀面与工件加工表面之间的摩擦以及主后刀面的磨损。但后角过大，刀刃强度下降，刀具导热体积减小，反而会加快主后刀面的磨损。



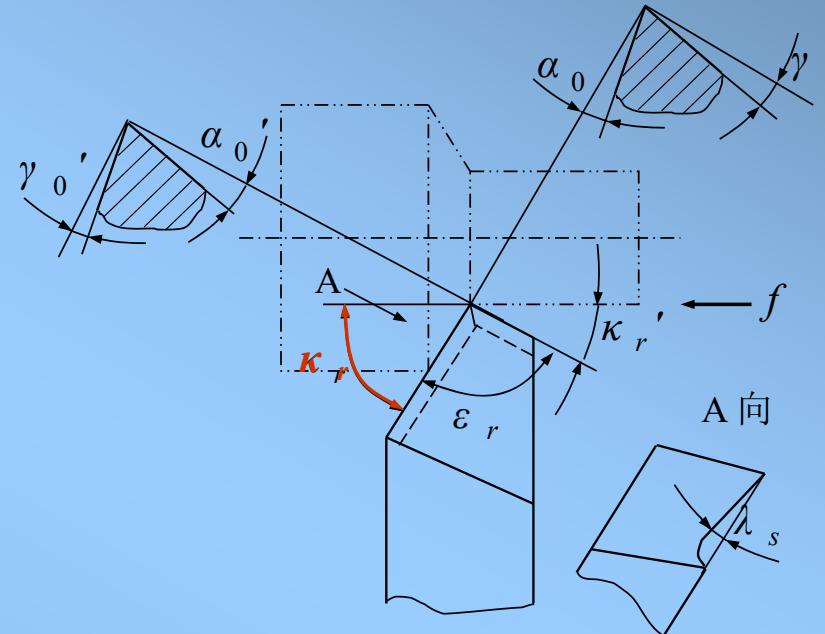
车刀的主要角度

- 粗加工和承受冲击载荷的刀具，为了使刀刃有足够的强度，后角可选小些，一般为 $4^\circ \sim 6^\circ$ ；精加工时切深较小，为保证加工的表面质量，后角可选大一些，一般为 $8^\circ \sim 12^\circ$ 。

3) 主偏角 κ_r

➤ κ_r 的大小影响刀具寿命。减小主偏角，主刃参加切削的长度增加，负荷减轻，同时加强了刀尖，增大了散热面积，使刀具寿命提高。

➤ κ_r 的大小还影响切削分力。减小主偏角使吃刀抗力增大，当加工刚性较弱的工件时，易引起工件变形和振动。

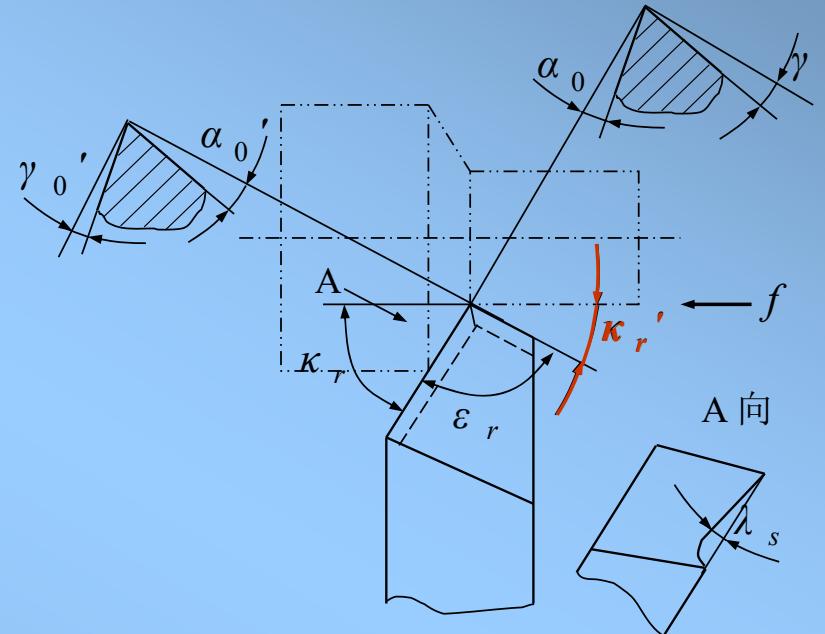


车刀的主要角度

□ 主偏角应根据加工对象正确选取，车刀常用的主偏角有 45° 、 60° 、 75° 、 90° 几种。

4) 副偏角 κ_r'

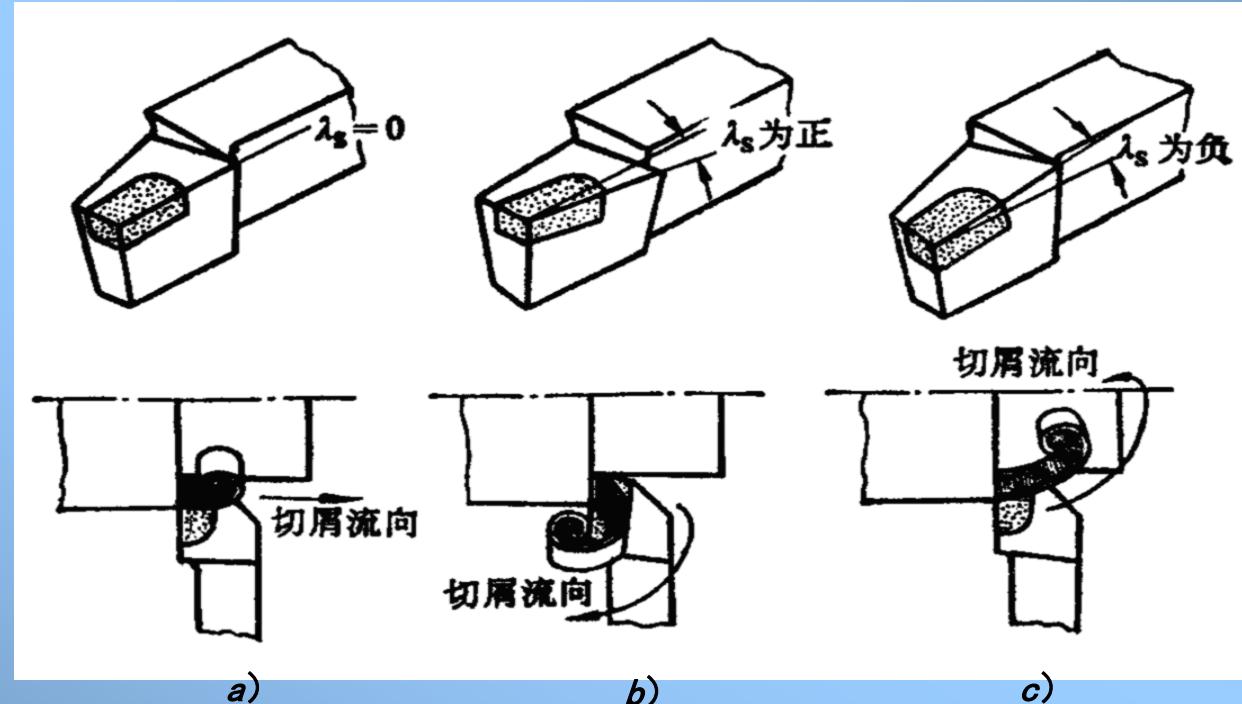
➤ 副偏角的作用是为了减小副切削刃与工件已加工表面之间的摩擦，以防止切削时产生振动。副偏角的大小影响刀尖强度和表面粗糙度。



车刀的主要角度

□ 在切深、进给量和主偏角相同的情况下，减小副偏角可使残留面积减小，表面粗糙度降低。

5) 刀倾角 λ_s ——切削平面内测量, 是主切削刃与基面的夹角。
当刀尖是切削刃最高点时, λ_s 定为正值; 反之为负。



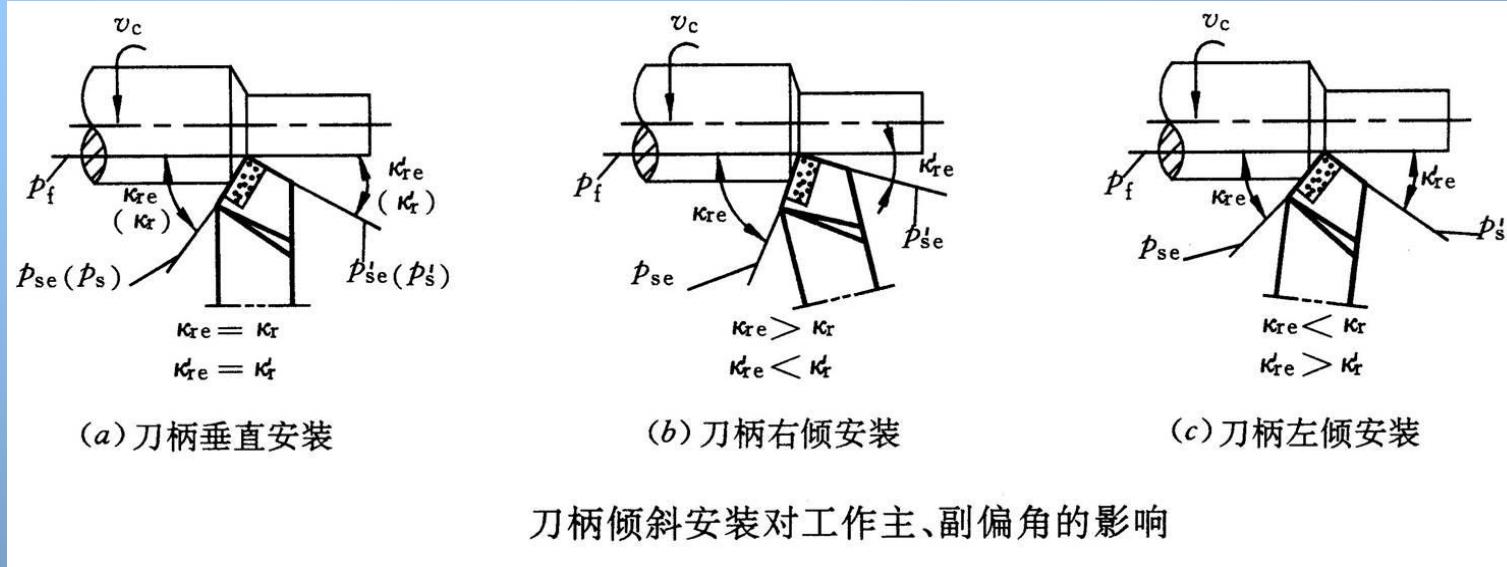
刃倾角对排屑方向的影响

□ λ_s 影响刀尖强度和切屑流动方向。粗加工时为增强刀尖强度, λ_s 常取负值; 精加工时为防止切屑划伤已加工表面, λ_s 常取正值或零。

3. 刀具工作角度

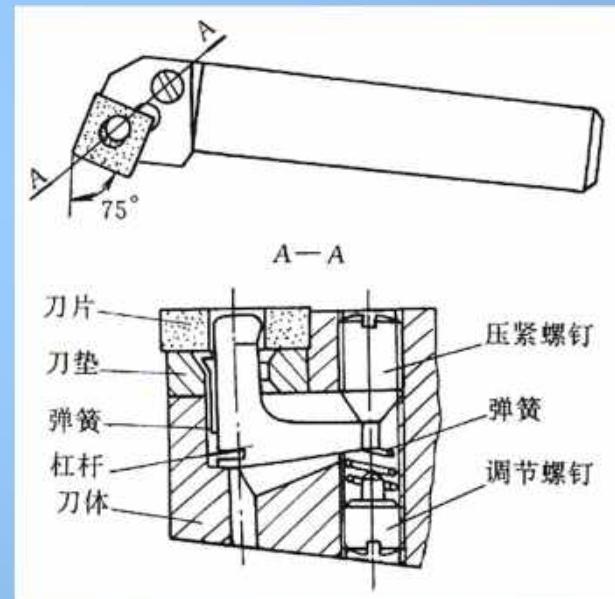
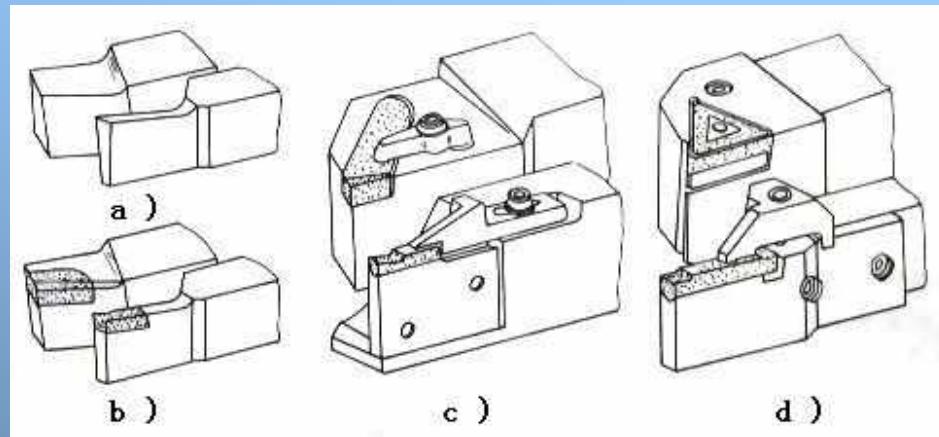


◆ 刀具安装对工作角度的影响

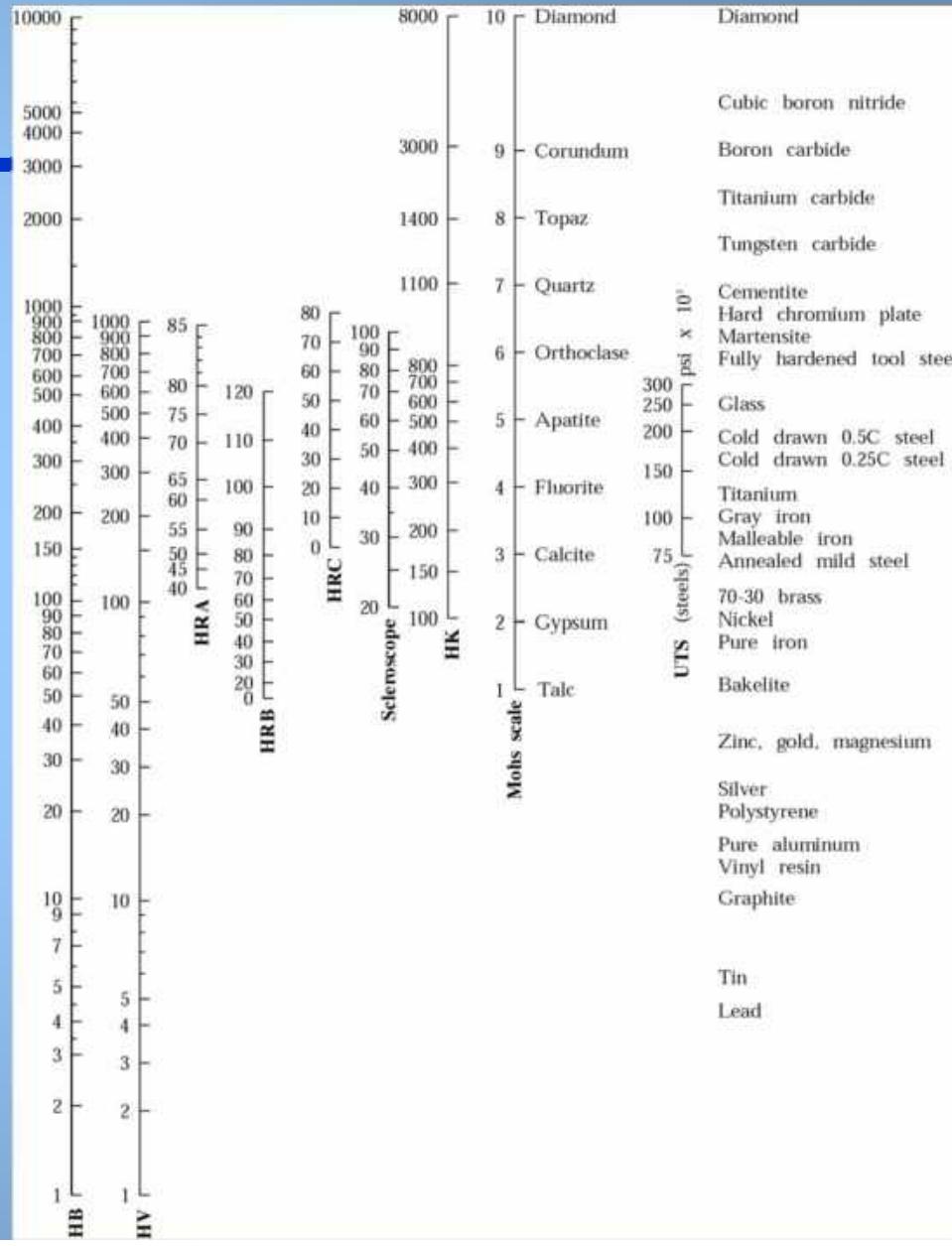


4. 车刀的结构形式

- 车刀的结构形式有：整体式、焊接式、机夹重磨式、机夹可转位刀片式。

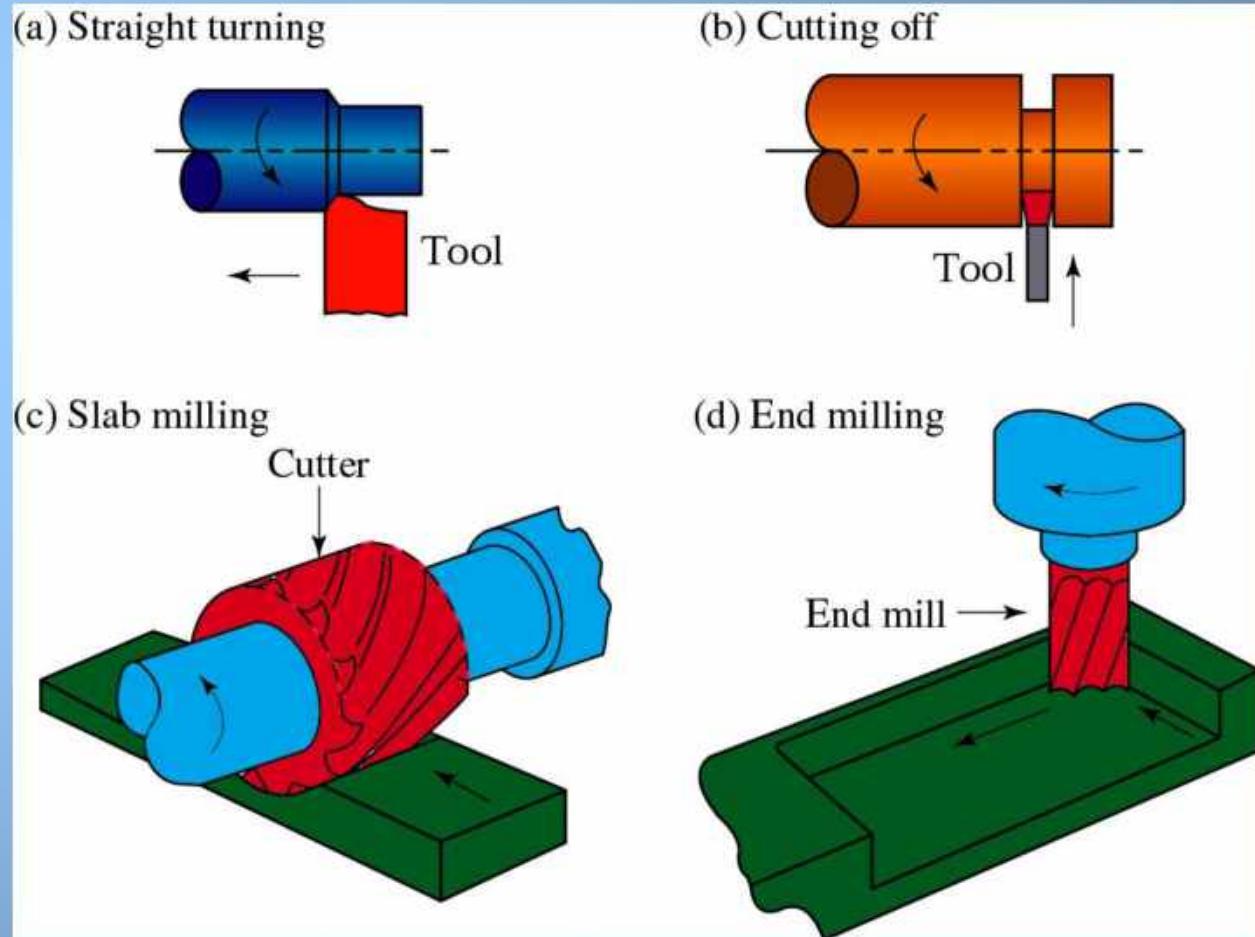


硬度与强度



练习

哪个是主运动?
哪个是进给 (ji) 运动?





第五章 典型表面的加工

- 概述
- 外圆表面的加工
- 孔加工
- 平面加工
- 齿形加工

5-4 齿形加工

5.4.1 齿形加工概述

1 齿轮的技术要求

齿轮传动可以用来传递空间任意两轴间的运动，且传动准确可靠、结构紧凑、寿命长、效率高，是应用最广泛的一种传动机构。

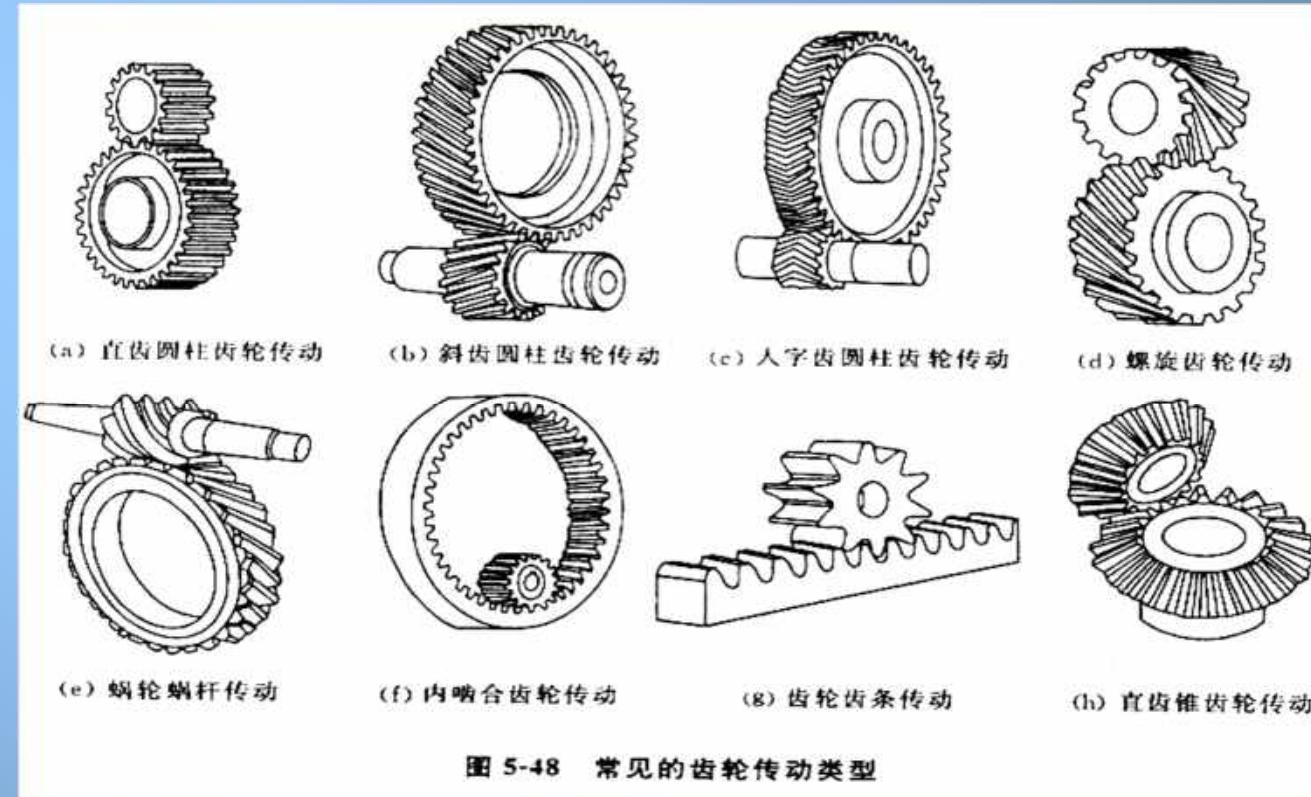
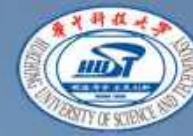


图 5-48 常见的齿轮传动类型



5-4 齿形加工

GB 10095.1-2001对齿轮精度规定了13个等级。

0~2: 远景级 3~5: 高级精度 6~8: 中级精度 9~12: 低级精度

齿轮精度要求：

- ① 运动的的准确性(第I公差组)：分齿不均（误差）。
- ② 传动的平稳性(第II公差组)：渐开线齿形存在误差。
- ③ 载荷分布的均匀性(第III公差组)。



5-4 齿形加工

齿轮间隙的规定

齿侧间隙：由工作条件决定，与齿轮精度无关，控制齿厚偏差或公法线平均长度偏差来限制。

对于换向传动和读数机构，齿侧间隙十分重要，必要时必须消除间隙。



5-4 齿形加工

2. 齿轮齿形的加工方法

成形法：用与被切齿轮齿槽形状相符的成形刀具切出齿形，如铣齿（用盘状或指状铣刀）、拉齿和成形磨齿等。

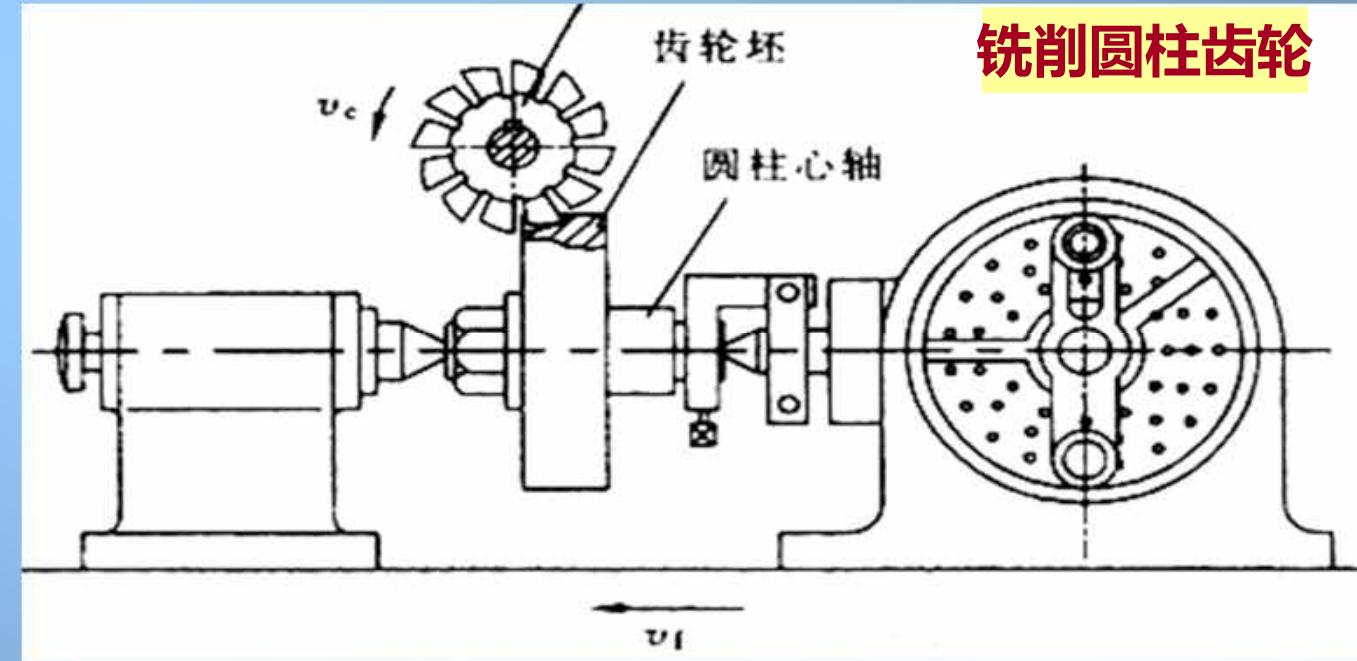
展成法（包络法Generating）：齿轮刀具与工件按齿轮副的啮合关系作展成运动，工件的齿形由刀具的切削刃包络而成，如滚齿、插齿、剃齿、磨齿和珩齿等。

5-4 齿形加工

5.4.2 铣齿

1. 铣削直齿圆柱齿轮

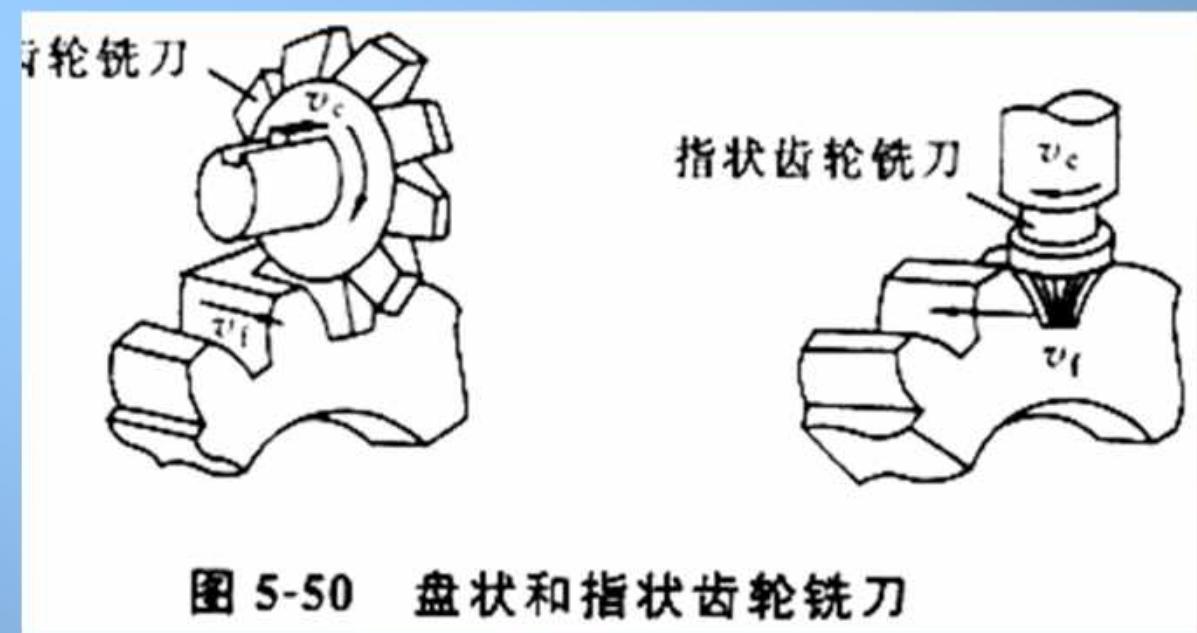
铣削直齿圆柱齿轮时，齿轮坯紧固在心轴上并将心轴安装在分度头和尾架顶尖之间，铣刀旋转，工件随工作台作纵向进给运动。每铣完一个齿槽，纵向退刀进行分度，再铣下一个齿槽。



5-4 齿形加工

模数 $m \leq 20$ 的齿轮, 一般用盘状齿轮铣刀在卧铣上加工; $m > 20$ 的齿轮, 用指状齿轮铣刀在专用铣床或立铣上加工。

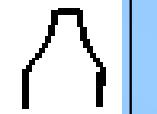
选用铣刀, 除了模数 m 和压力角 α 应与被切齿轮的模数、压力角一致以外, 还需根据齿轮的齿数 z 选择相应的刀号。



5-4 齿形加工

同一模数的齿轮铣刀，一般制作8把或15把。

表5-10 盘状齿轮铣刀刀号及其加工范围

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								

5-4 齿形加工

2. 铣削螺旋齿圆柱齿轮

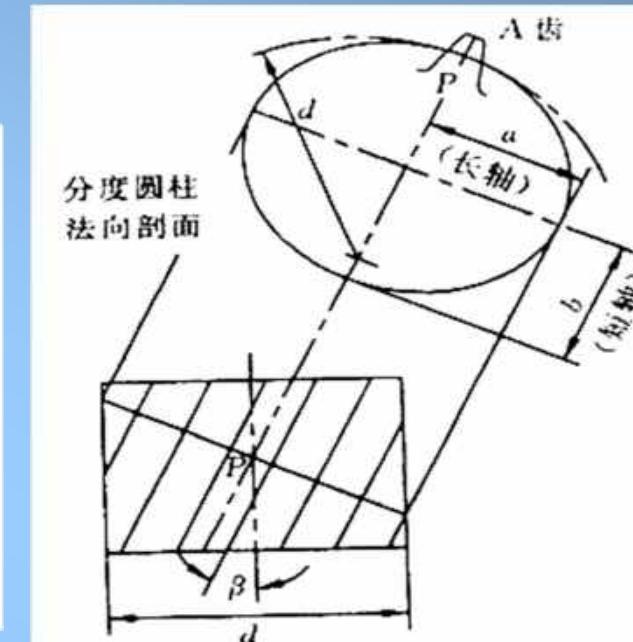
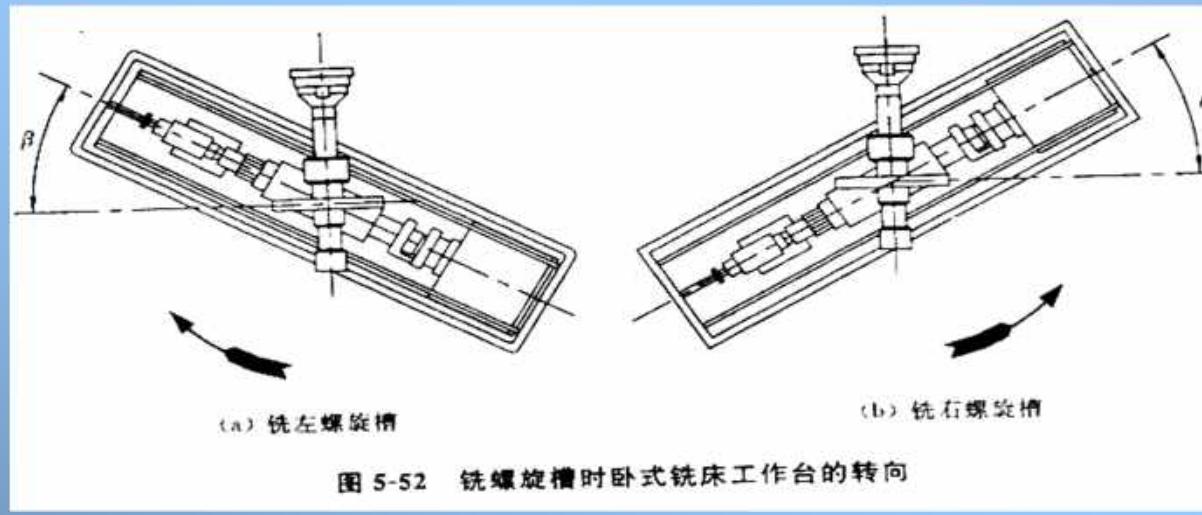


图 5-51 螺旋齿轮法向齿形

根据法向齿数选择齿轮铣刀刀号。

$$z_d = \frac{z}{\cos^3 \beta}$$



5-4 齿形加工

3. 铣齿工艺特点

(1) 生产成本低

齿轮铣刀结构简单，在普通铣床上即可完成铣齿工作。

(2) 加工精度低

一个刀号加工一定齿数范围齿轮，只有最小齿数，齿形才准确。在铣床上采用分度头分齿，分齿误差也较大。

(3) 生产率低

每铣一齿都要重复耗费切入、切出、吃刀和分度的时间。

5-4 齿形加工

5.4.3 插齿

插齿属展成法加工，它是在插齿机上进行的。

插齿刀结构 插齿刀像直齿圆柱齿轮。
齿顶呈圆锥形(形成顶刃后角)；端面呈凹锥面
(形成顶刃前角)；齿顶高比标准圆柱齿轮大
0.25m(保证插削合时有径向间隙)

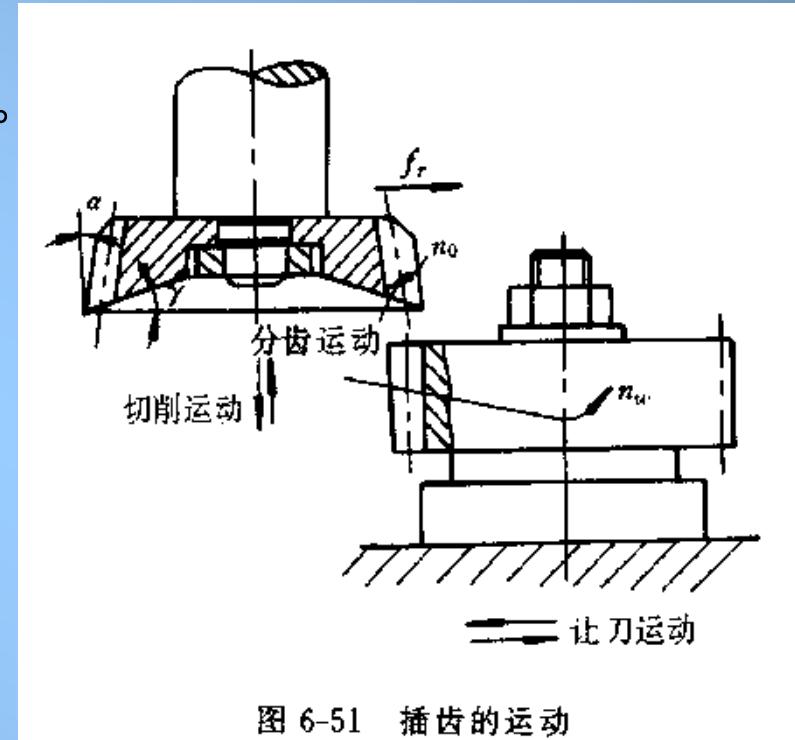


图 6-51 插齿的运动

5-4 齿形加工

1 插齿原理和插齿运动

- (1) **主运动** 插齿刀的上下往复运动称为主运动。
- (2) **分齿运动** 强制插齿刀与齿轮坯之间保持一对齿轮的啮合关系的运动称为分齿运动。
- (3) **圆周进给运动** 插齿刀每一往复行程在分度圆上所转过的弧长称为圆周进给量。在分齿运动中, 插齿刀的旋转运动也是进给运动。

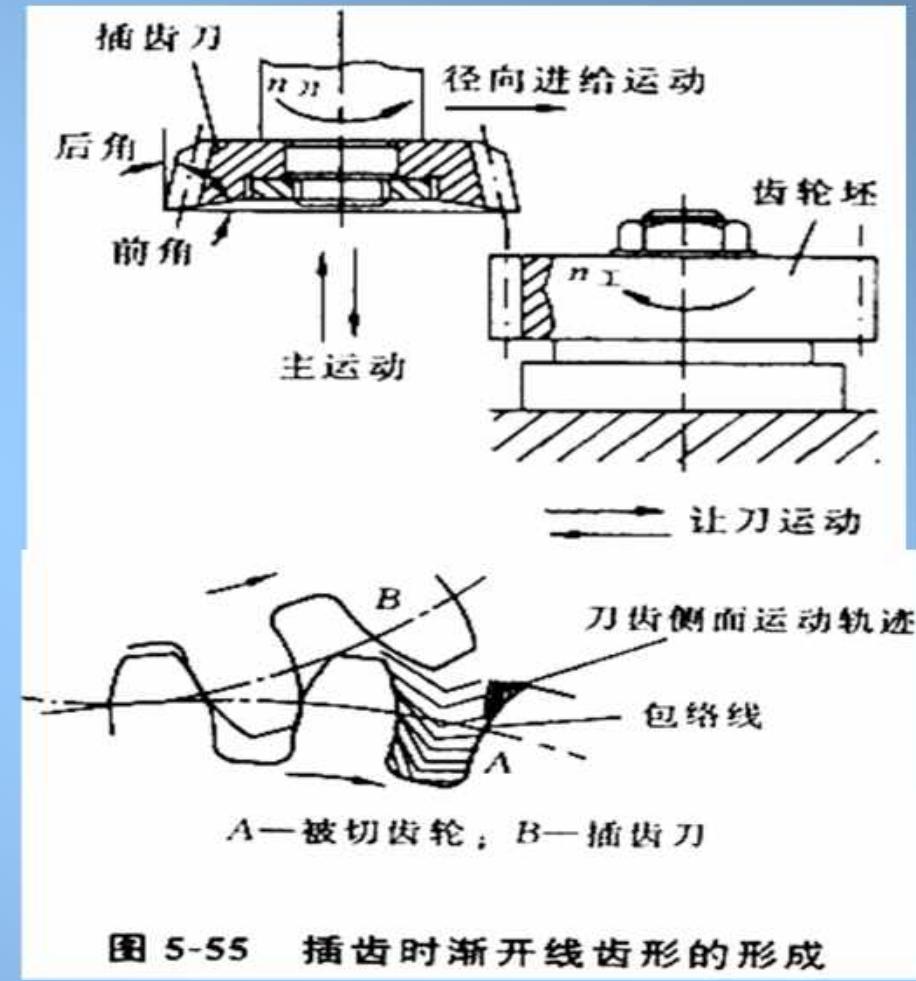
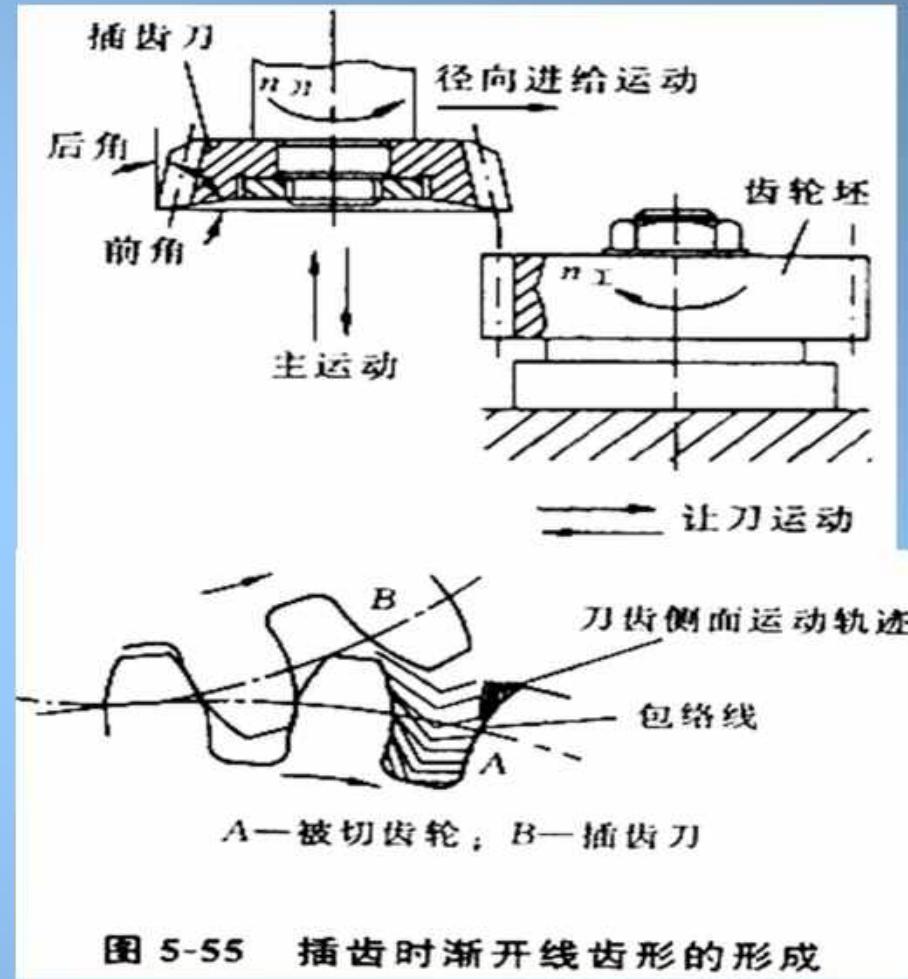


图 5-55 插齿时渐开线齿形的形成

5-4 齿形加工

- (4) 径向进给运动 在插齿开始阶段, 插齿刀沿齿轮坯半径方向的移动。
- (5) 让刀运动 为了避免插齿刀在返回行程中擦伤已加工表面和加剧刀具的磨损, 应使工作台沿径向让开一段距离; 当切削行程开始前, 工作台需恢复原位。



5-4 齿形加工

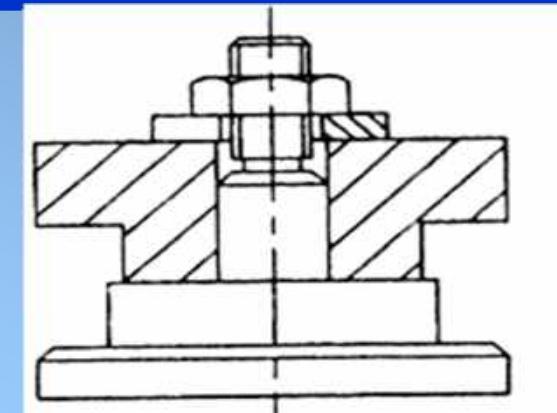
2 齿轮坯的安装

(1) 内孔和端面定位

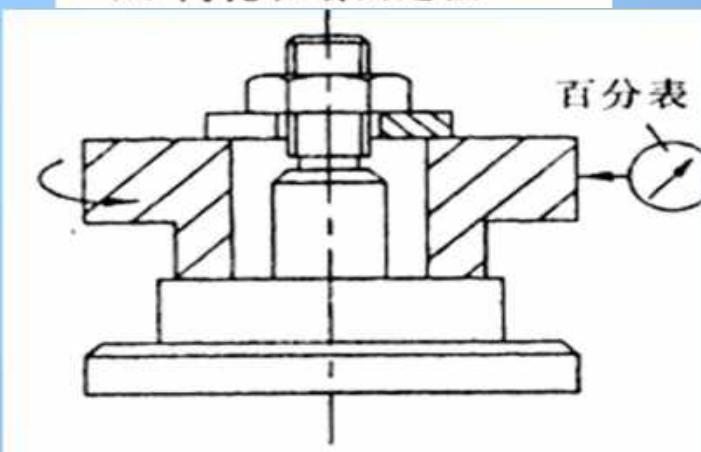
依靠齿坯内孔与心轴之间的正确配合来决定齿坯的轴线位置，适用于大批大量生产。

(2) 外圆和端面定位

将齿坯套在心轴上(有间隙)，用千分表找正外圆，以决定齿坯轴线位置，适用于单件小批生产。



(a) 内孔和端面定位

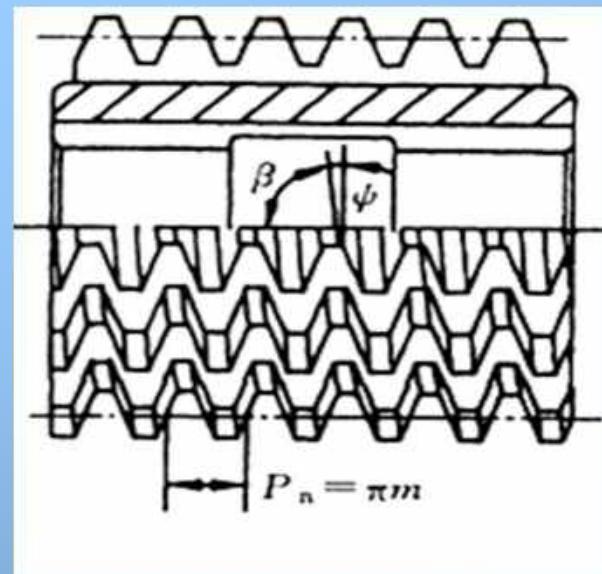


(b) 外圆和端面定位

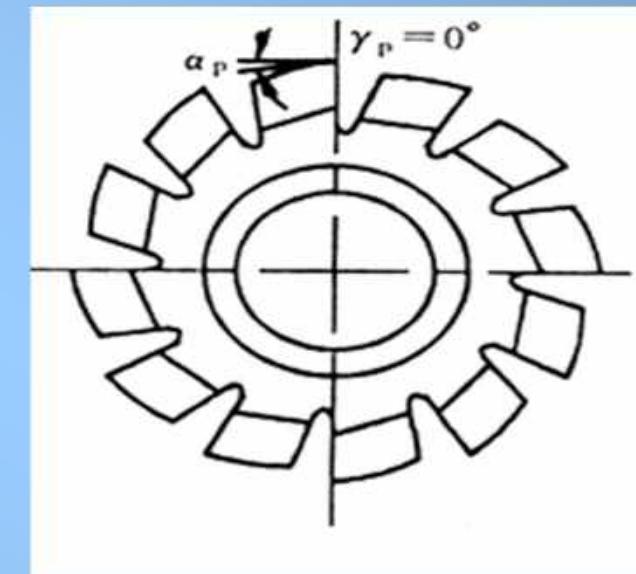
5-4 齿形加工

5.4.4 滚齿

1. 滚刀 滚齿属展成法加工，是在专用的滚齿机上进行的。滚切齿轮所用的齿轮滚刀如图所示。

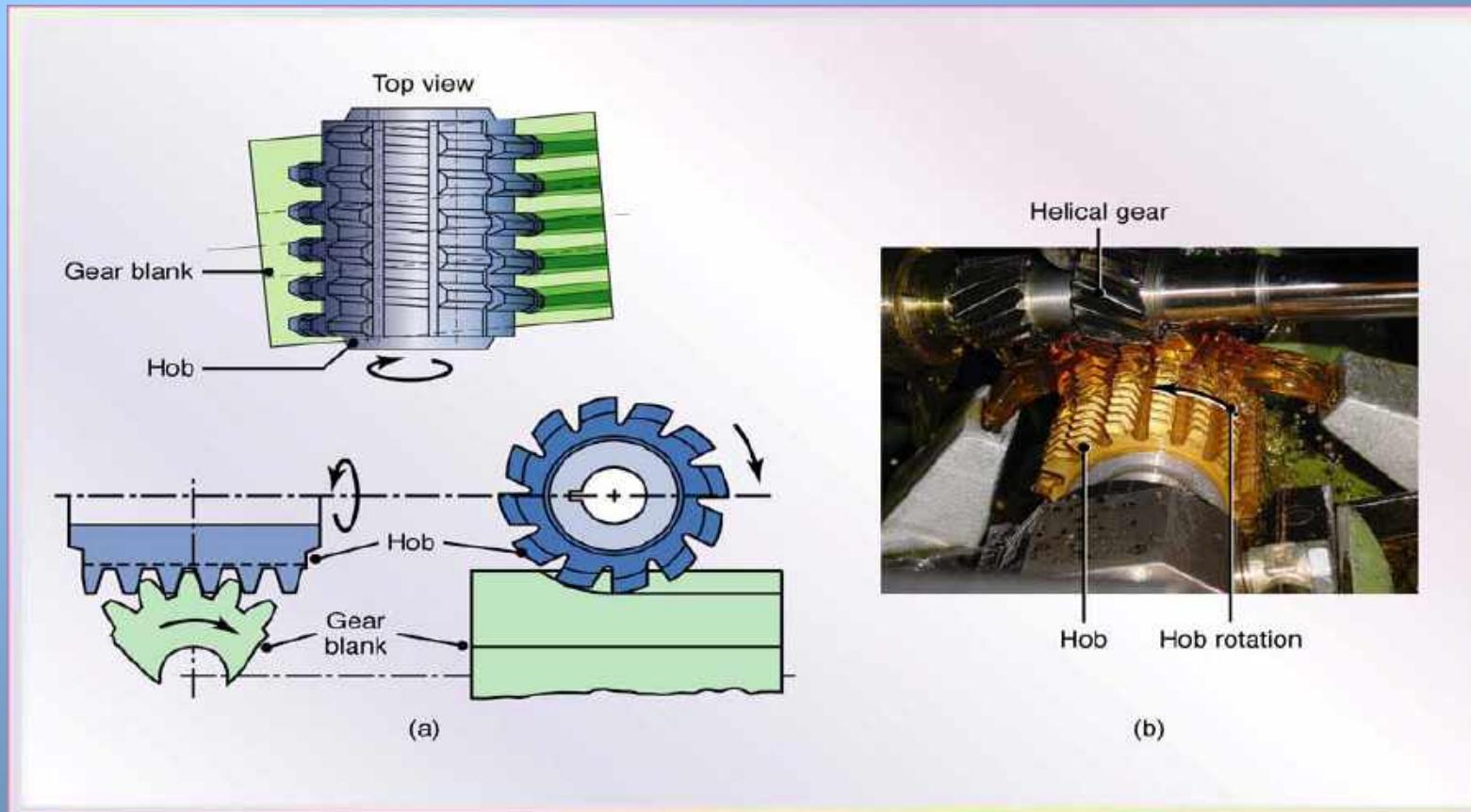


螺旋角 β , 螺旋升角 ψ



刀齿顶刃前角 γ_p , 后角 α_p

5-4 齿形加工

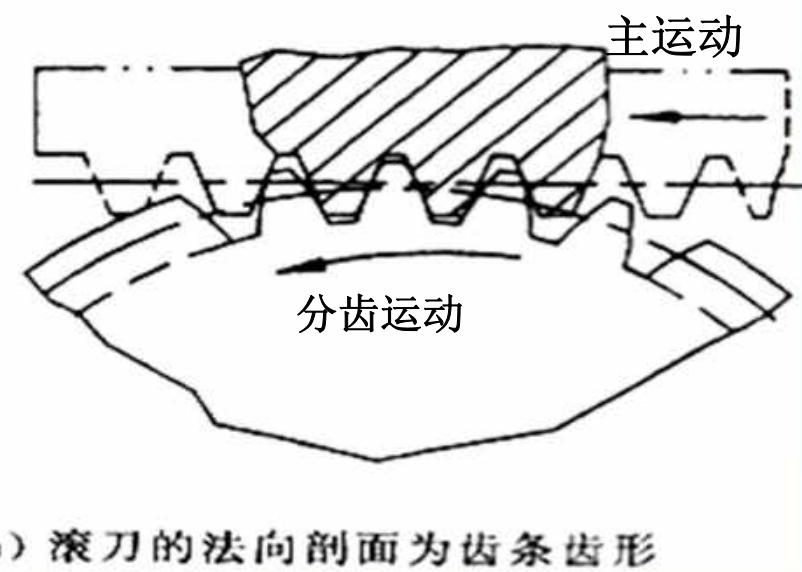
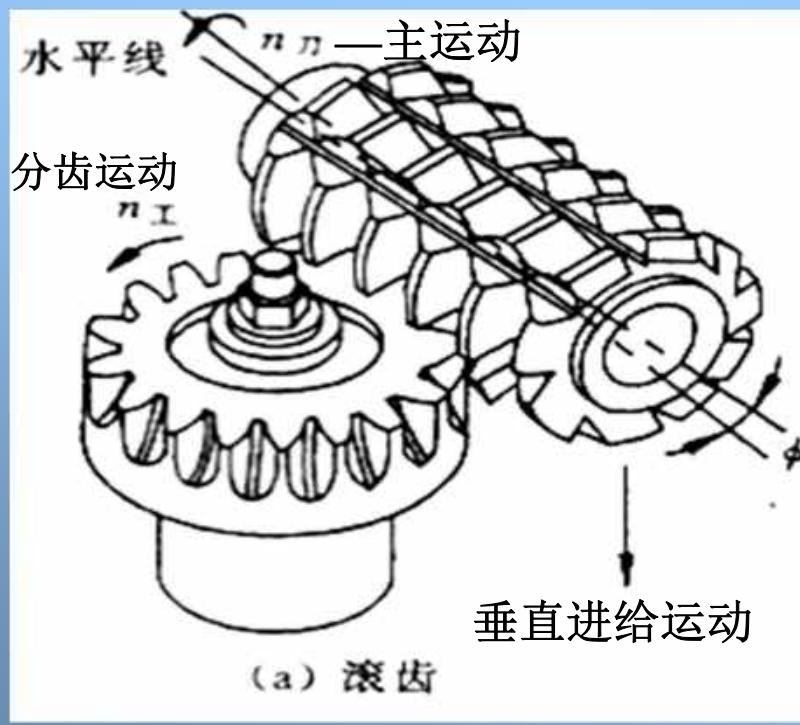


(a) Schematic illustration of gear cutting with a hob. (b) Production of worm gear (蜗轮) through hobbing. Source: Courtesy of Schafer Gear Works, Inc.

5-4 齿形加工

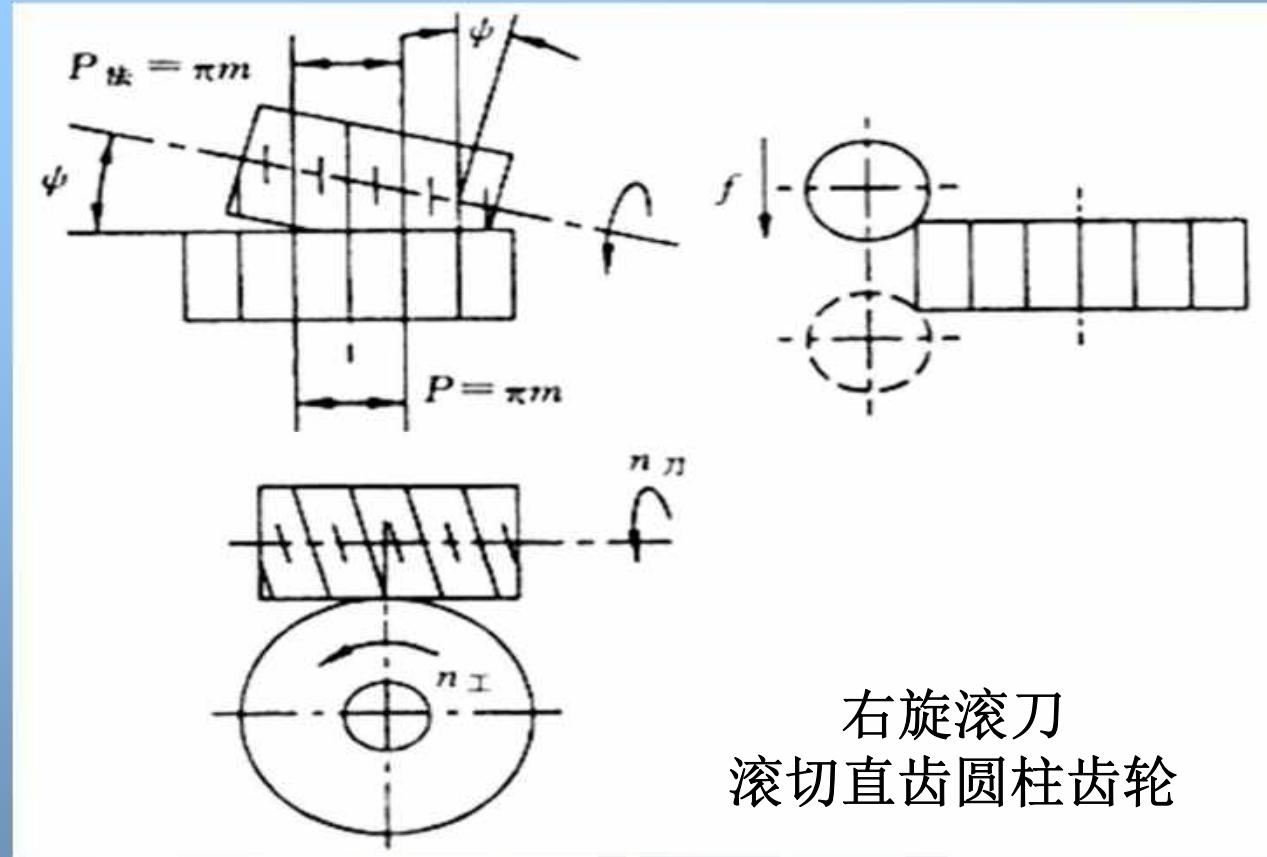
2. 滚齿原理和滚齿运动

滚切齿轮亦属于展成法。可将其看作无啮合间隙的齿轮与齿条传动。



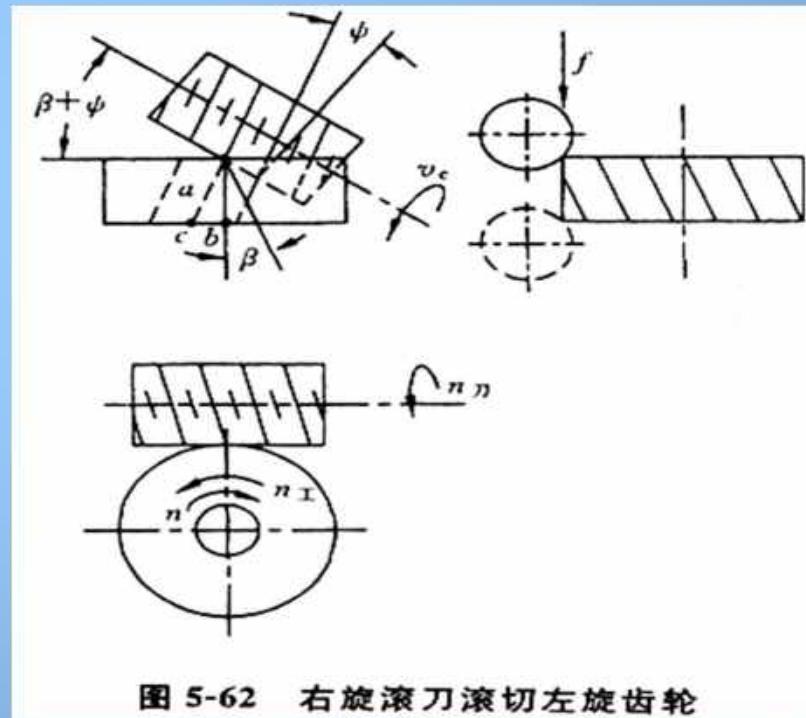
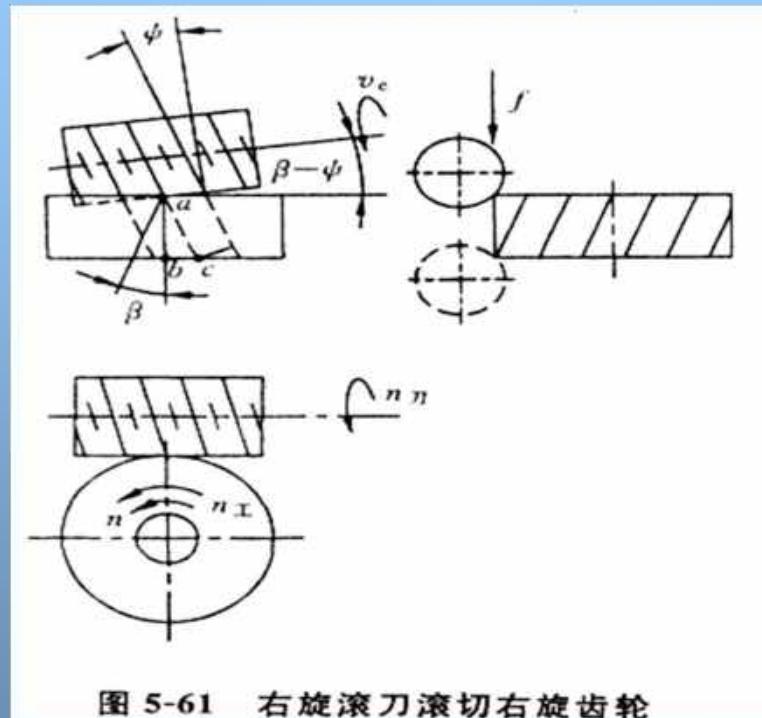
5-4 齿形加工

滚切直齿圆柱齿轮：滚刀刀轴相对水平面应扳转 ψ 角。



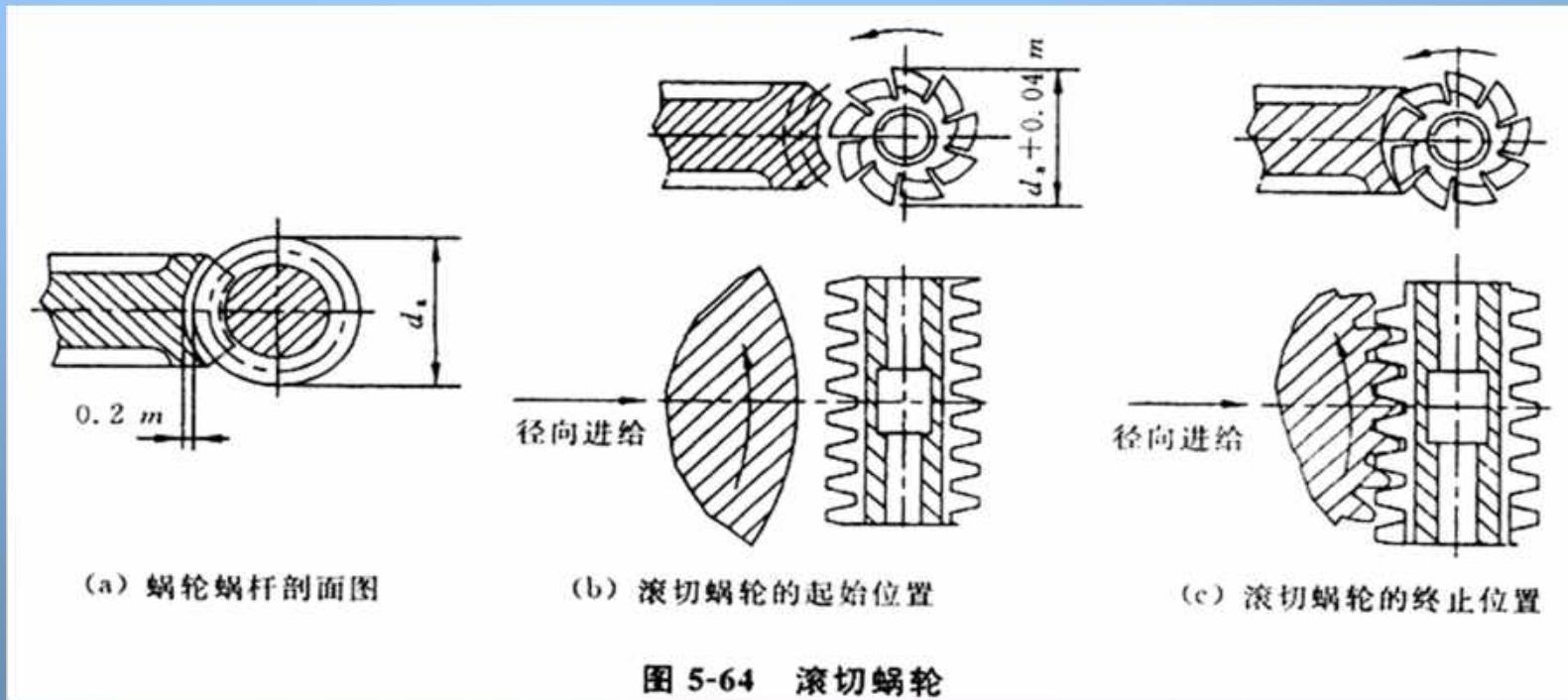
5-4 齿形加工

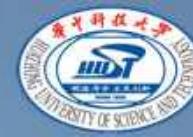
滚切螺旋齿圆柱齿轮 根据滚刀与被切齿轮的旋向、滚刀螺旋升角 ψ 和被切齿轮的螺旋角 β 确定刀轴扳转的角度。



5-4 齿形加工

滚切蜗轮 滚切蜗轮需用蜗轮滚刀，蜗轮滚刀的模数 m 、压力角 α 、螺旋升角 ψ 以及螺旋齿的旋向与被切蜗轮相啮合的蜗杆一致，只是外径较蜗杆顶圆直径 d_a 大 $0.4m$ ，以保证切出的蜗轮与蜗杆啮合时有 $0.2m$ 的径向间隙。

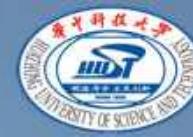




5-4 齿形加工

滚齿与插齿分析比较

- (1) **加工原理相同** 滚齿与插齿均属展成法，只要求刀具的模数和压力角与被切齿轮一致，与齿数无关。
- (2) **加工精度和齿面粗糙度基本相同** 精度为8~7级，只Ra值为 $1.6 \mu m$ 左右
- (3) **插齿的分齿精度略低于滚齿；滚齿的齿形精度略低于插齿** 插齿刀的制造误差、安装误差及刀轴旋转误差等因素，导致插齿刀在旋转一周的过程中引起加工齿轮的分齿不均匀；滚刀的制造误差、安装误差以及刀轴的旋转误差等因素，易使滚刀在旋转一周的过程中造成被加工齿轮的齿形误差。



5-4 齿形加工

(4) 插齿后的齿面粗糙度 ($1.6 \mu m$) 略优于滚齿 ($3.2 \sim 1.6 \mu m$)

插齿刀沿轮齿的全长连续切削，且插齿可调整圆周进给量，使形成齿形的包络线的切线数目较多；滚齿的轮齿全长是由滚刀刀齿多次断续切出的圆弧面组成，且滚齿形成的齿形包络线的切线数目又受滚刀的开槽数所限，从而造成滚齿后的齿面粗糙度较大。

(5) 滚齿的生产效率高于插齿

(6) 加工范围不同 螺旋齿轮—滚齿，内齿轮和小间距的多联齿轮—插齿，蜗轮和轴向尺寸较大的齿轮轴—滚齿；

(7) 生产类型相同 单件、各种批量均可用滚齿与插齿生产。

5-4 齿形加工

5.4.5 齿形的光整加工方法

滚齿和插齿一般加工中等精度8~7级的齿轮。对于7级精度以上或经淬火的齿轮，在滚齿、插齿加工之后尚需进行精加工，以进一步提高齿形的精度。常用的齿形精加工方法有剃齿、珩齿、磨齿和研齿。

1. 剃齿 (Gear Shaving)

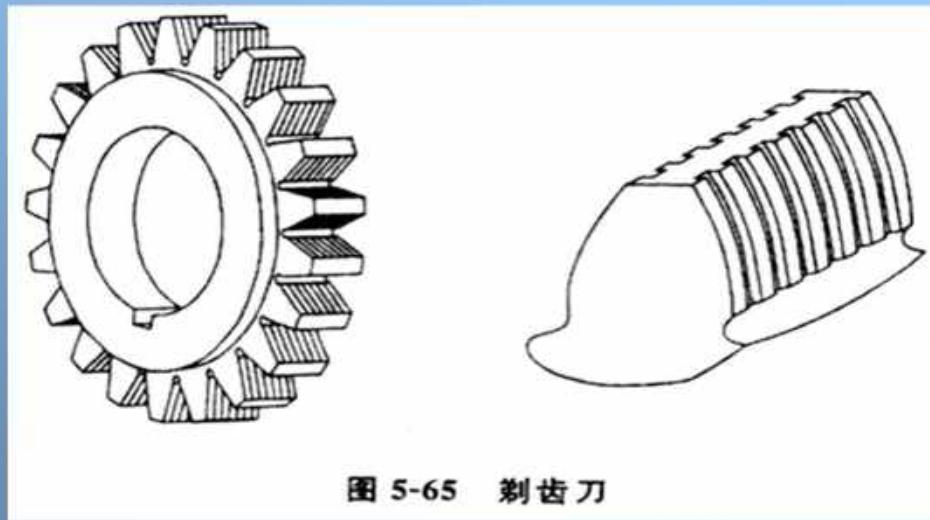


图 5-65 剃齿刀

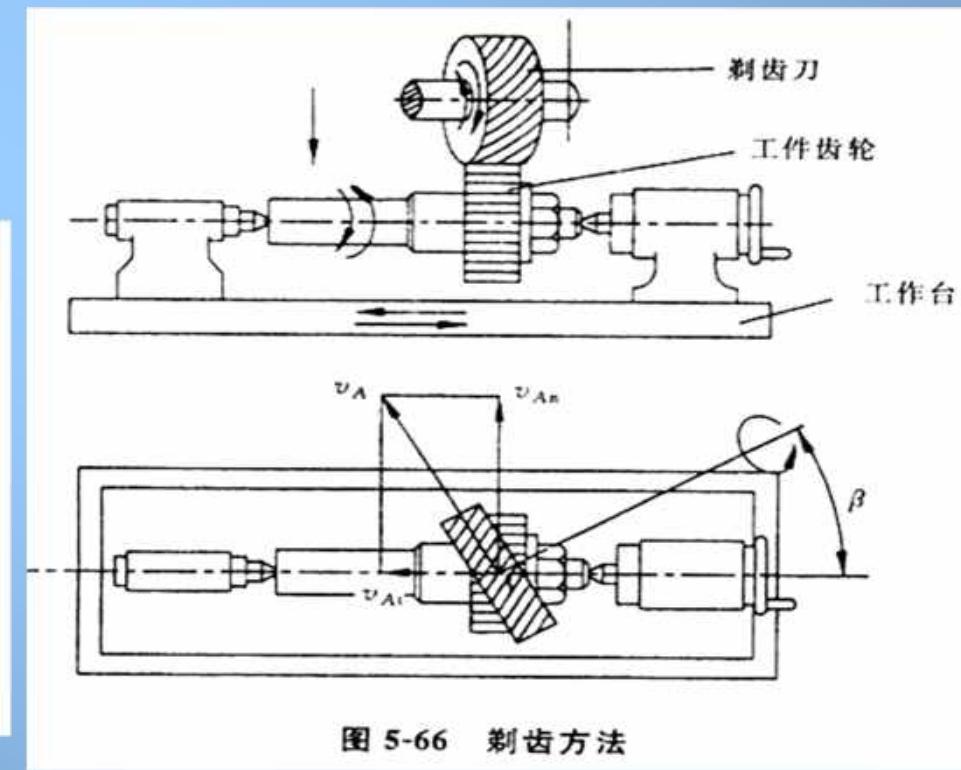
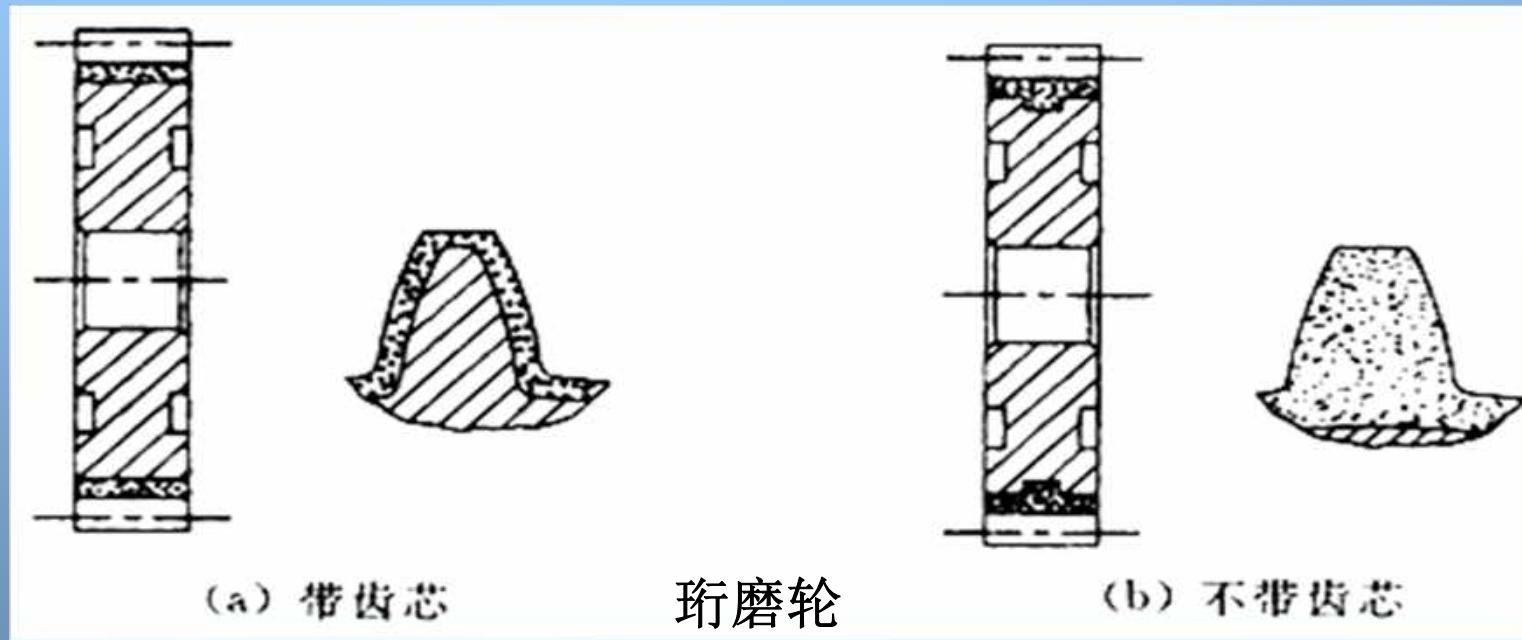


图 5-66 剃齿方法

5-4 齿形加工

2. 珩齿 (Gear honing)

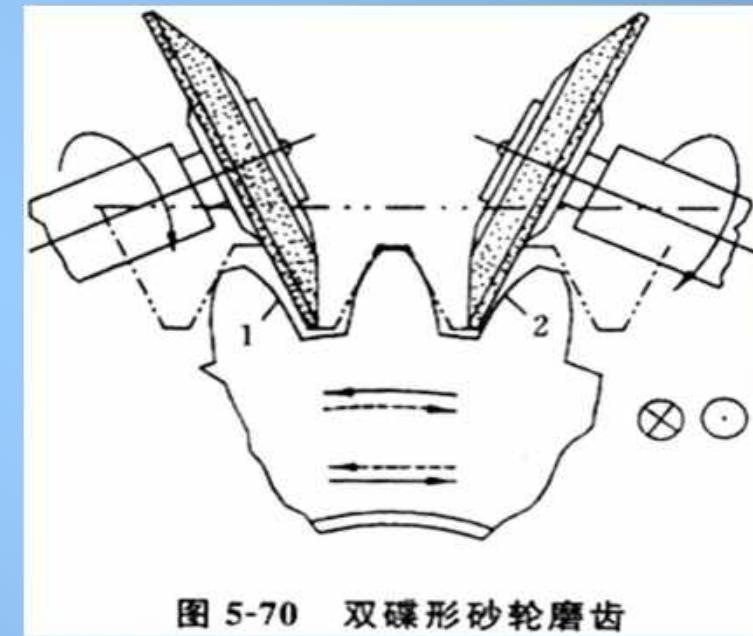
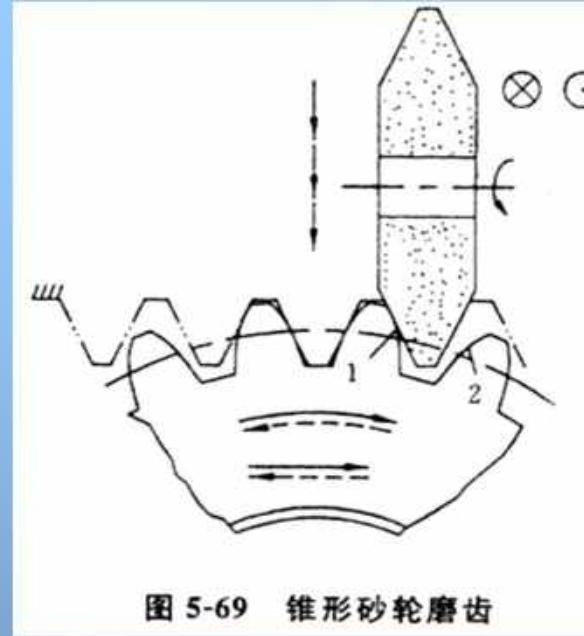
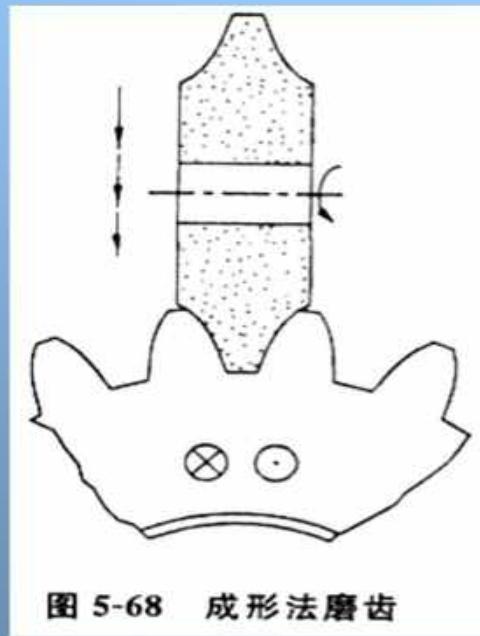
珩齿加工的原理和方法与剃齿相同。珩磨轮是用金刚砂或白刚玉磨料与环氧树脂等材料合成后浇铸而成的，可视为具有切削能力的“螺旋齿轮”。



5-4 齿形加工

3. 磨齿

磨齿是用砂轮在磨齿机上加工高精度齿形的加工方法。磨齿方法有成形法和展成法两种。



5-4 齿形加工

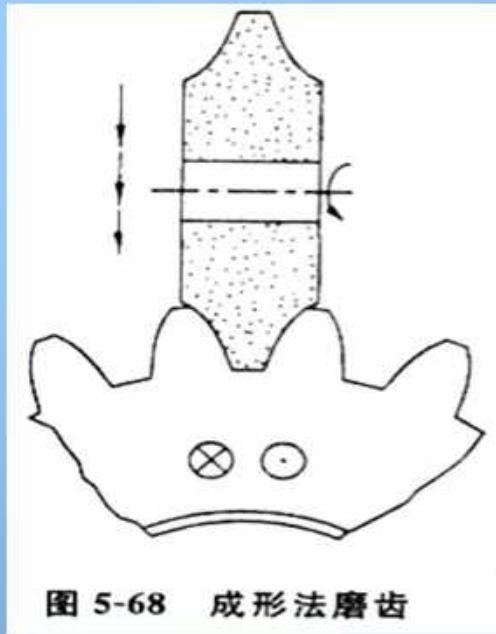


图 5-68 成形法磨齿

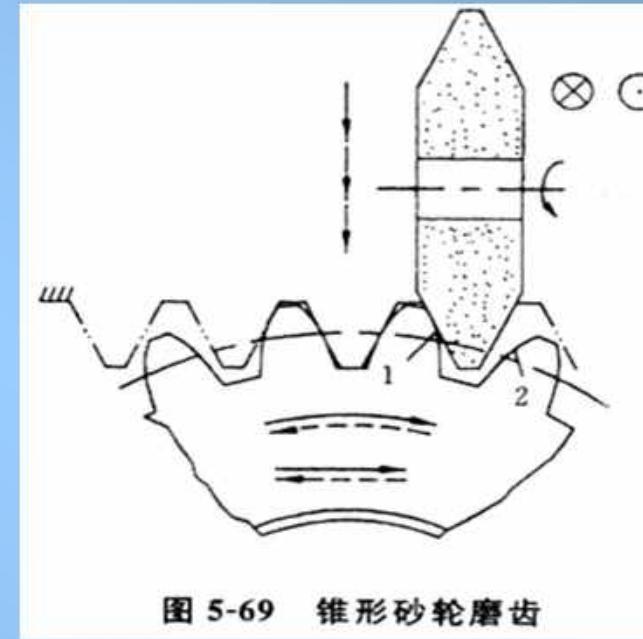


图 5-69 锥形砂轮磨齿

成形法磨齿加工精度一般为5-6级，展成法可达4-6级，表面粗糙度可达Ra0.2-0.4。展成法生产效率较低。成形法砂轮的修整较为复杂，因砂轮磨损不均，会产生一定的齿形误差。

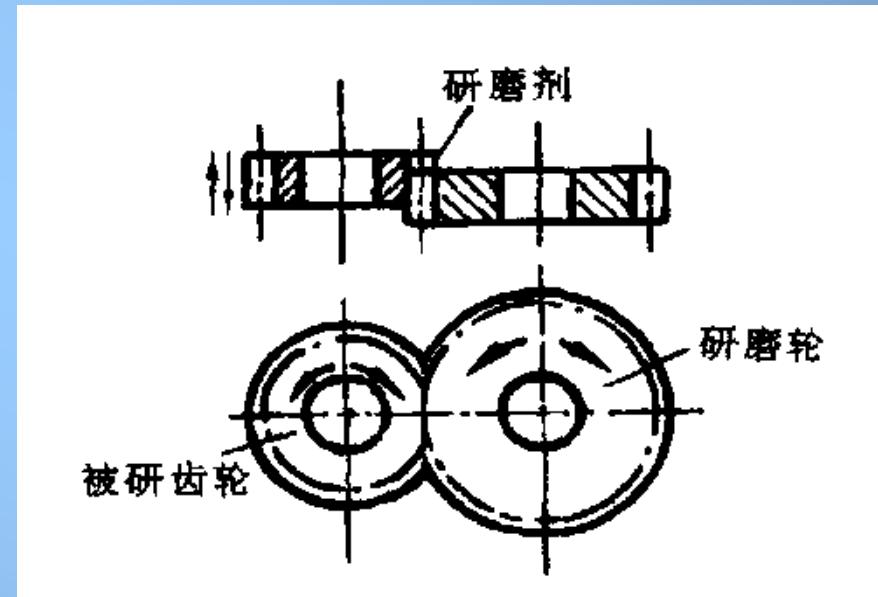
5-4 齿形加工

4 研齿

研齿一般在研齿机上进行。只能降低表面粗糙度，不能提高齿形精度。 Ra 可达 $1.6\sim0.2\mu\text{m}$ 。常使用精密的铸铁齿轮作研具。一般要加入研磨剂。

(1) 平行轴线研磨法

- ① 过程：研磨轮与被研齿轮的轴线平行。
- ② 特点：由于齿面的滑动速度不均匀，研磨量也不均匀，在齿顶及齿根部分的滑动速度大，研磨量也大。



5-4 齿形加工

(2) 交叉轴线研磨法

① 过程：研磨直齿轮时安装在三个研磨轮中。两个为斜齿轮，一个左旋，一个右旋；另一个研磨轮为直齿。

② 特点：大大提高了研齿的生产效率，研磨量也均匀。

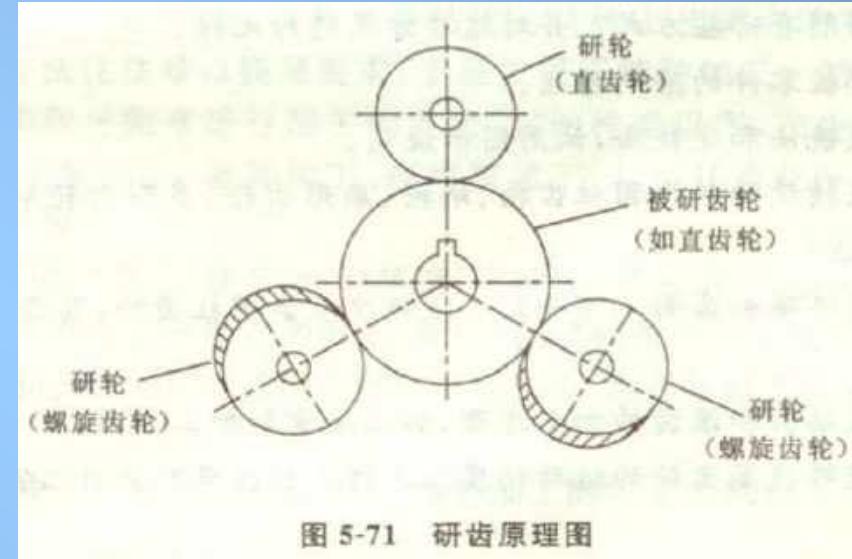


图 5-71 研齿原理图



5-4 齿形加工

各光整加工法的加工精度和粗糙度的比较

	加工精度	粗糙度Ra/ μm
剃齿	IT7~IT6	0.8~0.4
珩齿	IT7~IT6	0.2~0.4
磨齿	IT6~IT4	0.2~0.4
研齿	IT8~IT7	0.2~1.6



5-4 齿形加工

齿 形 常 用 的 加 工 方 法

加工方法	加工原理	加工质量		生产率	设备
		精度等级	齿面粗糙度		
铣齿	成形法	9	6.3~3.2	较插齿 滚齿低	普通铣床
拉齿	成形法	7	1.6~0.4	高	拉床
插齿	展成法	8~7	3.2~1.6	一般较滚齿低	插齿机
滚齿	展成法	8~7	3.2~1.6	较高	滚齿机
剃齿	展成法	7~6	0.8~0.4	高	剃齿机
珩齿	展成法	7~6	0.8~0.4	很高	珩齿机
磨齿	成或展	6~5	0.8~0.2	成形法高于 展成法	磨齿机



5-4 齿形加工

齿轮齿形加工方法的选择，主要取决于齿轮精度、齿面粗糙度的要求以及齿轮的结构、形状尺寸、材料和热处理状态等。下表所列出的4~9级精度圆柱齿轮常用的最终加工方法，可作为选择齿形加工方法的依据和参考。

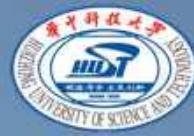
表 5-2 4~9 级精度圆柱齿轮的最终加工方法

精 度 等 级	齿面粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$	齿面最终加工方法
4(特别精密)	≤ 0.2	精密磨齿,对于大齿轮,精密滚齿后研齿或剃齿
5(高精密)	≤ 0.2	同上
6(高精密)	≤ 0.4	磨齿,精密剃齿,精密滚齿、插齿
7(精密)	$0.8 \sim 1.6$	滚、剃或插齿,对于淬硬齿面,磨齿、珩齿或研齿
8(中等精度)	$1.6 \sim 3.2$	滚齿、插齿
9(低精度)	$3.2 \sim 6.3$	铣齿、粗滚齿



第五章 典型表面的加工

- 概述
- 外圆表面的加工
- 孔加工
- 平面加工
- 齿形加工



第五章 典型表面的加工

- 概述
- 外圆表面的加工
- 孔加工
- 平面加工
- 齿形加工

5-2 孔的加工

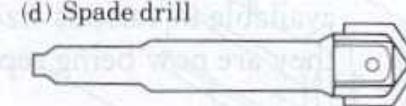
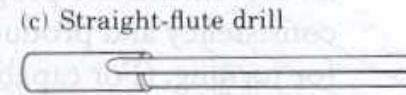
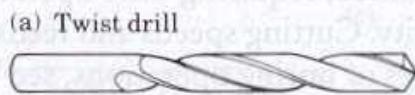
孔是轴类、盘套类和箱体类零件的主要表面（如轴承孔、定位孔等），也可能是这些零件的辅助表面（如油孔、紧固孔等）。孔加工的方法较多，常用的有钻、扩、铰、镗、拉、磨、珩磨等。

5.2.1. 钻孔

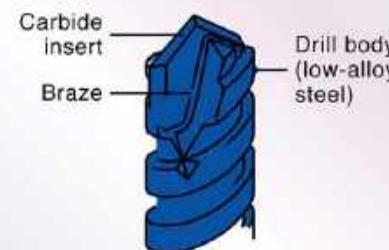
钻头作回转运动和轴向进给运动，从工件实体上切去切屑，加工出孔的工序称为钻孔。钻孔经常在钻床和车床上进行，也可以在镗床或铣床上进行。常用的钻床有台式钻床、立式钻床和摇臂钻床。



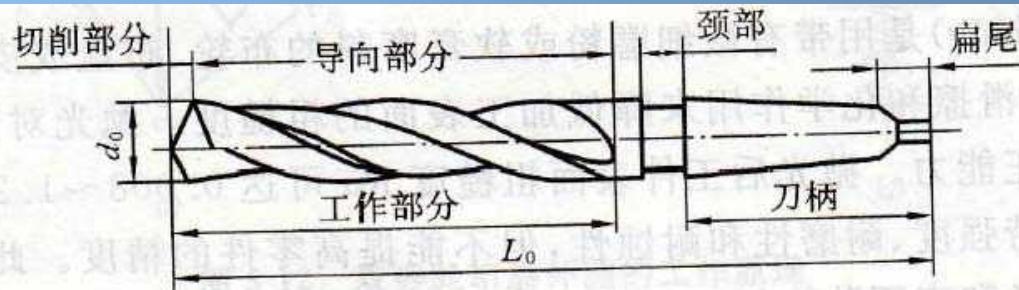
5-2 孔的加工



Drill with indexable carbide inserts



Drill with brazed carbide tip



a)



b)

图 5-15 麻花钻

a) 圆柱锥柄 b) 圆柱直柄

➤ 麻花钻

钻孔常用的刀具是麻花钻。

5-2 孔的加工

两条副切削刃，在钻头的顶部，两主后面的交线形成横刃，横刃的前角为负角，因此在钻削时，横刃在挤压、刮削工件，切削条件很差。刚度较差，如果顶角刃磨不对称，形成的径向力易使钻头引偏，造成孔的位置误差，因此麻花钻钻孔的精度较差，表面质量较低。

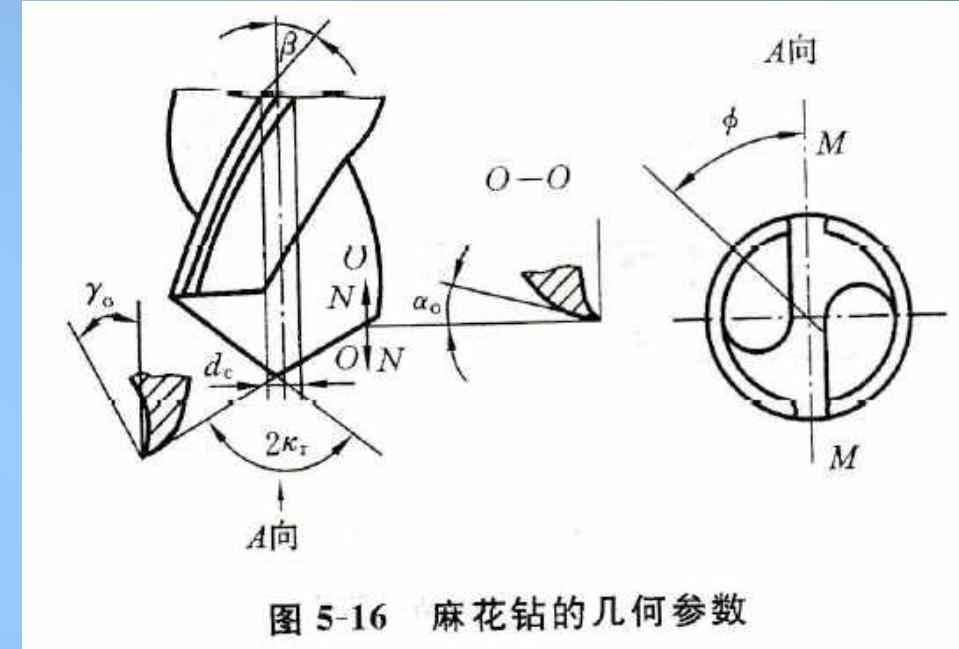


图 5-16 麻花钻的几何参数

5-2 孔的加工

顶角 $2K_r$: 两主刀刃之间的夹角。加工不同的材料，其顶角应取不同的数值。常用的加工一般钢和铸铁的钻头，通常取 $2K_r = 118^\circ$ 。

前角 r_0 : 在垂直于主刀刃的平面内测量，是前面的切线与垂直切削平面的垂线所夹的角度。主刀刃上各点前角不一样。 $30^\circ - 30^\circ$ 。

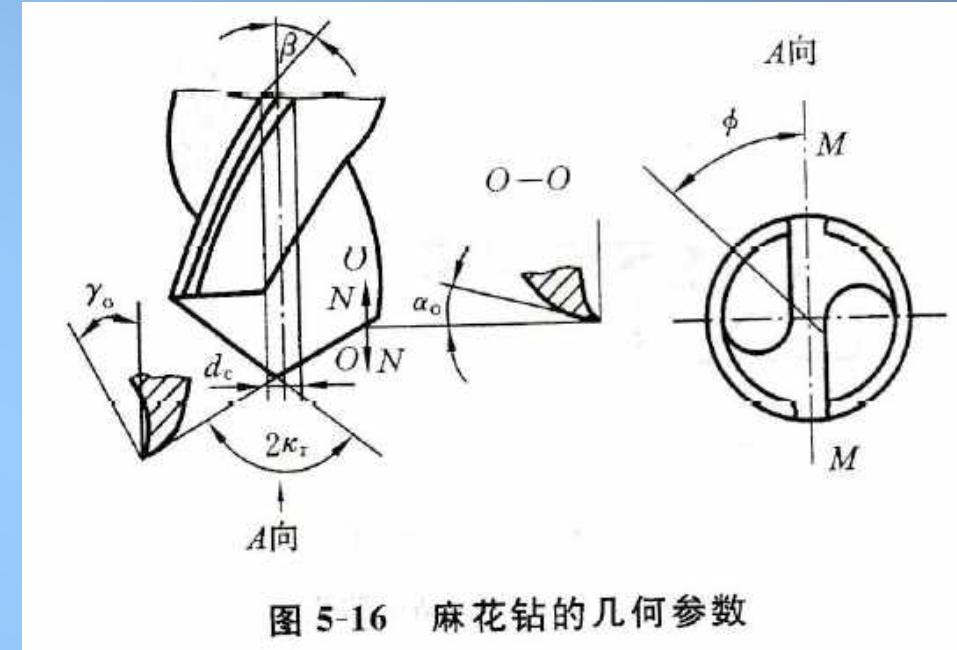


图 5-16 麻花钻的几何参数

5-2 孔的加工

后角 a_0 : 在平行于钻头轴线的平面内测量, 是后面切线与切削平面所夹的角度。

横刃斜角: 是横刃和主刀刃在垂直于钻头轴线的平面内所夹的角度。 $=50^{\circ}\sim 55^{\circ}$ 。

螺旋角 w : 是刃带的切线与钻头中心线的夹角。

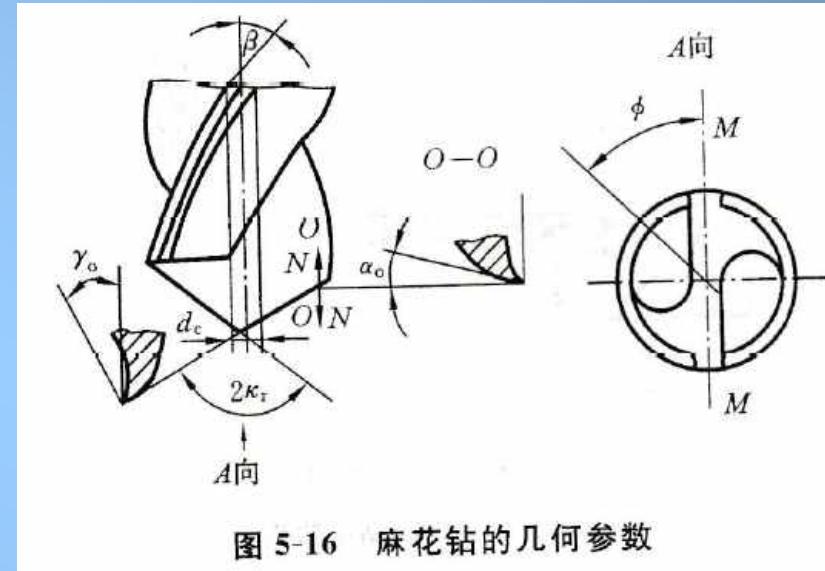
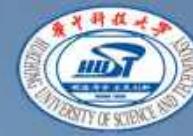


图 5-16 麻花钻的几何参数

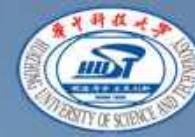


5-2 孔的加工

➤ 钻削的工艺特点

1. 容易产生“引偏”。

所谓“引偏”，是指加工时由于钻头弯曲而引起的孔径扩大、孔不圆或孔的轴线歪斜等。麻花钻一般呈细长状，刚性较差。必须制出两条较深的螺旋槽，使钻心变细，进一步削弱了钻头的刚性。钻头仅有两条很窄的棱边与孔壁接触，接触刚度和导向作用也很差。



5-2 孔的加工

钻头横刃处的前角，具有很大的负值，切削条件极差，实际上不是在切削，而是**挤刮金属**。横刃受力大，稍有偏斜，将产生较大的**附加力矩**，使钻头弯曲。此外，钻头的两个主切削刃，也很难磨得完全对称，加上工件材料的不均匀性，钻孔时的径向力不可能完全抵消。

5-2 孔的加工

减少**引偏**的工艺措施：

★预钻锥形定心坑

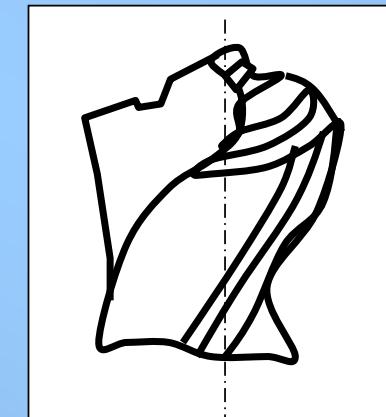
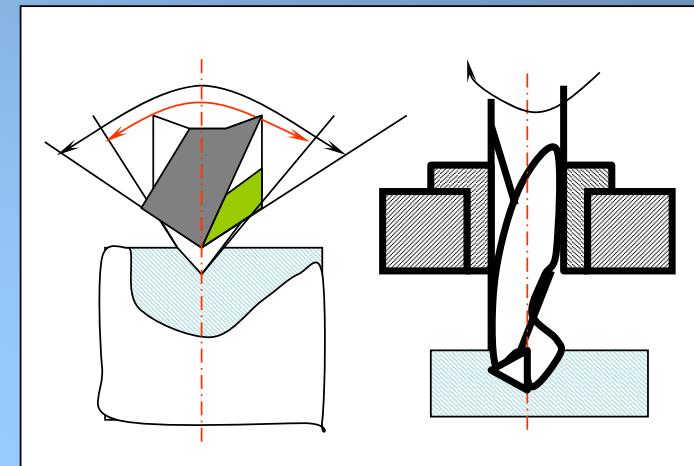
★用钻套为钻头导向

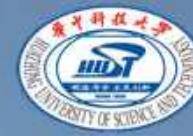
★刃磨时, 两刃对称., 径向力为零.

2. **排屑难**: 切屑宽, 容屑槽尺寸受限. 孔壁与屑摩擦, 挤压, 和刮伤已加工表面. $Ra \uparrow$. 卡死钻头(扭断). 反复多次退出, 修磨分屑槽.

3. **切削热不易传散**: 半封闭式, 工件吸热52. 5%.

钻头14. 5%. 屑29%. 介质5%. 钻削用量和生产率低.





5-2 孔的加工

➤ 钻削的加工精度和粗糙度

钻孔的直径一般不大于80mm，

钻削的尺寸公差等级为IT11~IT13，

表面粗糙度值Ra 为12.5~25 微米。

生产效率也比较低。

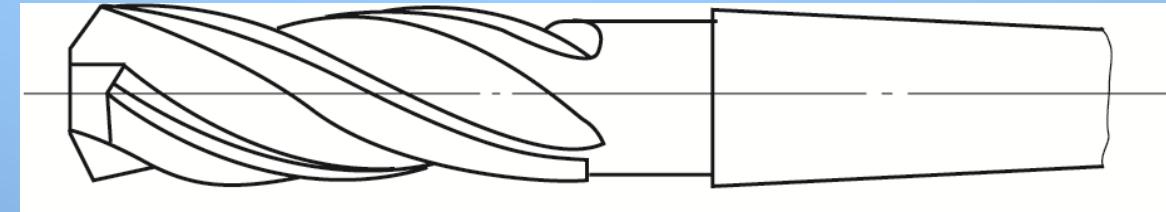
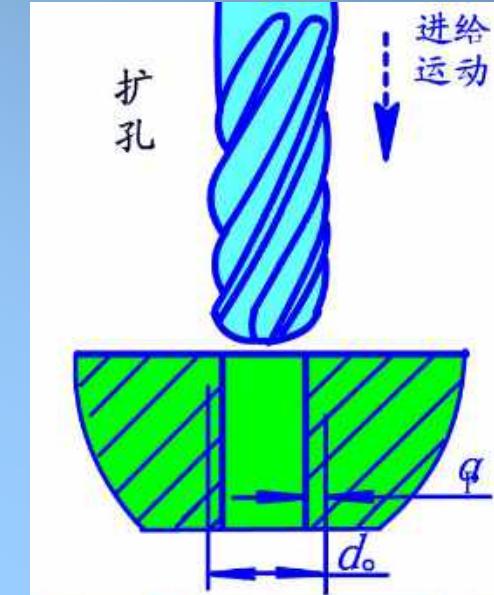
钻削主要用于粗加工，例如螺钉孔、油孔等；一些内螺纹，在攻丝之前，需要先进行钻孔；精度和粗糙度要求较高的孔，也要以钻孔作为预加工工序。

5-2 孔的加工 (second)

5.2.2 扩孔

扩孔是利用扩孔钻对已有的孔进行加工以扩大孔径，并提高孔的精度和降低表面粗糙度。扩孔时的加工条件比钻孔时要好很多，因而刀具的结构和切削条件比钻孔时好很多。与钻削相比，扩孔主要有以下特点：

- (1) 切削刃不必自外圆延续到中心，这样就避免了横刃和由横刃引起的一些不良影响。





5-2 孔的加工

- (2) 由于小，切屑窄，易排出，不易擦伤已加工表面。扩孔钻的刚度较高，有利于加大切削用量和改善加工质量。
- (3) 由于容屑糟较窄，可在刀体上作出较多的刀齿，可提高生产率。同时也加多了刀具的棱带，增加了扩孔时的导向作用，切削比较平稳。
- (4) 扩孔的加工质量比钻孔高，一般精度可达IT9～IT10，表面粗糙度为Ra3.2～6.3μm；

扩孔常作为孔的半精加工，当孔的精度和表面粗糙度要求再高时，则要采用铰孔。

5-2 孔的加工

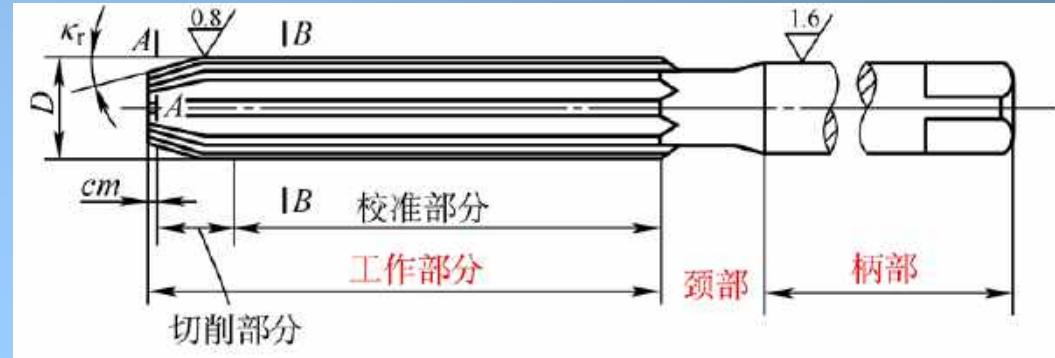
5.2.3 铰孔

用铰刀对孔进行精加工的方法

(1) 铰刀的修光部分具有校准孔径、修光孔壁作用，可进一步提高了孔的加工质量

(2) 铰孔的余量小, 切削力较小; 切削速度较低, 切削热较少 → 工件受力变形和受热变形较小, 积屑瘤的不利影响较小, 铰孔质量比较高。

(3) 加工精度达IT7~IT9, 表面粗糙度为Ra0.4~0.6。





5-2 孔的加工

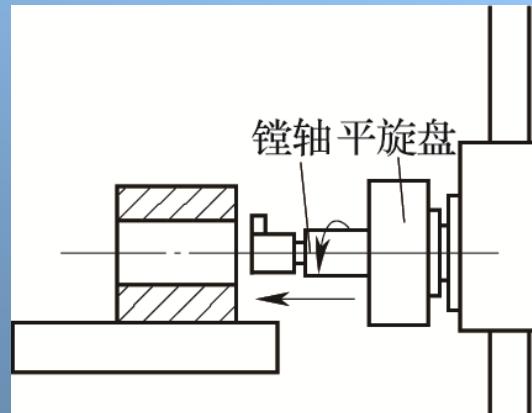
麻花钻、扩孔钻和铰刀都是标准刀具,易于购买。对于中等尺寸以下较精密的孔,在单件小批乃至大批大量生产中,钻—扩—铰都是常用的典型工艺。

钻、扩、铰只能保证孔本身的精度,而不易保证孔与孔之间的尺寸精度及位置精度。为解决此问题,可利用夹具(如钻模)进行加工,或采用镗孔。

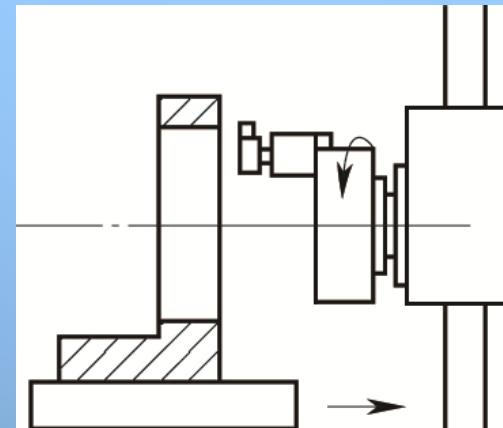
5-2 孔的加工

5.2.4 镗孔 (镗孔)

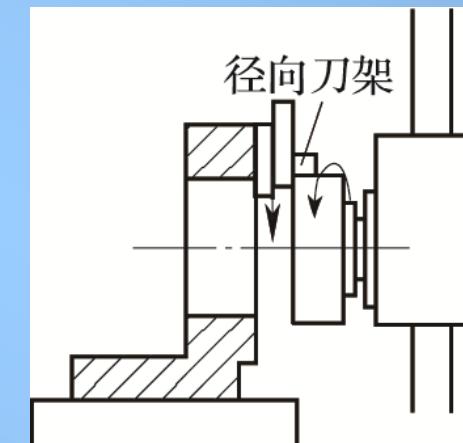
用镗刀对已有的孔进行再加工称镗孔。对于直径较大的孔(一般 $D>80\text{mm}$)、内成形面或孔内环槽等，镗削是唯一合适的加工方法。一般镗孔精度达IT7~IT8，表面粗糙度值为 $\text{Ra}0.8\sim1.6\mu\text{m}$ ；精细镗时，精度可达IT6~IT7，表面粗糙度值为 $\text{Ra}0.2\sim0.8\mu\text{m}$ 。



(1) 用主轴装夹镗杆镗小直径孔



(2) 用平旋盘上的镗刀镗大直径孔



(3) 用平旋盘上的径向刀架加工平面

5-2 孔的加工

➤ 镗削的工艺特点

- (1) **镗削的适应性广**。镗削在孔基础上进行除直径很小且较深的孔以外，各种直径及各种结构类型的孔均可镗削。
- (2) **镗削可有效地修正前工序所造成的孔轴线的弯曲、偏斜等形状误差和位置误差**。但由于镗刀杆直径受孔径的限制，一般刚性较差，易弯曲变形和振动，故镗削质量的控制(特别是细长孔)不如铰削方便。





5-2 孔的加工

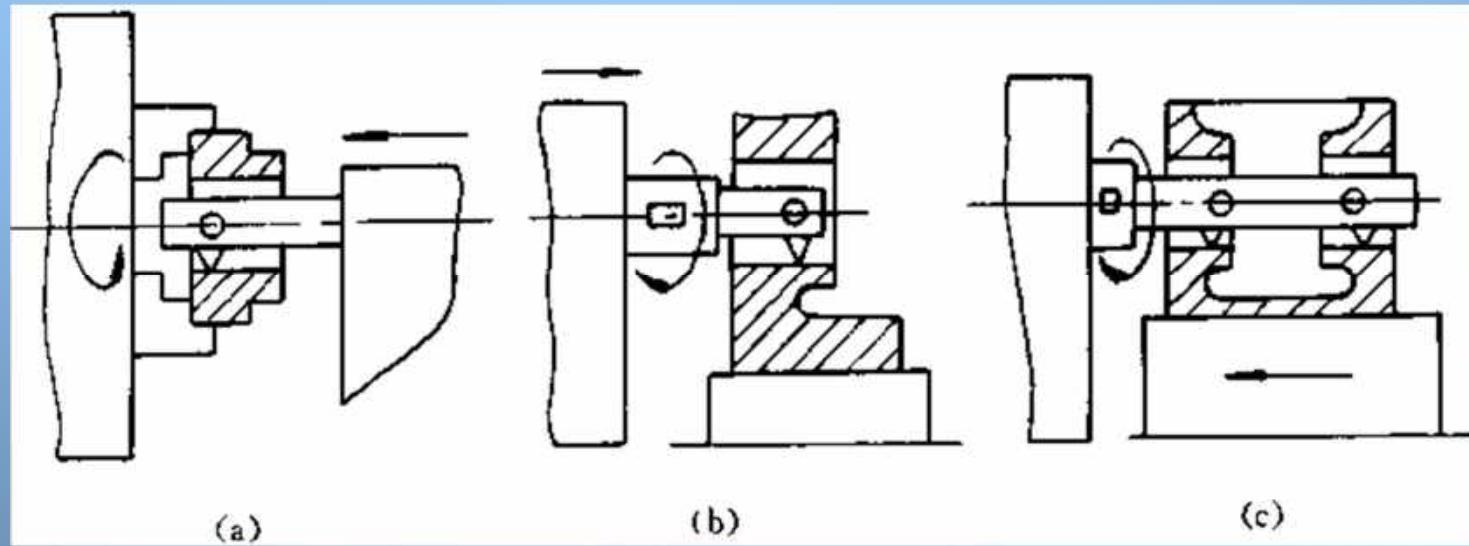
➤ 镗削的工艺特点

- (3) 镗刀杆的长径比大, 悬伸距离长, 切削稳定性差, 易产生振动, 故切削用量很小, 故生产率低。
- (4) 镗刀在内孔里面工作, 难于观察, 只能凭切屑的颜色、出现的振动等情况来判断切削过程是否正常。

5-2 孔的加工

➤ 镗孔的方式及应用

- 1) 工件旋转刀具作进给运动：如在车床上镗孔（图a）。
- 2) 工件不动而刀具作旋转和进给运动：在镗床床上的镗孔（图b）。
- 3) 刀具旋转，工件作进给运动：如镗削箱体两壁相距较远的同轴孔系，可保证孔与孔、孔与平面间的位置精度（图c）。

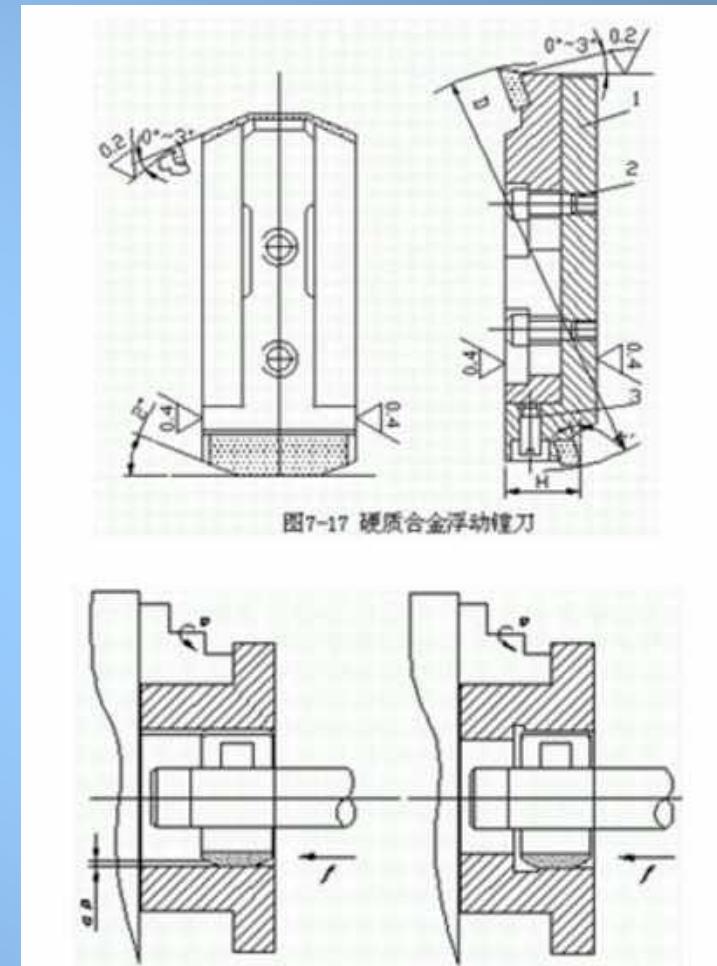


5-2 孔的加工

➤ 浮动镗孔的特点及应用

可调浮动镗刀片：

镗孔时，镗刀片不是固定在镗杆上，而是插在镗杆的长方孔中，并能在垂直于镗杆轴线的方向上自由滑动，由两个对称的切削刃产生的切削力，自动平衡其位置。





5-2 孔的加工

➤ 浮动镗孔的特点及应用

- 1) 加工质量较高： 加工时镗刀片的浮动，提高了孔的加工精度。较宽的修光刃，可减小表面粗糙度，但不能校正原有孔的轴线歪斜或位置偏差；
- 2) 生产率较高： 浮动镗刀片有两个主切削刃同时切削，并且操作简便，可提高生产率；
- 3) 浮动镗刀片比单刃镗刀复杂，且刃磨要求高，故成本较高；
- 4) 浮动镗刀片镗孔主要用于批量生产、精加工箱体类零件上直径较大的孔。

5-2 孔的加工

5.2.5 磨孔

磨孔是孔精加工的方法之一，精度可达IT7，表面粗糙度Ra值为 $1.6\sim0.4\mu\text{m}$ 。

与外圆磨削类似，可以采用纵磨法和横磨法，由于砂轮轴刚性较差，一般采用纵磨法（矛盾大决战终结版及第四次）。

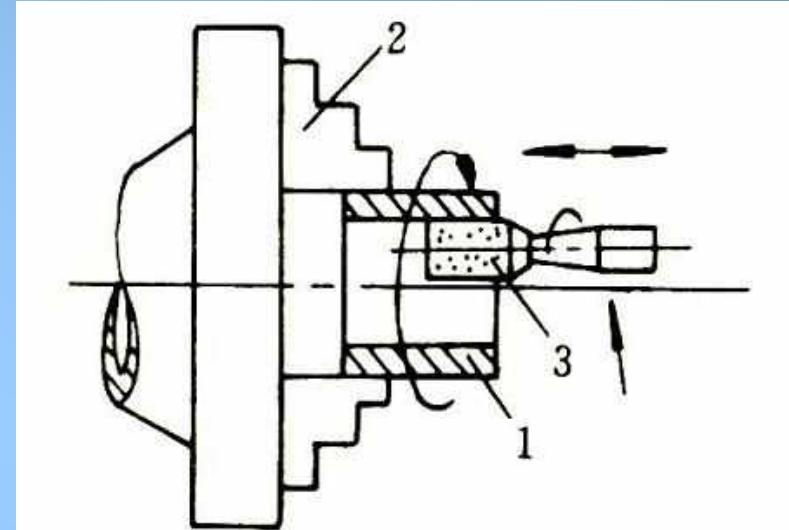
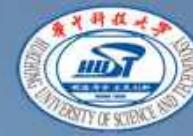


图 6-33 内圆磨削示意图
1—工件；2—卡盘；3—砂轮



5-2 孔的加工

➤ 磨孔与铰孔或拉孔比较，有如下特点：

- (1) 可以加工淬硬的工件孔；
- (2) 不仅能保证孔本身的尺寸精度和表面质量，还可以提高孔的位置精度和轴线的直线度；
- (3) 用同一个砂轮，可以磨削不同直径的孔，灵活性较大；
- (4) 生产率比较低，比拉孔更低。



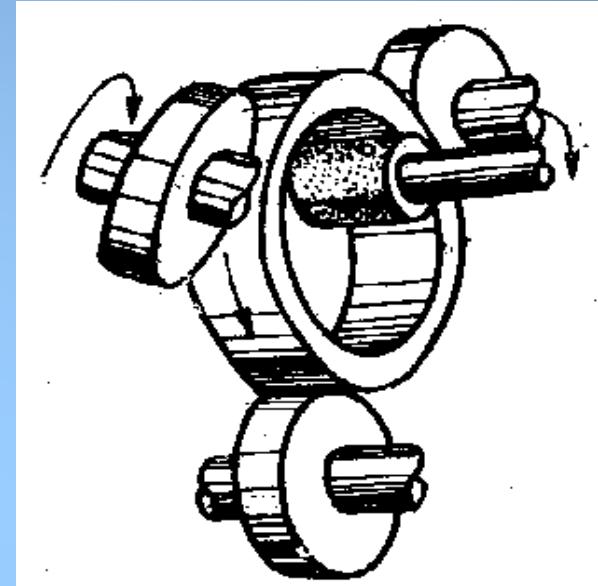
5-2 孔的加工

- 磨孔与磨外圆比较，存在如下主要问题：
 - (1) **表面粗糙度较大** 磨削速度较磨外圆时低。加上砂轮与工件接触面积大，切削液不易进入磨削区，所以磨孔的表面粗糙度较磨外圆时大。
 - (2) **生产率较低** 磨孔时，砂轮轴细、悬伸长，刚性很差，不宜采用较大的磨削深度和进给量，故生产率较低。由于砂轮直径小，为维持一定的磨削速度，转速要高，增加了单位时间内磨粒的切削次数，磨损快；磨削力小，降低了砂轮的自锐性，且易堵塞。因此，需要经常修整砂轮和更换砂轮，增加了辅助时间，使磨孔的生产效率进一步降低。

5-2 孔的加工

由于以上的原因，磨孔一般仅适用于淬硬工件孔的精加工，如滑移齿轮、轴承环以及刀具上的孔等。但是，磨孔的适应性较好，不仅可以磨通孔，还可以磨削阶梯孔和盲孔等，因而在单件小批生产中应用较多，特别是对于非标准尺寸的孔，其精加工用磨削更为合适。

大批大量生产中，精加工短工件上要求与外圆面同轴的孔时，也可以采用无心磨法（如图5-30）。



无心磨轴承环内孔

5-2 孔的加工

5.2.6 拉孔

拉削是刨削的一种变形方式, 刀具为多齿拉刀. 每一齿在切削中切下一很薄的金属层. ([拉孔](#))

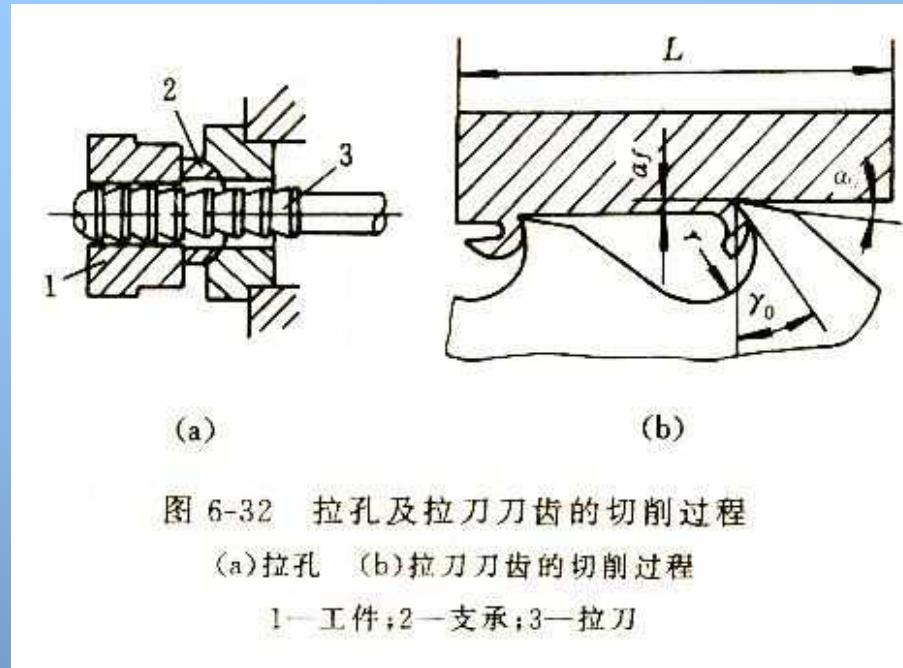
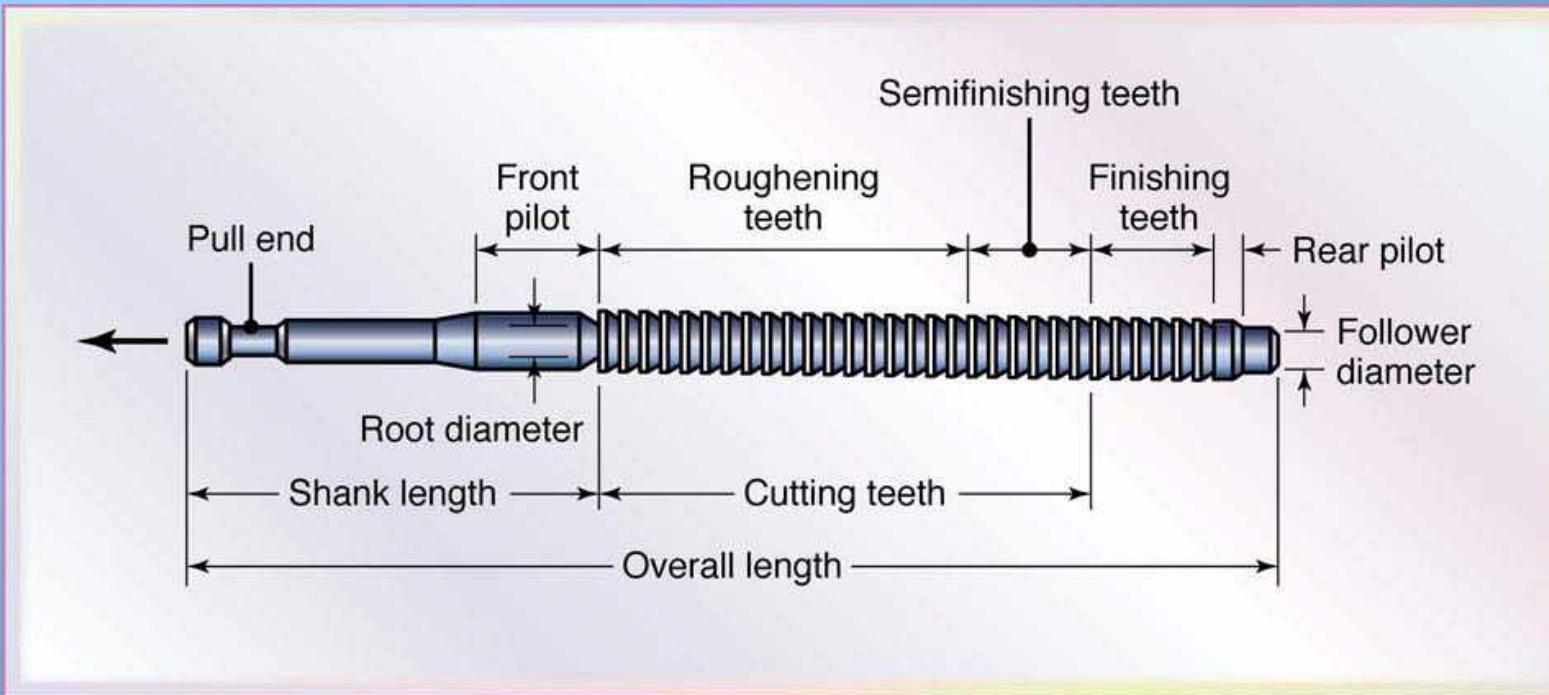


图 6-32 拉孔及拉刀刀齿的切削过程

(a) 拉孔 (b) 拉刀刀齿的切削过程

1—工件; 2—支承; 3—拉刀

5-2 孔的加工



Terminology for a pull-type internal broach used for enlarging long holes.

5-2 孔的加工

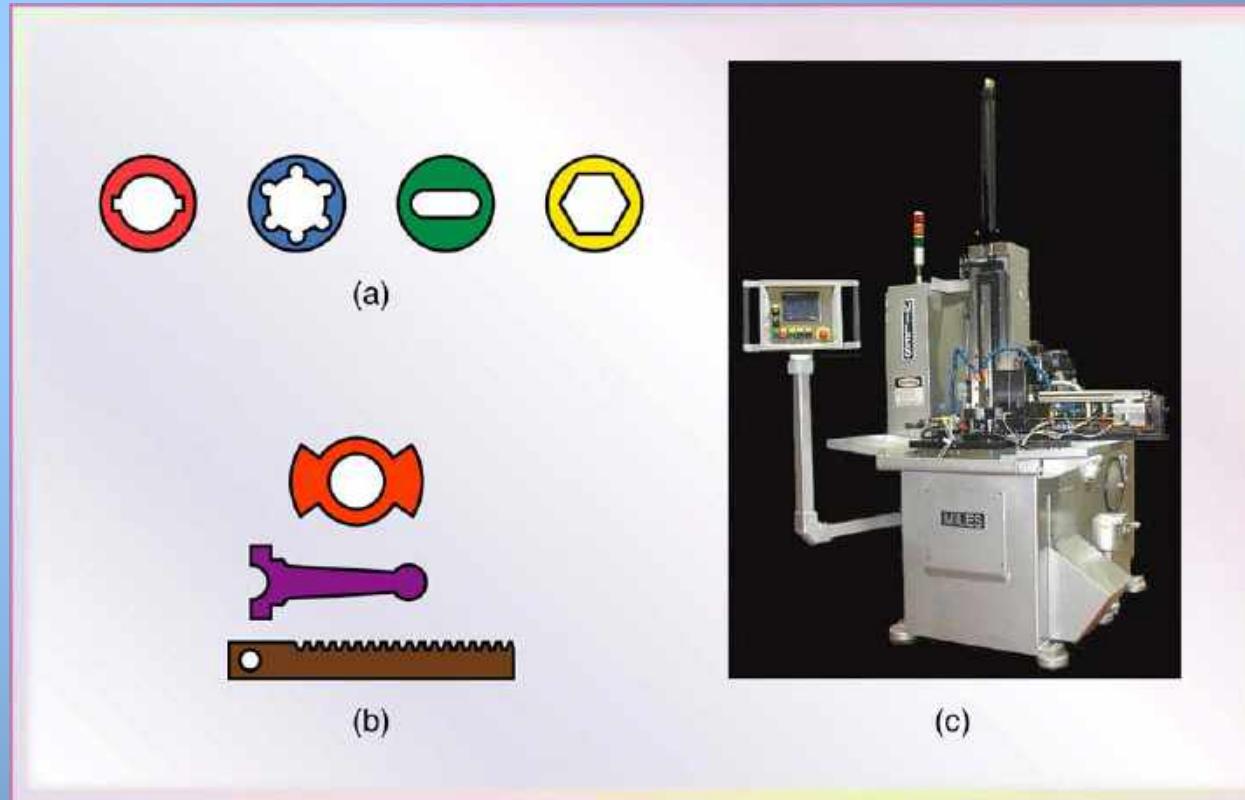


Figure 24.20 (a) Typical parts made by internal broaching. (b) Parts made by surface broaching. Heavy lines indicate broached surfaces. (c) Vertical broaching machine. *Source:* (a) and (b) Courtesy of General Broach and Engineering Company. (c) Courtesy of Ty Miles, Inc.

5-2 孔的加工

拉削时，拉刀与夹头是浮动连接，拉刀以工件的预加工孔引导，自动定心。因此不能纠正原孔的位置误差。

拉削只有一个主运动，即拉刀的直线运动。进给运动是靠拉刀的后一个刀齿高出前一个刀齿来实现的。

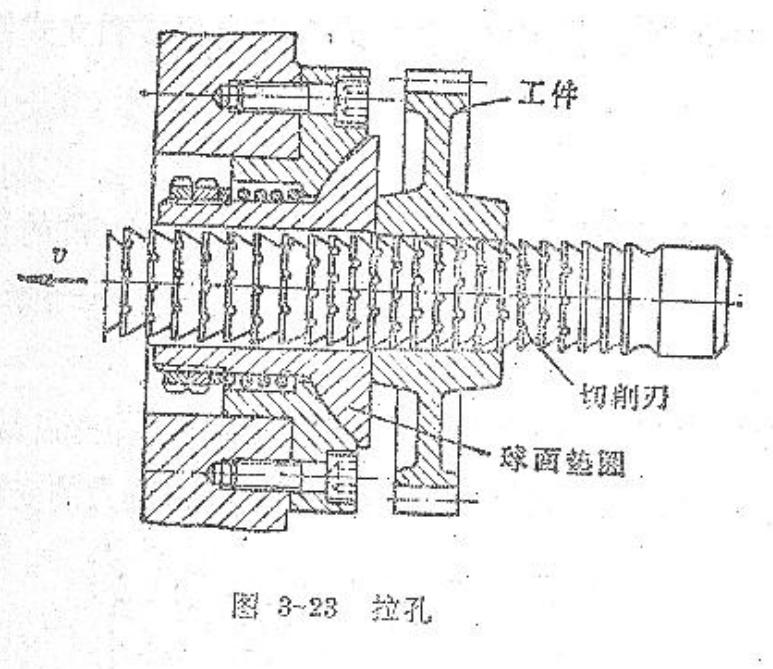


图 3-23 拉孔



5-2 孔的加工

拉削的工艺特点

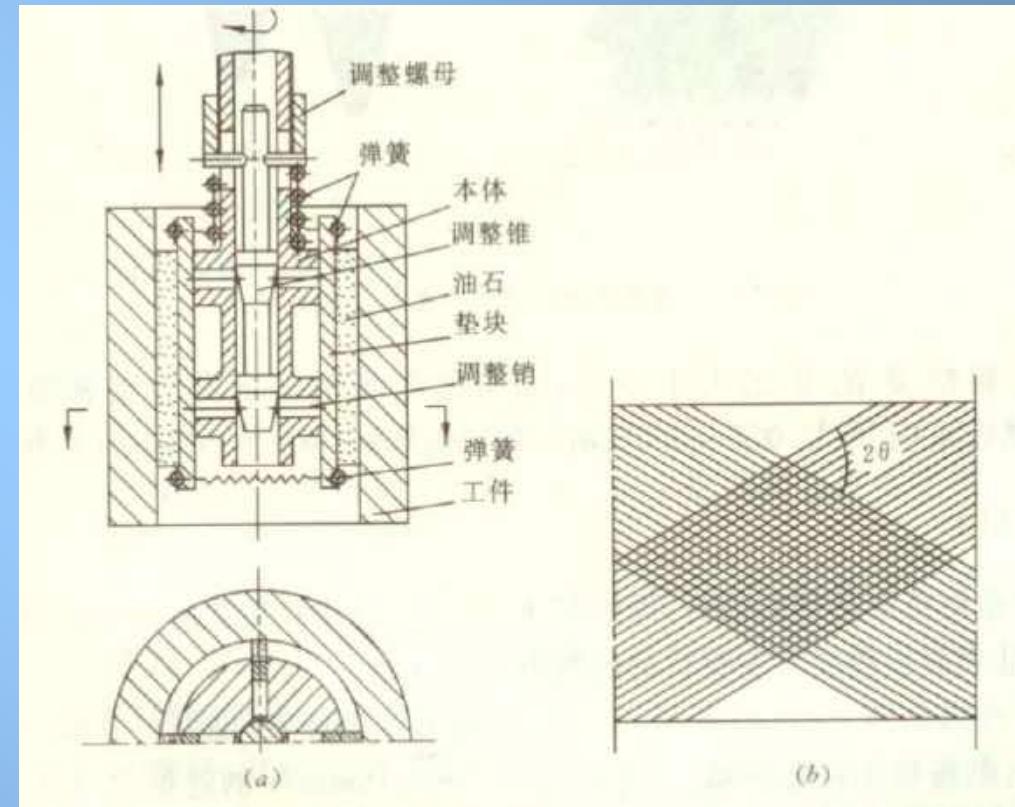
- (1) **生产率较高**. 多齿. 宽. 一次行程完成粗-精加工.
- (2) **加工范围较广**. 平面, 通孔。
- (3) **加工精度较高**. Ra 小。校准, 修光, 精切齿 a_p 小, f 小. $v<18m/min$. 平稳, 无积屑瘤产生, 孔IT8--IT7. $Ra0.4-0.8$.
- (4) **拉床简单**. 一个主运动, 直线运动, 进给靠后一刀齿来实现的 a_f 齿升量.
- (5) **拉刀寿命长**. vf 低, 磨损慢, 重磨次数多, 磨一次使用时间长.

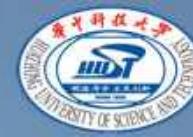
拉刀结构复杂, 制造困难, 成本高—批量大的生产。对盲孔、深孔、阶梯孔, 有障碍的外表面不能用拉削加工.

5-2 孔的加工

5.2.7 孔的珩磨

珩磨是利用安装于珩磨头圆周的油石, 采用特定结构推出油石作径向扩张, 直至与工件孔壁接触。在加工过程中, 油石不断作径向进给运动, 珩磨头作旋转运动及直线往复运动, 从而实现对孔的低速磨削。

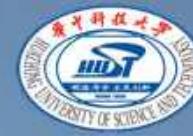




5-2 孔的加工

珩磨特点和应用

- (1) **加工精度高** 圆度: 小孔可达 $0.5\mu\text{m}$, 圆柱度可达 $1\mu\text{m}$; 加工中等孔, $3\mu\text{m}$ 以下, 孔长300-400时, $5\mu\text{m}$ 以下。
尺寸精度: 小孔为 $1\sim 2\mu\text{m}$; 中等孔达 $10\mu\text{m}$ 以下。
- (2) **表面质量好** 表面粗糙度为 $\text{Ra}0.04\sim 0.4\mu\text{m}$;
- (3) **加工表面使用寿命高** 交叉网纹有利于油膜的形成和保持, 特别适用于相对运动精度高的精密偶件;
- (4) **切削效率高** 因为珩磨是面接触加工, 同时参加切削的磨粒多, 故切削效率高。加工中等孔的材料切除率可达 $80\sim 90\text{mm}^3/\text{s}$ 。
- (5) **加工范围广** 加工孔径范围为 $1\sim 2000\text{mm}$ 或更大, 长径比 $L/D\geq 46$; 几乎对所有金属材料均能加工。



5-2 孔的加工

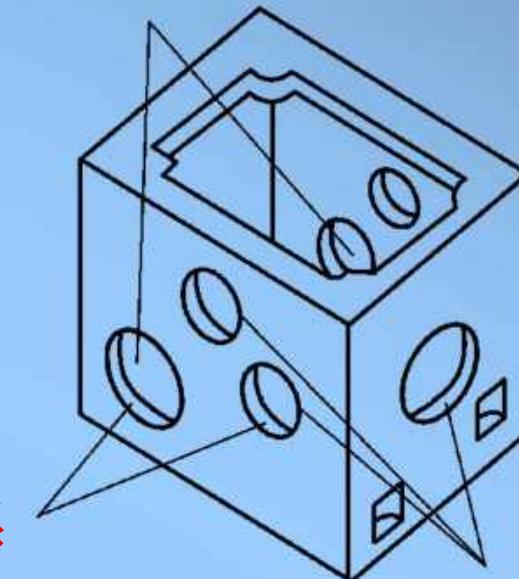
珩磨不仅在大批大量生产中应用极为普遍，而且在单件小批生产中应用也较广泛。对于某些零件的孔，珩磨已成为典型的光整加工方法，例如飞机、汽车、拖拉机发动机的[汽缸](#)、缸套、连杆以及液压油缸、炮筒等等。

5-2 孔的加工

5.2.8 孔的分类及加工方法的选择

► 孔的分类

- (1) 紧固孔(如螺钉孔等)和其他非配合的油孔等。
- (2) 回转体零件上的孔,如套筒、法兰盘及齿轮上的孔等。
- (3) 箱体类零件上的孔,常构成“孔系”。
- (4) 深孔,即 $L/D > 5 \sim 10$ 的孔,如车床主轴上的轴向通孔等。
- (5) 圆锥孔,如车床主轴前端的锥孔以及装配用的定位销孔等。



平行孔系

垂直孔系



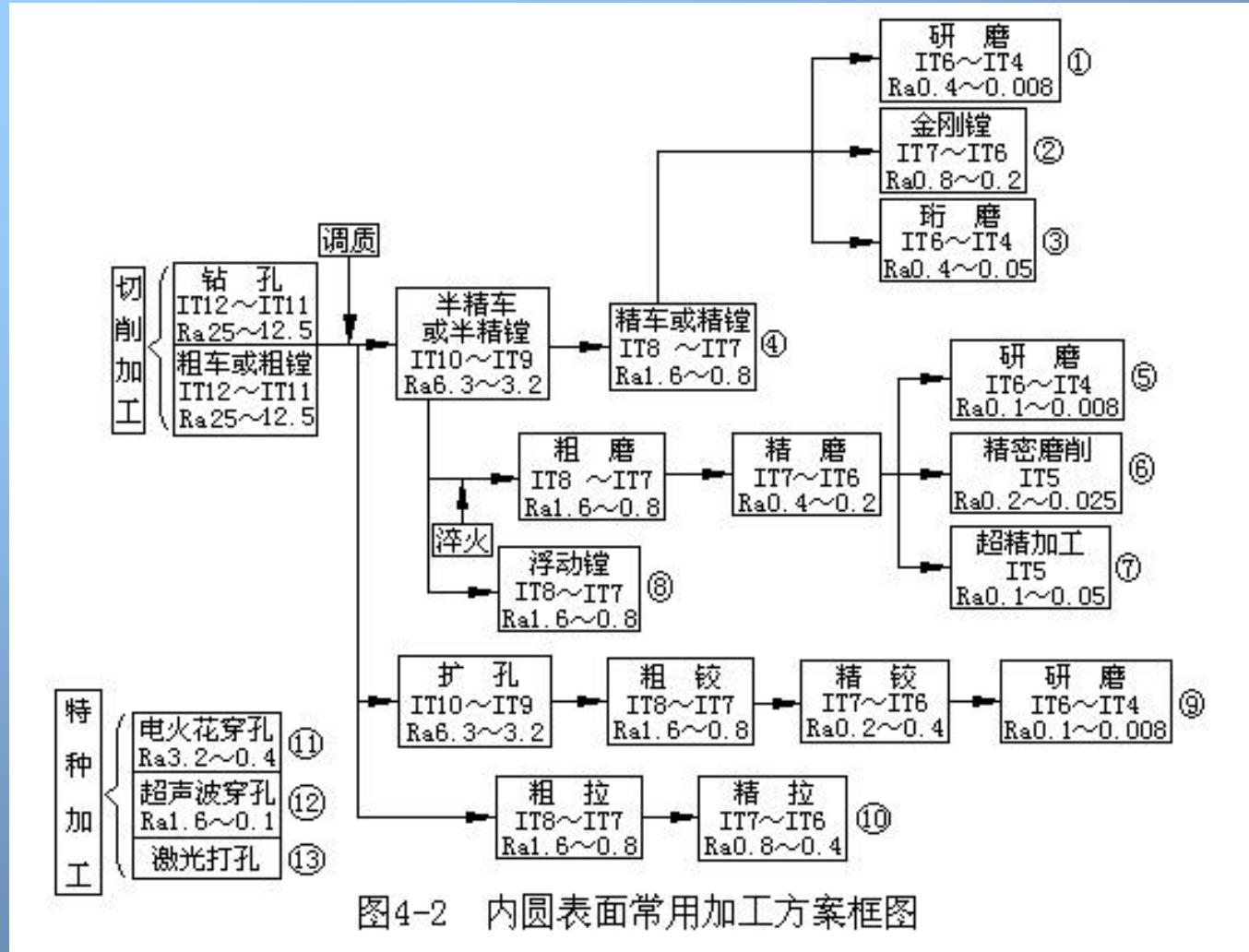
5-2 孔的加工

► 孔加工方法选择

孔加工可以在车床、钻床、镗床、拉床或磨床上进行，大孔和孔系则常在镗床上加工。

- (1) 若在实体材料上加工孔(多属中、小尺寸的孔)，必须先采用钻孔。若是对已经铸出或锻出的孔(多为中、大型孔)进行加工，则可直接采用扩孔或镗孔。
- (2) 至于孔的精加工，铰孔和拉孔适于加工未淬硬的中、小直径的孔；中等直径以上的孔，可以采用精镗或精磨；淬硬的孔只能采用磨削。

5-2 孔的加工





第五章 典型表面的加工

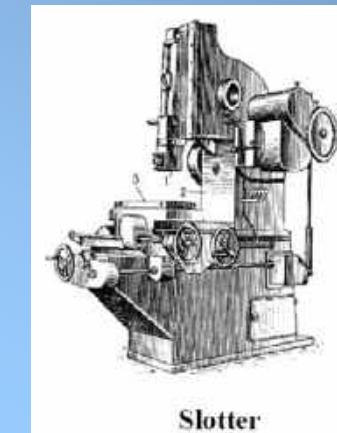
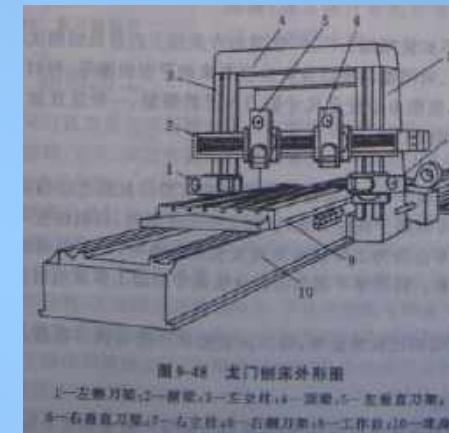
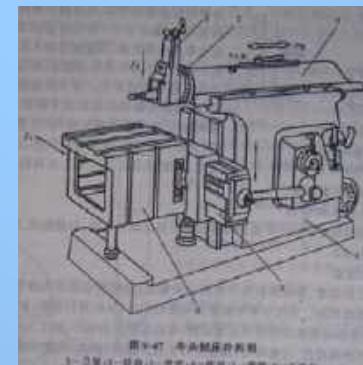
- 概述
- 外圆表面的加工
- 孔加工
- 平面加工
- 齿形加工

5-3 平面加工

可以采用刨削、铣削、磨削、车削、拉削等方法实现平面的加工。

5.3.1 刨平面 (Shaping) 加工

刨削是以刨刀相对工件的往复直线运动与工作台(或刀架)的间歇进给运动实现切削加工的, 它是平面加工的主要方法之一。常见的刨床类机床有牛头刨床、龙门刨床和插床等。



Slotted

5-3 平面加工

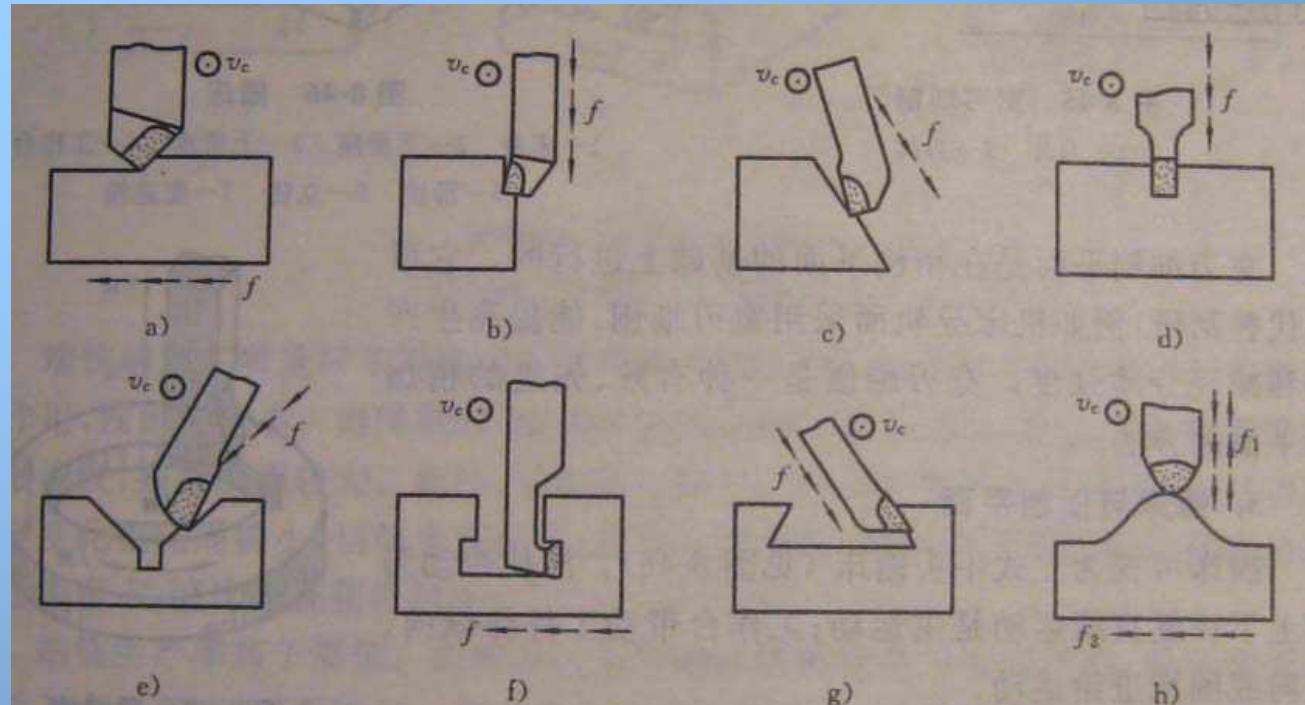
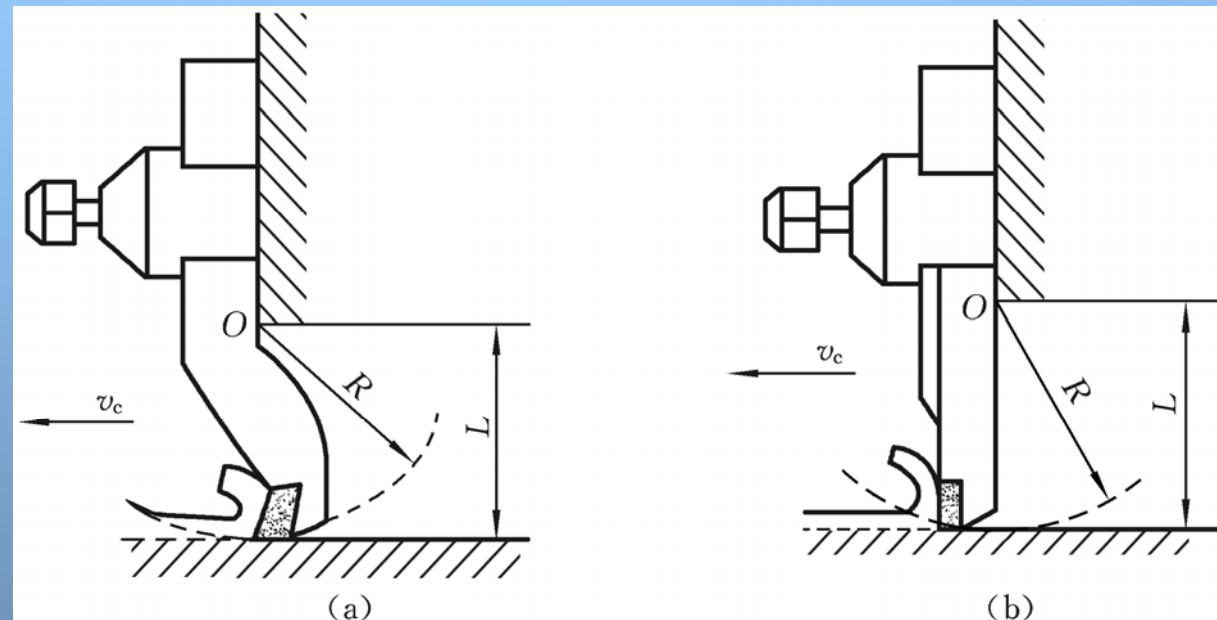


图 8-44 典型刨削加工形式

- a) 刨水平面
- b) 刨直槽
- c) 刨斜面
- d) 刨竖直面
- e) 刨 V 形槽
- f) 刨 T 形槽
- g) 刨燕尾槽
- h) 刨成形面

5-3 平面加工

刨刀往往做成弯头，这样在受到较大的切削力时，刀杆产生的弯曲变形是围绕点O向后方弹起的，因此刀尖不会啃入工件，而直头刨刀受力变形将会啃入工件，损坏刀刃及加工表面。





5-3 平面加工

➤ 刨削的工艺特点

- (1) 通用性好：刨床结构简单，成本低，调整和操作也较简便；单刃刨刀形状简单，制造、刃磨和安装皆较方便。
- (2) 生产率一般较低，但加工狭长表面的生产率较高；
- (3) 可达一定的加工精度：

一般刨削 精度IT7~IT8，粗糙度Ra1.6~6.3μm；

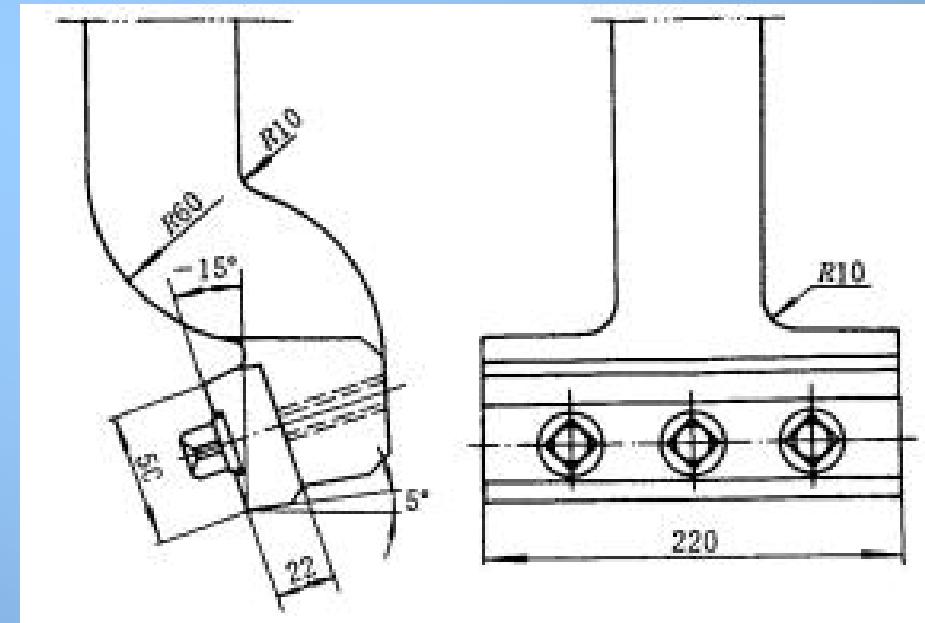
宽刀精刨 平面度<0.02mm/m²，粗糙度Ra0.4~0.8μm。

5-3 平面加工

➤ 强力刨削、精刨

为提高刨平面的生产率，在龙门刨床上可采用多刀刨削和多件加工的方法。或通过改进刀具的结构和几何角度，增加背吃刀量和进给量，进行“强力刨削”，都可以取得较好的效果。

用精细刨平面来代替刮削能有效地提高生产率，对于定位表面与支承表面接触面积较大的导轨、机架、壳体，常采用宽刃精细刨刀，可以提高平面的精度和减小表面粗糙度。

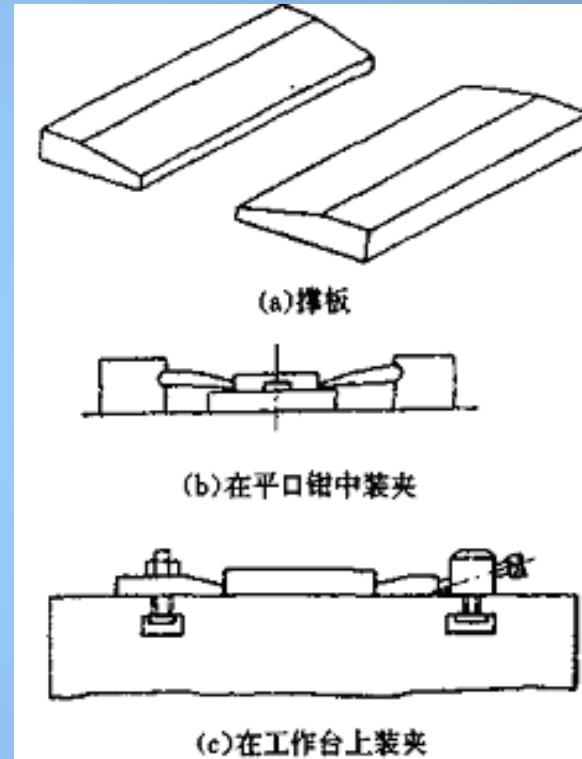


5-3 平面加工

➤ 薄板件刨削的特点

薄板零件的刚性差，散热困难，加工时很容易翘曲变形，刨削这类薄板零件有以下特点：

- 1) 装夹应稳定可靠
- 2) 一般选用高速钢刀具
- 3) 刨削用量不宜过高
- 4) 一般应先刨好四周，再刨削顶面

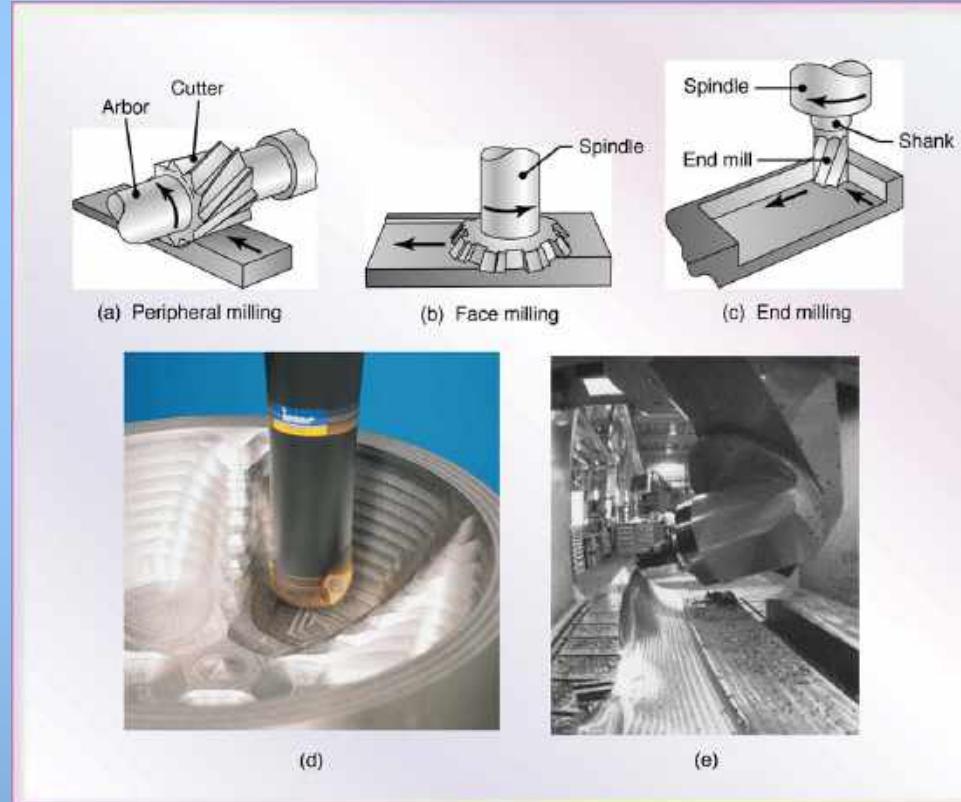


支撑板装夹薄板零件

5-3 平面加工

5.3.2 铣平面

铣削也是平面的主要加工方法之一。铣床的种类很多，常用的是升降台卧式和立式铣床。



Some basic types of milling cutters and milling operations. (a) Peripheral milling. (b) Face milling. (c) End milling. (d) Ball-end mill with indexable coated-carbide inserts machining a cavity in a die block. (e) Milling a sculptured surface with an end mill, using a five-axis numerical control machine. Source: (d) Courtesy of Iscar. (e) Courtesy of The Ingersoll Milling Machine Co.

5-3 平面加工

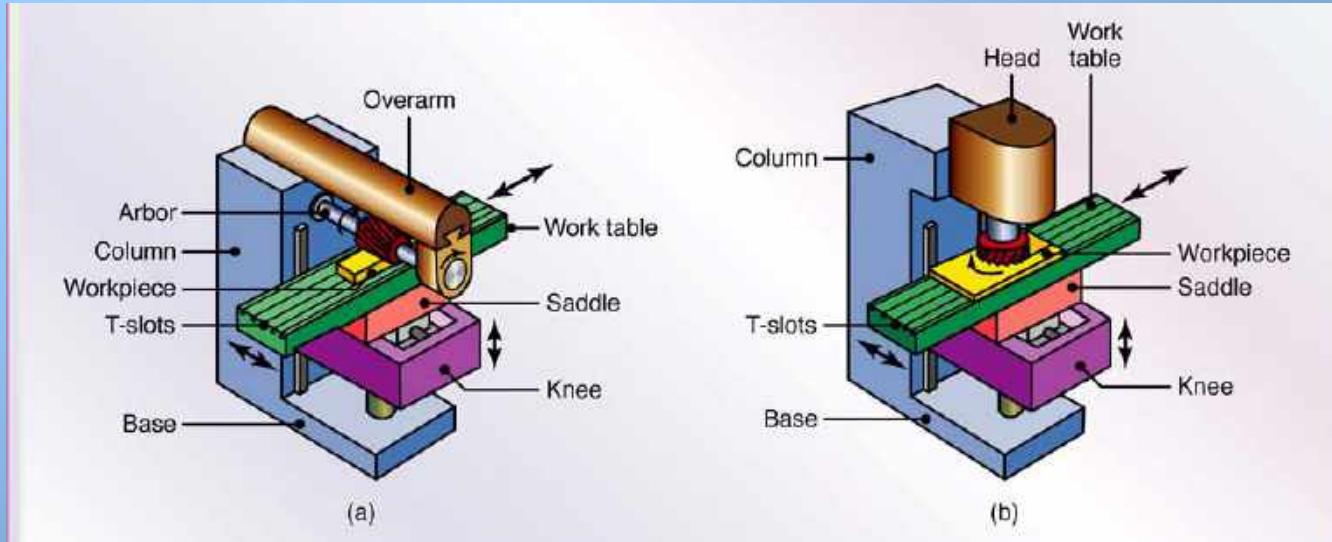
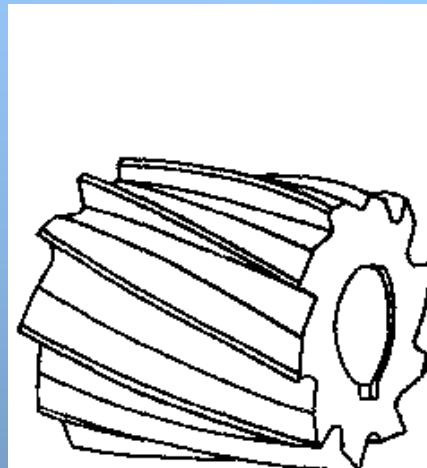


Figure 24.15 Schematic illustration of (a) a horizontal-spindle column-and-knee type milling machine and (b) vertical-spindle column-and-knee type milling machine.
Source: After G. Boothroyd.

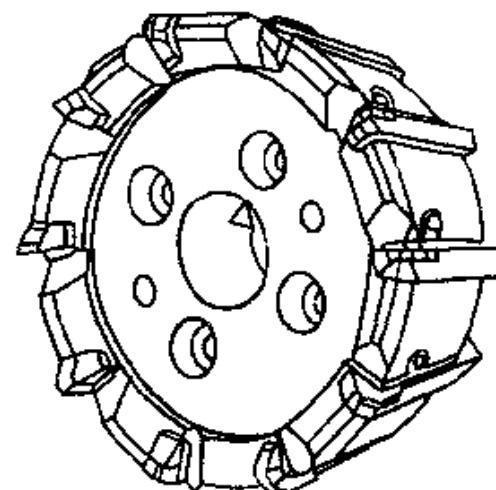
5-3 平面加工

➤ 铣刀的种类

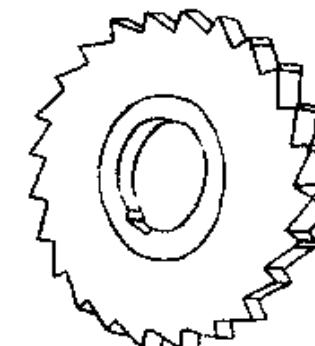
加工平面的铣刀，主要有圆柱铣刀和端铣刀两种。



圆柱铣刀

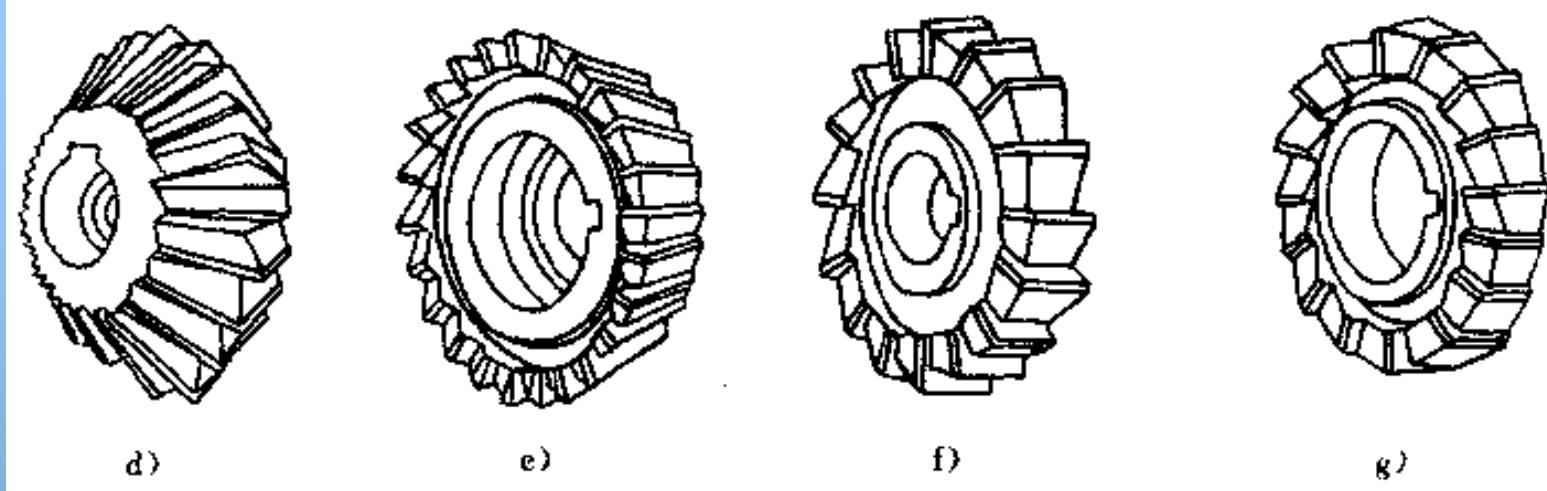


端铣刀



槽铣刀

5-3 平面加工



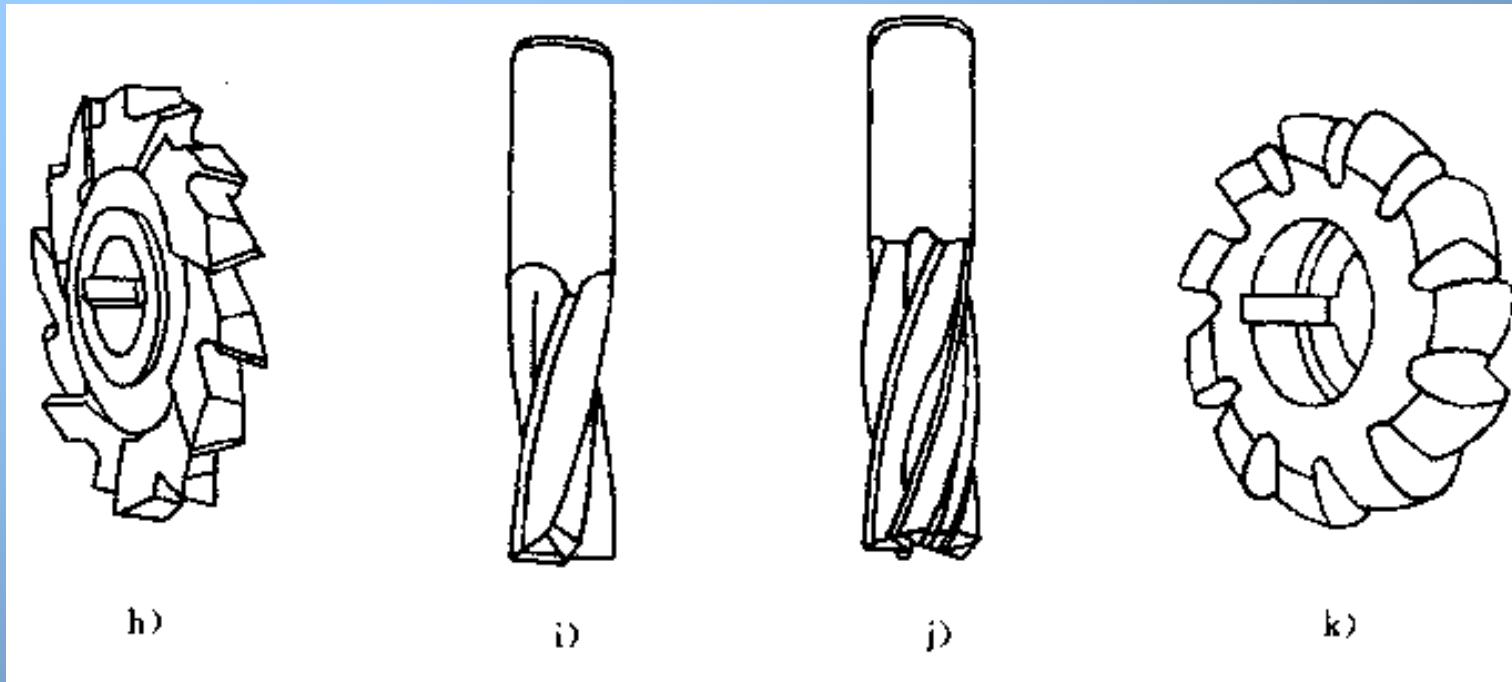
双角铣刀

单角铣刀

三面刃铣刀

两面刃铣刀

5-3 平面加工



错齿三
面刃铣刀

键槽铣刀

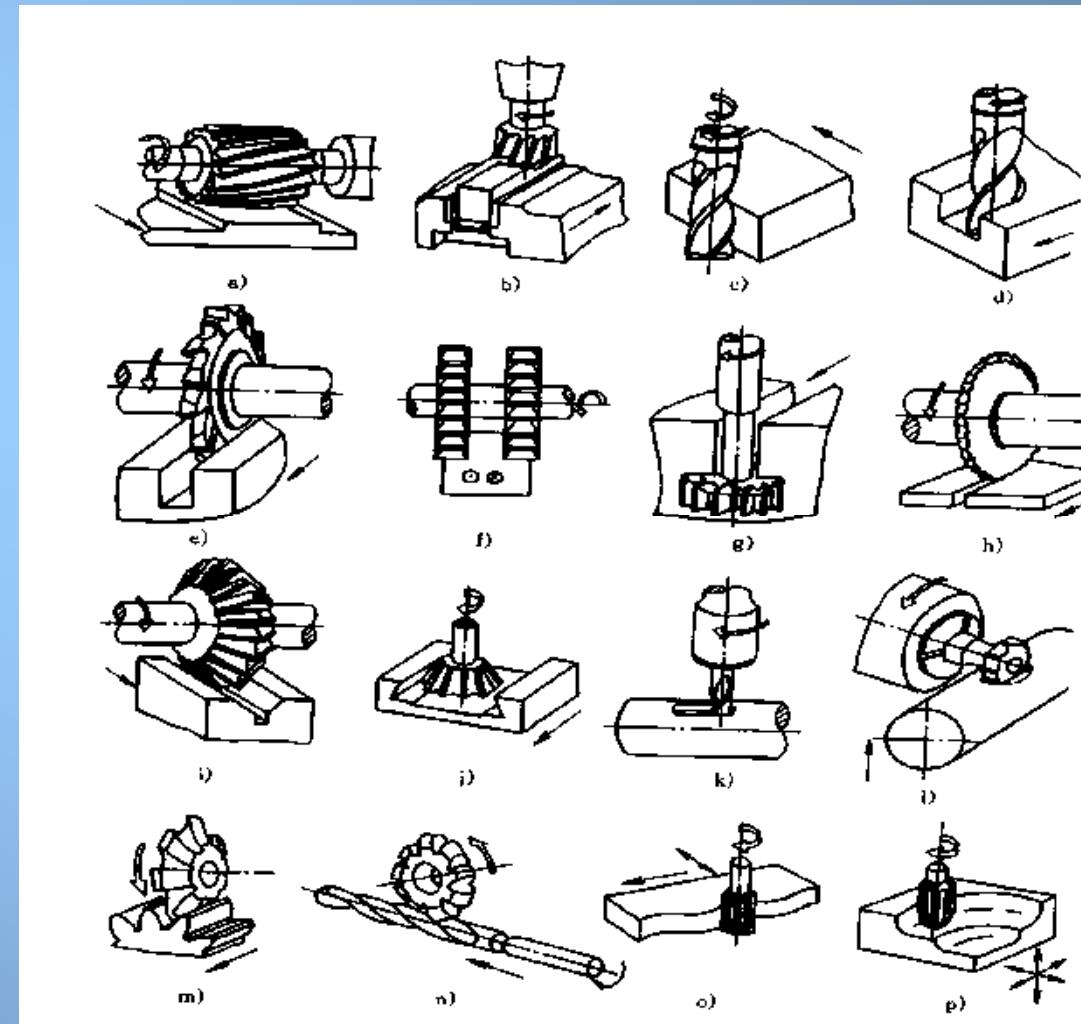
立铣刀

成形铣刀

5-3 平面加工

铣削加工应用

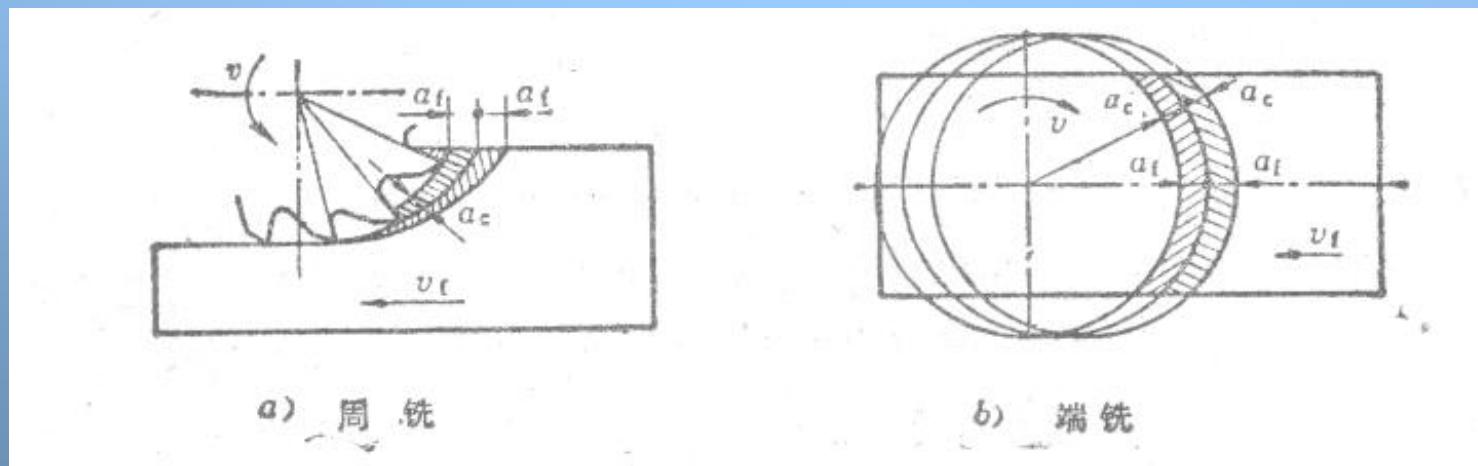
- a)、b)、c) 铣平面 d)、e) 铣沟槽 f) 铣台阶 g) 铣T型槽
- h) 铣狭缝 i)、j) 铣角 k)、l) 铣键槽 m) 铣齿形
- n) 铣螺旋槽 o) 铣曲面 p) 铣立体曲面



5-3 平面加工

➤ 铣削的工艺特点

- (1) 生产率较高 (一般比刨削高)
- (2) 易产生冲击和振动 (断续切削, 每个刀齿切削厚度是变化的)
- (3) 刀齿散热条件较好 (但切入和切出时热和力的冲击, 加速刀具的磨损)
- (4) 切削方式多样化 (选用顺铣climb milling) 和逆铣conventional milling等)



5-3 平面加工

➤ 铣削方式

(1) 周铣法 (Peripheral Milling)

利用分布在圆柱面上的刀刃进行铣削；铣刀轴心线平行于加工表面。

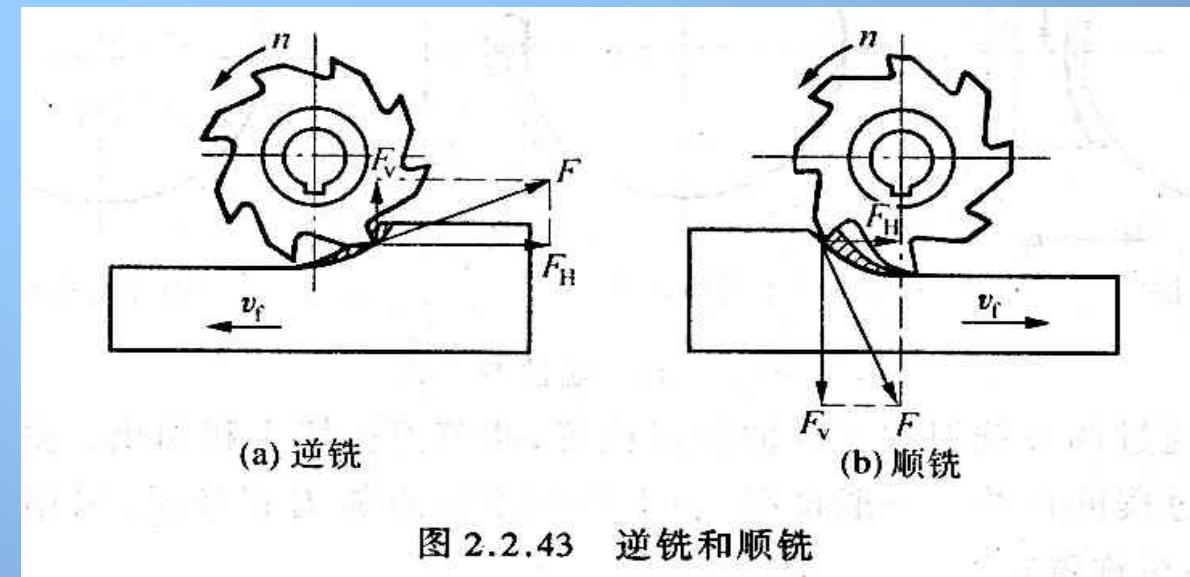


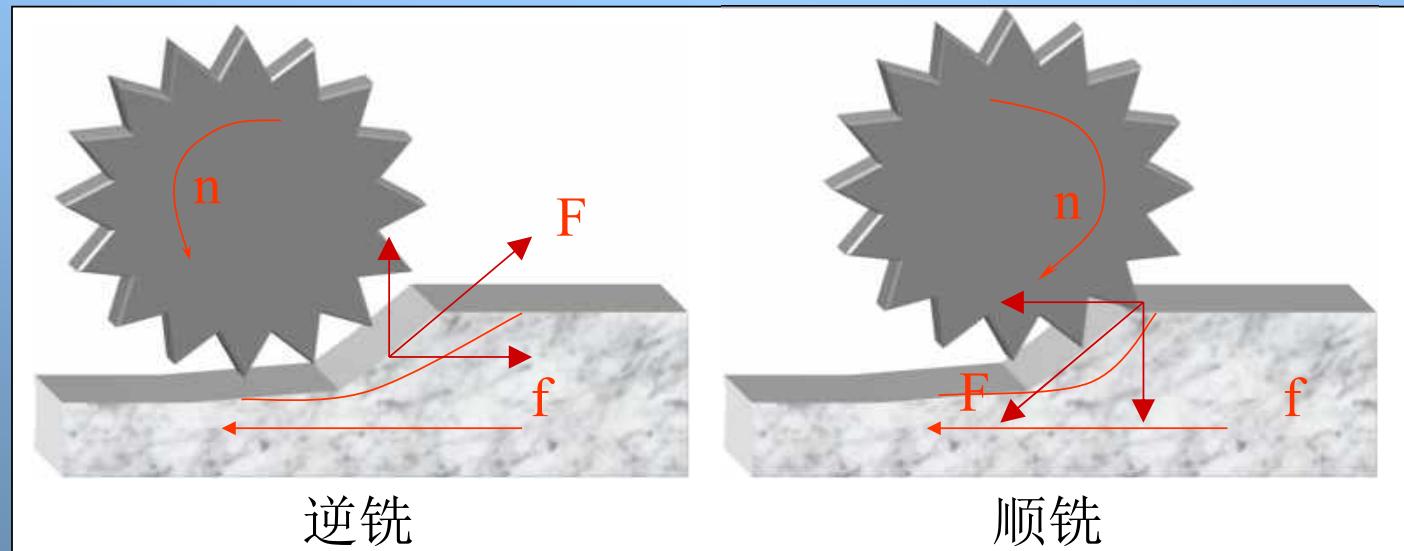
图 2.2.43 逆铣和顺铣

5-3 平面加工

顺铣(down milling)与逆铣(up milling)的比较:

A. 切削厚度变化规律比较:

逆铣时: 切削厚度 a_c 从0--- a_{cmax} , 切入时开始在表面上挤压滑行. , 摩擦增大,
 $Ra\uparrow$; 顺铣时: a_c 从 a_{cmax} ---0, 无上述缺点。

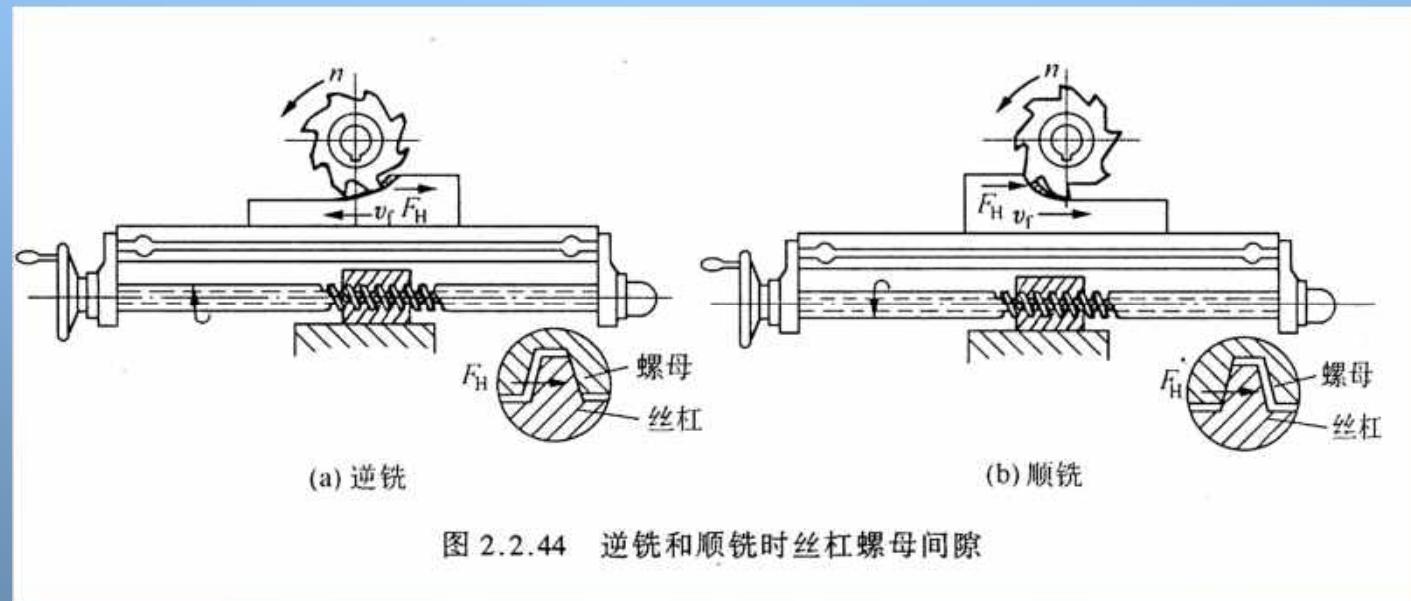


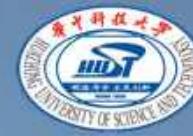
5-3 平面加工

B. 受力分析：

垂直分力的影响：逆铣时, F_V 上抬工件, 不利于工件的夹紧, 易引起振动。顺铣时, F_V 下压工件, 铣削平稳, 尤其是铣削薄而长的工件时更为有利。

水平分力的影响：





5-3 平面加工

逆铣时，有利于丝杆与螺母的贴紧，工作台运动平稳，不会引起窜动。顺铣时，工作台会反复出现突然窜动—停止—又窜动的现象，很不平稳。

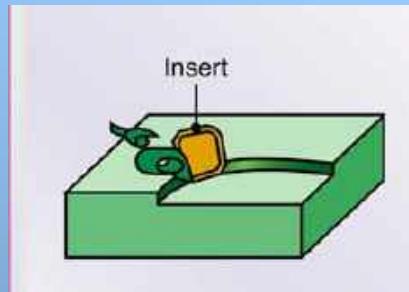
由于目前一般铣床尚没有消除工作台丝杆与螺母之间间隙的机构，所以生产中多采用逆铣法。

另外，当铣削带有黑皮的表面时，例如铸件或锻件表面的粗加工，若用顺铣法，因刀齿首先接触黑皮，将加剧刀齿的磨损，所以也应采用逆铣法。

5-3 平面加工

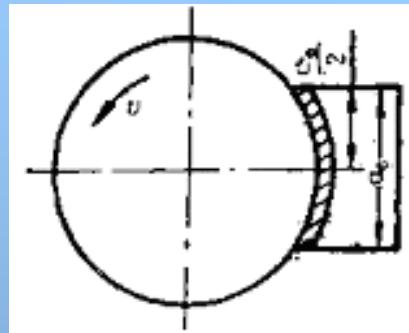
(2) 端铣法 (Face Milling)

用端铣刀的端面刀齿加工平面，称为端铣法。铣刀的轴心线垂直于加工表面。

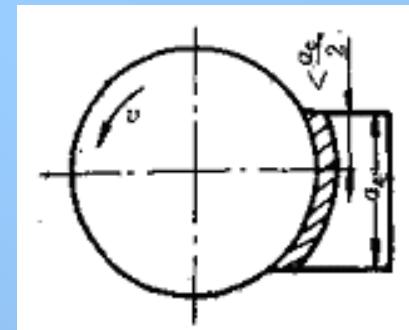


5-3 平面加工

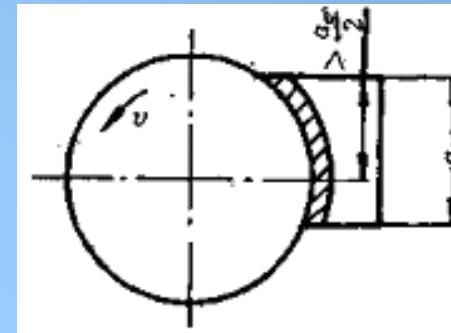
根据铣刀和工件相对位置的不同，端铣法可以分为对称铣削法和不对称铣削法。



(a)对称铣削



(b)不对称逆铣
图5-43 端铣的方式



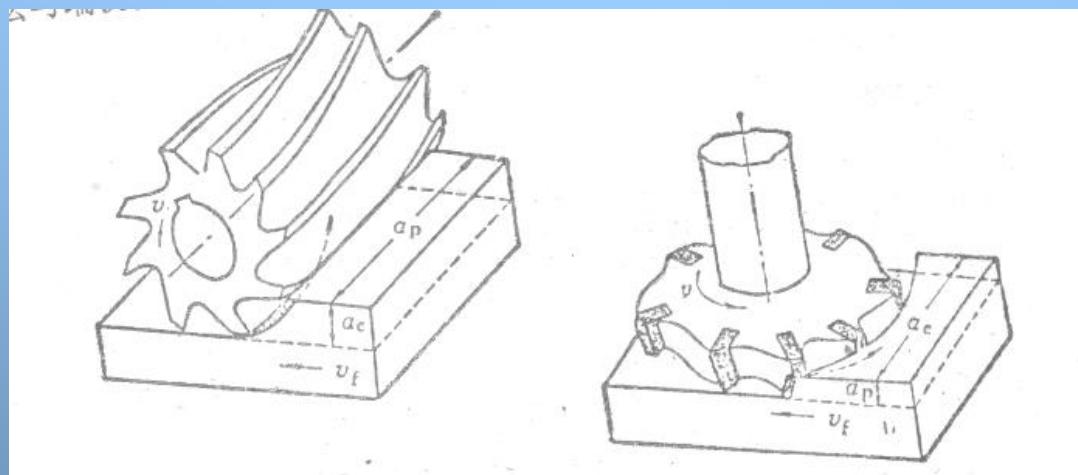
(c)不对称顺铣

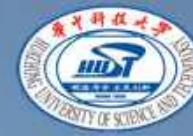
端铣法可以通过调整铣刀和工件的相对位置，调节刀齿切入和切出时的切削厚度，从而达到改善铣削过程的目的。

5-3 平面加工

4). 周铣和端铣的比较

A. 工作齿数: 周铣时与加工余量(a_e)有关, 一般只有1~2个; 端铣时与 a_e 无关, 多齿同时工作, 平稳。





5-3 平面加工

- B. 切入, 切出时, 端铣有一定厚度, 虽然较小, 不象周铣时切削厚度变为零, 从而改善了刀具后刀面与工件的摩擦状况, 提高了刀具耐用度, $Ra \downarrow$ 。此外, 端铣时还可利用修光刃修光已加工表面。
- C. 端铣刀刚性好, 镶装硬质合金刀片, 生产率高. 周铣刀多用高速钢制造。

在平面的铣削中, 目前大都采用端铣法. 但是周铣法的适应性较广, 生产中仍常用.

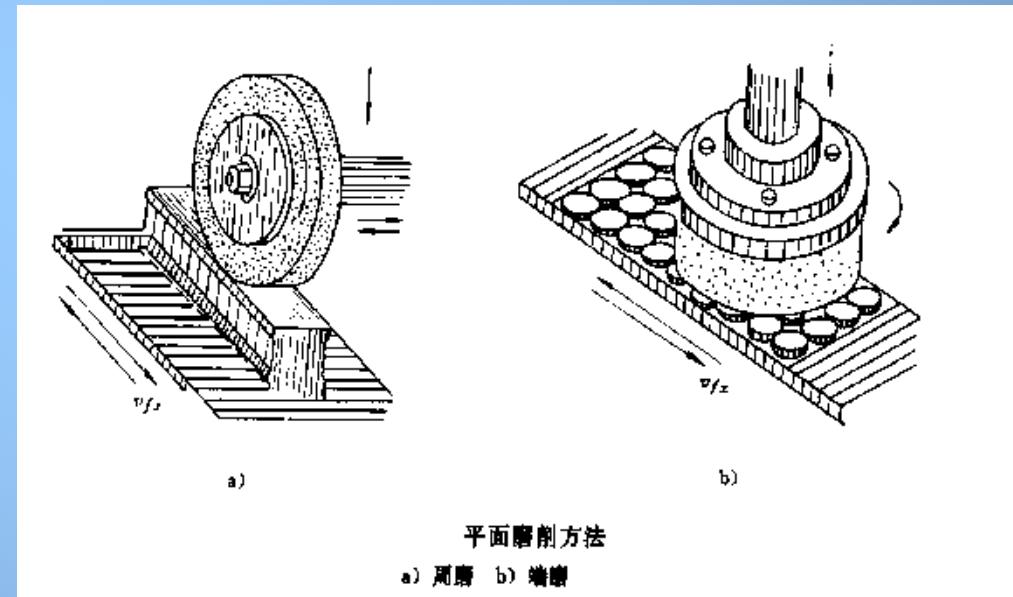
5-3 平面加工

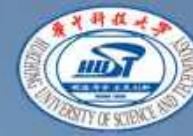
5.3.3. 平面磨削

用砂轮或其他磨具加工工件，称为磨削，本节主要讨论平面磨削。

➤ 平面磨削方式及其比较

磨削时工件随工作台作直线往复运动，或随圆工作台作圆周运动，磨头作间歇进给运动。用回转砂轮周边磨削叫周磨；用回转砂轮端面磨削叫端磨。





5-3 平面加工

比较内容	周磨	端磨
加工质量	较高	较低
散热、冷却 和排屑情况	较好	较差
生产效率	较低	较高
机床	卧式平面磨床	立式平面磨床
应用	加工质量要求 较高的工件	加工质量要求 不很高的工件



5-3 平面加工

➤ 薄片零件的磨削特点

垫圈、摩擦片及镶钢导轨等较薄或狭长零件，因磨削前，其表面的平面度较差，磨削时也易受热变形和受力变形，因此磨此类平面有以下特点：

- (1) 改善磨削条件：选用软的砂轮、采用较小的磨削深度和较高进给速度，供应充分的磨削液等措施。
- (2) 合理的装夹：合理的装夹常常是保证薄片平面磨削质量的关键
- (3) 适当的加工工艺：翘曲部分的磨削

5-3 平面加工

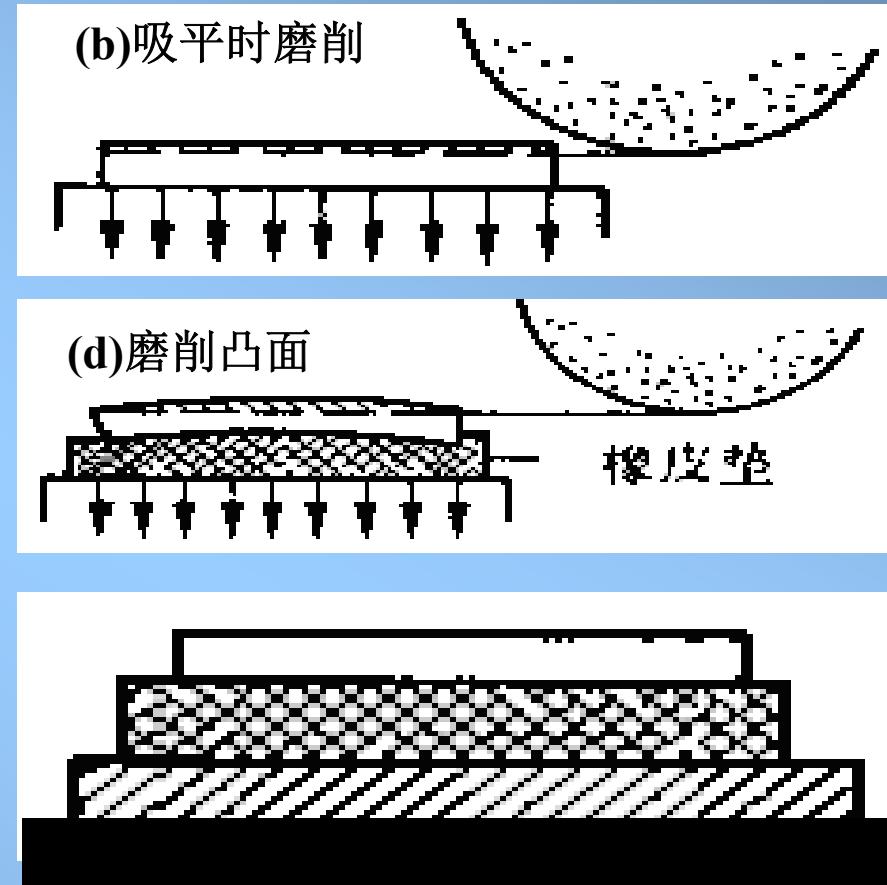
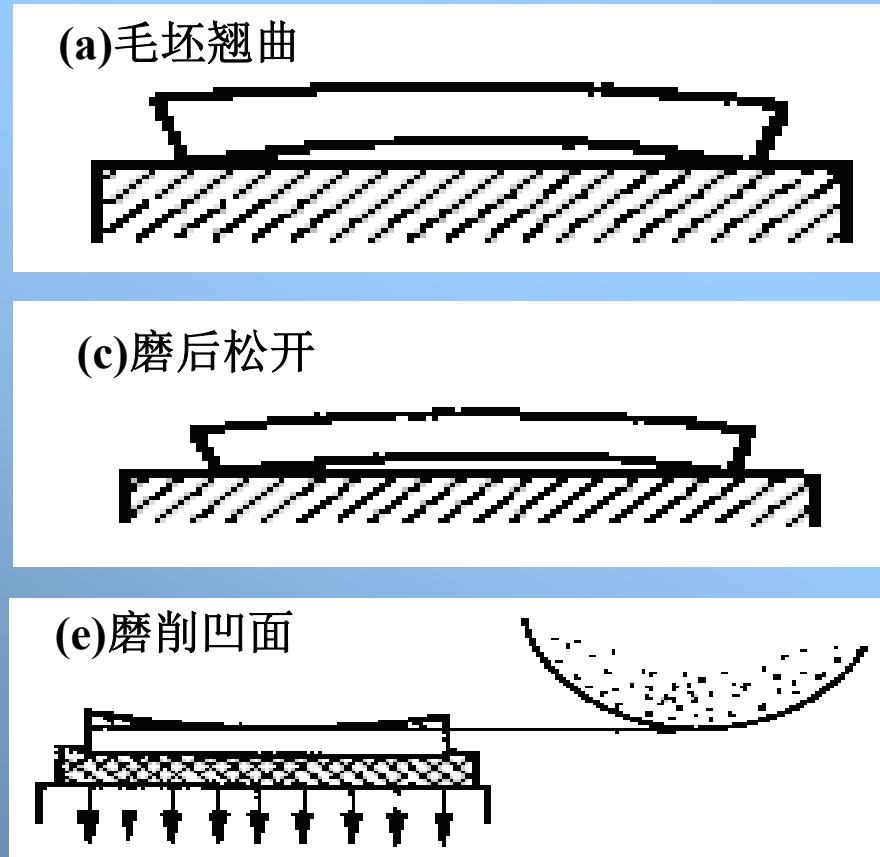


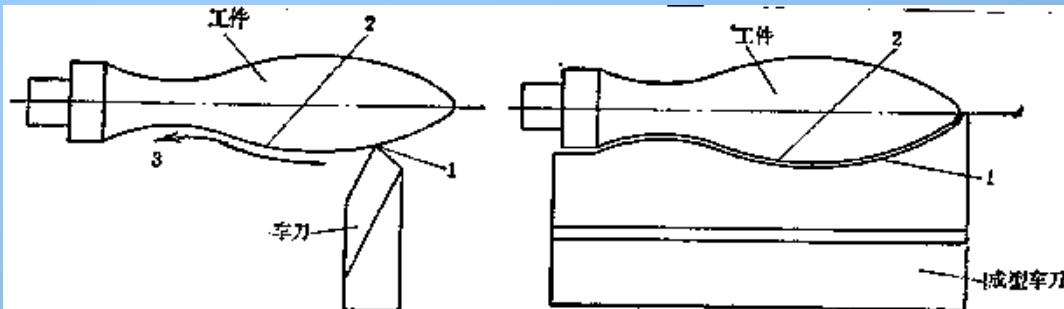
图5-46 薄片零件的磨削



第五章 典型表面的加工

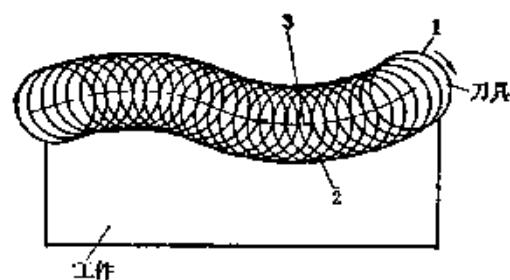
- 概述
- 外圆表面的加工
- 孔加工
- 平面加工
- 齿形加工

5-0 概 述

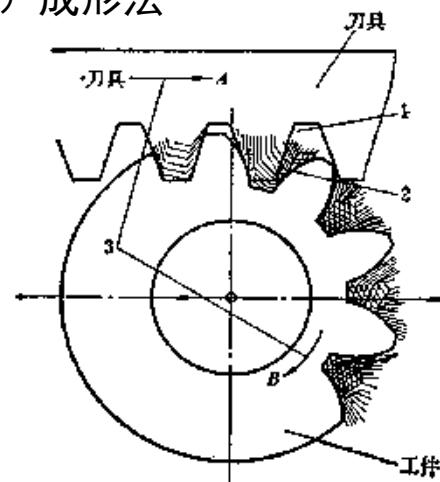


a) 轨迹法

b) 成形法



c) 相切法



d) 展成法

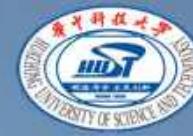
零件表面成形方法

➤ 轨迹法

➤ 成形法

➤ 相切法

➤ 展成法



5-0 概 述

获得尺寸精度的方法有如下几种：

- **试切法：**试切、测量、调整、试切。主要适用于单件小批生产。
- **调整法：**加工前调整好刀具和工件的位置，加工中保持不变。适于成批大量生产。
- **定尺寸刀具法：**
- **自动控制法：**

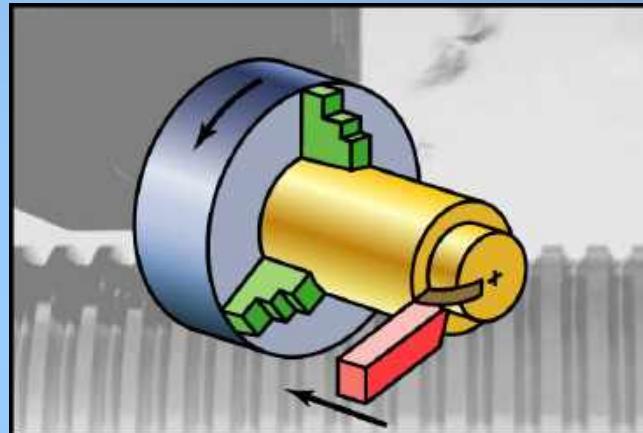
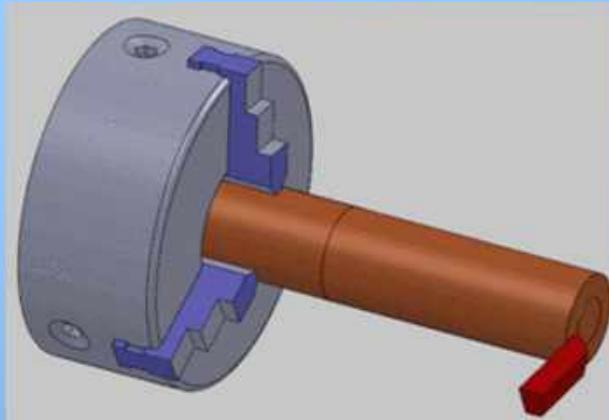
零件的相互位置精度主要由机床精度、夹具精度和零件装夹精度保证。



第五章 典型表面的加工

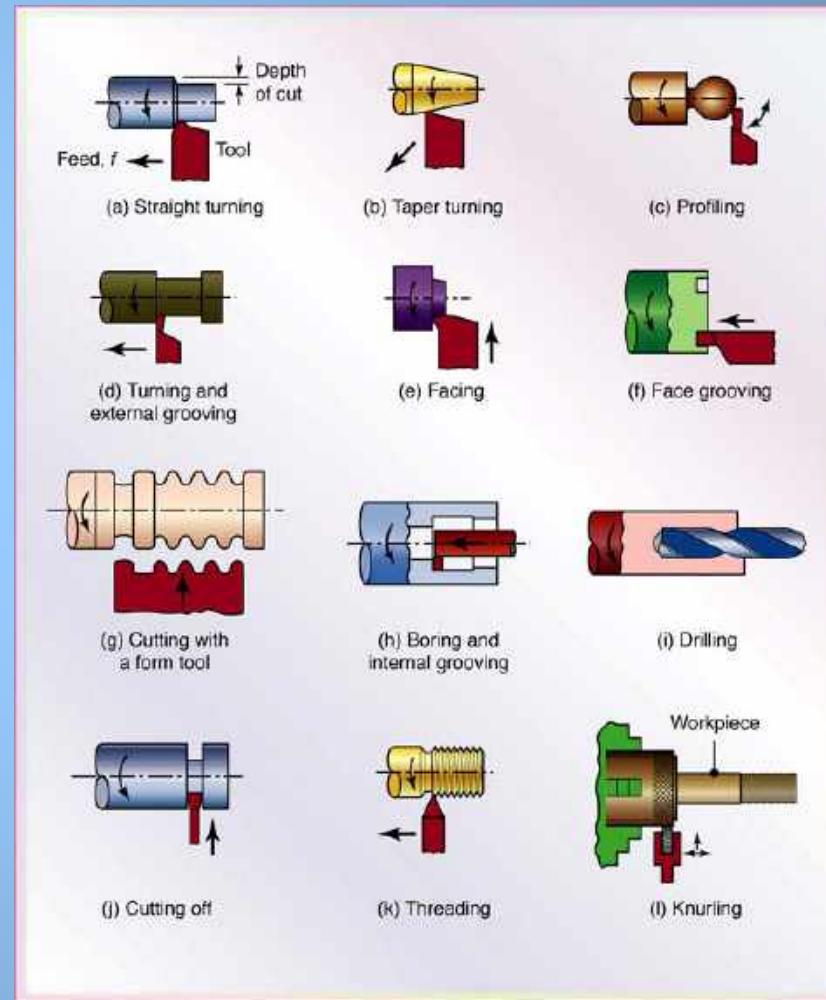
- 概述
- 外圆表面的加工
- 孔加工
- 平面加工
- 齿形加工

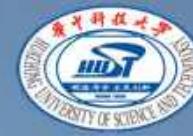
5-1 外圆表面的加工



车削、磨削及光整加工是外圆表面的主要加工方法

5-1 外圆表面的加工



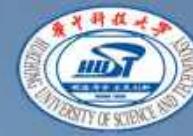


5-1 外圆表面的加工

5.1.1 外圆表面的车削 (播放车削用途视频)

1. 外圆车削的工艺范围

- **粗车**(rough turning): IT10~IT13, Ra12.5~6.3μm。
- **半精车**(semi-fine turning): IT9~ IT10, Ra3.2 ~ 6.3 μm。
- **精车**(fine turning): IT7~ IT8, Ra0.8~3.2μm。
- **精细车**(fine turning): IT6~IT7, Ra0.2~0.8μm。对于小型有色金属零件，高速精细车是主要加工方法 (可达比钢铁高的Ra0.4 ~0.1μm,)。



5-1 外圆表面的加工

2. 车削的工艺特点

- **切削过程平稳, 生产率较高:** 主运动为回转运动, 避免了惯性力和冲击. 切削用量可大, 可进行高速切削和强力切削。
- **加工材料范围广泛, 适用于有色金属的精加工:**
钢、铸铁、非金属和某些非铁金属都可车削。
当非铁金属加工精度很高和表面粗糙度要求很小时, 可在精车之后进行精细车, 以代替磨削。
- **刀具简单:** 制造, 刀磨, 安装均方便. 适应性广。
- **应用广泛:** 只要能装夹在车床上, 一般都可车削。

5-1 外圆表面的加工

3. 细长轴外圆的车削加工

常将长径比 ($L/D \geq 5 \sim 10$) 轴称为细长轴，其刚度很差，车削时容易弯曲和振动，产生腰鼓形或竹节形误差而不能保证加工质量。因此，必须采取有效措施来解决车削时的变形、振动等问题。

➤改进工件中的装夹

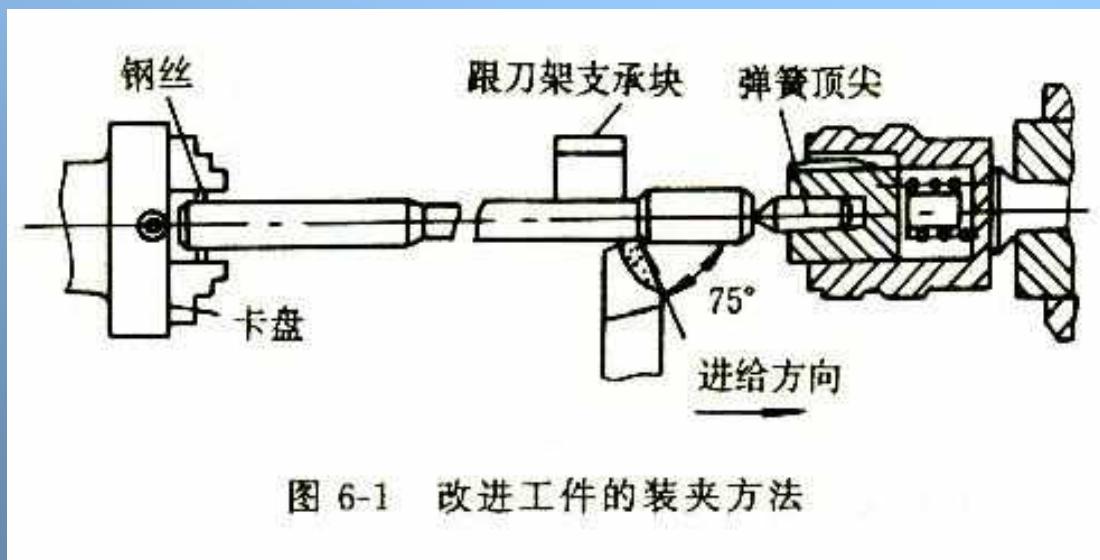


图 6-1 改进工件的装夹方法

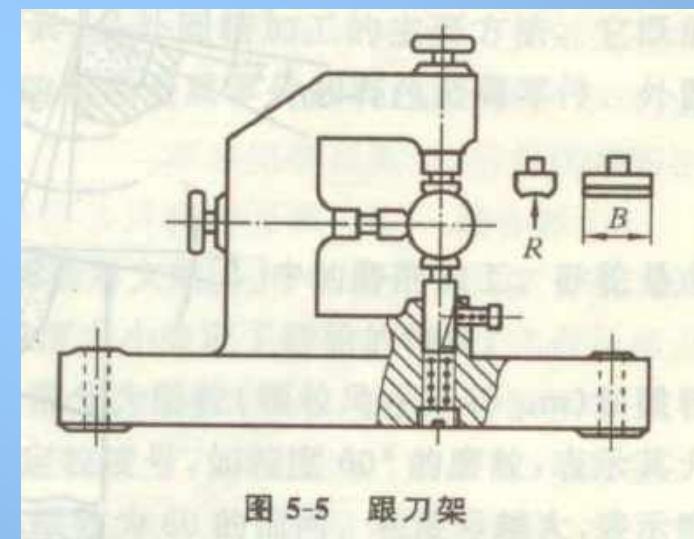
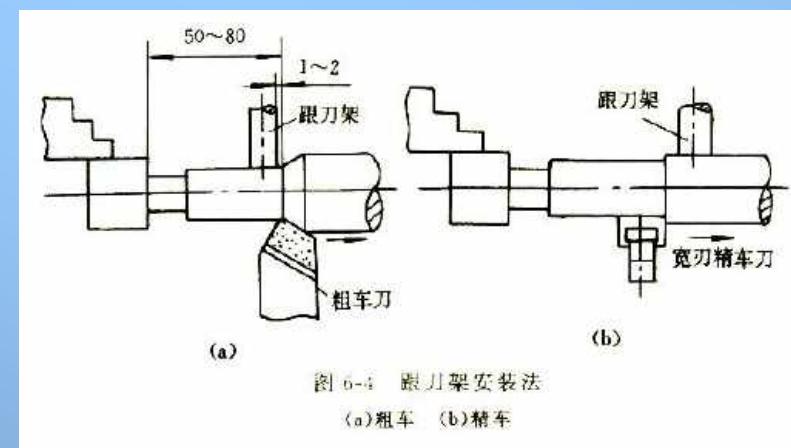
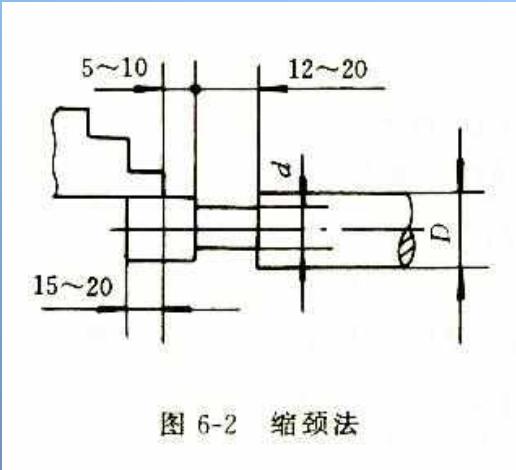


图 5-5 跟刀架

5-1 外圆表面的加工

►选择合理的切削方法

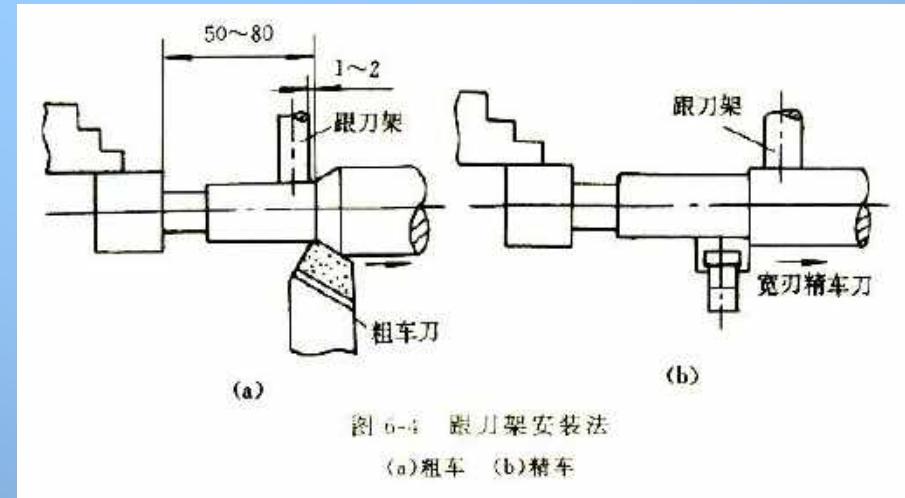
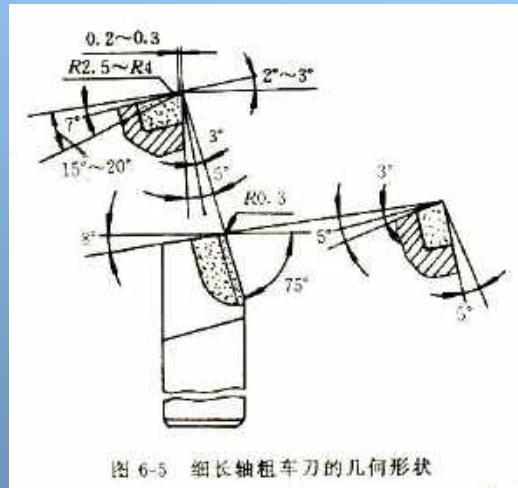
车削细长轴时，宜采用由车头向尾座走刀的反向切削法。这时，从卡盘到车刀段，工件受拉力，利用可伸缩的活顶尖，不会把工件顶弯。同时选择较大的进给量和主偏角，增大了轴向切削力，工件在大的轴向拉力作用下，能有效地消除径向颤动，使切削过程平稳。



5-1 外圆表面的加工

►合理选择刀具：

粗车刀常用较大的主偏角(75°)以增大轴向力而减少径向力,选用较大的前角($15^\circ \sim 20^\circ$)和较小的后角(3°),通过磨出卷屑槽和选用 $+5^\circ$ 的刃倾角,以控制切屑的顺利排出。(银白屑车刀)



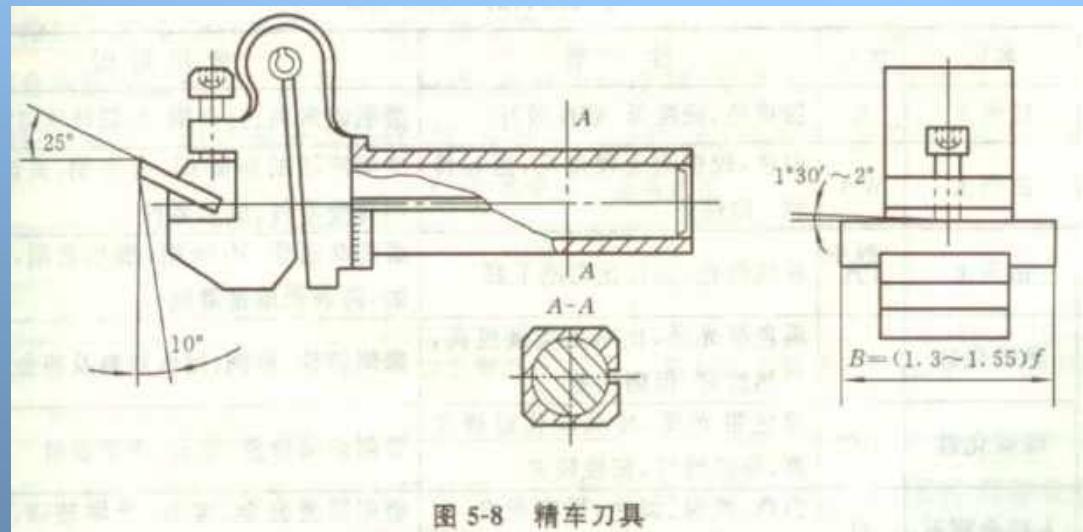
5-1 外圆表面的加工

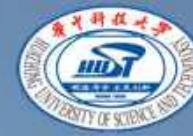
►合理选择刀具：

刀具材料宜采用强度和耐磨性较好的硬质合金，如YW1或YG6A。

精车刀常用宽刃、高速钢刀片，装在图5-8所示的弹性可调刀排内。

这种大前角、无倒棱的宽刃，刀刃易于切入工件，切下很薄的切屑，便于消除粗车时留在工件上的形状误差。





5-1 外圆表面的加工

➤合理选择刀具：

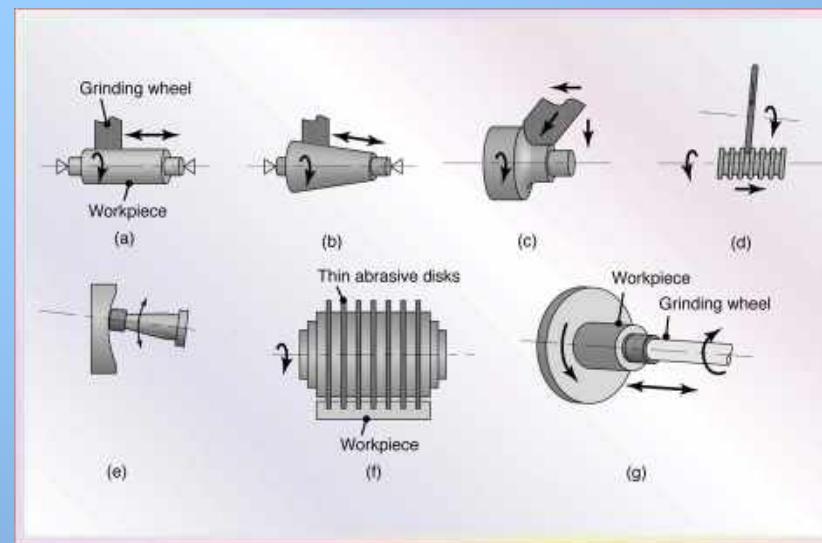
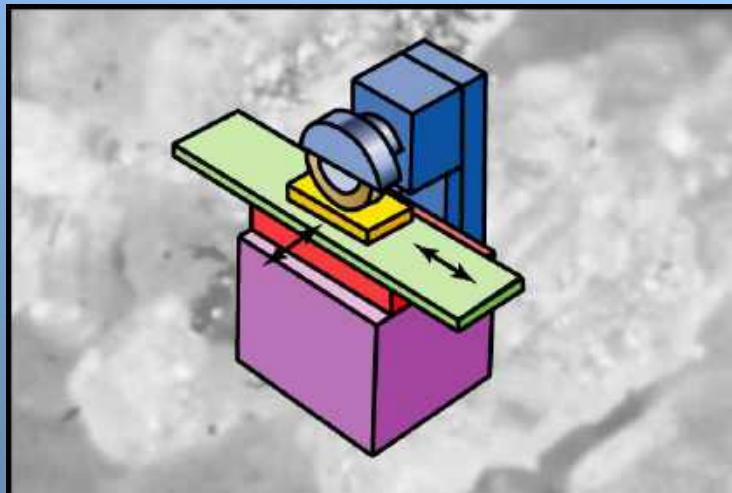
此外，粗车刀安装时刀尖可比工件中心高0.1~0.15mm，使刀尖部分的后刀面压住工件，车刀此时相当于跟刀架的第四个支承块，有效地增强了工件的刚度。

精车刀时则相反。

5-1 外圆表面的加工

5.1.2 外圆表面的磨削

磨削加工是用砂轮作切削工具，是外圆精加工的主要方法。它既能加工淬火的黑色金属零件，也能加工不淬火的硬度较高的黑色金属零件和有色金属。外圆磨削分为粗磨、精磨、光整加工。



5-1 外圆表面的加工

➤ **砂轮(Sand wheel):** 用结合剂把磨粒粘结起来, 经压坯、干燥、焙烧及车整而成的多孔疏松物体。

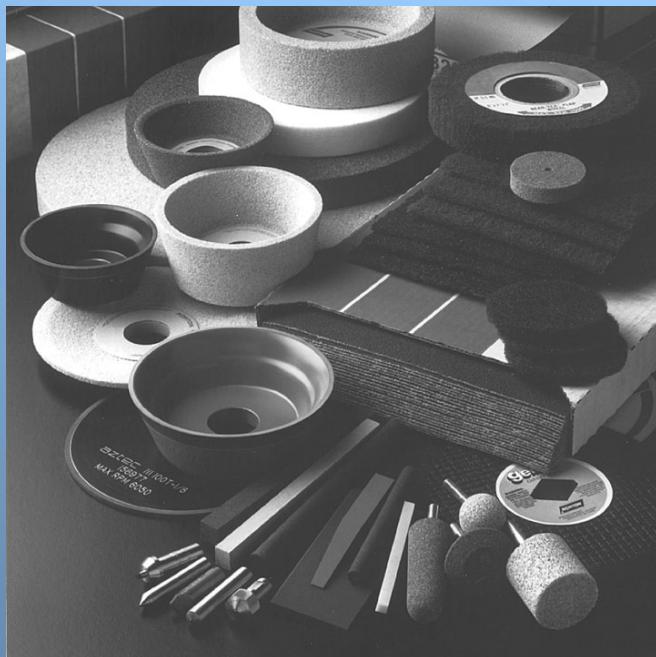
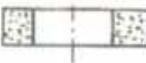
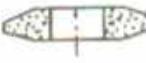
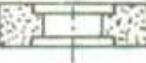
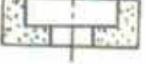
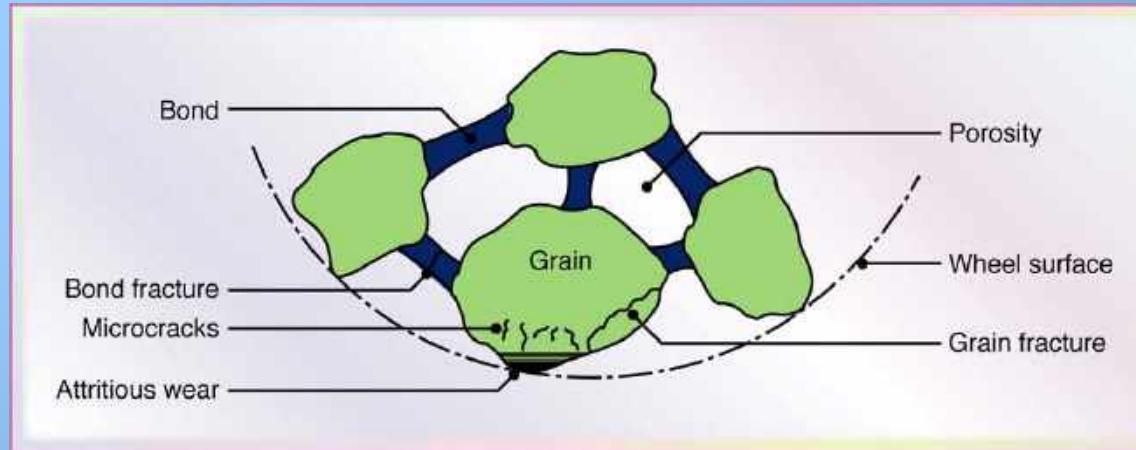


表 2-6 常用砂轮的形状、代号及主要用途

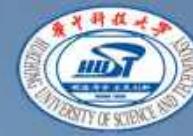
砂轮名称	代号	断面形状	主要用途
半形砂轮	P		根据不同尺寸, 分别用于外圆磨、内圆磨、平面磨、无心磨、工具磨、螺纹磨和砂轮机上
双斜边一号砂轮	PSX1		主要用于磨齿轮齿面和磨单线螺纹
双面凹砂轮	PSA		主要用于外圆磨削和刃磨刀具, 还用作无心磨的磨轮和导轮
薄片砂轮	PB		用于切断和开槽等
筒形砂轮	N		用于立式平面磨床上
杯形砂轮	B		主要用其端面刃磨刀具, 也可用其圆周面磨平面及内孔
碗形砂轮	BW		通常用于刃磨刀具, 也可用于导轨磨床上磨机床导轨
碟形砂轮	D		适于磨铣刀、铰刀、拉刀等, 大尺寸的砂轮一般用于磨齿轮的齿面

5-1 外圆表面的加工



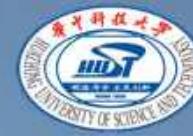
Schematic illustration of a physical model of a grinding wheel showing its structure and wear and fracture patterns.
(attrition 摩擦磨损, 磨耗, 消耗)

砂轮的特性主要由磨料、粒度、结合剂、硬度、组织及形状尺寸等因素所决定。



5-1 外圆表面的加工

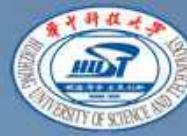
1) 磨料(Abrasives): 磨料应具有高硬度、高耐热性和一定的韧性，在磨削过程中受力破碎后还要能形成锋利的几何形状。常用的磨料有氧化物系(刚玉 (Corundum)类)、碳化物系和超硬磨料系3类。



5-1 外圆表面的加工

砂轮磨料的种类及性能

系列	名称	代号	性能	适用范围
刚玉 (Corundum)	棕刚玉	A	棕褐色, 硬度低, 韧性较好	磨削碳素钢、合金钢、可锻铸铁与青铜
	白刚玉	WA	白色, 较A硬度高, 磨粒锋利, 韧性差	磨削淬硬的高碳刚、合金钢、高速钢, 磨削薄壁零件、成形零件。
	铬刚玉	PA	玫瑰红色, 韧性比WA好 (红宝石(Ruby)、蓝宝石(Sapphire))	磨削高速钢、不锈钢, 成形磨削, 刀具刃磨, 高表面质量磨削
碳化物	黑碳化硅	C	黑色带光泽, 比刚玉类硬度高, 导热性好, 但韧性差	磨削铸铁, 黄铜、耐火材料及非金属材料
	绿碳化硅	GC	绿色带光泽, 较C硬度高, 导热性好, 韧性较差	磨削硬质合金、宝石、光学玻璃
超硬磨粒	人造金刚石	D	白色、淡绿、黑色, 硬度最高, 耐热性较差	磨削硬质合金、宝石、光学玻璃陶瓷等高硬度材料
	立方氮化硼	CBN	棕褐色, 硬度仅次于D, 韧性较D好	磨削高性能高速钢、不锈钢, 耐热钢及其它难加工材料



5-1 外圆表面的加工

2) 粒度(Grain size)

粒度是指磨料颗粒的大小，通常分为磨粒(颗粒尺寸 $>40\text{ }\mu\text{m}$)和微粉(颗粒尺寸 $\leq 40\text{ }\mu\text{m}$)两类。磨粒用筛选法确定粒度号。微粉按其颗粒的实际尺寸分组。

粒度对加工表面粗糙度和磨削生产率影响较大。一般来说，粗磨用粗粒度，精磨用细粒度。当工件材料硬度低、塑性大和磨削面积较大时，为了避免砂轮堵塞，也可采用粗粒度的砂轮。

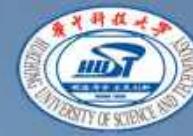


5-1 外圆表面的加工

3) 硬度(Hardness)

砂轮的硬度是指砂轮工作表面的磨粒在磨削力的作用下脱落的难易程度。它反映磨粒与结合剂的粘固强度。磨粒不易脱落，称砂轮硬度高；反之，称砂轮硬度低。

工件材料较硬时应选用较软的砂轮；对于精磨或成形磨削，为了保持砂轮的廓形精度，应选用较硬的砂轮；粗磨时应选用较软的砂轮，以提高磨削效率。



5-1 外圆表面的加工

4) 结合剂

结合剂是将磨料粘结在一起，使砂轮具有必要的形状和强度的材料。
(vitrified abrasive 陶瓷[结合剂]砂轮)

主要有陶瓷、树脂、橡胶和金属等种类。



5-1 外圆表面的加工

5) 组织

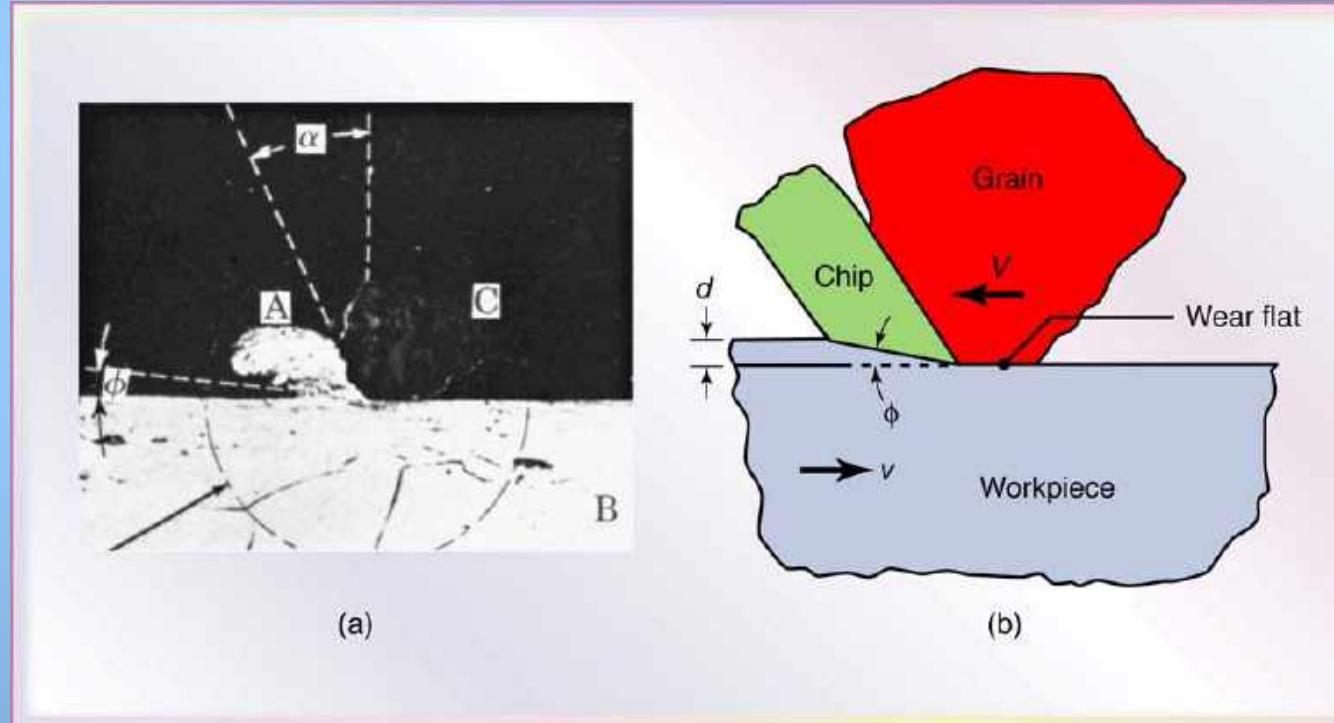
砂轮的组织是指砂轮中磨料、结合剂和气孔三者间的体积比例关系。按磨料在砂轮中所占体积的不同，砂轮的组织分为紧密、中等和疏松三大类。

表5-5 砂轮的组织及选用

组织号	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
磨粒率 (%)	62	60	58	56	54	52	50	48	46	44	42	40	38	36	34
用途	成形磨削， 精密磨削			磨削淬火钢， 刀具刃磨				磨削韧性大而硬度 不高的材料				磨削热 敏感性 大的材 料			

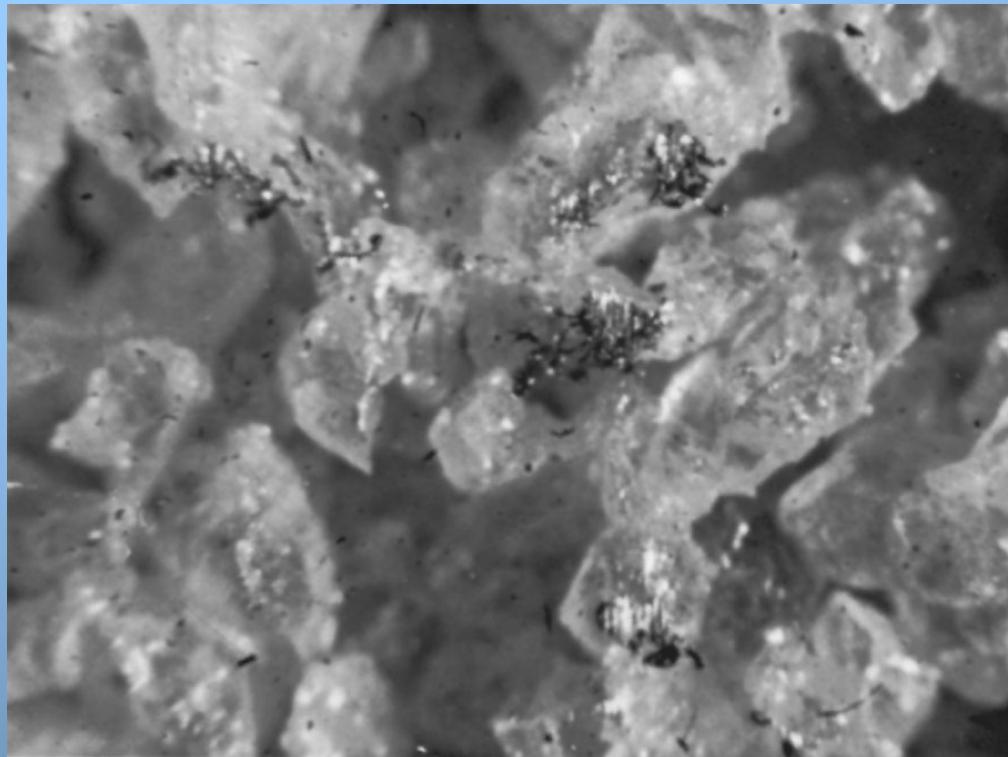
5-1 外圆表面的加工

➤ **磨削过程：**通过砂轮上的数量较多的磨粒与工件表面的相互作用，切除一定数量的材料，从而获得预期的表面形状和表面质量。

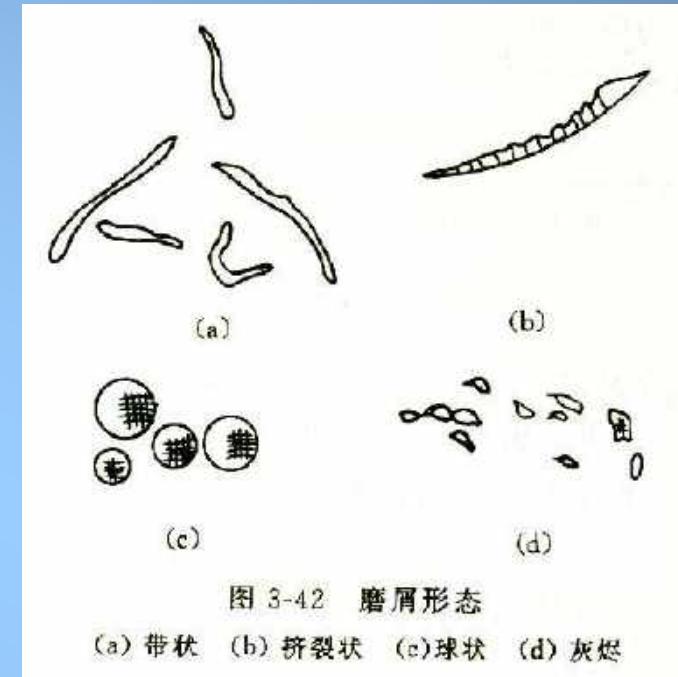


(a) Grinding chip being produced by a single abrasive grain: (A) chip, (B) workpiece, (C) abrasive grain. Note the large negative rake angle of the grain. The inscribed circle is 0.065 mm (0.0025 in.) in diameter.
 (b) Schematic illustration of chip formation by an abrasive grain with a wear flat. Note the negative rake angle of the grain and the small shear angle. *Source:* (a) After M.E. Merchant.

5-1 外圆表面的加工



The surface of a grinding wheel (A46-J8V) showing abrasive grains, wheel porosity, wear flats on grains, and metal chips from the workpiece adhering to the grains. Note the random distribution and shape of the abrasive grains. Magnification: 50x. *Source:* S. Kalpakjian.



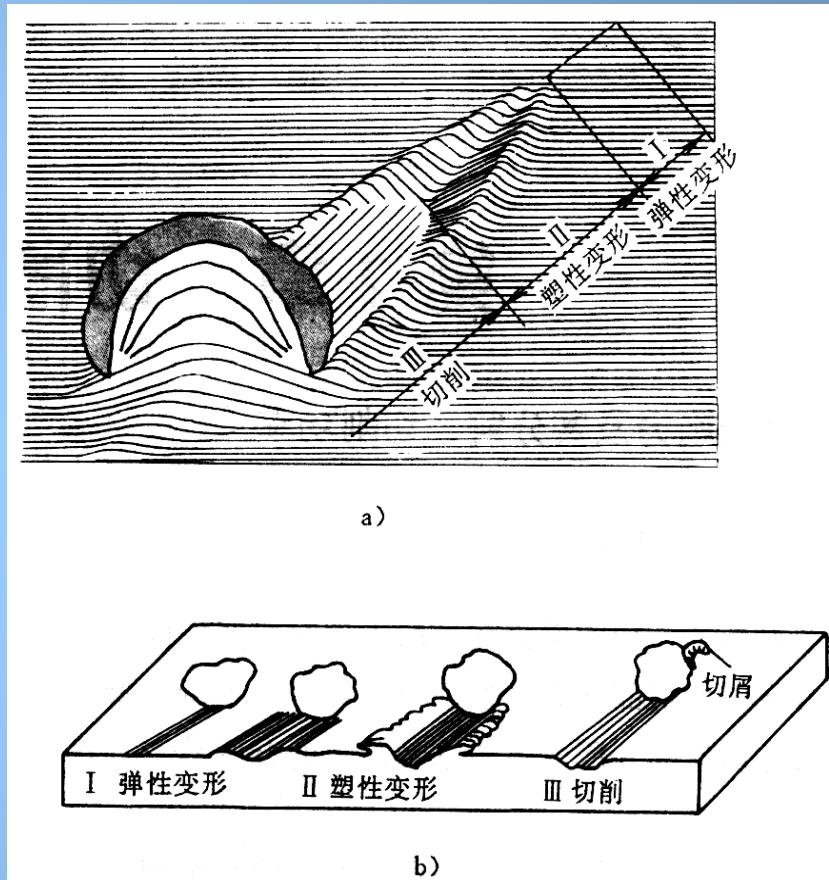
5-1 外圆表面的加工

★ **弹性变形**: 磨粒在工件表面滑擦而过, 不能切入工件

★ **塑性变形**: 磨粒切入工件, 材料向两边隆起, 工件表面出现刻痕(犁沟), 但无磨屑产生

★ **切削**: 磨削深度、磨削点温度和应力达到一定数值, 形成磨屑, 沿磨粒前刀面流出

具体到每个磨粒, 不一定三个阶段均有



磨屑形成过程

a) 平面示意图 b) 截面示意图



5-1 外圆表面的加工

➤ 磨削工艺特点

★ 精度高、表面粗糙度小：多刃，刃口圆弧半径 r 小，切削层很薄，切削厚度小到微米，磨床精度高，刚性好，微量进给。

★ 砂轮有自锐（Friability, Self-sharpening）作用：生产率高。

★ 磨削的径向磨削力 F_y 大：

★ 磨削温度高：切削速度高，且多为负前角切削，挤压和摩擦大，加上砂轮导热性很差，在磨削区产生很高的瞬时高温，因此磨削时应采用大量切削液以降低温度。

5-1 外圆表面的加工



火花鉴别法

5-1 外圆表面的加工

➤ 外圆表面磨削方法

粗磨后工件的精度可达到IT8~IT9, 表面粗糙度为 $Ra1.6\sim0.8\mu m$, 精磨后工件的粗糙度可达IT6~IT7, 表面粗糙度为 $Ra0.8\sim0.2\mu m$

1) 中心磨削法: 在外圆磨床上以工件的两顶尖孔定位进行外圆磨削。

★横向进给磨削法

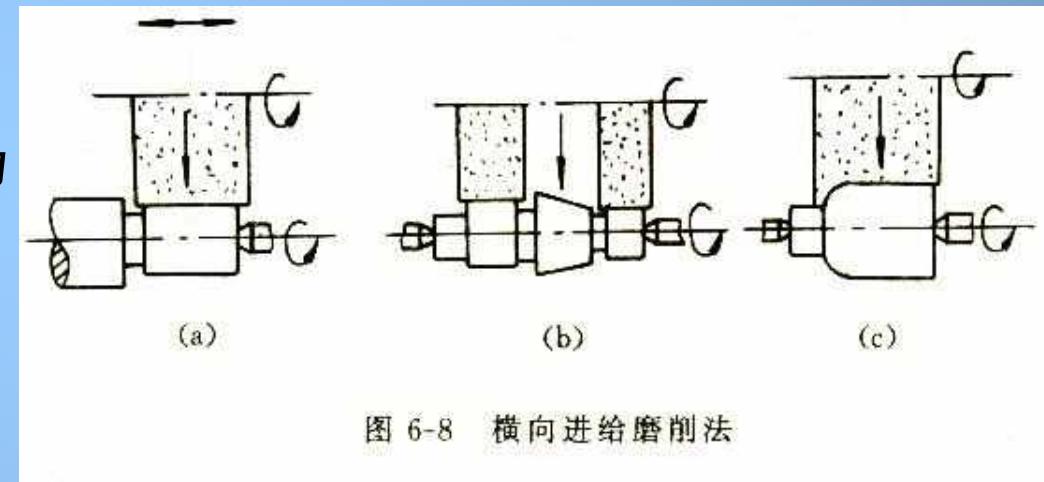
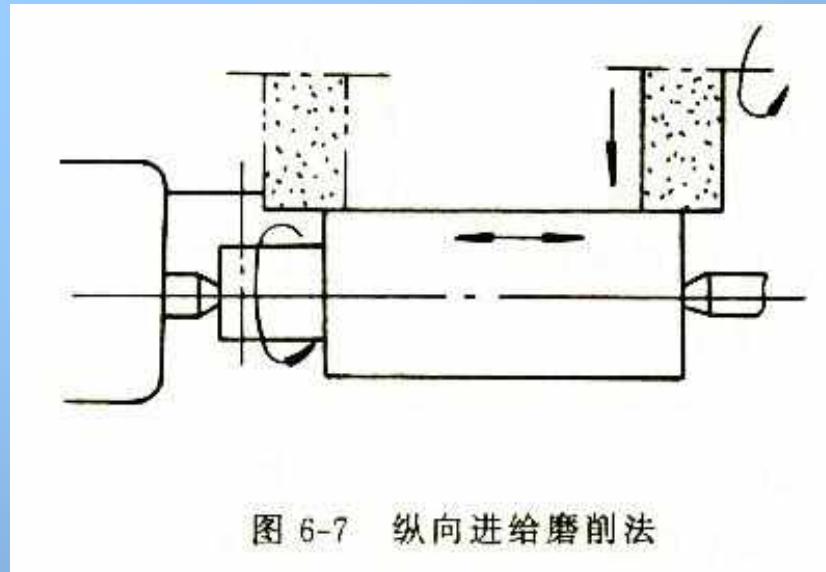
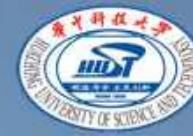


图 6-8 横向进给磨削法

5-1 外圆表面的加工

★纵向进给磨削法





5-1 外圆表面的加工

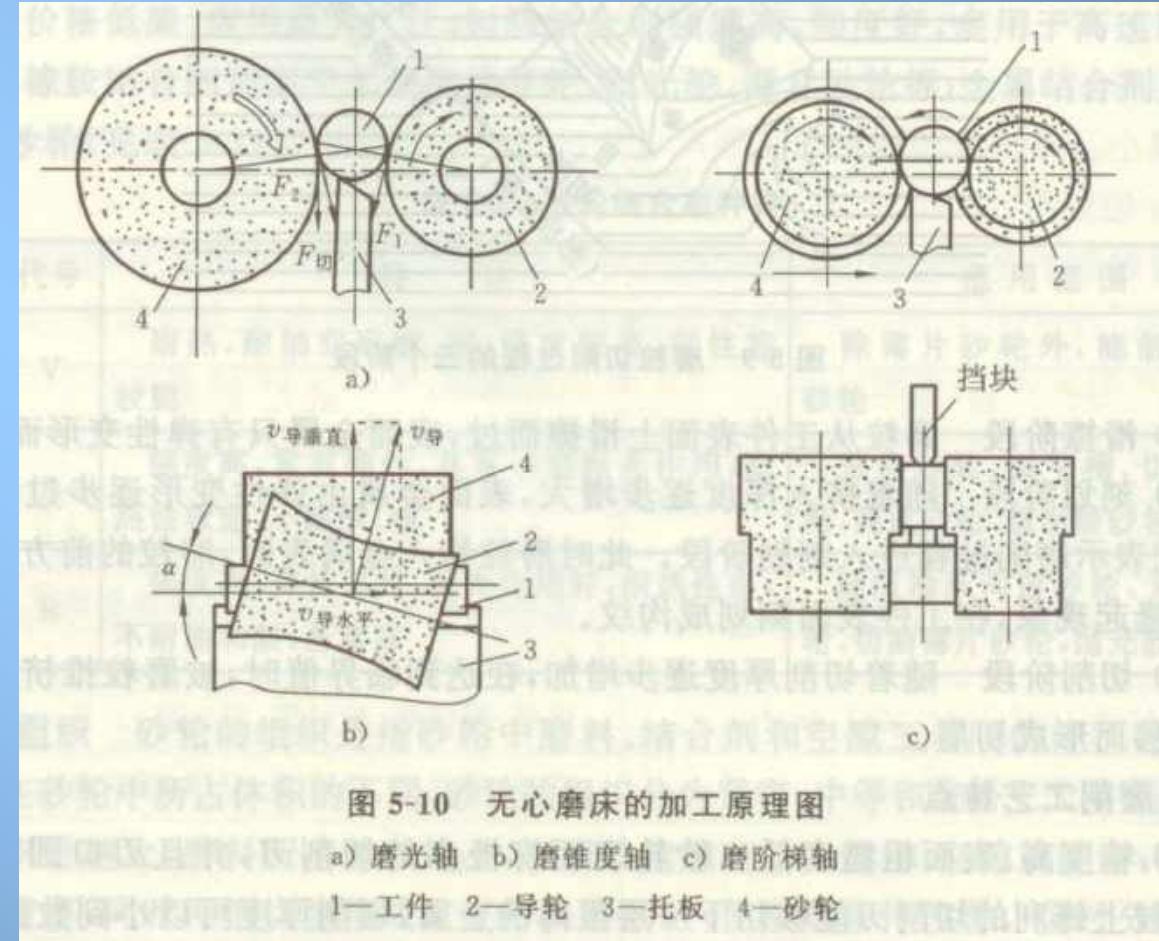
★ 综合磨削法

即先用横磨法分段粗磨被加工表面的全长，相邻各段搭接5~15mm，最后用纵磨法进行精磨。此法兼有横磨法生产率高和纵磨法加工质量好的优点，适用于成批生产中磨削刚度好的长轴外圆表面。

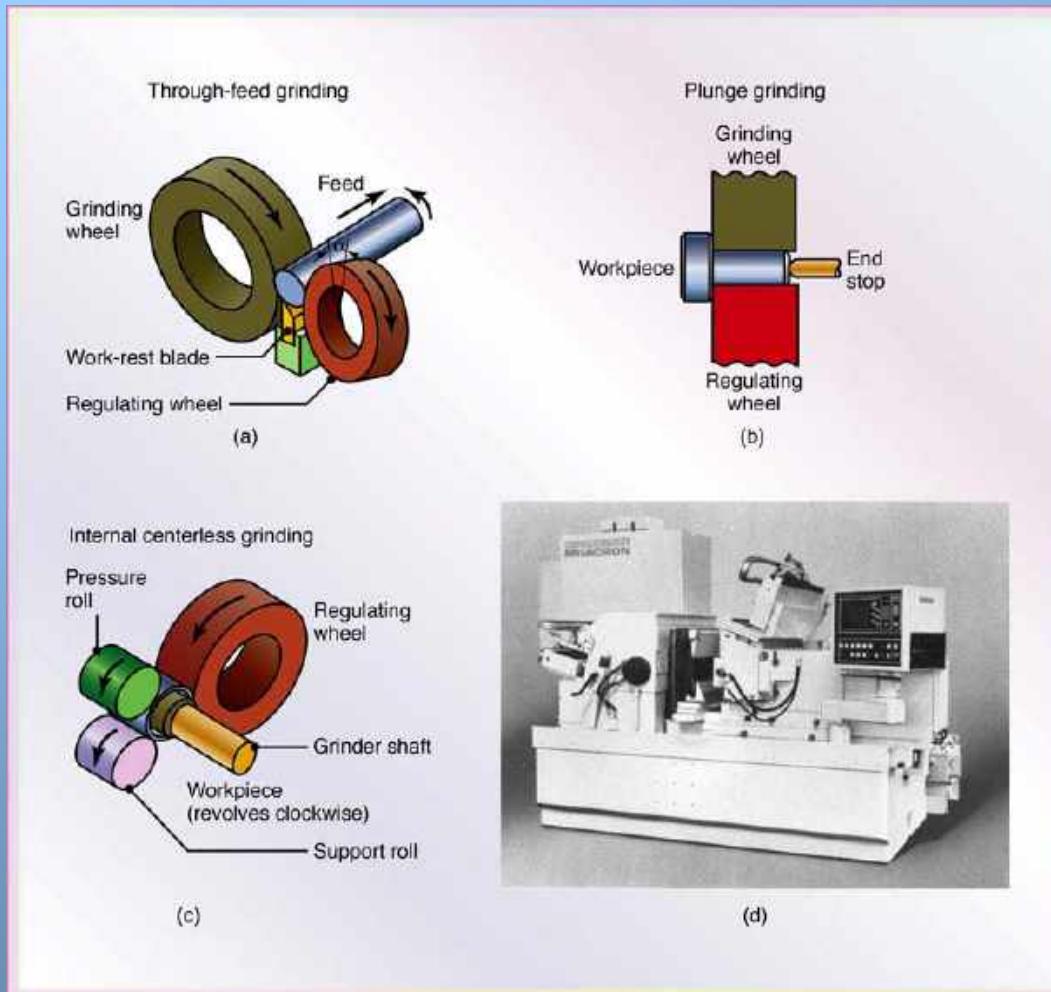
5-1 外圆表面的加工

2) 无心磨削法:

无心磨床磨削外圆时, 工件不是用顶尖或卡盘定心, 而是直接由托板和导轮支承, 用被加工表面本身定位。



5-1 外圆表面的加工



Schematic illustration of centerless grinding operations: (a) through-feed grinding(贯穿磨削), (b) plunge grinding (切入磨削) , (c) internal grinding, and (d) a computer numerical-control cylindrical-grinding machine. *Source:* Courtesy of Cincinnati Milacron, Inc.



第六章 特种加工及材料成型新 工艺



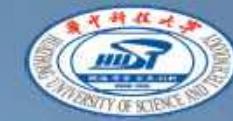
材料加工新工艺：快速成型(简称RP技术)



RAPID PROTOTYPING(简称RP技术)，RP系统可以根据零件的形状，每次制做一个具有一定微小厚度和**特定形状的截面**，然后再把它们逐层粘结起来，就得到了所需制造的立体的零件。当然，整个过程是在计算机的控制下，由快速成形系统自动完成的。不同公司制造的RP系统所用的成形材料不同，系统的工作原理也有所不同，但其基本原理都是一样的，那就是"分层制造、逐层叠加"。这种工艺可以形象地叫做"**增长法**"或"**加法**"。



材料加工新工艺：快速成型的应用



RAPID PROTOTYPING (简称RP技术)。

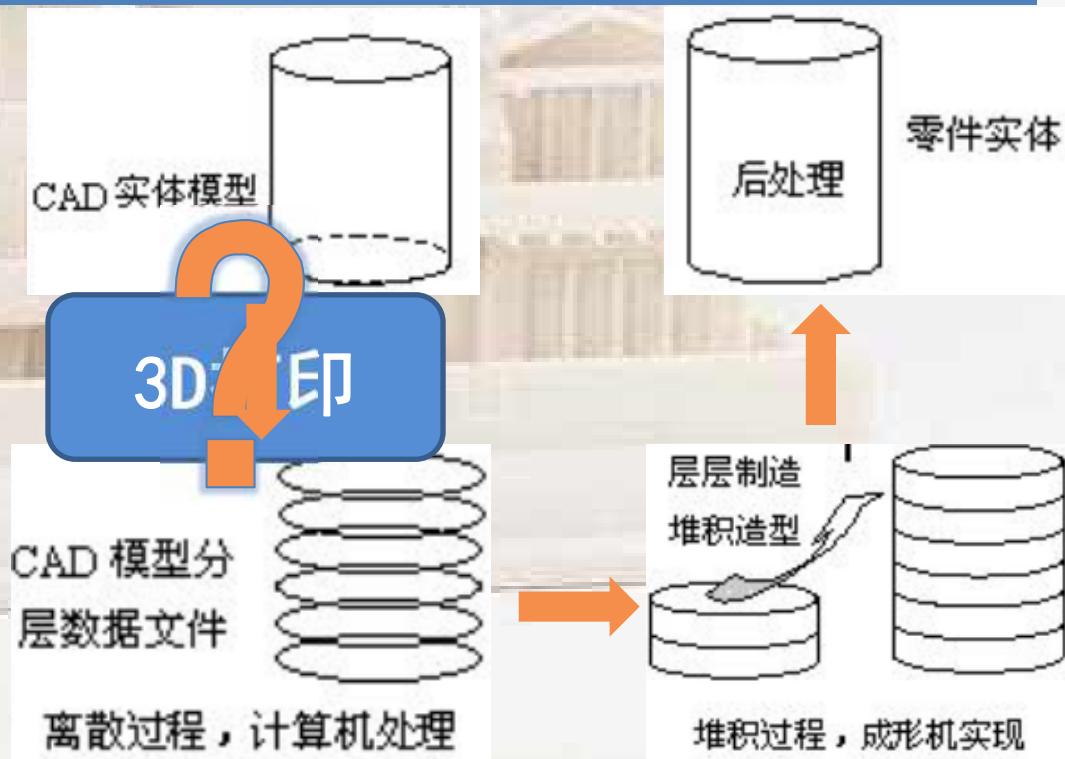


3D打印加工实例

基本概念

以数字模型文件为基础，运用粉末状金属或塑料等可粘合材料，通过逐层打印的方式来构造物体的技术。

材料堆积法





产品研发新思路

设计思想

零件

高效低成本手段

原型

验证

讨论

自动

直接

快速

精确



发展历史

1986

Charles Hull开发第一台商业3D印刷机

1993

麻省理工学院获3D印刷技术专利

1995

美国ZCorp公司从麻省理工学院获得唯一授权

2005

首个高清晰彩色3D打印机Z510由ZCorp研制成功

.....

2010,第一辆3D打印汽车
2011,第一架3D打印飞机,
巧克力打印机
.....

RP技术特点

制造原型所用的材料不限，各种金属和非金属材料均可使用

制造工艺与制造原型的几何形状无关，在加工复杂曲面时更显优越

原型的复制性、互换性高

加工周期短，成本低，成本与产品复杂程度无关



RP技术研究意义



拓展产品创新

可以采用最优的结构设计，无需考虑加工问题

整体制造

减少零件的连接数量，减轻重量，提高性能

降低成本，缩短研发周期

产品数字化设计、制造、分析高度一体化，显著缩短新产品开发定型周期，降低成本

促进绿色制造

省掉了模具环节，节能、节材、减排

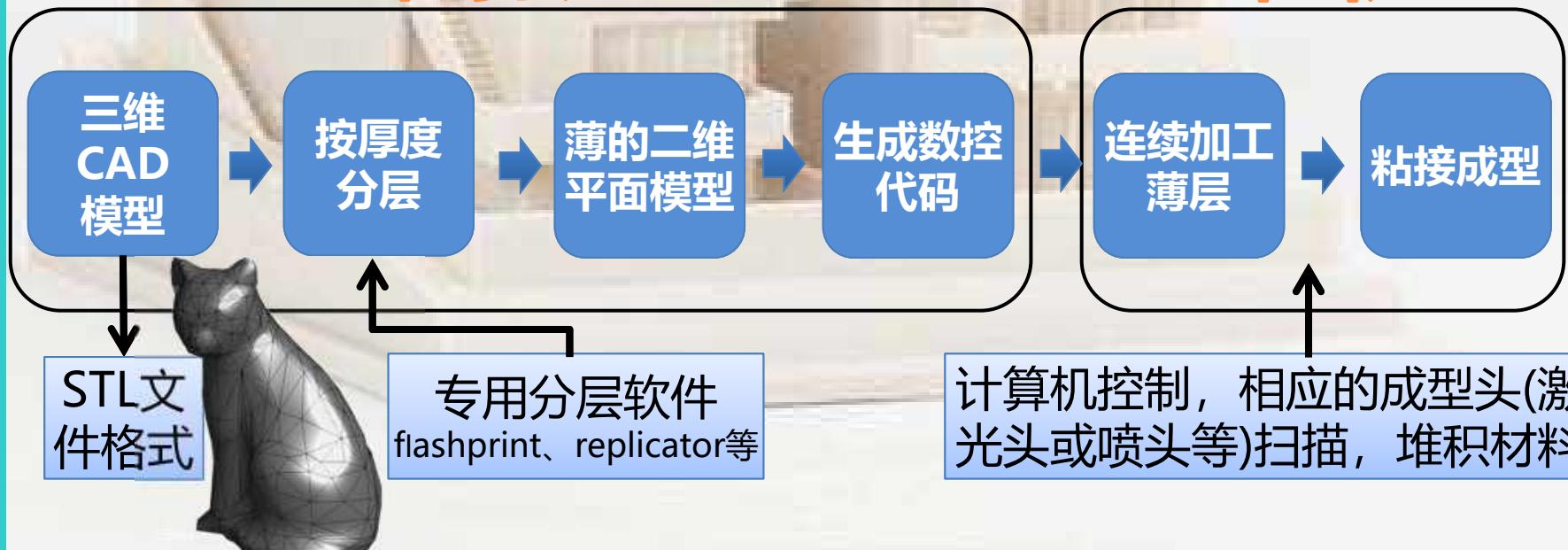


满足高端装备对其零部件大型化、复杂化、整体化、轻量化、高性能的要求

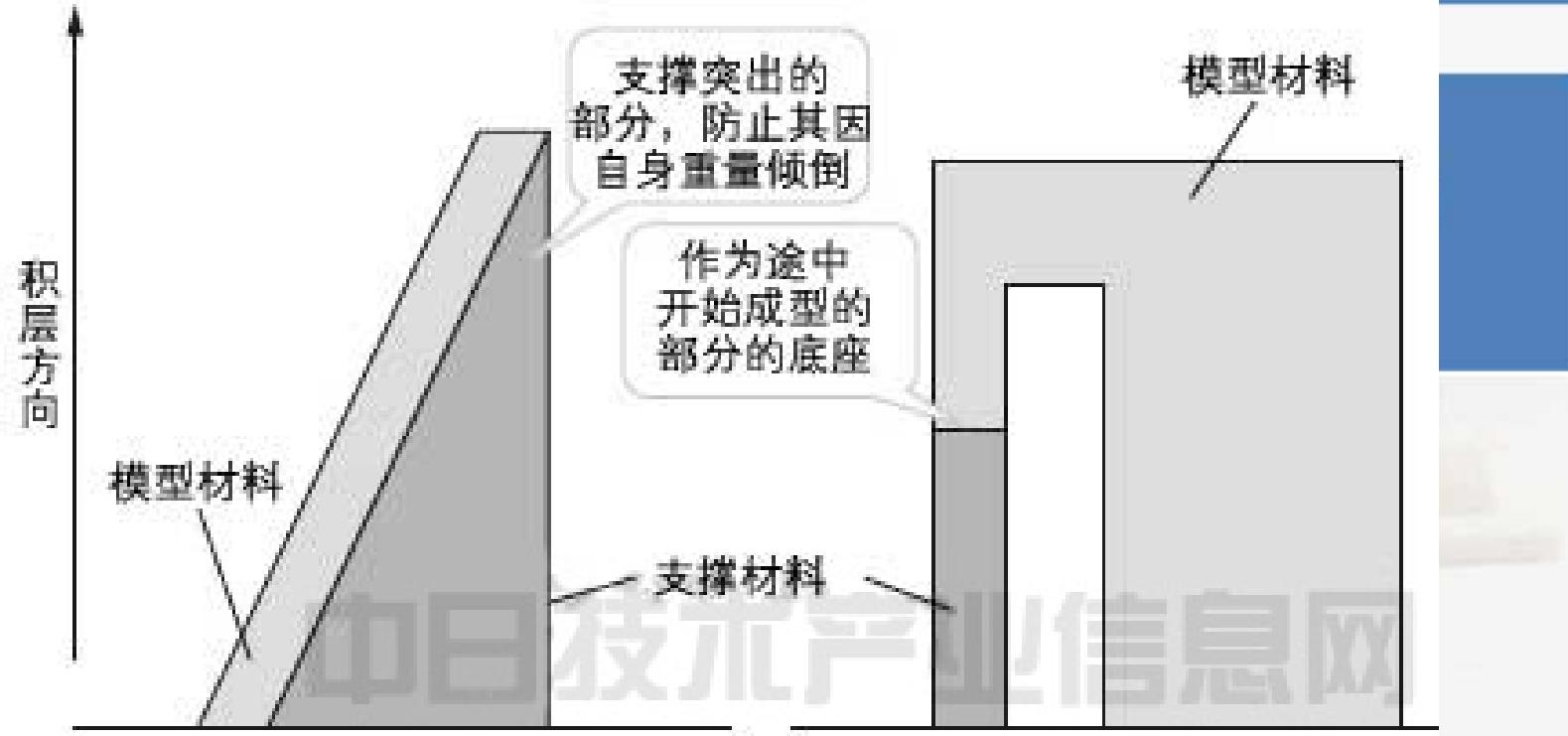
基本原理

离散

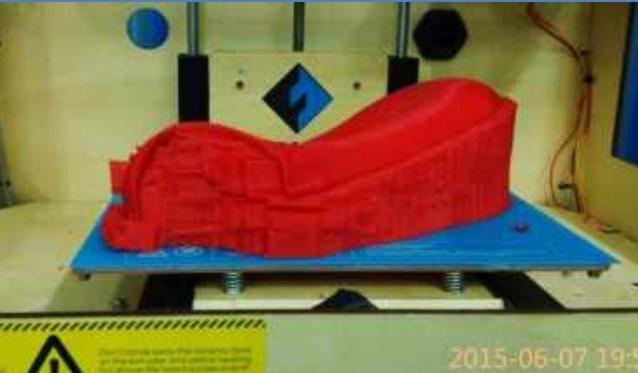
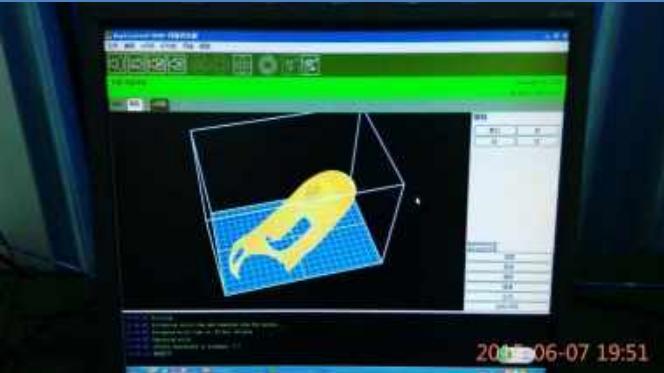
堆积



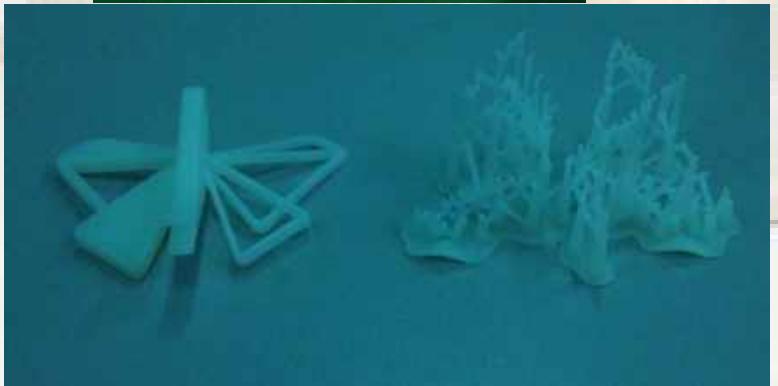
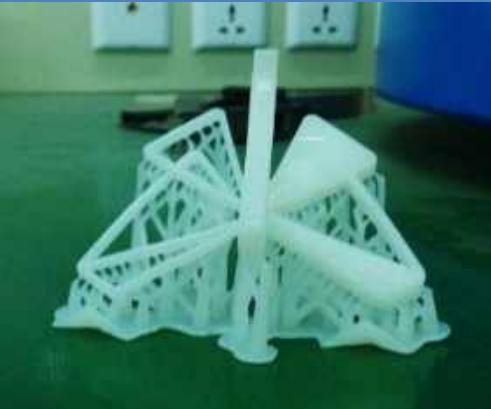
后处理



案例一



案例二





不同

- 快速成型
种基本
光烧结



五
女

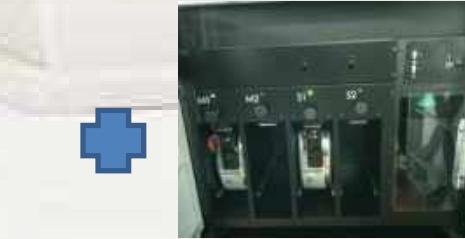
熔融挤压成型(FDM)



FDM设备

桌面级
准工业级

工业级



FDM优缺点

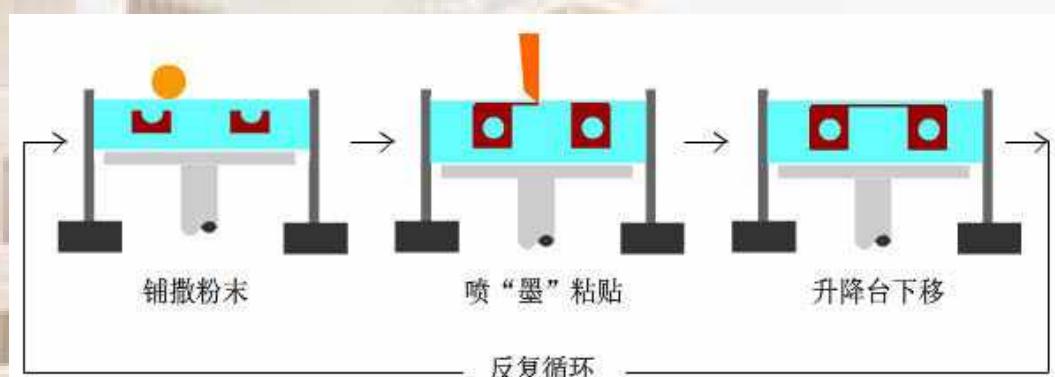


- ✓ 操作环境干净，安全
- ✓ 无须激光器，便宜
- ✓ 工艺简单
- ✓ 卷材，易于搬运及快速更换
- ✓ 多种材料可选



- ✗ 表面粗糙，不适合高精度应用
- ✗ 速度较慢
- ✗ 需浪费材料做支撑

三维打印黏结成型(3DP)





第六章 特种加工及材料成型新 工艺



一、注塑成形工艺





塑料概述

塑料概念：

以合成树脂或天然树脂为原料，在一定温度和压力条件下，可以用模具使其成型为具有一定形状和尺寸的塑料制件，当外力解除后，在常温下其形状保持不变。多数以合成树脂为基本成分，一般含有添加剂如：填料、稳定剂，增塑剂、色料或润化剂等。

塑料的特点：

比重小，比强度大；

耐腐蚀，耐磨，绝缘，减磨，消声，减震；

易成型，易复合等优良的综合性能。

易老化

耐热性差

刚性差

尺寸稳定性差

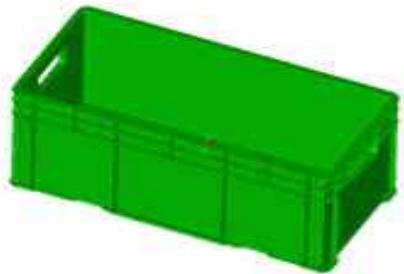
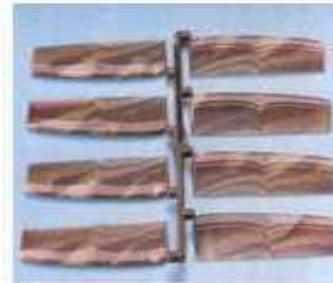


6.1. 2 注射成型过程

注射成型又称**注射模塑**或**注塑成型**，是热塑性塑料制品的一种主要成型方法。也用于少量的热固性塑料和橡胶制品的成形。

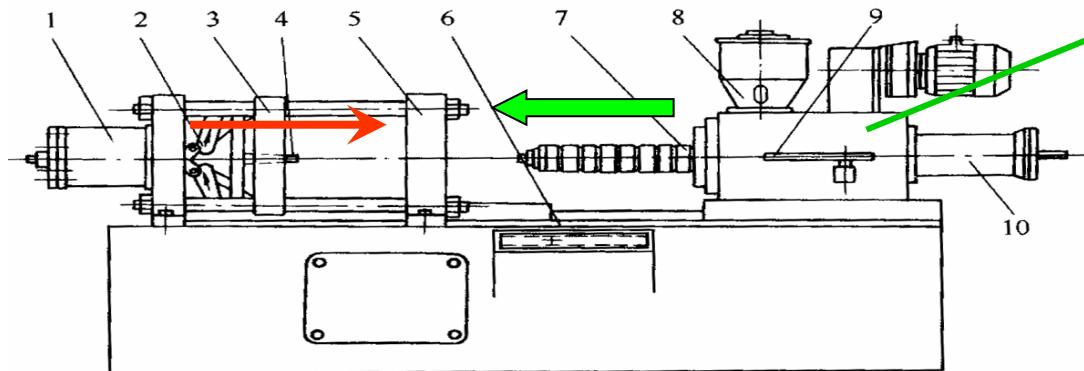
注射成型具有生产周期短，能一次成型外形复杂，尺寸精确和带有金属嵌件的塑料制品，生产效率高，易于实现自动化操作，加工适应性强等优点。

注射成型制品



注射成型设备

注塑机与模具



塑化-注射系统
合模-锁模系统
操作控制系统
其它：模温调节系
统、安全系统等

图 4-3 卧式注射机外形

1—锁模液压缸；2—锁模机构；3—动模板；4—推杆；5—定模板；
6—控制台；7—料筒及加热器；8—料斗；9—定量供料装置；10—注射缸

注射成型设备



卧式

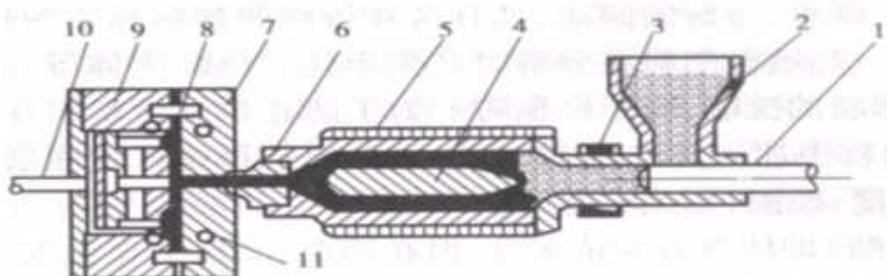


立式

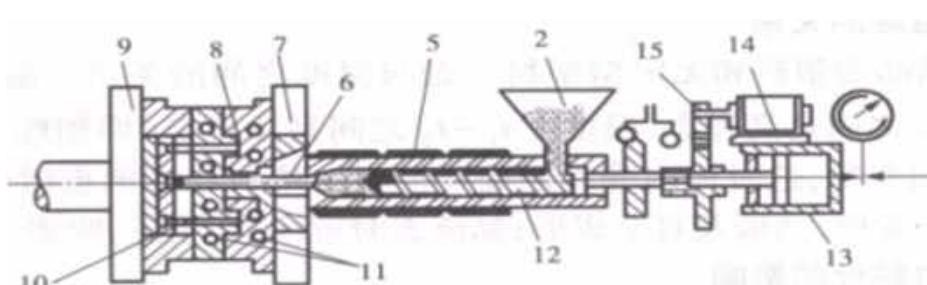
1) 注射成型原理及过程

注射成型原理

将粒状原料在注射机的料筒内加热熔融塑化，在柱塞或螺杆加压下，压缩熔融物料并向前移动，然后通过料筒前端的喷嘴以很高的速度注入温度较低的闭合模具内，冷却定型



(a) 柱塞式注射成形；

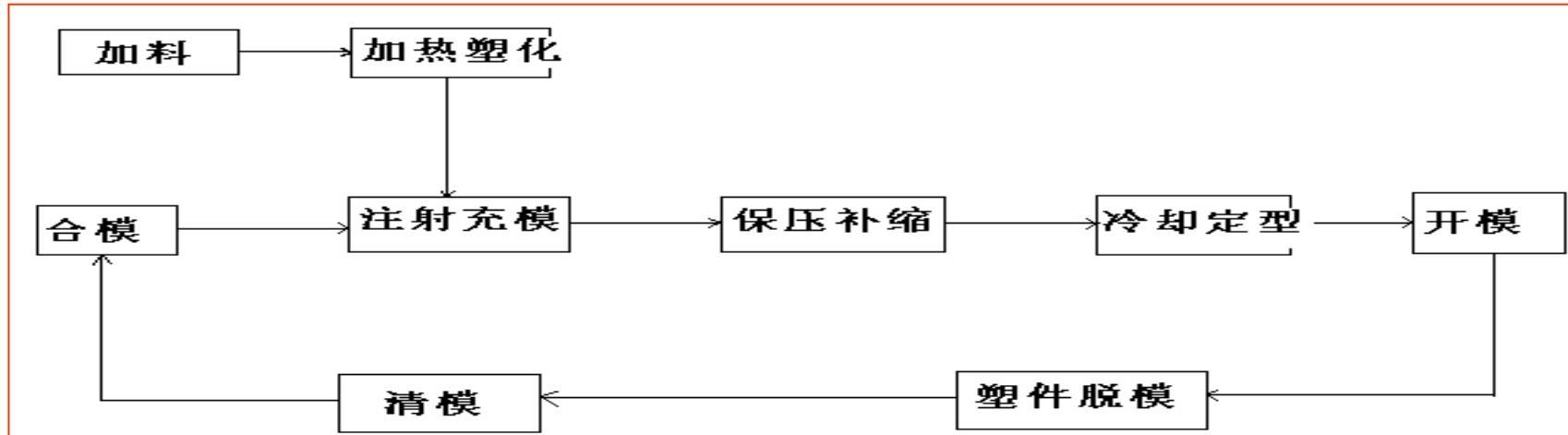


(b) 螺杆式注射成形

1—柱塞；2—料斗；3—冷却套；4—分流梭；5—加热器；6—喷嘴；7—固定模板；8—制品；
9—活动模板；10—顶出杆；11—冷却水；12—螺杆；13—油缸；14—马达；15—齿轮

注射成型工艺过程

注射成型过程分为加料、塑料熔融、注射、制品冷却和制品脱模等5个工序。



注射成型工艺主要参数

影响注射成型工艺过程的主要参数：

料筒温度：既要塑化，但不能分解

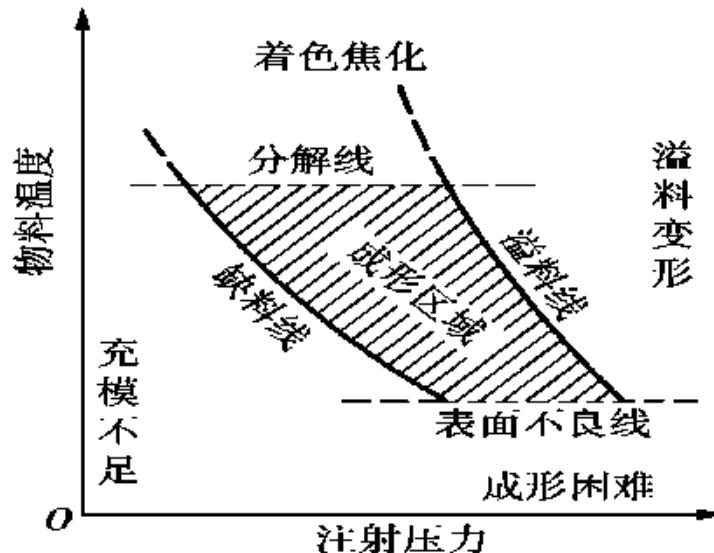
喷嘴温度：既不堵塞，又不流涎

模具温度：取决于塑料种类，粘度高，
流动性差，结晶速度快的，热模具。

注射压力：利于充型

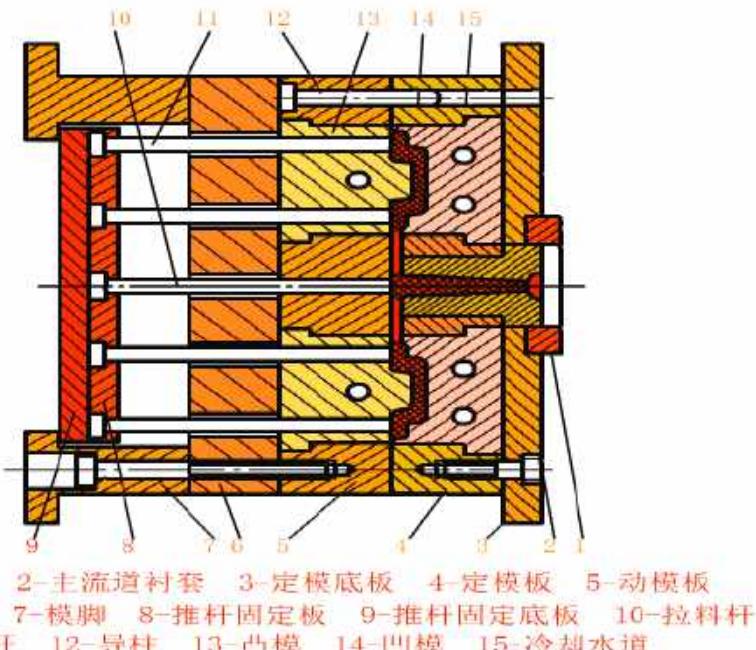
成型周期: 成型时间，短 变形

长 分解 →



2) 注射成型模具设计

(1) 注射成型模具结构



组成部分：
成型零部件
浇注系统
导向机构
脱模机构
分型抽芯机构
调温系统
排气系统
连接部分



2) 注射成型模具设计

① 成型零部件设计

成型零部件是构成模具型腔的零件。它包括凹模、凸模（型芯）、各种成型杆和成型环，是塑料模具的主要组成部分。

② 浇注系统

指模具中连接喷嘴和型腔的进料通道。普通浇注系统一般由四部分组成即主流道、分流道、浇口及冷料井。

③ 导向机构

合模导向作用为了使动模与定模在合模时能准确对中，以及防止推件板歪斜而设置的机构。导柱、导套



2) 注射成型模具设计

④ 抽芯机构

成型侧向凹凸形状的孔或凸台。侧向分型抽芯机构类型很多，按动力分为手动、液压（气压）和机动三类。

⑤ 顶出机构

结构组成：推板、推杆固定板、推杆、拉料杆等。

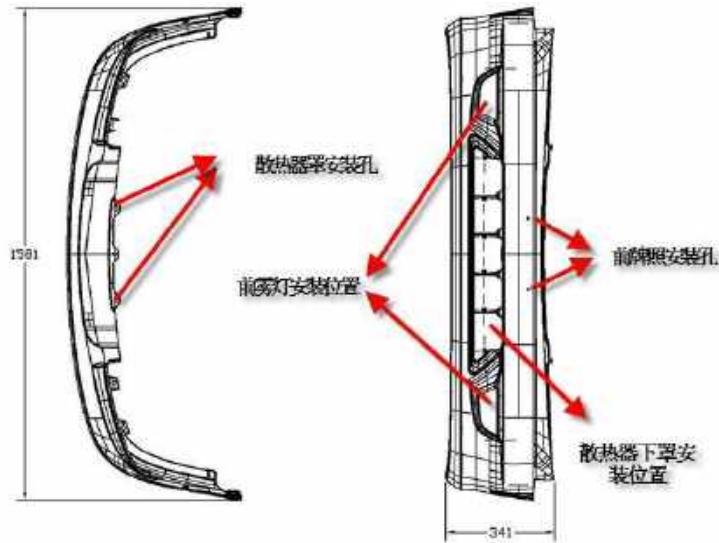
⑥ 调温系统

为了满足注射成形过程对模具温度的要求，注射模设有冷却或加热系统。

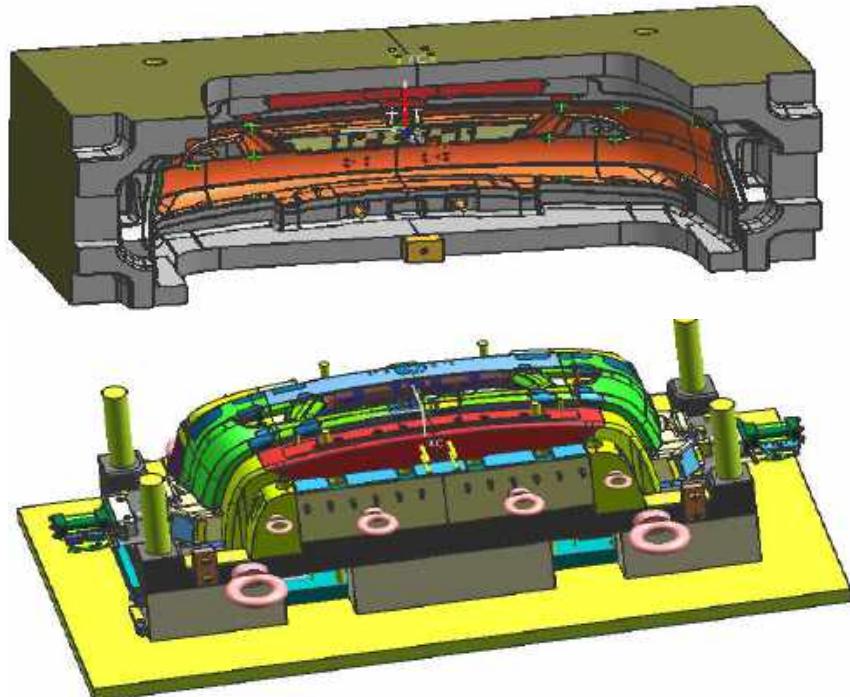
⑦ 排气系统

为了将模腔内的气体顺利排出，在模具分型面处开设排气槽或利用模具的推杆或型芯与模板的配合间隙排气。

实例



轿车保险杠整体图尺寸





二、粉末冶金成形工艺

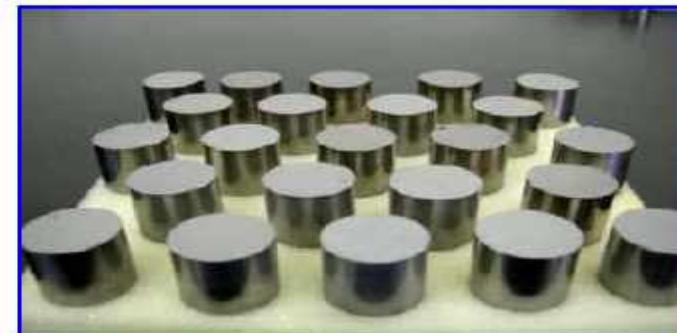
粉末压制（这里主要指粉末冶金）是用金属粉末（或者金属和非金属粉末的混合物）做原料，经压制而成形后烧结而制造各种类型的零件和产品的方法。

颗粒状材料兼有液体和固体的双重特性，即整体具有一定的流动性和每个颗粒本身的塑性，人们正是利用这特性来实现粉末的成形，以获得所需的产品。

4.1 粉末压制而成形过程



待压粉末



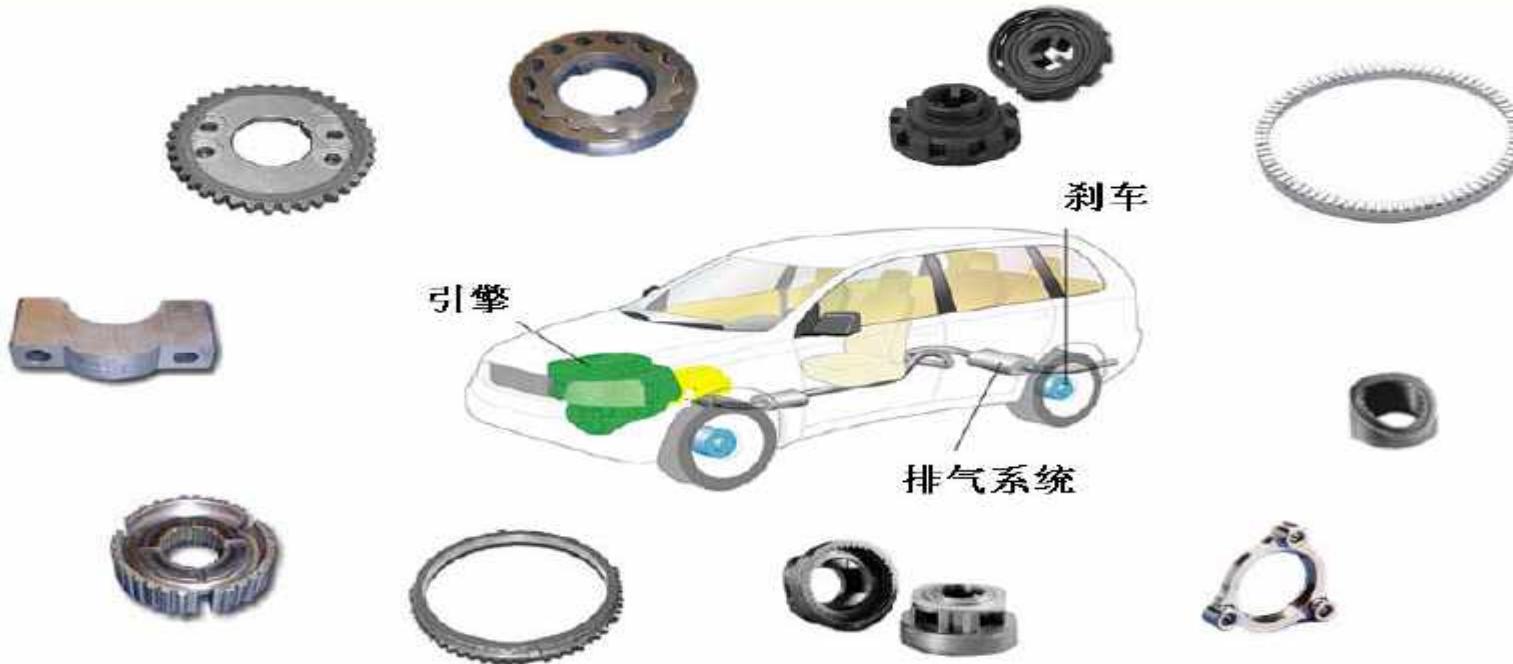
能保持形状的坯体

压制成型

粉末压制零件



粉末压制零件



粉末压制零件



开辟了研制新材料
和新产品的途径



制造具有独特性能的材料和制品

粉末压制零件



用其他方法难以成形的精密零件



用其他方法难以成形的
高熔点材料 (钨丝)



粉末压制的特点

- ①能够生产出其他方法不能或很难制造的制品。可制取难熔、极硬和特殊性能的材料，例如：钨丝、硬质合金、磁性材料、高温耐热材料等；又能生产净形和近似净形加工的优质机械零件，如：多孔含油轴承、精密齿轮、摆线泵内外转子、活塞环等。
- ②材料的利用率很高，接近100%。
- ③虽然用其他方法也可以制造，但用粉末冶金法更为经济。
- ④一般说来，金属粉末的价格较高，粉末冶金的设备和模具投资较大，零件几何形状受一定限制，因此粉末冶金适宜于大批量生产的零件。

粉末压制生产技术流程



原材料粉末+添加剂→配混→压制成形
→烧结→制品/其他处理加工→制品



4.1.1 金属粉末的制取及其特性

一、金属粉末的制取

金属粉末的生产有多种方法，其中主要有：矿物还原法，雾化法，机械粉碎法等。

1) 矿物还原法

矿物还原法是金属矿石被还原后得到海绵状金属料，金属料粉碎后获得粉末。



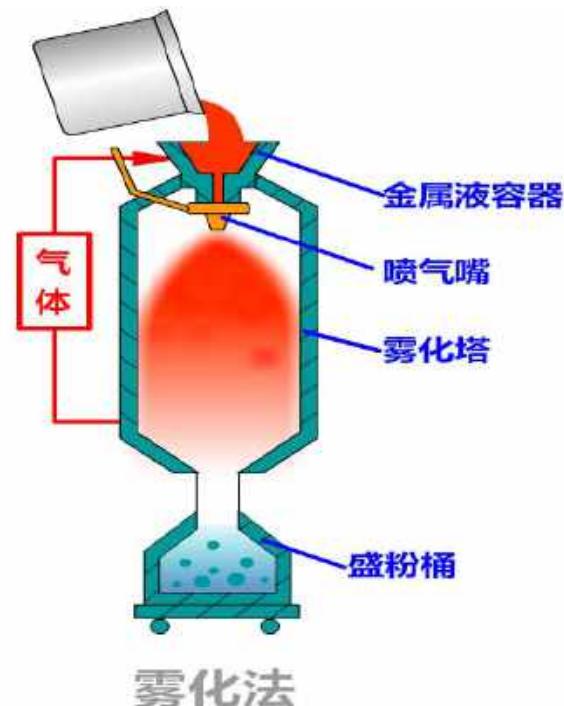
2) 电解法

电解法是采用金属盐的水溶液或熔盐电解析出金属颗粒或海绵状金属块，再用机械法进行粉碎。

金属粉末制备方法

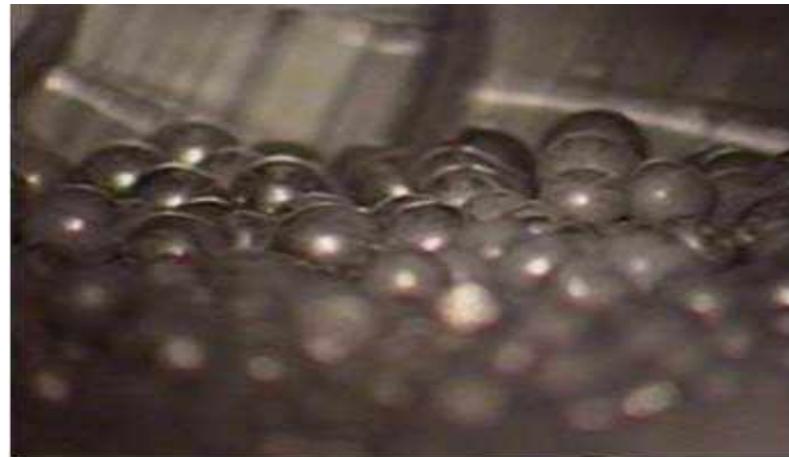
3) 雾化法

雾化法是使熔化的液态金属从雾化塔上部的小孔中流出，同时喷入高压气体，在气流的机械力和急冷作用下，液态金属被雾化，冷凝成细小粒状的金属粉末，落入雾化塔下的盛粉桶中。



4) 机械粉碎法

机械破碎法中最常用的是钢球或硬质合金球对金属块或粒原料进行球磨，适宜于制备一些脆性的金属粉末，或者经过脆性化处理的金属粉末（如经过氢化处理变脆的钛粉）。



机械粉碎法制粉（球磨）



一些重要的金属粉末生产方法

金属粉末	生产方法	金属粉末	生产方法
铁	还原法、水雾化法、空气雾化法、研磨法	铍	研磨法、还原法、电解法
铜、镍	电解法、雾化法、还原法	银	电解法、沉淀法
钨、钼、钒、钴	还原法	硅	研磨法
钛、锆、钽	还原法、电解法	铝	雾化法、研磨法
铌、钍、铬、锰	电解法、还原法	锌、锡、铅	雾化法



压制而成形

1) 目的:

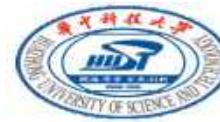
将松散的粉料通过压制或其它方法制成具有一定形状, 尺寸的压坯。

2) 压制成形过程:

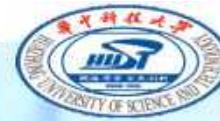
称粉 → 装粉 → 压制 → 保压 → 脱模

3) 成形机理:

装入模具型腔内的金属粉料在 $150 \sim 1600 \text{ MN/m}^2$ 成形压
力作用下, 粉粒之间的原子通过固相扩散互相渗透促进粉粒的
结合。



称量一个压坯所需粉料



检验压坯重量和尺寸，保证压坯质量



压制成形方法

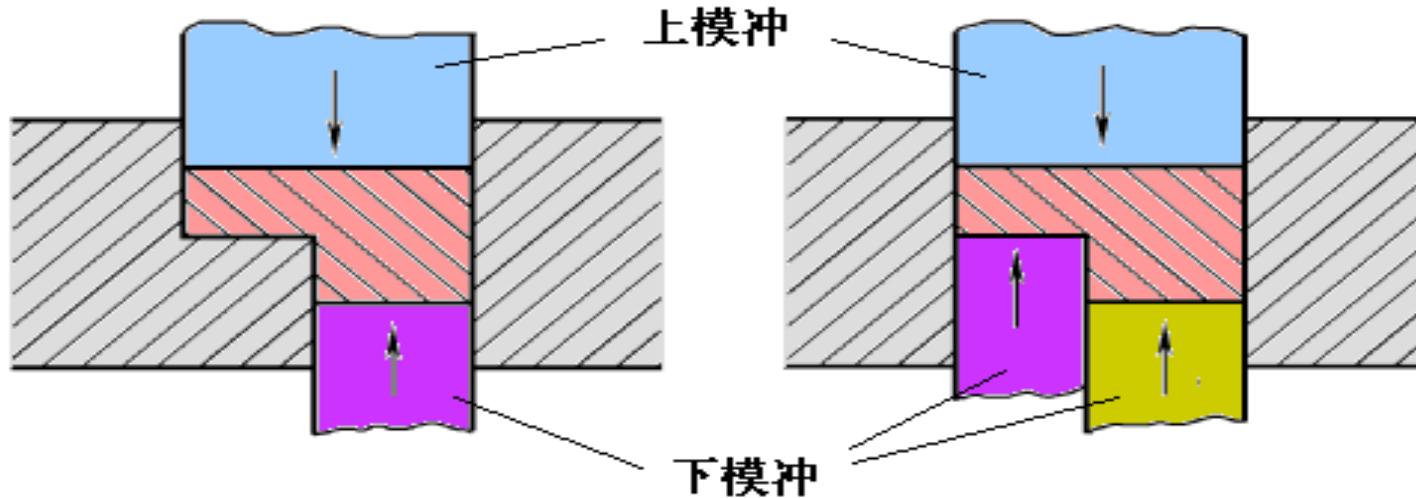
压制成形的方法有很多，如钢模压制、流体等静压制、三向压制、粉末锻造、挤压、振动压制、高能率成形等，常用的有：

指在常温下，用机械式压力机或液压机，以一定的比压（压力常在150~160 MPa）将钢模内的松装粉未成形为压坯的方法。这种成形技术方法应用最多且最广泛。



钢模压制成形

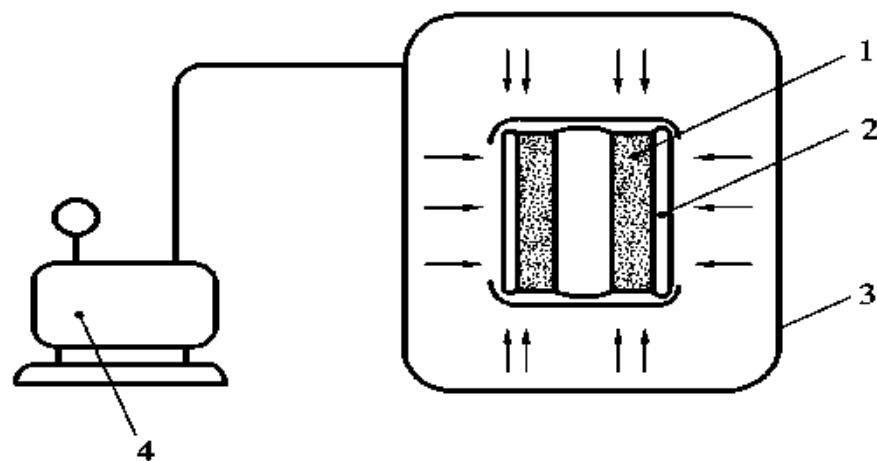
1) 钢模压制



梯形件采用多模冲同时压制，提高压坯密度均匀性

2) 流体等静压制

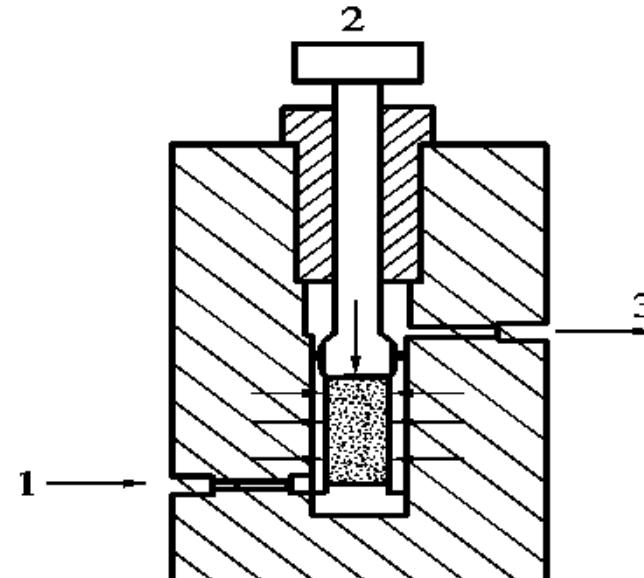
它是利用高压流体（液体或气体）同时从各个方向对粉末材料施加压力而成形的方法。



- 1—工件；
- 2—橡胶或塑料模；
- 3—高压容器；
- 4—高压泵

3) 三向压制

这种方法得到的压坯密度和强度超过用其他成形方法得到的压坯。但它适用于成形形状规则的零件，如圆柱形、正方形、长方形、套筒等。



1—侧向压力；2—轴向冲头；3—放气孔

综合了单向钢模压制与等静压制的特点



3) 三向压制

另外，可利用挤压与轧制直接从粉末状态生产挤压制品或轧制产品，如杆件、棒料、薄板、构件等。根据材料和性能要求的不同，可选择不同的加热及加工顺序。目前，这个生产领域发展较快。

通常一个理想的零件，其各个部位都必须具有均匀的密度分配。在粉末冶金中，粉末压制成形的主要问题是如何使成形的压坯密度均匀，它不仅标志着压制对粉末密实的有效程度，且可决定随后烧结时材料的形状。



压坯烧结机理

3) 烧结机理

粉末压坯的表面积大，表面能高，表面与内部的各种缺陷多，处于不稳定状态。

在烧结过程中，高温坯料颗粒之间易于发生扩散、熔焊、化合、溶解和再结晶等物理化学过程。使分散的坯料颗粒结合成为一个稳定、坚实的结晶体、**即烧结**。最终获得所需要的性能。



烧结



机械制造技术基础

机械加工工艺规程（一）

华中科技大学机械学院



7.1 概述 7.1.1 生产过程与工艺过程

● 机械制造工艺过程

生产过程：是指从产品投产前一系列生产技术组织工作开始，直到把合格产品生产出来的全部过程。

工艺过程：机械制造中与产品生成直接有关的生产过程常被称为机械制造工艺过程

工艺过程亦称“工艺技术过程”。工业企业劳动过程的主要组成部分。即工人利用劳动工具，作用于劳动对象，使之成为预期产品的过程。例如，机械制造的铸造、锻造、冲压、车、钳、刨、铣等机械加工以及热处理、切割、焊接、电镀、装配、油漆等过程。采用合理的工艺过程有利于保证产品质量、提高劳动生产率、降低产品成本和提高经济效益。

7.1.2 工艺过程的组成

机械加工工艺过程是由一系列**工序**组成的。

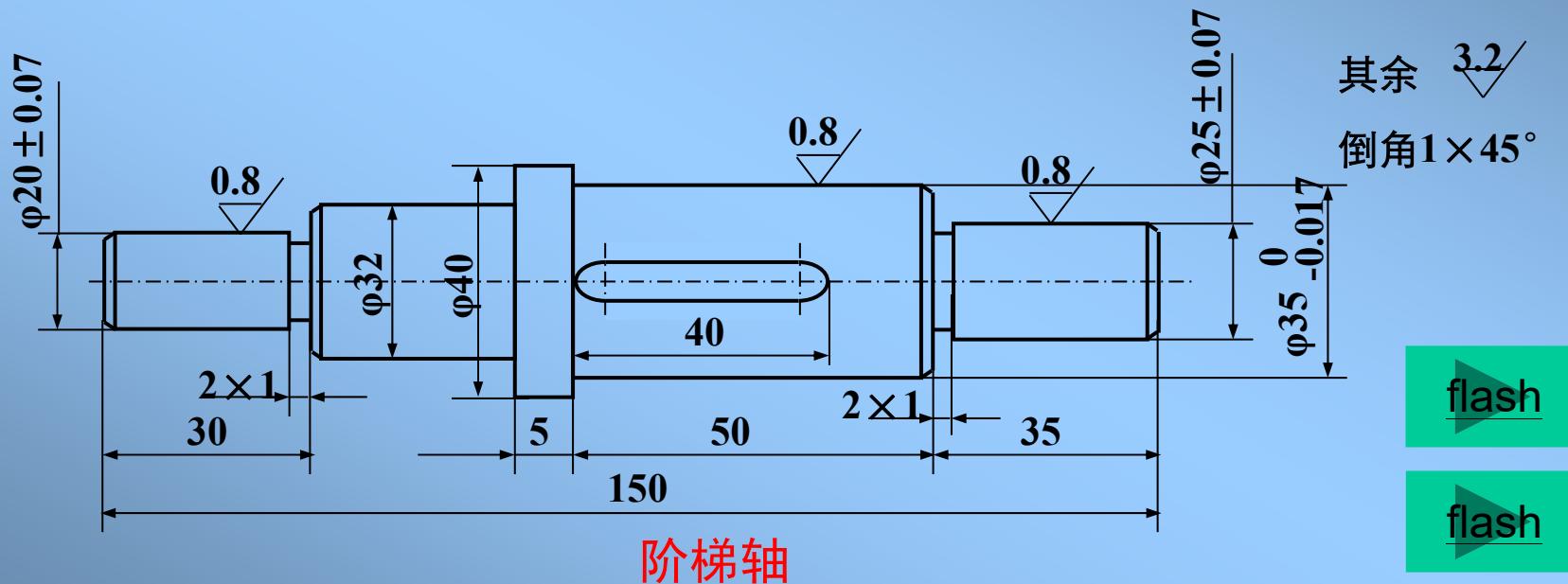
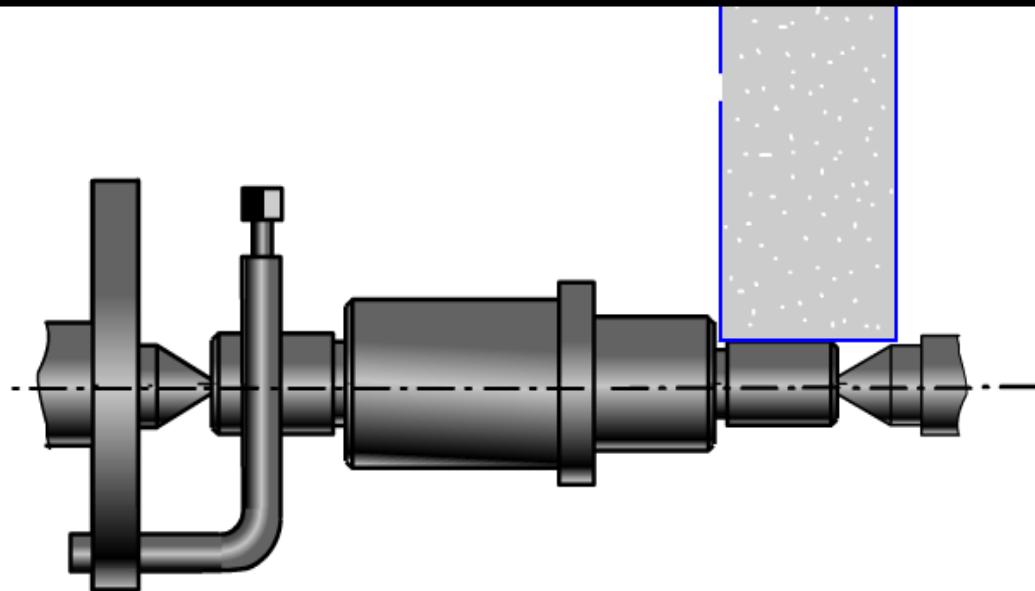




表2.1 阶梯轴单件生产工艺过程

工序号	工序名称和内容	设备
1	车端面, 打中心孔, 车外圆, 切退刀槽, 倒角	车床
2	铣键槽	铣床
3	磨外圆	磨床
4	去毛刺	钳工台



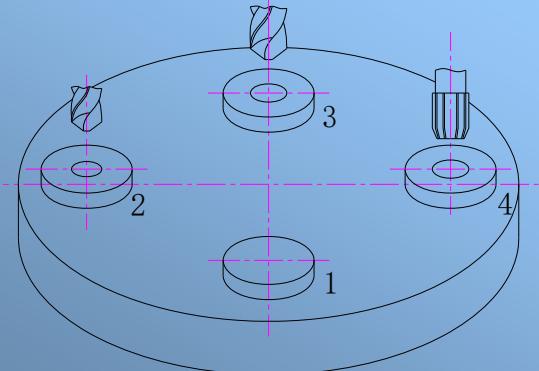
7.1.2 工艺过程的组成

➤ **工序**——是指由一个或一组工人在同一台机床或同一个工作地，对一个或同时对几个工件所连续完成的那一部分机械加工工艺过程。

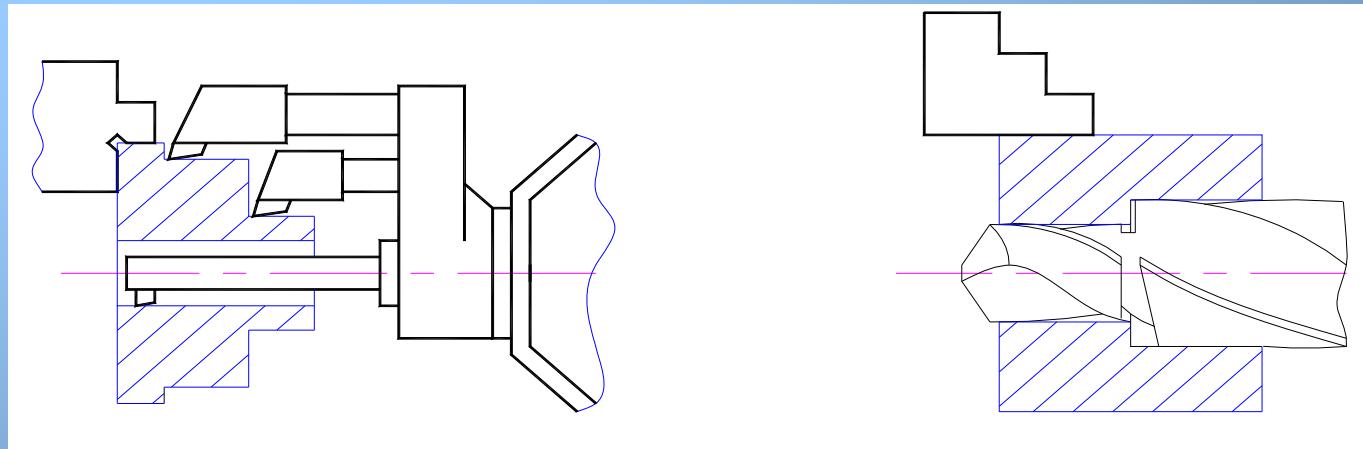
在车床上加工的内容、在铣床上加工的内容 能安排在一道工序中？

➤ **安装**——在一道工序中，工件每经一次装夹后所完成的那部分工序称为安装。

➤ **工位**——工件在机床上占据每一个位置所完成的那部分工序称为工位。



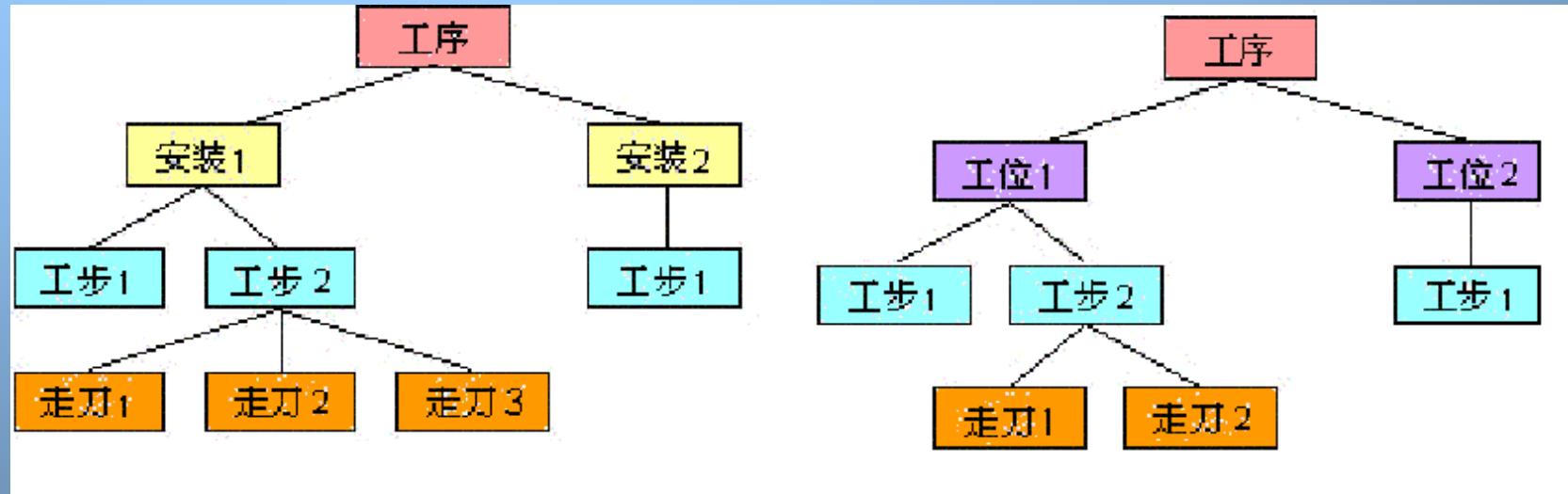
➤ **工步**——指在加工表面不变、切削刀具不变的情况下所连续完成的那部分工序。（在一个工步内，若有几把刀具同时加工几个不同表面，称此工步为复合工步）



a) 立轴转塔车床的一个复合工步 b) 钻孔、扩孔复合工步
复合工步

➤ **走刀**——同一加工表面加工余量较大，可以分作几次工作进给，每次工作进给所完成的工步称为一次走刀。

工序、安装、工位、工步和走刀之间的关系如下：



7.1.3 生产纲领、生产类型及其工艺特征

1. 生产纲领

生产纲领是指企业在计划期内应当生产的产品产量和进度计划。计划期通常为1年，所以生产纲领也称产品的年生产量。

零件的生产纲领要计入备品及废品的数量，一般按下式计算：

$$N = Q n (1+\alpha)(1+\beta)$$

式中： N —— 零件年产量，单位

Q —— 产品的年产量，单位为台 / 年；

n —— 每台产品中，该零件的数量，单位为件 / 台；

α —— 备品的百分率（%）；

β —— 废品的百分率（%）；

7.1.3 生产纲领、生产类型及其工艺特征

2. 生产类型

根据生产纲领、产品的复杂程度和质量的大小，生产类型可分为大量生产、成批生产（根据批量的大小又可分为大批、中批与小批生产）和单件生产三种类型。

1) **单件生产** 单件生产的基本特点是生产的产品品种繁多，每种产品仅制造一个或少数几个，很少再重复生产。

2) **成批生产** 一年中分批轮流地制造几种不同的产品，每种产品均有一定的数量，工作地的加工对象周期性地重复。

3) **大量生产** 产品的数量很大，大多数工作地按照一定的生产节拍进行某种零件的某道工序的重复加工。

7.1.3 生产纲领、生产类型及其工艺特征

按批量的多少，成批生产又可分为小批、中批和大批生产三种。在工艺上，小批生产和单件生产相似，常合称为单件小批生产，大批生产和大量生产相似，常合称为大批大量生产。

特点	单件、小批生产	成批生产	大批、大量生产
加工对象	经常换，不固定	周期性更换	固定不变
零件互换性	配对制造，无互换性	普遍具有互换性，一般不用试配	全部互换，某些高精度配合件采用分组装配、配研或配磨
毛坯制造与加工余量	木模手工造型或自由锻造，毛坯精度低，加工余量大	部分用金属模或模锻，毛坯精度及加工余量中等	广泛采用金属模机器造型、精密铸造、模锻或其它高效成型方法

特点	单件、小批生产	成批生产	大批、大量生产
机床设备及布置	通用设备，极少用数控机床，按机群布置	通用机床及部分高效专用机床和数控机床等，按零件类别分工段布置	广泛采用高效专用机床或自动机床，按流水线排列或采用自动线
夹具与安装	多用通用夹具，通常用划线找正	广泛使用专用夹具，部分用划线找正	能的专用夹具广泛使用高效
尺寸获得方法	试切法	调整法	调整法及自动化
刀具与量具	多用通用刀具与万能量具	较多采用专用夹具与量具	广泛使用高效能的专用刀具与量具
对工人的技术要求	熟练	中等熟练	对操作工人一般要求，调整工人技术要求较高
工艺规程	有简单的工艺路线卡	有工艺规程，对关键工序有详细的工艺规程	有详细的工艺规程
生产率	低	中	高
成本	高	中	低

7.2 安装与定位

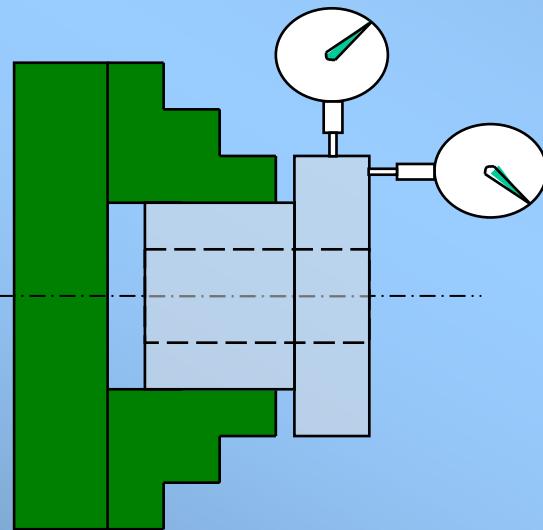
7.2.1 工件的安装与基准

● 安装的含义 安装又称装夹，包括定位和夹紧两项内容。

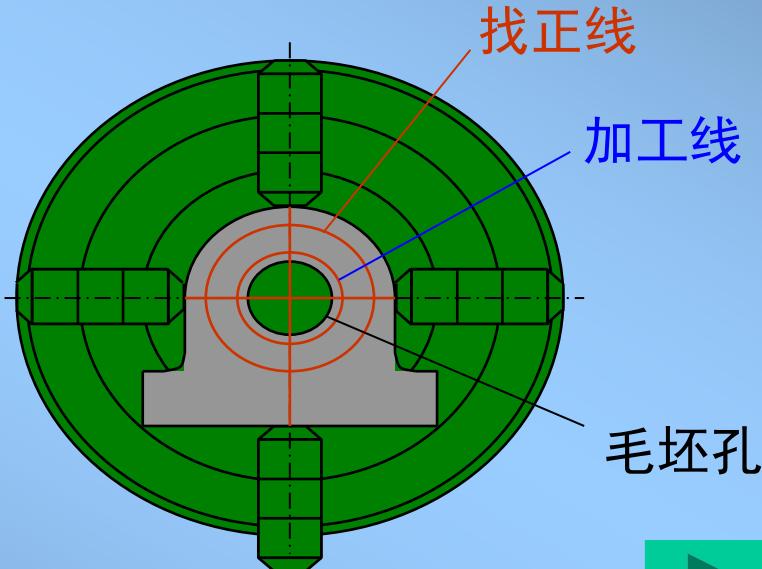
- 定位 —— 使工件在机床或夹具上占有正确位置
- 夹紧 —— 对工件施加一定的外力，使其已确定的位置在加工过程中保持不变

● 工件装夹方法

- 直接找正装夹 —— 精度高，效率低，对工人技术水平要求高
- 划线找正装夹 —— 精度不高，效率低，多用于形状复杂的铸件
- 夹具装夹 —— 精度和效率均高，广泛采用



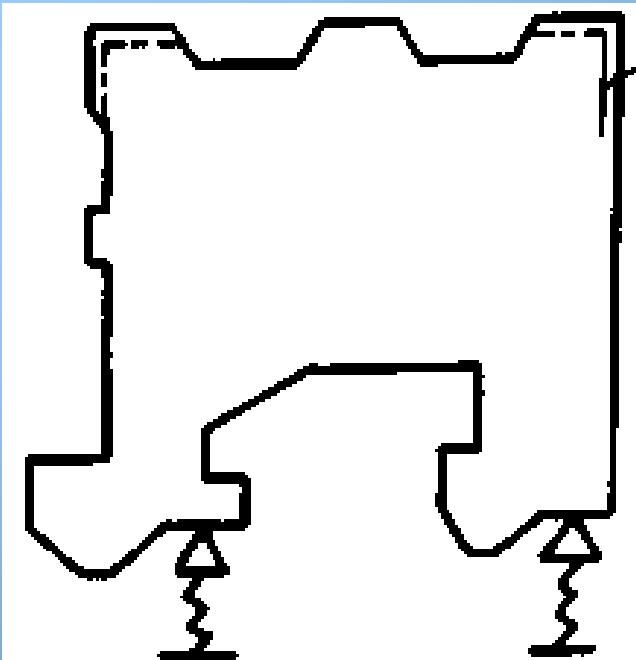
直接找正安装

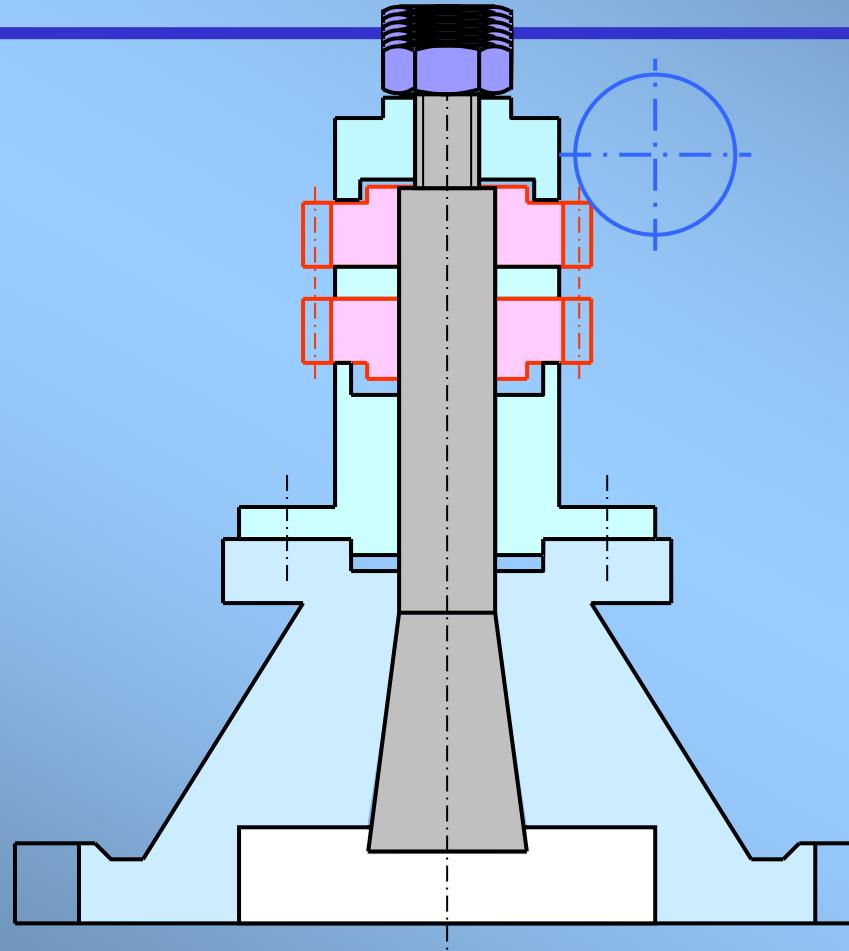


划线找正安装



接线找正





● 基准及其分类

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

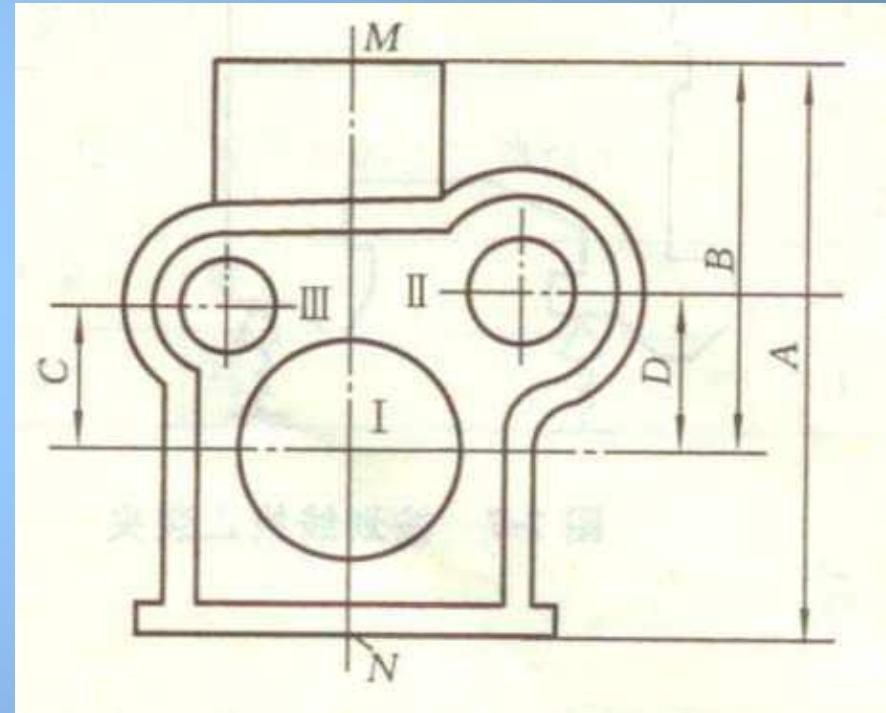
基准就是“依据”的意思。在零件工作图或实际零件上，总要依据一些指定的点、线、面，来确定另一些点、线、面的位置。

➤设计基准

在设计图样时，用以确定其他点、线、面位置的基准称为设计基准。即零件图纸上标注尺寸的起点，或中心线、对称线、圆心等。

平面N和孔I的位置根据平面M决定。

孔II和孔III的位置根据孔I的中心线决定。



► 制造基准

(a) 工序基准 (也称为原始基准)

是在工序简图上用来确定本工序加工表面加工后的尺寸、形状、位置的基准。

工序尺寸的起点也是工序基准。

图(a)中： B面及轴线0-0是E及F的工序基准，尺寸a及 ϕF 是工序尺寸。

图(b)中E面和轴线0-0是D及C的工序基准, 而尺寸b及 ϕC 是工序尺寸。

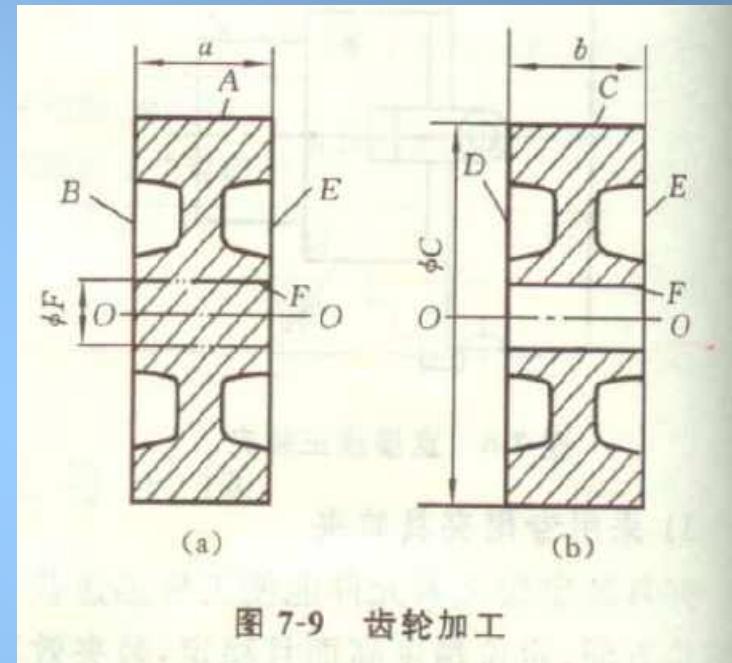


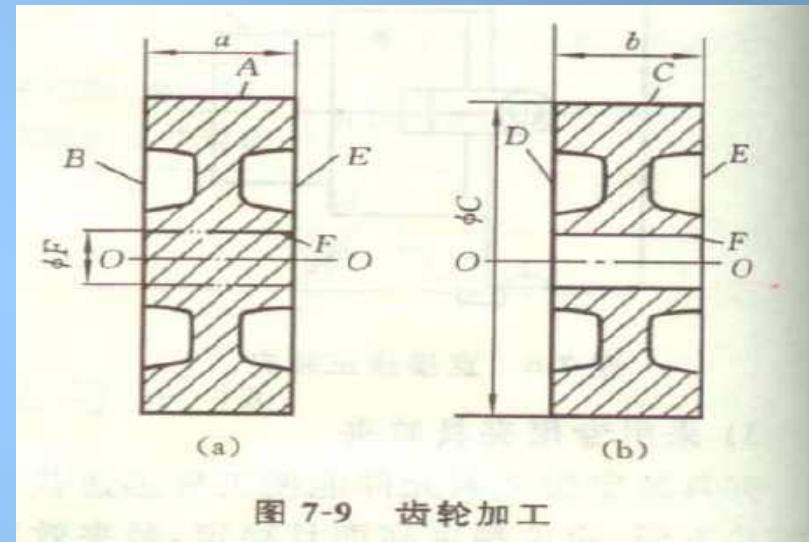
图 7-9 齿轮加工

(b) 定位基准

定位基准用以确定工件在机床或夹具上的正确位置。

图(a)中B面及外圆柱面A是E及F的定位基准。

图(b)中E面和内孔面F是D及C的定位基准。



(c) 测量基准

用于检验已加工表面的尺寸及各表面之间位置精度的基准，称为测量基准。

如右图所示，利用锥度心轴检验齿轮外圆和两个端面相对孔轴线的圆跳动时，孔的轴线即为度量基准。

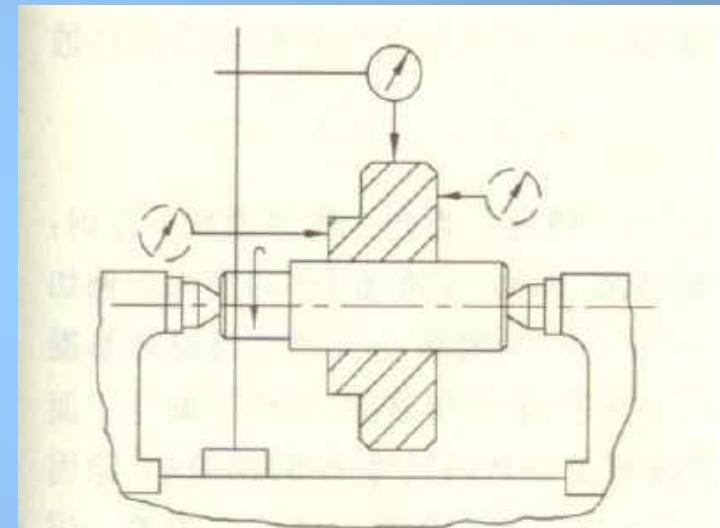


图 9-12 齿轮坯圆跳动检验

(d) 装配基准

在机器装配中，用于确定零件或部件在机器中正确位置的基准。

如图所示轴套，其孔以一定的配合精度安装在轴上决定其径向位置，并以端面A紧贴轴肩决定其轴向位置，轴套孔的轴线和该端面即为装配基准。

必须指出，作为定位基准的点或线，总是以具体表面来体现的，这种表面就称为基面。

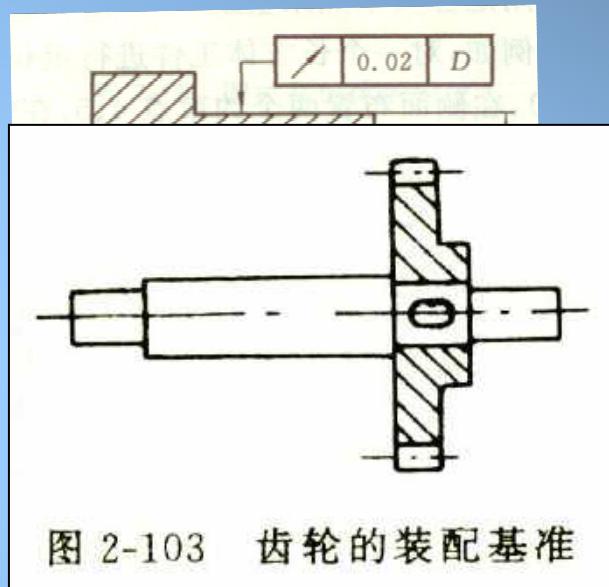


图 2-103 齿轮的装配基准

图 7-11 轴套的装配基准

获得尺寸精度的方法有如下几种：

- **试切法：**试切、测量、调整、试切。主要适用于单件小批生产。
- **调整法：**加工前调整好刀具和工件的位置，加工中保持不变。适于成批大量生产。零件的相互位置精度主要由机床精度、夹具精度和零件装夹精度保证。
- **定尺寸刀具法：**
- **自动控制法：**

7.2.2 工件在夹具中的定位

1. 定位与夹紧（大批量生产类型，调整法加工）

工件在夹具中定位就是要确定工件与夹具定位元件的相对位置，并通过导引元件或对刀装置来保证工件与刀具之间的相对位置，从而满足加工精度的要求。

在工件定位以后，为了使工件在切削力等作用下能保持既定的位置不变，通常还需要夹紧工件，将工件紧固。

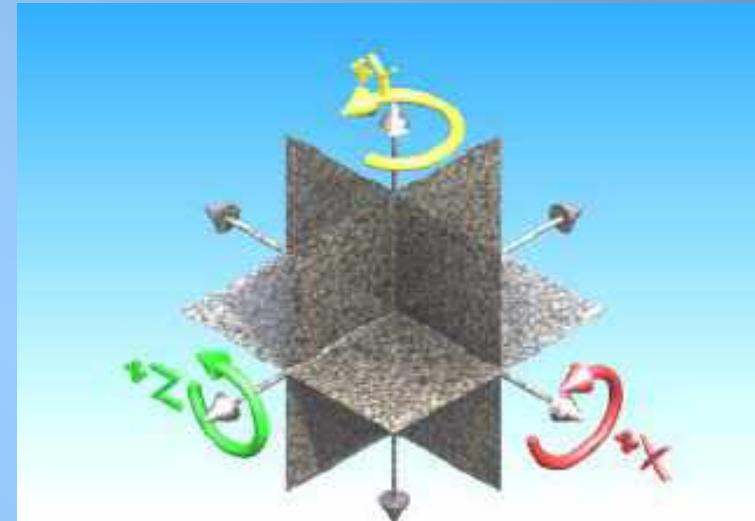
不能将单纯的夹紧，工件不能动了，认作定位。

有些机构能使工件的定位与夹紧同时完成，如三爪自定心卡盘。

7.2.2 工件在夹具中的定位

2. 工件定位的基本原理

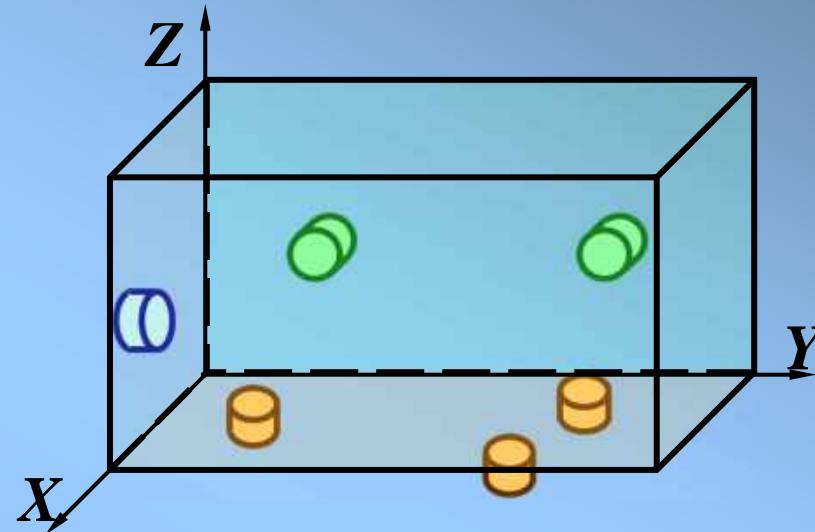
- 工件空间位置的这种不确定性可用自由度(或不定度)来描述。
- 工件有六个自由度。
- 要使工件在某方向有确定的位置，就必须限制该方向的自由度。
- 当工件的六个自由度均被限制后，工件在空间的位置就唯一地被确定下来。



2. 工件定位的基本原理

➤在夹具中，限制工件的自由度可用定位支承点来实现，一个定位支承点限制一个自由度。

➤工件定位时，用合理分布的六个支承点与工件的定位基准相接触来限制工件的六个自由度，使工件的位置完全确定，称为“六点定则”。



六点定位原理

六点定则是工件定位的基本法则，用于实际生产时，起支承作用的是一定形状的几何体，这些用来限制工件自由度的几何体就是定位元件。



六点定位原理

7.2.2 工件在夹具中的定位

在实际定位中，定位支承点并不一定就是一个真正的点，也可能是一线段或一小面积；所以，通常所说“几点定位”仅是指某种定位中数个定位支承点的综合结果。

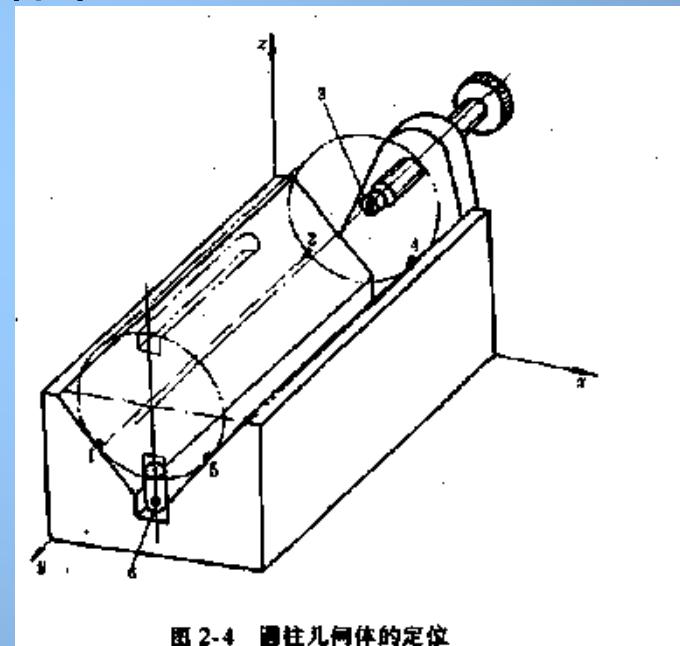
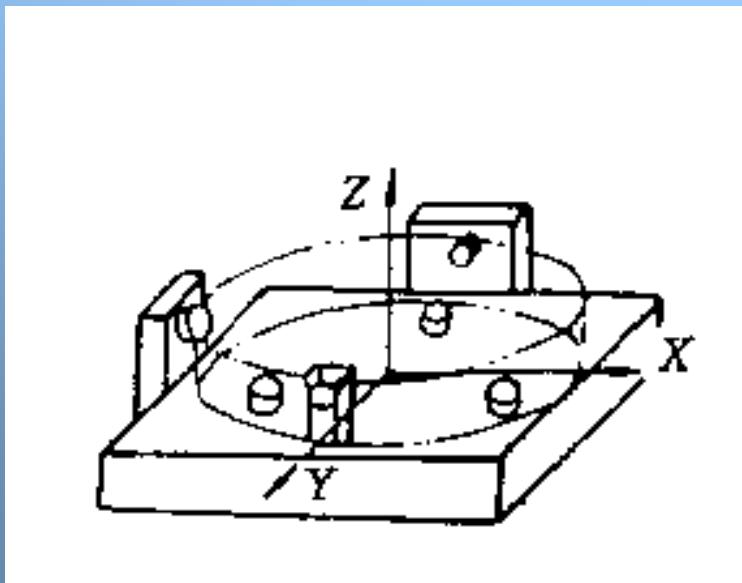
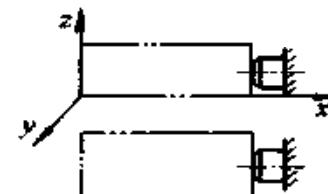
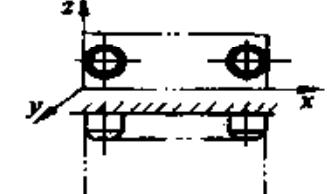
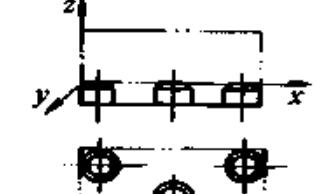
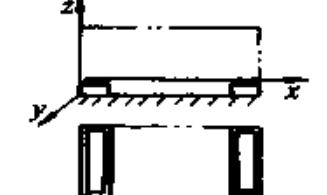
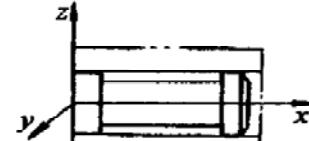
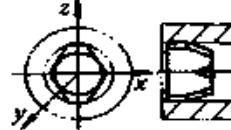
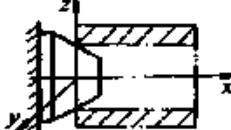
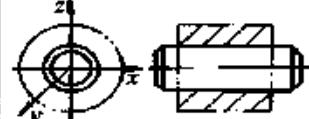
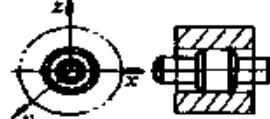
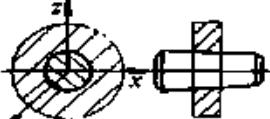


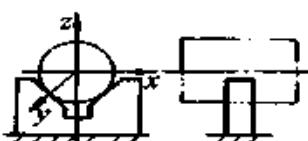
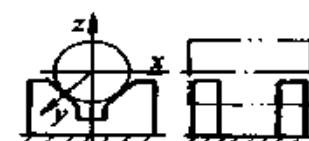
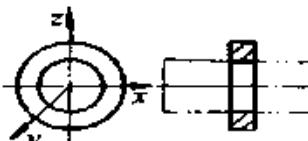
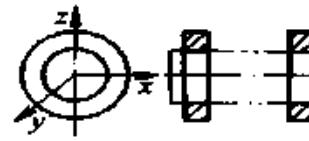
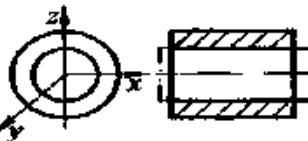
图 2-4 圆柱几何体的定位

表 3-4 工件的典型定位方式

工件的定位面	夹具的定位元件				
	定位情况	1个支承钉	2个支承钉	3个支承钉	
平面	支承钉	图示			
		限制的自由度			
平面	支承板	定位情况	一块条形支承板	两块条形支承板	一块矩形支承板
		图示			
		限制的自由度			

圆孔	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			

工件的定位面	夹具的定位元件			
圆柱销	定位情况	菱形销	长销小平面组合	
	图示			
	限制的自由度	$\overbrace{\text{z}}$	$\overbrace{\text{x}} \overbrace{\text{y}} \overbrace{\text{z}} \overbrace{\text{y}} \overbrace{\text{z}}$	
圆锥销	定位情况	固定锥销	浮动锥销	
	图示			
	限制的自由度			
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			

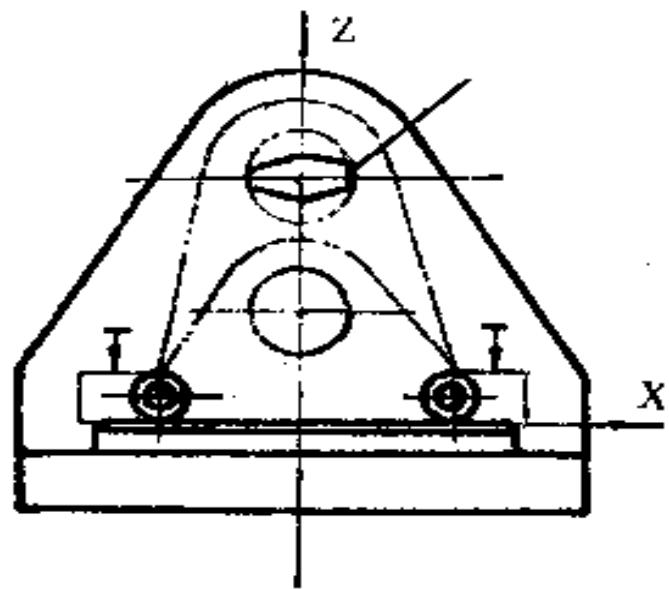
外圆柱面	V形块	定位情况	一块短V形块	两块短V形块	一块长V形块	
		图示				
		限制的自由度	限制的自由度			
	定位套	定位情况	一个短定位套	两个短定位套	一个长定位套	
		图示				
		限制的自由度	限制的自由度			

工件的
定位面

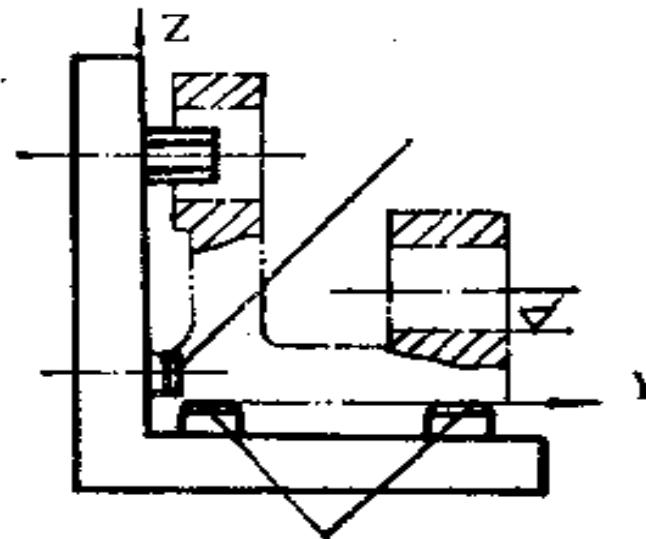
夹具的定位元件

圆 锥 孔	锥顶尖和锥度心	定位情况	固定顶尖	浮动顶尖	锥度心轴
		图示			
		限制的自由度	\rightarrow \rightarrow \nwarrow x y z	\rightarrow \nwarrow y z	\rightarrow \rightarrow \rightarrow \nwarrow \nwarrow x y z





(k)

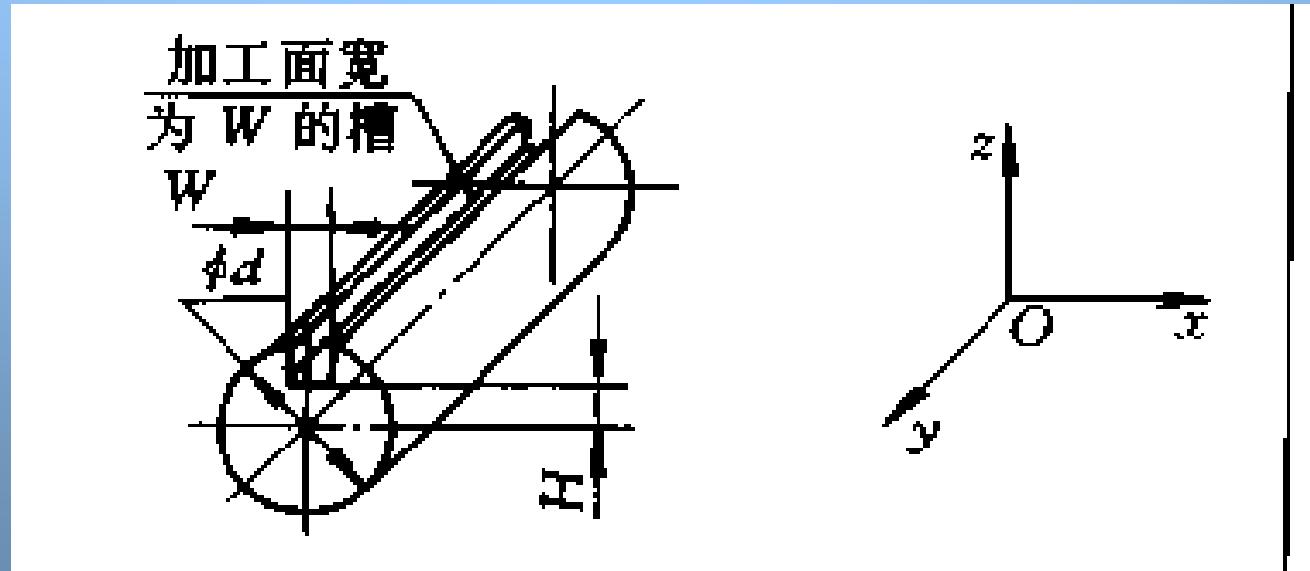


完全定位

7.2.2 工件在夹具中的定位

3、限制工件自由度与加工技术要求的关系

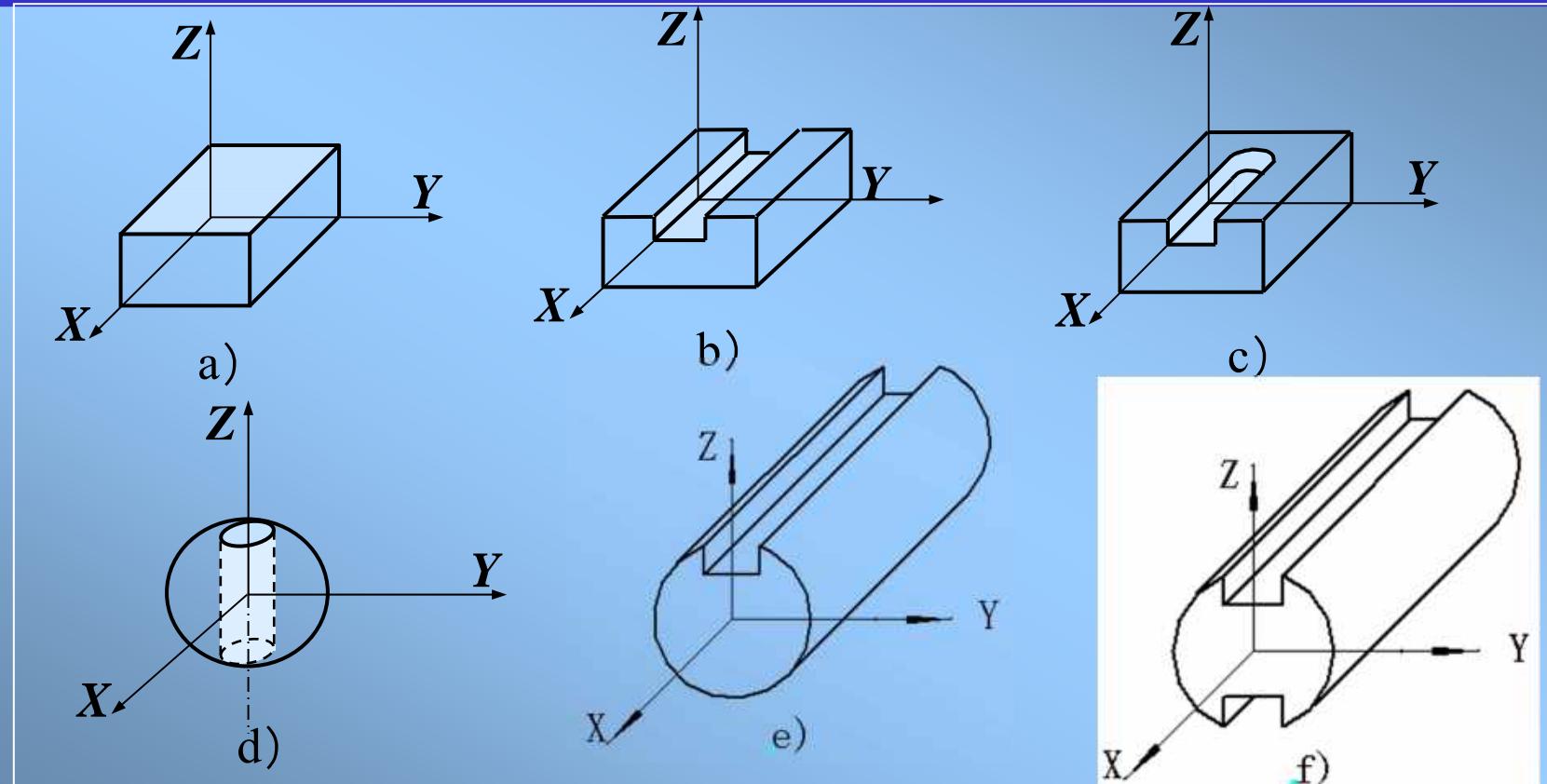
工件在夹具中定位时，并非所有情况都必须完全定位，即工件的六个自由度不必全部限制。



● 完全定位与不完全定位

- 工件的6个自由度均被限制，称为完全定位。工件6个自由度中有1个或几个自由度未被限制，称为不完全定位。
- 不完全定位主要有两种情况：
 - ①工件本身相对于某个点、线是完全对称的，则工件绕此点、线旋转的自由度无法被限制（即使被限制也无意义）。例如球体绕过球心轴线的转动，圆柱体绕自身轴线的转动等。
 - ②工件加工要求不需要限制某一个或某几个自由度。如加工平板上表面，要求保证平板厚度及与下平面的平行度，则只需限制3个自由度就够了。

● 完全定位与不完全定位

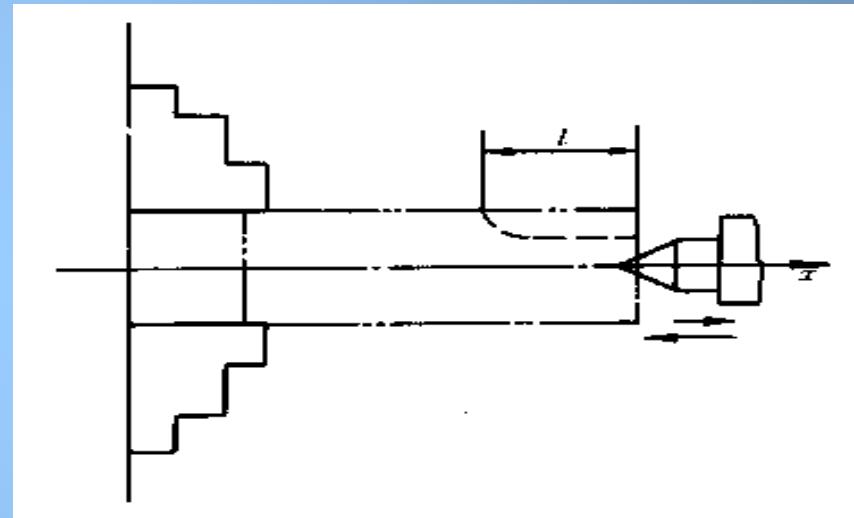


工件应限制的自由度

7.2.2 工件在夹具中的定位

4. 欠定位与过定位

• **欠定位：** 所谓欠定位，是指工件实际定位所限制的自由度数目，少于按其加工要求所必须限制的自由度数目。欠定位不能保证工件的加工技术要求，是不允许出现的。



●欠定位

➤工件加工时必须限制的自由度未被完全限制，称为欠定位。欠定位不能保证工件的正确安装，因而是不允许的。

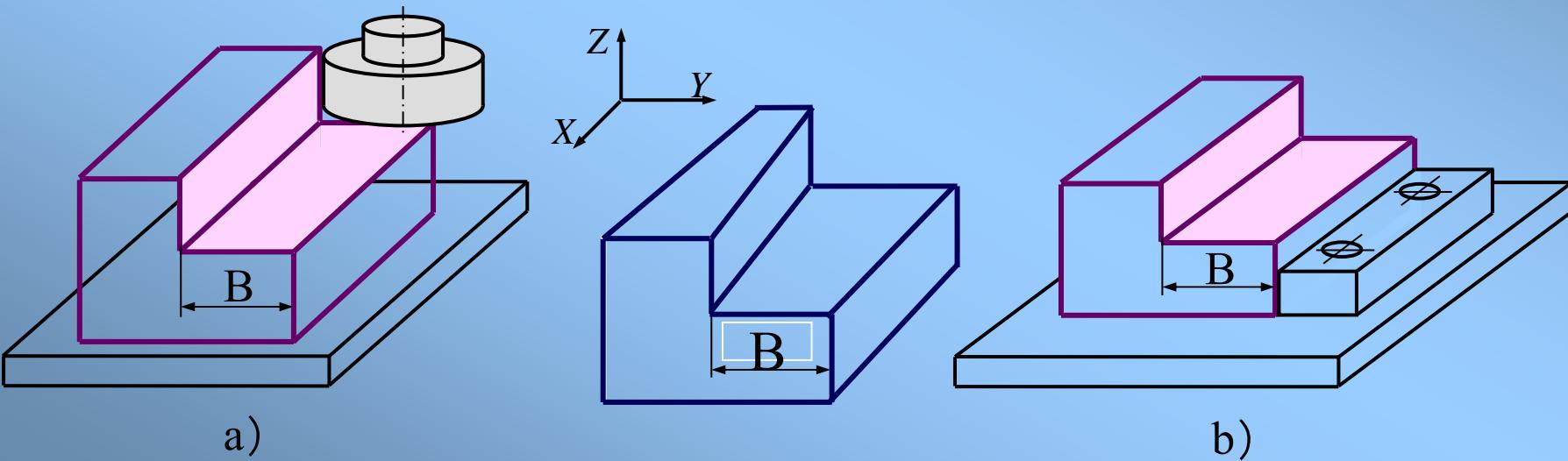


图2-16 欠定位示例

● 过定位

- 过定位——工件某一个自由度（或某几个自由度）被两个（或两个以上）约束点约束，称为过定位。
- 过定位是否允许，要视具体情况而定：
 - 1) 如果工件的定位面经过机械加工，且形状、尺寸、位置精度均较高，则过定位是允许的。有时还是必要的，因为合理的过定位不仅不会影响加工精度，还会起到加强工艺系统刚度和增加定位稳定性的作用。
 - 2) 反之，如果工件的定位面是毛坯面，或虽经过机械加工，但加工精度不高，这时过定位一般是不允许的，因为它可能造成定位不准确，或定位不稳定，或发生定位干涉等情况。

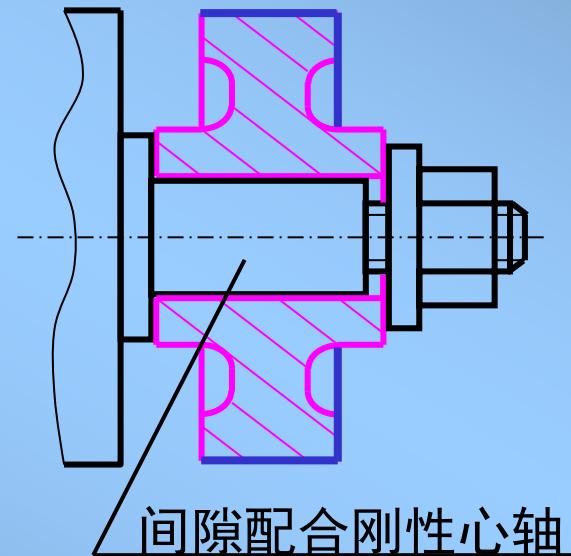
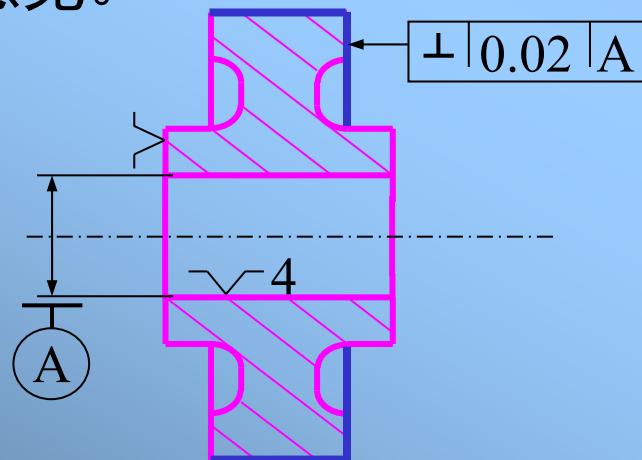
● 过定位分析（桌子与三角架）



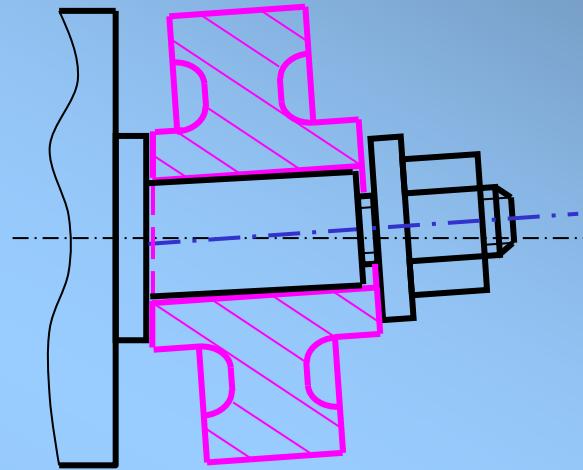
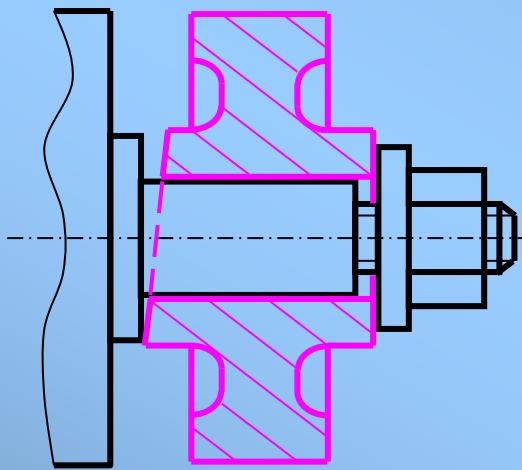
图2-17 过定位分析

过定位讨论

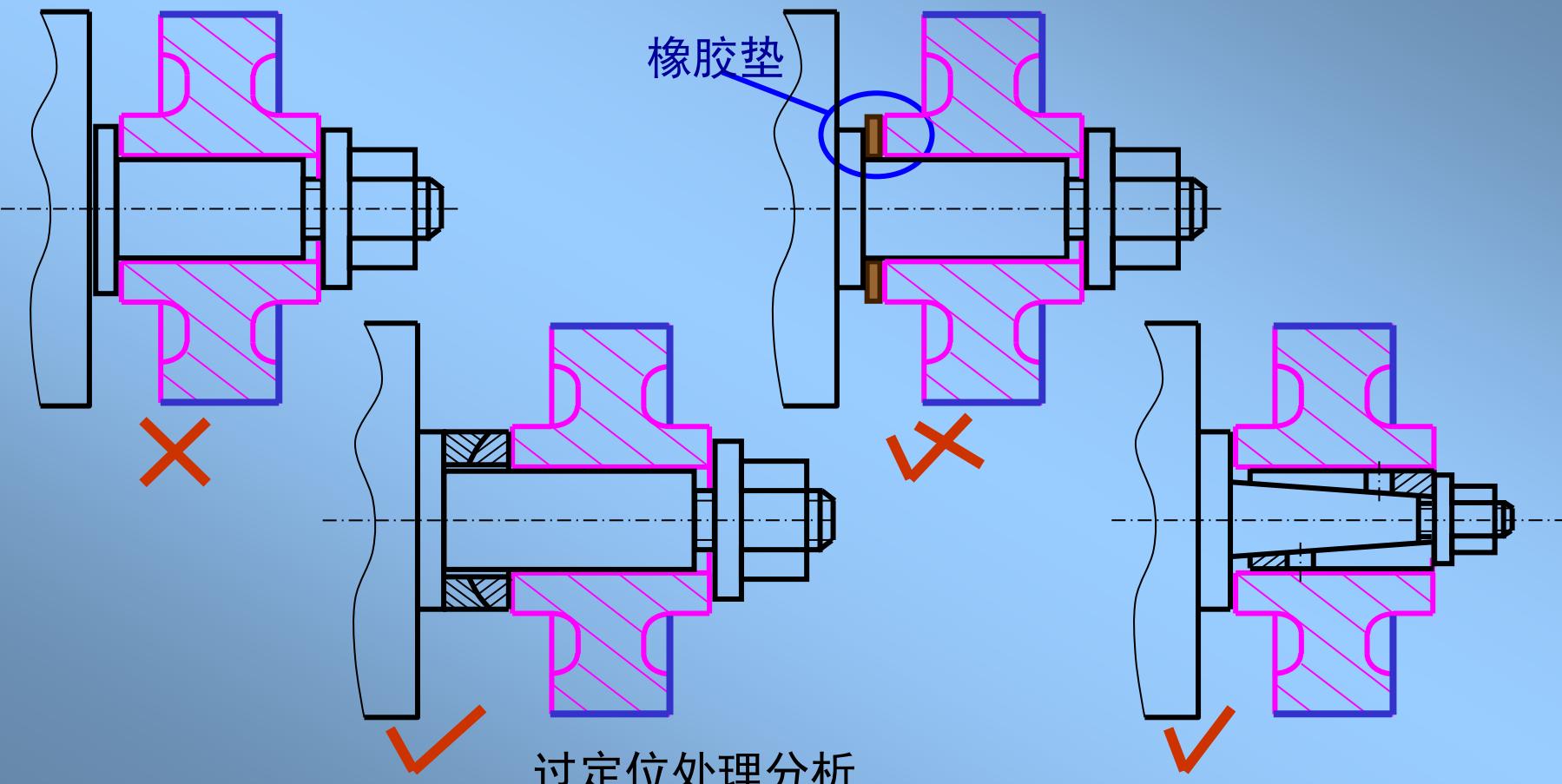
如图示，齿轮坯以内孔和一端面定位，车削外圆和大端面。加工后检测发现大端面与内孔垂直接度超差。试分析原因，提出改进意见。



过定位示例



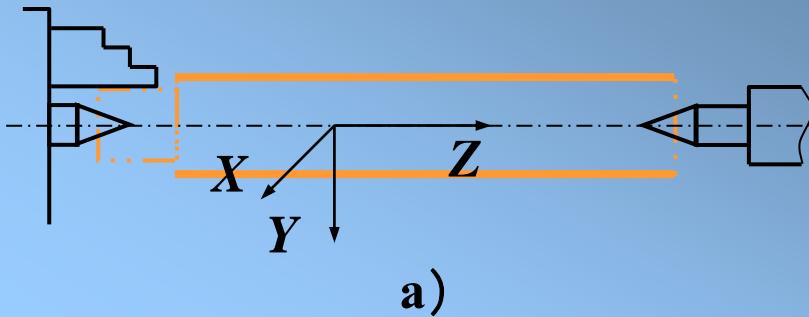
过定位引起夹紧变形



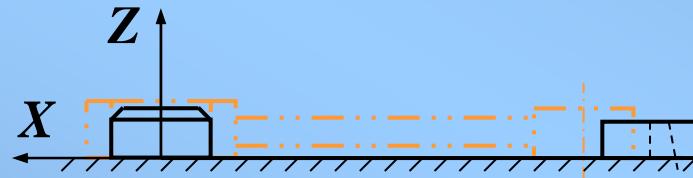
讨论

➤ 分析图示定位方案：

- ① 各方案限制的自由度
- ② 有无欠定位或过定位
- ③ 对不合理的定位方案提出改进意见。



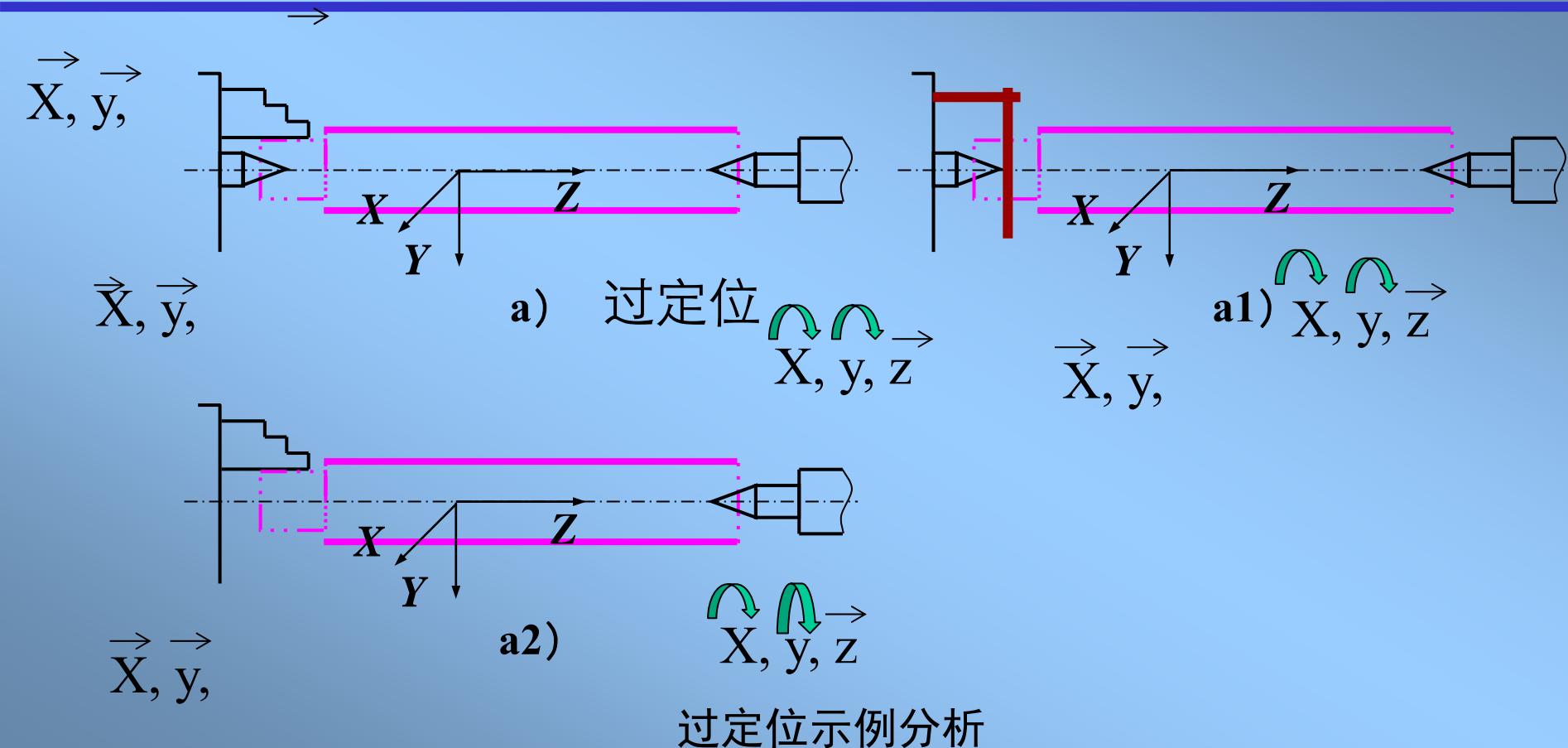
a)

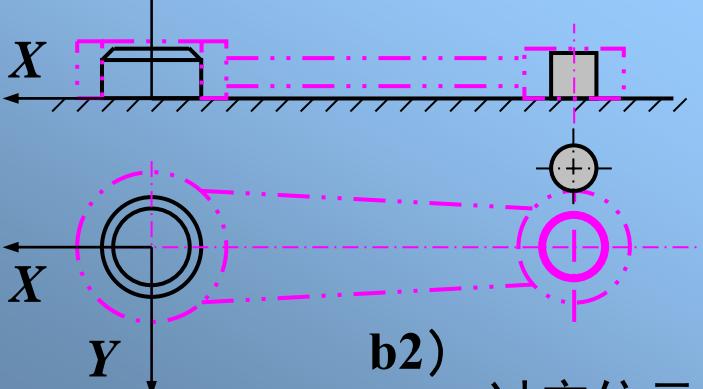
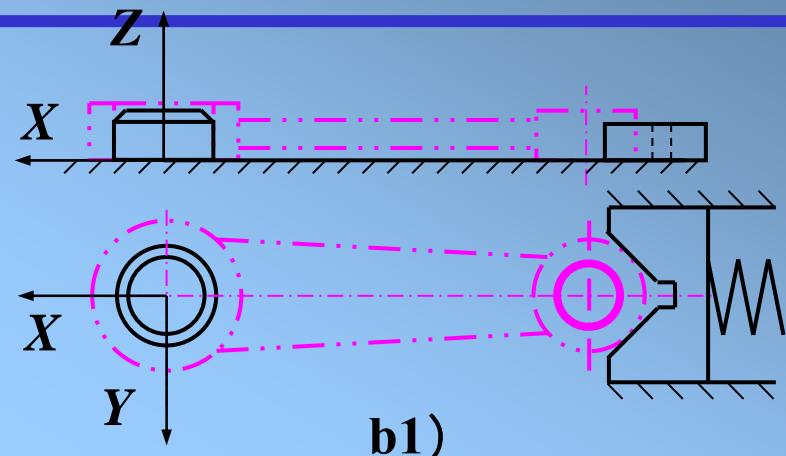
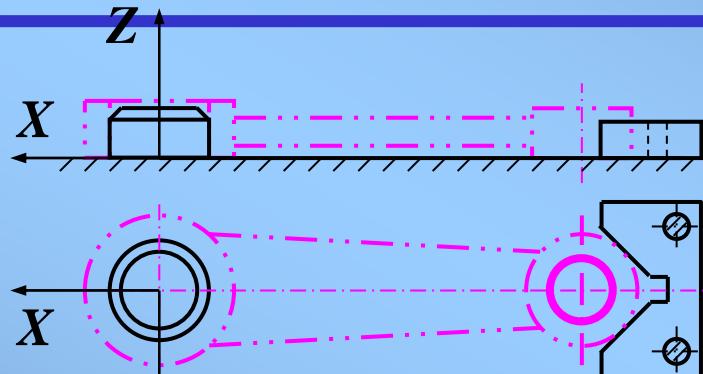


b)



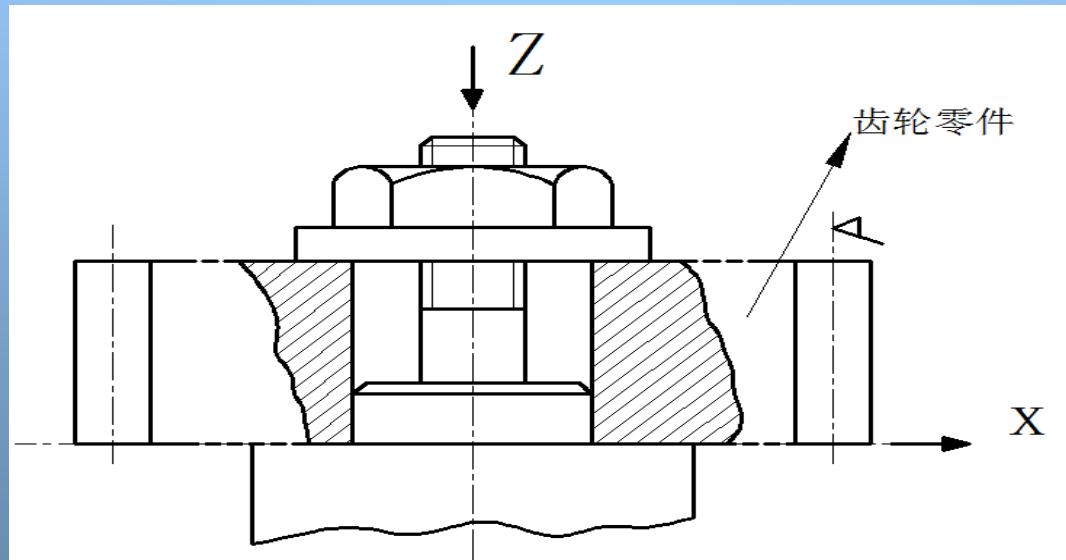
过定位分析



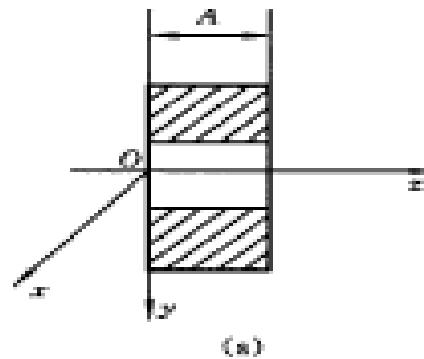


过定位示例分析

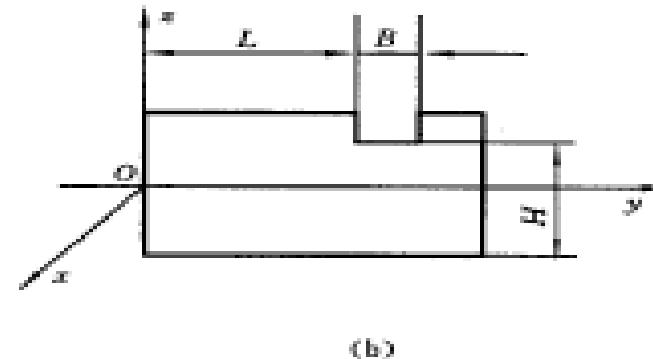
例、图中所示为滚齿时齿坯的定位和所用的夹具的简图。根据六点定位原理，试分析各个定位元件所消除的自由度，并判断有无欠定位或过定位（6分）。



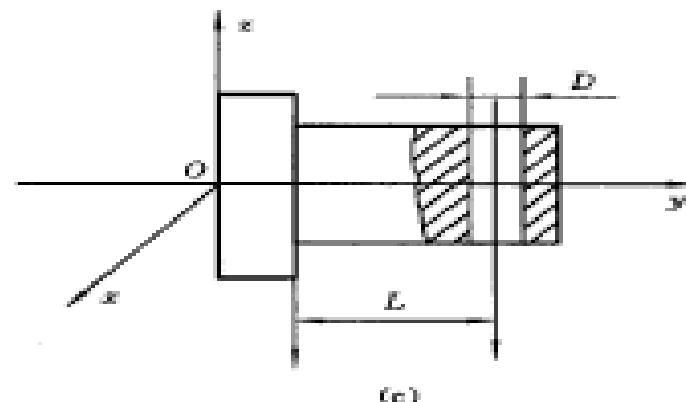
7.2.13 分析图 7-65 所示的零件加工中必须限制的自由度。(1) 加工齿轮两端面, 要求保证尺寸 A 及两端面与内孔的垂直度 (图 (a)); (2) 在小轴上铣槽, 保证尺寸 H 和 L (图 (b)); (3) 过轴心打通孔, 保证尺寸 L (图 (c))。



(a)



(b)



(c)

7.2.3 定位基准的选择

在加工时用于工件定位的基准称为定位基准。又可进一步分为：

- **粗基准**

使用未经机械加工表面作为定位基准，称为粗基准。

- **精基准**

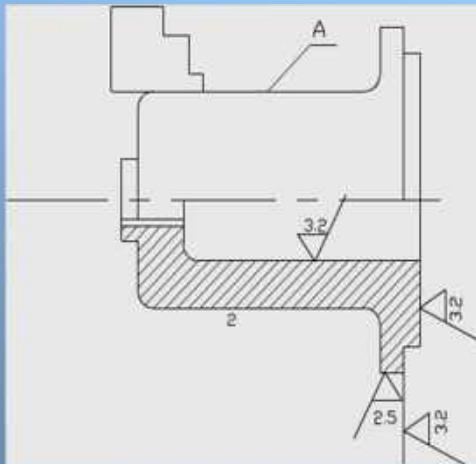
使用经过机械加工表面作为定位基准，称为精基准。

- 从定位的作用来看，它主要是为了保证加工表面的位置精度，因此，选择定位基准的总原则，应该是从有位置精度要求的表面中进行选择。(孔明锁)

1. 粗基准的选择

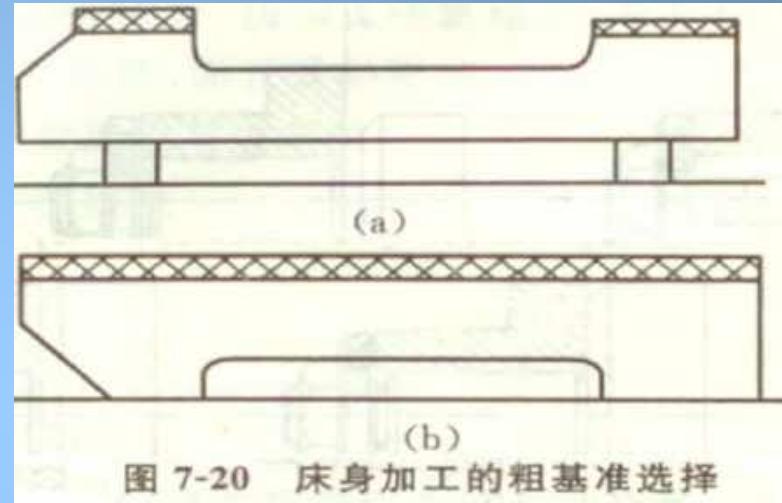
它应该保证所有加工表面都具有足够的加工余量，而且各加工表面对不加工表面具有一定的位置精度。

◆ **选取不加工的表面作粗基准**——如果首先要求保证工件上加工面与不加工面的相互位置要求，则应以不加工面作为粗基准。



图中A为不加工表面，加工内孔时，若孔与A面有相互位置要求，则选A面为粗基准。

◆ **余量均匀分配原则**——如果首先要求保证工件某重要表面加工余量均匀时，应选择该表面的毛坯面作为粗基准。



◆ **便于工件装夹原则**——要求选用的粗基准面尽可能平整、光洁，且有足够的尺寸，不允许有锻造飞边、铸造浇、冒口或其它缺陷。也不宜选用铸造分型面作粗基准。

◆ **粗基准一般不得重复使用原则**

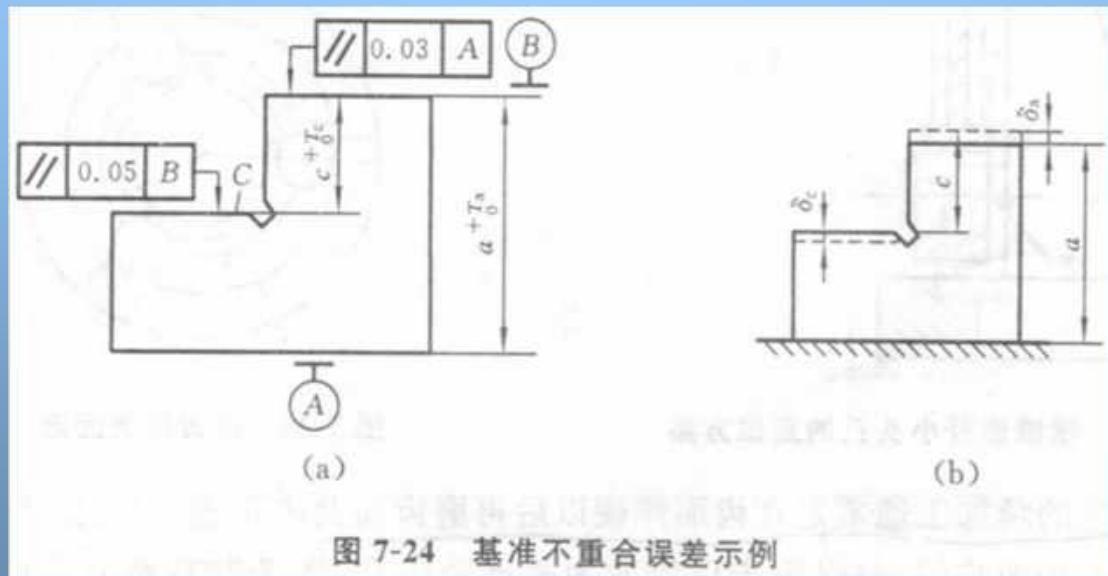
2. 精基准的选择

◆ **基准重合原则：**为避免基准不重合而产生的误差，应尽可能选用设计基准或工序基准作为精基准。如果加工的是最终工序，所选择的定位基准应与设计基准重合，如加工为中间工序，则应尽量采用工序基准。

加工带孔齿轮和套类零件，用心轴定位。

A面和B面：定位基准与设计基准重合

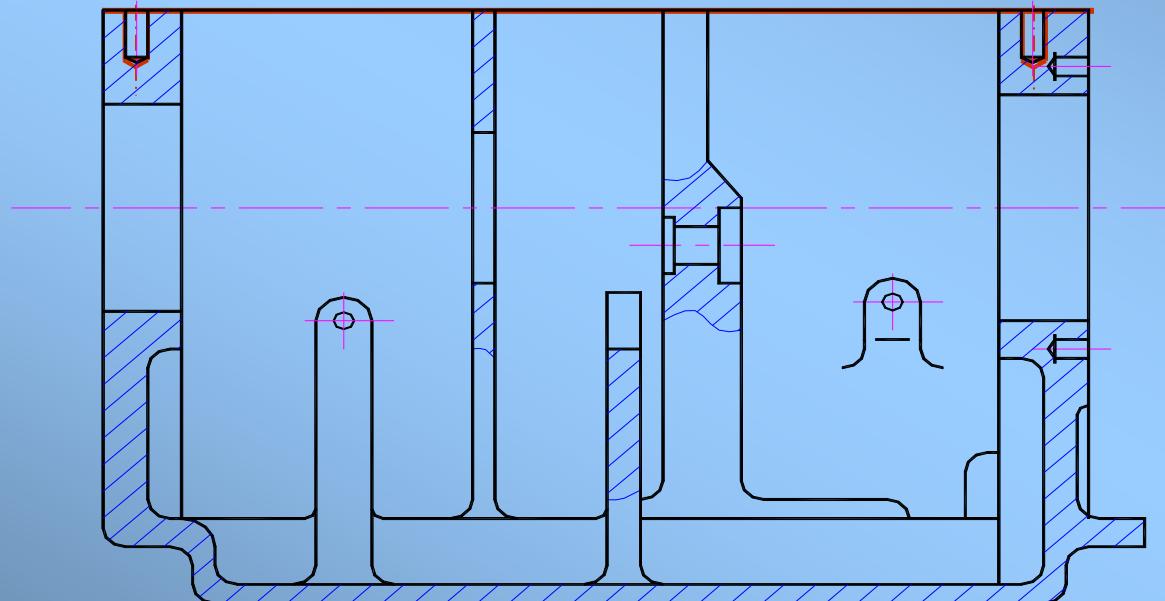
A面和C面：定位基准与设计基准不重合



加工C面时，如以A面为基准，则对刀尺寸为A-C,直接保证，C尺寸间接保证，会受A尺寸的影响。

图 7-24 基准不重合误差示例

◆ **统一基准原则**——当工件以某一表面作精基准定位，可以方便地加工大多数（或全部）其余表面时，应尽早将这个基准面加工出来，并达到一定精度，以后大多数（或全部）工序均以它为精基准进行加工。



主轴箱零件精基准选择

➤ 在实际生产中，经常使用的**统一基准形式**有：

- 1) 轴类零件常使用**两顶尖孔**作统一基准；
- 2) 箱体类零件常使用**一面两孔**（一个较大的平面和两个距离较远的销孔）作统一基准；
- 3) 盘套类零件常使用**止口面**（一端面和一短圆孔）作统一基准；
- 4) 套类零件用**一长孔和一止推面**作统一基准。

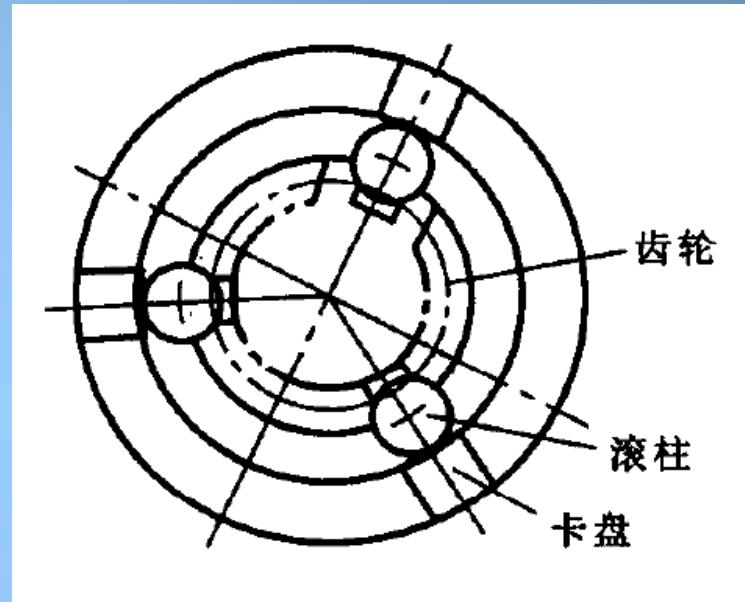
➤ 采用统一基准原则**好处**：

- 1) 有利于保证各加工表面之间的位置精度；
- 2) 可以简化夹具设计，减少工件搬动和翻转次数。

★注意：采用统一基准原则常常会带来基准不重合问题。此时，需针对具体问题进行具体分析，根据实际情况选择精基准。

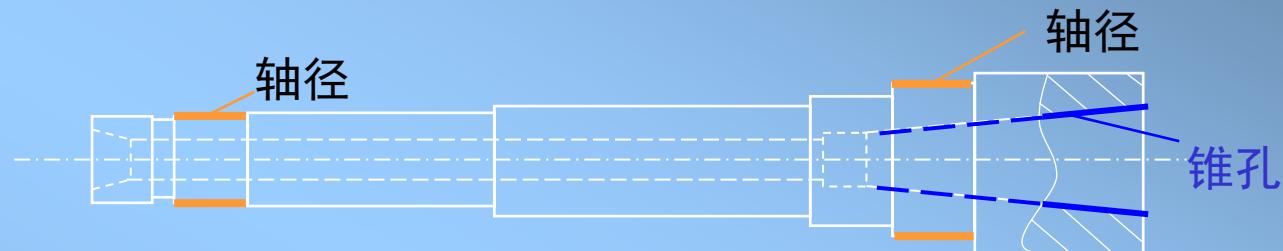
◆互为基准原则

精密齿轮的精加工通常是在齿面淬硬以后再磨齿面及内孔的，因齿面淬硬层较薄，磨齿余量应力求小而均匀，所以先以齿面为基准磨内孔，再以内孔为基准磨齿面。这样不但可以做到磨齿余量小而均匀，而且还能保证齿轮基圆对内孔有较高的同轴度。



◆互为基准原则

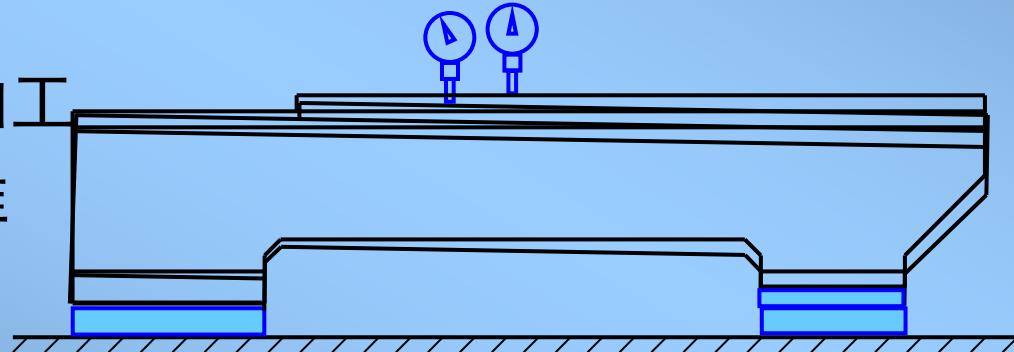
【例】主轴零件精基准选择



◆自为基准原则

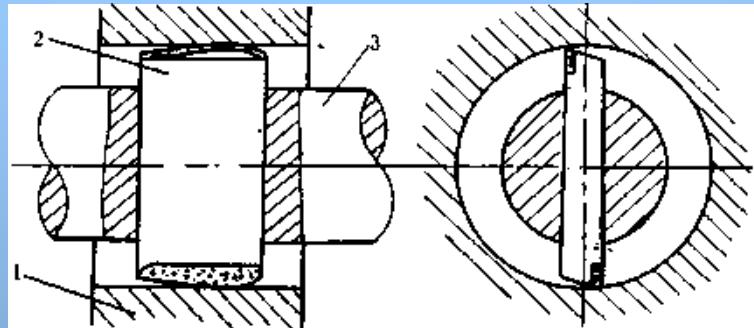
【例】床身导轨面磨削加工

以加工面本身为定位基准

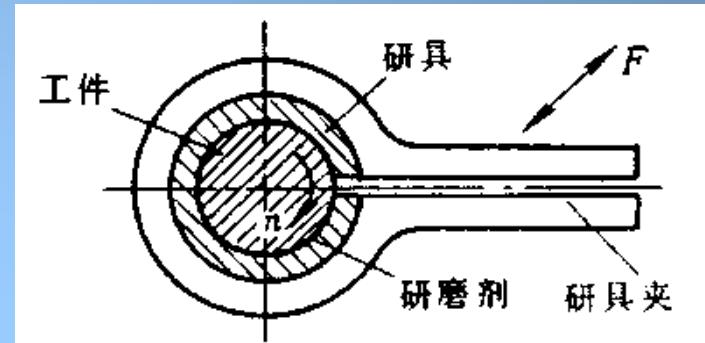


【例】铰孔、拉孔、研磨

【例】浮动镗刀块镗孔



浮动镗刀块
1—工件 2—镗刀块 3—镗杆



外圆研磨示意图

◆**便于装夹原则**——所选择的精基准，应能保证工件定位准确、可靠，并尽可能使夹具结构简单、操作方便。

The End

Thank you!



机械加工工艺规程

华中科技大学机械学院

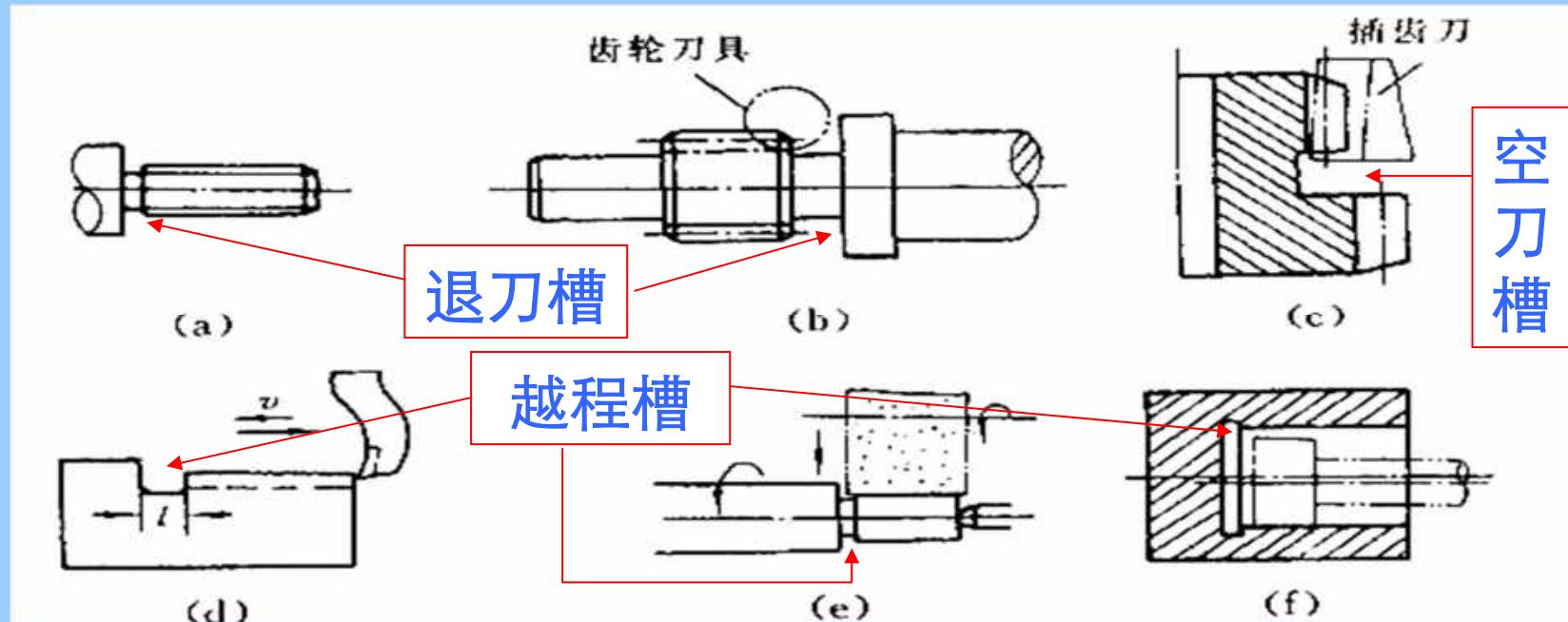


7.3 零件加工的结构工艺性



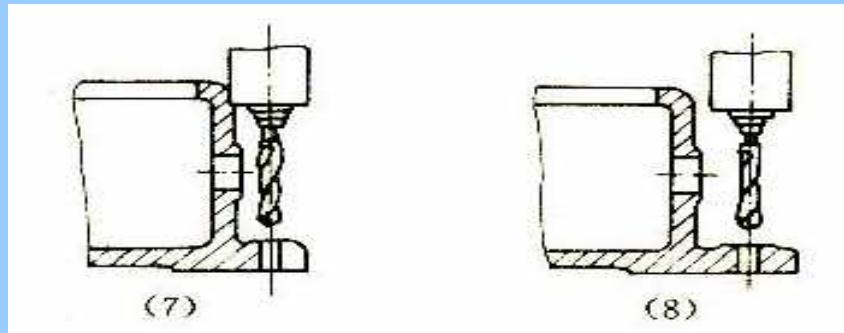
1. 零件的结构要便于加工

1) 应留有空刀槽和退刀槽、越程槽

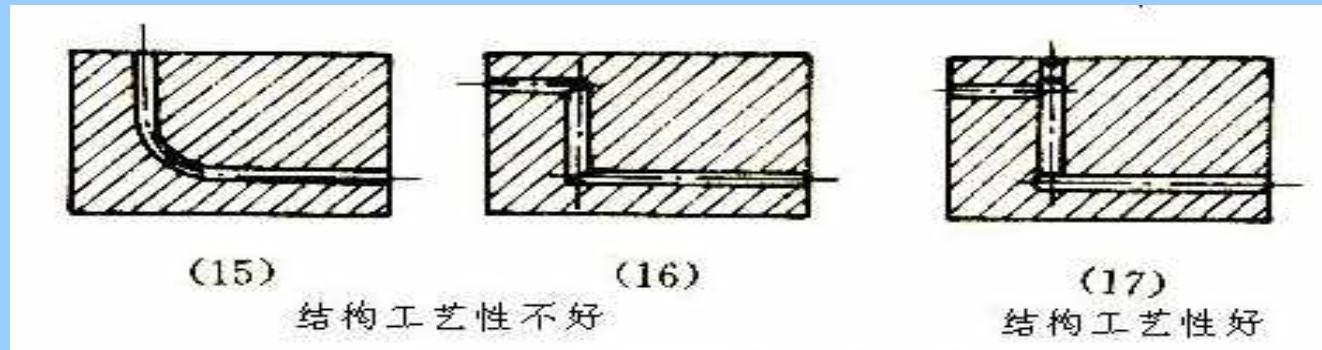


7.3 零件加工的结构工艺性

2) 凸台的孔要留有加工空间



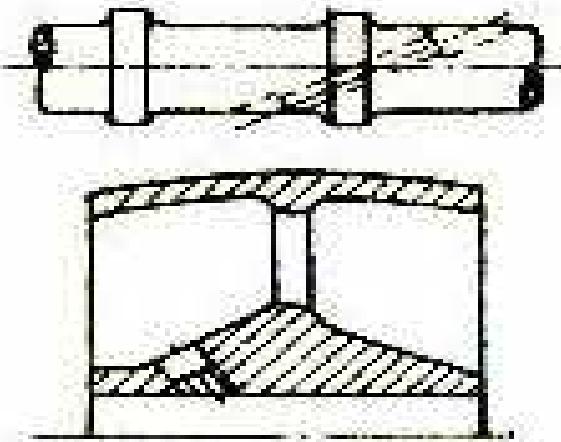
3) 避免弯曲孔



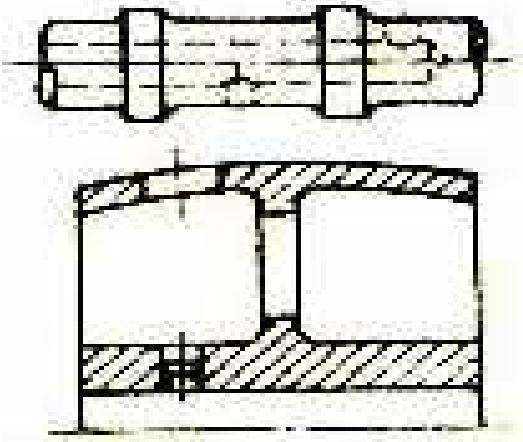
结构工艺性不好

结构工艺性好

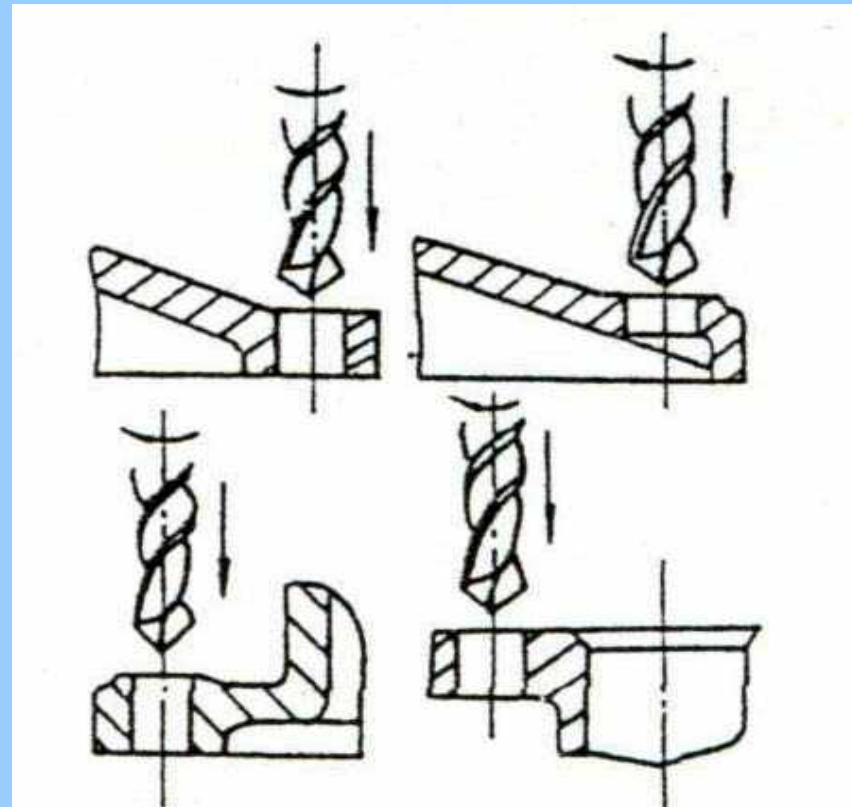
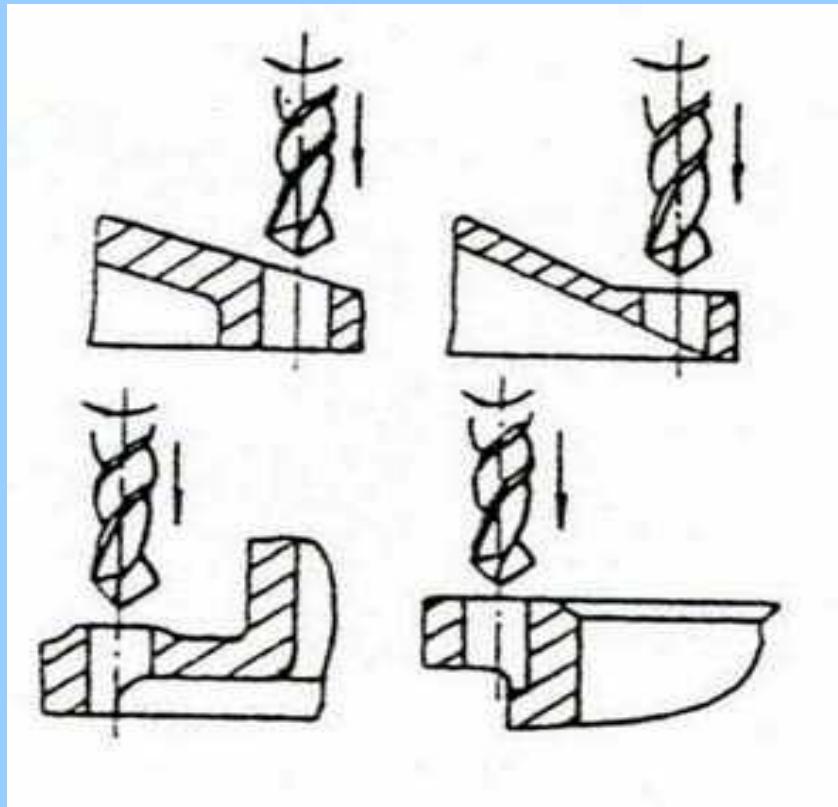
4) 孔轴线应与其端面垂直



(11)
结构工艺性不好



(12)
结构工艺性好



5) 同类要素要统一

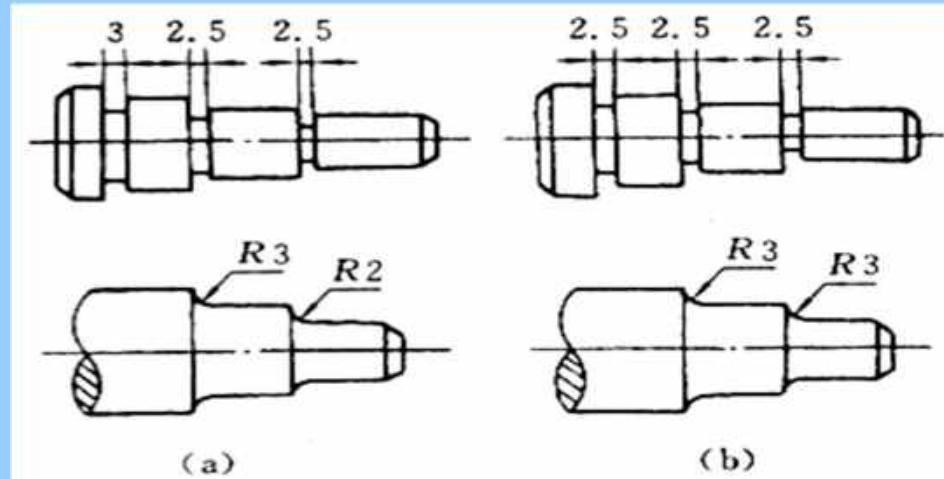
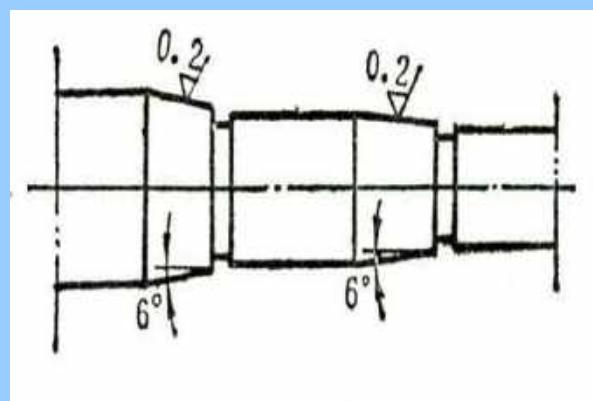
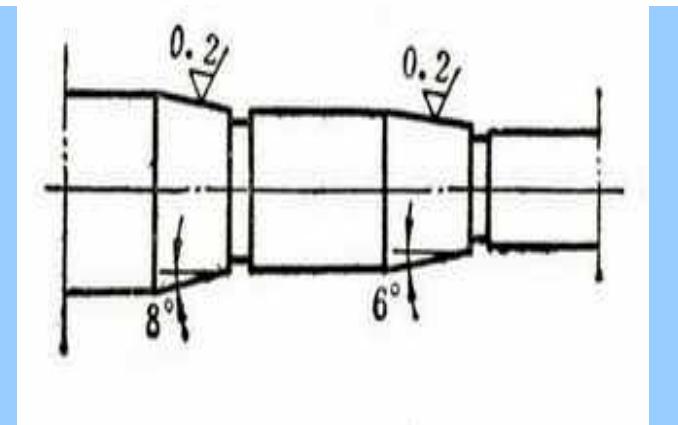
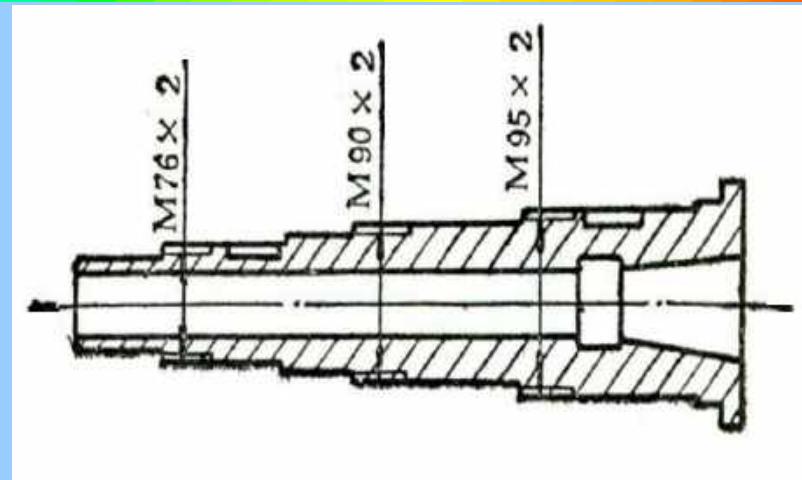
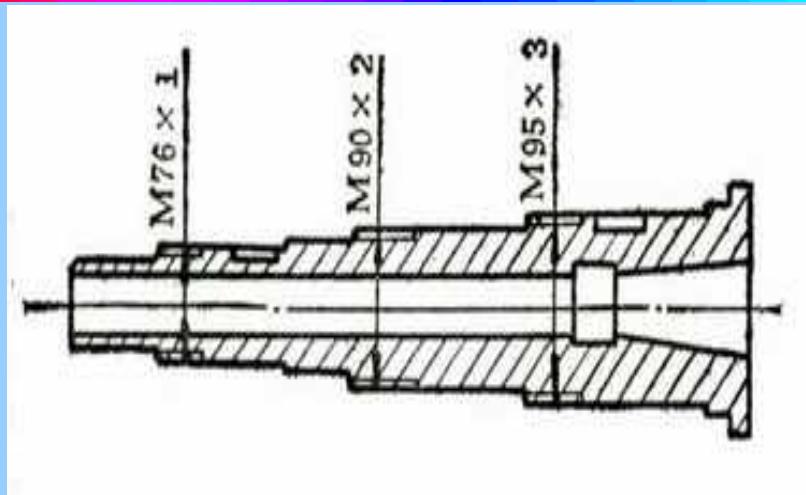
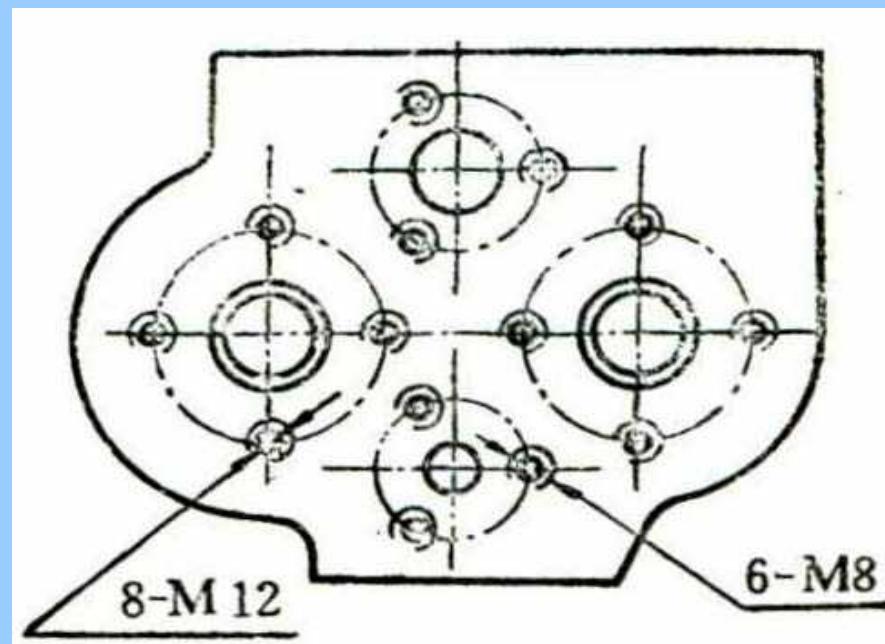
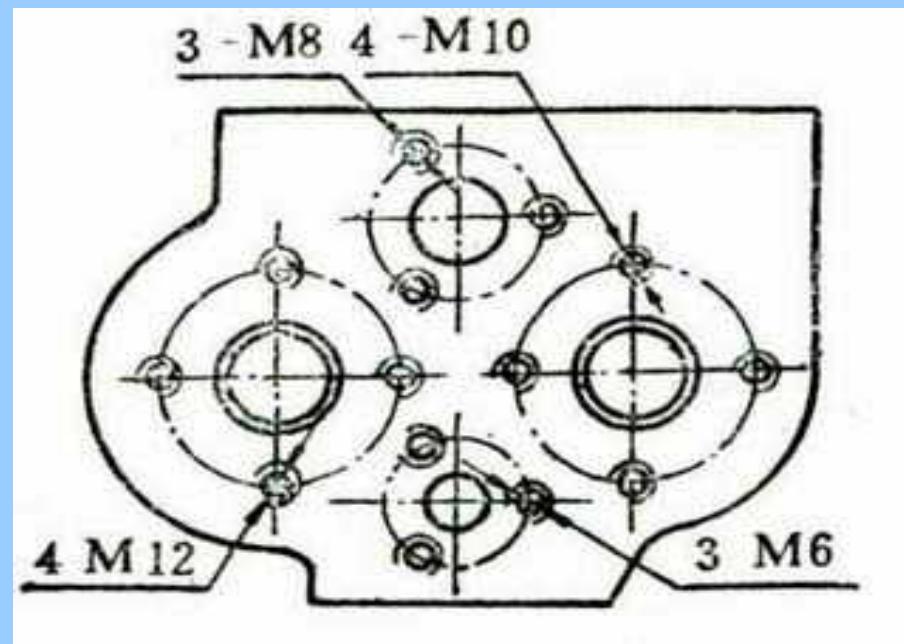


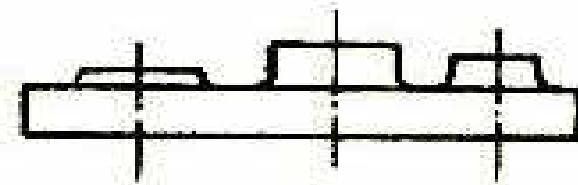
图 7-31 同类结构要素要统一

同一工件上的退刀槽、过渡圆尺寸及形状应该一致可减少换刀时间,减少辅助时间。



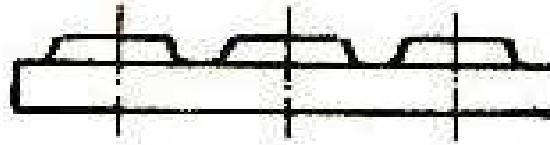


6) 尽量减少走刀次数



(22)

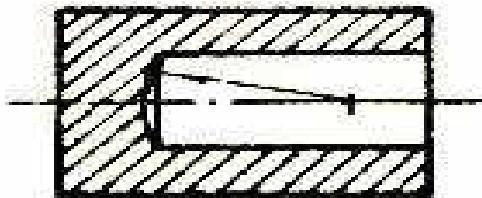
结构工艺性不好



(23)

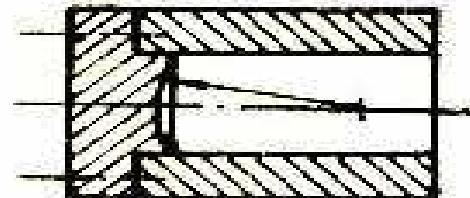
结构工艺性好

7) 将零件中难加工的部位进行合理的拆分。



(36)

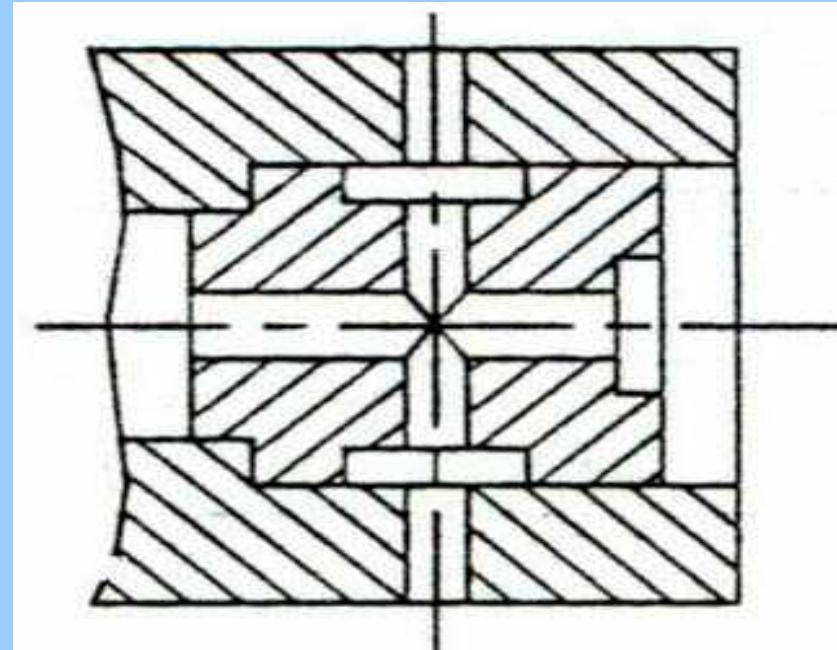
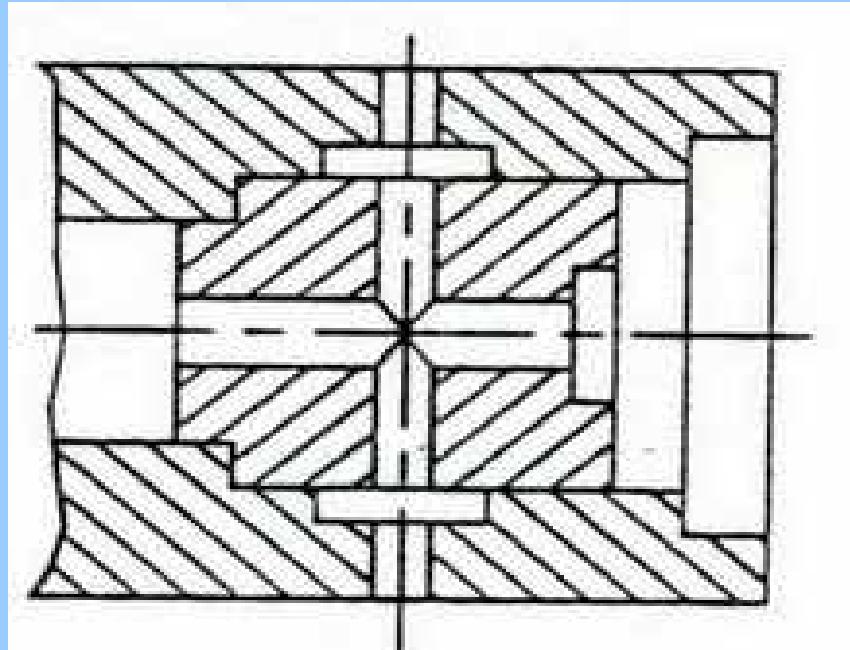
结构工艺性不好



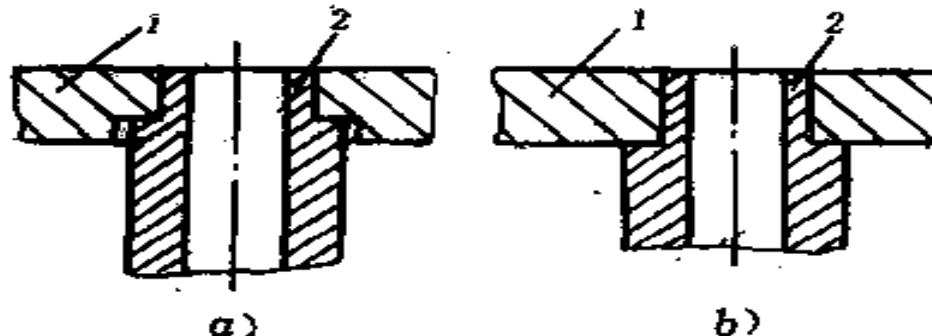
(37)

结构工艺性好

8) 避免复杂的内部表面的加工。



2. 尽量减少不必要的加工面积

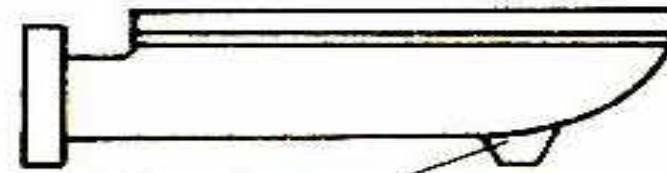


3. 零件的结构应便于安装

1) 增加工艺凸台

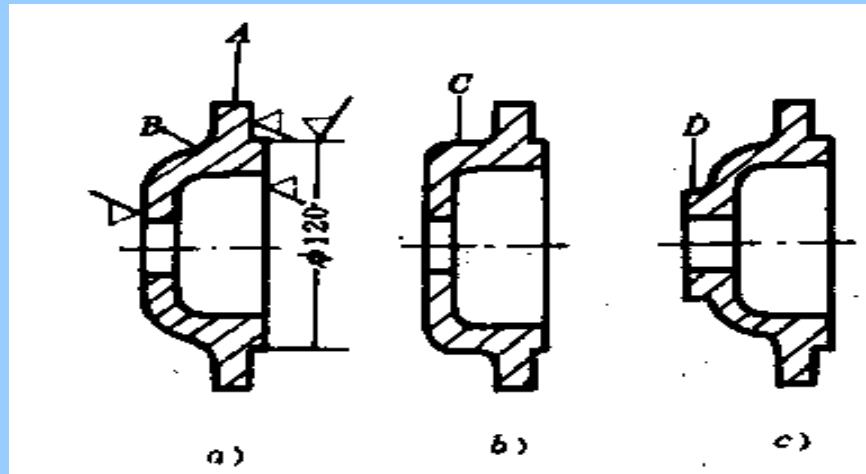


(26)
结构工艺性不好



工艺凸台, 加工后切除
(27)
结构工艺性好

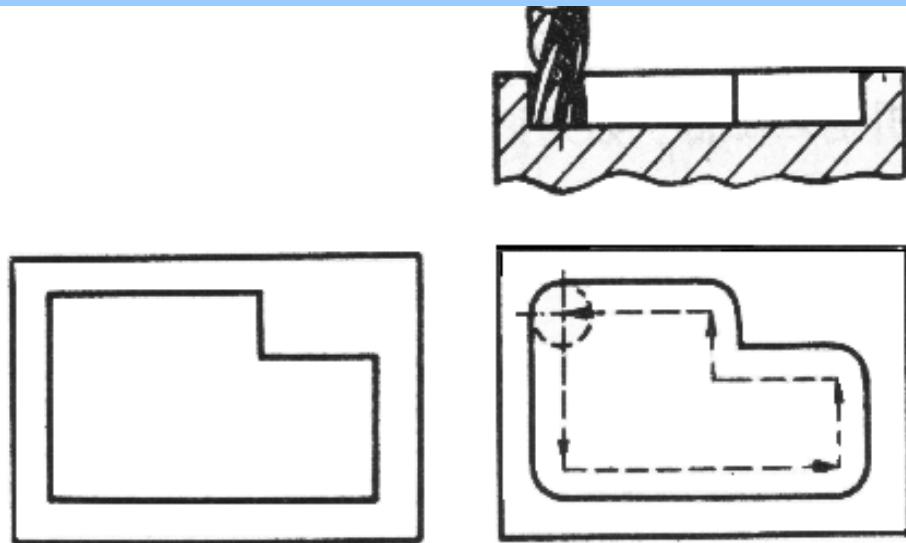
2) 增加辅助安装面

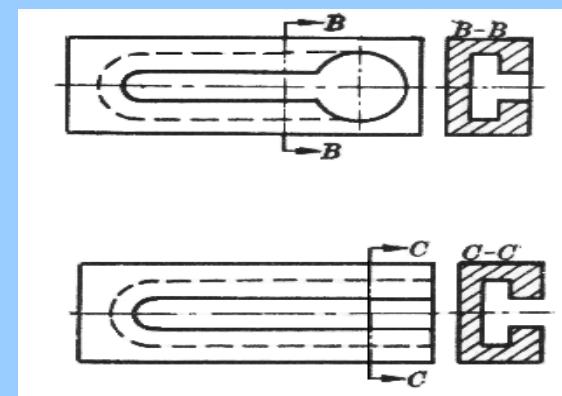
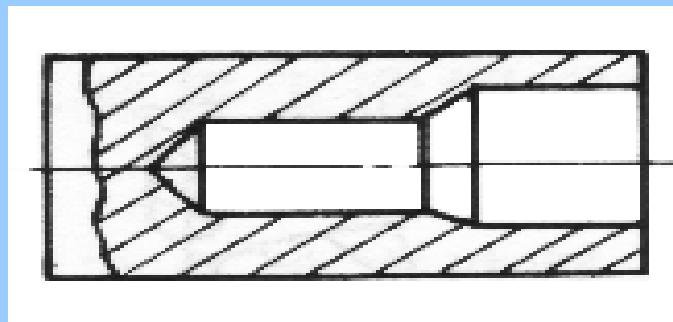
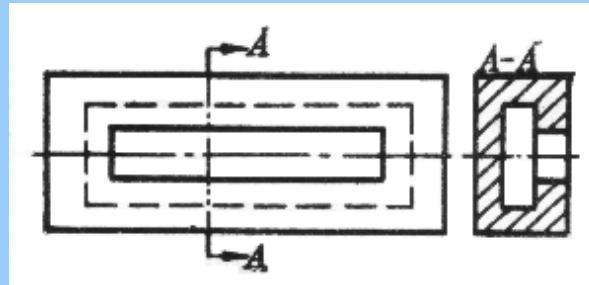
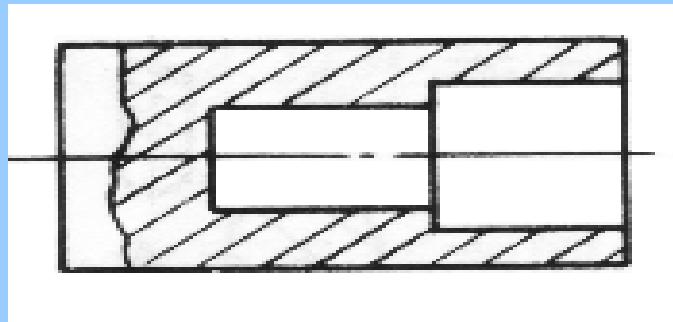


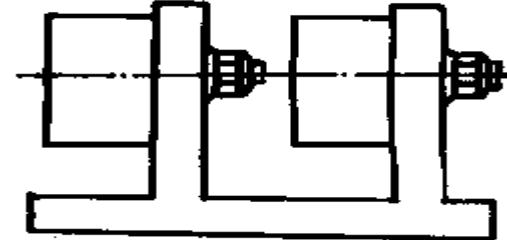
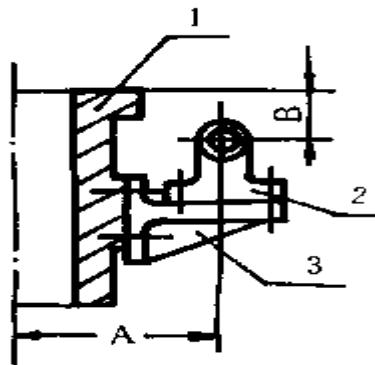
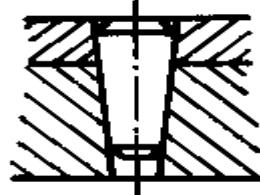
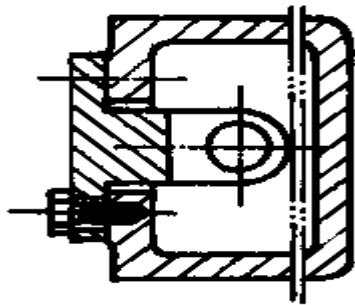
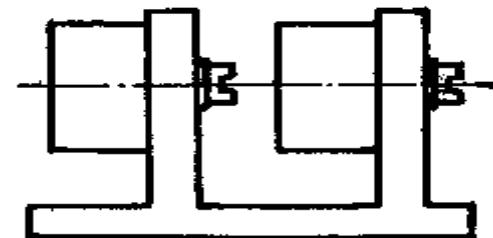
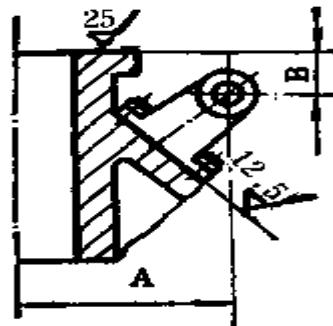
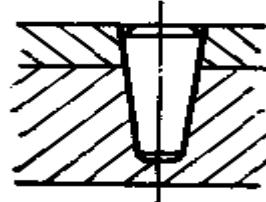
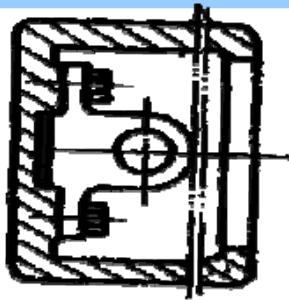
4. 提高标准化程度

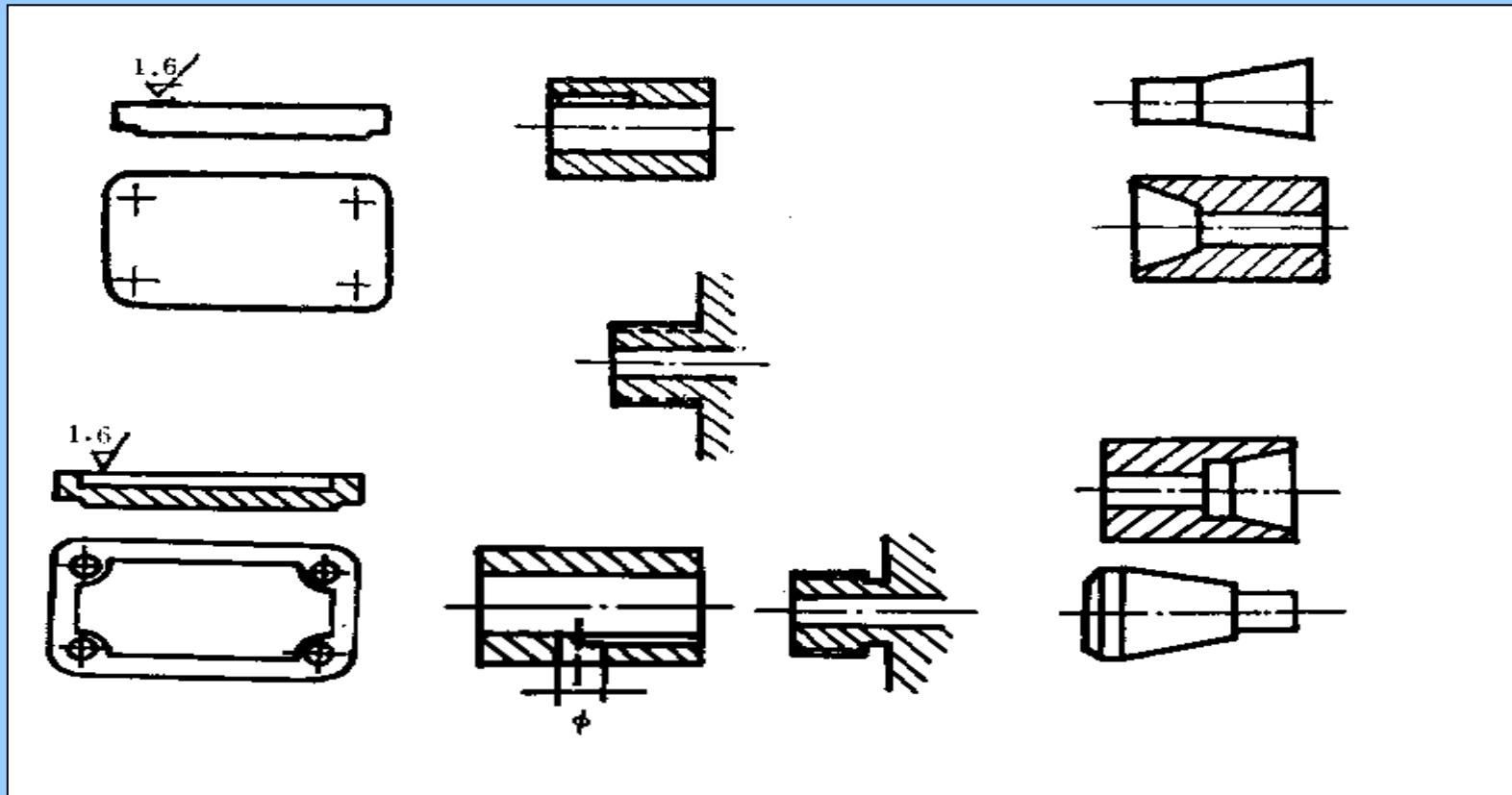


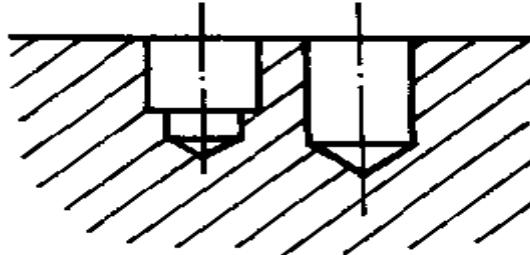
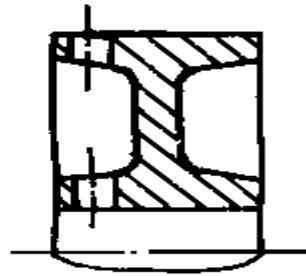
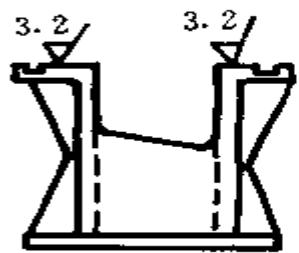
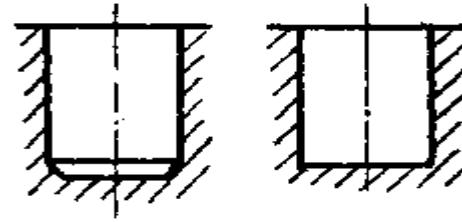
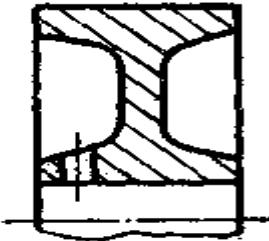
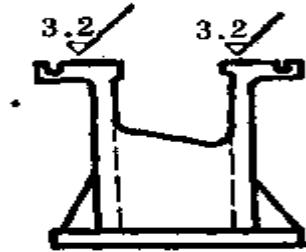
- 1) 应尽量采用标准件和标准化参数设计，降低成本。
- 2) 应能使用标准刀具加工。零件上的结构要素如孔径及孔底形状、中心孔、沟槽宽度或角度、圆角半径、锥度、螺纹的直径和螺距、齿轮的模数等，其参数值应尽量与标准刀具相符以便能使用标准刀具加工。

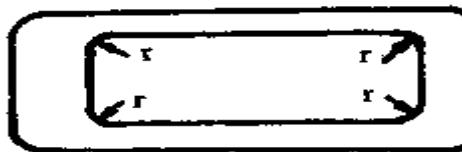
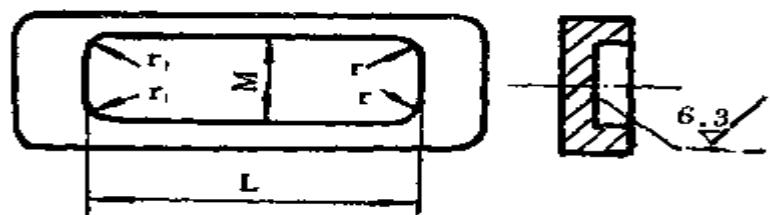
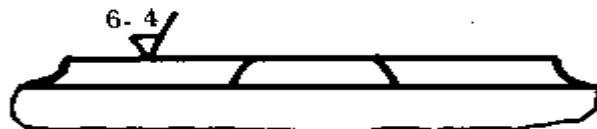
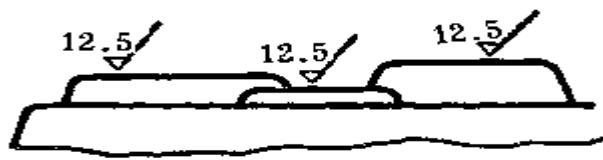


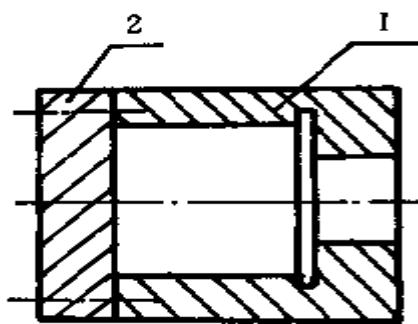
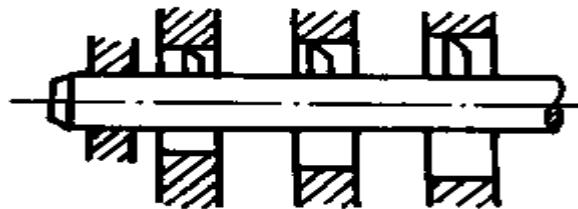
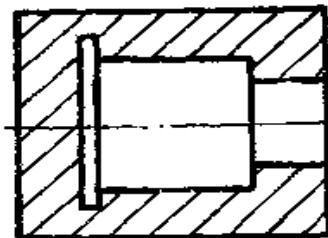
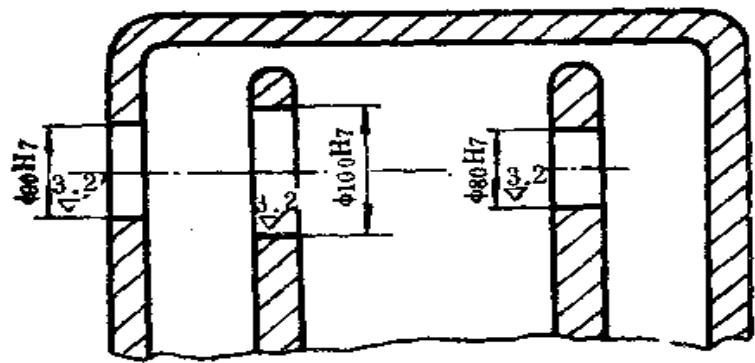


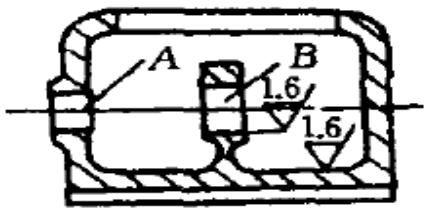




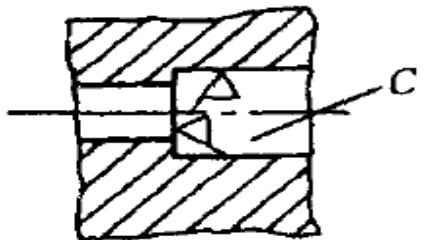




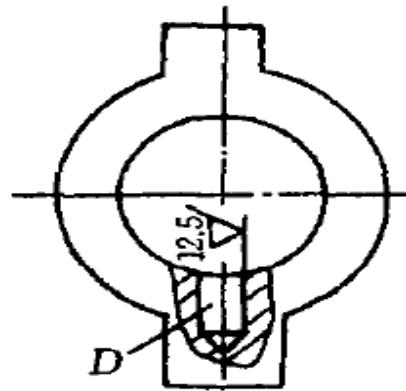




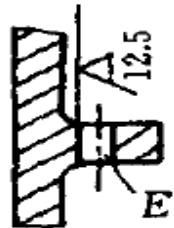
(a) 加工孔 A、B



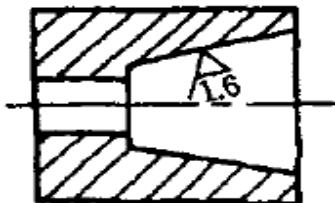
(b) 加工孔 C



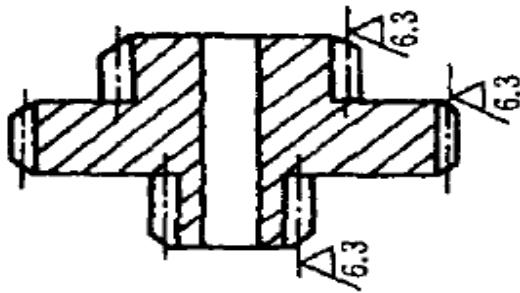
(c) 加工孔 D



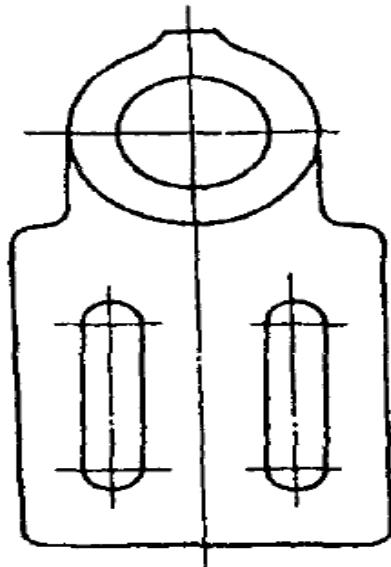
(d) 加工孔 E



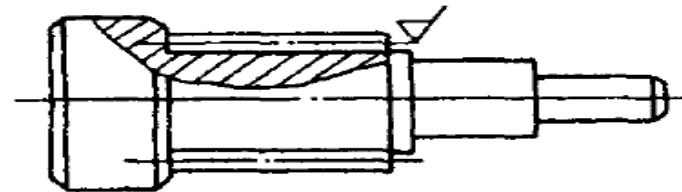
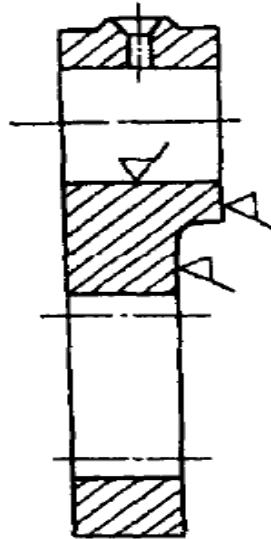
(e) 加工锥孔



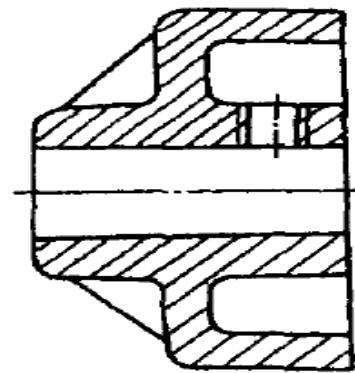
(f) 加工齿面



(a)



(b)



(c)



机械加工工艺规程

华中科技大学机械学院



7.4 工艺规程的编制过程

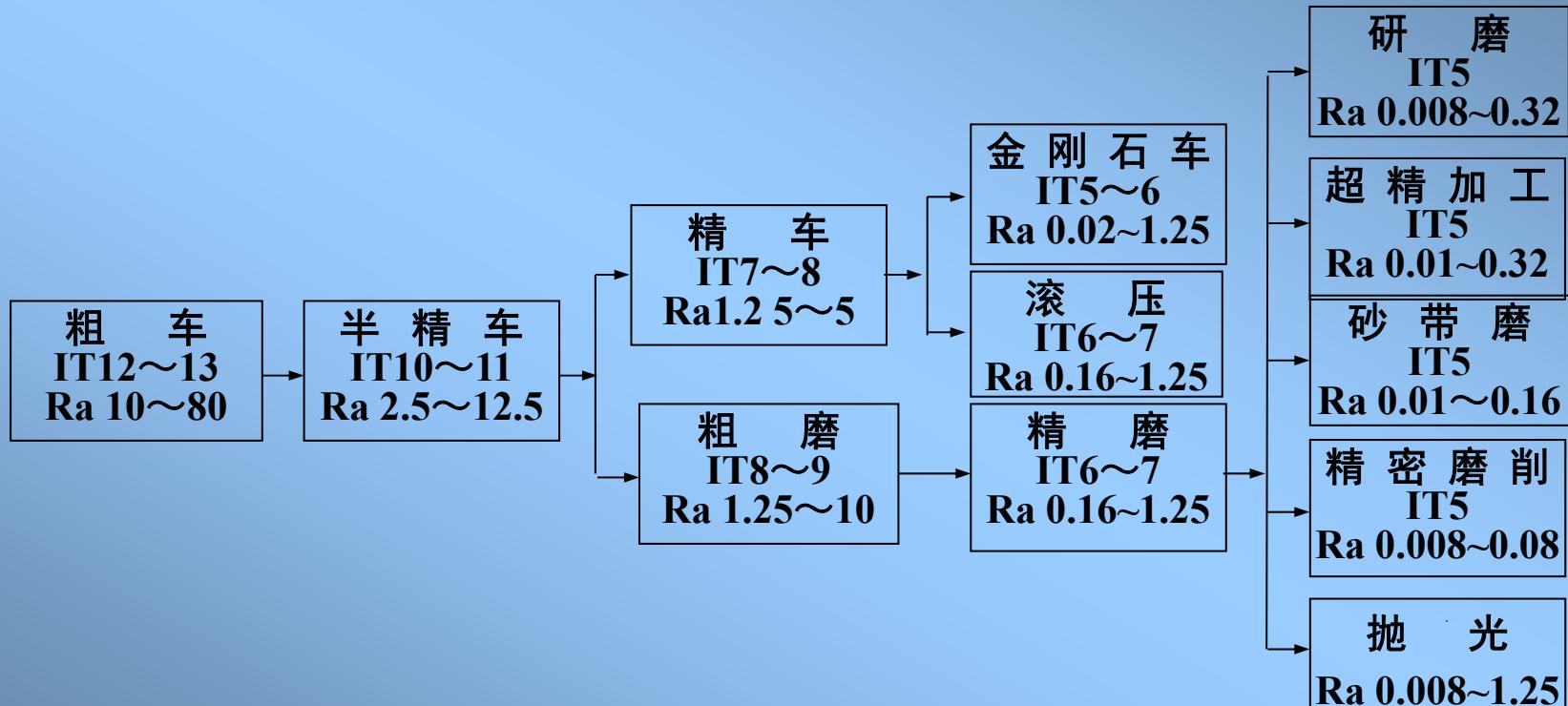
拟定零件的机械加工工艺路线是制订工艺规程的一项重要工作，拟定工艺路线时需要解决的主要问题是：选定各表面的加工方法；划分加工阶段；安排工序的先后顺序；确定工序的集中与分散程度。



选择加工方法应考虑的问题

- 1) 零件加工表面的精度和表面粗糙度要求
- 2) 零件材料的加工性
- 3) 生产批量和生产节拍要求
- 4) 企业现有加工设备和加工能力
- 5) 经济性

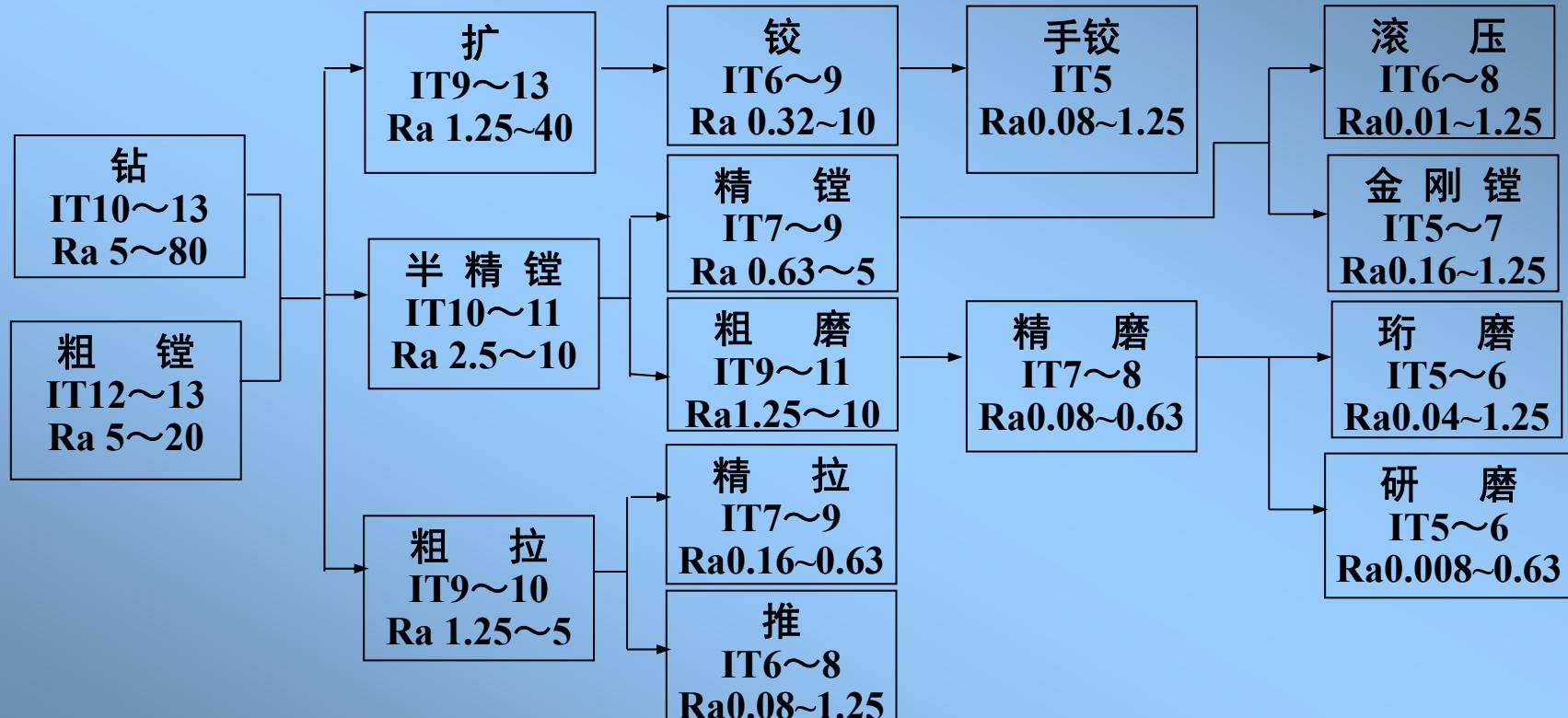
● 典型表面加工路线



外圆表面的典型加工工艺路线

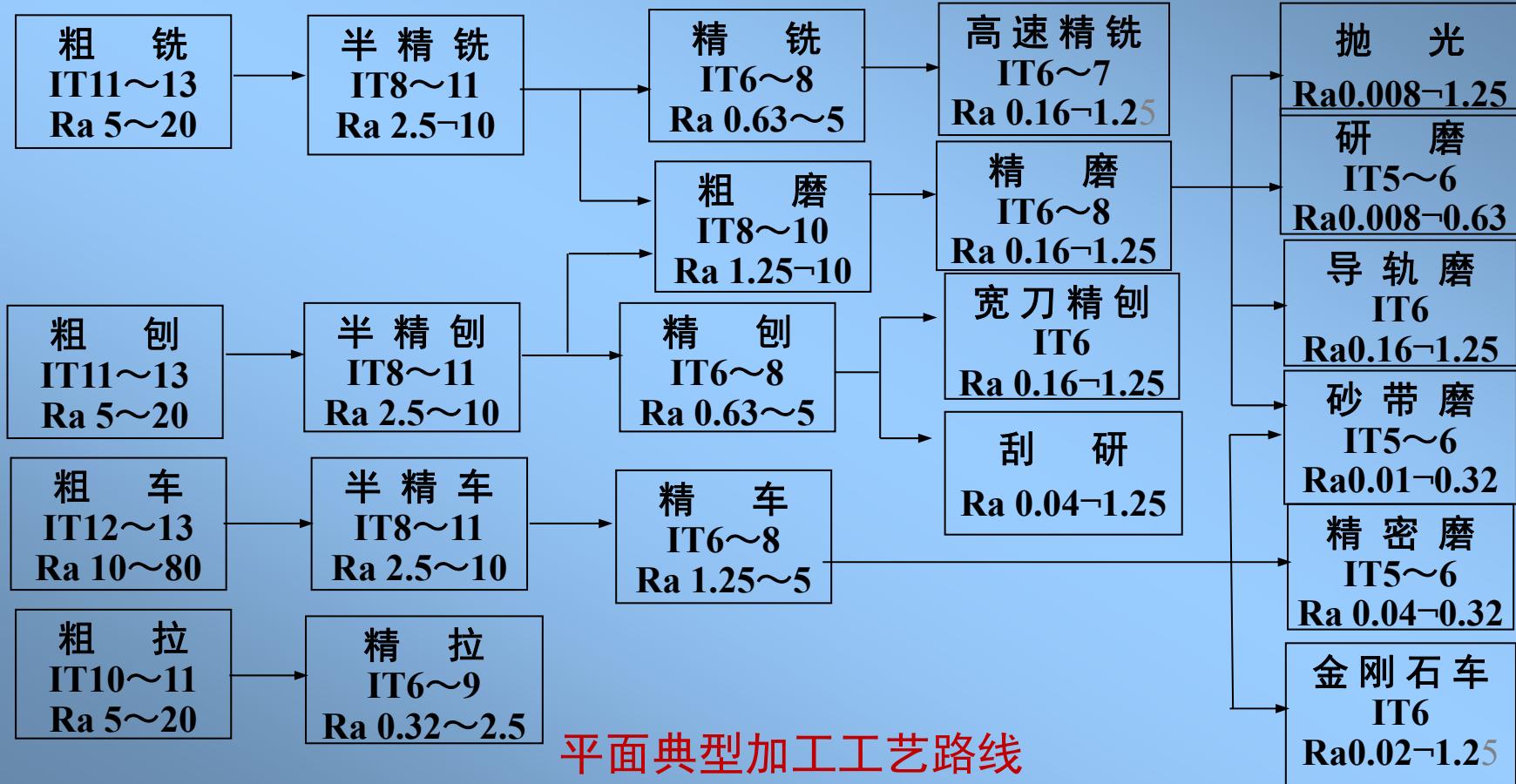
外圆表面加工常用的工艺路线：

- **粗车一半精车** 对于中等精度和粗糙度要求的未淬硬工件的外圆面，均可采用此方案。
- **粗车一半精车一磨(粗磨一精磨)** 此方案最适于加工精度较高、粗糙度较小，且淬硬的钢件外圆面，也广泛地用于加工未淬硬的钢件或铸铁件。
- **粗车一精车一精细车** 此方案主要适用于精度要求高的有色金属零件的加工。



孔加工常用加工路线

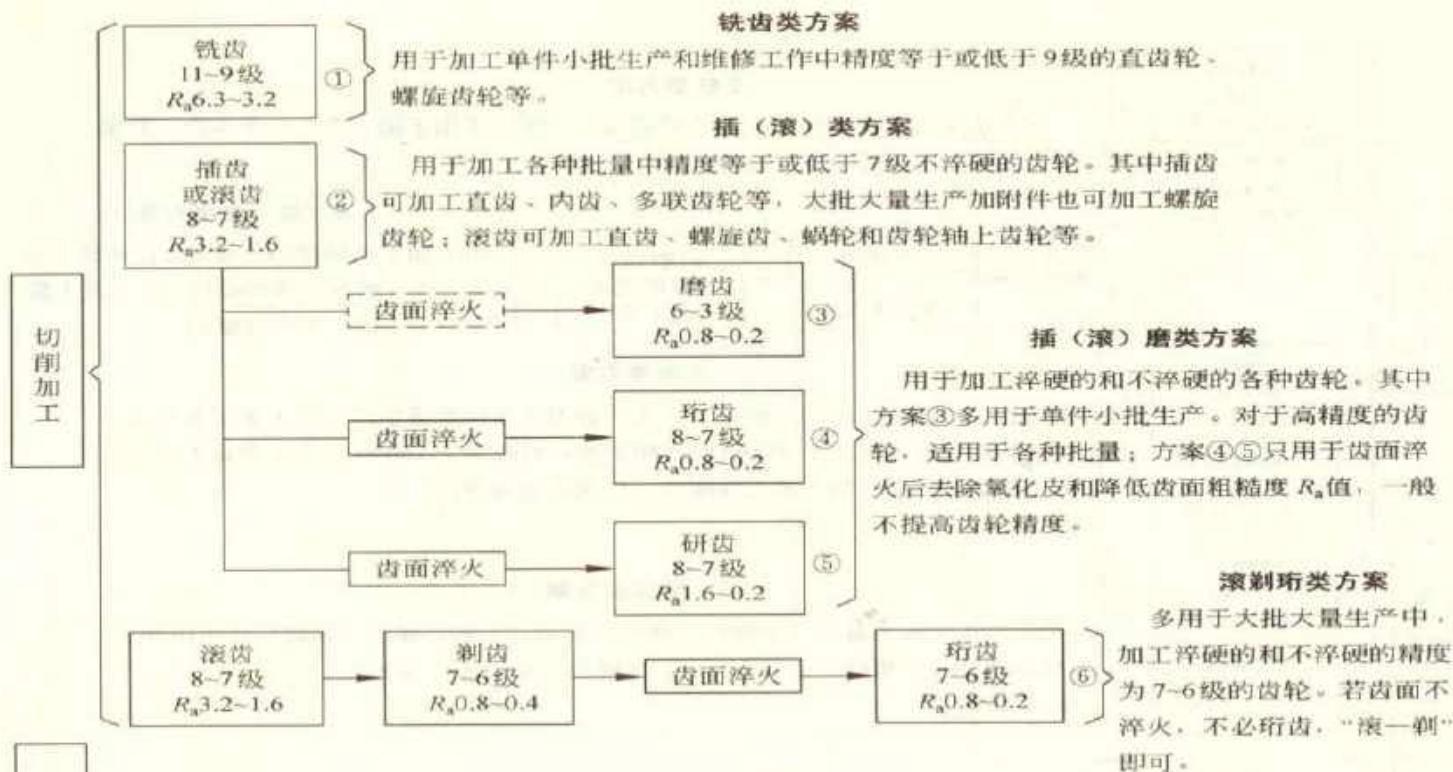
- **钻—扩—铰** 主要用于直径小于 $\Phi 50\text{mm}$ 的中小孔加工。由于铰削加工对孔的位置误差的纠正能力差，因此孔的位置精度主要由钻—扩来保证。位置精度要求高的孔不宜采用此加工方案。
- **钻(粗镗)—半精镗—精镗—浮动镗(或金刚镗)** 用于加工未经淬火的黑色金属及有色金属等材料的高精度孔和孔系。与钻—扩—铰工艺路线不同的是：①所能加工的孔径范围大，一般孔径不小于 $\Phi 18\text{mm}$ 即可采用装夹式镗刀镗孔；②加工出孔的位置精度高。常用于加工位置精度要求高的孔或孔系。
- **钻(粗镗)—半精镗—粗磨—精磨—研磨(或珩磨)** 用于黑色金属特别是淬硬零件的高精度的孔加工。
- **钻 (粗镗) —粗拉—精拉** 适于大批量生产，可加工复杂形状孔。



平面加工常用工艺路线:

- 粗铣一半精铣一精铣一高速精铣 铣削是平面加工中用得最多的方法。
- 粗刨一半精刨一精刨一宽刀精刨或刮研 此工艺路线以刨削加工为主。目前在单件小批生产, 特别在重型机械生产中还得到广泛的应用。
- 粗铣(刨)一半精铣(刨)一粗磨一精磨一研磨 主要用于淬硬表面或高精度表面的加工, 淬火工序可安排在半精铣(刨)之后。
- 粗拉一精拉 适合于大批量生产, 生产率高, 特别是对台阶面或有沟槽的表面, 优点更为突出。
- 粗车一半精车一精车一金刚石车 主要用于有色金属零件的平面加工, 有时就是外圆或内孔的端面。如果是黑色金属, 则在精车以后安排精磨、砂带磨等工序。

齿轮加工加工工艺路线



7.4.2 加工阶段的划分

•一个零件加工工艺过程通常可划分为以下几个阶段：

1) **粗加工阶段** 此阶段的主要任务是切除各加工表面上的大部分余量，并加工出精基准。

2) **半精加工阶段** 此阶段的主要目的是使主要表面消除粗加工后留下的误差，使其达到一定的精度，为精加工作好准备，并完成一些次要表面的加工（如钻孔、攻丝、铣键槽等）。

3) 精加工阶段 此阶段的任务是保证各主要加工表面达到图纸所规定的质量要求。

4) 光整加工阶段 对于精度要求很高 (IT5级以上) 、表面粗糙度值要求很小 ($R_a 0.2 \mu m$ 以下) 的零件, 必须有光整加工阶段。

•划分加工阶段的必要性在于:

- 1) 保证加工质量。
- 2) 合理地使用机床设备。
- 3) 粗、精加工分开, 便于及时发现毛坯的缺陷, 及时修补或报废, 避免工时浪费。
- 4) 表面精加工安排在最后, 可避免或减少在夹紧和运输过程中损伤已精加工过的表面。

7.4.3 工序集中与工序分散

● 工序集中

- ❖ 使每个工序中包括尽可能多的工步内容，从而使总的工序数目减少
- ❖ 优点：
 - 1) 有利于保证工件各加工面之间的位置精度；
 - 2) 采用高效机床，可节省工件装夹时间，减少工件搬运次数；
 - 3) 可减小生产面积，并有利于管理。

● 工序分散

- ❖ 使每个工序的工步内容相对较少，从而使总的工序数目较多
- ❖ 工序分散优点：每个工序使用的设备和工艺装备相对简单，调整、对刀比较容易，对操作工人技术水平要求不高

● 工序集中与工序分散的应用

- 传统的流水线、自动线生产，多采用工序分散的组织形式（个别工序亦有相对集中的情况）
- 多品种、中小批量生产，为便于转换和管理，多采用工序集中方式
- 由于市场需求的多变性，对生产过程的柔性要求越来越高，加之加工中心等先进设备的采用，工序集中将越来越成为生产的主流方式



7.4.4 加工顺序的安排

● 机械加工工序的安排

- 先基准后其他——先加工基准面，再加工其他表面
- 先面后孔——有两层含义：
 - 1) 当零件上有较大的平面可以作定位基准时，先将其加工出来，再以面定位，加工孔，可以保证定位准确、稳定
 - 2) 在毛坯面上钻孔或镗孔，容易使钻头引偏或打刀，先将此面加工好，再加工孔，则可避免上述情况的发生

加工顺序的安排

- 先主后次——也有两层含义：
 - 1) 先考虑主要表面加工，再安排次要表面加工，次要表面加工常常从加工方便与经济角度出发进行安排
 - 2) 次要表面和主要表面之间往往有相互位置要求，常常要求在主要表面加工后，以主要表面定位进行加工
- 先粗后精



热处理和表面处理工序的安排

- ❖ 为改善工件材料切削性能而进行的热处理工序（如退火、正火等），应安排在切削加工之前进行
- ❖ 为消除内应力而进行的热处理工序（如退火、人工时效等），最好安排在粗加工之后，也可安排在切削加工之前（预备热处理）
- ❖ 为了改善工件材料的力学物理性质而进行的热处理工序（如调质、淬火等）通常安排在粗加工后、精加工前进行。其中渗碳淬火一般安排在切削加工后，磨削加工前。而表面淬火和渗氮等变形小的热处理工序，允许安排在精加工后进行(最终热处理或性能热处理)
- ❖ 为了提高零件表面耐磨性或耐蚀性而进行的热处理工序以及以装饰为目的的热处理工序或表面处理工序（如镀铬、镀锌、氧化、煮黑等）一般放在工艺过程的最后。

● 检验工序的安排

除操作工人自检外，下列情况应安排检验工序：

- ① 零件加工完毕后；
- ② 从一个车间转到另一个车间前后；
- ③ 重要工序前后。

● 其他工序的安排

- ❖ 去毛刺工序 通常安排在切削加工之后。
- ❖ 清洗工序 在零件加工后装配之前，研磨、珩磨等光整加工工序之后，以及采用磁力夹紧加工去磁后，应对工件进行认真地清洗。

7.6 典型零件加工工艺

一、轴类零件的加工工艺

1. 概述

(1). 轴的功能与结构特点

轴类零件主要用来支承传动零件和传递转矩。一般由内、外圆柱面、圆锥面、螺纹、花键及键槽等组成。

轴类零件可分为光轴、阶梯轴、空心轴和曲轴等。

轴的长径比小于5的称为短轴，大于20的称为细长轴，大多数轴介于两者之间。

(2) . 轴的技术要求

轴用轴承支承，与轴承配合的轴段称为轴颈 (shaft journal)。轴颈是轴的装配基准，它们的精度和表面质量一般要求较高，其技术要求一般根据轴的主要功用和工作条件制定，通常有以下几项：

a. 尺寸精度

起支承作用的轴颈为了确定轴的位置，通常对其尺寸精度要求较高 (IT5--IT7)。装配传动件的轴颈尺寸精度一般要求较低 (IT6--IT9)。一般与传动件相配合的轴颈表面粗糙度为 $Ra2.5--0.63 \mu m$ ，与轴承相配合的支承轴颈的表面粗糙度为 $Ra0.63--0.16 \mu m$ 。

b. 形状精度(Shape precision)

轴类零件的几何形状精度主要是指轴颈、外锥面、莫氏锥孔等的圆度、圆柱度等，一般应将其公差限制在尺寸公差范围内。

c. 相互位置精度(同轴度，垂直度，对称度等)

轴类零件的位置精度要求主要是由轴在机械中的位置和功用决定的。通常应保证装配传动件的轴颈对支承轴颈的同轴度要求，否则会影响传动件（齿轮等）的传动精度，并产生噪声。

普通精度的轴，其配合轴段对支承轴颈的径向跳动一般为0.01--0.03mm，高精度轴（如主轴）通常为0.001--0.005mm。

(3). 轴的材料及热处理 (Materials and heat treatments of shafts)

不重要轴：Q235A、Q255A、Q275A等，不进行热处理。

一般 轴：35、40、45、50等，正火、调质、淬火等。

重要 轴：40Cr、轴承钢GCr15、弹簧钢65Mn等，调质和表面淬火等。

45钢是轴类零件的常用材料，它价格便宜经过调质（或正火）后，可得到较好的切削性能，而且能获得较高的强度和韧性等综合力学性能，淬火后表面硬度可达45~52HRC。

40Cr等合金结构钢适用于中等精度而转速较高的轴类零件，这类钢经调质和淬火后，具有较好的综合力学性能。

轴承钢GCr15和弹簧钢65Mn，经调质和表面高频淬火后，表面硬度可达50~58HRC，并具有较高的耐疲劳性能和较好的耐磨性能，可制造较高精度的轴

4) 轴的毛坯

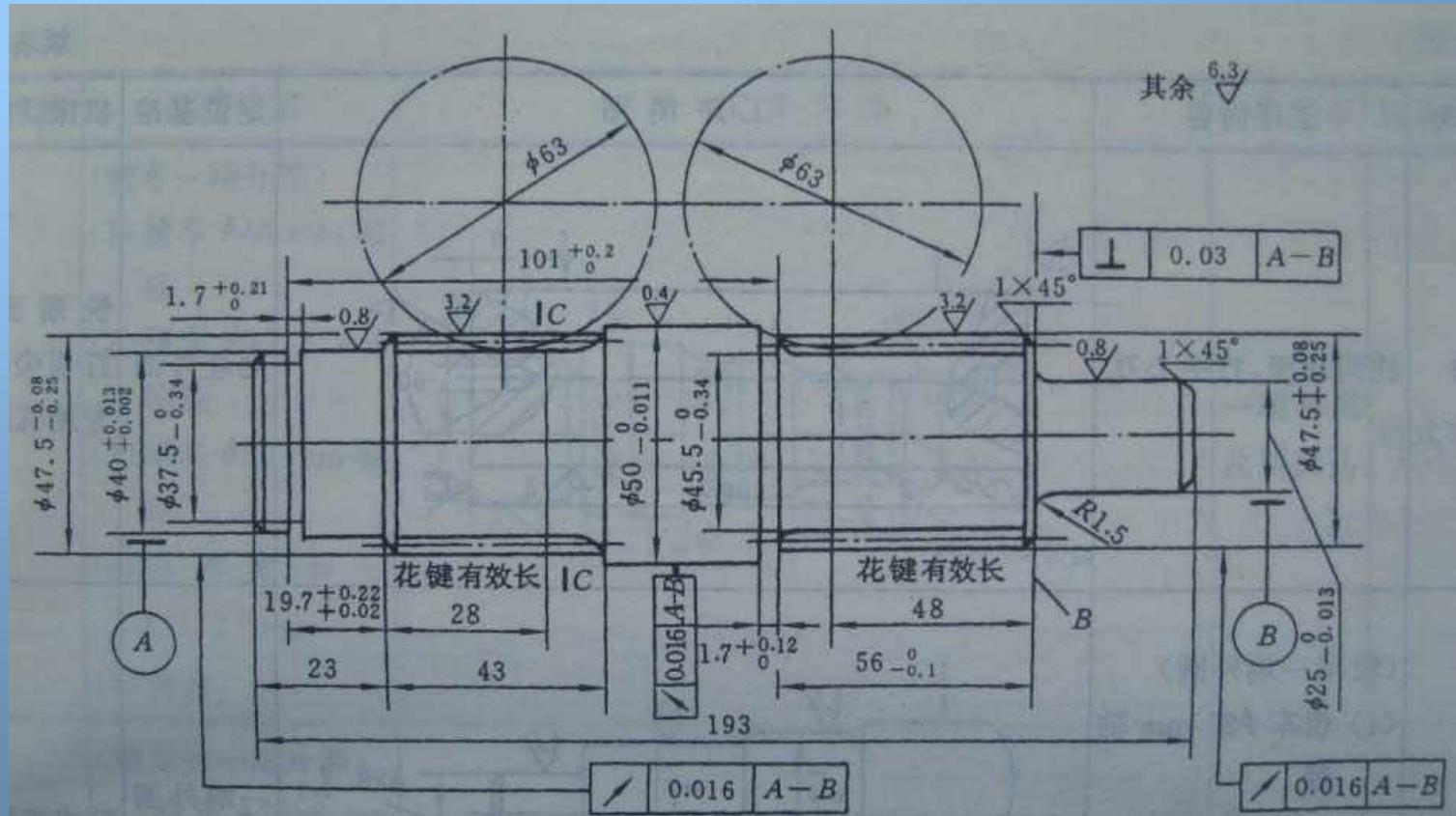
- 对于光轴和直径相差不大的阶梯轴，一般采用**圆钢**作为毛坯。
- 对于直径相差较大的阶梯轴以及比较重要的轴，应采用**锻件**作为毛坯。
- 对于某些大型的、结构复杂的异形轴，可采用**球墨铸铁**作为毛坯。

2. 轴的加工过程(machining process route of shaft)

工 序 Operations	内 容 Contents
预备加工 (Preparation)	校直、切断、端面加工和钻中心孔等 (straightening, cutting-off, facing the ends, center drill, etc.)
粗 车 (Rough turning)	粗车直径不同的外圆和端面 (Rough turning of external cylindrical surfaces and the end surface)
热 处 理 (Heat treatment)	正火、调质等 (Normalizing, quenching and tempering, etc)
精 车 (Fine turning)	修研中心孔后精车外圆、端面及螺纹等 (After reaming center drill holes, make fine turning of external cylindrical surfaces, end surface, threads, etc.)
其他工序 (Other operations)	铣键槽、花键、钻孔等 (Milling key slots, milling spline, drilling holes, etc.)
热 处 理 (Preparation)	耐磨部位的表面热处理 (Surface heat treatment of wearable surfaces)
磨削工序 (Grinding)	研磨顶尖孔后磨外圆、端面 (Grinding external cylindrical surfaces and end surfaces)

3. 举例：挖掘机减速器中间轴(中批生产)

Example: the middle shaft of speed reducer of excavator grab(middle batch production)



1). 零件各部分的技术要求 (Technical requirements)

① 在轴中有花键的两段外圆轴颈对轴线A—B的径向圆跳动的公差为0.016mm；

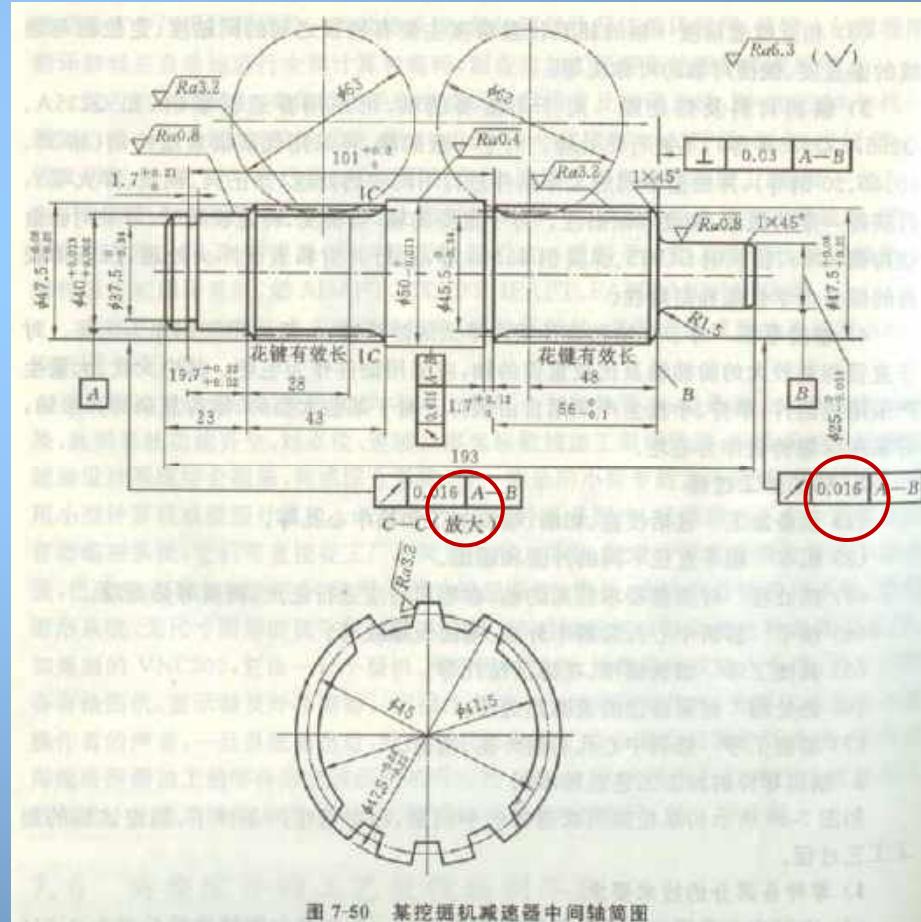


图 7-50 某挖掘机减速器中间轴简图

1). 零件各部分的技术要求 (Technical requirements)

φ 50h5段的轴
颈对轴线A—B
的径向圆跳动
公差为0.016mm；

花键轴颈端面
对轴A—B垂直
度公差为
0.03mm。

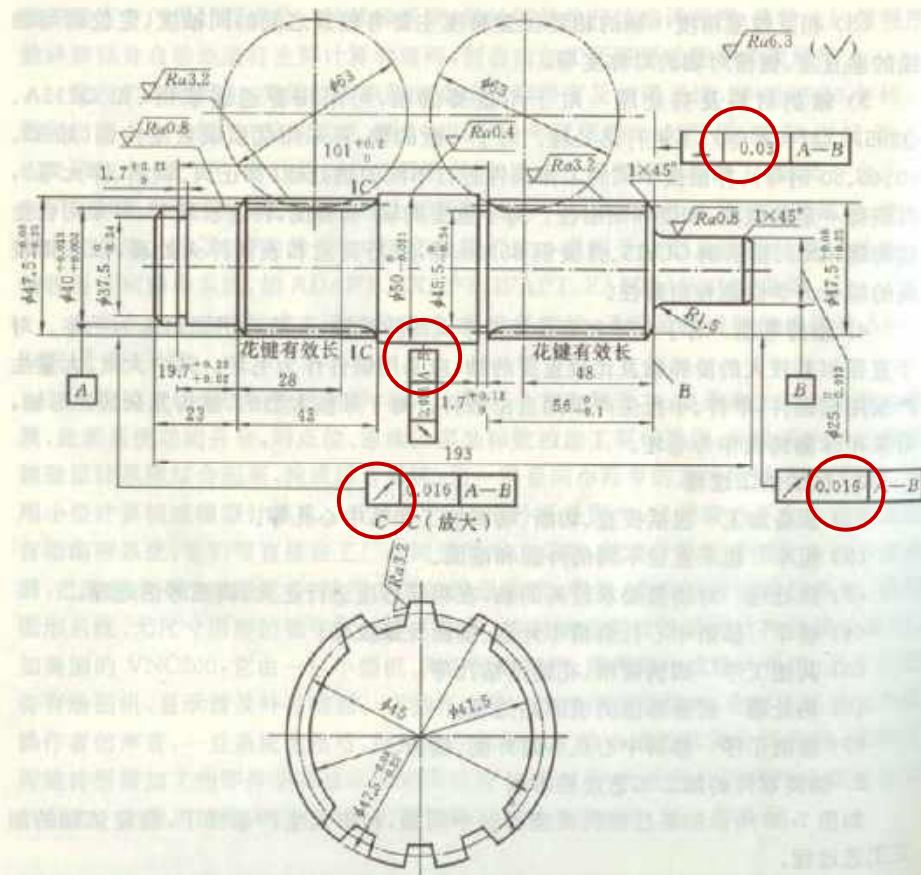


图 7-50 某挖掘机减速器中间轴简图

1). 零件各部分的技术要求 (Technical requirements)

② 零件材料为 20CrMnMo40, 渗碳淬火处理, 渗碳层深度为0.8—1.2 mm, 淬火硬度为58—62HRC。

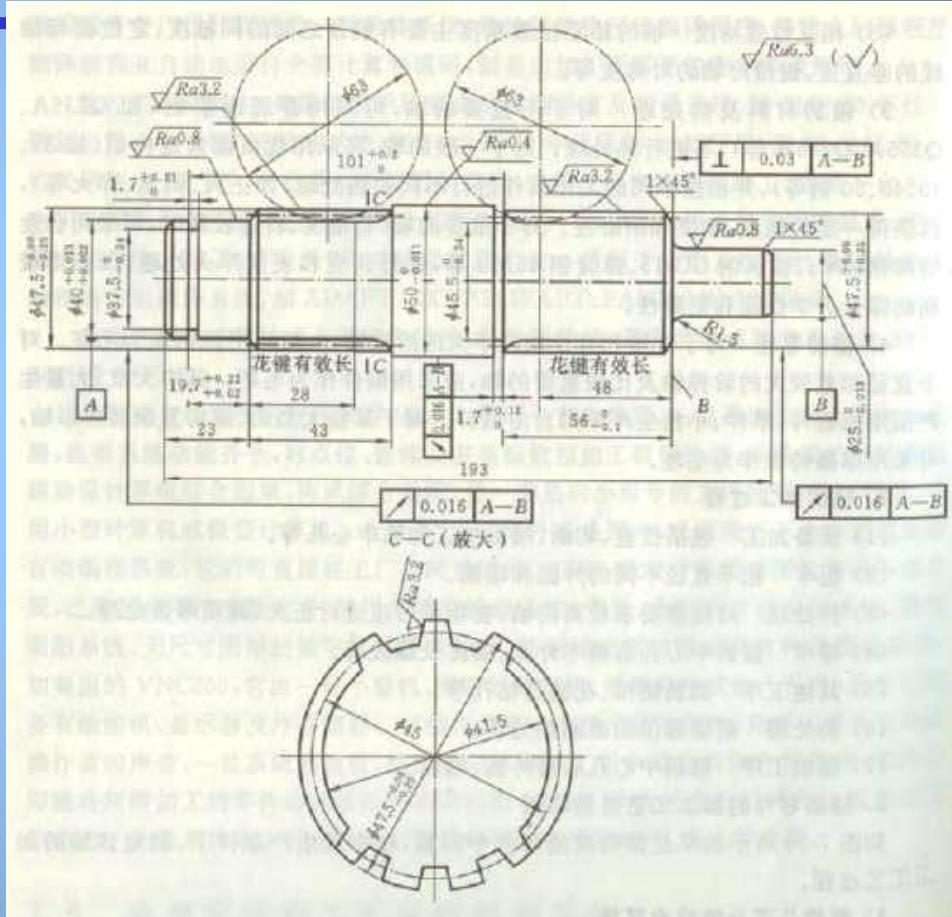


图 7-50 某挖掘机减速器中间轴简图

2). 工艺分析(Analyzing of machining processes)

根据各表面的具体要求，可采用如下的
加工方案：

粗车--精车--铣花键--热处理--磨削加工

3). 基准选择(Datum selection)

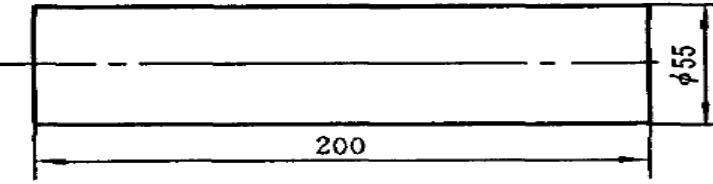
粗加工时：选一外圆与一中心孔为定位基准。

精加工时： 用轴两端的中心孔为精加工定位基准。(符合基准统一原则和基准重合原则)

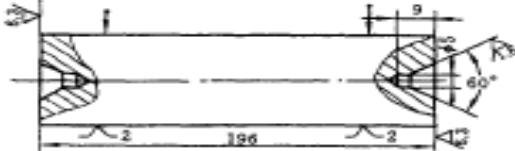
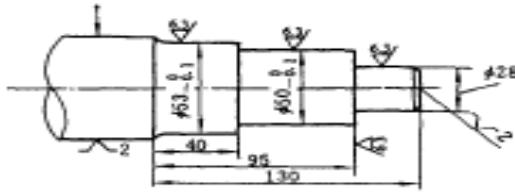
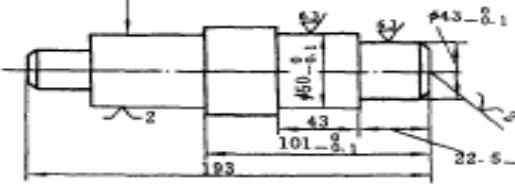
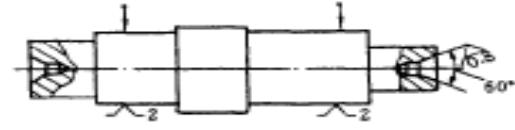
在精加工之前， 热处理后应修整中心孔。

4) 工艺过程

表 7-8 某挖掘机减速器中间轴的加工工艺过程

序号	工序内容	工序简图	定位基准	机床设备
1	切割下料	 <p>Technical drawing of a rectangular workpiece for cutting. The width is 200 and the height is 55.</p>		锯床
2	热处理(调质)			热处理炉

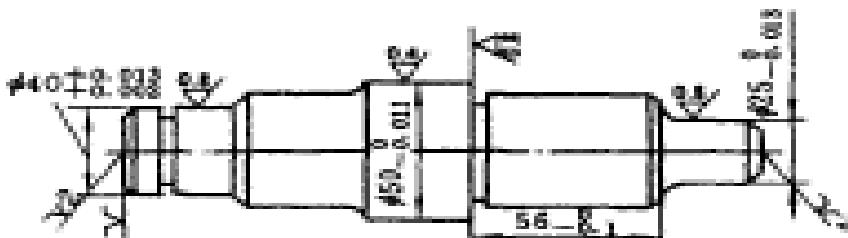
续表

序号	工序内容	工序简图	定位基准	机床设备
3	铣两端面,打中心孔		毛坯外圆	铣端面、打顶尖孔专用机床
4	(粗车一端外圆) (1) 粗车 $\phi 25$ mm 轴径 (2) 粗车 $\phi 47.5$ mm 轴径 (3) 粗车 $\phi 50$ mm 轴径		一端外圆及顶尖孔	卧式车床
5	(粗车另一端外圆) (1) 粗车 $\phi 40$ mm 轴径 (2) 粗车 $\phi 47.5$ mm 轴径 (3) 切长度 $101_{-0.1}$ mm (4) 切长度 193 mm		另一端外圆及顶尖孔	卧式车床
6	修整顶尖孔		外圆	卧式车床

续表

序号	工序内容	工序简图	定位基准	机床设备
7	(精车一端外圆) (1) 精车 $\varnothing 40$ mm 轴径 (2) 精车 $\varnothing 47.5$ mm 轴径 (3) 精车 $\varnothing 50$ mm 轴径 (4) 切槽宽 B = $1.7^{+0.12}$ mm (5) 倒角		一端外圆及顶尖孔	卧式车床
8	(精车另一端外圆) (1) 精车 $\varnothing 25h6$ mm 轴径 (2) 精车 $\varnothing 47.5$ mm 花键轴径 (3) 切各段长度 $l_1 = 56$ mm, $l_2 = 36$ mm (4) 倒角		一端外圆及顶尖孔	卧式车床
9	铣花键槽 (1) 铣左端花键底径 $\varnothing 41.5^{+0.1}_{-0.1}$ mm (2) 铣右端花键底径 $\varnothing 41.5^{+0.1}_{-0.1}$ mm		两端顶尖孔	花键铣床
10	去毛刺			
11	中间检查			
12	热处理(渗碳淬火)			热处理炉
13	研磨顶尖			钻床

续表

序号	工序内容	工序简图	定位基准	机床设备
14	(精磨各轴径外圆) (1) 磨 $\phi 25_{-0.015}^{+0.015}$ mm 轴径 (2) 磨 $\phi 40_{-0.015}^{+0.015}$ mm 轴径 (3) 磨 $\phi 50_{-0.015}^{+0.015}$ mm 轴径		两端顶尖孔	外圆磨床
15	清洗			
16	终检			

7.6.2 齿轮类零件的加工工艺

1. 齿轮零件的结构特点

- 从工艺观点可将齿轮看成是由齿圈和轮体两部分构成。
- 齿圈的结构形状和位置是评价齿轮结构工艺性的一项重要指标。单联齿轮圈齿轮的结构工艺性最好。多齿圈齿轮由于轮缘间的轴向距离较小，加工方法受限制（一般只能选插齿加工）。

2. 机械加工的一般工艺过程

- 加工一个精度较高的圆柱齿轮，大致经过如下工艺路线：
毛坯制造及热处理→齿坯加工→齿形加工→齿端加工→轮齿热处理→定位面的精加工→齿形精加工。

1) 齿轮的材料及热处理

当前生产中常用的材料及热处理大致如下：

- **中碳结构钢(如45钢)**进行调质或表面淬火。经正火或调质后，提高了材料的可加工性。但这种材料可淬透性较差，一般只用于齿面表面淬火。常用于低速、轻载或中载的普通精度齿轮。
- **中碳合金结构钢(如40Cr)**进行调质或表面淬火。这种材料经热处理后综合力学性能好热处理变形小。适用于制造速度较高、载荷较大、精度高的齿轮。

齿轮的材料及热处理

- **渗碳钢(如20Cr、20CrMnTi等)**经渗碳淬火，齿面硬度可达 $58\sim63\text{HR}_\text{C}$ ，而心部又有较好的韧性，既能耐磨又能承受冲击载荷，这些材料适于制作高速、小载荷或具有冲击载荷的齿轮。
- **铸铁及其他非金属材料**，这些材料强度低容易加工，适用于制造轻载荷的传动齿轮。

2) 毛坯制造

- 尺寸较小、结构简单而且对强度要求不高的钢制造齿轮可采用轧棒做毛坯。
- 强度、耐磨性和耐冲击要求较高的齿轮多采用锻件。
- 尺寸较大(直径大于400--600mm)且结构复杂的齿轮，常采用铸造方法制造毛坯。小尺寸而形状复杂的齿轮可以采用精密铸造或压铸方法制造毛坯。

3) 齿坯加工

齿形加工前的齿轮加工称为齿坯加工。

主要包括：齿坯的孔加工（对于盘类、套类和圆形齿轮）、端面和顶尖孔加工（对于轴类齿轮）以及齿圈外圆和端面的加工。

盘类齿轮的齿坯加工过程：

大批大量加工中等尺寸齿坯时采用钻—拉—多刀车的工艺方案：

- ①以毛坯外圆及端面定位进行钻孔或扩孔。
- ②以端面支承进行拉孔。
- ③以内孔定位在多刀半自动车床上粗、精车外圆、端面、切槽及倒角等。

- 成批生产齿坯时，常采用车一拉的工艺方案：
 - ①以齿坯外圆或轮毂定位，粗车外圆、端面和内孔。
 - ②以端面支承拉出内孔(或花键孔)。
 - ③以内孔定位精车外圆及端面等。
- 单件小批生产齿轮时，一般齿坯的孔、端面及外圆的粗、精加工都在通用车床上经两次安装完成。

4) 齿形加工

齿形加工是整个齿轮加工的核心与关键。

常用的齿形加工方案如下：

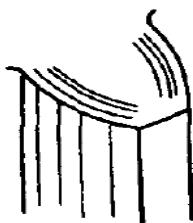
- 8级精度以下的齿轮：调质齿轮用滚齿或插齿就能满足要求。对于淬硬齿轮可采用：滚(插)齿→齿端面加工→淬火→校正内孔的方案，但在淬火前齿形加工精度应提高一级。
- 6~7级精度齿轮：对于齿面不需淬硬的齿轮，采用滚(插)齿→齿端加工→剃齿的加工方案。

对于淬硬齿轮可采用：滚(插)齿→齿端加工→剃齿→表面淬火→校正基准→珩齿。

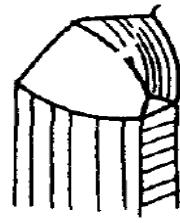
- 5级以上精度的齿轮：一般采用：粗滚齿→精滚齿→齿端加工→淬火→校正基准→粗磨齿→精磨齿。

5) 齿端加工

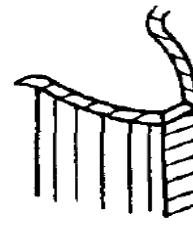
齿端加工的方式有倒圆、倒尖、倒棱和去毛刺。齿端加工必须安排在齿形淬火之前，通常在滚(插)齿之后进行。



(a) 倒圆



(b) 倒尖



(c) 倒棱

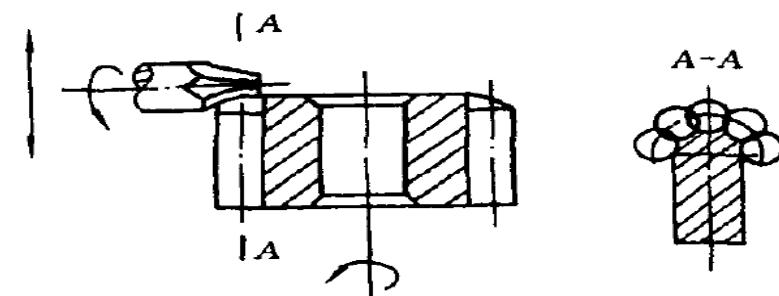


图 7-57 齿端倒圆原理图

图 7-56 齿端加工后的形状

6) 齿轮的热处理

- 分为齿坯的预备热处理和轮齿的表面淬硬热处理。
- 齿坯的热处理通常为正火和调质，正火一般安排在粗加工之前，调质则安排在齿坯加工之后。
- 为延长齿轮寿命，常常对轮齿进行表面淬硬热处理，根据齿轮材料与技术要求不同，常安排渗碳淬火和表面淬硬等热处理。

7) 精基准校正

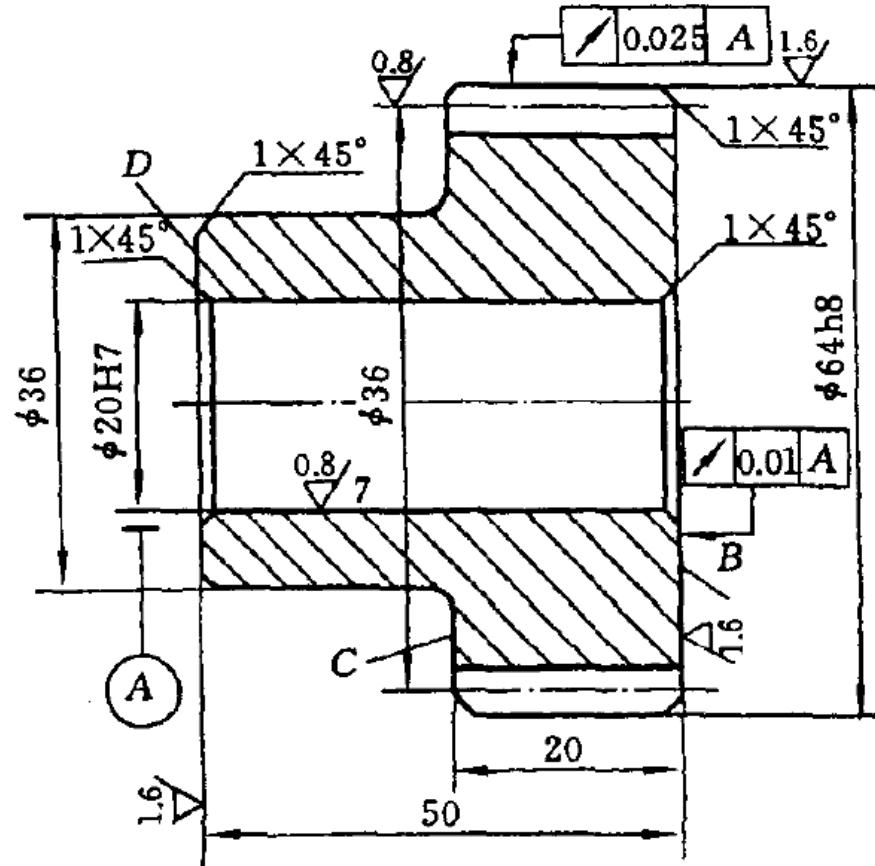
轮齿淬火后其内孔常发生变形，内孔直径可缩小 $0.01\sim0.05\text{mm}$ ，为确保齿形加工质量，必须对基准孔加以修整。修整的方法一般采用推孔和磨孔。

8) 齿轮精加工

以磨过(修正后)的内孔定位，在磨齿机上磨齿面或在珩齿机上珩齿。

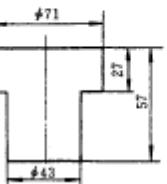
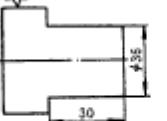
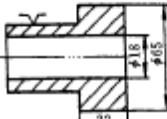
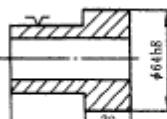
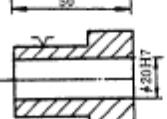
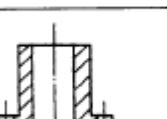
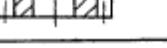
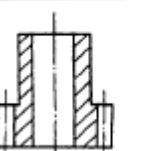
例1：

其余^{6.3}▽



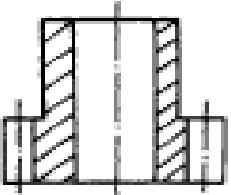
材料 HT200, 精度 7 级, 模数 $m=2$, 齿数 $z=30$

表 7-9 单件小批生产时齿轮加工工艺过程

序号	工序名称	工序内容	加工简图	加工设备
1	铸	铸造、清理		
2	车	(1) 粗车、半精车小头外圆面和端面至 $\phi 36$ mm \times 30 mm (2) 倒角(小头) (3) 倒头,粗车、半精车大头外圆面和端面至 $\phi 65$ mm \times 22 mm (4) 钻孔至 $\phi 18$ mm (5) 粗镗孔至 $\phi 19$ mm (6) 精车大头外圆面和端面, 保证尺寸 $\phi 64h8$ mm, 50 mm 及 20 mm (7) 半精镗孔、精镗孔至 $\phi 20H7$ mm	     	车床
3	滚齿	滚齿余量为 0.03~0.05 mm		滚齿机

因材料为HT200，毛坯成型方式为铸造

单件、小批量生产，工序集中。
 先粗后精；
 先面后孔；
 粗精分开。

序号	工序名称	工 序 内 容	加 工 简 图	加 工 设 备
4	倒角	倒角		
5	剃齿	剃齿保证轮齿的精度为 7 级		剃齿机

例2：调整套筒

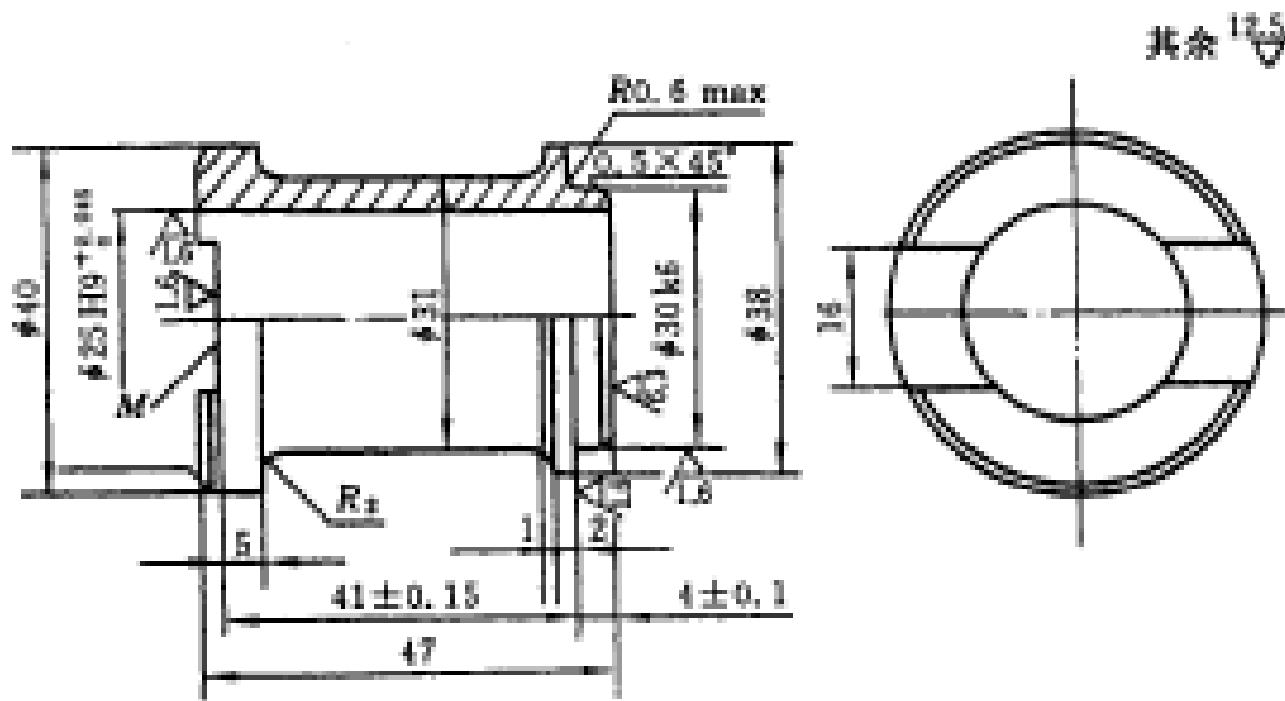
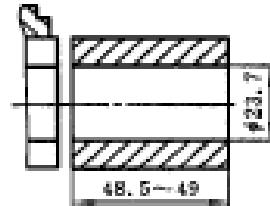
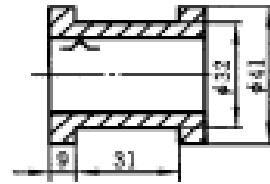
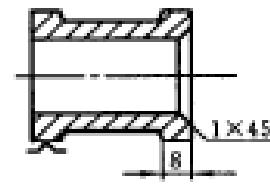


图 7-59 柴油机的调整套筒

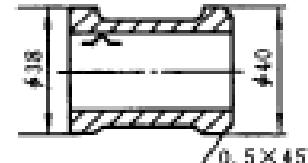
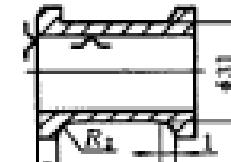
调整套筒机械加工工艺过程

表 7-10 调速套筒的机械加工工艺规程

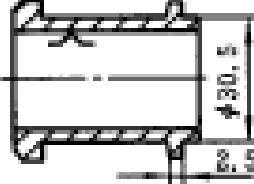
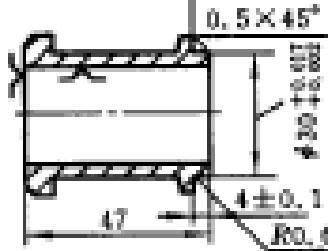
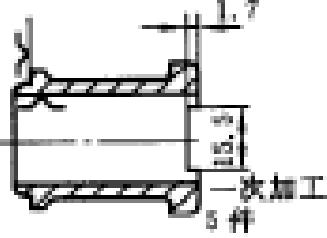
工序号	工种	工序内容	加工简图	设备
1	车	钻孔 $\varnothing 23.7$ mm, 切断长 49 mm		卧式车床
2	车	粗车外圆至 $\varnothing 41$ mm 粗车外圆至 $\varnothing 32$ mm		卧式车床
3	热处理	调质, 26~31 HRC		
4	车	车一端面, 倒角 1 mm \times 45°		卧式车床

调整套筒机械加工工艺过程

续表

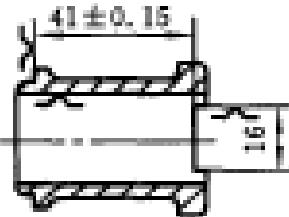
工序号	工种	工序内容	加工简图	设备
5	拉	粗拉孔 $\varnothing 24.5$ mm		卧式拉床
6	拉	精拉孔 $\varnothing 25 (+0.04)$ mm		卧式拉床
7	车	车 $\varnothing 40$ mm, $\varnothing 38$ mm 倒角 $0.5 \text{ mm} \times 45^\circ$		卧式车床
8	车	车空位, 车两边及圆弧 $R2$ mm		卧式车床

调整套筒机械加工工艺过程

9	车	粗车止口 $\phi 30.5$ mm		卧式车床
10	车	精车止口 $\phi 30h6(\phi 29.97 \sim \phi 30.03)$ mm 车端面总长 47 mm 保证 4 mm ± 0.1 mm 倒角 0.5 mm $\times 45^\circ$		卧式车床
11	铣	铣槽 15.5 mm, 底面深 1.7 mm		卧式铣床
12	热处理	M 面离频淬火, 51~59 HRC		

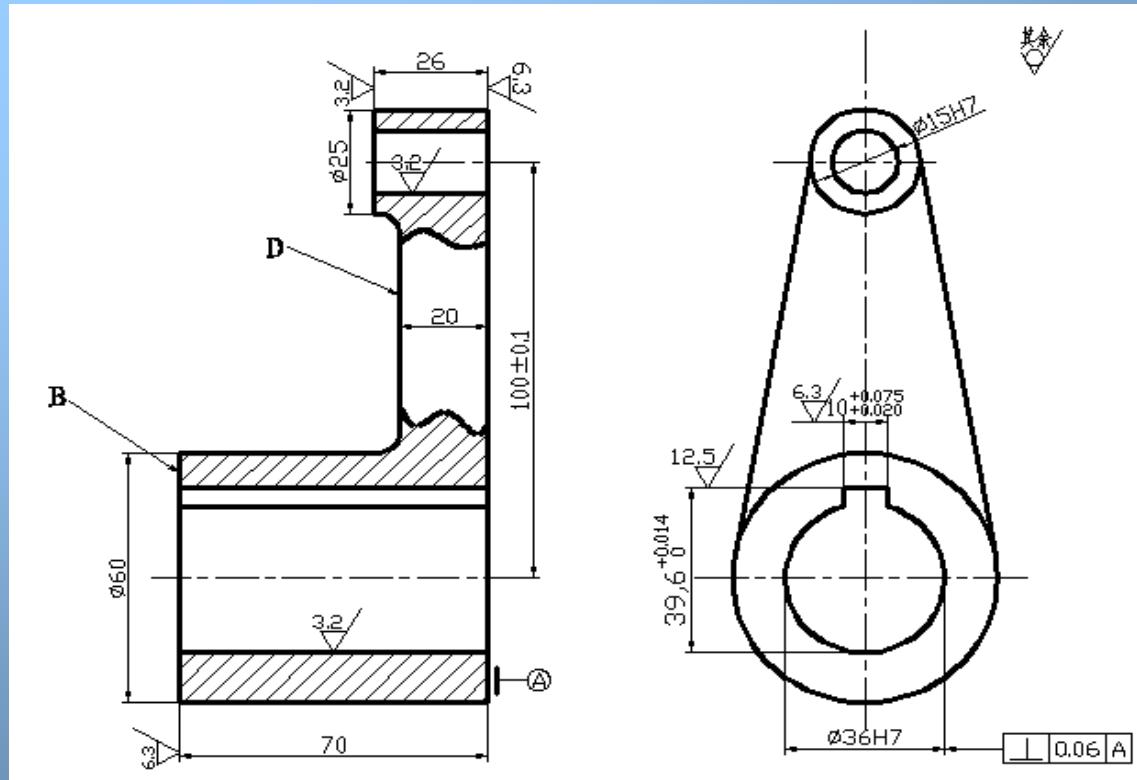
调整套筒机械加工工艺过程

续表

工序号	工种	工序内容	加工简图	设备
13	磨	磨槽 16 mm 保证 $41 \text{ mm} \pm 0.15 \text{ mm}$	 <p>槽 16 mm 应对称于 $\phi 25 \text{H9 mm}$ 中心线, 偏移公差 0.3 mm; M 面 对 $\phi 25 \text{H9 mm}$ 中心线, 垂直度公 差 0.25 mm/100 mm</p>	万能工具 磨床
14	钳	去毛刺		

例：下图所示零件生产规模为成批生产，已知该工件的毛坯为铸件（孔未铸出）。

1) 选择下列表表面的加工方案并填入下表：



型面	加工方案
平面A	例：粗车—精车
$\Phi 36H7$	
大端面B	
$\Phi 15H7$	
键槽	

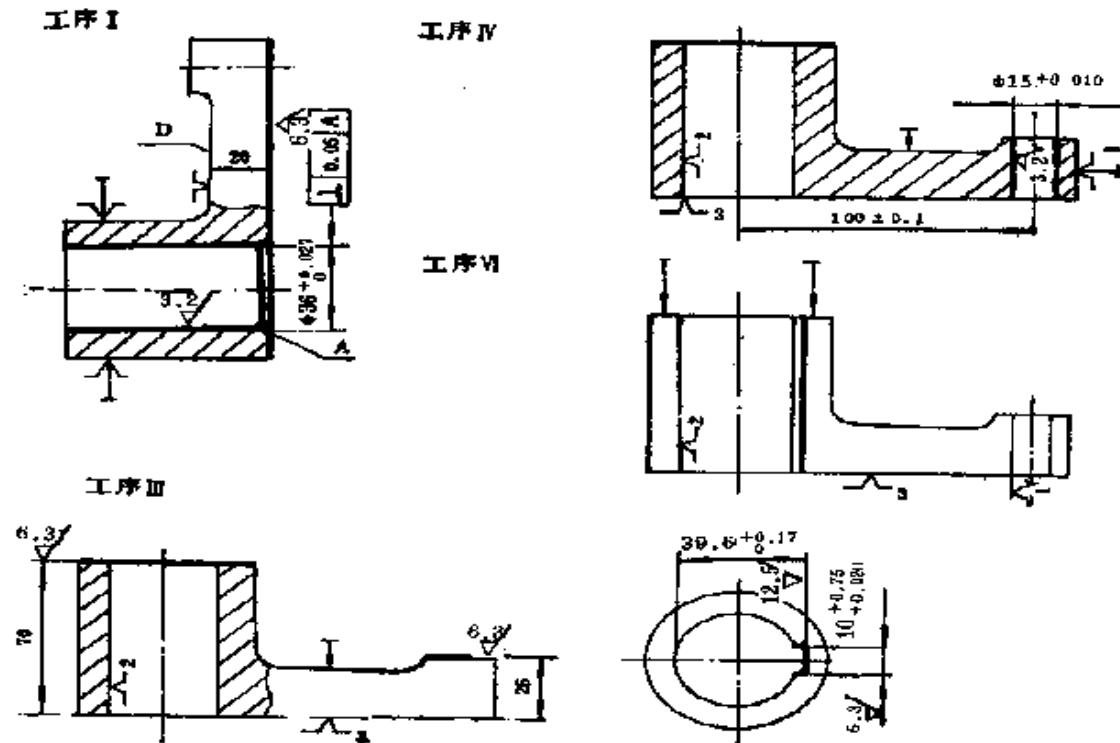
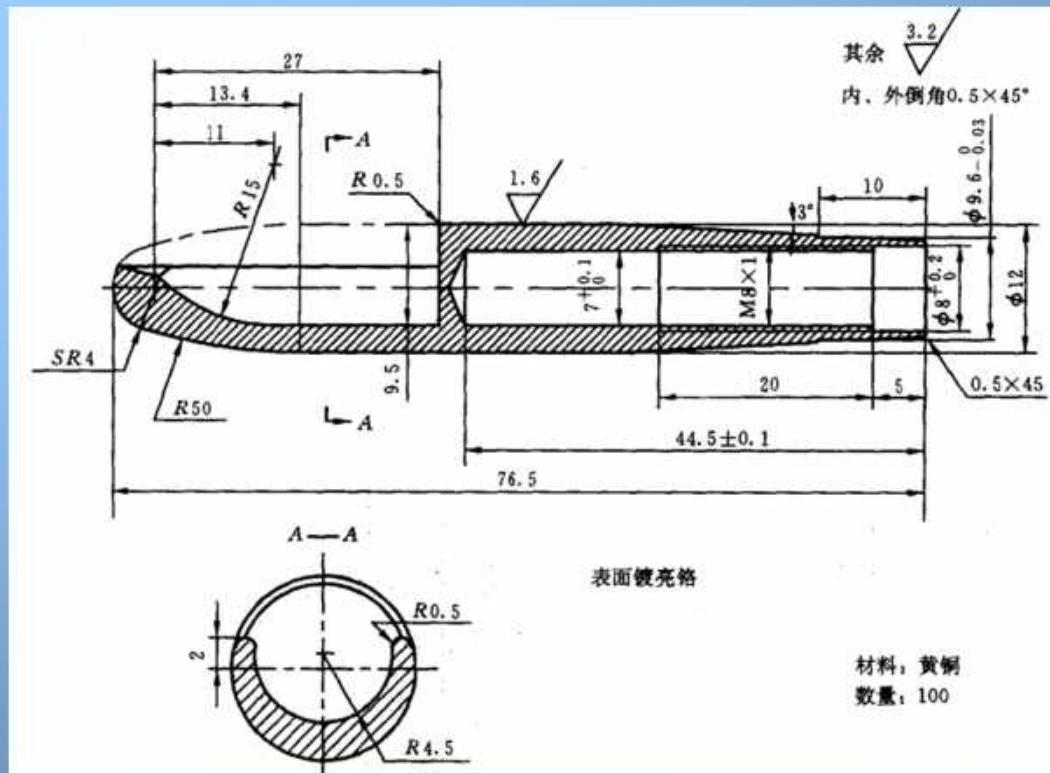


図 5-12

[解]工艺路线参考方案列于下表,其主要工序的工序图见图 5-12。

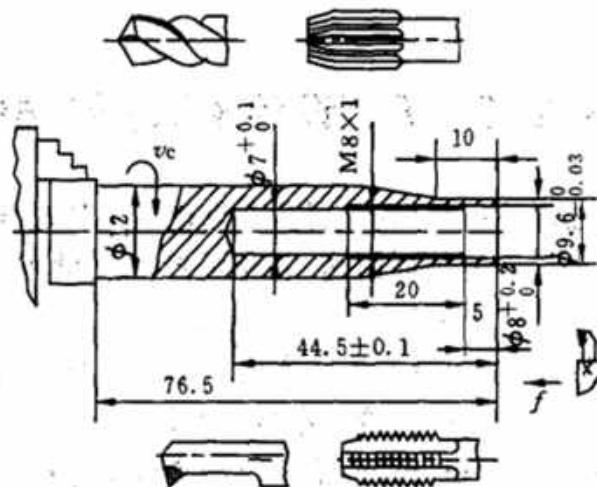
工序号	工序名称及内容	定位基准
0	铸坯—退火—检验	
1	粗精车 A 面,保持尺寸 20 及 ± 0.3 ; 占孔 $\phi 20$, 粗镗 $\phi 35.5 \pm 0.16$ 并倒角, 精镗 $\phi 36^{+0.027}_0$ 及 ± 0.2	$\phi 60$ 外圆及杆身上平面 D
2	检验	
3	铣大端面保持尺寸 70 及 ± 0.3 ; 铣小端面保持尺寸 26 及 ± 0.3	A 面, $\phi 36^{+0.027}_0$ 孔
4	钻 $\phi 14$, 扩 $\phi 14.85$, 粗铰 $\phi 14.95$, 精铰 $\phi 15^{+0.019}_0$ 及 ± 0.2 保持尺寸 100 ± 0.1	A 面, $\phi 36^{+0.027}_0$ 孔及 $\phi 25$ 外圆
5	修毛刺,倒锐棱	
6	插键槽宽 10 ± 0.025 及 ± 0.3 , 保持尺寸 39.6 ± 0.17	A 面, $\phi 15^{+0.019}_0$ 孔及 $\phi 36^{+0.027}_0$ 孔
7	检验	

例：送药套



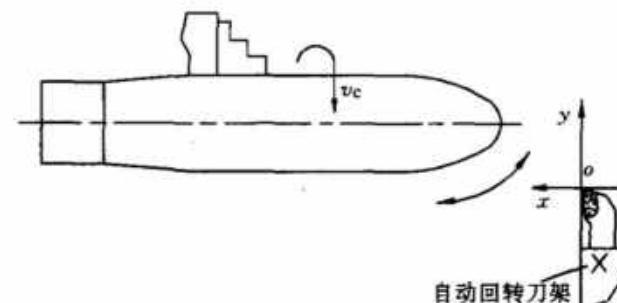
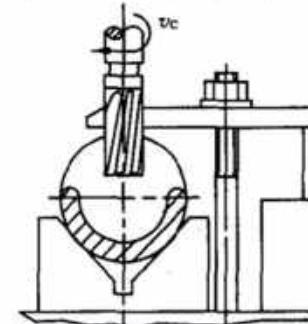
送药套工艺过程

表 9-6 送药套工艺卡片

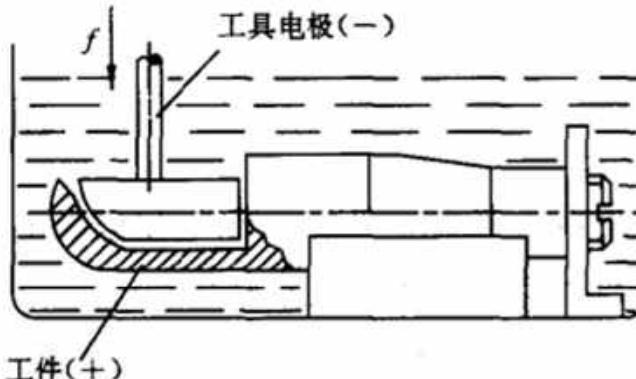
工 序 号	工 种	工 序 内 容	加 工 简 图	设备
1	下料	$\phi 15 \times 80$ 100 件		手锯
2	车	三爪自定心卡盘装夹, 将 $\phi 12$ 外圆粗车至 $\phi 12.5$; 车端面见平, 截总长 76.5; 钻 $\phi 6.8$ 孔深 44.5; 铰孔至尺寸 $\phi 7^{+0.1}$; 精车孔 $\phi 8^{+0.2} \times 5$; 攻螺纹 $M8 \times 1$ 深 20; 精车外圆 $\phi 12 \times 76.5$; 精车外圆 $\phi 96_{-0.03} \times 10$; 精车 3° 锥面至尺寸; 内外倒角 $0.5 \times 45^\circ$		车床

送药套工艺过程

表

工序号	工种	工 序 内 容	加工简图	设备
3	数控车	调头三爪自定心卡盘装夹数控车削送药套外成形表面		微机数控车床
4	铣	V形铁+压板螺钉装夹工件,在立铣床上用立铣刀粗加工内成形面		立铣床

送药套工艺过程

5	电火花加工	电火花加工内成形面至尺寸		电火花成形加工机床
6	表面处理	表面镀亮铬		
7	检	检验		

- 拟定图7-46所示小轴的加工工艺路线。已知：毛坯为45钢Φ38x156，大批量生产。

