

锻 工 手 册

第 四 分 册

自 由 锻 造

锻 工 手 册 编 写 组 编

机 械 工 业 出 版 社

锻 工 手 册

第 四 分 册

自 由 锻 造

锻 工 手 册 编 写 组 编



机 械 工 业 出 版 社

锻工手册共分十篇。第一篇，锻造用原材料及其准备；第二篇，金属加热及其设备；第三篇，锻压设备；第四篇，自由锻造；第五篇，胎模锻、锤上模锻和高速锤上模锻；第六篇，各种压力机上模锻；第七篇，辊轧与旋转锻造；第八篇，锻件精整和热处理；第九篇，锻模的使用与制造要求；第十篇，锻工车间机械化装置与锻工安全技术。前五篇为上册，后五篇为下册，同时按篇出分册。

本分册为第四篇，内容包括金属锻造成形的基本知识、锤上自由锻及手工锻造、水压机上自由锻以及合金钢锻造与有色金属锻造特点。绝大部分内容反映了我国的实际生产经验，对于镁、钛及高温合金方面则介绍了一些国外的数据。

本手册供从事锻压生产方面的工人和技术人员使用，也可供锻压专业教学及科研人员参考。

本分册是由第一重型机器制造厂、齐齐哈尔钢厂、哈尔滨船舶修造厂、哈尔滨第一工具厂、上海工具厂、哈尔滨量具刃具厂、第一汽车制造厂工具分厂、哈尔滨电表仪器厂、哈尔滨汽轮机厂、哈尔滨锅炉厂、哈尔滨铝加工厂、东北重型机械学院、哈尔滨工业大学、上海交通大学等单位共同编写的。

锻 工 手 册

第 四 分 册

自 由 锻 造

锻 工 手 册 编 写 组 编

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ · 印张 $13^{10}/_{16}$ · 字数 344 千字
1974年11月北京第一版·1974年11月北京第一次印刷

印数 00,001—52,500 · 定价 1.10 元

*

统一书号：15033·4232

前 言

在毛主席无产阶级革命路线指引下，我国锻造行业的广大工人、科技人员和干部，坚决贯彻执行党的“鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义”总路线，开展了轰轰烈烈的技术革新、技术革命的群众运动，促进了锻造生产技术的迅速发展。

为了总结交流经验，普及和提高锻造技术，我们根据锻造行业同志们要求，组织编写了这本手册。

在手册中着重反映了我国锻造生产方面的经验，同时根据“洋为中用”的精神，也参考和吸收了部分国外资料。

本手册的读者对象，主要是锻造行业的生产工人和技术人员，也可供教学及科研人员参考。为了方便读者，既出分册又出合订本。

本手册由哈尔滨市科技局领导下的锻压技术交流三结合小组和哈尔滨工业大学锻压教研室主编。参加编写工作的单位主要有：洛阳东方红拖拉机厂、第一汽车制造厂、哈尔滨第一机器制造厂、哈尔滨林业机械厂、第一重型机器制造厂、齐齐哈尔钢厂、哈尔滨船舶修造厂、松江拖拉机厂、第二汽车制造厂、东安机械厂、伟建机器制造厂、哈尔滨铝加工厂、哈尔滨量具刃具厂、哈尔滨第一工具厂、上海工具厂、哈尔滨电表仪器厂、北京锅炉厂、哈尔滨汽轮机厂、哈尔滨锅炉厂、哈尔滨机车车辆厂、北京第一机床厂、一机部洛阳设计院、一机部天津设计院、济南铸锻机械研究所、东北重型机械学院、山东工学院、广东工学院、西北工业大学、上海交通大学、西安交通大学、北京工业大学、北京工业学院、吉林工业大学和重庆大学等。

参加手册审查的单位，除上述编写单位外，还有一机部机械研究院、一机部第一设计院、一机部机电研究所、上海机电设计

院、上海机械制造工艺研究所、常州锻造厂、北京锻件一厂、哈尔滨汽车齿轮厂、哈尔滨重型机器制造厂、哈尔滨第一电炉厂、松江电机厂、第二重型机器制造厂、太原重型机器制造厂、沈阳重型机器制造厂、呼和浩特汽车制造厂、哈尔滨拖拉机配件厂、冶金部钢铁研究院、冶金部情报研究所、清华大学和太原工学院等。

在编写过程中除上述参加编审的单位外，锻压机械编辑部、云南重型机器制造厂、太原矿山机械厂、洛阳轴承厂、哈尔滨轴承厂、营口锻压机床厂、辽阳锻压机床厂、兰州石油化工厂、北京内燃机总厂、上海彭浦机器厂、沪东造船厂、江南造船厂、南京汽车厂等全国各地一百多个单位积极热情地提供了技术资料。但限于编者的水平，难免有缺点和错误之处。恳切希望读者提出批评和修改意见，使它不断地得到充实和提高。

在本手册的编写过程中，哈尔滨市科技交流馆作了很多组织工作，哈尔滨重型机器制造厂、哈尔滨第二工具厂、哈尔滨汽轮机厂、哈尔滨锅炉厂和哈尔滨第一机器制造厂的同志为手册描图付出了辛勤劳动，在此一并表示衷心地感谢！

锻工手册编写组

目 次

第四篇 自由锻造

第一章 金属锻造成形的基本知识	4-1
1 锻造的目的、成形特点和作用	4-1
一、热锻	4-1
二、冷锻	4-6
三、温锻	4-6
2 影响金属塑性的因素和提高塑性的措施	4-7
一、金属组织及化学成分对塑性的影响	4-8
二、温度和变形速度对塑性的影响	4-8
三、应力状态对塑性的影响	4-9
四、提高塑性的工艺措施	4-10
3 各种因素对金属塑性变形抗力的影响	4-12
一、变形力、平均单位压力与真实应力	4-12
二、各因素对材料的真实应力的影响	4-13
三、受力方式、应力状态和塑性条件	4-19
四、锻粗时变形力的计算	4-21
五、降低变形力的途径	4-23
4 各种因素对锻造时金属变形的影响	4-24
一、工具与金属接触面上的摩擦对变形的影响	4-24
二、工具形状对变形的影响	4-26
三、金属各部分之间内力对变形的影响	4-27
四、设备吨位对变形的影响	4-28
五、坯料本身性质不均匀对变形的影响	4-28
第二章 锤上自由锻及手工锻	4-29
1 手工锻和锤上自由锻用的工具	4-29
一、手锻工具	4-29
二、锤上自由锻造用的工具	4-34
2 自由锻造的基本工序	4-37
一、锻粗	4-37
二、拔长	4-41
三、芯轴拔长	4-47

四、错移	4-48
五、冲孔	4-50
六、扩孔	4-52
七、弯曲	4-55
八、扭转	4-56
九、切割	4-57
十、锻焊	4-58
3 工艺过程的制订	4-60
一、锻件图的绘制及余量与公差的标准	4-61
二、确定毛坯的重量和尺寸	4-91
1. 毛坯重量的计算	4-91
2. 毛坯尺寸的确定	4-94
三、决定变形工艺和工具	4-95
四、工时定额的编制和锻件的分类	4-99
例：法兰圈的锻造工艺过程制订	4-102
4 锤上自由锻件通用技术条件	4-106
一、锻件试验分级	4-107
二、技术要求	4-108
三、试验方法与验收规则	4-110
5 锤上自由锻工艺举例	4-111
一、连杆的锻造	4-111
二、“反巴掌”的锻造	4-112
三、制动拉条的锻造	4-113
四、卡瓦的锻造	4-115
五、195型单拐曲轴的锻造	4-116
六、C-45曲轴的锻造	4-117
七、20吨吊钩的锻造	4-118
八、SH100吨吊钩的锻造	4-121
九、30吨吊钩的锻造	4-123
十、连杆的锻造	4-124
十一、方头螺钉的锻造	4-125
十二、十字钎头的锻造	4-126
十三、洗口栓座的锻造	4-127
十四、齿轮的锻造	4-128
第三章 水压机上自由锻	4-130
1 钢锭及钢坯的加热	4-130
一、钢锭及钢坯的加热规范	4-130

二、钢锭及钢坯加热操作说明	4-141
2 水压机车间设备性能及工具	4-143
一、水压机锻造能力及有关工艺尺寸	4-143
二、水压机车间设备	4-143
三、锻造用工具	4-145
1. 砧子	4-145
2. 钳把套筒	4-153
3. 下墩粗盘	4-153
4. 上墩粗板	4-154
5. 平台	4-157
6. 回转工作台	4-158
7. 冲子	4-161
8. 芯油	4-163
9. 马杠	4-164
10. 马架	4-165
11. 剃刀	4-167
12. 三角	4-168
13. 弯曲工具	4-170
14. 扭拐搬子	4-170
15. 墩粗板链	4-172
16. 吊钳	4-173
17. 水压机所需的基本工具规格及数量	4-178
3 水压机锻造的基本工序	4-182
一、墩粗	4-182
1. 墩粗工序的作用及分类	4-182
2. 墩粗工序的操作	4-183
3. 墩粗工序对锻件质量的影响	4-186
二、拔长	4-187
1. 拔长工序的操作	4-187
2. 砧子形状和毛坯形状对锻件质量的影响	4-191
3. 砧子宽度对锻件质量的影响	4-192
三、芯轴拔长	4-193
四、错移	4-195
五、冲孔	4-196
六、马杠扩孔	4-198
七、弯曲	4-201
八、扭转	4-201
九、切割	4-201

4 锻件的锻后冷却和热处理	4-203
一、锻后冷却和热处理的目的	4-203
二、锻后坑冷、热处理类型及规范	4-203
5 水压机自由锻工艺过程制订	4-216
一、编制工艺过程的步骤和内容	4-216
二、锻件图的绘制及有关标准	4-216
1. 热处理吊卡头尺寸和使用说明	4-216
2. 热处理余量标准使用说明	4-218
3. 水压机锻造余量、锻造公差标准使用说明	4-227
三、确定钢锭重量	4-241
1. 计算锻件重量	4-241
2. 确定工艺废料	4-243
3. 选择钢锭重量	4-245
四、锻造比的选择和工艺方案制订	4-247
1. 锻造比的选择	4-247
2. 变形方案的制订	4-249
3. 工序尺寸的计算	4-251
4. 加热火次的决定	4-252
5. 锻造工具的选择	4-253
五、工时定额的编制和锻件的分类	4-253
例：热轧辊锻造工艺过程的制订	4-253
一、轧辊的零件图和技术条件	4-253
二、绘制锻件图	4-255
三、决定钢锭重量	4-256
四、制订变形工艺	4-257
五、选择所需设备	4-260
六、确定加热、冷却和热处理规范	4-260
七、编制工时定额	4-261
八、填写工艺卡片	4-261
6 水压机自由锻典型工艺	4-264
一、转子的锻造	4-264
二、汽轮机叶轮的锻造	4-268
三、护环的锻造	4-272
四、冷轧辊的锻造	4-275
五、热锻模块的锻造	4-277
六、宽板的锻造	4-279
七、厚壁封头的锻造	4-283

八、齿轮胎模锻造	4-286
九、起重吊钩锻造	4-290
十、大型整锻曲轴	4-298
十一、全纤维曲轴锻造	4-310
十二、筒体锻造	4-315
7 锻件的质量检查和缺陷分析	4-316
一、锻件的质量检查	4-316
二、锻件质量检查的取样	4-320
三、锻件的主要缺陷分析	4-325
第四章 合金钢锻造及有色金属锻造特点	4-331
1 合金钢的分类及各种元素对钢性能的影响	4-331
2 高合金钢锻造的特点和常见的问题	4-335
一、高合金钢的相的组成和再结晶特点	4-335
二、高合金钢的加热特点和锻造温度范围	4-335
三、高合金钢的锻造性能	4-337
四、高合金钢锻锭锻造的特点	4-337
五、高合金钢锻造中几个常见的问题	4-338
3 高速钢锻造	4-338
一、高速钢的组织对性能的影响	4-338
二、高速钢原材料供货技术条件	4-341
三、高速钢钢坯的加热	4-341
1. 锻造温度范围	4-341
2. 加热时间的确定	4-342
3. 加热次数的确定	4-342
4. 加热操作注意事项	4-343
四、锻造	4-343
1. 变形程度	4-343
2. 变形方法	4-343
3. 反复锻造时工序尺寸和锻拔次数的确定	4-348
4. 锻造操作注意事项	4-349
五、锻件的冷却和退火	4-350
1. 锻件的冷却	4-350
2. 锻件的退火	4-351
六、锻锤吨位的选择	4-351
七、典型缺陷分析和防止措施	4-351
八、典型工艺举例	4-356
九、高速钢锻件碳化物不均匀度的检验方法	4-360

1. 抽检批量	4-360
2. 检查取样	4-360
3. 试样处理和评级图谱	4-363
4 铬12型工具钢的锻造	4-370
一、锻造温度范围	4-370
二、纤维方向的选择	4-371
三、锻造方法	4-372
四、锻造操作中应注意事项	4-373
五、铬12型工具钢原材料技术条件	4-374
六、铬12型工具钢锻件技术条件	4-375
七、典型工艺举例	4-376
5 高锰钢汽轮发电机护环的锻造	4-382
一、高锰奥氏体钢的成分特点及其对锻造工艺的影响	4-383
二、高锰钢护环的热锻要点及主要工艺参数	4-386
三、高锰钢护环的半热锻要点	4-387
四、高锰钢护环的冷变形强化的几种方法和要点	4-389
6 不锈钢锻造	4-390
一、不锈钢的主要类别	4-390
二、奥氏体不锈钢的锻造	4-391
1. 1Cr18Ni9Ti 的组织特点	4-392
2. 加热规范和锻造温度范围	4-392
3. 锻造操作特点	4-393
三、马氏体类不锈钢的锻造工艺特点	4-394
四、铁素体不锈钢的锻造特点	4-394
五、工艺举例	4-396
7 高温合金的锻造	4-398
一、下料	4-398
二、加热	4-398
三、自由锻	4-399
1. 拔长	4-399
2. 墩粗	4-400
四、模锻	4-400
8 铝合金锻造	4-401
一、坯料准备	4-402
二、加热	4-403
三、变形速度和变形程度	4-403
四、锻件设计及工艺操作特点	4-404

五、润滑	4-405
六、清理及修伤	4-406
9 镁合金锻造	4-407
一、坯料准备	4-407
二、加热	4-408
三、锻造	4-409
四、切边和精压	4-411
五、清理和热处理	4-411
10 铜合金锻造	4-412
一、铜合金的加热	4-413
二、铜合金的锻造	4-414
三、工艺举例	4-418
11 钛合金锻造	4-419
一、坯料准备	4-419
二、坯料加热	4-419
三、锻造温度	4-420
四、锻造	4-422
五、清理	4-422
六、关于模具设计	4-423
七、关于 $\alpha + \beta$ 两相钛合金的 β 锻造	4-423

第四篇 自由锻造

第一章 金属锻造成形的基本知识

1 锻造的目的、成形特点和作用

锻造的根本目的是获得所需形状和尺寸的锻件，同时要求其性能和组织符合一定的技术要求。

锻造法成形与切削加工法成形对比起来，有两个最基本的特点：锻造是利用金属的塑性流动来成形的，在成形过程中不仅坯料的重量是不变的（不计烧损及切头等损失时），而且体积也是基本上不变的（仅铸造组织在变形的开始阶段体积略有收缩）；在锻造时材料的性能和组织也发生变化。

锻造按温度来分有热锻、温锻及冷锻。不同的锻造温度对锻件的组织和性能的影响也是不同的。

一、热锻

热锻是目前应用最广的一种锻造工艺。

铸锭经热锻，内部组织发生了巨大的变化，可以归结为以下三方面：

1. 粗大柱状晶粒经塑性变形和再结晶后变成等轴晶粒的锻造组织。

2. 疏松、空隙、微裂经压紧和焊合后消失或减少。

3. 杂质和化合物：

脆性者被打碎顺着金属主要伸长方向呈碎粒状或链状分布。

塑性者经变形后沿主要伸长方向呈带状分布。

钢中高熔点的夹杂物，如硅酸盐、氧化物、碳化物、氮化物等都很脆，不能变形或很小变形，只能被粉碎。熔点较低的硫化物有很好的塑性，它们能随同金属一起变形，但无论那一类杂质都不能在再结晶时得到改变，仍然顺着主要伸长方向分布，所以

热变形后的金属组织是有一定方向性的，通常称为纤维组织。

图4-1 a 表示高速钢的铸造组织，内有粗大的碳化物。在热变形时，粗大的碳化物被粉碎，并沿主要伸长方向成粒状分布（图4-1 b）。

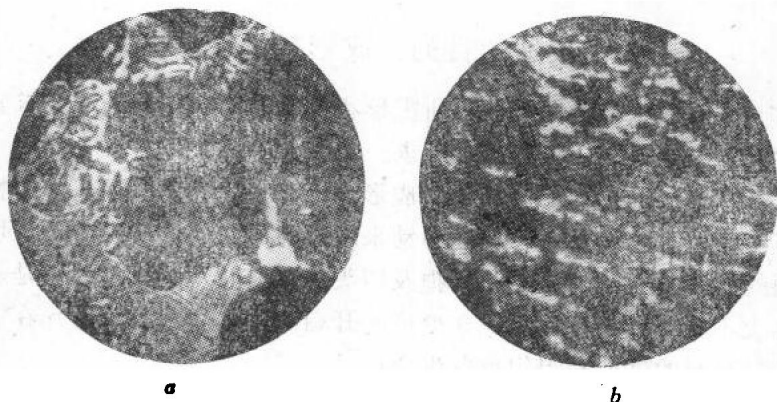


图4-1 W18Cr4V 高速钢的铸造组织 (a)
和变形后的组织 (b)

随着变形程度的增大，杂质的破碎程度（对脆性杂质）和细化程度也越大。

变形程度常用相对压缩量或锻造比来表示。

拔长时锻造比为

$$y_{\text{拔}} = \frac{F_0}{F}$$

式中 F_0 ——拔长前坯料横截面面积；

F ——拔长后坯料横截面面积。

镦粗时锻造比为

$$y_{\text{镦}} = \frac{H_0}{H}$$

式中 H_0 ——镦粗前坯料高度；

H ——镦粗后坯料高度。

图 4-2 表示碳素结构钢锻造比对机械性能的影响，在变形的

开始阶段 ($\gamma < 2$) 随着疏松及微裂的压紧和焊合, 粗大柱状晶粒的变形和再结晶, 纵向及横向性能都有一定提高 (主要是塑性指标提高)。当锻造比继续增加 ($\gamma = 2 \sim 5$) 杂质沿金属主要伸长方向分布, 此时纵向性能虽仍有提高, 但横向性能则有所降低, 特别是塑性指标 $\psi_{横}$ 显著降低。当锻造比大于 5 以后, 此时纵向性能已不再提高, 而横向性能则继续下降。

从这里可以看出锻造比超过一定限度时, 不仅没有好的结果, 反而增加了方向性, 给受力复杂的零件带来不良的后果。

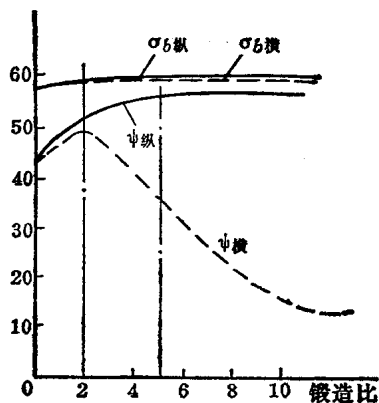


图4-2 锻造比对机械性能的影响

钢材在轧制时, 已经过相当大的变形, 所以在改锻时, 并不能使其组织进一步密实, 但对于高速钢及高铬钢, 锻造能进一步击碎碳化物而提高刀具和模具的寿命。对于结构钢钢材, 改锻一般不能提高性能, 但可以根据零件的受力情况, 采用合适的变形工艺, 使纤维方向与最大拉应力方向一致, 从而能承受较大的载荷。近来我国成功的实现曲轴“全纤维锻造”(图4-148), 也是提高曲轴使用性能的一个先进工艺方法。

对于受力复杂的零件, 如发电机转子, 既要求大的锻造比 ($\gamma = 3.5 \sim 6$), 又不允许方向性太大, 为了消除方向性, 常采用中间镦粗工序。对于大锻件锻造比选择见水压机上自由锻一章, 对于高速钢改锻锻造比的选择见本篇第四章。

热变形后金属的晶粒大小与变形温度和变形量大小有关, 这种关系可以用图形表示, 通常称作再结晶图。图4-3给出几种常见金属的再结晶图。由图可以看出, 对于每一个变形温度, 再结

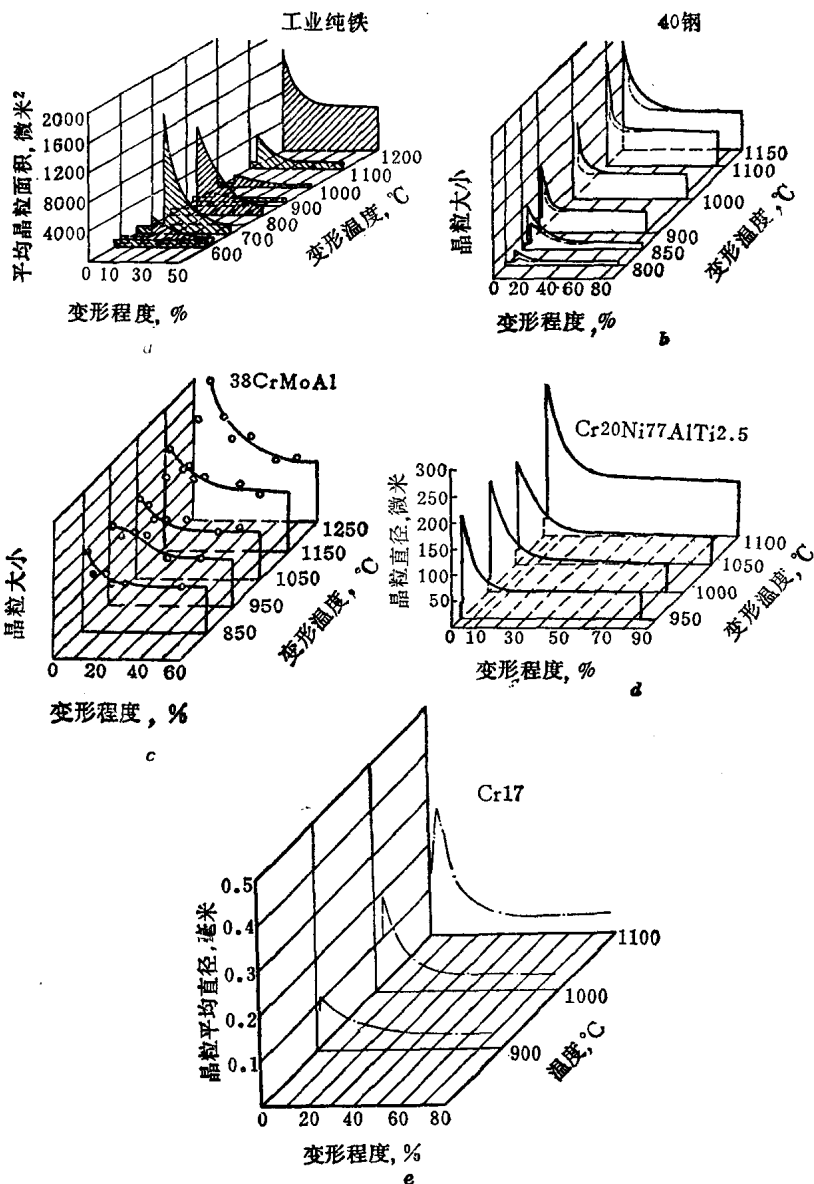


图4-3 几种常见金属的再结晶图

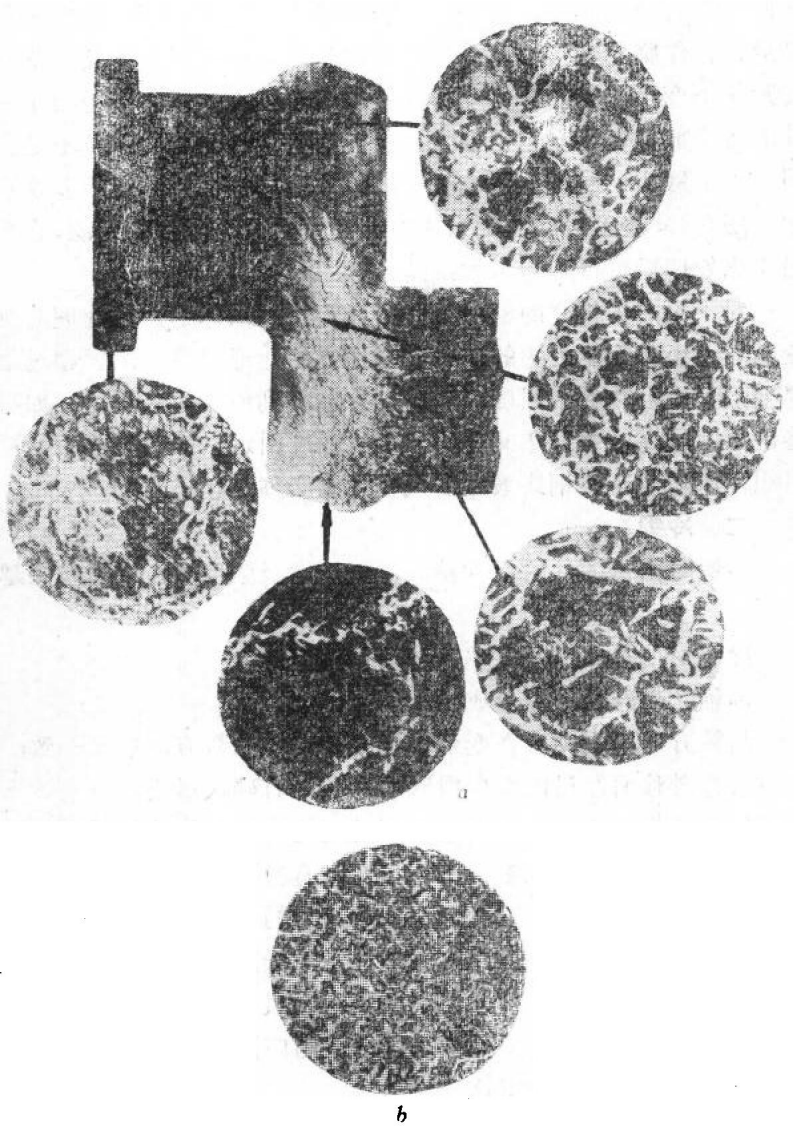


图4-4 6160曲轴自由弯曲锻后的组织 (a)
及正火后的组织 (b)