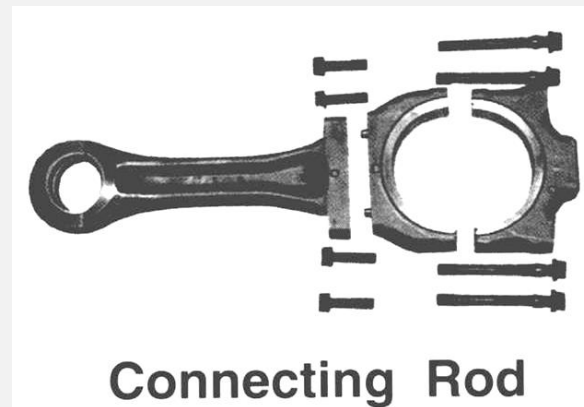


第四章 典型船机零件的制造工艺

Chapter 4 Manufacture processes of typical work pieces

内容提要:

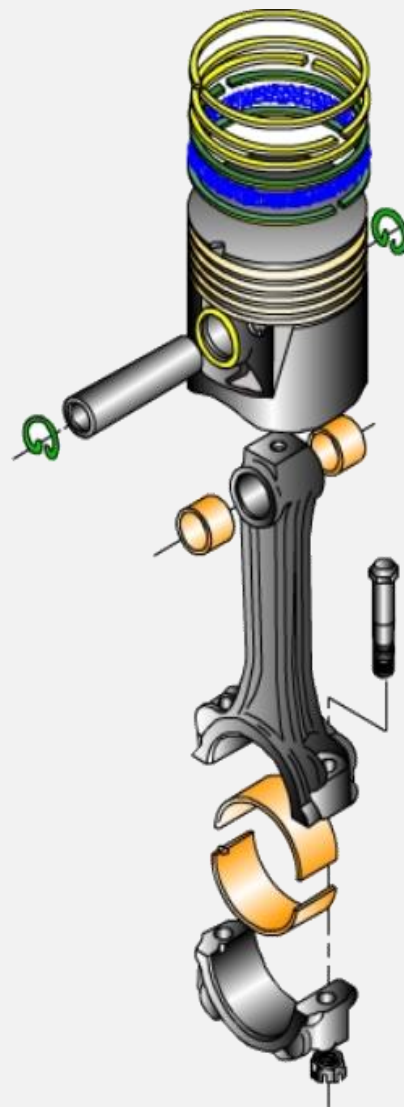
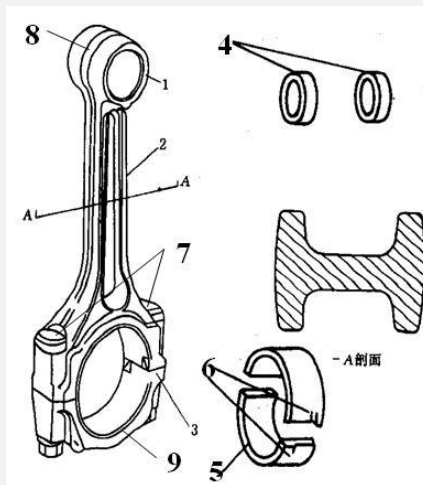
- ◆ 活塞制造工艺
- ◆ 连杆制造工艺
- ◆ 曲轴制造工艺
- ◆ 活塞环制造工艺



第2节 连杆制造工艺

Manufacture of connecting rod

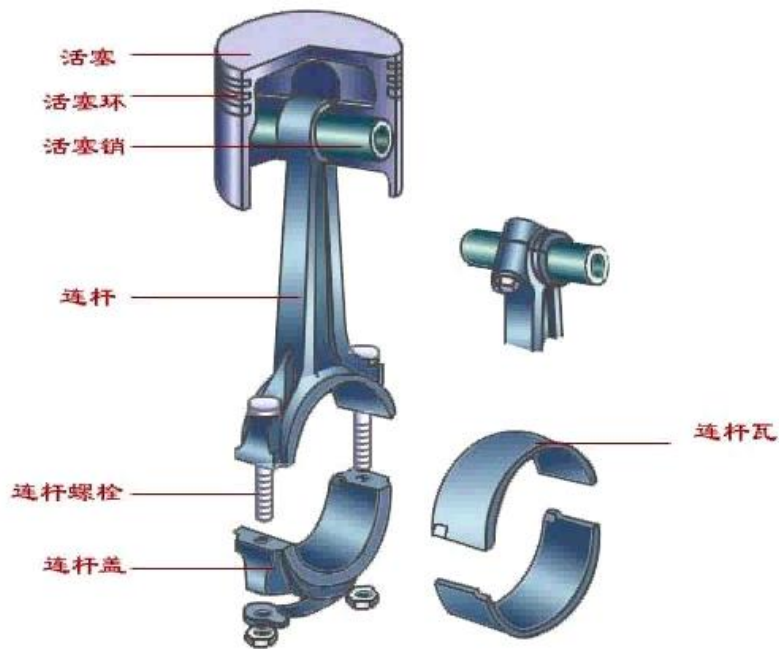
- 一、连杆的材料、毛坯的制备方法和加工技术要求
- 二、筒型活塞柴油机连杆的加工
- 三、连杆成品的检验



一、连杆材料、毛坯和加工技术要求

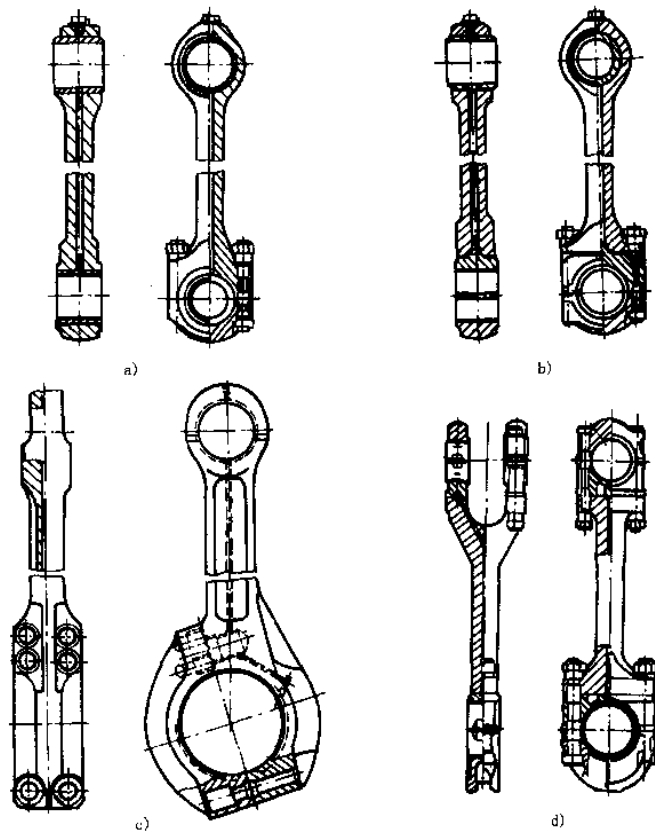
活塞连杆组

活塞连杆组由活塞、活塞环、活塞销、连杆、连杆轴瓦等组成。



连杆典型结构

连杆组由连杆体、大头盖、连杆轴瓦及连杆螺栓等组成。



(a)为端盖可拆式的，
(b)为大端可拆式的；
(c)为大端具有斜切口；
(d)为十字头式的。

连杆螺栓的材料

船用大型低速机： 40、35CrMo 、40Cr。

船用中、高速柴油机： 20CrNi、18CrNiWA、35CrMoA、40Cr等。

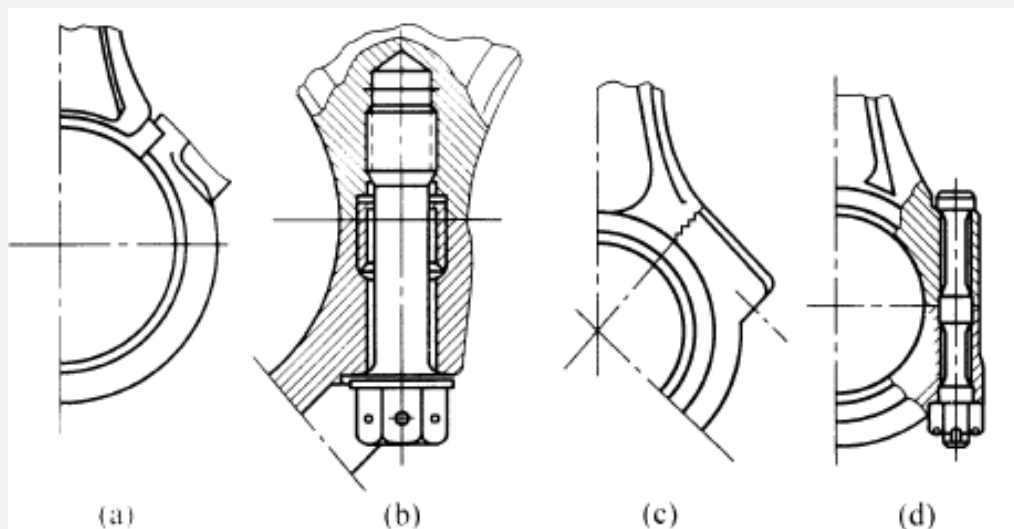
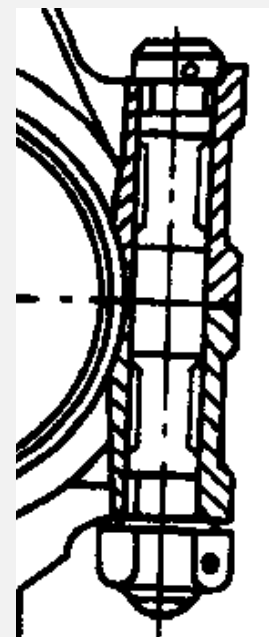


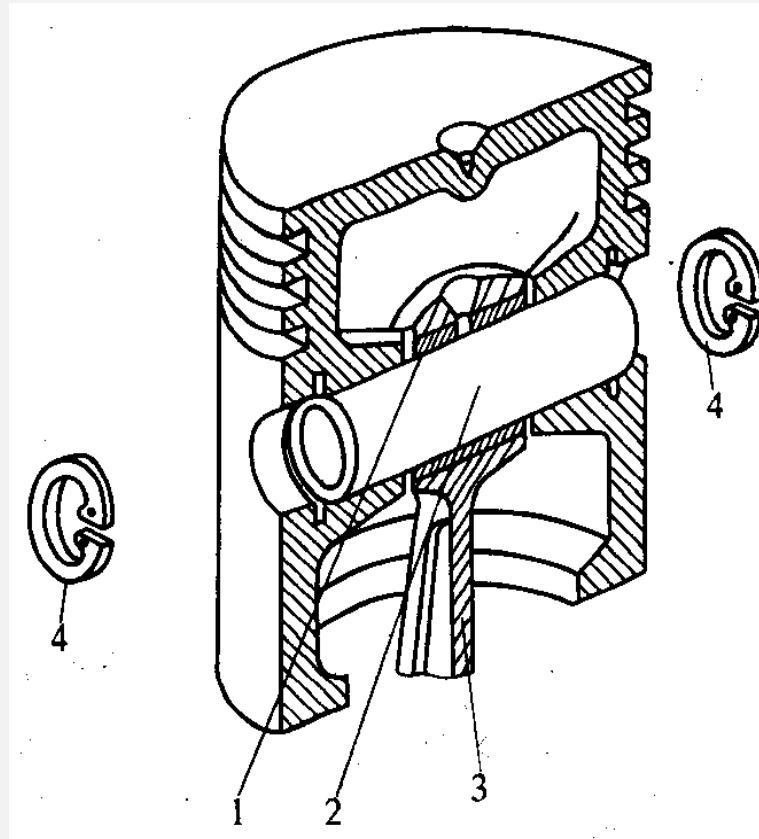
图 2-15 连杆大端切口定位型式

(a) 止口定位 (b) 销套定位 (c) 锯齿定位 (d) 平切口连杆的定位



连杆小端的衬套或轴承的材料

- 青铜: ZCuSn10Pb1、ZCuSn6Pb6Zn3
- 钢壳(10、15钢) 浇注耐磨合金: ZSnSb11-6锡基白合金或ZCuPb30铜铅合金



连杆大端轴瓦的材料

钢壳(10、15钢, 1 - 3mm) 浇注耐磨合金(0.3 - 0.7mm):
ZSnSb11-6锡基白合金或ZCuPb30铜铅合金和锡铝合金

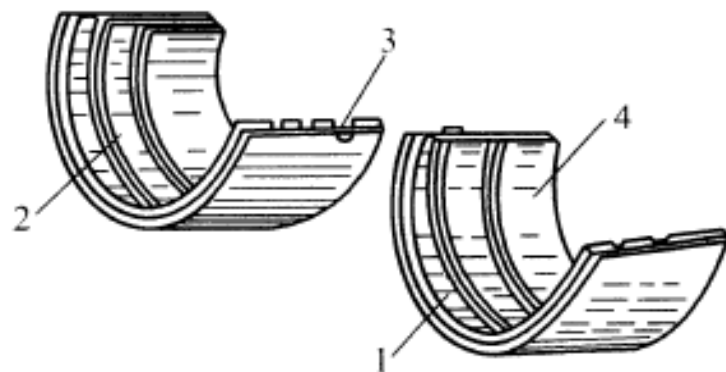
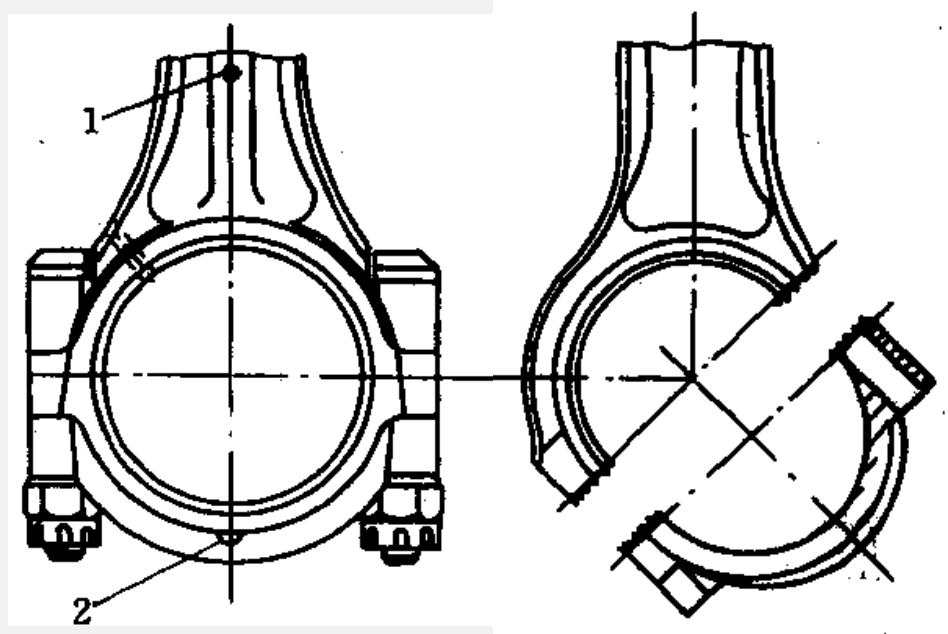


图 2-16 连杆轴瓦结构

1. 钢背 2. 油槽 3. 定位凸键 4. 减摩合金层

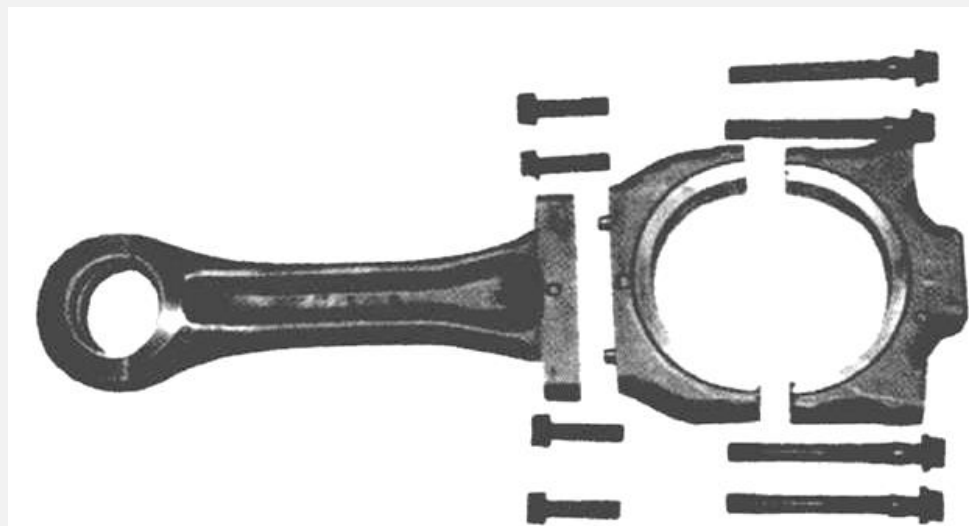
*连杆杆身和端盖的材料

种类	牌号	应用
碳素调质钢	35、40、45	小功率发动机、船用大型低速机。
合金调质钢	40Cr、45Cr、35CrMo、40CrMo、42CrMo(A)、40CrMnMo	大功率发动机、船用中、高速柴油机
非调质钢	35MnVS、35MnVN、40MnV、48MnV、49MnVS3、30SiMnVS6	用于汽车发动机连杆等。
可锻铸铁	GTS65	多用于汽油机
球墨铸铁	GGG70	多用于汽油机
粉末冶金连杆	HS150TM、HS160TM	英、瑞士、德：Pe1.5Cr-0.5C 德：Fe (0.35-0.45) C (0.3-0.4) Mn (0.1-0.25) Cr- (0.2-0.3) Ni 日本：Fe-0.5C-2.0Cu-0.09S 及 Pe-0.55C2.0Cu-0.2S

问题： 车辆发动机连杆的材料都是钢质的吗？

连杆毛坯的制造方法

- **自由锻**：大、中型柴油机的连杆
- **模锻**：中、小型工字形断面连杆
- **铸造**：小型轻载连杆。



Connecting Rod



连杆锻造毛坯图

问题：为什么很多连杆用调质钢？

材料 牌号	化学成分(%)						
	C	Si	Mn	Cr	Mo	P	S
40Cr	0.37~0.44	0.17~0.37	0.50~0.80	0.80~1.10	≤0.15	≤0.035	≤0.035
35CrMo	0.32~0.40	0.17~0.37	0.40~0.70	0.80~1.10	0.15~0.25	≤0.035	≤0.035

调质显微组织为回火索氏体或者回火索氏体+少量铁素体。

材料 牌号	力学性能					
	抗拉强度 σ_b (MPa)	屈服强度 σ_s (MPa)	硬度 (HB)	断面收缩率 ψ	延伸率 δ_s	冲击韧性 A_{ku}^2 (J/cm ²)
40Cr	750	550	237~285	≥40%	≥15%	≥60
35CrMo	820	630	250~320	≥42%	≥15%	≥80

*问题： 可以用非调质钢制造连杆吗？

非调质钢是通过添加合金微量元素，锻后控制冷却，析出强化物，而得到与调质处理同等的力学性能。

- 38MnV （中国一汽）
- 40MnV （中国一汽）
- 35MnVS4 （含硫易切削）
- 36MnVS4
- C70S6 （国外，德国）

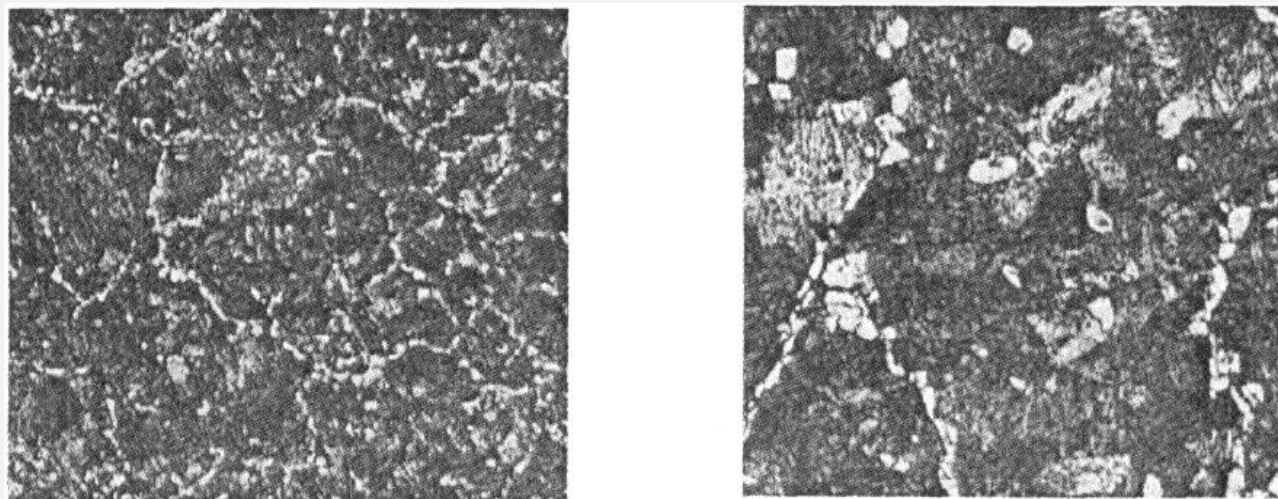


图 1 非调质钢连杆体的显微组织（左×100、右×500）

*连杆用非调质结构钢化学成分实测结果%

钢的牌号	C	Si	Mn	P	S	Cr	V
40MnV	0.40	0.54	1.44	0.025	0.038	0.196	0.08
38MnV	0.35	0.58	1.32	0.012	0.026	0.108	0.08
35MnVS	0.39	0.49	1.12	0.017	0.360		0.10

两种非调质结构钢连杆力学性能实测结果

性能指标	R _m /MPa	R _{p0.2} /MPa	A ₅ /%	Z/%	Ak/J	HB
40MnV	930 935	640 620	15 18	48 47	14 ¹⁾ 18 ¹⁾	体: 287 ⁻ 298 盖: 269 ⁻ 276
35MnVS	918		15.2		92 ²⁾	222 ⁻ 283

注: 1) Ak 样品取自连杆杆身大端的横向

2) Ak 样品为 5×10×55(mm) 纵向

***问题：** 车辆发动机连杆的材料需要塑形好吗？

***问题：** 如何实现连杆质量轻量化，有何好处？

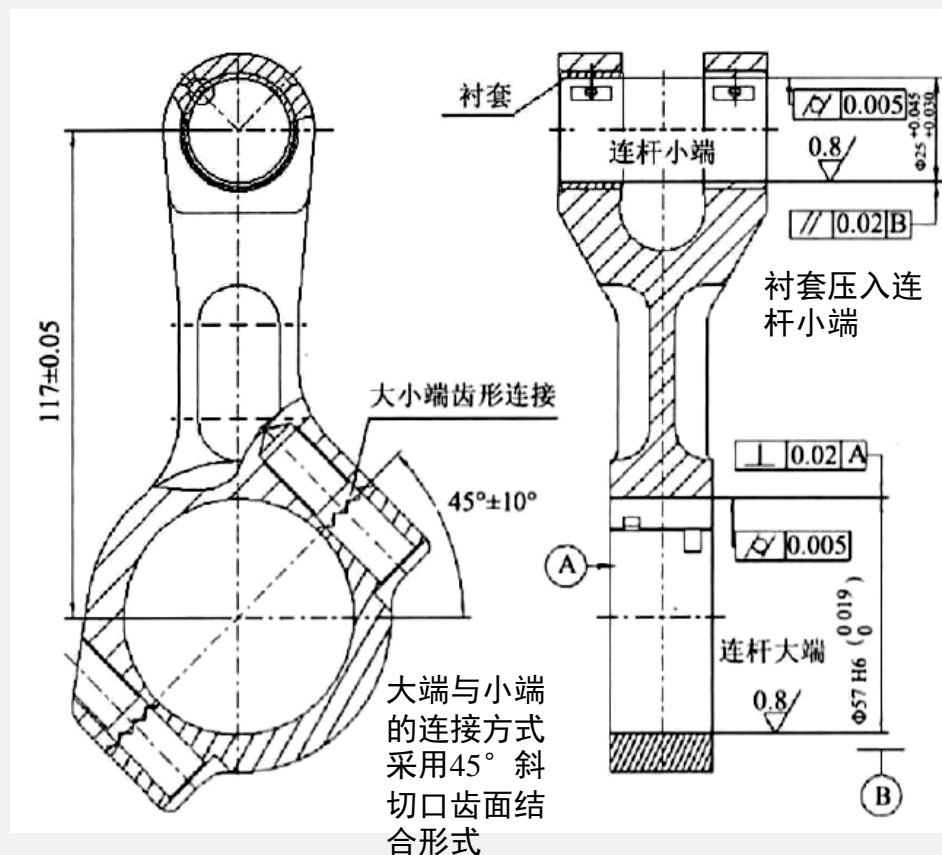
柴油机的连杆材料与性能

柴油机	材料	力 学 性 能 (≥)					
		R _m /MPa	R _{p0.2} /MPa	A ₅ /%	Z/%	HB	Ak/J
机型 1	40Cr	754	588	11	40	233 280	横向 29 纵向 59
机型 2	42CrMo	860	620	16	50	266 302	横向 34 纵向 74
机型 3	38MnVS	862	579	15	30	265 302	纵向 39 横向 4*
机型 4	40MnBH	862	621	15	45	266 302	
机型 5	DIN37MnSi5	882	630	15	40	260 285	
机型 6	IE688 相当 40MnBH					269 302	

注：* 表中序号 3 系对连杆杆身大端横向冲击吸收功的表述

1. 尺寸、形状精度

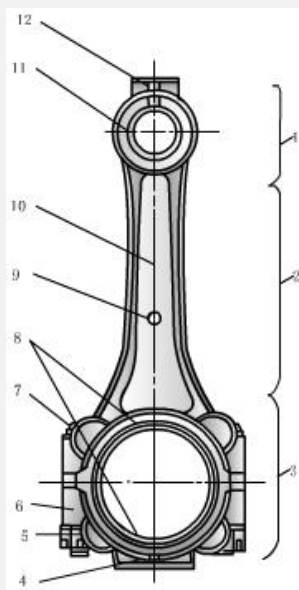
- 大小端孔的精度;
- 大小端孔的圆度和圆柱度公差;
- 大小端孔轴线之间的距离偏差;
- 连杆螺栓孔的公差;
- 十字头式连杆上下平面度在每米长度上公差值。



连杆成品结构形式图

2. 位置精度要求

- 大、小端孔轴线 “//” ；
- 大小端孔的轴线必须与杆身轴线 “ \perp ” 并相交；
- 可拆式大端与杆结合平面与大端孔轴线 “//” ；
- 大端和大端端盖螺母支承平面与连杆螺栓孔轴线 “ \perp ” ；
- 大小端螺栓孔轴线应与大小端孔轴线对称；
- 十字头式杆身上下结合平面应与杆身轴线 “ \perp ” 。

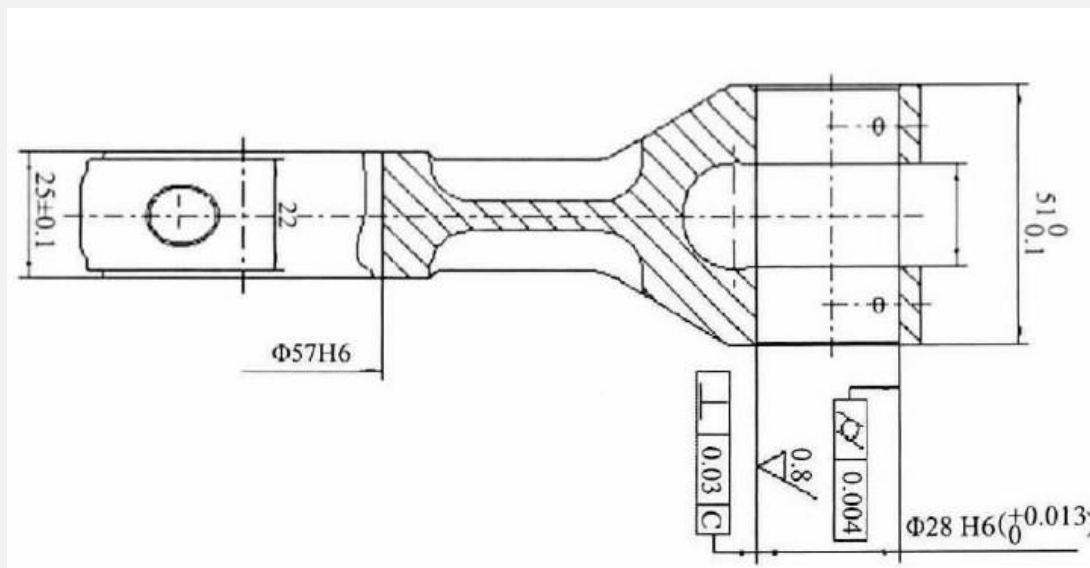


1-小头；2-杆身；3-大头；4、9-装配记号
(朝前)；5-螺母；6-连杆盖；7-连杆螺栓；
8-轴瓦；10-连杆体；11-衬套；12-集油孔

3.表面粗糙度及其他要求

- (1) 小端孔采用衬套时为 $Ra1.6 \sim 0.8$;
- (2) 大端孔采用薄壁轴瓦时为 $Ra1.6$ ，厚壁轴瓦时为 $Ra3.2$;
- (3) 连杆的重量差通常不超过1/100连杆重量

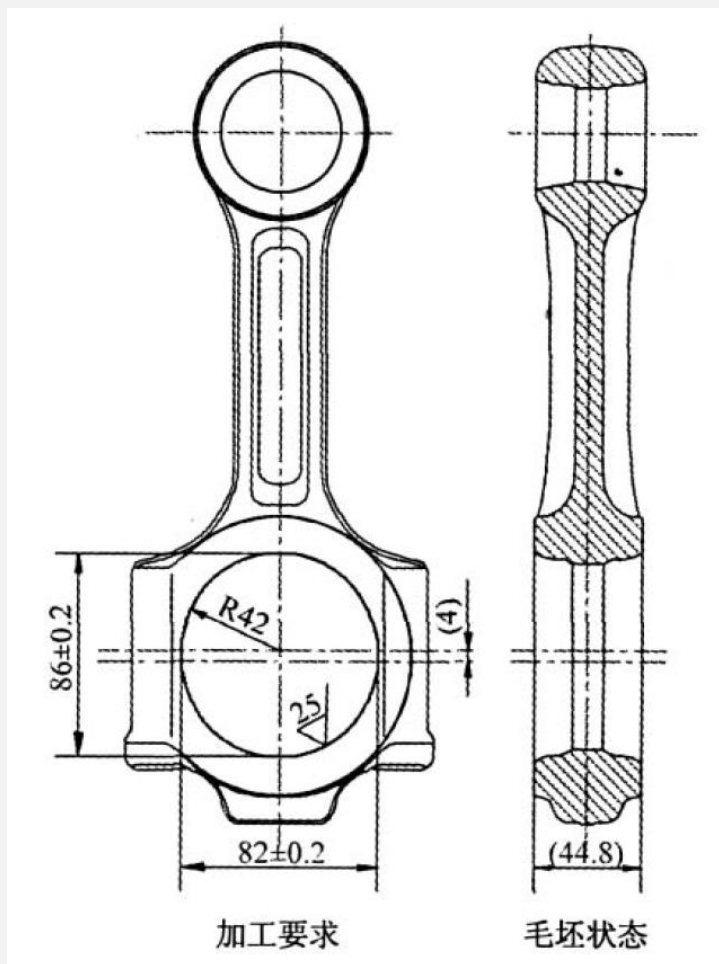
.....



连杆大小端孔加工图

二、筒型活塞柴油机连杆的加工

Machining technology for connecting rods of trunk-piston diesel engine

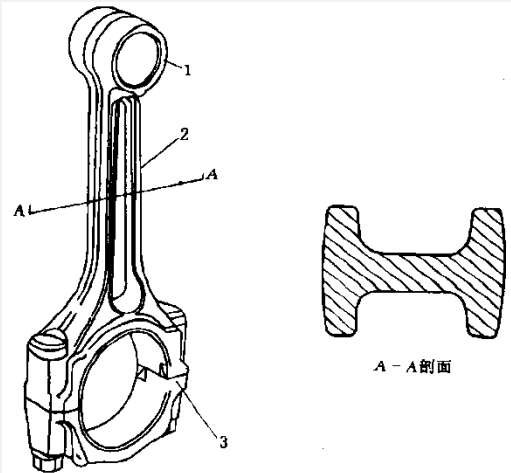


连杆加工中，加工连杆大端和小端孔时，一般如何选择定位基准？试画出连杆的定位夹具示意图？

加工阶段划分和加工工艺过程

(1) 加工实例

实例：小批生产，材料为35钢。毛坯：整体式自由锻件。经正火处理，大、小端孔已锻出。



连杆在小批量生产时的加工工艺过程

工序号	工 序 主 要 内 容	定 位 基 准	机床或工作地点
1	划加工线		钳工工段
2	连杆两端打顶针孔	划线痕	车床或钻床
3	粗车杆身、大端侧面外圆及连杆螺栓孔端面	顶针孔	车 床
4	粗铣大、小孔端面	杆身及划线痕	立铣或双轴专用铣床
5	粗镗大、小端孔	杆身及划线痕	镗床，立铣或双轴专用镗床
6	热处理：退火消除内应力		热处理车间
7	修正顶针孔	顶针孔及杆身	车 床
8	精车大端侧面外圆及精切连杆螺栓孔端面	顶针孔	车 床
9	按靠模精车杆身及小端外形面	顶针孔	车 床
10	精铣大、小端孔端面	大、小端孔和端面	同工序 4
11	钻、扩、粗铰螺栓孔，铰鱼眼坑	大、小端孔及端面	摇臂钻床
12	在切开处划线和打号码		钳工工段
13	切开连杆大端端盖	杆身和划线痕	万能铣床
14	精铣杆身和端盖接合平面	小端孔和端面（半圆孔和螺母支承面）	专用铣床
15	钻油孔及定位销孔	大、小端孔和端面	摇臂钻床
16	刮研接合平面及配制定位销		钳工工段
17	精铰螺栓孔	大、小端孔，端面和侧面	镗床或摇臂钻床
18	用螺栓及垫片在杆身上装配好大端端盖		钳工工段
19	半精镗、精镗大、小端孔	大、小端孔及端面	镗床或双轴专用镗床
20	检验		

(2) 加工工艺过程

粗加工



热处理



精加工



装合大端
端盖后的
加工

划线→连杆两端打顶针孔→粗车杆身、大端侧面外圆及连杆螺栓孔端面→粗铣大小端孔端面→粗镗大小端孔

→热处理（退火消除内应力）

→修整顶针孔→精车大端侧面外圆及精切连杆螺栓孔端面→按靠模精车杆身及小端外形面→精铣大小端孔端面→钻、扩、粗铰螺栓孔→在切开口处划线和打号码→切大端端盖→精铣杆身和端盖接合平面→钻油孔和定位销孔→刮研结合平面及配制定位销→精铰螺栓孔

→用螺栓及垫片在杆身上装配好大端端盖→半精镗、精镗大小端孔→检验

*实例：某连杆加工工艺过程

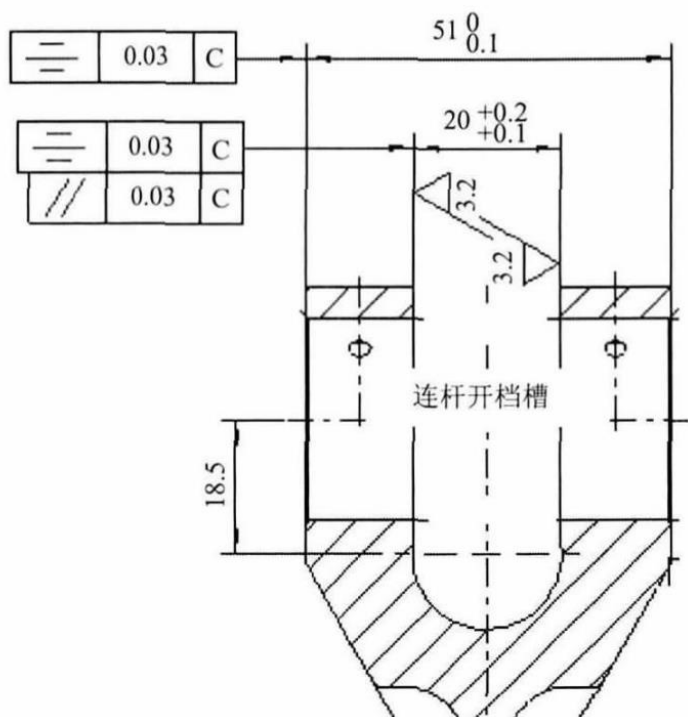
- (1) 划线、粗铣大小端上下两平面，留2 mm 加工余量。
- (2) 铣连杆侧面基准面，钻工艺孔，并打配对标记。



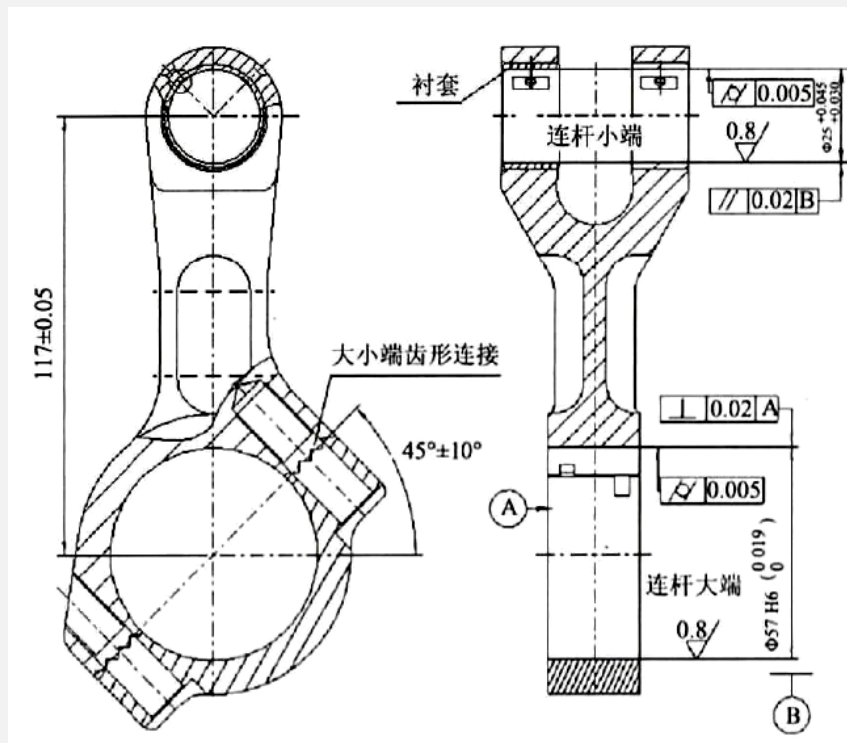
连杆加工定位基
准面和定位孔

*实例：某连杆加工工艺过程

- (3) 根据大小端两平面及工艺孔，粗割开档槽；时效处理。
- (4) 半精铣连杆上下面，镗孔。
- (5) 精割连杆开档和连杆上下体三角齿齿型。

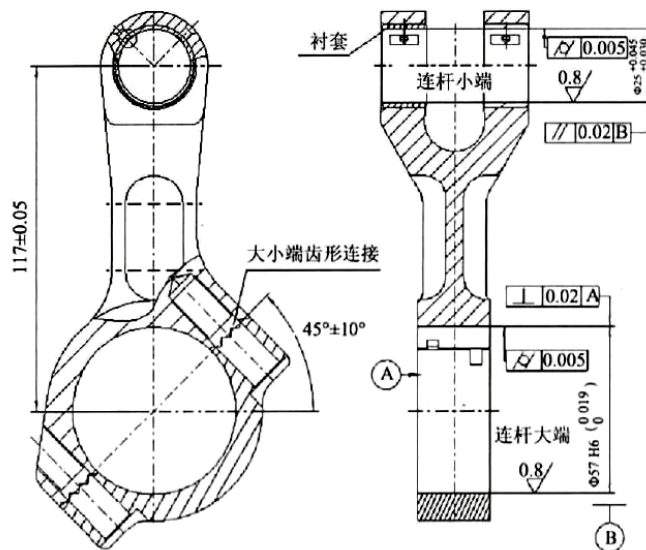
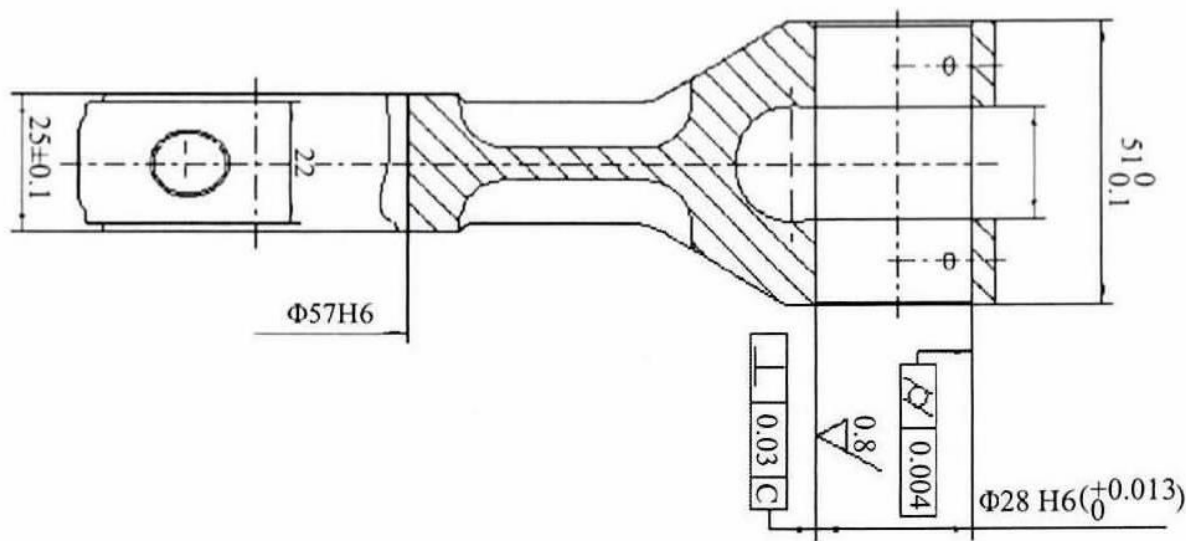


连杆开档槽加工图



*实例：某连杆加工工艺过程

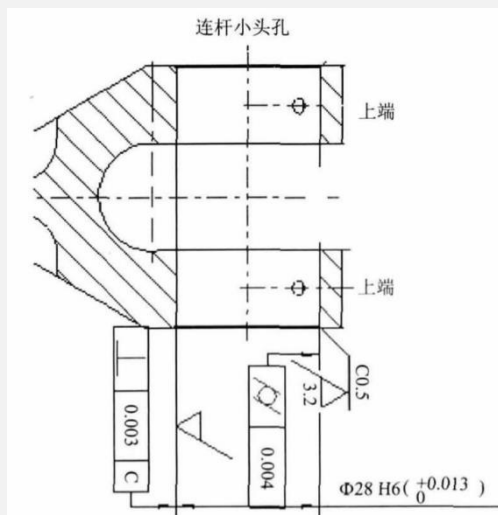
- (6) 钻、攻连杆上下体M12 -6H 螺纹连接孔、铣连杆瓦槽。
- (7) 去毛刺，按拧紧力矩要求组装连杆上下体。
- (8) 精铣连杆平面，精镗连杆大、小头孔。



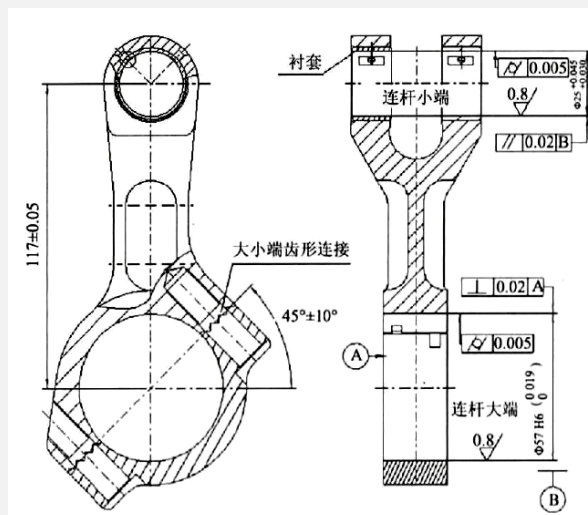
连杆大小端孔加工图

*实例：某连杆加工工艺过程

- (9) 拆、装连杆上、下体，去除毛刺，释放应力。
- (10) 精磨上下面，控制其对称度相对与基准面0. 03 mm。
- (11) 精磨连杆大小头孔。**
- (12) 压衬套、钻孔。
- (13) 铣油槽。



连杆小头孔加工图



(1) 锻造- 调质处理

圆钢下料→棒料加热→预锻→热模锻、切边、矫形→空冷→(正火加热→空冷)→调质(淬火+高温回火)→强化抛丸→机械加工。

(2) 锻造- 锻造余热淬- 回火

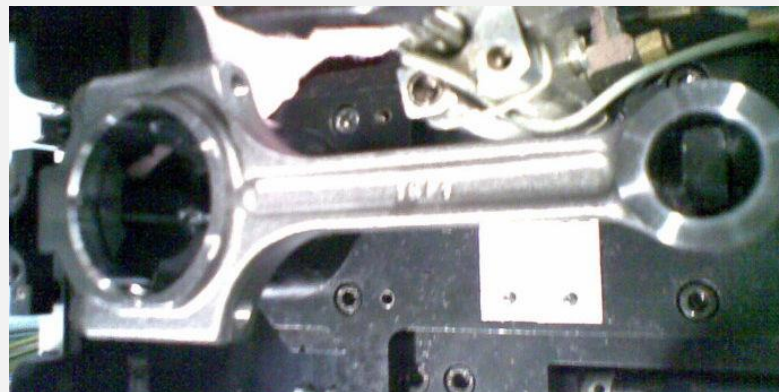
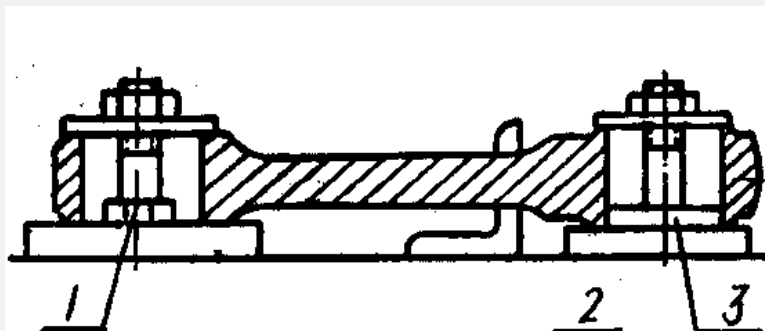
圆钢下料→棒料加热→预锻→热模锻、切边、矫形→锻造余热淬火→高温回火→强化抛丸→机械加工。

(3) 锻造- 锻后控制冷却 (中碳或高碳非调质结构钢)

圆钢下料→棒料加热→预锻→控温热模锻、切边、矫形→锻后控制冷却→强化抛丸- 机械加工。

*定位基准的选择

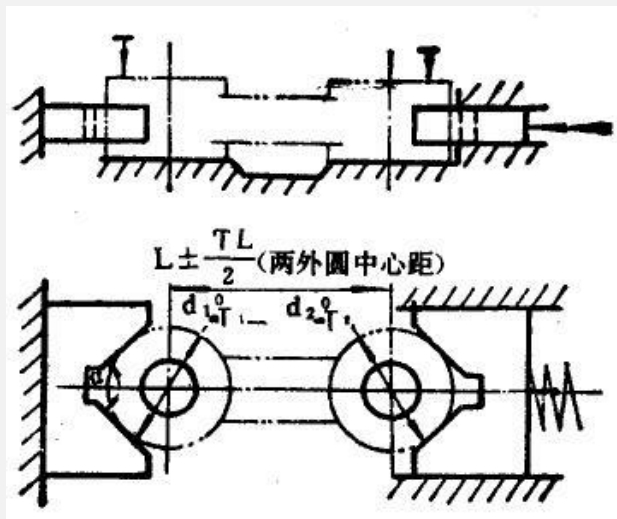
(1) 端面平面、大小端孔



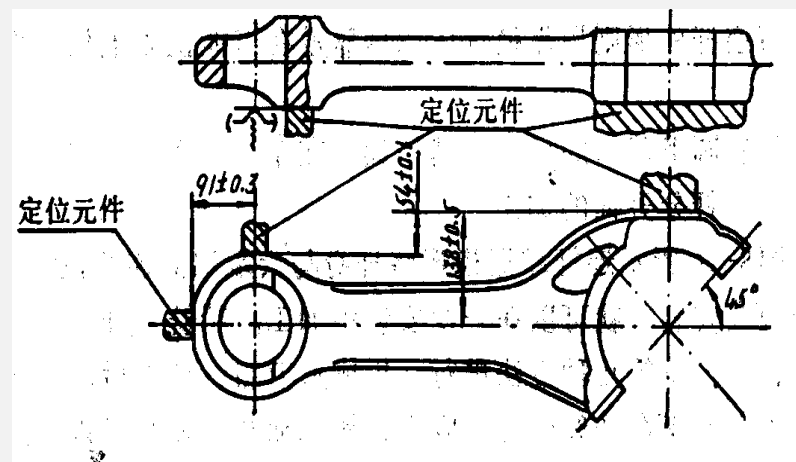
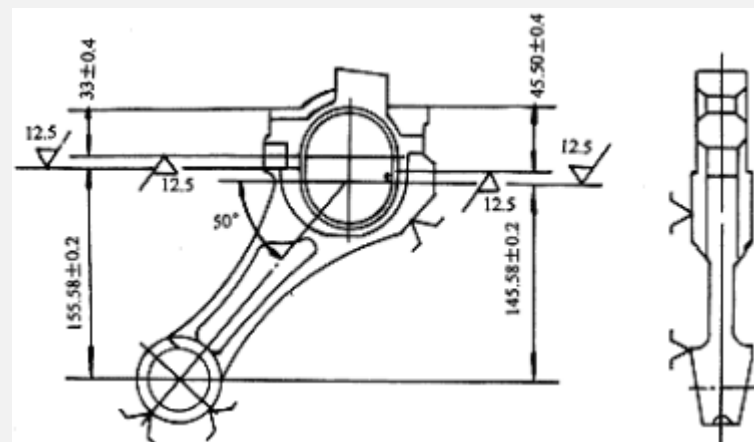
定位元件：平面+短圆柱销
+短菱形销

问题：为何少见？

(2) 端面平面、小端和大端侧面



定位元件：平面+固定V型块+浮动V型块

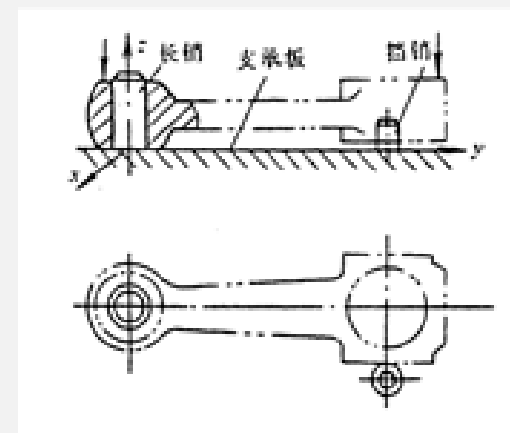


定位元件：平面+3定位销

(3) 端面平面、小端孔和大端侧面



错误！



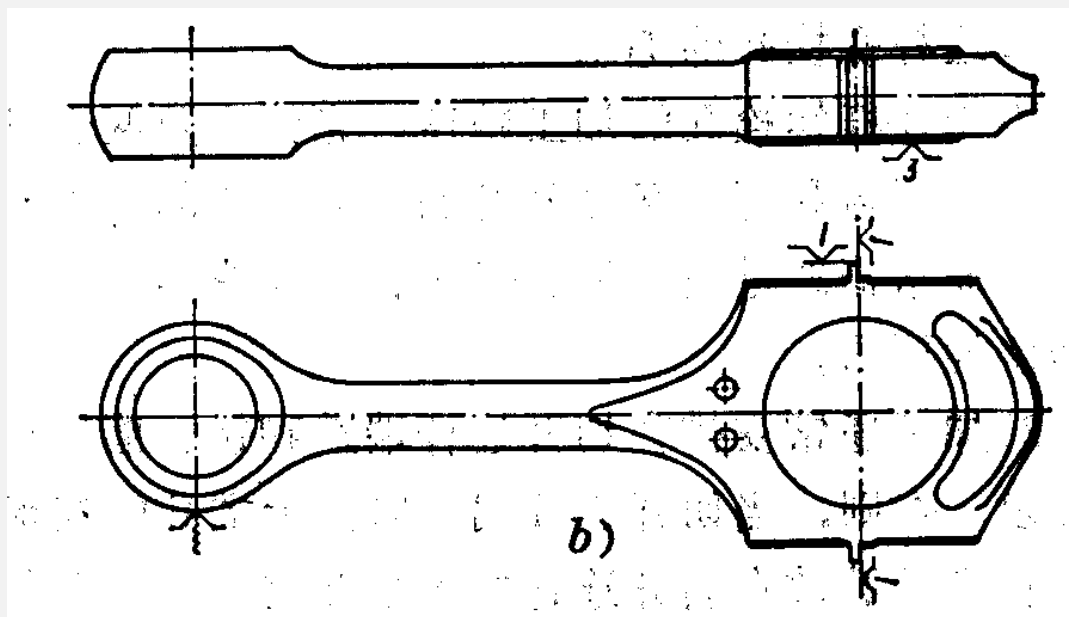
正确！

定位方案1：大平面+短圆柱
销+定位销（挡销）

定位方案2：小平面+长圆柱
销+定位销（挡销）



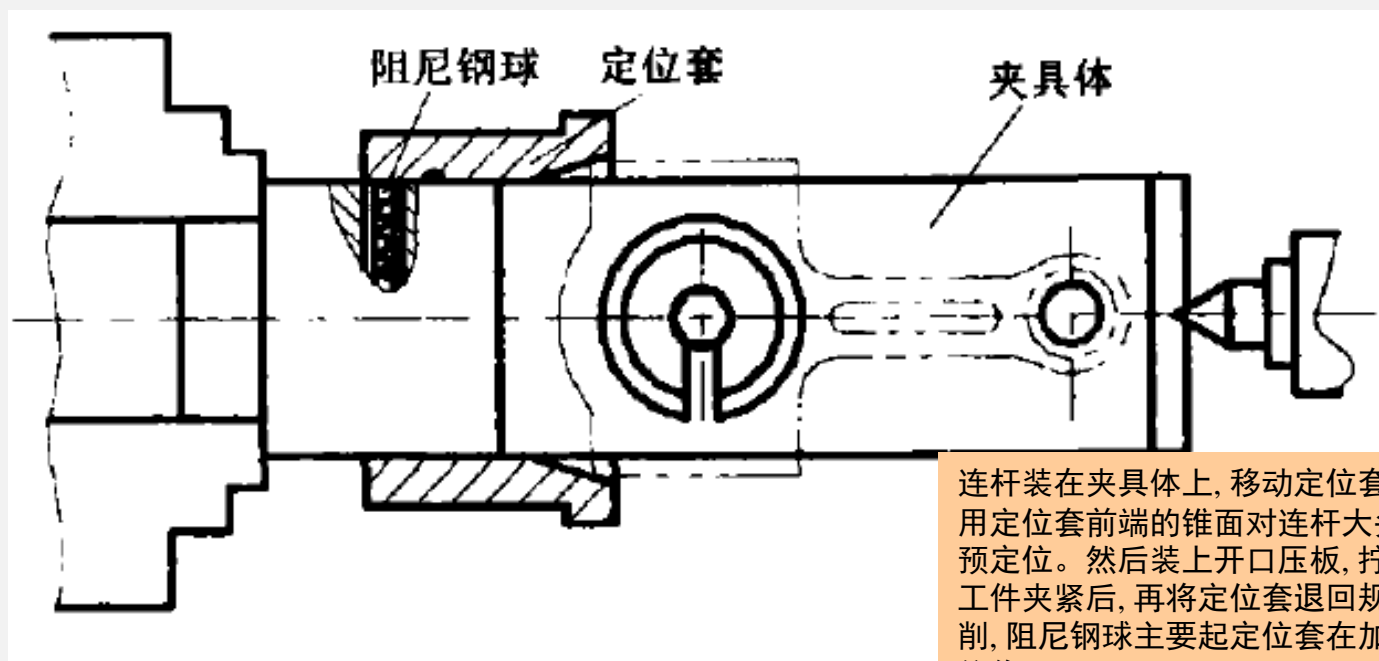
(4) 利用工艺面和工艺凸台作为定位表面



利用大端侧面工艺凸台定位

*实例：请说明下面连杆加工定位的方式

夹具设计要求：根据连杆毛坯外侧对称的特征, 设计一种自定心车夹具, 以实现毛坯的对中定位。



车连杆大头夹具示意图

连杆主要表面加工工艺

1. 大、小端面的加工

加工方法

生产批量大、毛坯的加工余量小：**磨削加工**；

磨削：磨锻坯→杆身与大端装合→精磨到所要求的厚度。

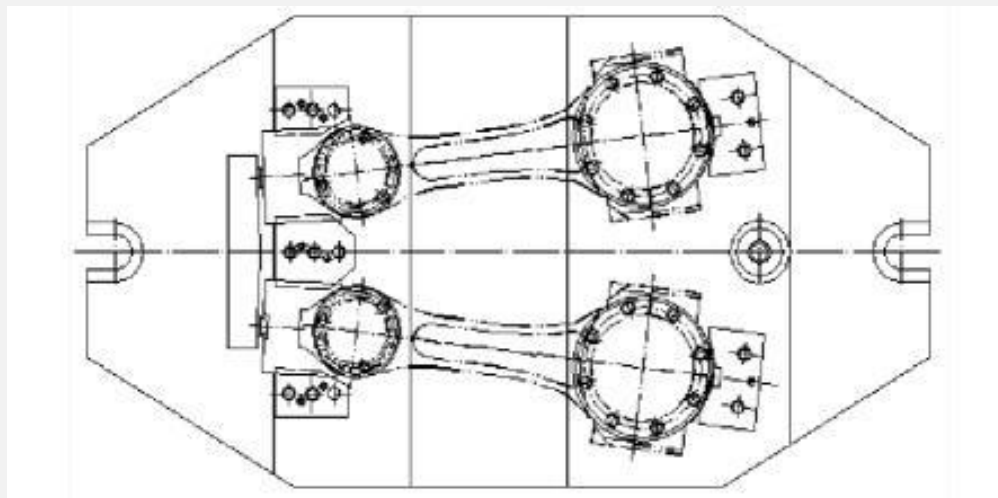
生产批量小：**铣削加工**

定位方法

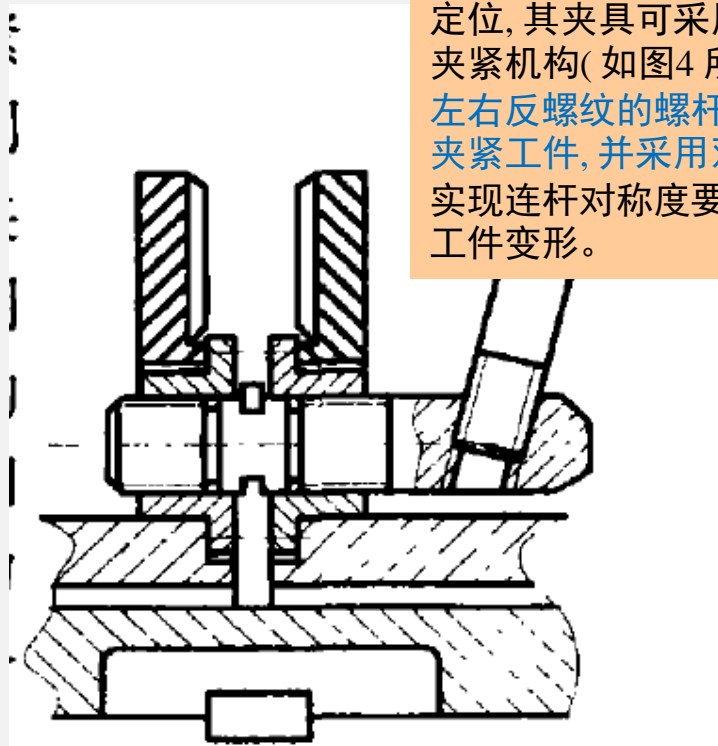
①以其中的一边端面为基准加工另一边端面

②成批生产，四轴专用铣床，对大、小端四个面同时加工

*实例：大、小端面的加工定位的方式



以一边端面为基准加工另一边端面



利用左右反螺纹的螺杆带动压块
夹紧工件, 并采用双面铣

自动定心夹紧机构是一种
时实现对工件定心定位和
紧的夹紧机构, 即在夹紧
中, 能使工件相对于某一
面保持对称性。连杆铣两
面工序是以连杆杆身对称
定位, 其夹具可采用螺旋
夹紧机构(如图4所示), 利
左右反螺纹的螺杆带动压
块夹紧工件, 并采用双面铣
实现连杆对称度要求及减
工件变形。

2. 大、小端孔的加工

小端孔粗加工，一般安排在大端孔粗加工之前，这是由于将作为主要定位基准。

加工阶段：

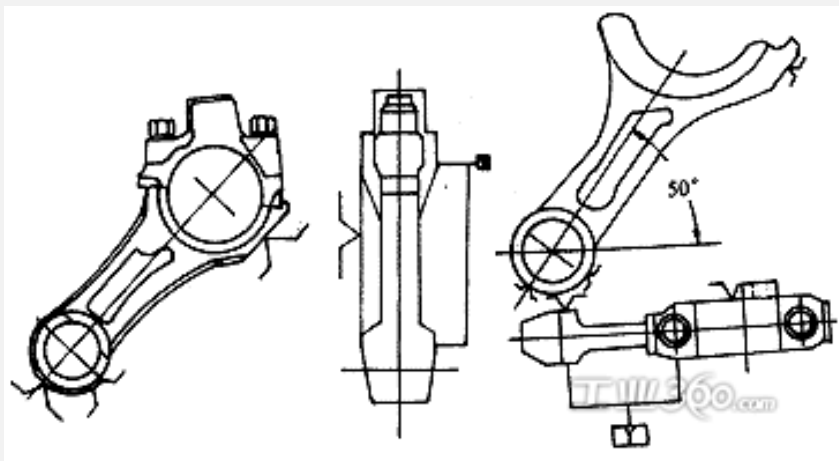
粗加工



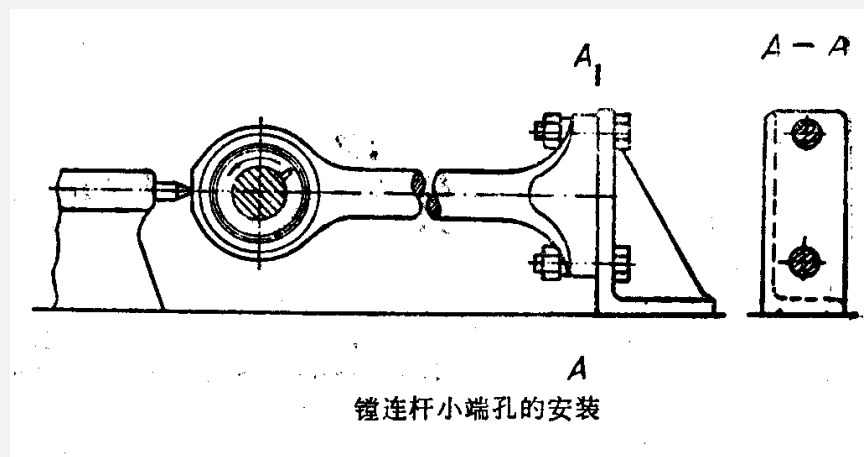
半精加工



装合后的精加工



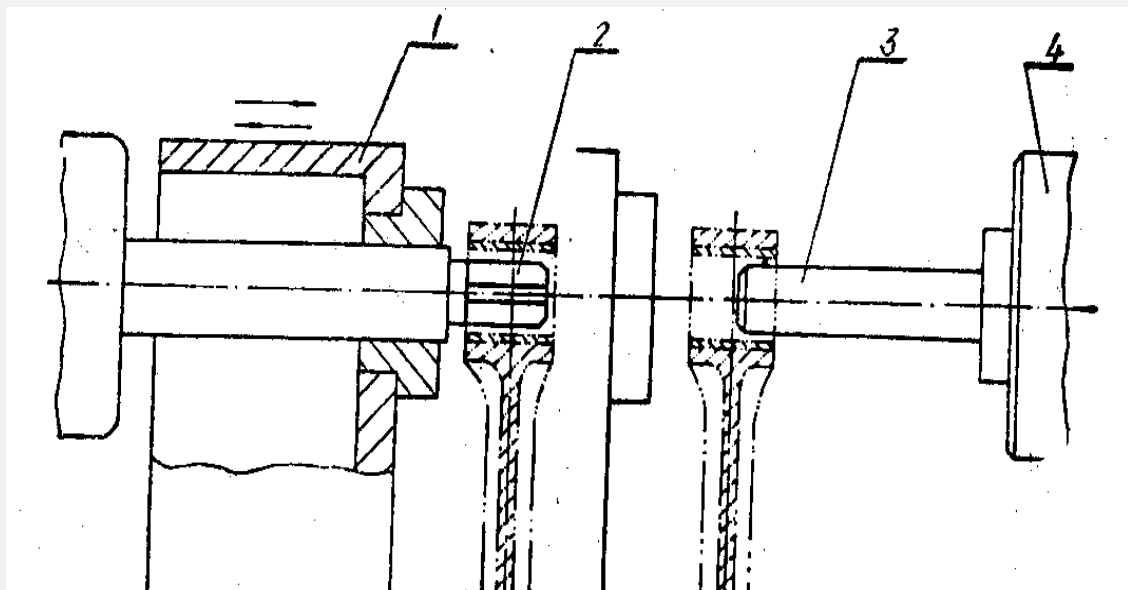
定位基准选择



加工设备：
镗床或车床

小端孔加工工序：

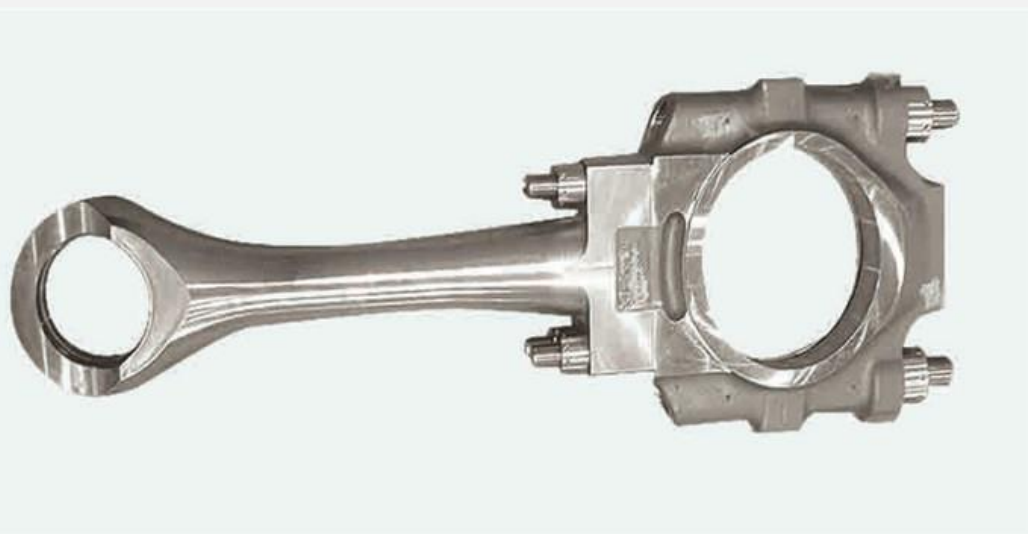
- ① 尺寸较小的高速机连杆，锻造毛坯**没有**冲出小端孔
钻→扩→铰→金刚镗→金刚镗衬套孔
- ② 尺寸较大的连杆，锻造毛坯**已**冲出小端孔
粗镗→半精镗→精镗→精镗衬套孔（或金刚镗）



大端孔的加工工序



连杆体和盖分别锻造



连杆的锻造体、盖为整体结构

粗镗→（切开）→半精镗→精镗→精镗衬套孔（或金刚镗）

*实例：大、小端孔的加工定位的方式（粗加工）



大端孔的组装后加工余量和解决措施

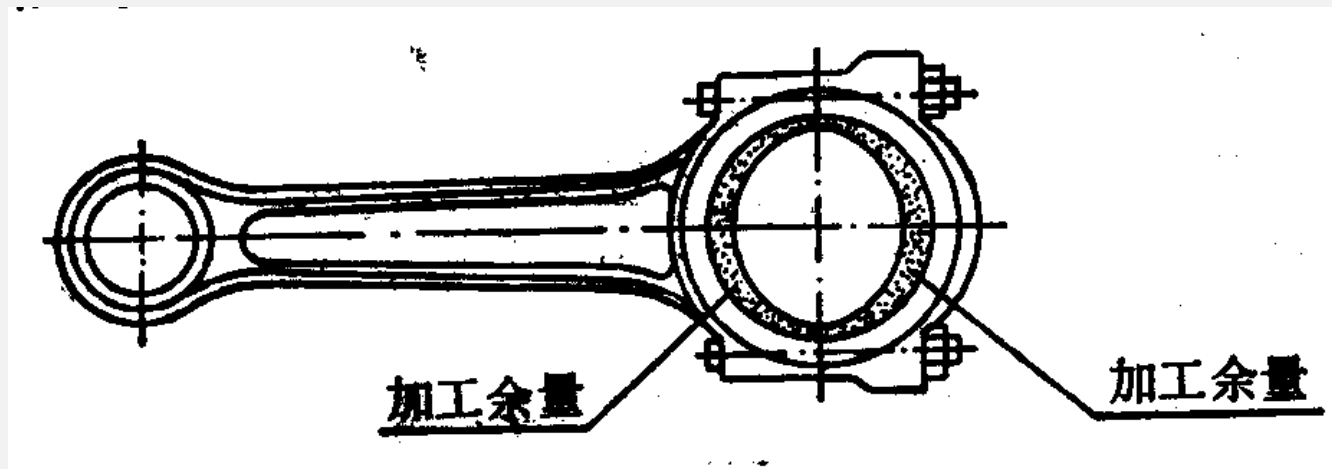
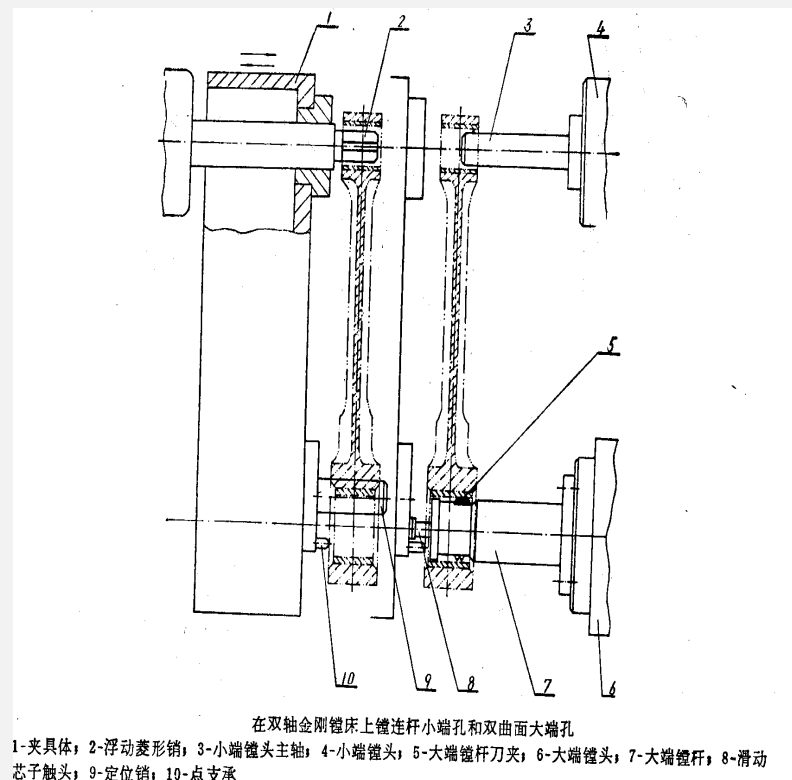


图 连杆大端孔镗孔时余量分布

问题：解决大端孔的组装后加工余量不均匀问题的措施是什么？

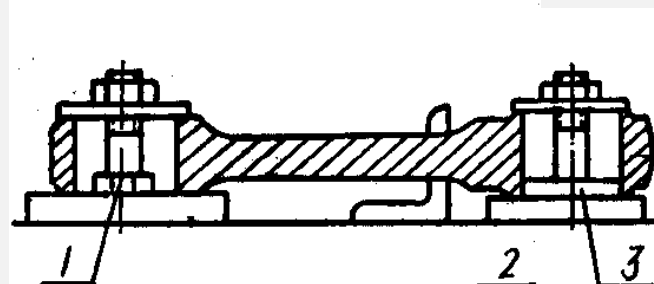
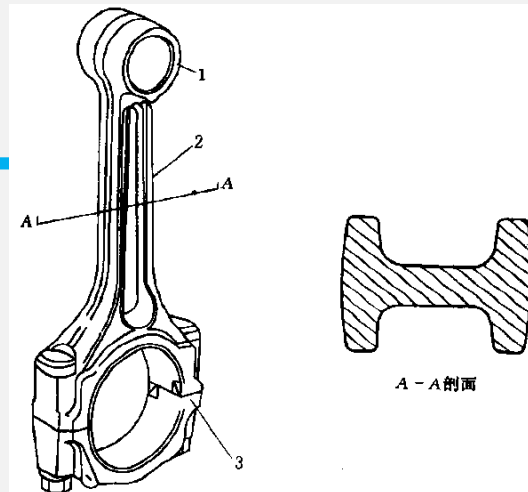
*实例：大小端孔的同时加工（粗、精）



3. 杆身的加工

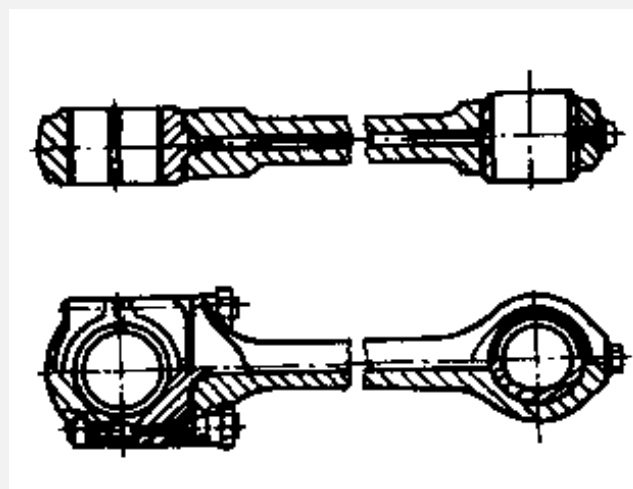
具有工字形截面的杆身

- **凹槽**：立铣或万能铣
- **连杆外形**：靠模铣床加工
- **定位基准**：以大、小端孔及端面



圆形截面的杆身

- **连杆外形**：在车床上用靠模进行，或数控车削。



4. 杆身与端盖上结合面断开和齿形加工

- 锯切法（铣削或者线切割）
- 经典的接合面：平面型、齿型。
- 齿形可用铣、磨、拉等方法加工。

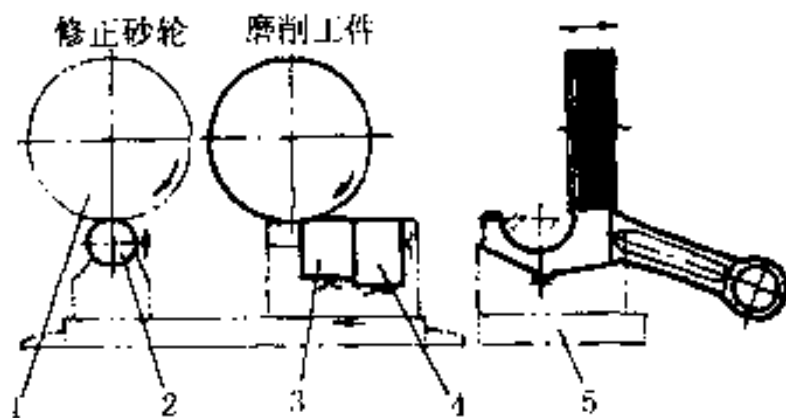
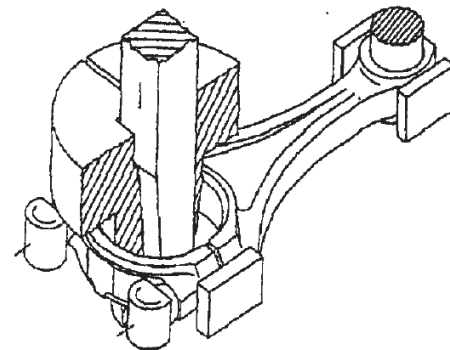
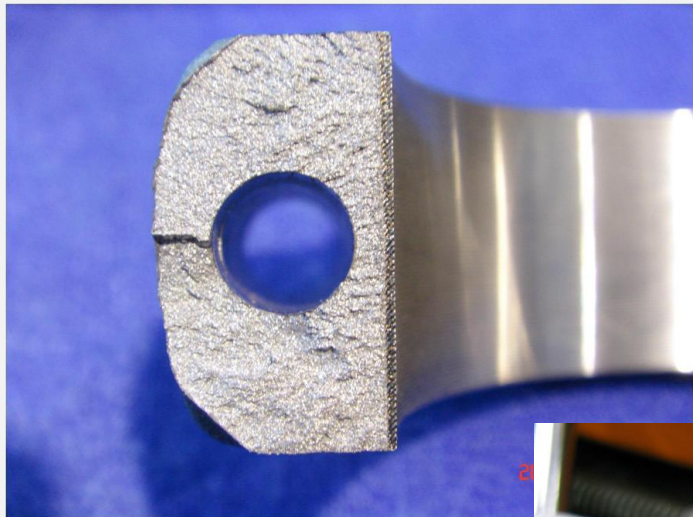


图 9-4 连杆齿形磨削示意图

1-成形砂轮；2-金刚石滚轮；3-杆身；4-端盖；
5-夹具

*连杆裂解工艺



(横向—背压力; 垂直压力—主载荷)

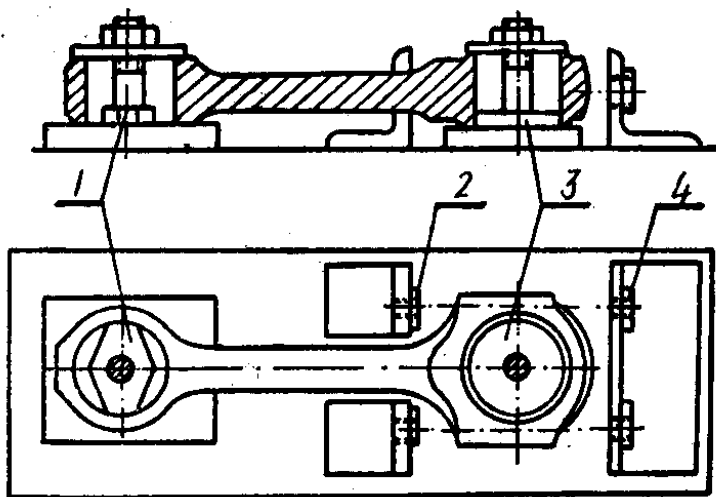
图2 某连杆的裂解装置示意图

汽车连杆大头孔剖分技术由切割发展至涨断裂解技术 (fracture splitting process) 使用的厂家覆盖了美国三大汽车公司, 德国Benz、MAN、BMW等企业, 产品涵盖了轿车发动机及大排量高速柴油机连杆。国内多家轿车发动机连杆, 已经成熟地运用连杆裂解技术。连杆裂解技术的实施, 须首先在整体锻造的连杆毛坯大头孔上, 用激光人为地预制裂痕形成初始裂源; 然后用特定工装夹具与方法控制裂痕扩展, 使连杆-盖分离。面具有完全啮合的犬牙交错结构, 结合面不须再进行任何加工。

5. 连杆螺栓孔的加工

加工通常安排在切开连杆端盖和铣、磨结合面后进行
加工工序：

- ① 钻→扩、粗铰→精铰
- ② 钻→扩→铰→拉



连杆螺栓孔的加工

1-削边定位销；2-前导向套；3-圆柱定位销；4-后导向套

在工序安排有三种：

- ① 端盖和杆身分开钻、扩→合起来精加工(铰或拉)；
- ② 将端盖和杆身合起来加工；
- ③ 将端盖和杆身上螺栓孔的粗、精加工都分开进行。

第二种方式应用较多。

*6. 大端分开式连杆加工的特点

(a) **螺栓孔的精加工**应在杆身精车和底平面精铣以后进行，以杆身底平面作为定位基准。

(b) **精镗小端孔**时，为了达到位置精度要求，应采用底平面和螺栓孔作为定位基进。

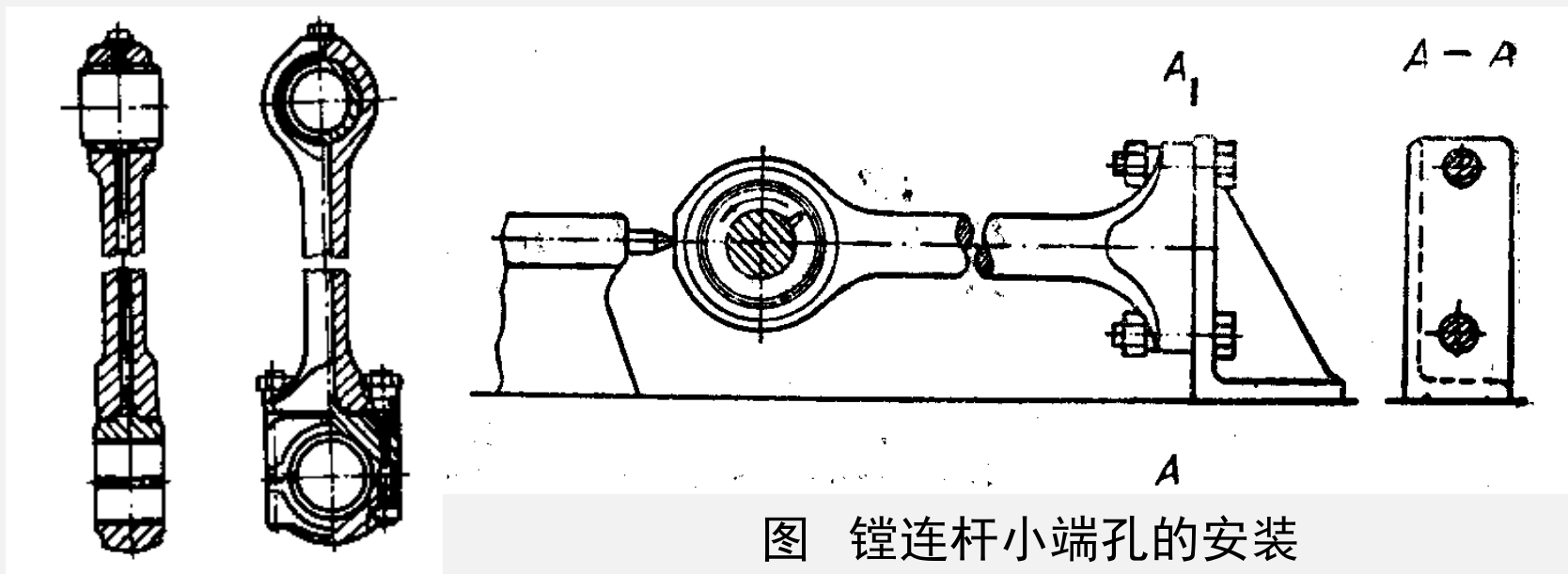


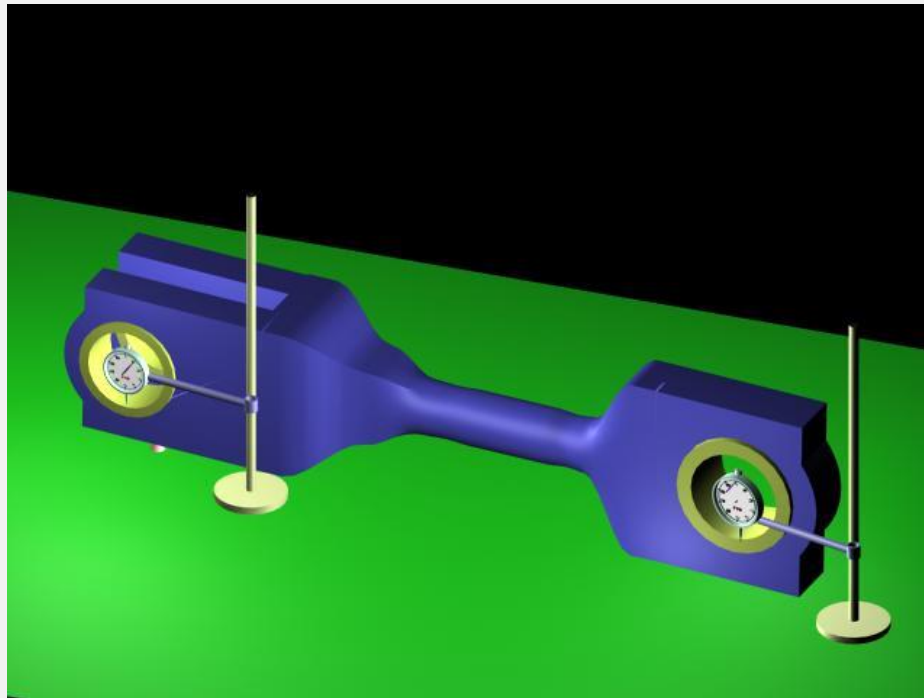
图 镗连杆小端孔的安装

三、连杆成品的检验

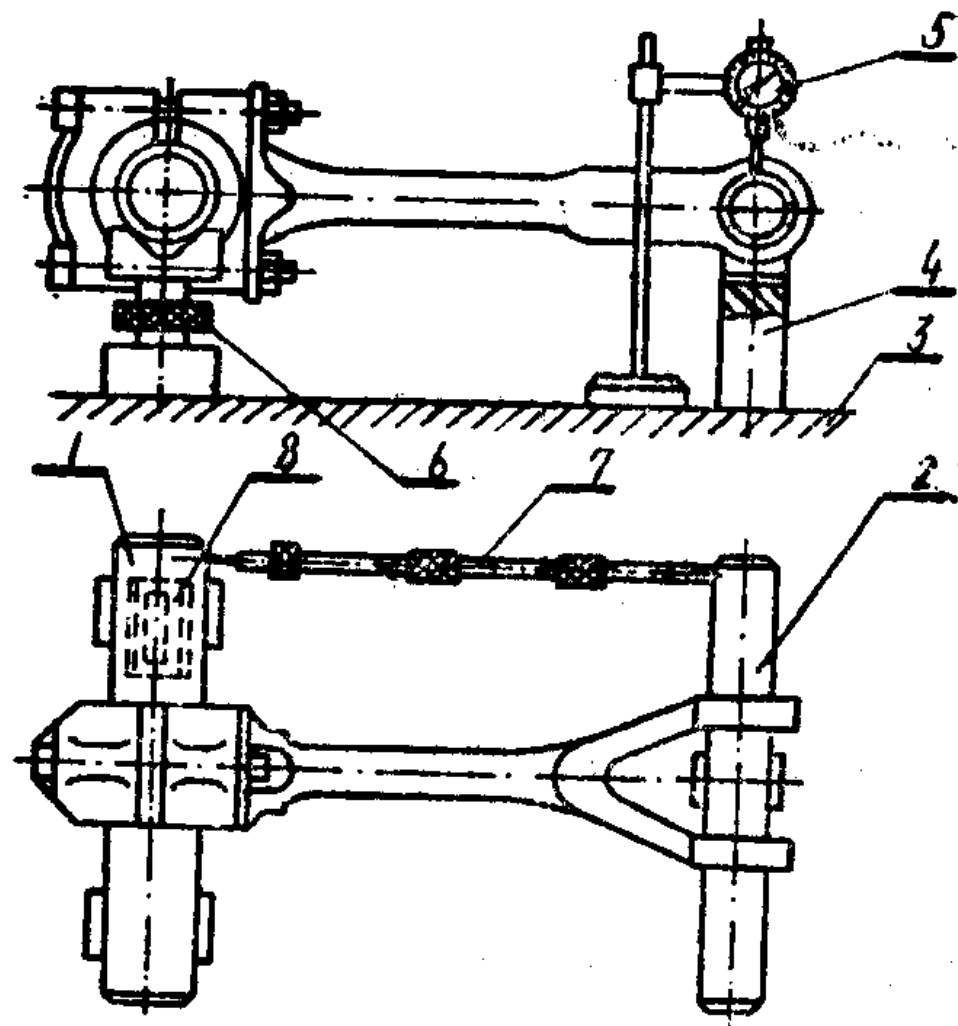
Inspection of the
finished products

问题： 连杆的检验项目主要有哪些？试画出示意图加以说明？

1、连杆大、小端孔轴线平行度误差的检验



连杆大小端孔轴线平行度误差的检验



连杆大、小端孔轴线平行度误差的检验
1、2-检验轴；3-检验平台；4-V形铁；5-百分表；6-千斤顶；7-内径千分尺；8-水平仪

*连杆检验实例

问题：图中所示正在检查连杆的什么项目？

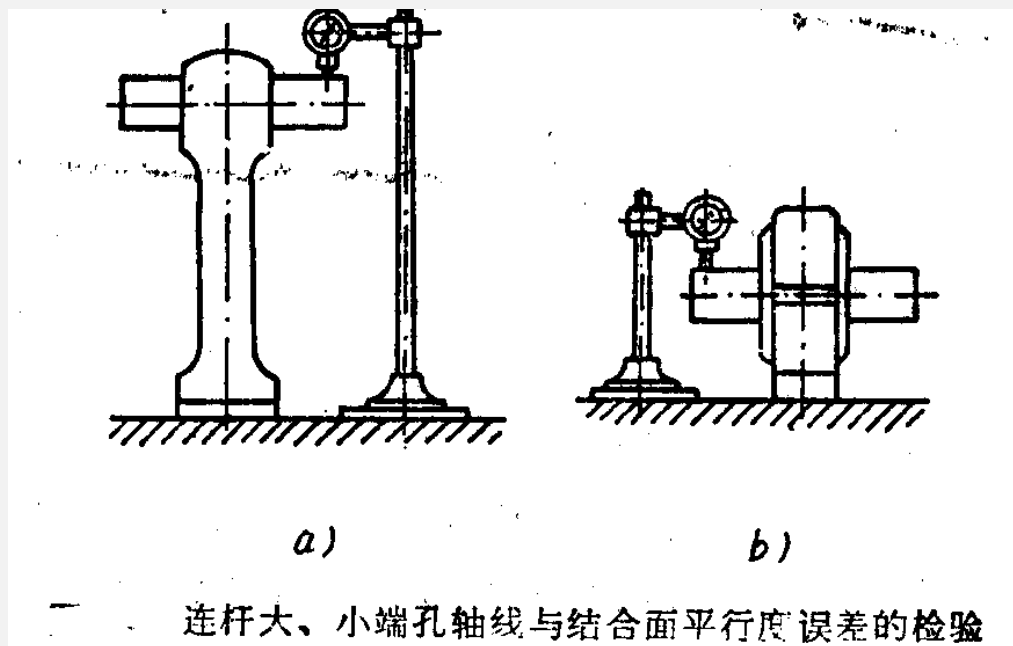
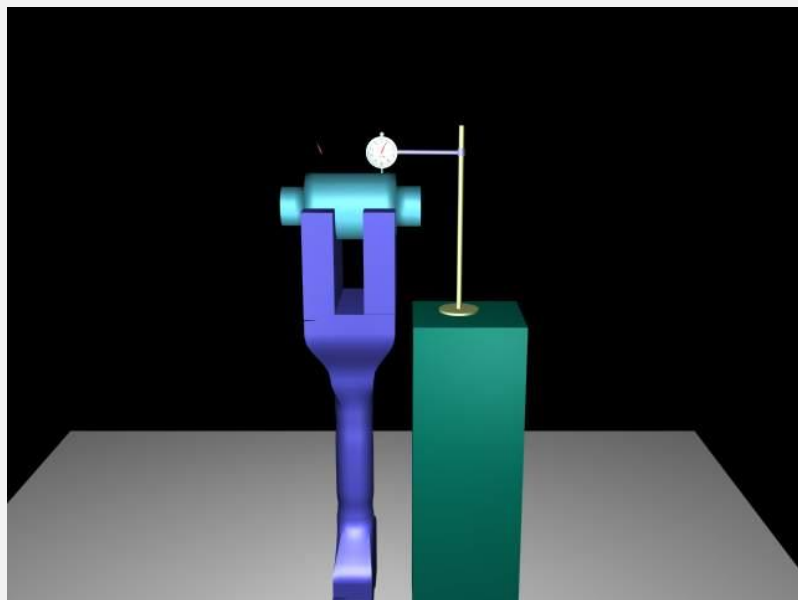


*连杆检验实例

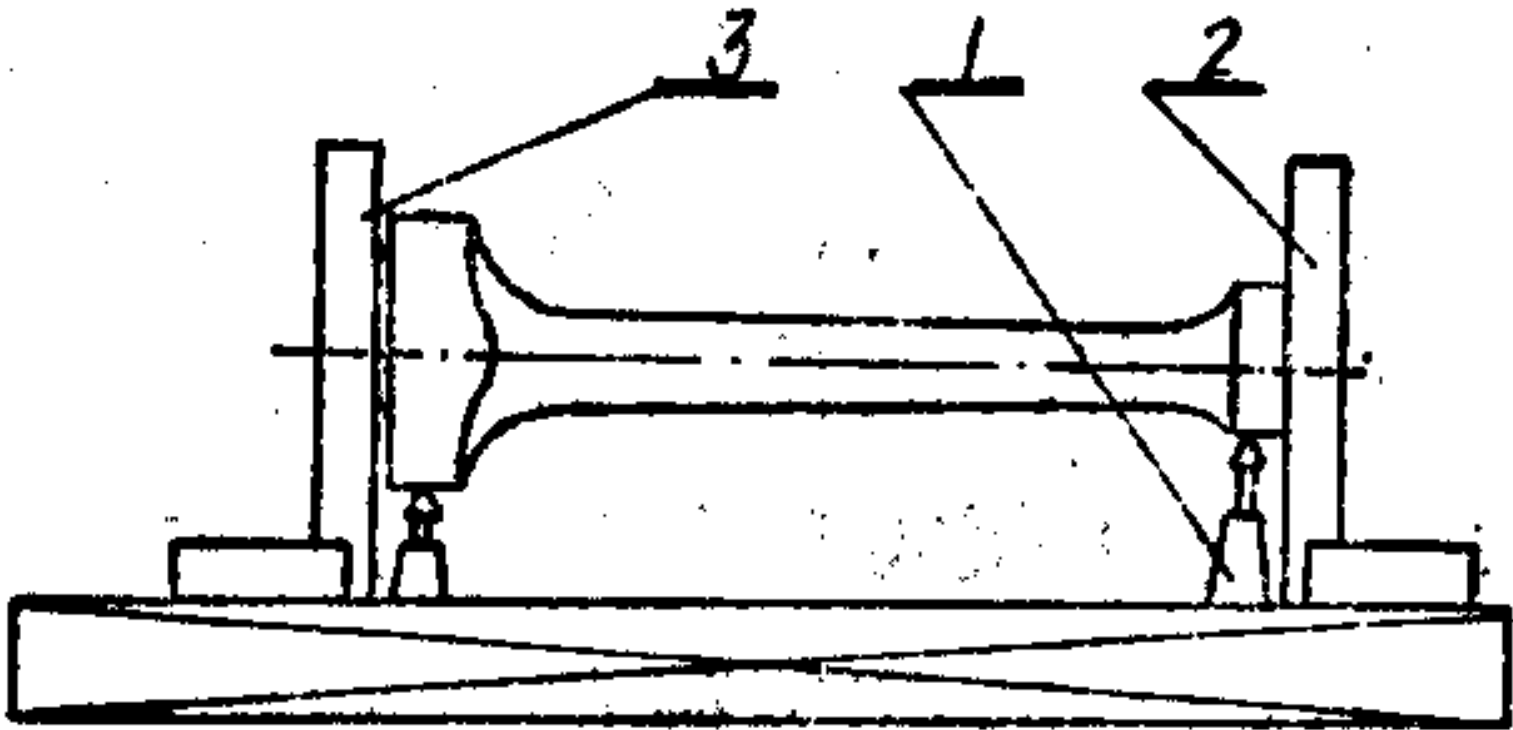
问题：图中所示正在检查连杆的什么项目？



2、可拆大端的连杆杆身下端结合面的检验



3、十字头杆身上下结合面平行度误差的检验



杆身上、下结合平面平行度的检验
1-千斤顶；2、3-角尺

*参考文献

- 蒋海勇（一汽海马动力有限公司）.发动机连杆材料及工艺.内燃机与配件 2013 年第10 期：23-26.
- 寇淑清等，内燃机连杆制造最新技术与发展趋势[J].内燃机工程，2001(1)：28～31
- GB/T 23340-2009 《内燃机连杆技术条件》
- 王秋冰,马鸣,卢震鸣,来建刚,李光瑾.发动机连杆用材料与工艺的发展趋势.柴油机设计与制造. 2007 年第1 期第15 卷（总第118 期）:40-44.
- 陈志亮(湖南农业大学工程技术学院).发动机连杆制造工艺改进分析.《机床与液压》2003,No.1:281-282.
- 徐俊，王燕萍，卫佩勇.连杆制造工艺开发与研究.柴油机. Vol.35(2013) No.5：32-35.
- 张学华.连杆制造工艺技术及改善.柴油机设计与制造. 2009 年第2 期第16 卷（总第127 期）.38-42.

第4节 曲轴制造工艺

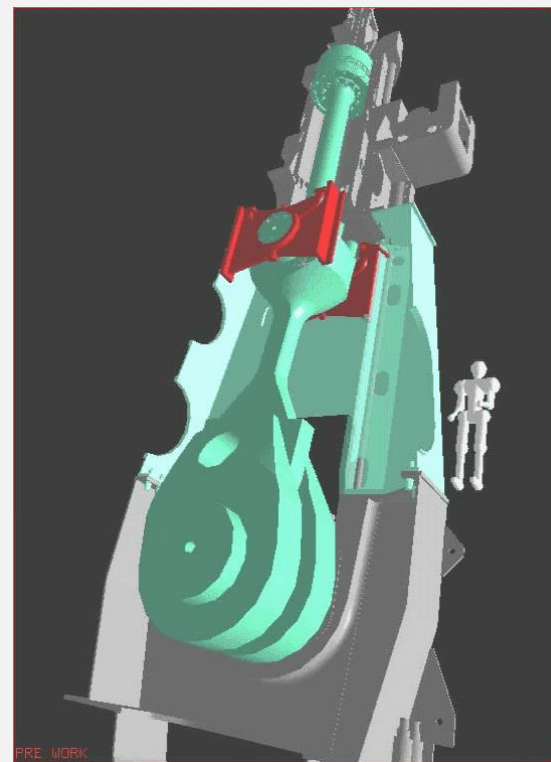
Manufacturing technology of crankshaft

第一节 概 述

第二节 整体式曲轴的加工

第三节 组合式曲轴的加工

第四节 曲轴的检验



*研究背景



2016-08-29：世界最长(12.575米)、国内最重(237.131吨)的MAN系列7G80ME-C曲轴在大连重工泉水基地曲轴公司成功下线。将安装在大连船柴4万多马力的船用低速柴油机，应用于大连船舶重工建造的一艘31.9万载重吨油轮上。以前只有3家外国公司具备该型号曲轴的加工能力。

*生产大型低速柴油机曲轴的企业

国外主要企业:

- 韩国斗山重工业株式会社 (Doosan) 、
- 日本神户制钢 (KoBelco) 、
- 捷克维特科维策股份公司 (ViTKOVICE) 、
- 韩国现代 (Hyundai) 、
- 西班牙曲轴厂 (Sidenor) 、
- 波兰的曲轴厂

国内主要企业:

- 上海船用曲轴有限公司、
- 大连华锐船用曲轴有限公司、
- 青岛海西重工有限责任公司。

一、曲轴的材料、毛坯的制备方法和技术要求

Introduction

*、曲轴的要求和结构

Demands and Structure of crankshaft

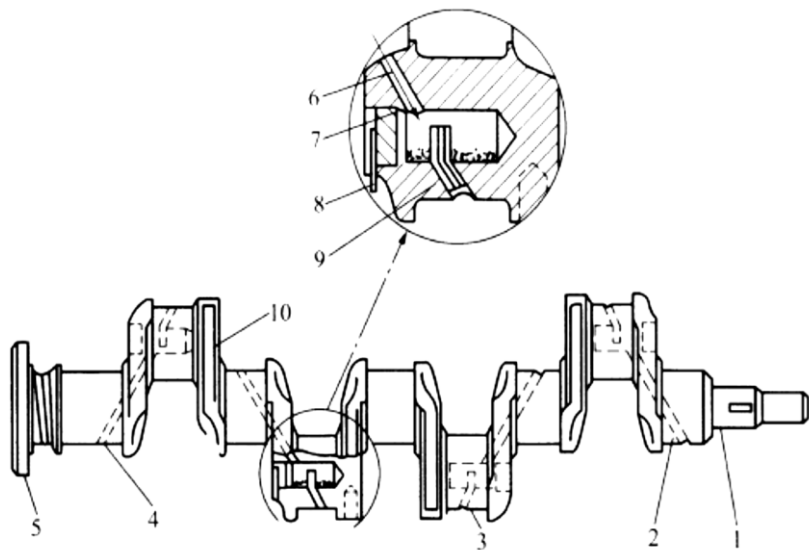


图 2-17 4125A 型柴油机整体式全支承曲轴

1. 曲轴前端 2. 主轴颈 3. 曲柄销 4、6. 油道
5. 飞轮接盘 7. 螺塞 8. 开口销 9. 油管 10. 曲柄

Solid type crankshafts
整体式

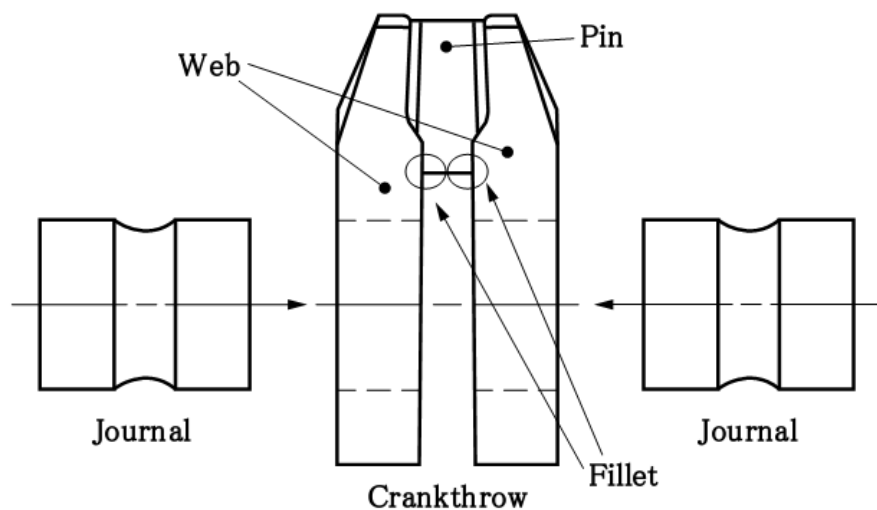


Fig. 1 Illustration of built-up type crankshaft

(semi) built-up type crankshafts
组合式

1、曲轴的材料

Materials of crankshafts

材料：高纯度、晶粒细化、组织均匀 (2016)

(1) 锻钢：35、40、45→小型柴油机曲轴；或40Cr、45Cr、35CrMoA、42CrMoA、42CrMo4V、45Mn2、42Mn2V、18CrNiMoA、18CrNiWA、18Cr2Ni4WA→中、高速或强载大功率柴油机整体式曲轴。

(2) 球墨铸铁：QT600-3、QT700-2、QT800-2、QT800-6、QT900-2等→整体式曲轴的铸造。

(3) 铸钢：组合式主轴颈→35、40和45钢，曲柄→ZG270-500、ZG310-570、ZG25MnV等铸钢，或锻造用合金钢材料。

小型机曲轴	球墨铸铁：QT600-3 普通碳素钢35、40、45钢
中高速机	•普通碳素钢35、45、 •合金钢40Cr、 42CrMoA 、45Cr、35CrMoA •球墨铸铁QT600-3、QT700-2、QT800-2。
高速强载大功率机	合金钢：35CrMoA、18CrNiMoA、18CrNiWA、18Cr2Ni4WA。
大型低速机组合式	•主轴颈35、40钢， •曲柄：ZG270-500、ZG310-570、ZG25MnV铸钢。

*船用曲轴42CrMoA 锻件的技术指标

标准要求：晶粒度 ≥ 5 级。实物奥氏体晶粒度：8级。

试样的力学性能

项目	抗拉强度 R_m / MPa	屈服强度 $R_{p0.2} / \text{MPa}$	断后伸长率 $A (\%)$	断面收缩率 $Z (\%)$	冲击吸收功 $K_{U2} / \text{J}(\text{室温})$
技术要求	≥ 1080	≥ 930	≥ 12	≥ 45	≥ 63
实物水平	1190	1120	15	55	103

潘小娟（山西太钢不锈钢股份有限公司）.浅析船用曲轴42CrMoA 的冶金质量要求及控制.《热加工工艺》2014 年8 月第43 卷第16 期：94-95,101.

2. 毛坯的制备方法

1) 钢材：锻造法

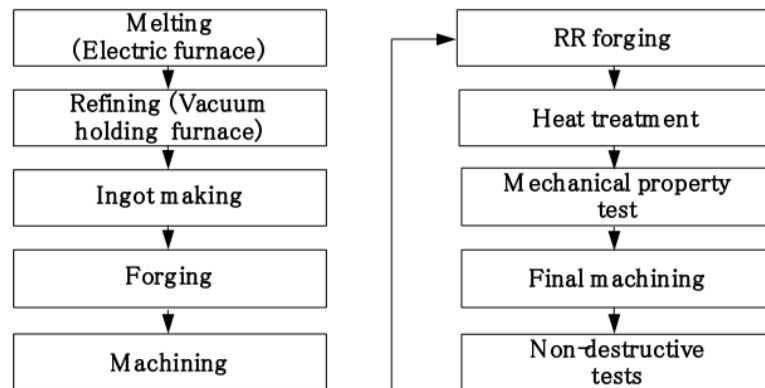
- 小型曲轴（缸径 $<200\text{mm}$ ）、批量大时采用模锻；
- 中、大型整体曲轴（缸径 $200 \sim 600\text{mm}$ ）：自由锻或墩锻；
- 大型半组合曲轴曲柄：自由弯曲锻造（2016）。

2) 球墨铸铁：铸造法

- 中小曲轴，“以铸代锻”的趋势。
- 大型半组合曲轴，其曲柄可用铸钢件。



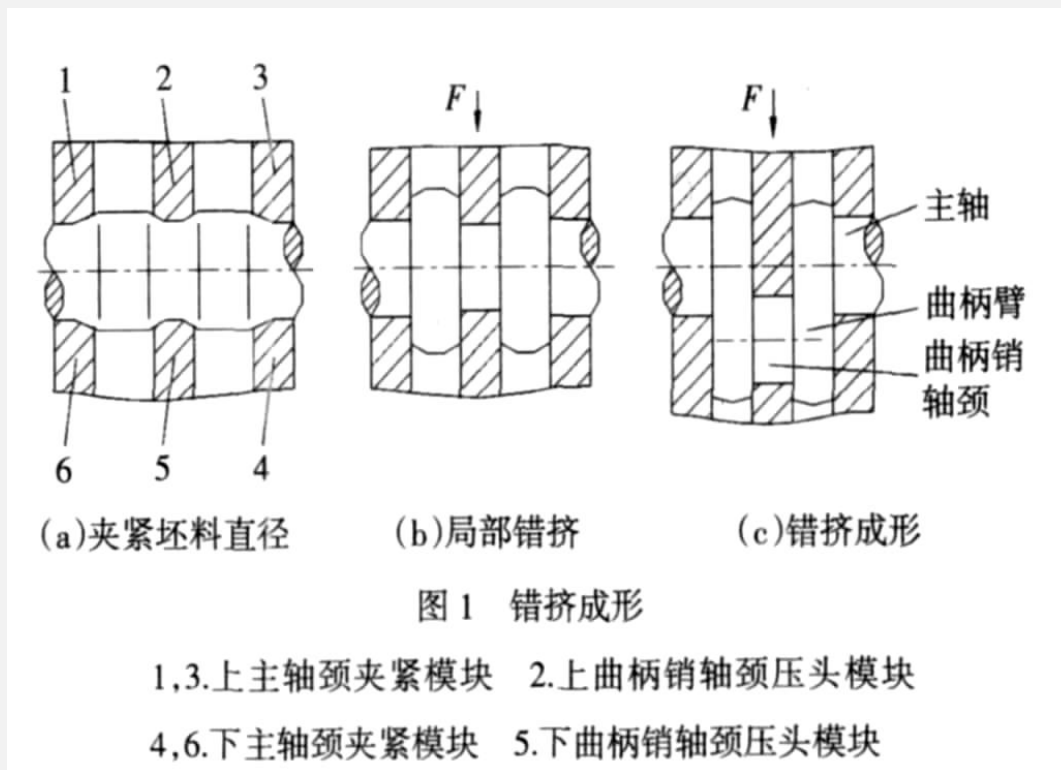
Table 2 Manufacturing sequence of solid type crankshaft



曲轴整体锻造

*整体式曲轴的墩锻弯曲（错挤、墩挤）法

即RR锻造法和TR锻造法。此法优点是能使锻件纤维沿曲轴的形状连续分布，扭曲少，材料利用率高。



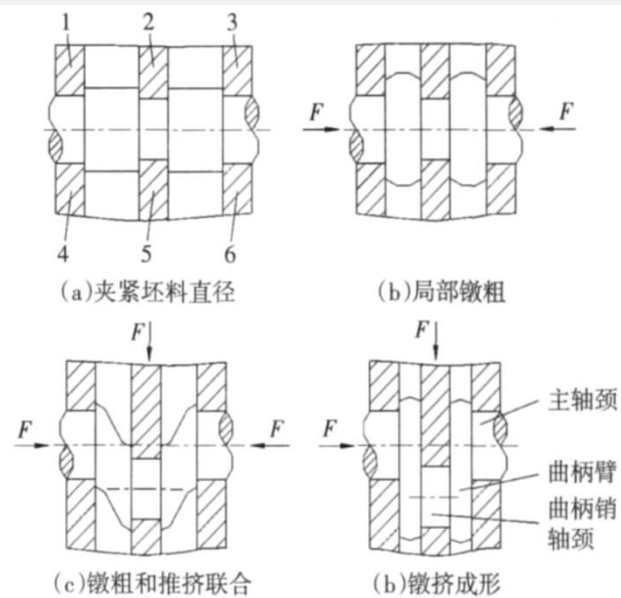
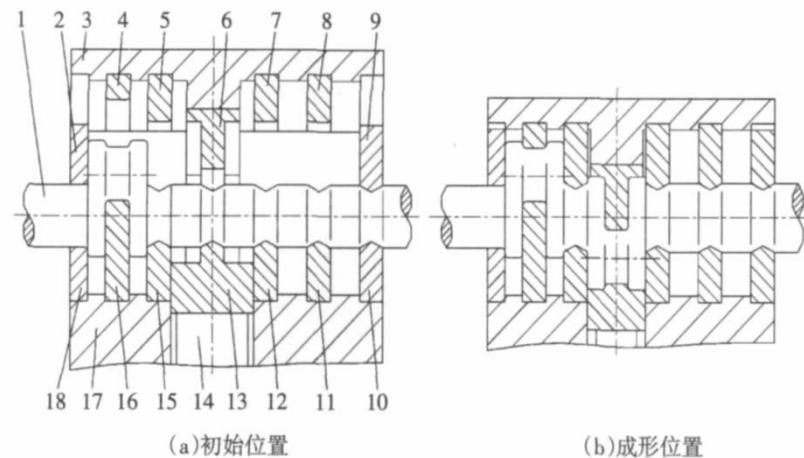
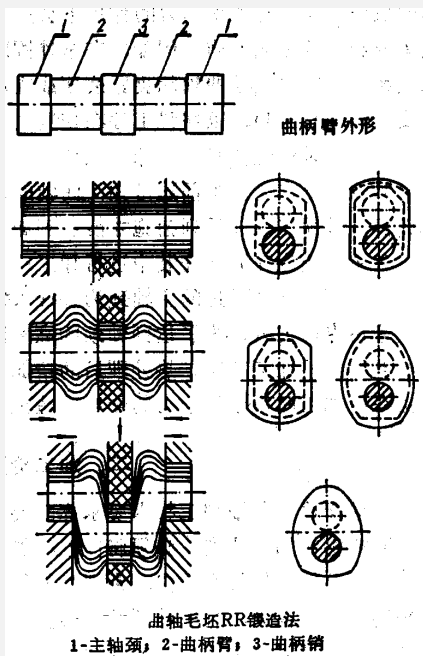


图5 锻挤成形过程

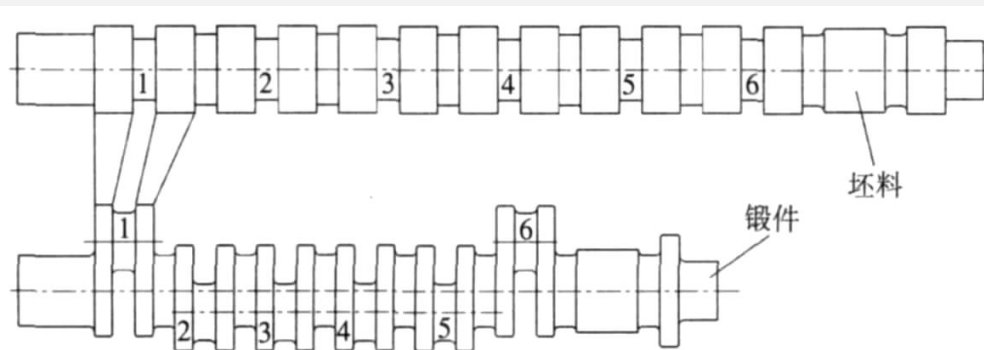


图4 全纤维锻挤锻造曲轴坯料和锻件图

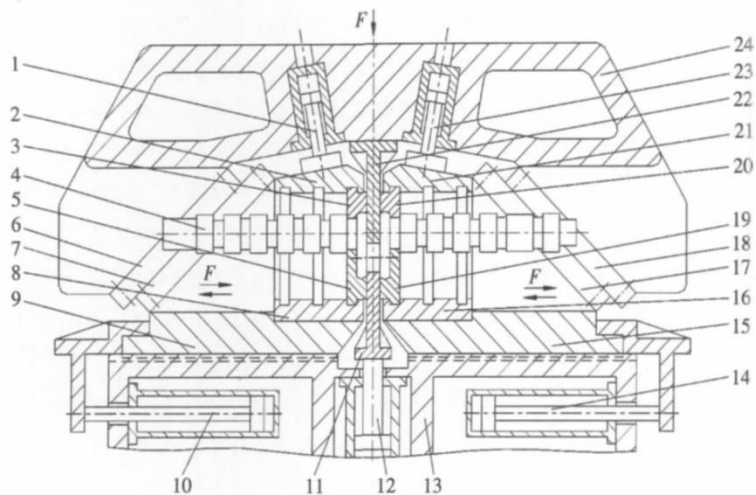


图6 液压楔式结构工装

- 1.左夹紧油缸 2.左上模块座 3.左上模块 4.坯料 5.左下模块 6.左上斜块 7.左下斜块 8.左下模块座 9.左滑动模座 10.左油缸 11.中间下模块 12.中间下油缸 13.底座 14.右油缸 15.右滑动模座 16.右下模块座 17.右下斜块 18.右上斜块 19.右下模块 20.右上模块 21.右下模块座 22.中间上模块 23.右夹紧油缸 24.上连接架

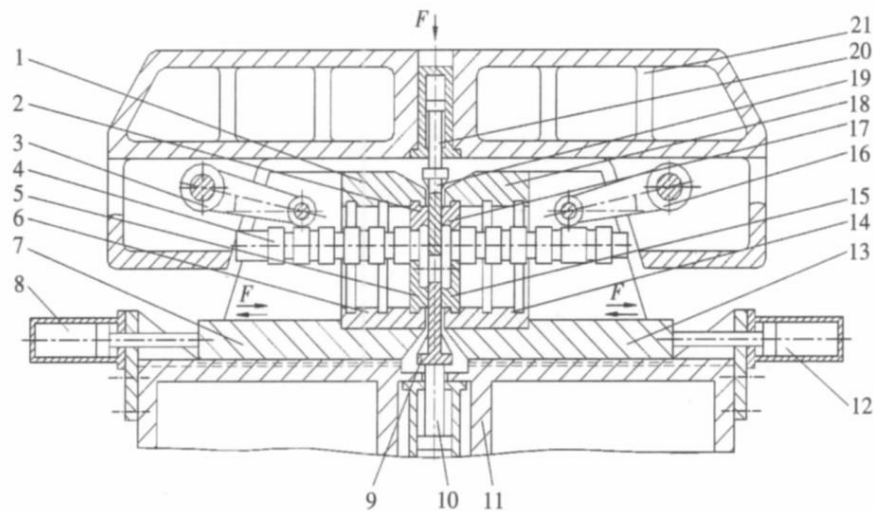


图7 液压铰链式结构工装

- 1.左上模块座 2.左上模块 3.左夹紧连杆 4.坯料 5.左下模块 6.左下模块座 7.左滑动模座 8.左油缸 9.中间下模块 10.中间下油缸 11.底座 12.右油缸 13.右滑动模座 14.右下模块座 15.右下模块 16.右夹紧连杆 17.右上模块 18.右上模块座 19.中间上模块 20.中间上油缸 21.上连接架

*热处理

对**碳素钢**曲轴锻件应进行**正火处理**，粗加工后进行**退火处理**，硬度为HB180~240。

对**合金钢**曲轴锻件应经**正火处理**，粗加工后进行**调质处理**，硬度为HB207~286(有时可达HB302~364)。

对**球墨铸铁**曲轴应经**正火处理**，精加工前应进行**退火处理**，硬度为HB220~290。



热处理炉

二、曲轴的技术要求

The demands on the machining of the crankshaft

Wärts
圆度
C圆度

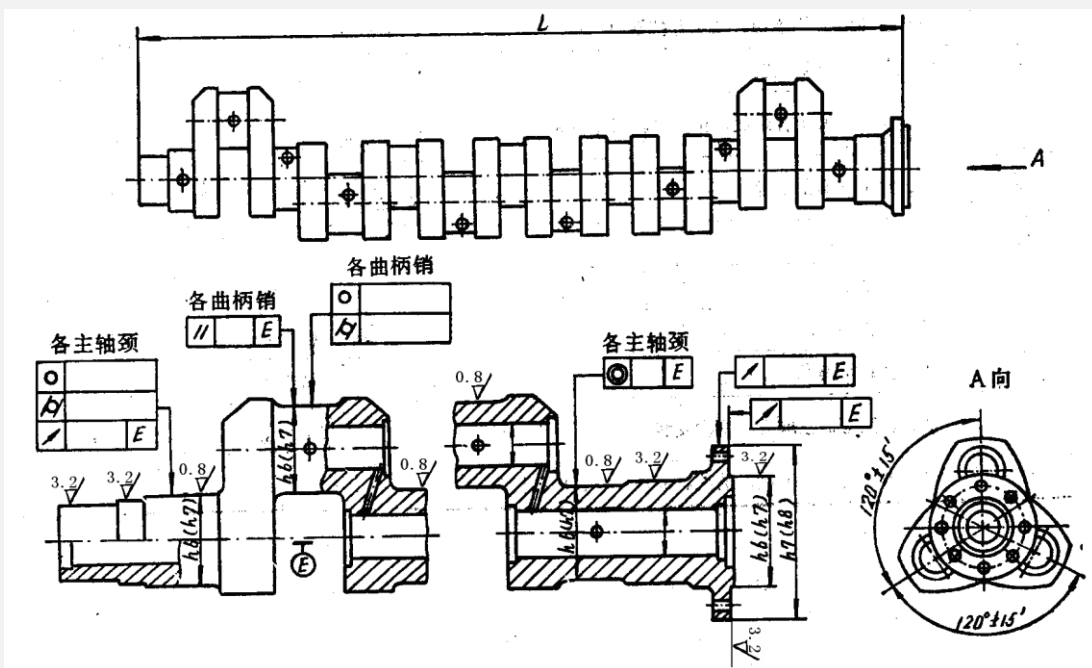
1、尺寸精度和形状精度

- ①**主轴颈和曲柄销的直径**：低速机IT7，中、高速机> IT6 ；
- ②**轴颈的形状公差 (圆度和圆柱度)**：低速机IT9级公差的四分之一，高速机IT7级公差的四分之一。

国内大型船用曲轴表面圆度值达到0.035mm。（2013年）

曲轴各轴颈圆度和圆柱度公差 (mm)								表7-1
形状公差 轴颈直径 值	~75	>75~100	>100~150	>150~250	>250~350	>350~500	>500~600	
主 轴 颈	0.005	0.0075	0.01	0.013	0.015	0.02	0.025	
曲 柄 销	0.005	0.01	0.0125	0.015	0.02	0.025	0.03	

③圆角：在加工时应保证正确的圆角半径。



2、位置精度

(1) 所有主轴颈的轴线应在一条直线上。

- 高速机：径向圆跳动量 $0.02\sim 0.04\text{mm}$,
- 中、大型机：径向圆跳动量 0.04mm (原教材 $0.04\sim 0.08\text{mm}$, 2016)。

主轴颈径向圆跳动公差值 (mm)

表7-2

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

(3) 曲轴凸缘端面应与曲轴轴线垂直，外圆对曲轴轴线同轴。

端面圆跳动误差：

$D_{\text{凸缘}} < 300\text{mm}, \leq 0.03\text{mm};$

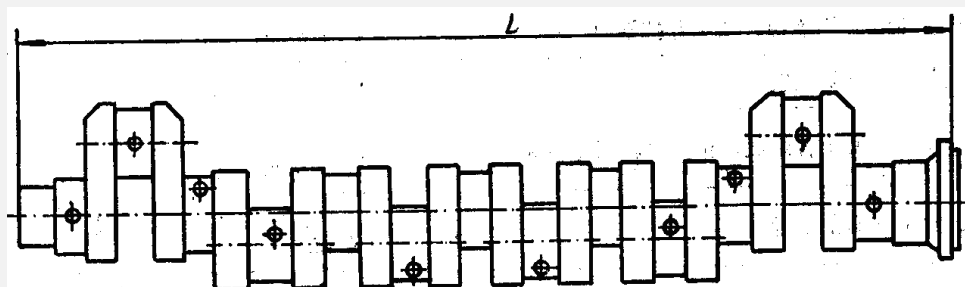
$D_{\text{凸缘}} > 300\text{mm}, \leq 0.05\text{mm}.$

径向圆跳动误差<表中的规定要求。

凸缘外圆对曲轴轴线的径向圆跳动公差值 (mm)

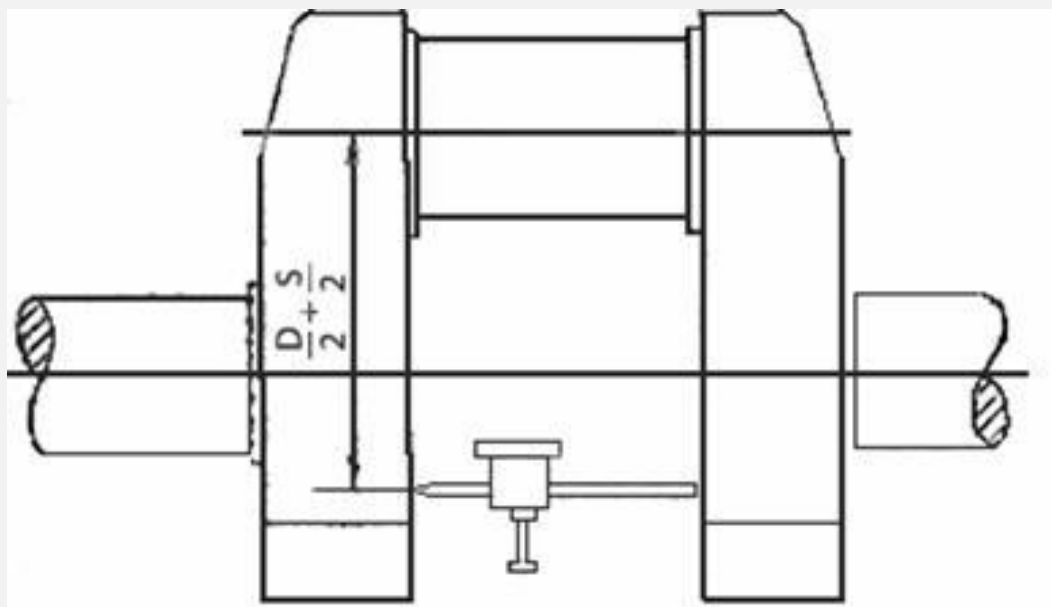
表7-3

曲轴凸缘直径	~100	>100~250	>250~500	>500
径向圆跳动公差	0.02	0.03	0.04	0.05



(4) 曲轴的臂距差

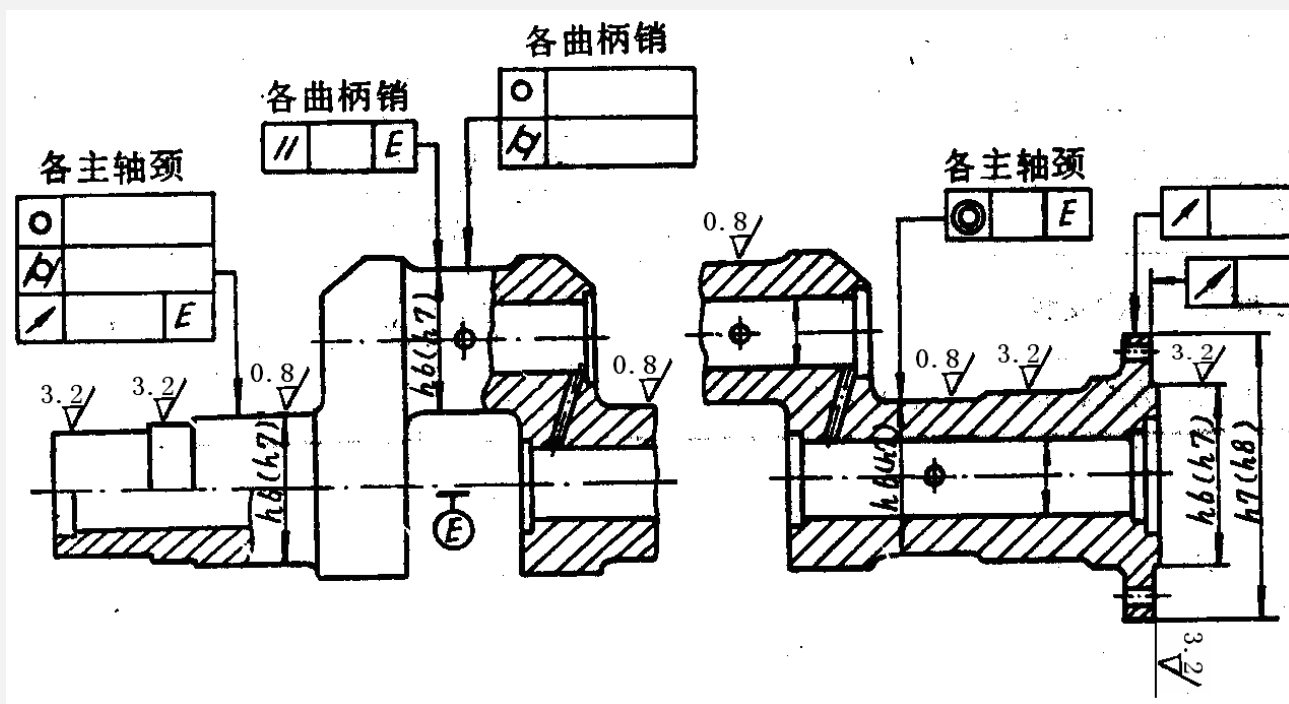
- 每m活塞行程 $\leq 0.075\text{mm}$
- 当活塞行程 $<400\text{mm}$ ，每米活塞行程 $\leq 0.10\text{mm}$ ，但总值 $\leq 0.03\text{mm}$ 。



3、表面粗糙度

- (1) 曲轴主轴颈和曲柄销
- (2) 油孔孔口和轴颈过渡圆弧处
- (3) 曲轴凸缘外何和端面
- (4) 曲柄臂侧面
- (5) 曲轴减轻孔(钢曲轴)
- (6) 如果合金钢，粗糙度提高一级。

国内大型船用曲轴表面
(如主轴颈和曲柄销)粗糙度达到Ra 0.4。
(2013年)



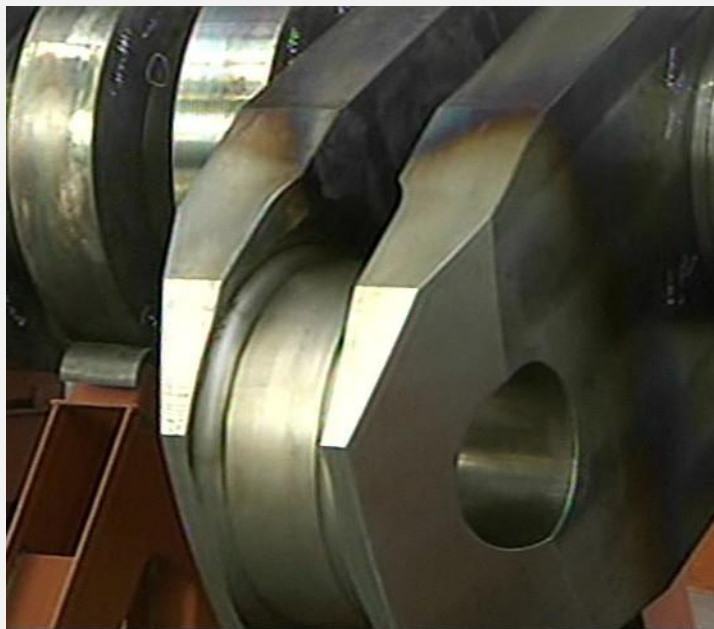
4、其他方面的要求

因它对应力集中非常敏感，

加工表面：不允许有裂纹、麻点、凹陷、毛刺和碰伤等缺陷

非加工表面：不允许有氧化皮、分层、裂纹、折叠及过烧等缺陷

高速机动平衡精度： $\leq 0.005\text{N}\cdot\text{m}$ 。



二、整体式曲轴的加工

Machining technology of built-up crankshaft

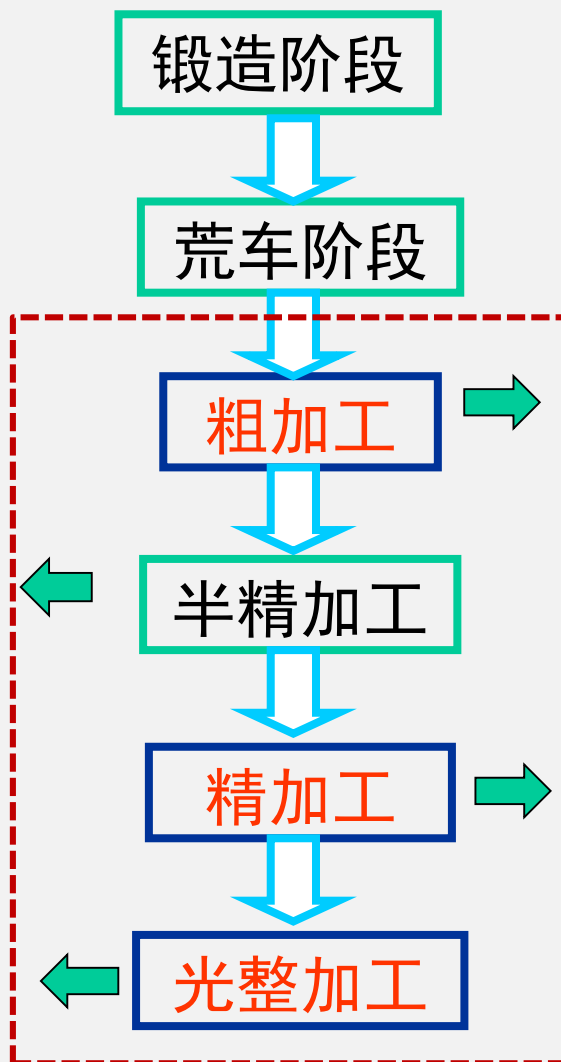
1、曲轴加工阶段和工艺过程

(1) 加工阶段

加工分为四个加工阶段

半精加工的主要目的是为精加工阶段作好准备。

达到Ra0.4粗糙度



四. 高速柴油机曲轴加工特点

- 1 采用优质合金钢
- 2 技术要求高
- 3 毛坯采用模锻等;
- 4 加工分为四个加工阶段
- 5 粗加工前进行正火处理
- 6 采用曲轴加工机床和多轴钻孔专用机床
- 7 粗加工后采用调制处理
- 8 精加工可在专用曲轴磨床加工
- 9 进行超精加工。

曲是用高生产率的加工方法(如铣削)去除工件上多余的金属。

达到IT6级公差

(2) 工艺过程

对于中、大型整体曲轴，均应按工序集中的原则

中小型整体曲轴的主要加工顺序：

- 1)划线及加工定位基准(打顶针孔等)；
- 2)粗加工主轴颈；
- 3)曲柄成形(自由锻曲轴)，或凸缘螺孔加工，
- 4)粗加工曲柄销和曲柄臂，
- 5)粗加工曲轴减轻孔(锻造曲轴)
- 6)中间热处理，
- 7)修正精加工定位基准；
- 8)精加工主轴颈，
- 9)精加工曲柄销和曲柄臂，
- 10)精加工曲轴减轻孔(锻造曲轴)
- 11)斜油孔和键槽加工；
- 12)主轴颈和曲柄销光整加工。

对于曲轴来说，通常都是从加工定位基准或划线开始的，然后对各主要表面进行粗加工，接着插入中间热处理。

精加工前应修正精加工工序的定位基准，次要表面的加工(如减轻孔、斜油孔、键槽等)可安排在主要表面加工工序之间，但应以不影响主要表面加工精度和光洁度的获得为前提。

如果轴颈必须光整加工，则应该安排在工艺过程的最后，以免再进行其他工序时破坏轴颈的表面光洁度。

曲轴机械加工工序表
(材料: 35钢 毛坯: 自由锻件、经正火处理)

表 1-4

工序号	工 序 主 要 内 容	定 位 基 准	机床或工作地点
1	毛坯检验、划轴线和加工线	毛坯表面	划线平台
2	打曲轴两端顶针孔	按划线痕	专用机床、镗床或手电钻
3	粗车各主轴颈、曲柄外侧面及凸缘外圆和端面(两次装夹)	顶针孔	车 床
4	划凸缘螺孔线、各轴颈减轻孔轴线及安装曲柄销加工夹具的找正线	主轴颈	划线平台
5	钻凸缘螺孔	划线痕、主轴颈	钻床或专机
6	粗加工曲柄销(曲柄成形)和曲柄内侧面、曲柄臂外形	主轴颈、凸缘外圆及端面、划线痕	车床或专用铣床、回转刀架车床
7	钻、镗轴颈减轻孔	划线痕、或主轴颈	镗床或专机
8	热处理	按规范	热处理车间
9	修正定位基准, 两端及中间主轴颈、凸缘外圆	主轴颈及凸缘外圆	车床
10	半精车曲柄销及曲柄内侧面	同工序 6	车床
11	车曲柄臂外形至要求尺寸	同工序 6	车床
12	半精车主轴颈及曲柄外侧面、凸缘外圆和端面(两次装夹)	主轴颈及凸缘外圆	车床
13	精镗减轻孔至要求尺寸	主轴颈	专用机床
14	精加工修正定位基准(同工序 9)	同工序 9	车床
15	精车曲柄销及曲柄内侧面至要求尺寸	同工序 6	车床
16	精车主轴颈、曲柄外侧面、凸缘外圆及端面至要求尺寸(两次装夹)	同工序 12	车床
17	精镗凸缘螺孔至要求尺寸	主轴颈	专机
18	铣键槽	主轴颈、划线痕	铣床或专机
19	钻所有斜油孔和直油孔	主轴颈	专用机床或镗床
20	主轴颈光整加工	主轴颈	专用机床
21	钳工修整, 油孔口倒角砂光、去飞边锐角		钳工
22	成品检验		

在小批量生产条件下曲轴机械加工工艺过程。

*实例：船用柴油机的大型曲轴

八缸，长4962.5mm，主轴径295mm，连杆轴径290mm。材料42CrMo，毛坯为自由锻钢件。

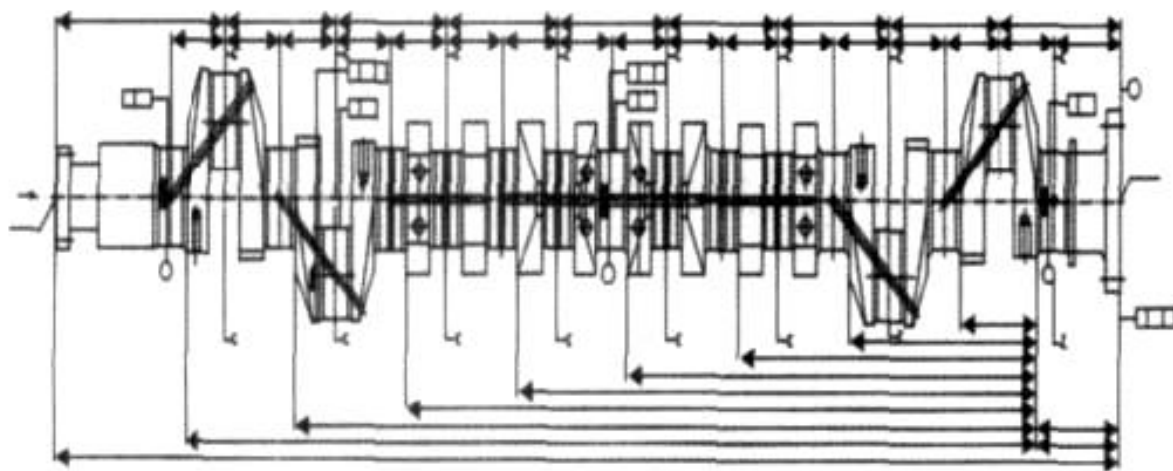


图1 曲轴简图

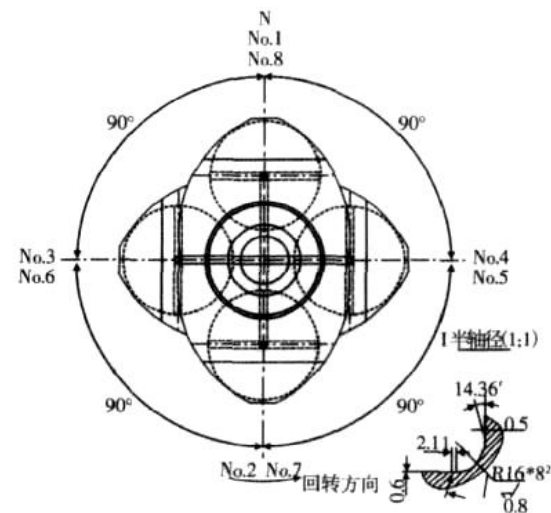


图2 曲轴的径面分度

刘玉岩, 任光胜(重庆大学机械工程学院).船用柴油机的大型曲轴机械加工工艺浅析.
机械设计与制造.第12 期,2008(12):242-243.

工艺流程简要介绍如下：

- <01>打中心孔→
- <02>车夹位→
- <03>粗车主轴径→
- <04>铣定位→
- <05>粗车连杆轴径→
- <06>钻攻飞轮螺孔→
- <07>钻细长油孔→
- <08>清洗→
- <09>车大头平端面及其它→
- <10>车小头平端面及其它→
- <11>热处理：调质→
- <12>精车主轴径→
- <13>精车连杆轴径→

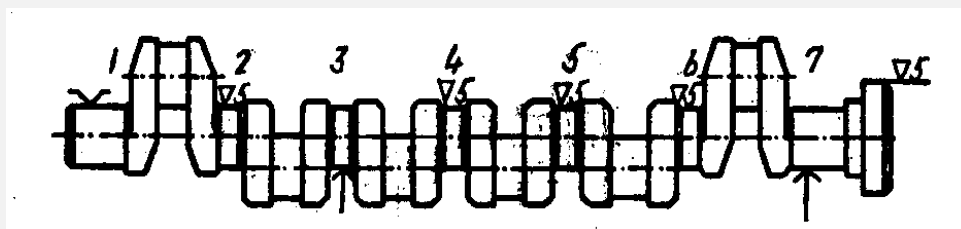
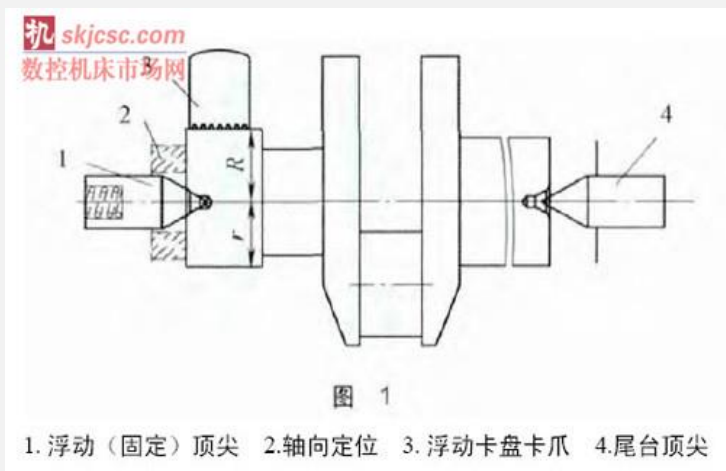
- <14>热处理：淬火→→
- <15>粗磨主轴颈→
- <16>粗磨连杆轴颈→
- <17>钻铰定位销孔→
- <18>铣键槽→
- <19>修中心孔、倒角→
- <20>精磨主轴颈→
- <21>精磨连杆轴颈→
- <22>精磨大、小头→
- <23>检验→
- <24>磁粉探伤→
- <25>去毛刺→
- <26>油孔口抛光→
- <27>抛光。

2.主轴颈加工

Selection of the positioning reference

通常是以顶针孔、主轴颈外圆面、第一主轴颈的两个台阶面（两侧面）、凸缘外圆及端面为定位基准。

对不同结构和不同毛坯的曲轴，其定位基准的选择和使用是有差异的。



方案1：以两个中心孔为精基准

方案2：以主轴颈外圆面为精基准

➤中、大型自由锻整体曲轴：粗加工：以顶针孔初定位；以后工序：主轴颈和凸缘外圆及端面。

➤铸造整体曲轴：粗加工：以顶针孔初定位；或凸缘外圆+小端顶针孔

*实例：主轴颈加工的定位效果

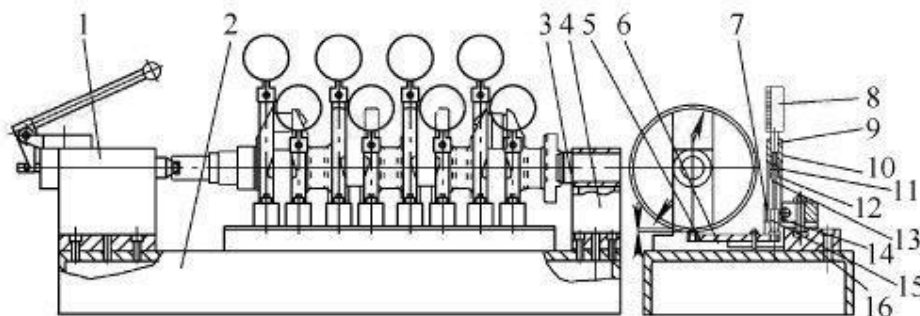


图 2

1. 顶尖部件 2. 底座 3. 顶尖 4. 顶尖座 5. 触头
6. 杠杆 7. 测体 8. 指示表 9. 夹套 10. 夹座
11. 套管 12、14. 套 13. 弹簧 15. 顶杆

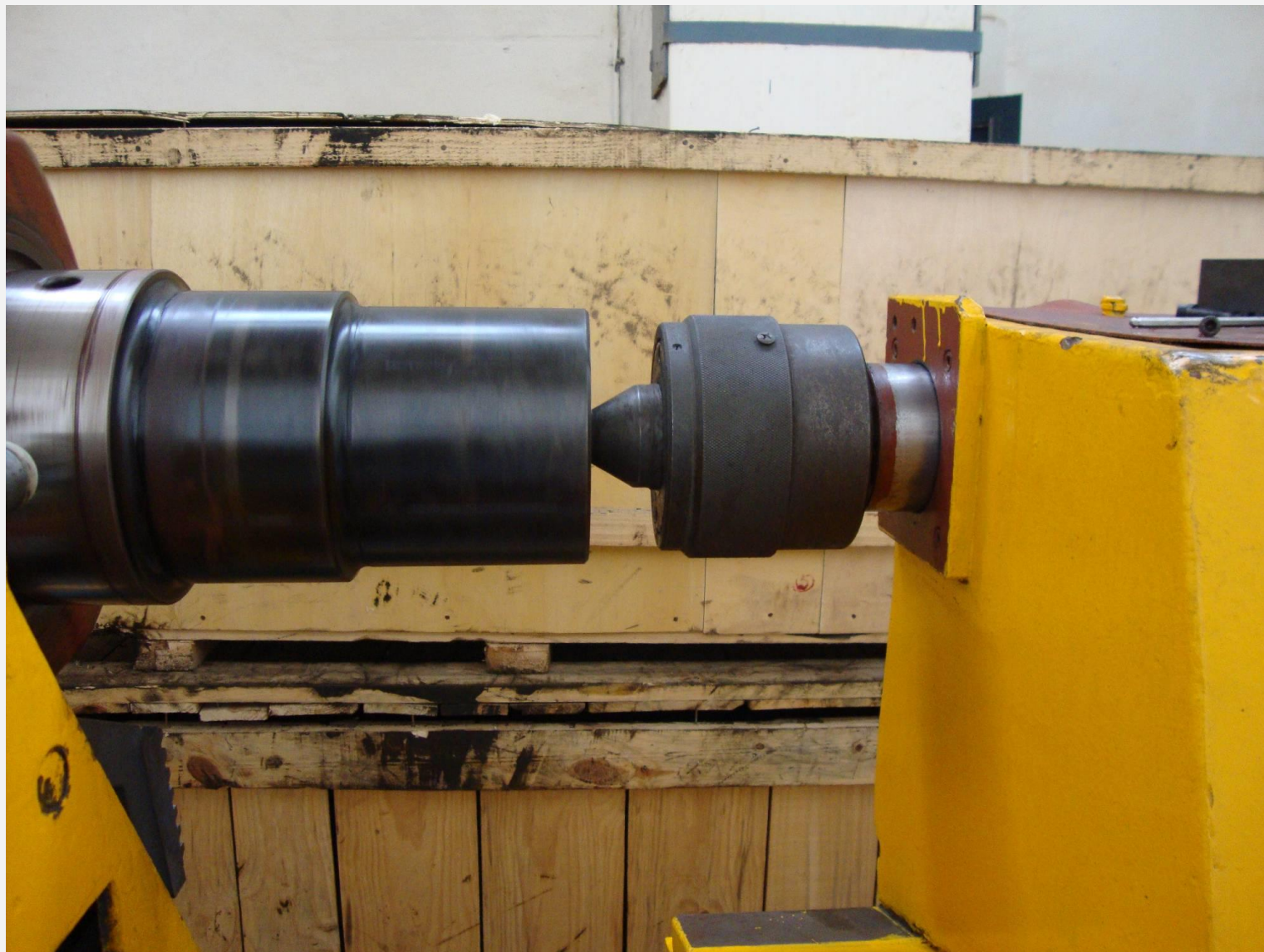
中国数控机床网
www.cnc-cnc.com



方案1：以两个中心孔为精基准

方案2：以主轴颈外圆面为精基准

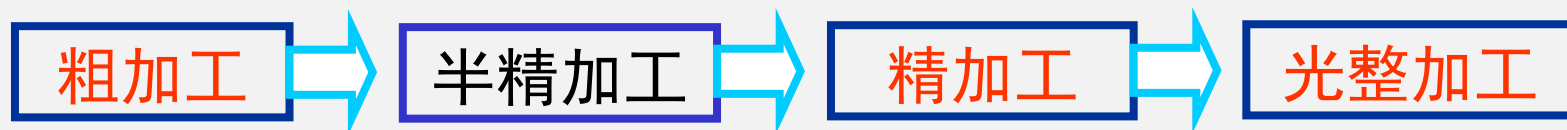
*实例：主轴颈加工的定位效果



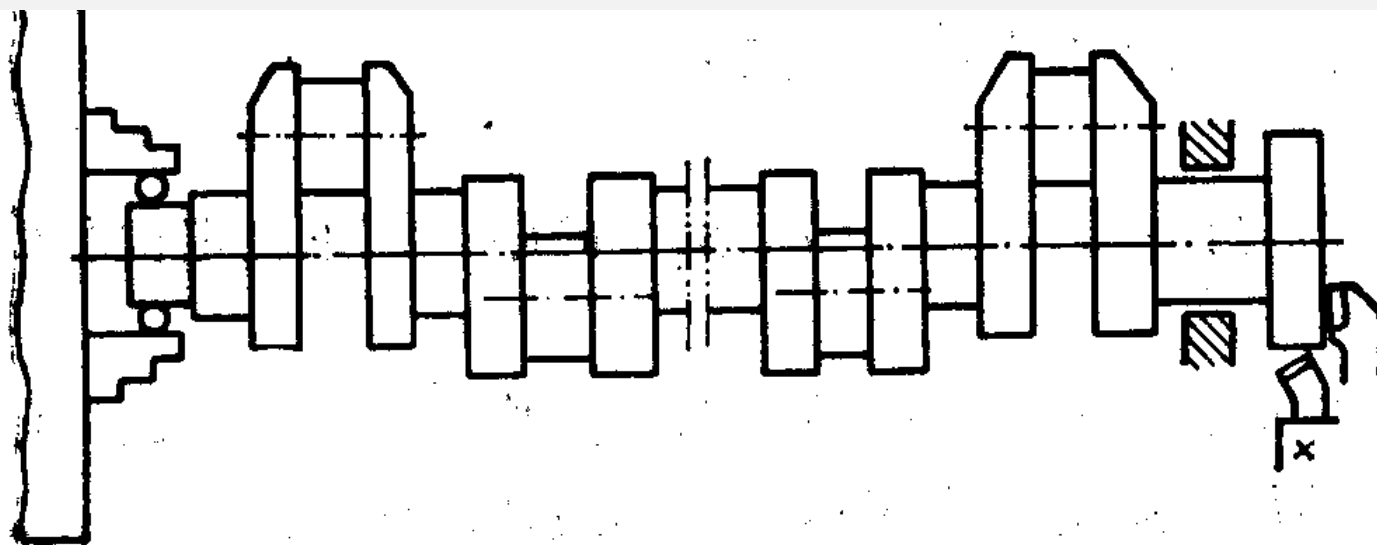
*实例：主轴颈加工的定位效果



问题：请介绍曲轴主轴颈和曲柄销加工阶段划分、定位基准选择和加工顺序。

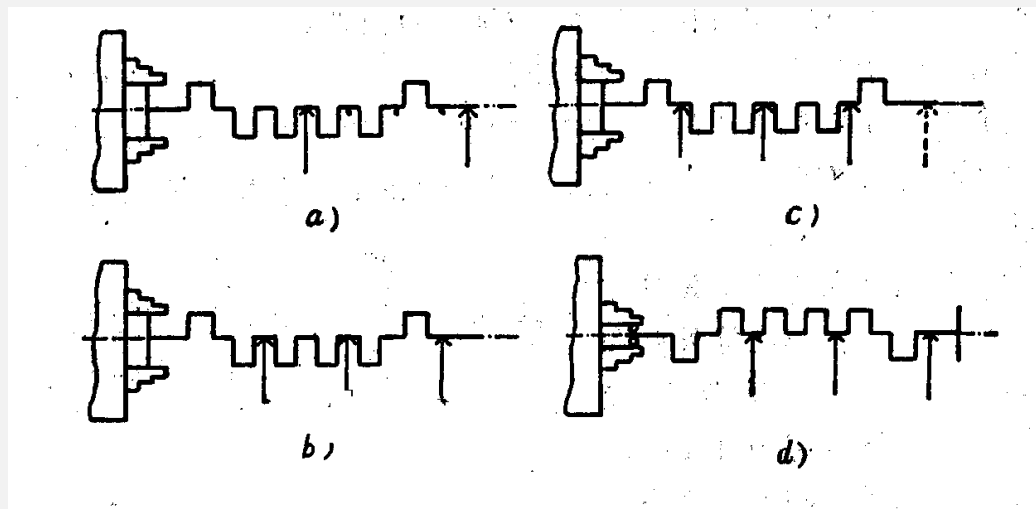


(1) 防止轴颈被夹毛，必须在轴颈与卡爪间加垫小铜棒

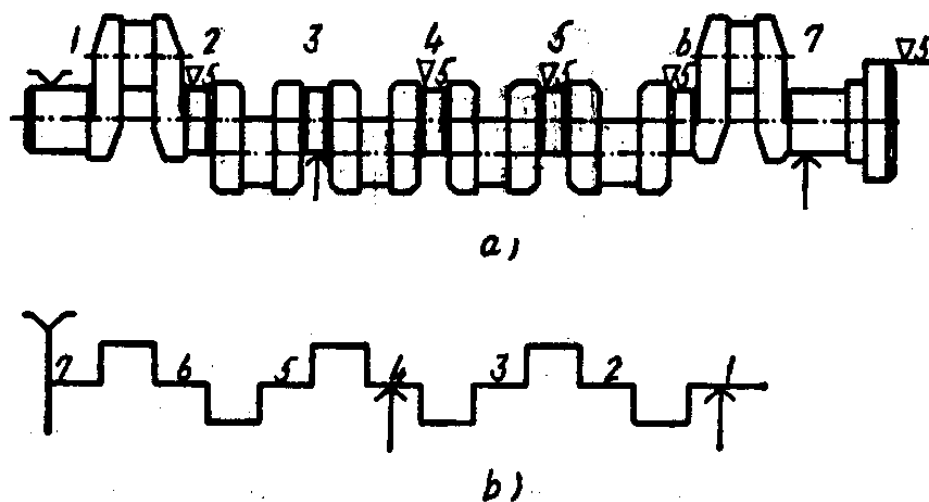


半精车凸缘外圆和端面装夹简图

(2) 无论是铸造或锻造毛坯，都必须加装中心架



对于铸造毛坯，在有些情况下，主轴颈粗加工时仍加装中心架。



曲轴主轴颈粗加工

注意：主轴颈加工必须加装中心架！

在精车各主轴颈的过程中，安放或移装中心架时;都必须严格校正轴线;使支中心架处各主轴颈的径向圆跳动量小于成品曲轴该项要求的一半，各曲柄臂距差值小于成品曲轴该项要求的一半。



*实例：主轴颈加工的中心架



*新技术： 主轴颈加工的车拉工艺

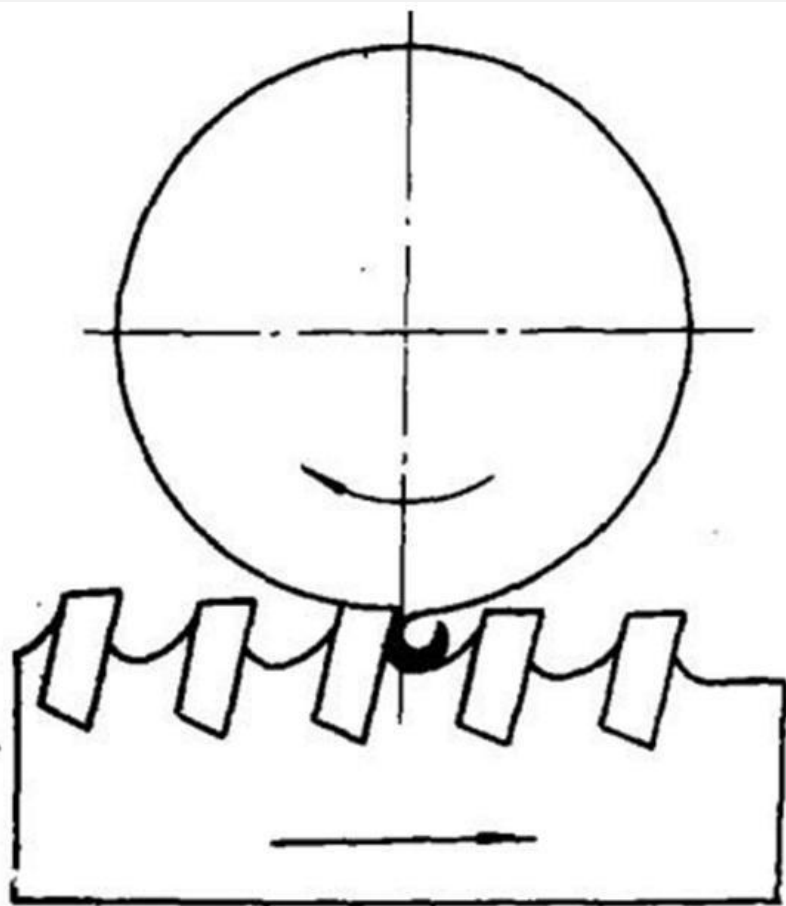


图 1 车拉示意图

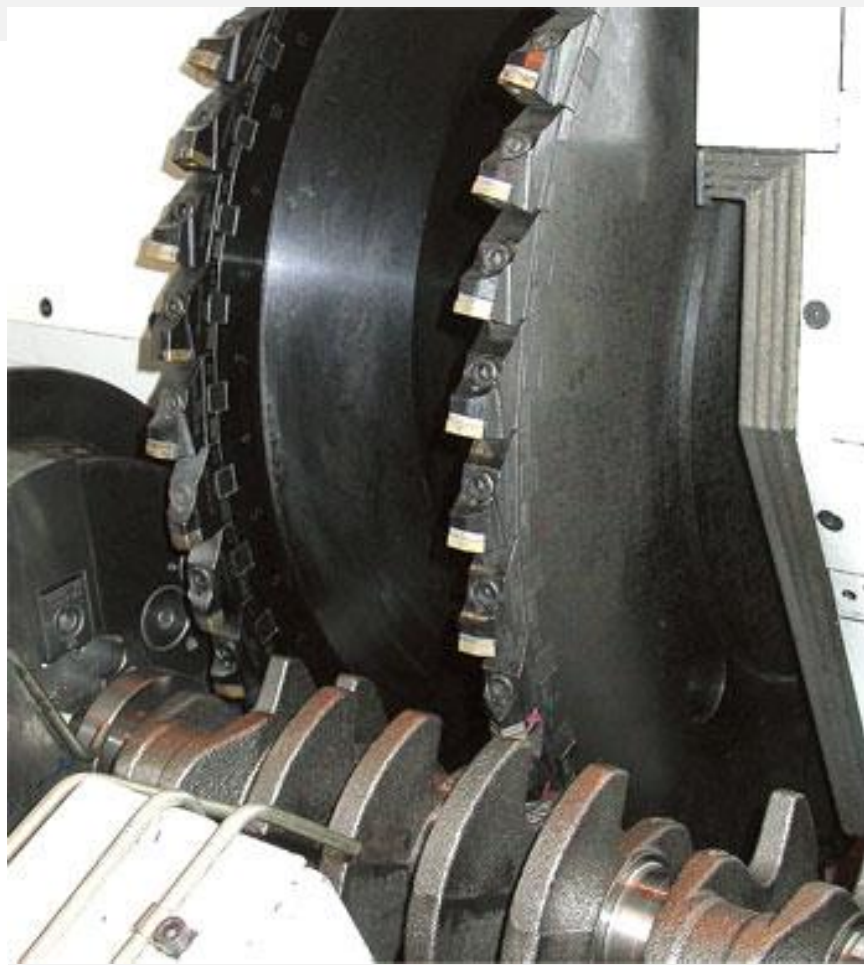
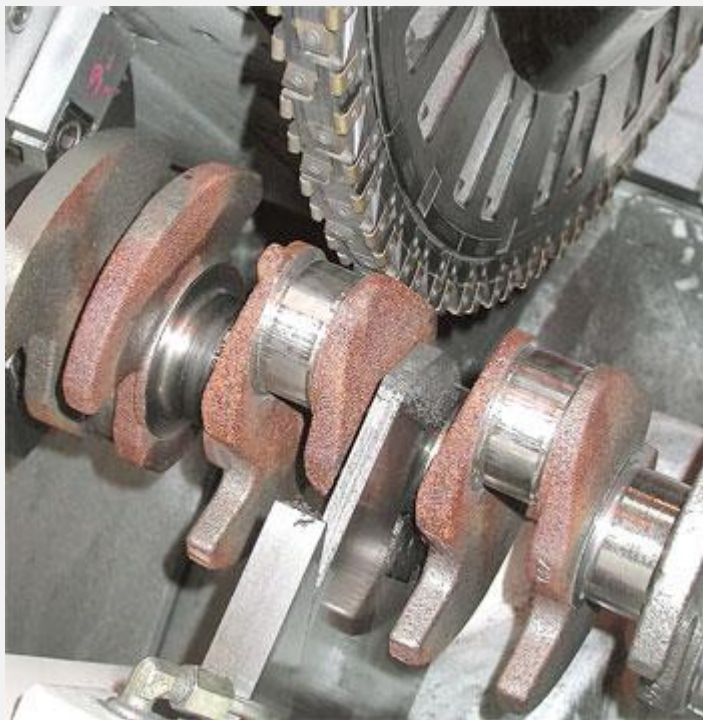


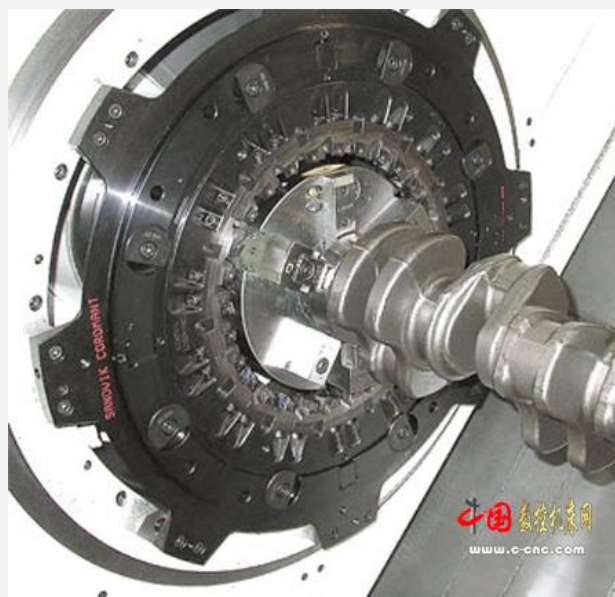
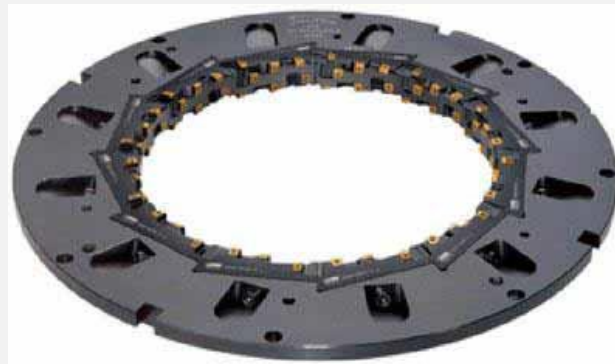
图1 双刀盘车-车拉机床

车种的时具车曲形具旋削过每零加深旋与势工而接车削率及

*新技术： 主轴颈加工的内、外铣工艺



外铣技术
(逐渐淘汰?)



内铣技术

*新技术： 主轴颈加工的数控磨削技术



图1 曲轴磨削

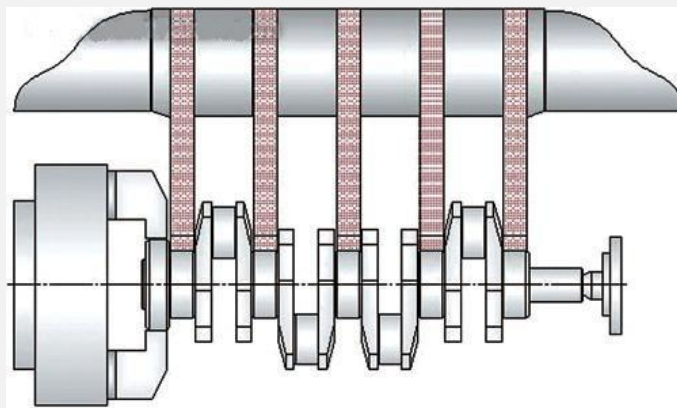
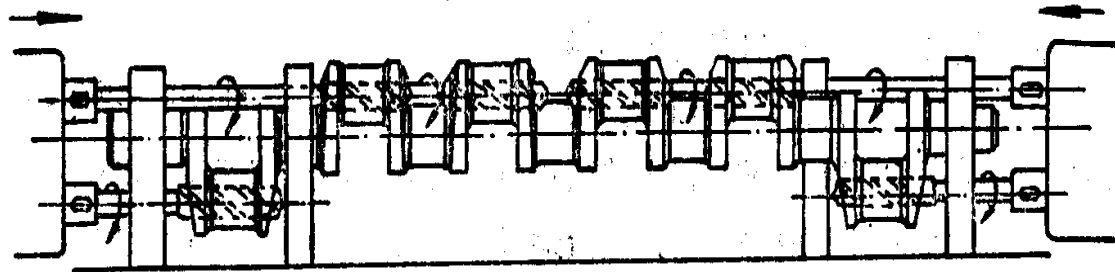


图2 五砂轮磨削主轴

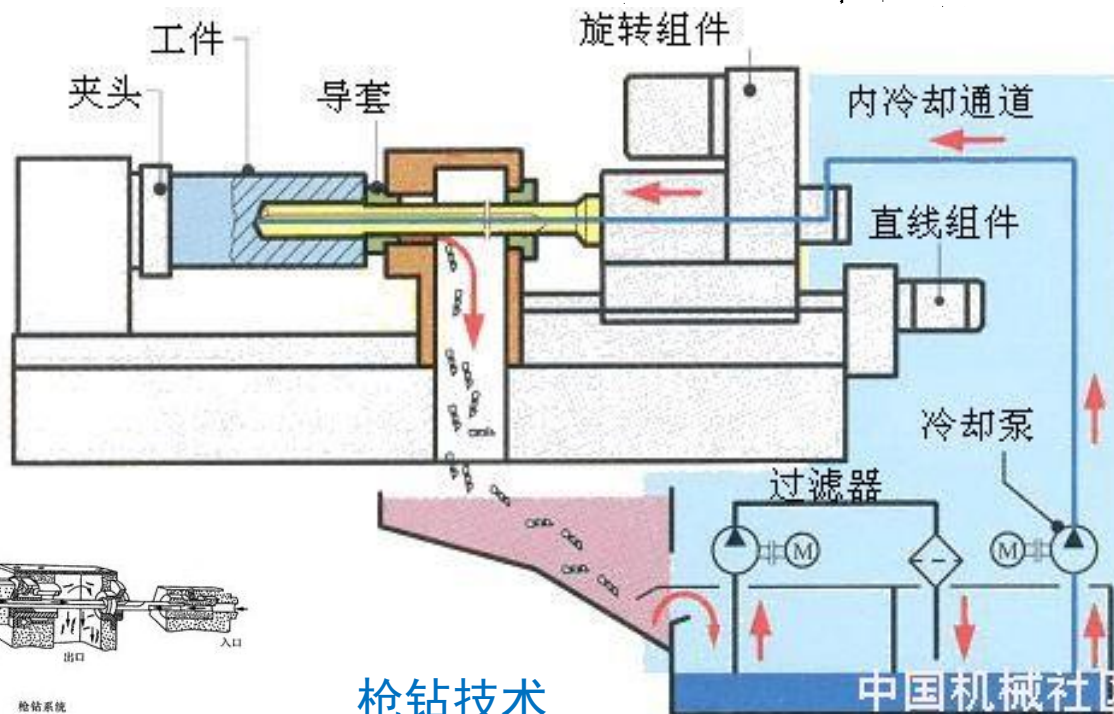
传统的磨削工
削线速度为3
轴磨床，砂轮
为手动进给，
的磨削余量之
度低，需技术
作才能磨出精
曲轴磨削可采
单序加工和工
艺。采用单序
工磨削效率很
轴颈的跳动量
砂轮一次修整
证各轴颈尺寸
缺点是柔性差
一个系列产品
前端和后端的
合磨削等。

CBN砂轮耐
削过程中砂轮
是不变的，一
削（600~80
CBN砂轮还可
的磨削速度，
上一般可采用
140）m/s的磨
削效率很高。

曲轴减轻孔、深油孔加工



在双面六轴钻专机上加工减轻孔



枪钻技术

曲轴属于细长类零件，基准是两端中心孔，按种：一种是利用双V型块支承轴颈的几何中心，中心孔称为几何中心孔的质量定心机测出曲轴心上加工出的中心孔称毛坯的几何形状误差和一般两者并不重合。

国内生产线中多采用几何中心孔作定位中心时，工件旋转会产生离心质量，降低定心元件的工后剩余的动不平衡量。国外大都采用质量中心测试设备来测试质量中心孔，并且可将铣两端长合并为一道工序，采用效率很高。但需要注意形严重或质量严重分布心孔仍不能彻底解决上认为曲轴的质量中心孔坏质量的好坏合理选用加工余量小且加工余量的质量中心孔与几何中心必花费较高的经费购置毛坯质量较差，加工余不均匀，则优先选用质

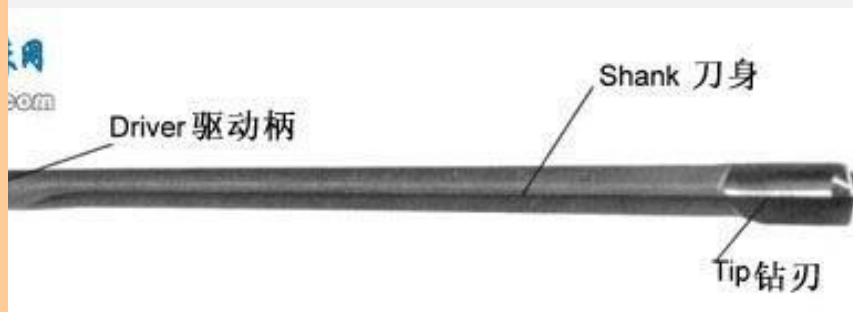
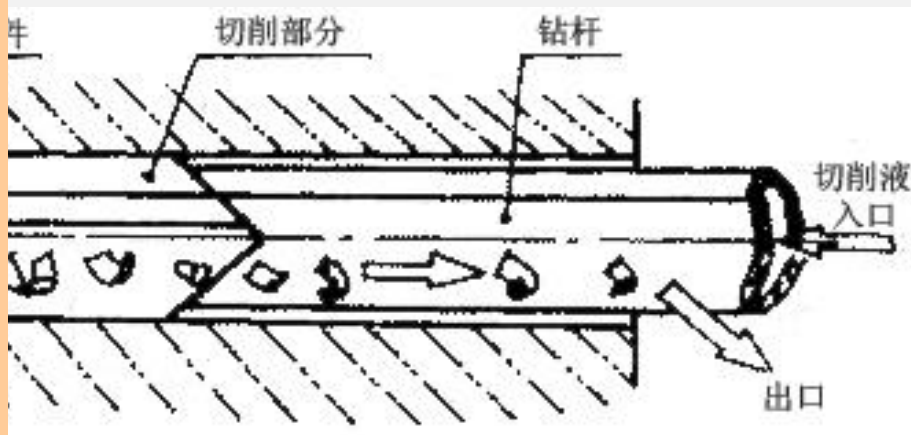
*钻细长油孔



*枪钻技术加工曲轴深油孔

加工是曲轴尤其是锻轴中的一个难题。曲轴油孔一般在5~8mm之径，且须到连杆颈倾斜贯通，而且要在曲面上加工，精度要求高。加工深油孔最好用枪钻工艺。

枪钻用来加工深孔（径长比大），而且也可用来加工浅孔（径长比小）。枪钻由钻柄（用于夹持）、钻杆（用于加工孔的长度确定，材料）、钻头（刀尖是偏心的，采用合金材料）三部分焊接在一起。钻柄有一通孔，外侧面有冷却液入口，依靠中间通孔实现冷却液从后刀而上的小孔直接对切削区冷却。在加工细长孔时，通过直V型槽有效排屑。在钻削过程中定期退刀。在加工细长孔时，退刀、镗孔、铰孔一次走刀便可加工出高精度（IT8级）、直线度（0.01mm/1000mm）、粗糙度（Ra1.2~0.1）孔。



当用枪钻加工深油孔时，应选用尺寸适合的专用枪钻。采用的钻套是合金工具钢或合金工具钢枪钻钻套，其内径为63~65，内孔精度为Ra1.6~3.2。大允许同轴度为0.01mm，前端面最大允许圆跳动为5um，钻套内孔与钻头表面的距离不超过5um，钻头与钻套头部的间隙保持在0.05mm之内。使用枪钻时，曲轴必须有较高的轴向刚度，使用枪钻时应取切削用量。切削速度Vc为100m/min，进给量为0.015~0.03mm/r，冷却液流量为2.5~6.0L/min，冷却液浓度为0.2~0.65L/s。

此外，加工深油孔时还需使用枪钻油。一般枪钻油应有极压添加剂，在高压力下形成一层油膜，防止产生干摩擦。枪钻油的粘度与钻孔直径成正比，直径越小，粘度应随孔深的增加而增加，以保证切削油膜的厚度，达到通畅。

曲轴轴颈光整加工



曲轴冷压光加工



细砂布砂光

*光整加工效果



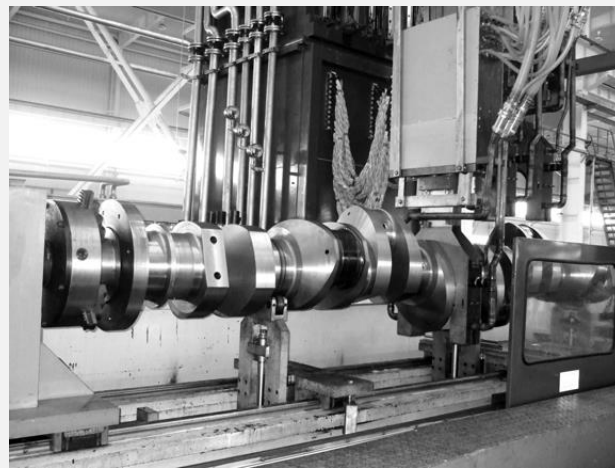
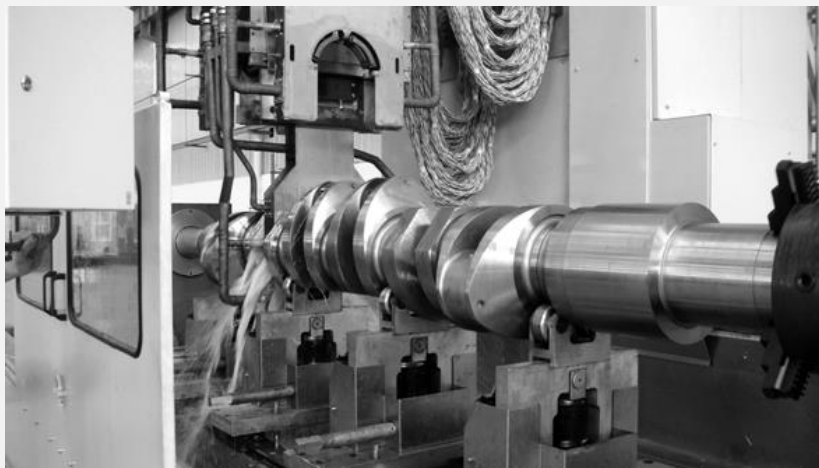
未经滚磨光整加工的曲轴



滚磨光整加工的曲轴

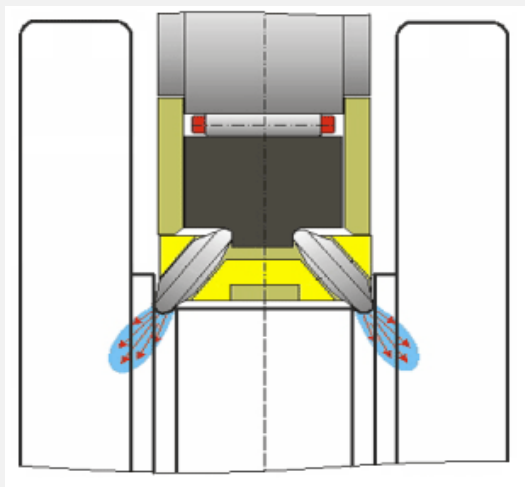
7. 曲轴表面强化工艺

- ①化学热处理工艺，包括离子渗氮、气体渗氮和液体渗氮等。
- ②轴颈感应淬火后轴颈圆角滚压复合处理工艺（简称为圆角滚压）。
- ③轴颈与圆角同时感应淬火工艺（简称为**圆角感应淬火**）。



柴油机曲轴淬火现场

*圆角滚压工艺



曲轴圆角滚压强化工艺



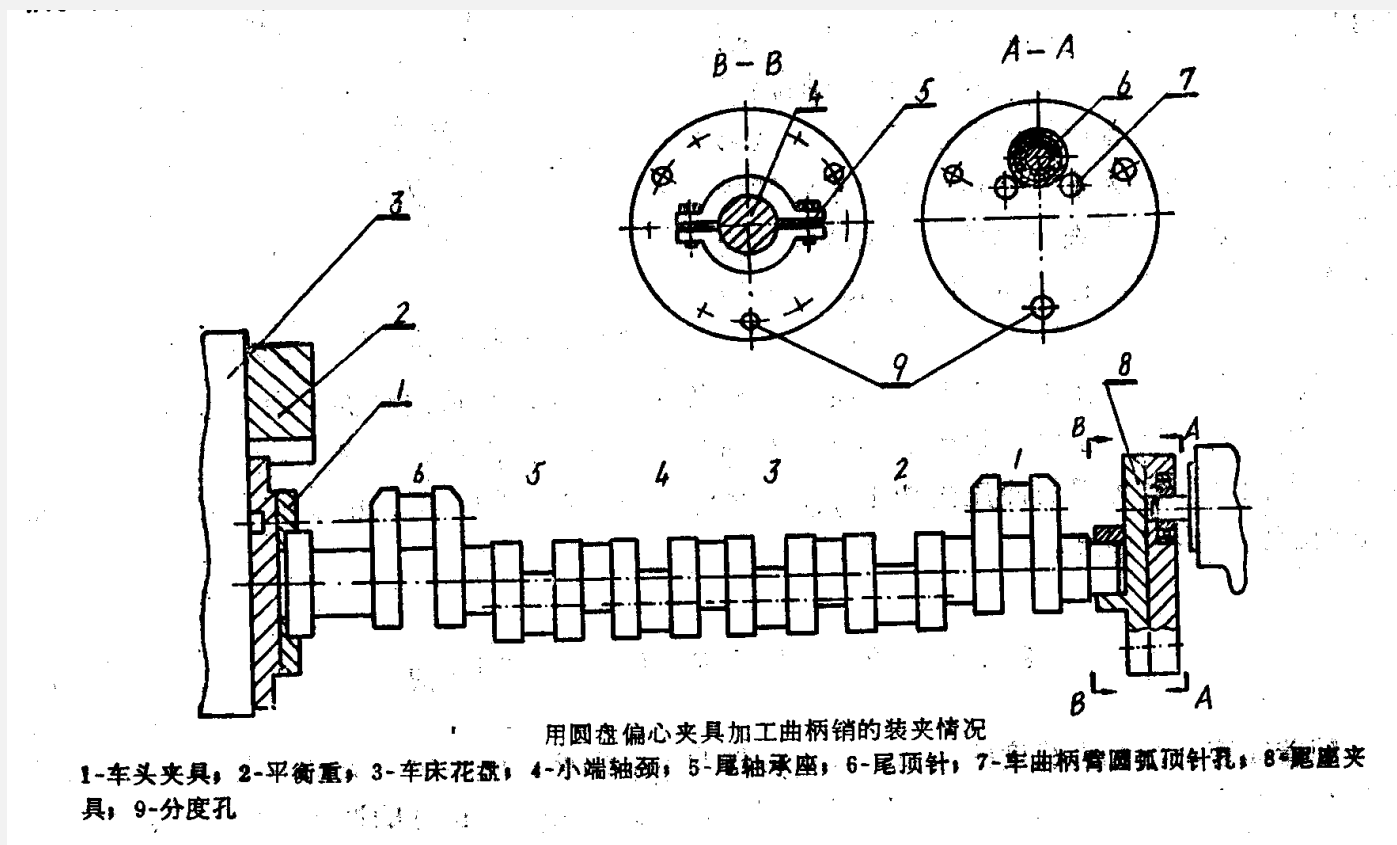
图4 圆角滚压后的曲轴轴颈圆角形态

*电感应曲轴淬火



3.曲柄销加工

- 粗精加工：主轴颈、凸缘外圆和端面及曲柄销的轴线
- 角度定位方式：专用夹具上的分度装置的分度孔

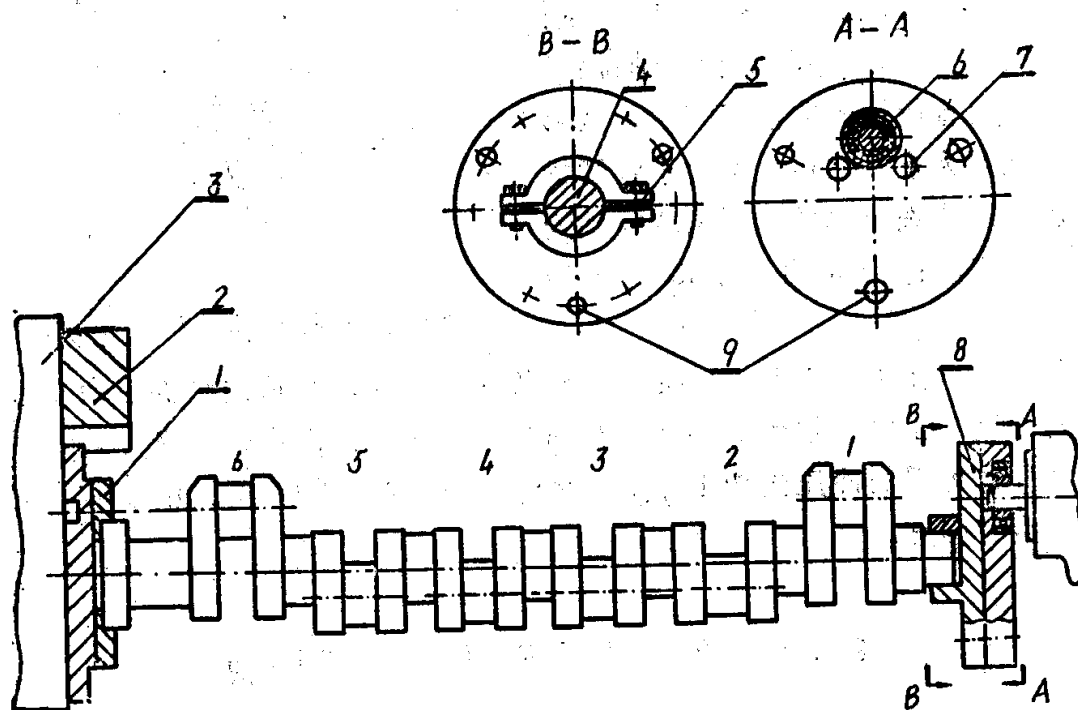


*实例：曲柄销加工的定位效果



➤ **两个问题：** 角度定位和曲轴旋转时的不平衡。

➤ **夹具：** 普通车床圆盘形偏心夹具



用圆盘偏心夹具加工曲柄销的装夹情况

1-车头夹具，2-平衡重，3-车床花盘，4-小端轴颈，5-尾轴承座，6-尾顶针，7-车曲柄臂圆弧顶针孔，8-尾座夹具，9-分度孔

*曲轴磨床的曲柄销的加工夹具



4.其他轴颈表面的加工技术

- (1) 车、铣复合数控加工：
- (2) 宽刃刀具加工：
- (3) 全轴车削加工：
- (4) 轴颈的外铣和内铣加工：
- (5) 轴颈的车拉加工：

*新技术：曲柄销加工的复合加工技术

复合加工是指一次装夹磨削所有主轴颈和连杆轴颈，

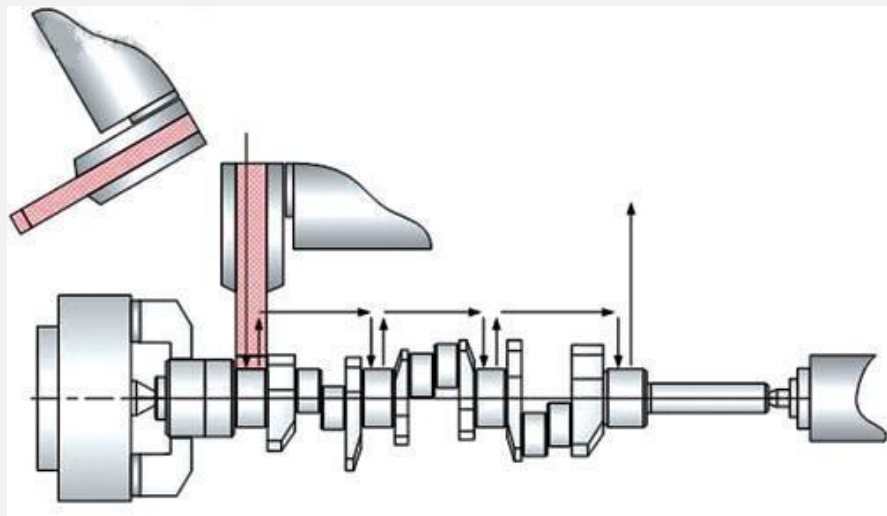


图1 顺序磨削主轴颈和连杆颈

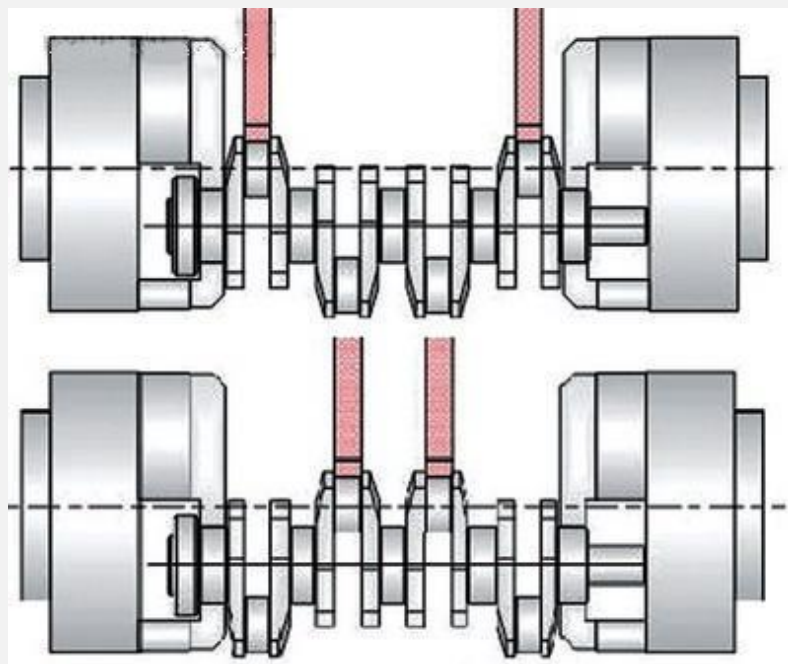


图2 双砂轮磨削连杆颈

•CBN（立方氮化硼）砂轮

*新技术：曲柄销加工的摆动跟踪磨削技术

磨削连杆轴颈采用先进的摆动跟踪磨削技术，这种磨削方式最大的优点是柔性化好。

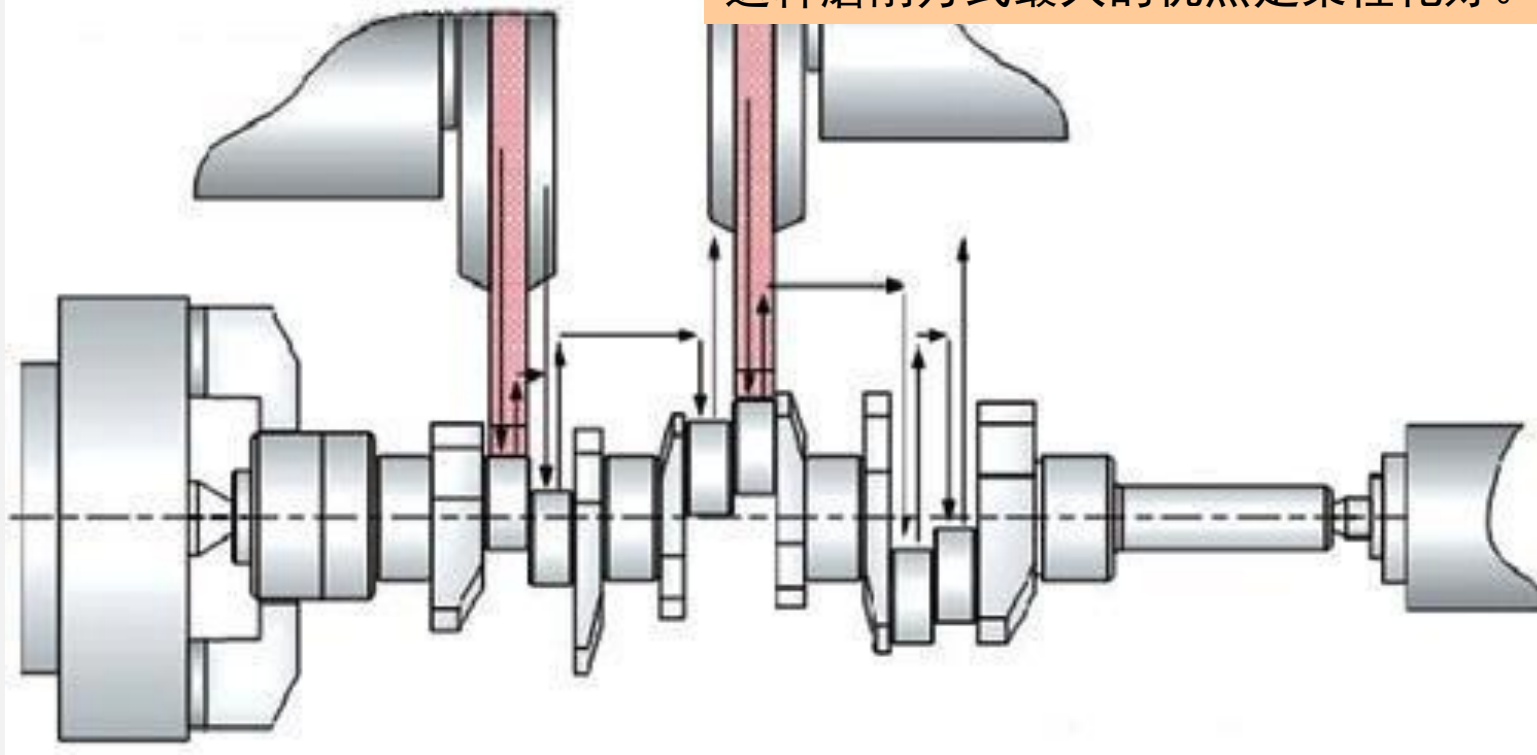
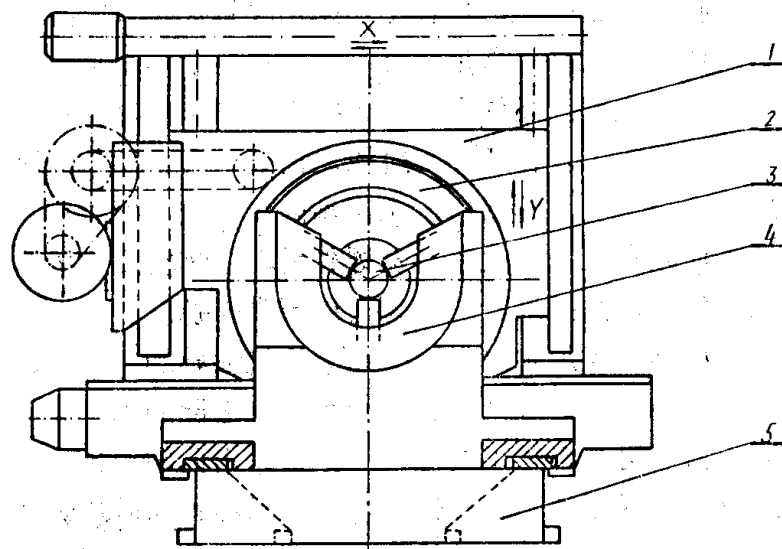


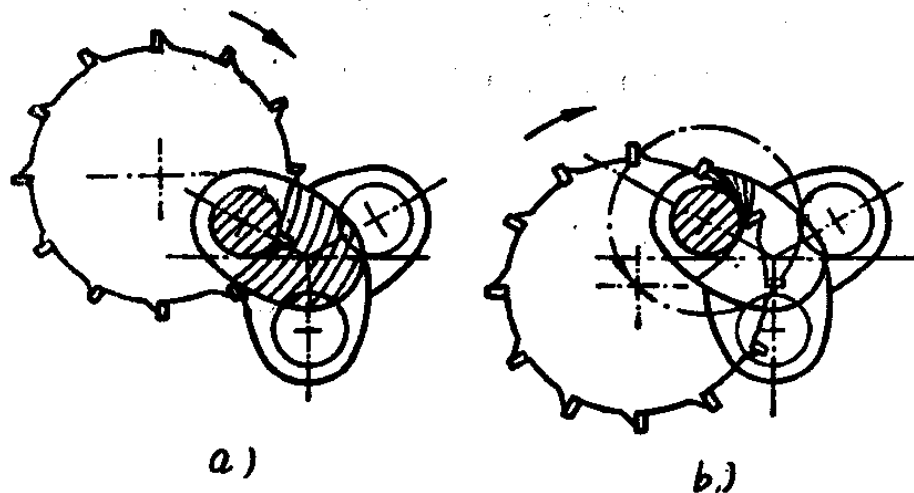
图1 同步磨削主轴颈及/或连杆颈

*新技术：曲柄销加工的内铣技术



在曲轴铣床上加工曲柄销简图

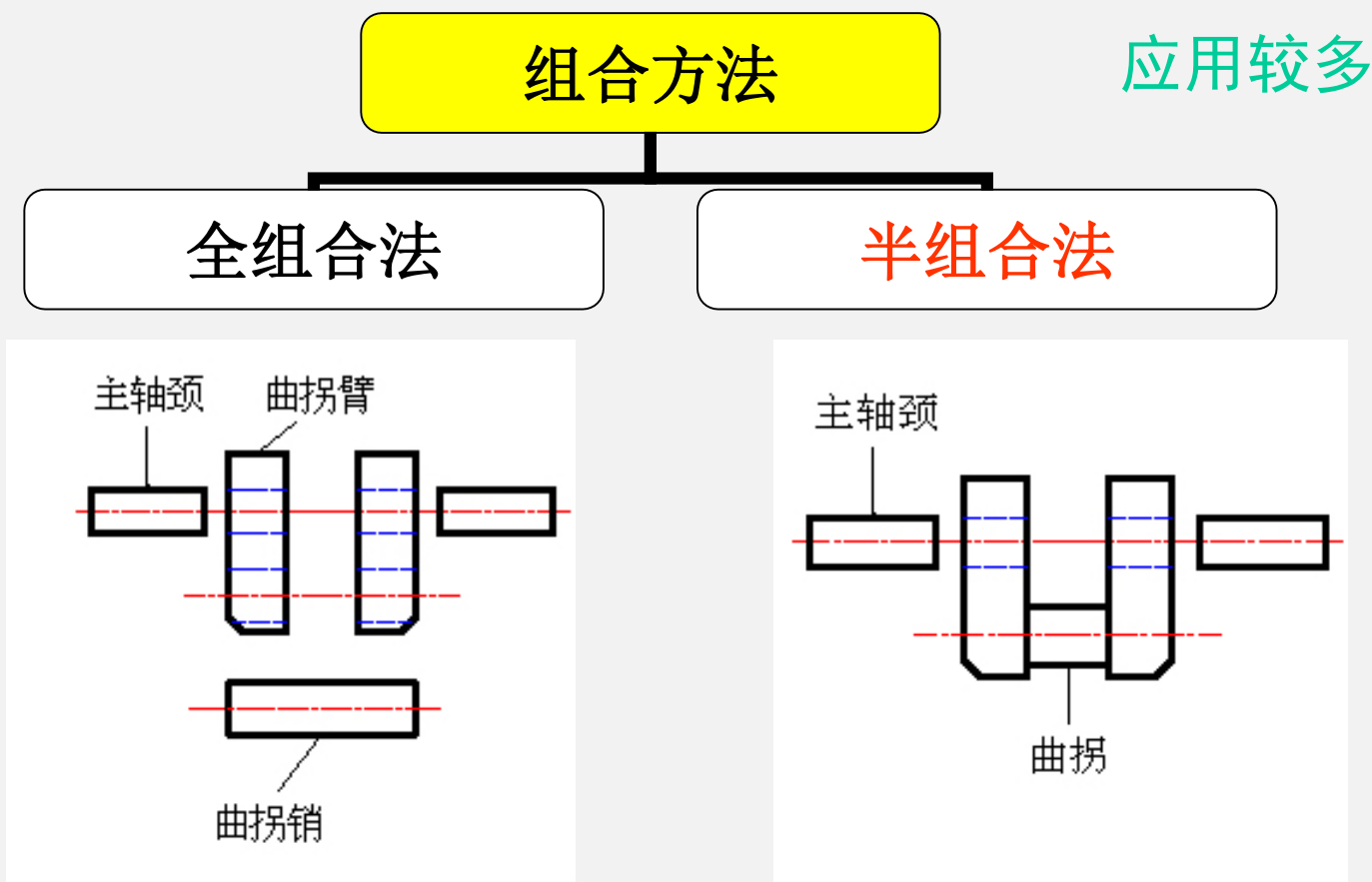
1-铣头滑座；2-铣刀；3-工件；4-支架；5-床身



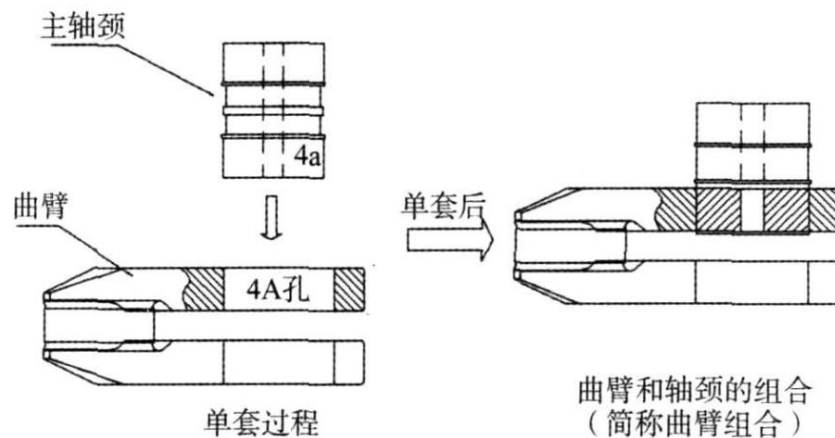
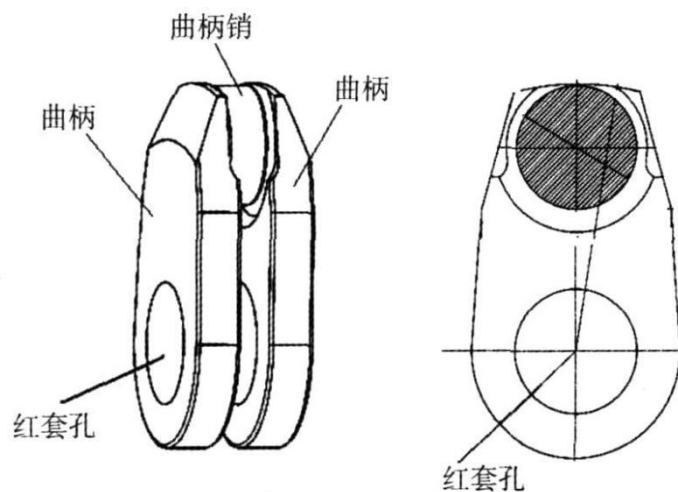
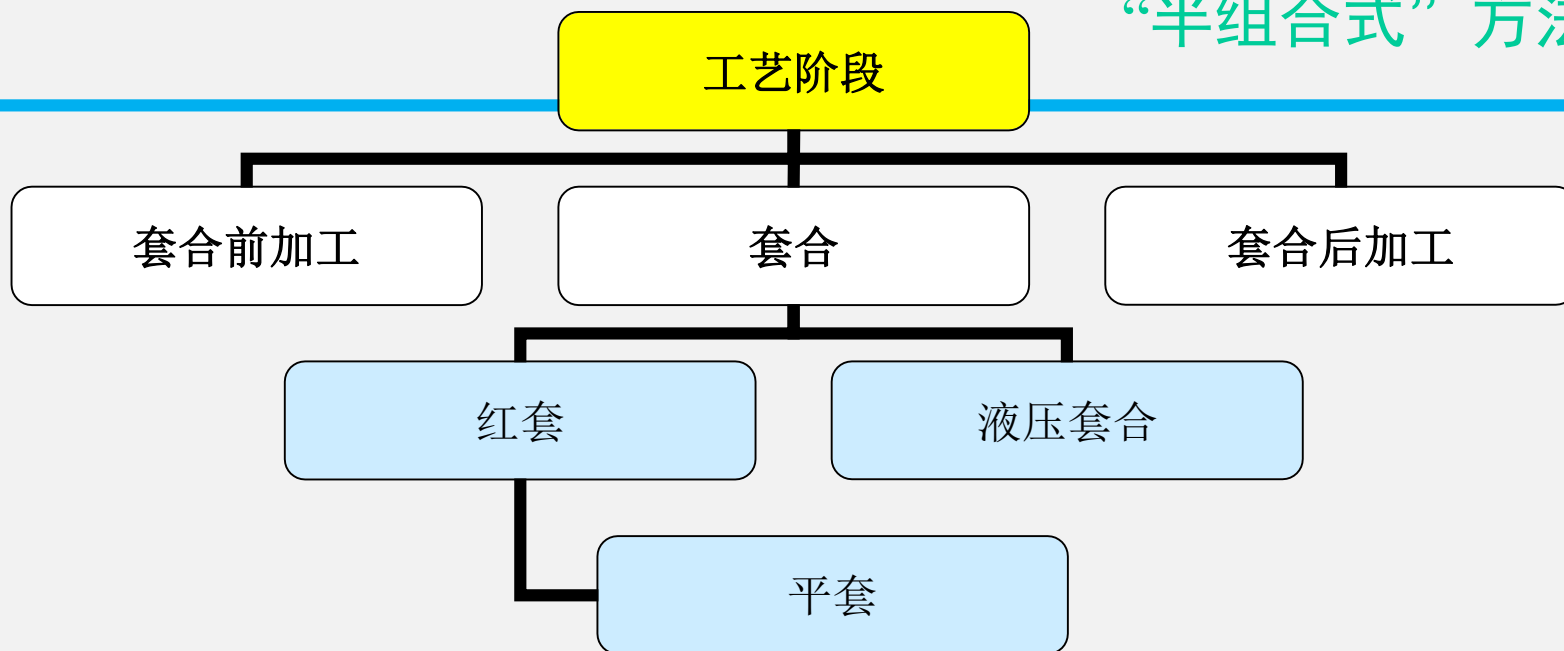
在曲轴铣床上对一个曲柄销的加工过程

三、组合式曲轴的加工

1. 种类

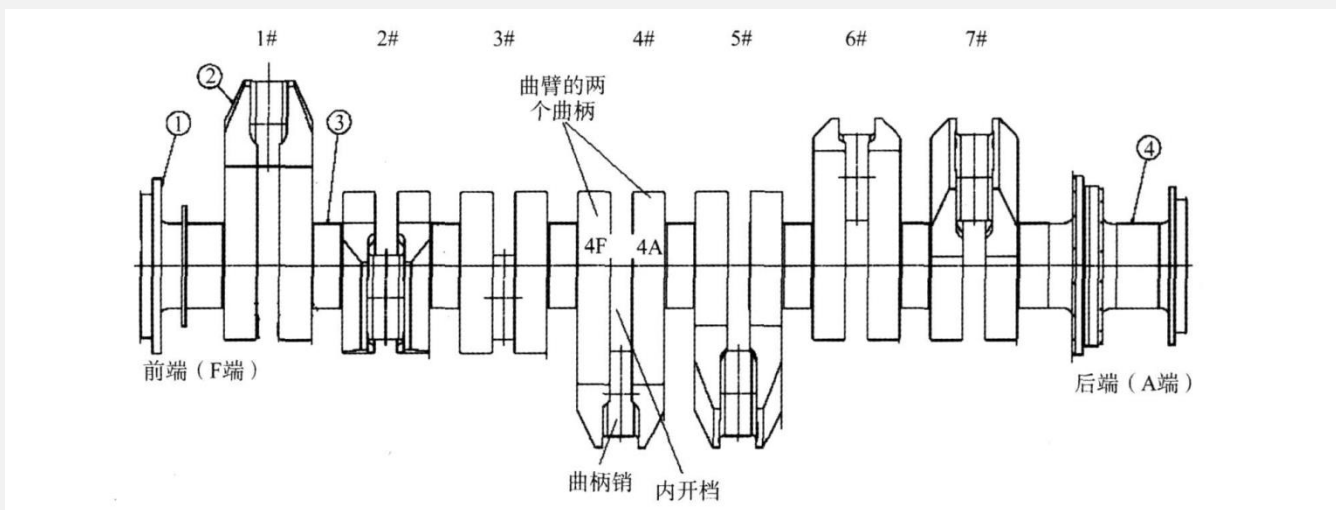


“半组合式”方法



2. 精度要求

- ① 轴颈及曲柄销表面粗糙度为 $Ra=0.04\mu m$ ，圆度为 $0.03mm$ ；
- ② 主轴颈对曲轴轴线的跳动为 $0.04mm$ ；
- ③ 主轴颈中心线对曲轴中心平行度全长 $0.01/1000$ ，任意母线为 $0.06/1000$ ；
- ④ 曲柄销中心线对曲轴中心的平行度为 $0.15/1000$ ；
- ⑤ 曲轴各档最大甩档差小于 $0.02mm$ 。



曲轴型号为MAN7S60MC-C (上海船用曲轴有限公司)

3. 工艺过程

Table 1 Manufacturing sequence of built-up type crankshaft made of cast steel crank throw

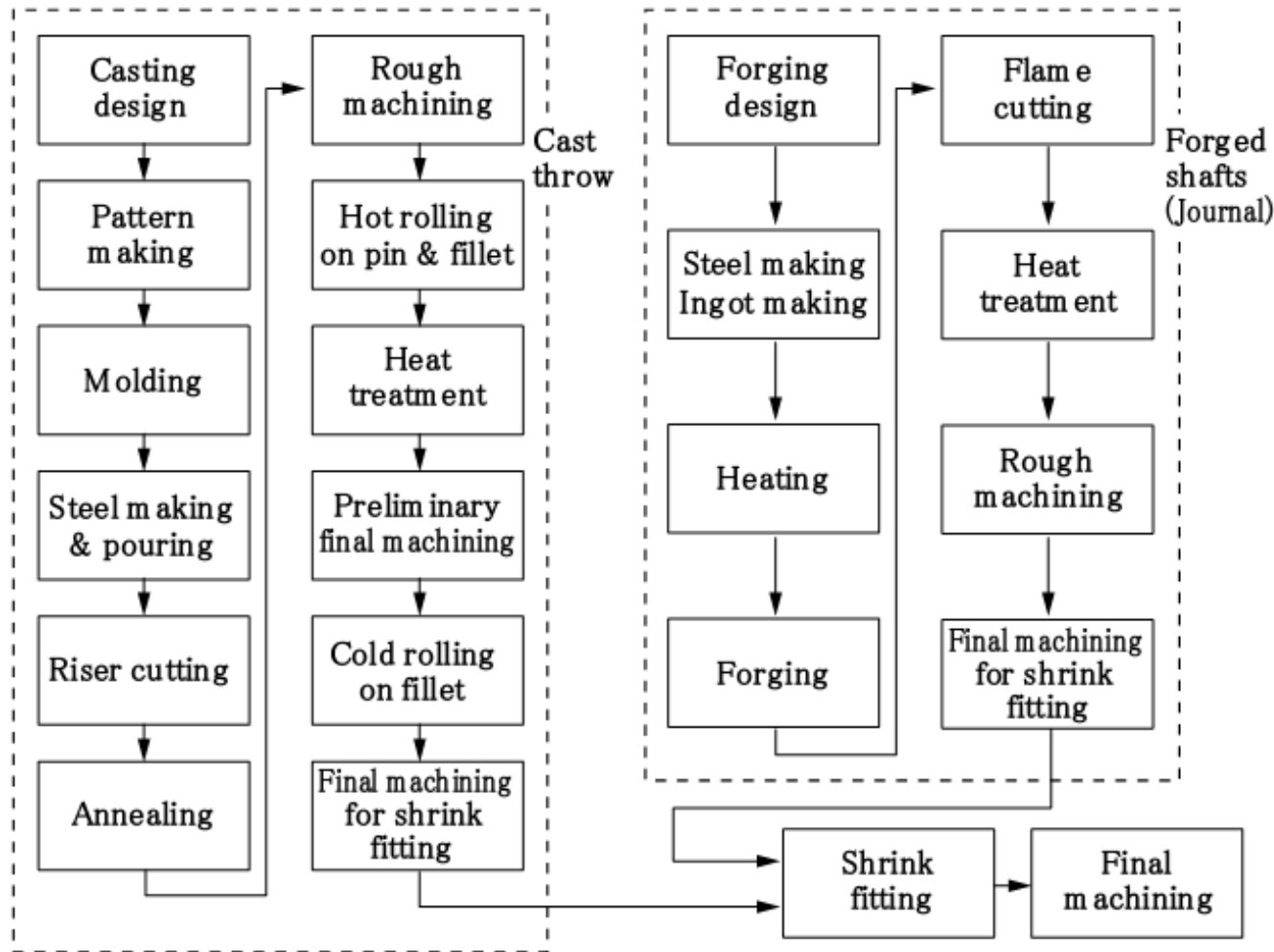


Table 1 shows a typical manufacturing process for a built-up type crankshaft with cast steel crank-throws. 典型加工设备包括：加热炉、热处理炉、自由锻压机、数控曲拐专用立车、数控曲轴车床、数控落地铣镗床、龙门铣床、各类重型卧式车床及红套装置等。

4. 曲臂锻造工艺

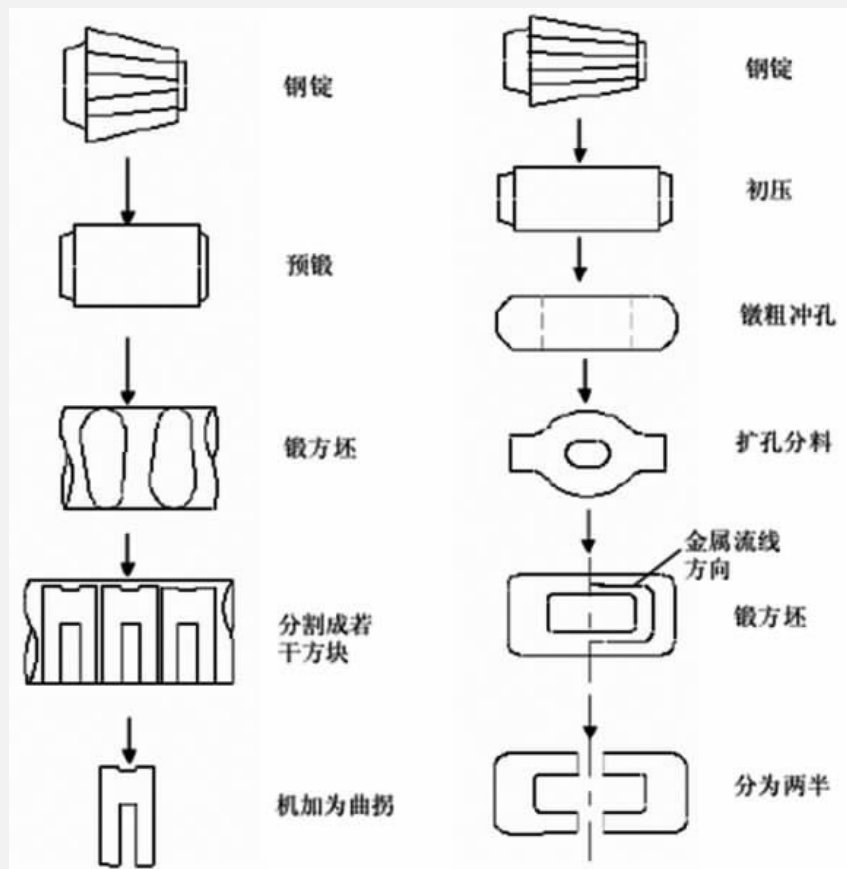


图1 块锻法

图2 环锻法

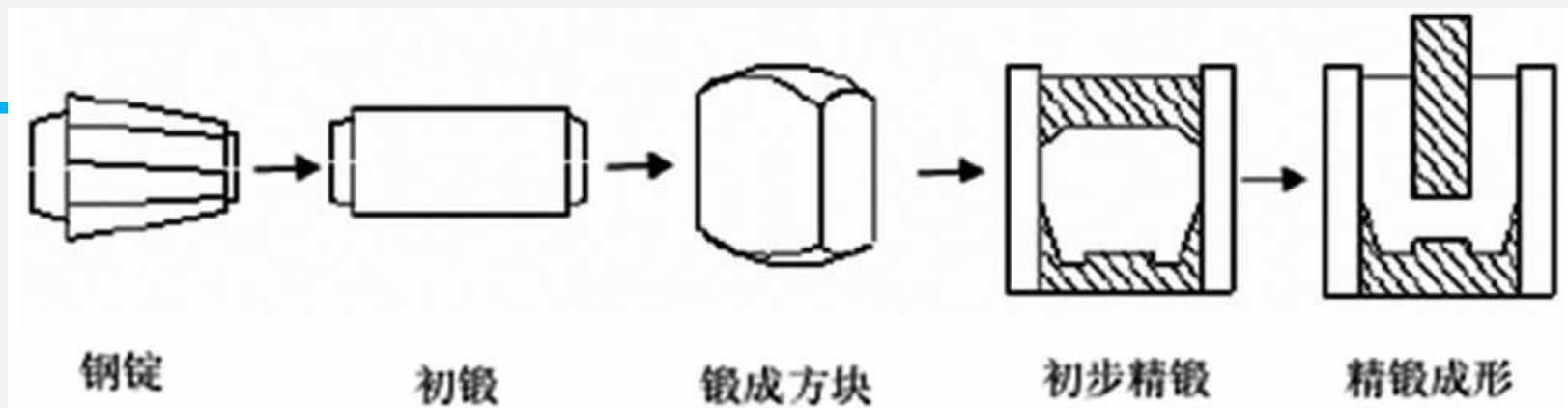
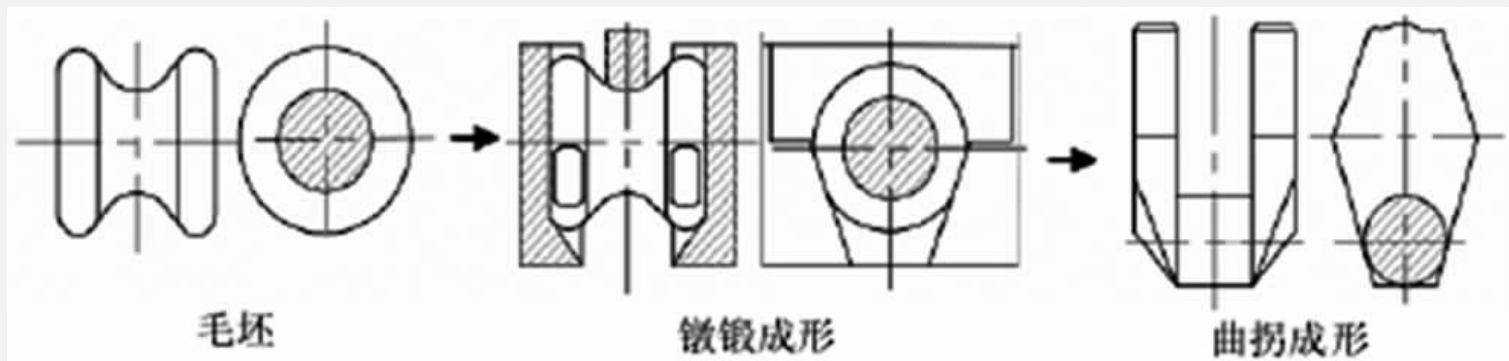
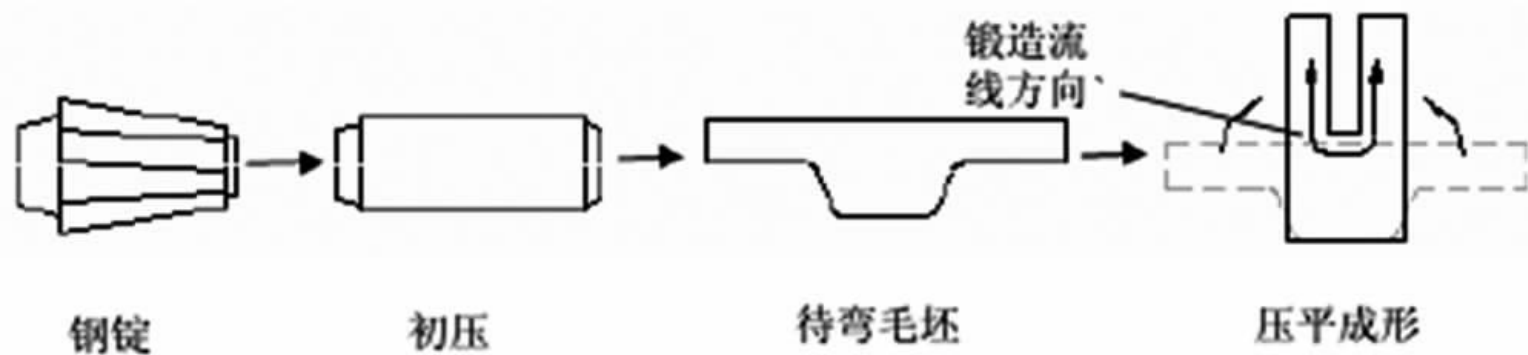


图3 模锻法



冷锻法



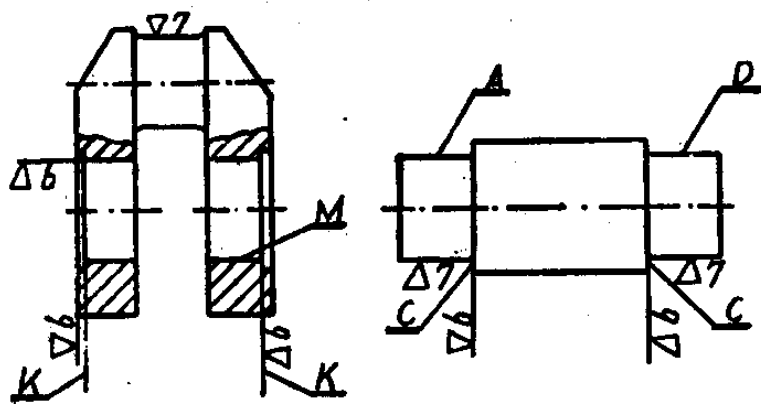
曲臂弯锻

5. 套合前曲轴各元件的机械加工

半组合曲轴的主轴颈、曲柄销、套合孔的圆度和圆柱度 (mm)

圆度、圆柱度公差 表面类别	轴 颈 直 径				
	~150	>150~250	>250~350	>350~500	>500
曲柄销、主轴颈A、D	0.005	0.0075	0.0125	0.015	0.02
套 合 孔 M	0.0075	0.01	0.015	0.02	0.025

过盈量一般在1.5 ~ 2.5 mm之间。



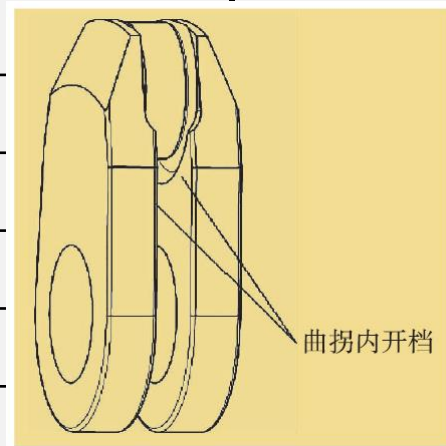
对曲柄和主轴颈的加工要求



*曲拐元件的机械加工工序

MAN B&W 5S60ME-C 曲轴曲拐零件

检验曲拐毛坯	
粗、半精车内开档平面	专用立车
车总厚上平面基准面	专用立车
精车内开档平面	专用立车
粗、精车曲柄销外圆	专用立车
粗、精车 R 凹槽	专用立车
划线	
加工外轮廓	镗铣床
加工曲拐一侧厚度、斜弧面符图	立车
加工曲拐另一侧厚度、斜弧面符图	立车
半精加工红套孔	立车
精加工红套孔	红套孔精加工专用机床
钳工修整	
探伤、检查	



*曲拐红套孔的半精加工

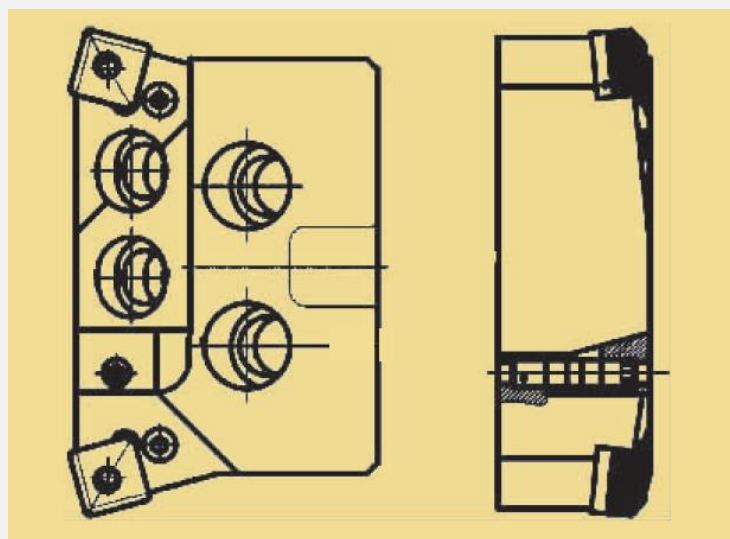
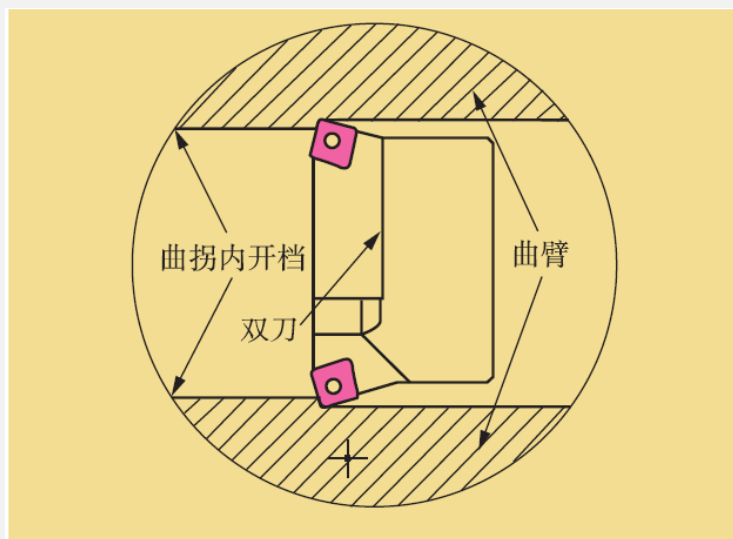
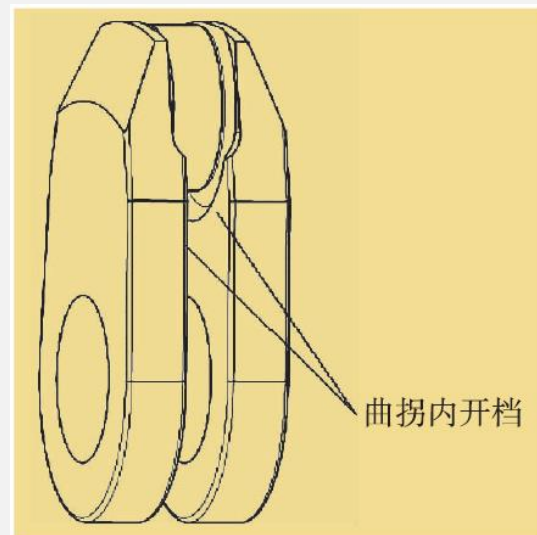
- 半精加工：双柱数控立车；精加工：精加工专用机床
- 半精加工后、红套孔直径余量 1 mm，即单边0.05mm。



曲拐零件红套孔加工

*内开档平面加工的改进和创新

- 曲拐内开档 “双刀” 刀具

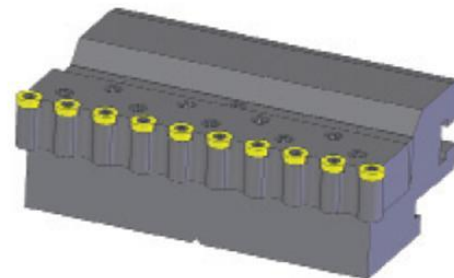


*曲柄销圆柱面加工的改进和创新

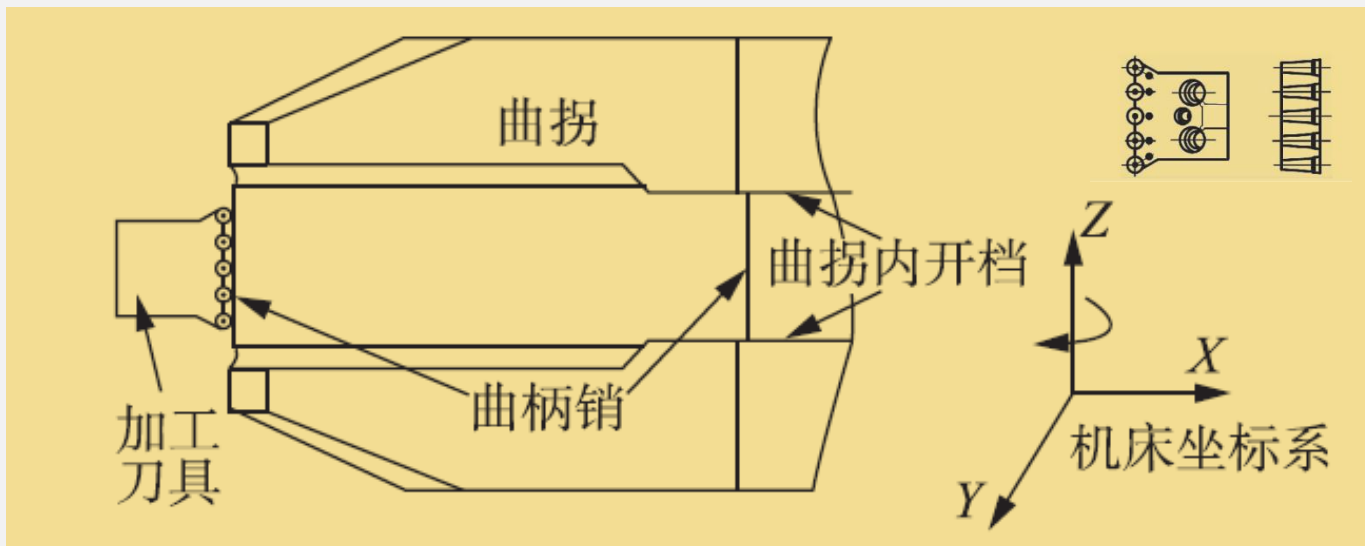
- 多刀片并行排列刀具



小刀座与刀体组合式排刀

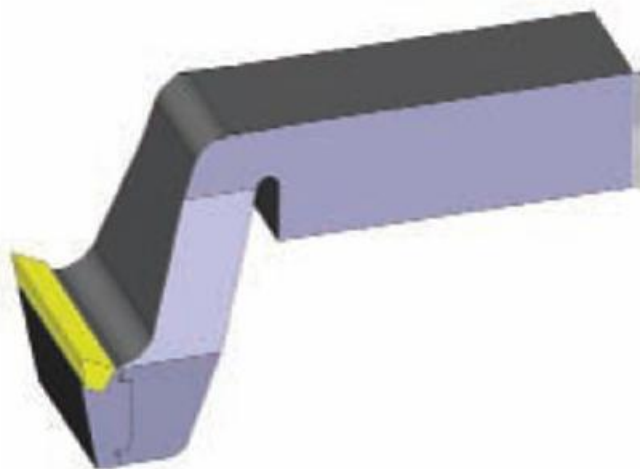


直压刀片一体式组合排刀

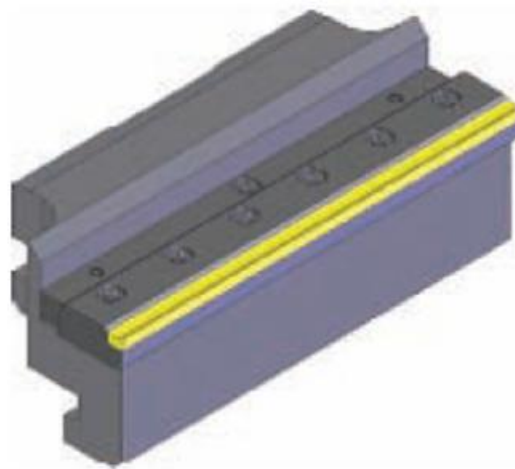


*宽刃刀具

- 对曲轴主轴颈和曲柄销进行精加工
- 是曲轴公司的 Know-how



焊接式切削弯刀



焊接一体式车刀

6. 曲轴红套

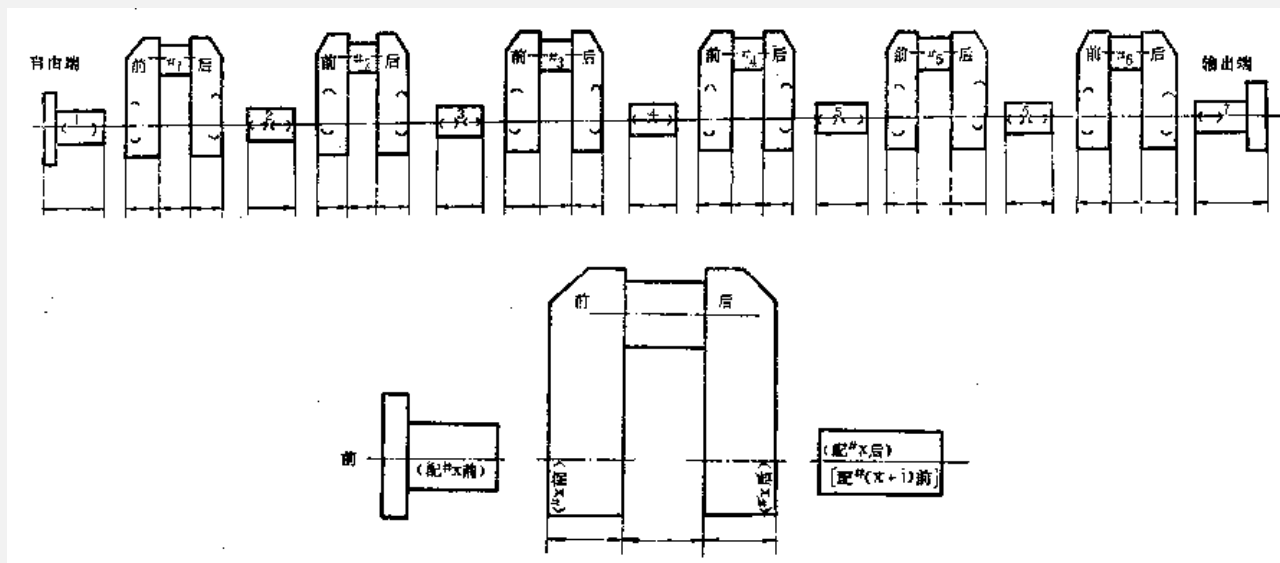
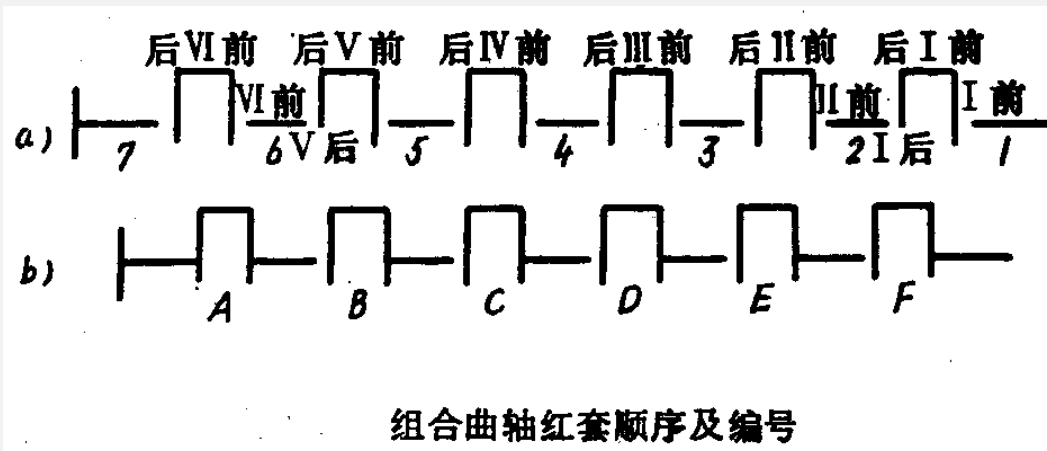
概念

红套是一种热过盈装配工艺，即通过加热包容体（常指孔）使之膨胀，尺寸变大，然后与被包容体（常指轴）进行安装的工艺过程。



曲轴红套前的准备

- ①探伤检验、编号
- ②划线；
- ③准备工具。



*加热的方法

加热方法主要有燃气加热和电磁感应加热两种。



中频电磁感应曲拐红套工艺
(上海船用曲轴有限公司, 2009)

曲柄单件套合（单套）

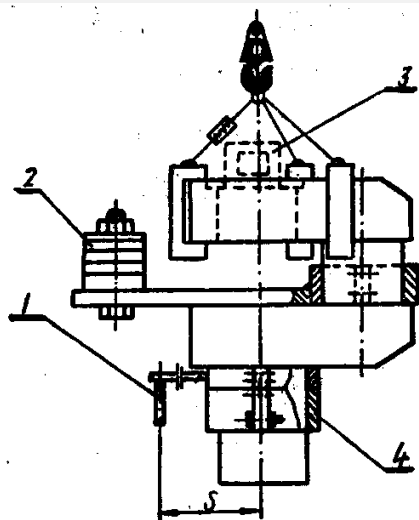
- 一个主轴颈套入第一个红套孔的红套过程。
- 单套后的曲臂和主轴颈则成为一个曲臂轴颈组合(简称为曲臂组合)。



曲轴的红套

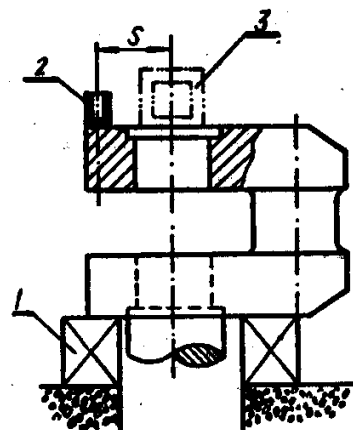
竖套原理

若曲臂红套孔为4A孔, 则与之相对应的轴颈称为4a。



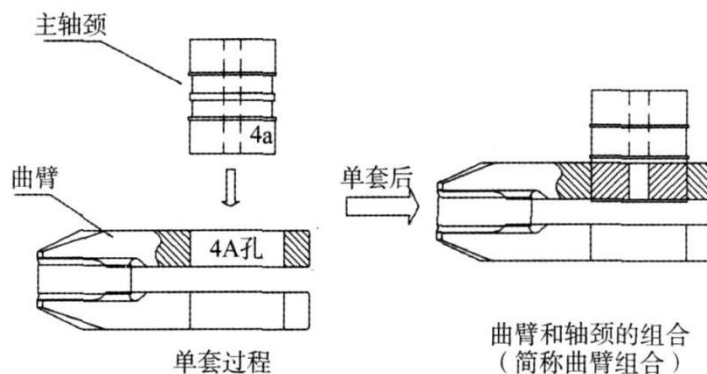
曲轴红套时曲柄组件吊运情况

1-角度定位器；2-平衡重；3-水平仪；4-轴向定位器



曲轴组件红套时放置情况

1-垫铁；2-角度定位座；3-水平仪



*平套法

- 1、红套前的准备工作
- 2、单个曲柄与主轴颈红套成曲柄组
- 3、各曲柄组红套成整根曲轴

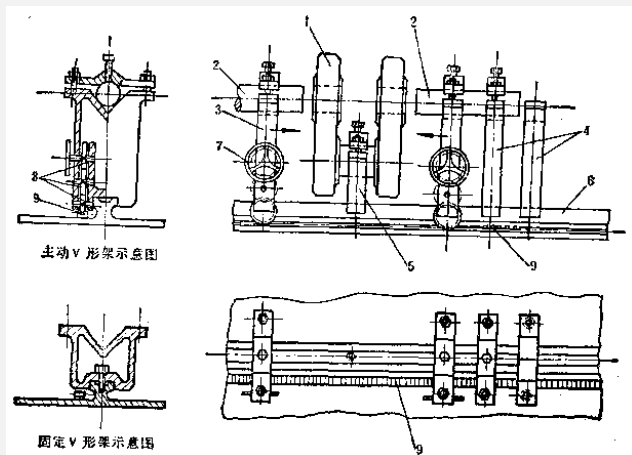
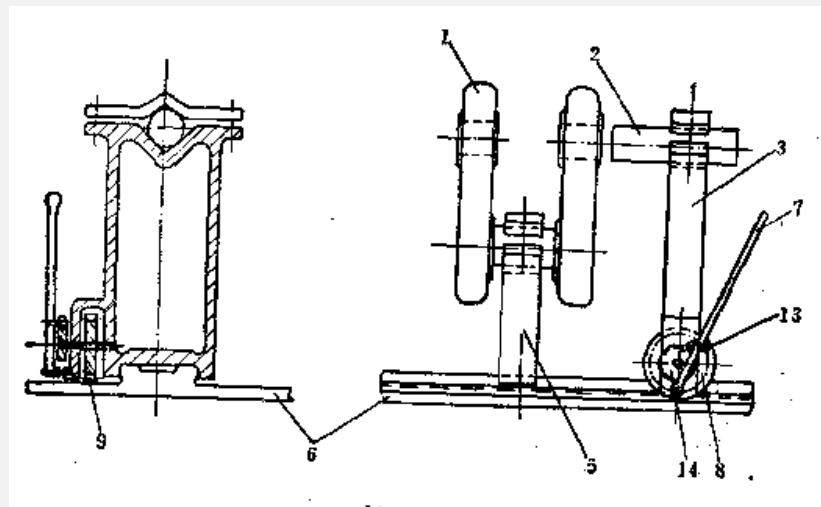
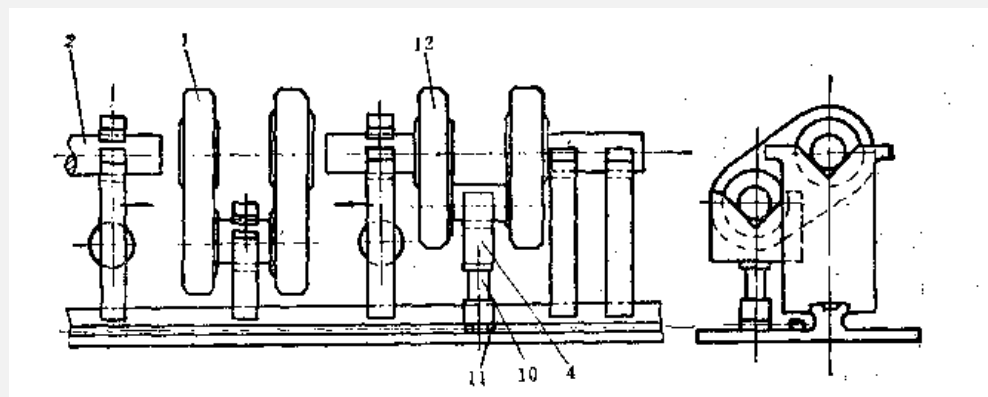


图 曲轴红套平套法示意图
(a)用手轮式主动V形架的单曲轴红套；(b)用手柄式主动V形架的单曲轴红套；(c)各曲柄组红套成整根曲轴



1—曲柄；2—主轴颈；3—主动V形架；4—从动V形架；5—固定V形架；6—底座；7—手轮或手柄；8—齿轮组；9—齿条；10—千斤顶；11—滚轮；12—曲柄组；13—爪；14—棘轮



*液压套合法

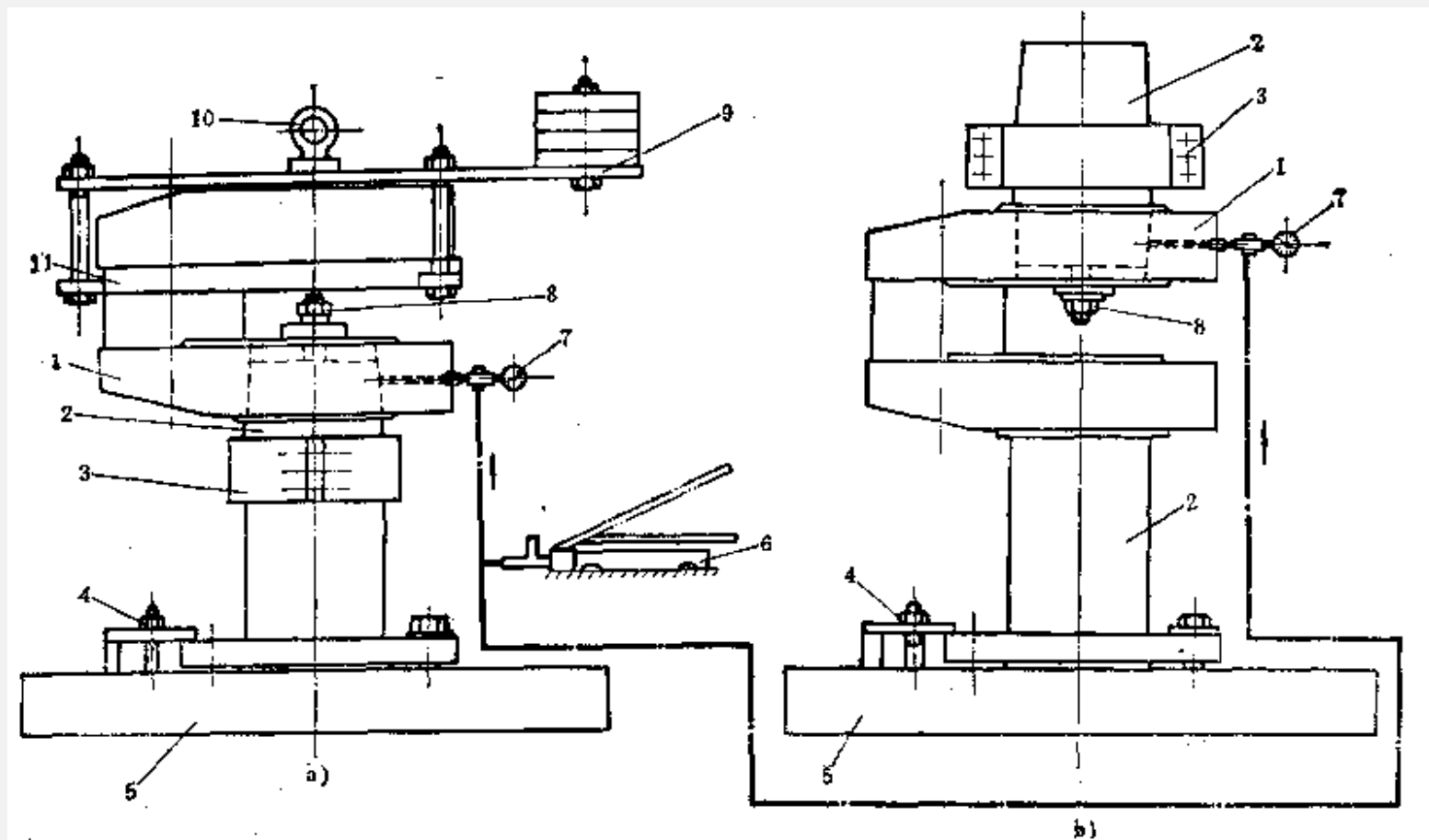


图 曲轴液压套合示意图

(a)曲柄套在主轴颈上示意图；(b)主轴颈套在曲柄上示意图。

1—曲柄；2—主轴颈；3—轴向定位箍；4—固定螺栓组；5—平板；6—手动高压油泵；
7—高压压力表；8—拉紧螺栓组；9—平衡工具；10—吊环；11—吊箍

组件套成整根曲轴（复套）

一个曲臂组合的主轴颈套入另一个曲臂的红套孔的过程。



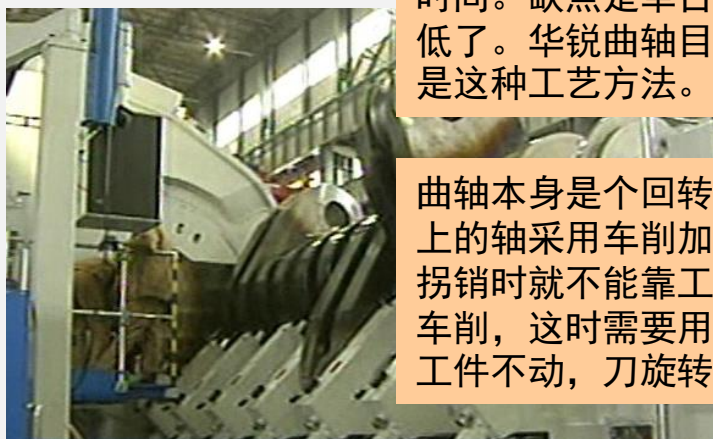
7. 组合曲轴套合后的加工-车

曲轴的加工工艺有两种工艺方法：一种是分开加工，车床加工是一个工序，曲拐销的加工是另外一个单独工序，这种工艺方法以日本和捷克为代表，是一种传统加工方式。



- 带回转中心架的专用曲轴机床
- 一次装卡加工
- 梳式车刀粗加工
- 宽车刀精加工
- 刀旋转切削曲拐销

另一种加工方式以韩国为代表，就是在一台机床上一次装卡完成全部加工，减少了装卡的次数和时间。缺点是单台机床的效率降低了。华锐曲轴目前采取的方式是这种工艺方法。



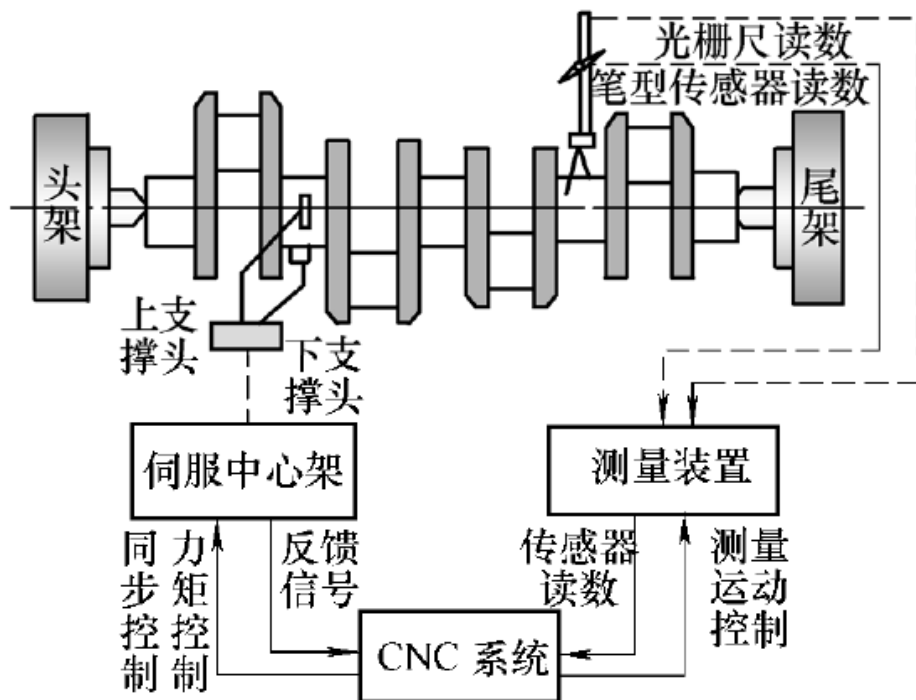
曲轴本身是个回转体，加工轴线上的轴采用车削加工，而加工曲拐销时就不能靠工件的旋转进行车削，这时需要用刀将工件含住，工件不动，刀旋转切削（??）

车床上加工



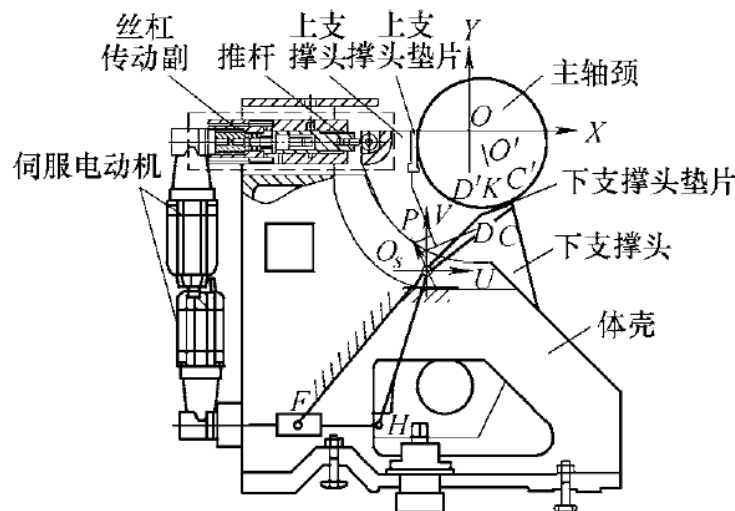
余云岚，张坚（上海船用曲轴有限公司）.我国船用低速大功率柴油机曲轴制造技术的发展.上海造船 2009 年第4 期（总第80 期）：38-41.

*曲轴变形在线测量与校调系统

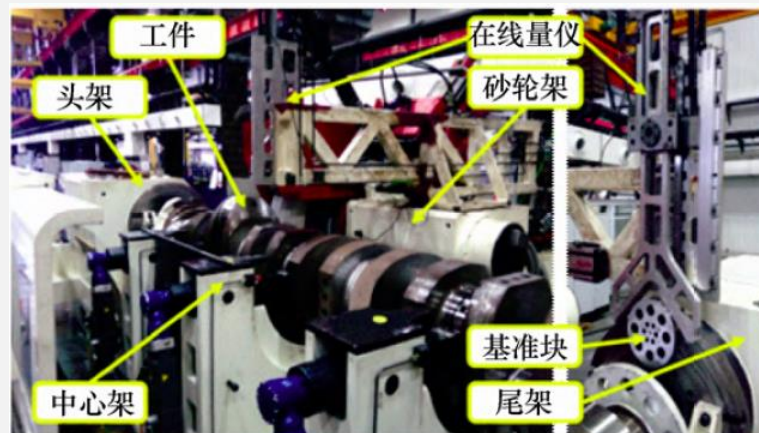


曲轴变形在机测量与校调系统

主要包括带有V形块的高度尺、笔型位移传感器、光栅尺和气缸等部分。

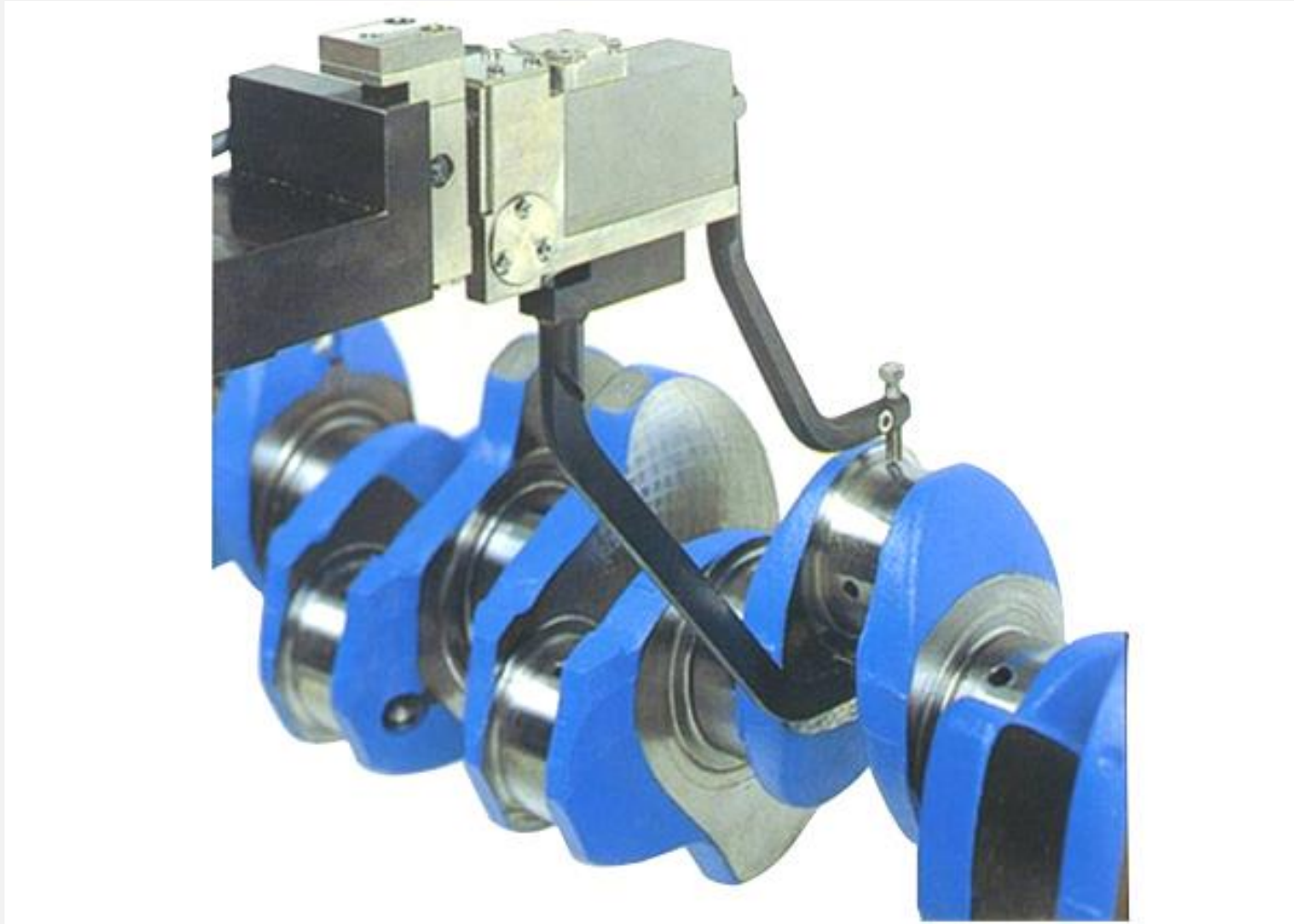


伺服中心架结构



大型数控曲轴磨床

*曲轴主动测量- 磨削



8. 加工后的探伤



荧光磁粉探伤机

4、曲轴的检验

Inspection of
crankshaft

问题：曲轴成品检验有哪些主要项目？如何检验（画简图说明）？

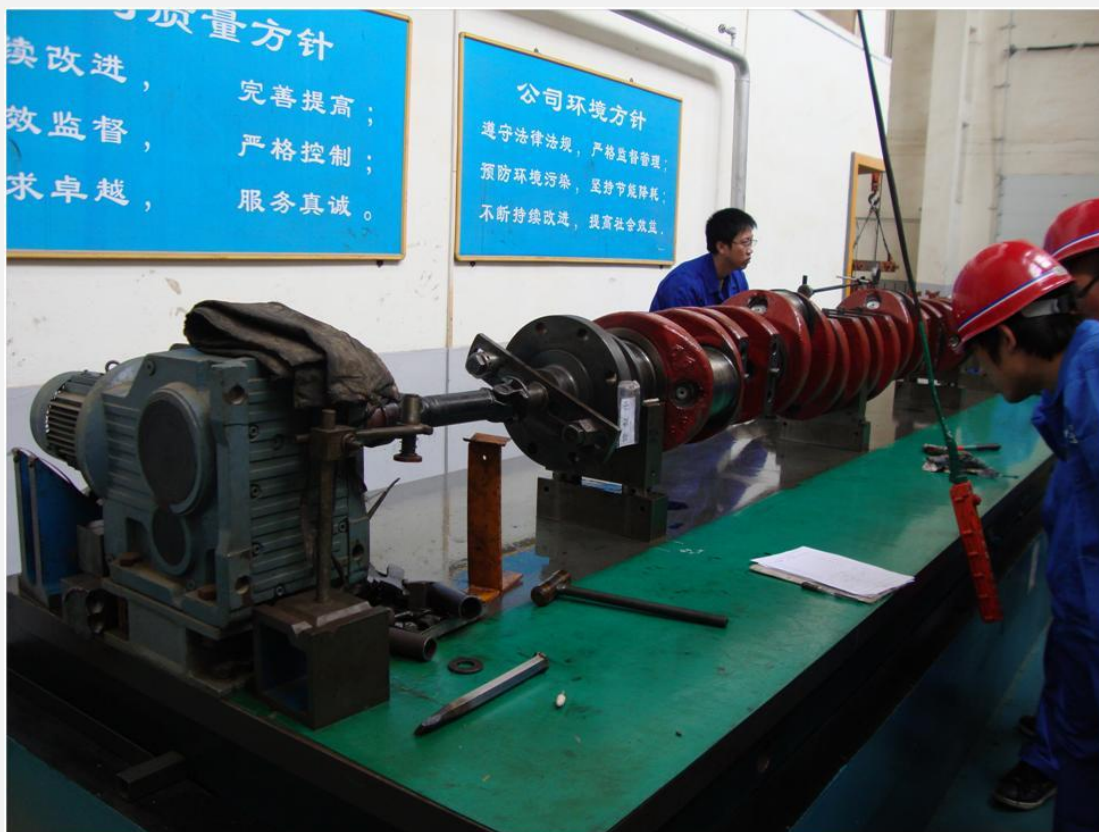


图 测量平台

1. 轴颈直径、圆度和圆柱度检验

轴颈直径:通常是用**外径测量卡尺**测量。

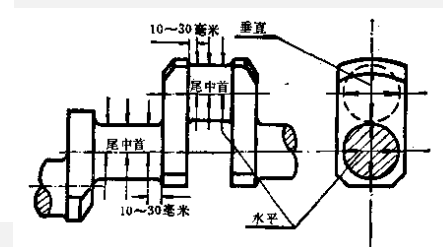
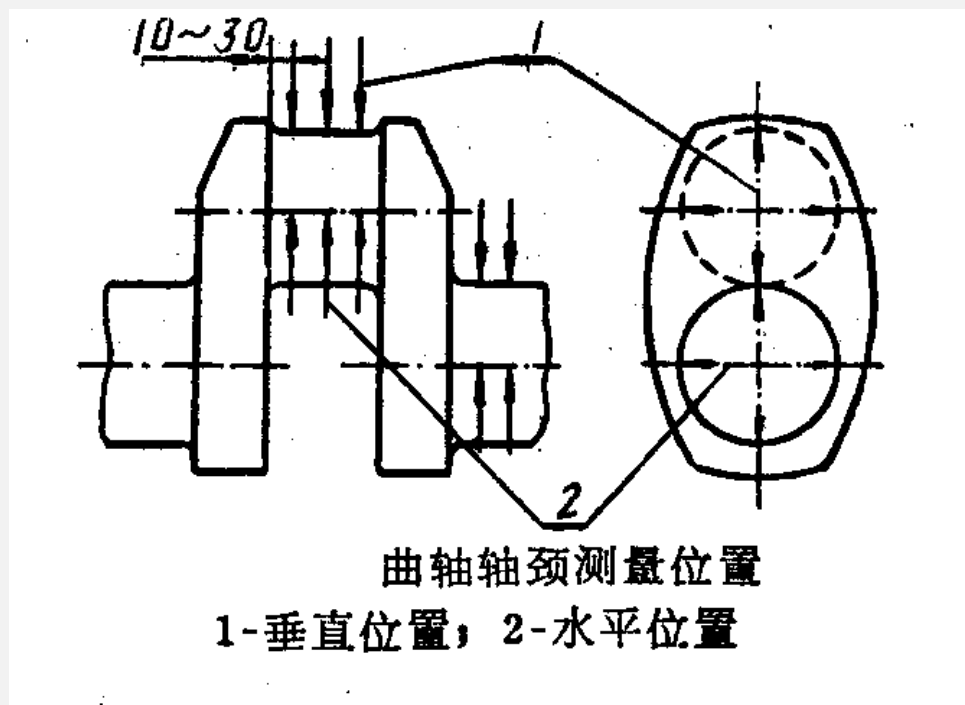


图 轴颈测量位置

*实例：曲轴直径测量方法

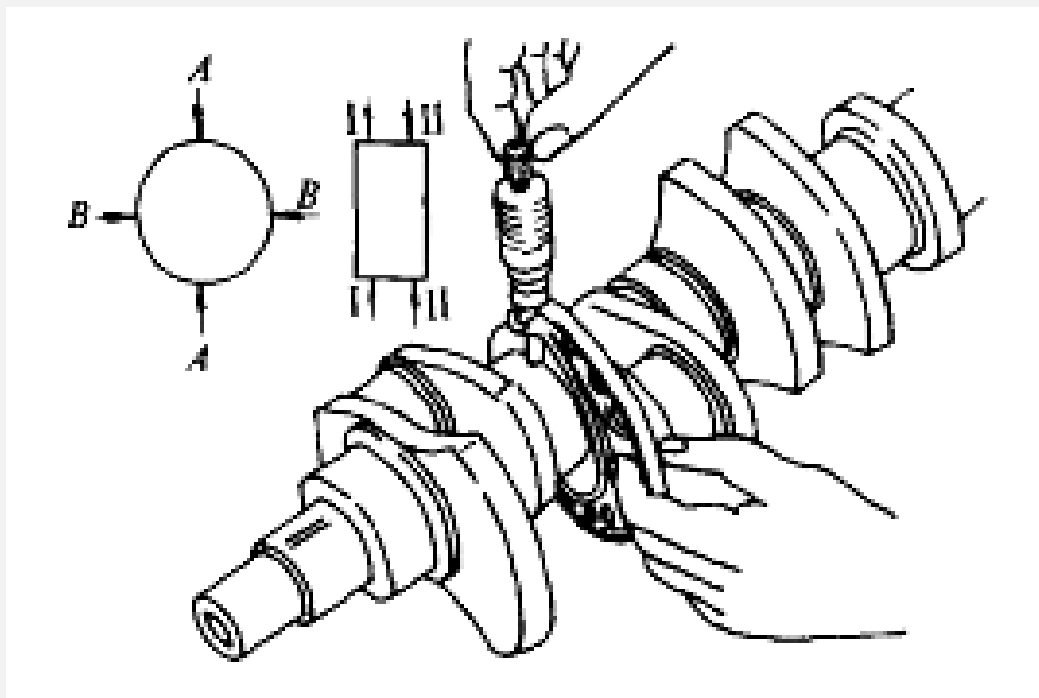
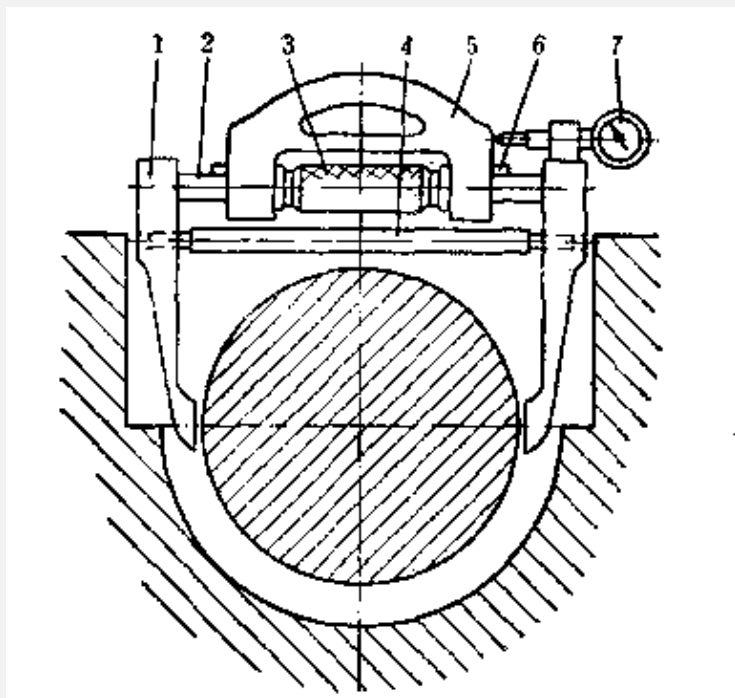


图 用手提式外径测量卡测量主轴颈

1—测量杆；2—螺柱；3—手旋螺母；4—导向杆；5—手提框架；6—键；
7—百分表。

*实例：曲轴直径测量方法

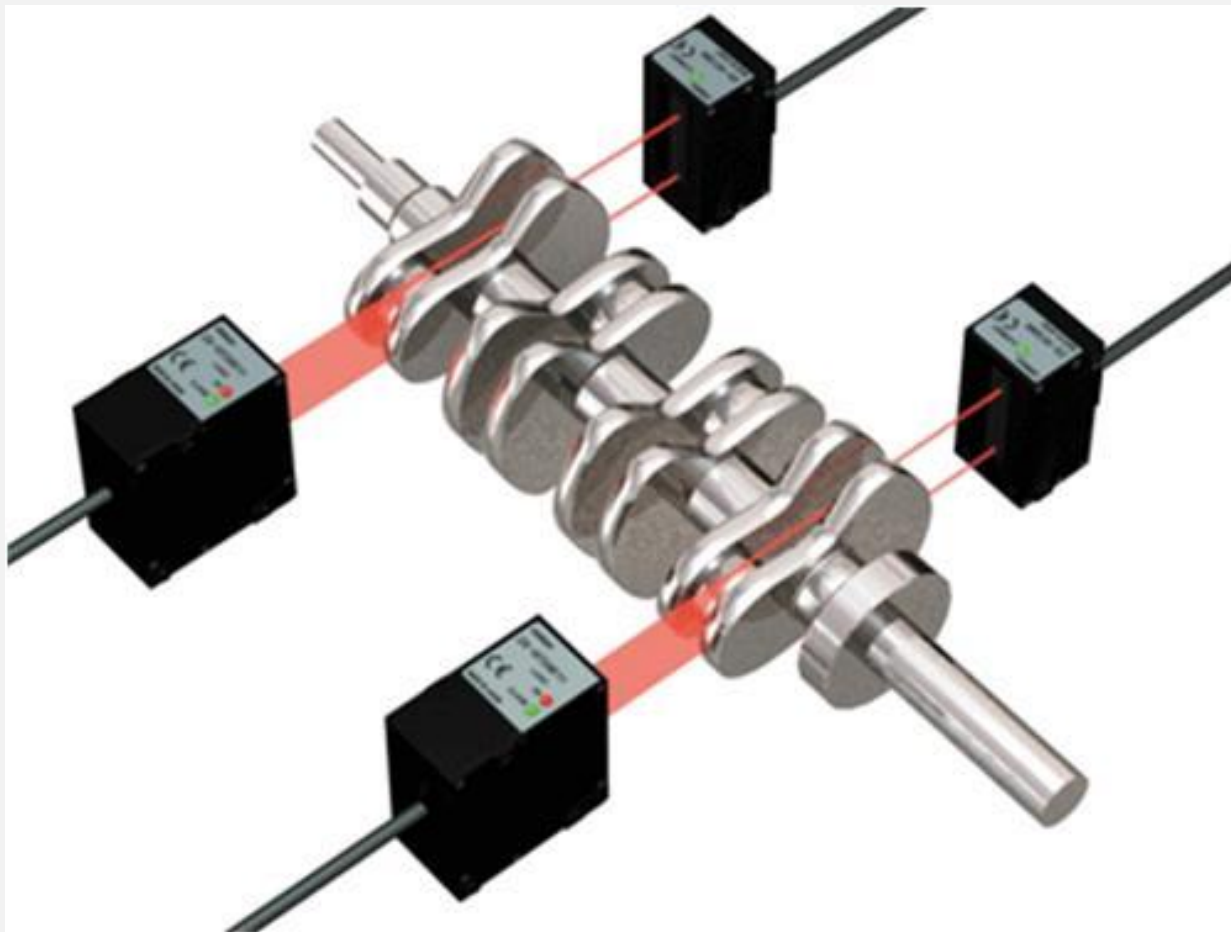


图 曲轴直径激光测量

2. 主轴颈与曲柄销轴线距检验

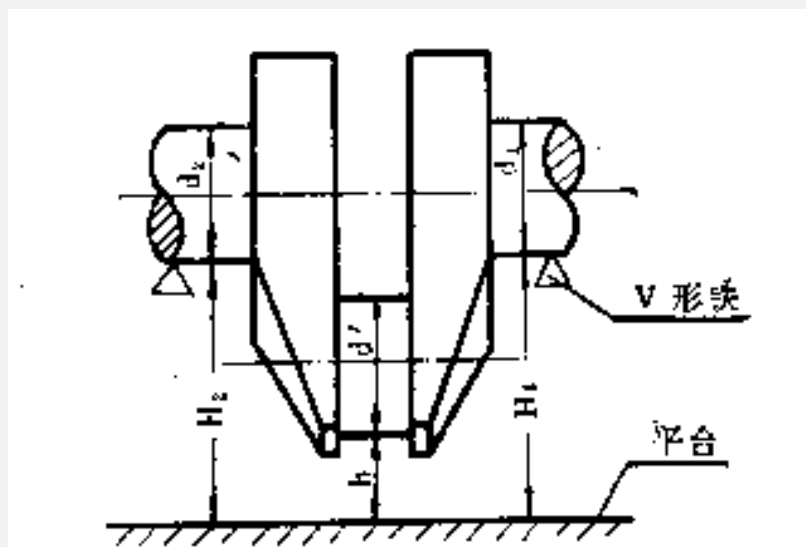


图 主轴颈与曲柄销轴线距检验

$$\frac{S}{2} = \frac{(H_1 + d_1/2) + (H_1 + d_2/2)}{2} - (h + d'/2)$$

式中： S ——活塞行程。

3. 曲柄销轴线与主轴颈轴线平行度检验

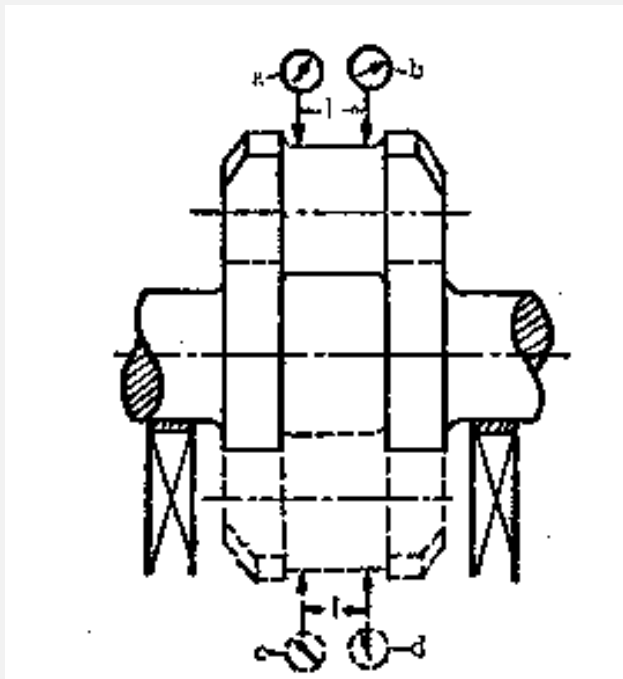


图 曲柄销与主轴颈平行度误差检验

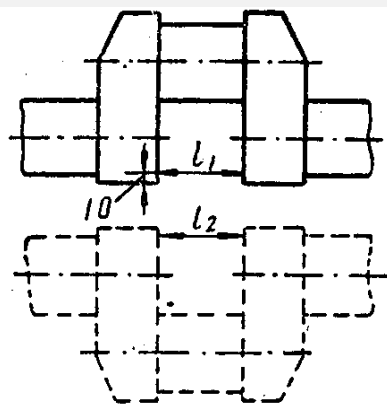
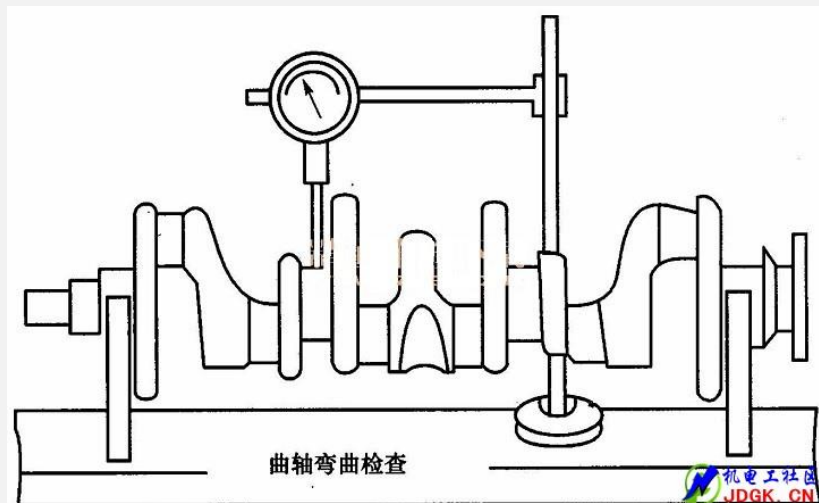
$$\delta = \frac{(a - b) + (c - d)}{2l}$$

式中： δ ——曲柄销轴线与主轴颈轴线不平行度。

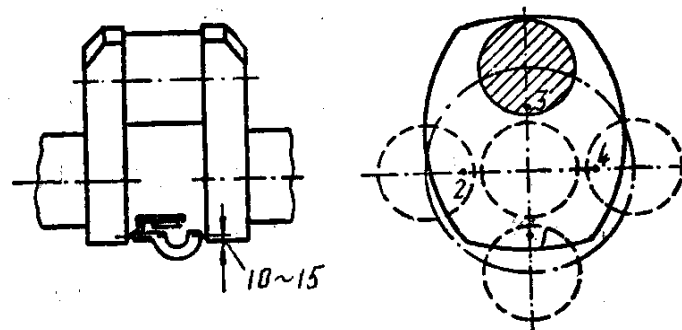
*实例：曲柄销与主轴平行度测量方法



4. 曲柄销轴线直线度检验

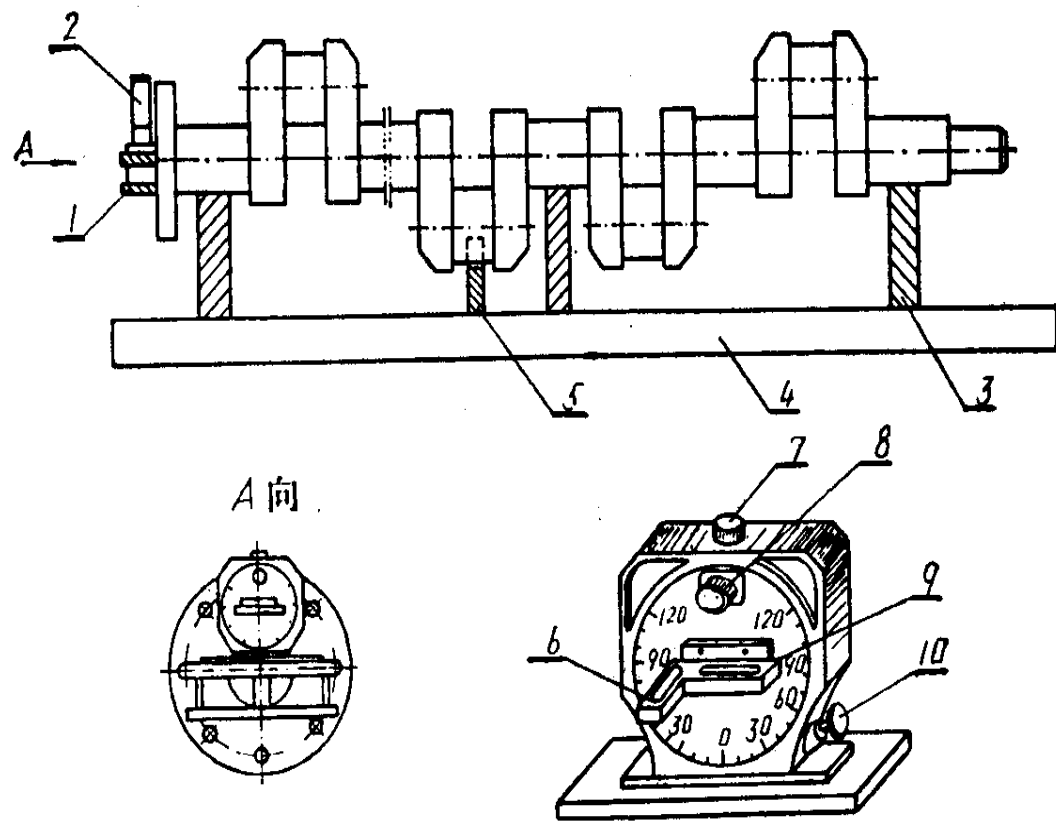


曲轴臂距差的测定



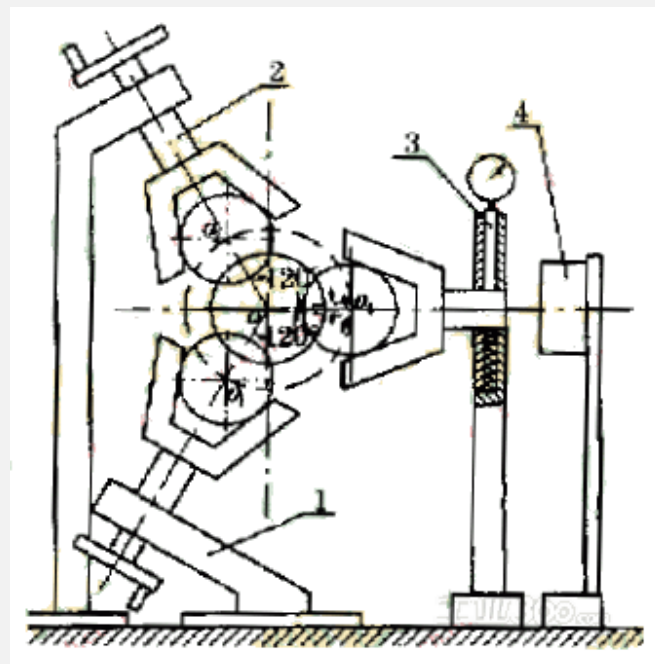
臂距差测量位置

5. 曲柄夹角的检验



用光学象限仪检查曲柄夹角

1-平板；2-光学象限仪；3-托架；4-平台；5-V形块；6-旁向水准仪；7-止动螺钉；8-观察目镜；9-水准器；10-微调螺钉



6. 曲轴磁粉探伤检验



CDG-4000型曲轴专用磁粉探伤机

7. 平衡检验

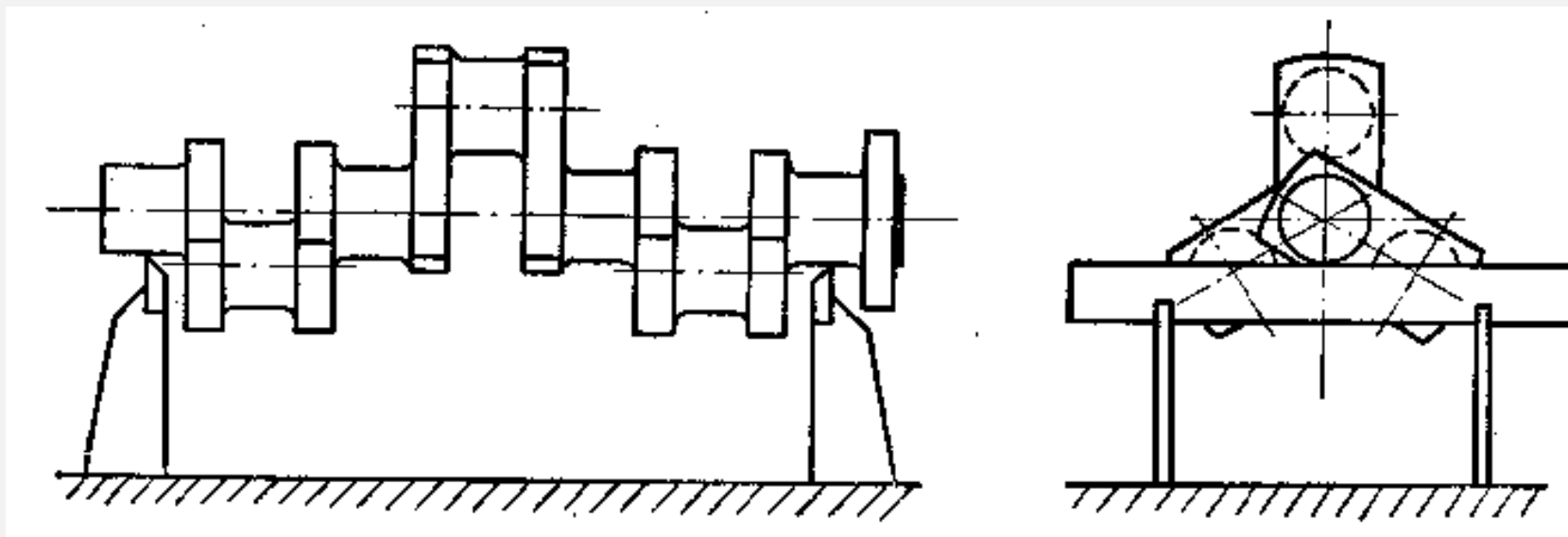
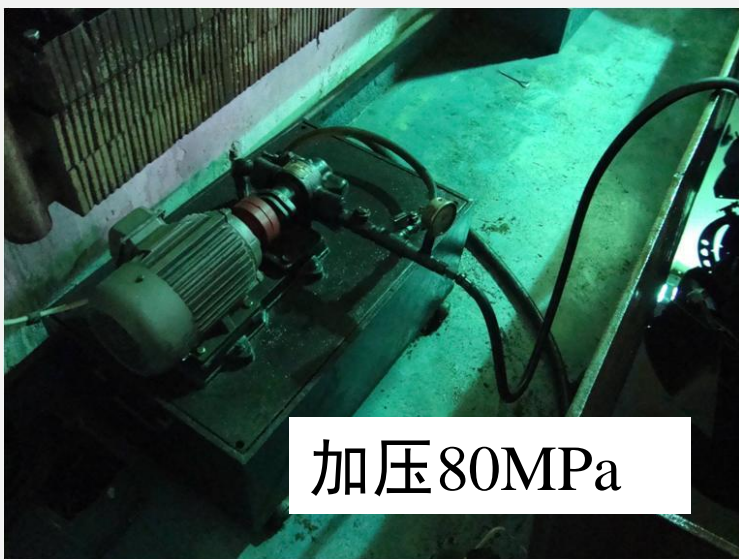
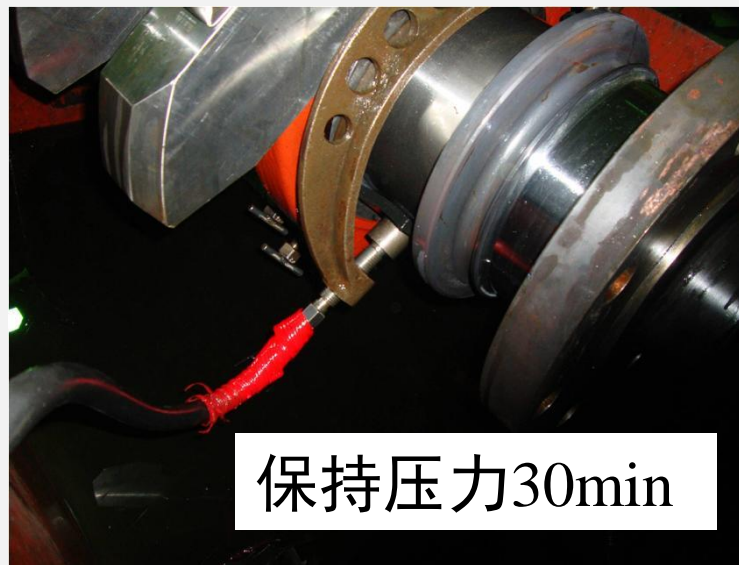


图 中小型曲轴静平衡检验方法

8. 油路密封性检验



加压80MPa



保持压力30min

*检验报告样式

文件编号: DS-Q/ER-E-07/07-8

曲轴成品形位尺寸检验记录

机型: STC-184 原轴号: 99-40 工程号: 100201

轴号	方向	主轴承直径 mm		曲柄颈直径 mm		主轴承 跳动量 mm
		1	2	1	2	
1	T&B					0.01
	P&S					
2	T&B					0.02
	P&S					
3	T&B					0.03
	P&S					
4	T&B					0.04
	P&S					
5	T&B					0.05
	P&S					
6	T&B					0.04
	P&S					
7	T&B					0.03
	P&S					
8	T&B					0.02
	P&S					
9	T&B					0.01
	P&S					
10	T&B					
	P&S					
11	T&B					
	P&S					

曲轴法兰径向跳动与端面跳动							
法兰名称	输出端法兰			自由端法兰			齿轮安装 外圆
	径向	端面	止口	径向	端面	止口	
跳动量	0.03			0.03			

曲柄颈与主轴承轴线平行度										
轴颈号		1	2	3	4	5	6	7	8	9
位置	上死点 0°	0	0	0	0	0	0	0	0	
	90°	0	+0.015	0	+0.01	0	0	-0.015	0	
		0	0	0	0	0	0	0	0	

曲柄臂距差									
位置	上死点 0°								
	水平 90°								
	下死点 180°								
	水平 270°								

备注:

检查员: (签字): 日期: 年 月 日

*参考文献

- 曹惠芬（中国船舶工业经济研究中心）.我国船用中低速机曲轴市场格局.中国船检, 2013.6: 55-56
- 余云岚, 张坚（上海船用曲轴有限公司）.我国船用低速大功率柴油机曲轴制造技术的发展.上海造船 2009 年第4 期（总第80 期）：38-41.
- 马志鸿, 余云岚(上海船用曲轴有限公司).半组合式船用低速柴油机曲轴红套研究.柴油机. Vol.32(2010)No.5: 37-41.
- 张学忠, 何文武, 刘建生, 等.大型曲轴弯曲锻造技术的研究[J].机械工程与自化, 2008（6）：198-200.
- 张文平, 周倩.船用曲轴的制造工艺现状介绍.科技创新与应用2016年第6期：88-89.
- 宗亮亮, 周焕军, 郭井宽.大功率低速船用半组合式曲轴曲拐零件加工技术研究及创新.上海电气技术. 2013（6）, 6（2）：33-37.
- 李 静, 沈南燕, 方明伦, 汪学栋, 钱 翔(上海大学上海市智能制造及机器人重点实验室; 上海机床厂有限公司).随动磨削中船用曲轴自动校直系统研究.机械工程学报.Vol.51 No.23, Dec. 2015: 196-204.
- 周焕军,郭井宽(上海船用曲轴有限公司).大型船用低速柴油机半组合式曲轴制造技术综述.上海电机学院学报.vol. 16,No.1/2.2013: 94-99.
- 赵宏杰(中冶南方工程技术有限公司).大型船用组合式曲轴生产规划设计研究.科技视界.80-81
- 赵威(十堰天舒机电科技有限公司).感应加热在船用曲轴制造中的应用.金属加工, 2012年 第19期: 41-42.
- 潘小娟（山西太钢不锈钢股份有限公司）.浅析船用曲轴42CrMoA 的冶金质量要求及控制.《热加工工艺》2014 年8 月第43 卷第16 期：94-95,101.

复习思考题（典型零件）

•目前活塞生产厂大多采用止口和端面，采用下端面和止口作定位基准的缺点有哪些？

典型的活塞加工加工阶段组成包括哪些？

在活塞粗加工中，比较重要的工序是止口的加工。可以采用哪些表面作为粗基准，分析其优劣。

采用金属硬模浇铸时，活塞外圆表面的粗加工以内表面作为定位基准，进行外圆表面加工。有时，也可用活塞外圆表面定位，在两次安装中粗车外圆，但用该法加工易造成什么问题？

活塞是一个薄壁零件，尺寸精度和位置精度的要求都很高，因此希望以一个统一基面定位来加工这些要求高的表面，此时可以依据什么原则确定加工基准？

实际活塞外圆表面头部常做成锥形，能实现头部锥度加工的方法有哪些？

精镗活塞销孔时，一般采用以头部端面和外圆作为定位基准，这种定位方式可以满足什么原则？活塞销孔精镗加工的定位基准为以下端面和止口定位及粗镗后的销孔，这种定位方式可以满足什么原则？

活塞头部燃烧室面一般为成形表面，能实现燃烧室面加工的方法有哪些？

请介绍活塞销孔、外圆及环槽、顶部燃烧室加工的定位方案，并绘制夹具定位简图。

连杆加工可以分为哪些加工阶段？

常用作连杆的材料有哪几种？

具有工字形截面的杆身工字形凹槽是通过什么方法加工的？

大、中型柴油机的连杆毛坯一般采用什么方法制造的？

请介绍连杆加工中，加工连杆大端和小端孔时，一般如何选择定位基准，确定定位方案，说明定位元件限制的自由度数目的方向，并绘制夹具定位简图。

曲轴加工可以分为哪些加工阶段？

画图并说明在定位加工主要表面时，曲轴的定位和夹紧方案。



中国制造2025

谢谢!

Made in China

