

# 目 录

前 言	1
I. 金相试样的制备	2
一、取样	2
二、镶嵌	4
三、标号	5
四、预磨	5
五、抛光	9
六、浸蚀	12
七、风干	13
八、多功能一体式金相试样磨抛机	14
九、观察	15
II. 透射电镜的复型试样	17
一、复型用材料	17
二、复型用金相试样	17
三、复型的制备法	17
III. 金相组织图谱	19
一、Fe-Fe <sub>3</sub> C 相图平衡组织	20
二、“C”曲线组织	24
三、45 钢与 T12 钢热处理组织	28
四、合金钢热处理组织	32
五、钢的化学热处理组织	38
六、铸铁热处理组织	40
七、有色金属组织	46
八、钢的缺陷组织	52
九、补充组织 7 种	54
十、模具钢组织 9 种	58
十一、电子金相组织	62
后 语	68

## 前 言

学习金属材料在于掌握它的性能，恰到好处的应用。金属材料的性能取决于材料的化学成分和内部组织结构。不同的组织结构，表现出不同的性能。金属材料的组织是通过金相显微分析加以定位的，即金相组织的检验。因此，学习金属材料必须了解、掌握、熟悉不同金属材料、不同状态下的金相组织及表现的机械性能。

初学者，观察金相组织常常犯难，难于区分其组织色泽、形态。本图谱选取了金属材料中一些基本的常用的金相图谱 86 幅，电镜二次复型图谱 10 幅，加以较详细的说明，希望对初学者提供指导作用。

为了配合这 86 幅常用的基础金相图谱的实物观察，我司还专门生产了这 86 种金相试样，供专业学校金相实验室开设实验之用。这些试样是经过切割、镶嵌、磨抛、浸蚀，逐个通过金相检验，并在样芯涂一层透明薄膜后出厂的。所涂薄膜是保护样芯不氧化、生锈，又不影响组织观察。实验时，直接从试样盒中拿取于显微镜下观察，不必重作。但要细心保护薄膜不要擦伤和污染。若试样表面落有灰尘，可用镜头纸轻轻擦去，若有污损，影响组织观察，则需磨一道最后细砂纸，再经抛光浸蚀即可。

本图谱的说明，有关组织名称，采用通用的代表符号，其具体表示如下：

- |              |            |                            |
|--------------|------------|----------------------------|
| (1) F——铁素体   | (2) P——珠光体 | (3) Fe <sub>3</sub> C——渗碳体 |
| (4) Ld'——莱氏体 | (5) S——索氏体 | (6) T——屈氏体                 |
| (7) B——贝氏体   | (8) M——马氏体 | (9) A——奥氏体                 |

有的符号的右下角标的小字，此小字代表组织的类型。如 B<sub>上</sub>，B<sub>下</sub>各代表上贝氏体和下贝氏体，Ar 表示残余 A。

本图谱是想作为初学者引路之用，更可作为金相实验时对照金相试样观察分析，亦可作为老师写论文编教材的参考。

由于编者知识浅薄，水平有限，缺点错误在所难免，欢迎读者批评指正。

上海弘测仪器科技有限公司

2008 年秋

# I. 金相试样的制备

金相显微分析是研究金属材料内部组织的重要手段。而显微分析的前提必须有制备得好的合格试样。不合格的制样，会导致错误的结论。

金相试样的制备一般包括：取样、镶嵌、标号、磨制、抛光、浸蚀、风干。一个制好的金相试样应是：组织真实，具有代表性；无氧化、无磨痕、无水迹；石墨夹杂不曳尾，不脱落；浸蚀深度适度，衬度清晰。

金属的性能取决于它的成分和微观组织，其中微观组织对金属性能的影响最为直接，因此我们可以通过对金属微观组织的观察和分析（即金相分析技术）来预测和判断金属的性能，并分析其失效破坏的原因。金相分析技术是根据有关的标准和规定来评定金属材料内在质量的一种常规检验方法，并可用来判断零件生产工艺是否完善，有助于寻求零件产生缺陷的原因，因此它是涉及金属材料生产、使用和科研中一种必不可少的手段。

进行金相分析，首先应根据各种检验标准和规定制备试样（即金相试样），若金相试样制备不当，则可能出现假象，从而得出错误的结论，因此金相试样的制备十分重要。通常，金相试样的制备步骤主要有：取样、镶嵌、标识、磨光、抛光、浸蚀，但并非每个金相试样的制备都必须经历上述步骤，如果试样形状、大小合适，便于握持和磨制，则不必进行镶嵌；如果仅仅检验金属材料中的非金属夹杂物或铸铁中的石墨，就不必进行浸蚀。总之，应根据检验的目的来确定制样步骤。

## 一、取样

取样是金相试样制备的第一道工序，若取样不当，则达不到检验目的。因此，取样的部位、数量、磨抛光面方向等应严格按照相应的标准规定执行。

切取试样的部位和磨面的方向，应根据检验目的与要求选取具有代表性的典型部位，可根据有关技术标准的规定确定。

### （1）取样部位和磨面方向的选择

取样部位必须与检验目的和要求相一致，使所切取的试样具有代表性。必要时应在检验报告单中绘图说明取样部位、数量和磨抛光面方向。

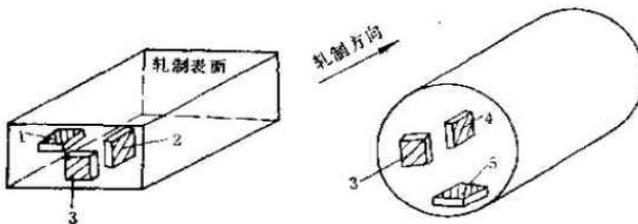


图 1-1 轧制型材金相试样的切取

- 1-与轧制表面平行的纵切面                      2-与轧制表面垂直的纵切面  
3-横切面                      4-放射纵断面                      5-切向纵断面

图 1-1 表示轧制型材金相试样的切取方位。

一般纵断面（图 1-1 中的 1、2、4、5）主要用于：1）检验非金属夹杂物的数量、大小和形状；2）检验晶粒的变形程度；3）检验钢材的带状组织，以及通过热处理对带状组织的消除程度。

横断面（图 1-1 中的 3）主要用于：1）检验从表面到中心金相组织变化情况；2）检验表层各种缺陷，如氧化、脱碳、过烧、折叠等；3）检验表面热处理结果，如表面淬火的淬硬层，化学热处理的渗碳层、氮化层、碳氮共渗层以及表面镀铬、镀铜层等；4）检验非金属夹杂物在整个断面上的分布；5）测定晶粒度等。

## （2）取样方法

切取试样的形状与大小，应以最有利于握持和磨制为准。一般切取为  $\Phi 12 \times 15$  或  $12 \times 12 \times 15$ 。若切取的再小，则必须镶嵌。若太小则操作不方便，若太大则磨制面过大，增长磨制时间且不易磨平。非检验表面缺陷、渗层、镀层的试样，应将棱边倒圆，防止在磨制中划破砂纸和抛光织物，反之，检验表层组织的试样，严禁倒角并应保证磨面平整。

切取试样的方法较多，可手锯，锤击，车、刨、铣及专用切割机等。但不管采取哪种方法，都要避免金属内部组织发生变化。现代金相实验室具有专用的金相砂轮切割机，它借助于高速旋转的片状砂轮，在通水冷却中将夹紧的金属切断。砂轮切割机的最大缺点就是砂轮片与金属样品摩擦中发出的刺耳叫声，已大大超过 50 分贝，不符合环保要求。而且砂轮切割机不能切如硬质合金一样的高硬度样品，不能切难于夹持的样品。而且切痕大，金属损失大，切屑堆积，片子易生锈。这是老式切割机。已不适应现代的要求。

上海弘测仪器科技有限公司生产的多种规格金相试样切割机（如下图）是创新专利型的产品，小巧美观，是现代型的金相切割专用设备。常用规格如下：





## 二、镶嵌

切取的样品若尺寸小，形状不规则，或某些避免倒棱的样品，都必须进行镶嵌。经镶嵌的试样，更有利于磨制和抛光。

当金相检验的材料为丝、带、片、管等尺寸过小或形状不规则的试样，由于不便握持，可采用镶嵌的方法，得到尺寸适当，外形规则的试样。当检验试样的表层组织时，为防止在磨制中产生倒角，也可采用镶嵌。

镶嵌的方法很多，常用的镶嵌方法有机械夹持法、低熔点合金镶嵌法、镶嵌机热镶嵌法和环氧树脂冷镶嵌法等。但用的最多最好的方法，是专门用于镶嵌金相试样的镶嵌机热镶嵌法。

镶嵌机镶样，用的最多的材料是在酚醛-甲醛树脂，内加入木粉制得的胶木粉。是热固性塑料，在加热加压下凝聚成型。镶嵌机的结构主要是两部分，一部分是加压机构，集中在机体下部；一部分是加热成型系统，集中在机体上部。

目前各金相实验室使用的 XQ-2B 型 手动金相试样镶嵌机，其加压机构由手轮、齿轮、丝杆等组成，镶嵌压力用手轮控制；加热成型系统是由成型模具和包在模具外周的 220V、450W 左右发热原件组成，由可调恒温仪控制温度，在恒温下压出试样。

上海弘测仪器科技有限公司生产的多种规格金相试样镶嵌机（如下图），加压简单快捷，成型模具为高合金钢制作，硬度高，不易磨损，寿命长，加热自动控温、压出的试样

表面光滑整齐，质量好。常用规格如下：



### 三、标号

镶嵌好的试样，应即时标号，以免相互混淆。标号的方法，常用钢码打号。对于需要保存的试样，在经检验后，应装袋保存，袋面上写清送检单位，试样材料，处理状态，检验目的及检验结果，以备日后查询。

### 四、预磨

镶嵌的试样，磨面粗糙，存在变形区和扰乱层，需要经过预磨，逐步消除。

金相试样预磨前，先在砂轮机上利用细砂轮的侧面，将磨面轻压打平。

金相试样经过切取、镶嵌后，还需进行磨光、抛光等工序，才能获得表面平整光滑的磨面（镜面效果）。图 1-2 表示了切取试样后形成的粗糙表面，经粗磨、细磨、抛光后，磨痕逐渐消除，得到平整光滑的磨面。

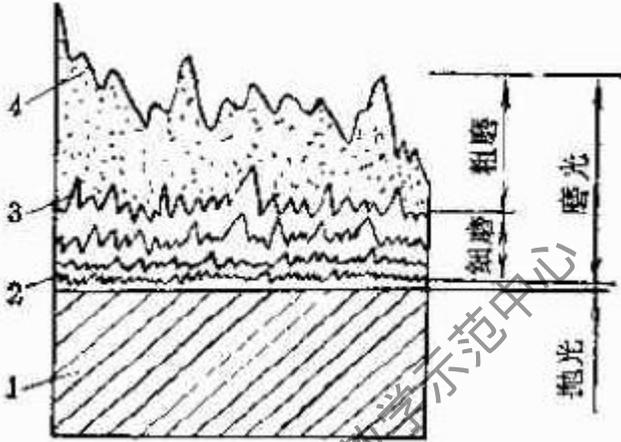


图 1-2 金相试样在磨抛时磨面的变化

1-试样      2-细磨痕      3-粗磨痕      4-切割痕

磨光（预磨、研磨）可以分为粗磨、细磨、精磨。每一道工序，都与上一道工序成 90° 方向，直到看不到上道工序的划痕为止。

预磨的工具是使用一套粗细不同的金相砂纸。金相砂纸有干湿两大类。干砂纸纸质不防水，其粘结剂溶解于水，必须干磨；水砂纸纸质防水，为非水溶性粘结剂，要在水的冲刷条件下使用。湿磨比干磨效果更好。

金相砂纸的牌号是按砂纸的粗细进行编号的，各厂家的编号不尽统一，有用习惯代号的，有按磨粒粒度（目）的，有按磨料实际尺寸的，甚至还有沿用原苏联标准的。目前，国内已规定统一标准，所有砂纸均按磨料尺寸统一牌号。现将常用的金相砂纸各牌号之间的对照关系列表供参考。

表 1 各种砂纸编号及力度表

苏联标准	中国国标	习惯代号	粒度（目）	砂粒尺寸（ $\mu$ ）
M50	W50	1# 400#	280	53

M40	W40	0# 500#	320	42~28
M28	W28	01# 600#	400	28~20
M20	W20	02# 700#	500	20~14
M14	W14	03# 800#	600	14~10
M10	W10	04# 1000#	800	10~11
M7	W7	05# 1200#	1000	7~5
M5	W5	06# 1400#	1200	5~3.5
M3.5	W3.5	07# 1600#	1400	3.5~3
M3	W3	08#	1600	3~2.5
M2.5	W2.5	09#	1800	2.5~2
M2	W2	010#	2000	2~1.5

**注：**表中粒度目，是指标准筛网上每一英寸长度筛孔的数目，筛孔数愈多，粒度愈细。

号(或目)是指磨料的粗细及每平方英寸的磨料数量，号越高，磨料越细，数量越多。

目数的含义是在 1 平方英寸的面积上筛网的孔数，也就是目数越高，筛孔越多，磨料就越细。

目是一个单位；定义为：每平方英寸面积上有 256 个眼，每一个眼就叫一目。所以目数越大，眼就越小。

**表 2 常用砂纸规格**

<b>磨料种类</b>	黑色碳化硅、氧化铝	
<b>砂纸背面</b>	普通(无背胶)、带背胶 (PSA)、带磁性	
<b>产地</b>	国产、进口 (德国、美国)	
<b>砂纸粒度</b>	粗磨	60 #、80 #、120 #、180 #、240 #、320 #
	精磨	400 #、600 #、800 #、1000 #、1200 #、1500 #、2000 #

	超精磨	P2500# P4000# P5000#
砂纸直径	Φ200mm—Φ500mm、230*280mm（长方形）	
	用户提出的其他任何尺寸	

表 3 常用砂纸磨削粗糙度选择

干湿两用砂纸粒 度	280#	320#	400#	500#	600#	800#	1000#	1200#
粗糙度 (Ra)	1.6	1.6	0.8	0.8	0.4	0.4	0.4	0.2
干湿两用砂纸粒 度	1500#	2000#	2500#	3000#	4000#			
粗糙度 (Ra)	0.15	0.1	0.05	0.02	0.01			

金相专用砂纸专门用于金相制样时的粗磨和精磨。适用于国内、外各种型号、规格的金相预磨机，尤其适用于各种半自动或全自动金相磨抛机。金相专用砂纸以精选的、粒度均匀的、磨削效果极佳的碳化硅磨粒为磨料，采用静电植砂工艺制造出的金相专用耐水砂纸，具有磨粒分布均匀、磨削锋利、经久耐用的特点。从而使样品的磨除速度快、变形层浅，对高硬或较硬的材料效果尤为明显。所有粗磨和精磨工序均可实现水磨化，彻底根除了用普通金相砂纸时样品被磨糊、灰尘大等弊端。

各厂家生产的金相砂纸质量不一，应该选用砂粒尺寸标准，力度均匀，品质纯净，粘着牢固，棱角锋锐，磨削力强的好砂纸。

金相试样的预磨方法，有手工预磨法和机械预磨法。随着技术的进步，金相实验室，已采用机械预磨来代替费时的手工预磨。机械预磨的效率高、质量好。

机械预磨使用的工具是预磨机，它是金相实验室不可缺少的工具。预磨机预磨必须湿磨，选用金相水砂纸。目前各实验室使用的多为 YM-2 型金相试样预磨机。它是由一个电动机，经机械减速带动两个圆盘旋转，圆盘上置水砂纸，并通水润滑冷却。预磨时，手握试样，平稳轻压在砂纸上，利用旋转的砂纸将金相试样逐一磨细。这种 YM-2 型的金相试样预磨机，连续磨一个试样，需用两台，四个磨盘。这种预磨机，预磨效率低，磨一个试样需花较长时间，费时费力，磨制质量不高。且使用一段时间后，皮带的转动，噪音很大，影像清静环境。

上海弘测仪器科技有限公司研制的专利型金相试样磨抛机，（如下图）：



**MP-3A 型 三盘柜式金相试样磨抛机**

其特点是：（1）三个磨抛盘，依次放三种不同型号的粗细砂纸或抛光布，磨一个试样，连续磨此三个磨抛盘就可磨好，一气呵成，不需两台；（2）磨抛盘转动平稳无噪音；（3）无级调速的磨抛机，可依不同的试样，选用不同的磨抛速度；（4）磨抛效率高。经镶嵌的试样，普通砂轮打平连磨三个盘的三道砂纸，一两分钟就可完成；（5）不锈钢制作，牢固、耐用、美观；（6）预磨抛光一体机，试样的研磨和抛光均可在一台机器上完成，方便快捷，节约成本。



## 五、抛光

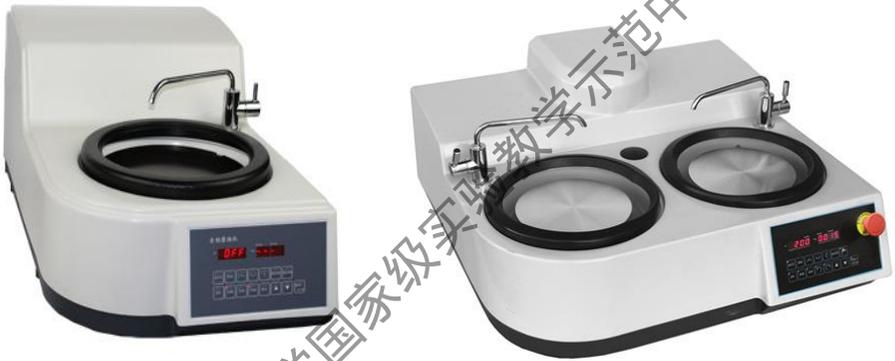
经预磨后的金相试样，磨面仍存在细微磨痕的形变扰乱层，必须进行抛光。

抛光可以分为机械抛光、化学抛光和电解抛光。机械抛光适用于大部分钢种，但是由

于机械抛光有机械力的作用，不可避免会产生金属变形层，使金属扰乱层加厚，出现伪组织。而电解抛光是利用电解方法，以试样表面作为阳极，逐渐使凹凸不平的磨面溶解成光滑平整的表面，因无机械力的作用，故无变形层，亦无金属扰乱层，能显示材料的真实组织并兼有侵蚀作用，适用于硬度较低的单相合金、容易产生塑性变形而引起加工硬化的金属材料，如奥氏体不锈钢、高锰钢、有色金属和易剥落硬质点的合金等的试样抛光。

机械抛光是在抛光机上进行的，他借助抛光盘上的抛光织物和抛光微粉与试样磨面间的磨削作用，滚压作用，摩擦作用，将磨面抛成光亮无痕的镜面。

当前各金相实验室使用的多为 P-2T 型 双盘台式金相试样抛光机，它由电动机直接带动一个  $\Phi 220\text{mm}$  的圆盘旋转，转速 1450 转/分左右，抛光操作时，一手握试样，一手加抛光液，繁琐。



上海弘测仪器科技有限公司研制生产的创新专利产品全自动金相试样磨抛机（如下图）：



## 单盘全自动金相试样磨抛机

## 双盘全自动金相试样磨抛机

其特点：（1）首创带冷却装置，试样抛光，自动滴液连续均匀；免去了手工加水的麻烦；（2）转速稳定，研磨/抛光盘不抖动；（3）抛光效率高；（4）双盘双控，无级变速，更安全；（5）大屏幕液晶数字动态显示整个试验过程；（6）转速自由调节 50-1500 转；（7）自动研磨抛光，无需手动；（8）自动磨抛模式，速度更快，效率更高；（9）时间、压力自由设定；（10）超静音，安全稳定；（11）多种试验模式可供选择；

抛光织物的种类很多，常用的有棉织物、毛织物、丝织物、人造纤维织物。笔者认为以毛呢料为最好，无论钢铁、有色金属的抛光均很适用。抛光时只要将试样不断转动，铸铁的石墨既不脱落、也不曳尾。

抛光磨料的种类也很多，有  $Al_2O_3$ 、 $Cr_2O_3$ 、 $MgO$  及金刚石，有制成粉剂的，也有制成膏剂的。金刚石的硬度高、颗粒尖锐、棱角锋利，是极为理想的抛光磨料。它常制成研磨膏使用。笔者在金相制样过程中，使用金刚石研磨膏，用热水制成抛光液，滴甩在抛光布上，抛光效果很好，无论钢、铁、铜、铝及极软的轴承合金都很适用。由于金刚石锋利，支撑在抛光布上，金相试样不仅抛得快，抛得好，而且抛光布不易损坏。用金刚石作磨料的抛光布比用其他氧化物作磨料的抛光布寿命高几倍。总的来讲，用金刚石作抛光磨料，更高效经济些。

织物材质	规格	背胶	种类	磨料粒度	最适合磨料
尼龙	Φ200mm、 Φ220mm、 Φ230mm、 Φ250mm、 Φ300mm、特 殊定制	不带胶、带背 胶、带磁性	国产、进口	W7-20	金刚石喷雾抛光 剂； 金刚石悬浮液； 金刚石研磨膏；
帆布				W5-14	
平绒				W5-10	
呢料				W3-5	
丝绒				W3-5	
植绒				W1-3	
呢绒				W1-3	
洋绒				W1-3	
丝绸				W0.5-3	
精抛绒				W0.3-3	

注： 进口金相抛光织物需定制；

但使用金刚石作抛光剂时，最好使用调速抛光机。试样抛光时，要根据对试样的要求，确定是否精抛。一般观察性试样，作一次粗抛就可以了。若要摄影，必须精抛。抛光操作要重视以下几点：

- （1）试样和手必须要用水冲洗干净，决不允许将砂粒污物带入抛光盘中。
- （2）手握试样，平稳与抛光织物接触，压力适中，并不断地中心边缘往复旋转性移动。
- （3）抛光过程中不断地向抛光盘中心加抛光液，宜少量，勤加。保持抛光布一定的湿度。
- （4）抛好的试样立即用水洗净，风干机吹干。

## 六、浸蚀

金相试样经抛光后，表面平整、光亮如镜，在显微镜下观察，除某些非金属杂物、铸铁的石墨外，只是光亮的一片，无法辨别显微组织，必须使用浸蚀剂，对试样表面进行浸蚀，才能清楚地显示出显微组织的真实。

浸蚀的方法较多，有化学浸蚀法，电解浸蚀法，特殊显示法。金相实验室用的是化学浸蚀法。

化学浸蚀是试样磨面经化学溶解和电化腐蚀的过程。对于纯金属的单相合金，浸蚀是一个纯化学溶解过程。金属的晶界上原子排列紊乱，有高的自由能，容易被溶解而呈凹沟。且每个晶粒原子排列的位相不同，其表面溶解的速度也不一样，经浸蚀后，会呈现凹凸不平，在显微镜的垂直光线的照射下，显示出明暗不同的晶粒和黑色网络的晶界。

对于两相或多相合金，浸蚀主要是一个电化学腐蚀过程。由于各组成相，具有不同的电极电位，浸蚀时便形成无数对微电池，具有负电位的一相成为阳极，被迅速溶入浸蚀剂中形成凹洼；具有正电位的另一相为阴极，在正常电化学作用下不受浸蚀而保持原有平面。当显微镜的光线照射到凹凸不平的试样表面时，由于各处对光线的反射程度不同，在显微镜下就能看到各种不同的组织和组成相。

化学浸蚀剂的品种多，可根据不同材料的试样或不同组织相选用，表 3 列出几种最常用的一些浸蚀剂。

表 3 金属材料常用的浸蚀剂

浸蚀剂	成分	浸蚀条件	使用范围
-----	----	------	------

名称			
硝酸酒精溶液	硝酸 1~5ml 酒精 100ml	硝酸含量增加时浸蚀速度加快, 浸蚀时间自数秒至 60 秒	适用于显示碳钢及合金结构钢, 经不同热处理的组织, 显示铁素体晶界特别清晰
苦味酸酒精溶液	苦味酸 4g 95%酒精 100ml	有时可用较淡溶液浸蚀数秒至数分钟	能显示碳钢、低合金钢各种热处理组织, 特别是显示细珠光体和碳化物。显示铁素体晶界效果不如硝酸酒精溶液
苦味酸碱性溶液	苦味酸 2~5g 苛性钠 20~25g 蒸馏水 100ml	加热至 60℃使用, 浸蚀时间为 5~30 分钟	渗碳体呈暗黑色, 铁素体不着色, 屈氏体为亮灰色, 回火马氏体比淬火马氏体更暗, 可显示铸铁枝晶组织
王水溶液	盐酸 (比重 1.19) 3 份 硝酸 (比重 1.42) 1 份	浸入试剂内数次, 每次 2~3 秒, 并抛光, 用水和酒精冲洗	显示各类合金钢组织, 用于 Cr-Ni 不锈钢的组织显示, 晶界、碳化物析出物特别清晰
氯化铁、盐酸溶液	配方(a)(b)(c) FeCl <sub>3</sub> (g) 1 5 25 HCl(ml) 20 10 25 H <sub>2</sub> O(ml) 100 100 100	先擦拭, 再浸入试剂中	显示黄铜、青铜的晶界, 使两相黄铜中的 β 相发暗, 铸造青铜枝晶组织图像清晰
氢氟酸水溶液	HF (浓) 0.5ml H <sub>2</sub> O 99.5ml	用棉花沾上试剂擦拭 10~20 秒	可显示铝及铝合金的一般显微组织
氢氟酸硝酸水溶液	HF 1ml HNO <sub>3</sub> 5ml 水 94ml	用棉擦拭	显示钛及钛合金

浸蚀的方法, 有将试样磨面全部浸入浸蚀剂中的, 有用棉花沾上浸蚀剂擦拭磨面的。一般将白亮的磨面浸蚀到变色发暗就可。但不同的试样的组织, 浸蚀的深浅程度也不同。

## 七、风干

试样经浸蚀后, 立即用清水或酒精清洗并吹干, 否则氧化、生锈。上海弘测仪器科技

有限公司，研制生产了专用金相风干机，（如下图），此为风干机的形貌。它一次可同时风干 20 多个试样，冷风或热风任选，它送风柔和均匀，风干快，效果好，填补了国内空白。



金相风干机

## 八、多功能一体式金相试样磨抛机

目前，金相工作者喜欢用一台制样机就能将金相试样磨抛好。因此金相磨抛机被广泛使用。但是目前市场供应的单盘和双盘磨抛机，在制样过程中既要更换砂纸，又要更换磨盘和抛盘，费时、费力、效率低。

上海弘测仪器科技有限公司开发生产的创新专利产品。三盘台式金相试样磨抛机（如下图）是本公司在生产金相试样过程中研制的一种高效磨抛机。



MP-3A 型 三盘柜式金相试样磨抛机

它由三个磨抛盘组成，两个磨盘，一个抛盘。制样过程中不换砂纸，不换盘，一气呵成，极其快捷的轻松的将试样磨抛好。经镶嵌的试样，普通砂轮打平，其磨抛工序只需 1-2 分钟，极其高效。金相实验室有此三盘磨抛机，不必再购预磨机 and 抛光机了。该三盘磨抛机，预磨两个盘，只磨两道砂纸，减少了工序，节约砂纸，抛盘自动滴液，使用极为方便、快捷，故本公司向用户推荐。它解决了制样难、制样慢的困境。

## 九、观察

金相显微镜用于鉴别和分析各种金属和合金的组织结构,是金属材料检验、铸件质量的鉴定及金属材料处理后的金相组织的分析研究等工作的好工具。

金相显微镜用于鉴别和分析各种金属、合金材料和非金属材料的组织结构，广泛应用于工厂或实验室进行原材料检验；铸件质量鉴定或材料处理后的金相组织分析；以及对表面裂纹和喷涂等一些表面现象进行研究工作，是钢铁、有色金属材料、铸件、镀层的金相分析；地质学的岩相分析；以及工业领域对化合物与陶瓷等进行微观研究的有效手段，是金属学和材料学研究材料组织结构的必备仪器，也是科研教学领域得力助手。

图像处理数据分析型三目金相显微镜是将精锐的光学显微镜技术、先进的光电转换技术、尖端的计算机成像技术完美地结合在一起而开发研制成功的一项高科技产品。高级显微图像采集与图像数据处理系统能够对时时的动态影像进行观察、拍摄、对比、数据分析。超能显微系统最高集成了 400 多个分析模块,是目前国内外金相图谱分析最全的厂家。

常见金相显微镜如下：





## II. 透射电镜的复型试样

光学金相显微镜的出现，对于研究金属的内部组织结构开辟了由宏观到微观的途径。一百多年来，人们在金相检验实践中积累了丰富的经验，建立了一整套的金相研究方法与分析理论，取得了丰硕的成果。但光学显微镜受到照明波长的限制，最高分辨率只能达到2000Å。不能区分金相组织中极细的显微结构，更不能满足现代材料科学技术对微观结构更进一步深入研究的需求。

本世纪三十年代以来，一系列电子光学仪器的相继出现和不断完善，极大的提高了分辨率和放大倍数。其中透射电子显微镜，其分辨率已达到2Å，可分辨光学显微镜无法分辨的极其细微的材料组织，是最重要的探索微观世界的有效工具。

利用透射电子显微镜观察分辨组织，同样的要制备试样，常用的是复型试样和金属薄膜试样。金属薄膜试样的成像原理与图像解释，是电子衍射花样，与光学显微镜完全不同。这里只简单介绍与光学显微镜图像相关联的复型试样。

复型试样是一种间接试样，是用复型材料将欲观察的试样表面形貌复制下来，再将此复型薄膜放于电子显微镜中观察分析，因此，电镜中观察的不是金属试样本身，而是反应材料组织结构的表面形貌。

### 一、复型用材料

用于制备复型的材料应具有：是非晶体材料，无结构细节，不干扰被复制的表面形貌；材料溶液应流动性好，易于复印金属试样表面的细节；有足够的强度、刚度，不易破损；不受腐蚀、氧化，有良好的导电、导热性。

目前常用的复型材料有：(1) 塑料——如火棉胶醋酸脂溶液，醋酸纤维素丙酮溶液，此类材料强度低，易破损；(2) 光谱纯碳棒，它强度高，导电导热性好，应用多。

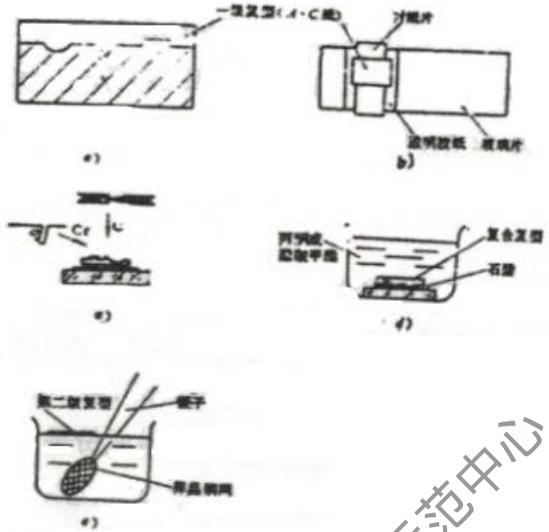
### 二、复型用金相试样

复型试样是复制的金相试样的表面形貌，因此对金相试样的质量要求高，应无变形层，无划痕。浸蚀适度，组织真实，衬度清晰。否则，金相试样的任何缺陷、假象都会影响电镜观察的真实，得出错误的结论。

### 三、复型的制备法

复型试样，有一级复型和二级复型之分。常用的是塑料碳二级复型，其制作步骤如下：

制一次复型：在制好的金相试样表面上滴一滴丙酮或醋酸甲酯，再平整的贴上一块预先制好的厚度30-80μm的醋酸纤维薄膜(简称A.C纸)，见图四-a。干后揭下，复制面向上放在衬有纸片的玻璃板上，四周用胶纸固定，见下图。



### 塑料-碳二级复型制备步骤

制二次复型：将上述复型置于真空镀膜机中，先倾斜投影重金属，再垂直喷碳，如图四-c。得到两次复型叠在一起的“复合复型”。

溶掉一次复型：将复合复型的复制面向上放在小玻璃片上，放入丙酮溶液中溶解一次复型，如图四-d。当一次复型溶净后，二次复型将飘起，用铜网小勺将二次复型捞出。

清洗：把捞起的二次复型放入丙酮液中洗涤。再放入蒸馏水中依靠水的表面张力使二次复型展平并浮起；用镊子夹住试样，铜网捞起即可置于电镜中观察，见图四-e。

这种方法不破坏金属试样表面。一次复型较厚，易从试样上剥离。留下的碳膜又经投影处理，图像衬度好。它兼有塑料一级复型及碳一级复型的某些优点，因此图像质量较高。

### III. 金相组织图谱

本图谱根据常用教科书和金相实验室实验的需要，选取了常用的金相组织 86 幅，作为初学者入门的钥匙。计 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图 10 幅。“C”曲线 6 幅，45 钢 T12 钢热处理组织 11 幅，合金钢组织 11 幅，表面处理组织 3 幅，铸铁 13 幅，有色金属 12 幅，钢的缺陷及其他组织 6 幅。模具钢及其他组织 14 幅。另外，编入电子金相 10 幅，以利更进一步加深对金相组织的了解。

观察金相组织，说明其结构特征时，要清楚指出组织中的色泽与形态。它必须明确一些基本前提条件，这就是：

1、材料的成分。不同种的金属，组织是不同的，就是同种材料，其合金成分不同，组织也各异。所以检验组织，表明材料成分是首要条件。

2、工艺状态。当合金成分一定后，其生产工艺状态对合金的组织变化影响很大，不同的工艺状态，获得不同的组织形态。铸造、锻轧、热处理都表现出不同的组织形态。同是热处理，其加热温度、冷却方法速度的不同，也获得不同的组织。这里，列举最常用的 45 钢展现它 9 种不同的热处理状态，表现出了 9 种不同的组织形态和性能。因此，检验金相试样，必须明确工艺状态，保持金相照片也必须写明材料状态。

3、浸蚀剂。金相试样的浸蚀，直接影响组织形态色泽。通常所用的化学浸法，所呈现的组织黑白衬度。浸蚀剂不同，色泽形态也截然不同。例如：T12 钢的平衡组织是网络状的 Fe<sub>3</sub>C<sub>II</sub> 与 P<sub>0</sub> 用 4% 硝酸酒精溶液浸蚀，Fe<sub>3</sub>C<sub>II</sub> 为白色，若改用苦味酸碱性溶液浸蚀，Fe<sub>3</sub>C<sub>II</sub> 就变为黑色了。所以观察金相组织时，标明浸蚀剂，也是必须的依据。

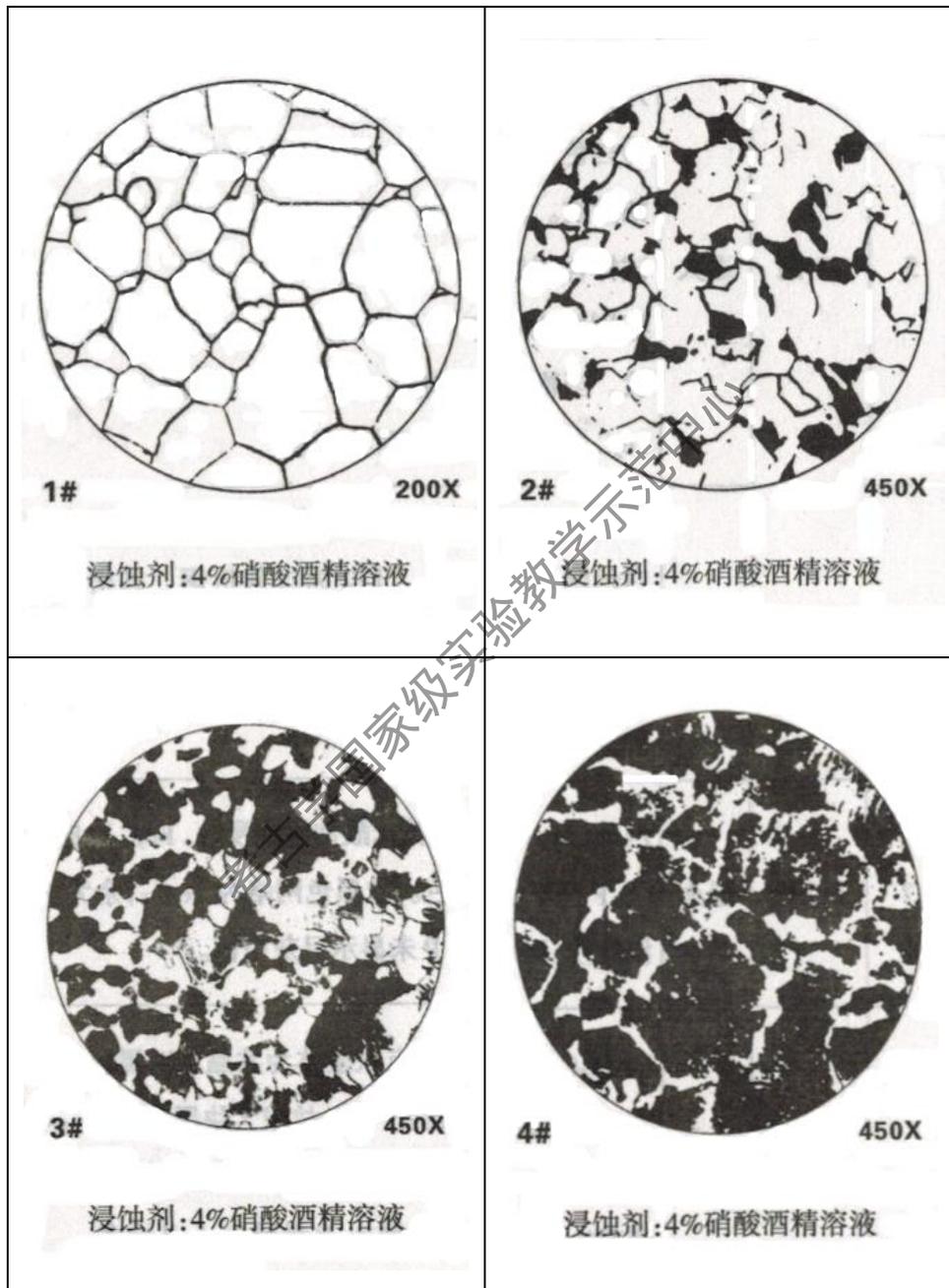
4、放大倍数。在显微镜下观察试样，放大倍数对组织形态粗细亦有很大的影响。例如 T8 钢的平衡组织 P，在中倍放大下观察，白色 F 与黑色 Fe<sub>3</sub>C，呈层片状相间排列；若在低倍下观察，由于受物镜分辨率的限制，其层片状模糊不清而成 S 了；若用高倍放大到 1500X 以上，渗碳体将变为白色，片厚也清晰可见了。可见，分析金相组织，放大倍数也是不可缺少的条件。

此外，分析金相图谱，可用明视场或暗视场，或偏光或相衬。通常，金相组织的观察、摄影，都是在明视场获得，金相照片一般都不标明。若用暗场、偏光、相衬等摄影得到的照片，都必须特别注明。

下面分十种类型展示常用金相图谱 86 种。

一、Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图平衡组织

序号	材料	状态	组织说明
1	工业纯铁	退火	F。白色等轴晶为 F 晶粒，黑色网络为晶粒之间的边界，即晶界。晶界原子排列不规则，自由能高，易浸蚀，形成凹槽，故呈黑色。其上有黑色小点的氧化物。
2	20 钢	退火	F+P。白色晶粒为 F，黑色块状为片状 P <sub>0</sub> ，放大倍数低，P 的层片结构未显示出来。20 钢含碳量低，F 占 76%，P 占 24%，所以显示出了黑色网络的 F 晶界。
3	45 钢	退火	F+P。白色晶粒为 F，黑色块状为片状 P。P 的片层结构，亦未明显显示。45 钢含碳量比 20 钢多，F 下降到 42.7%，P 增加到 57.3%。
4	65 钢	退火	F+P。黑色基体为片状 P。白色呈网络状分布的为 F。P 片层结构亦未明显显示。65 钢含碳量接近共析成分，基体组织中的 P 明显增加，已达 84%，F 量相应减少。F 仅为 16%。



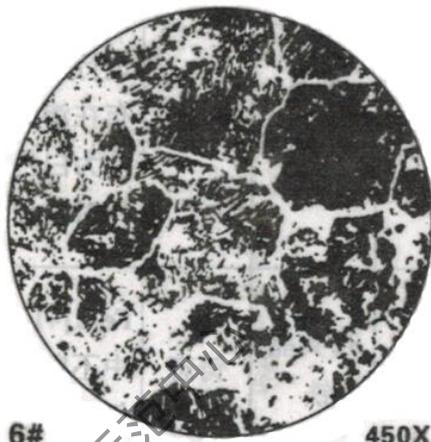
序号	材料	状态	组织说明
5	T8 钢	退火	片状 P。P 是 F 与 $Fe_3C$ 相间排列的机械混合物。F 为白色， $Fe_3C$ 为黑色，两者呈层片状相间排列，形如指纹。他是高温 A 进行共析反应的产物。有的试样含碳量偏下限，会有少量 F 出现。当物镜的鉴别能力小于 $Fe_3C$ 片层厚度， $Fe_3C$ 呈黑色片条状。当物镜的鉴别能力大于 $Fe_3C$ 片层厚度，则白色的 $Fe_3C$ 条片会明显的显示出来。
6	T12 钢	退火	$P+Fe_3C_{II}$ 。黑白相间的层片状基体为 P。晶界上的白色网络为 $Fe_3C_{II}$ 。T12 为过共析钢，共析反应前， $Fe_3C_{II}$ 首先沿 A 晶界呈网络状析出。嗣后，随着温度的下降到共析温度，发生共析反应，剩余 A 全部转变为片状 P。网状 $Fe_3C_{II}$ 可采用正火处理清除。
7	T12 钢	退火	$P+Fe_3C_{II}$ 。用碱性苦味酸钠溶液浸蚀。 $Fe_3C$ 染成黑色，F 仍保留白色。故黑色网络为 $Fe_3C_{II}$ ，余为 P。浸蚀浅，层片状 P 未显示呈灰白色。
8	亚共晶生铁	铸态	$P+Fe_3C_{II}+Ld'$ 。斑点状基体为共晶 $Ld'$ ，黑色枝晶为 P，系初生 A 转变产物，故成大块黑色。 $Fe_3C_{II}$ 与 $Ld'$ 中的 $Fe_3C$ 连成一片，均为白色，不能分辨。它随着生铁中含碳量增加，P 量减少， $Ld'$ 增多。



5#

800X

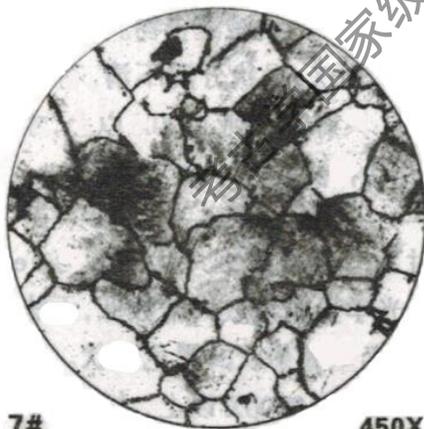
浸蚀剂:4%硝酸酒精溶液



6#

450X

浸蚀剂:4%硝酸酒精溶液



7#

450X

浸蚀剂:苦味酸碱性溶液



8#

200X

浸蚀剂:4%硝酸酒精溶液

序号	材料	状态	组织说明
9	共晶生铁	铸态	共晶 $L/d_0$ 是由 $P+Fe_3C_{II}+Fe_3C$ 组成。P 由共晶 A 进行共析转变而来，组织细小，成圆粒及长条分布在渗碳体基体上，为黑色。 $Fe_3C_{II}$ 与共晶 $Fe_3C$ 均为白色，连成一起，无法分辨。其 P 与 $Fe_3C$ 的相对含量为： $Fe_3C$ 60%，P 40%。
10	过共晶生铁	铸态	$Fe_3C_I+Ld'$ 。由于 $Fe_3C_I$ 首先结晶出来，结晶过程中不断成长，故呈白亮色粗大的板条状，而 $Ld'$ 仍为黑白相间的斑点状。

## 二、“C”曲线组织

序号	材料	状态	组织说明
11	T8	正火	S。细层片状 F 与 $Fe_3C$ 的机械混合物。光学显微镜放大倍数小于 600X，层状分辨不清，有如天空中黑淡的云彩。只有放大到 1500X 以上，才能分辨其 P 的层片状特征。
12	T8	等温淬火	T。T 是淬火时 A 分解成极薄片状的 F 与 $Fe_3C$ 的机械混合物，光学显微镜放大倍数低，无法分辨 T 的层片结构而呈墨菊状的黑色团状。只有在电子显微镜下放大 10000X 以上，才能显示片层状特征。T 是淬火而得的组织，总会保留部分淬火 M，由于浸蚀浅，M 形态未显示，与 Ar 同为白色。



9#

300X

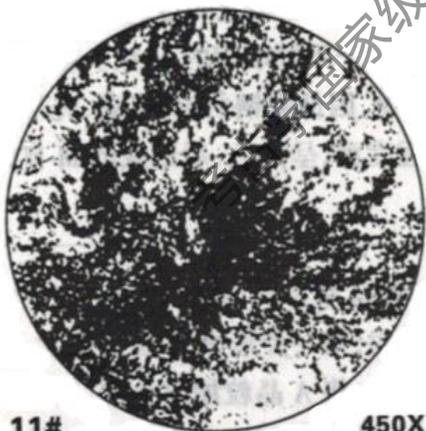
浸蚀剂:4%硝酸酒精溶液



10#

200X

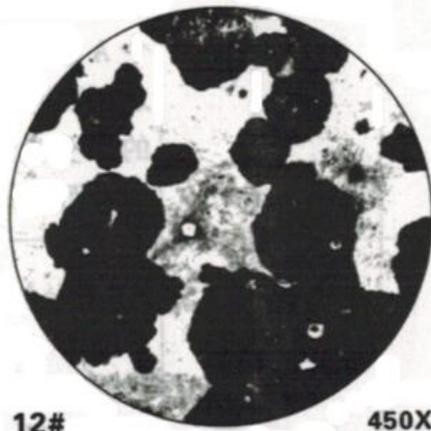
浸蚀剂:4%硝酸酒精溶液



11#

450X

浸蚀剂:4%硝酸酒精溶液



12#

450X

浸蚀剂:4%硝酸酒精溶液

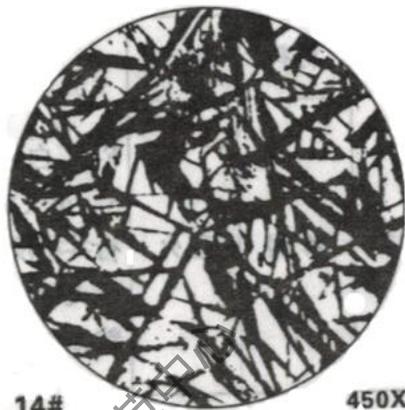
序号	材料	状态	组织说明
13	T8	等温淬火	B 上+M+A 残。B 上是由成束的大致平行排列的条状 F 与分布在 F 条间的断续 Fe <sub>3</sub> C 组成的非常层状组织。在光学金相显微镜下，成束的 F 条向 A 晶内伸展，具有羽毛状特征。F 与 Fe <sub>3</sub> C 两相分辨不清而成黑色，只有在电子显微镜下放大 8000X 以上，才能分辨出两相。等温淬火获得 B 上总会伴有淬火 M 和 Ar。B 上易浸蚀呈黑色，淬火 M 和 Ar 难浸蚀，浅浸蚀时呈白色。
14	T8	等温淬火	B 下+M+A 残。B 下是呈扁片状的过饱和 F 与分布在 F 内的短针状 Fe <sub>3</sub> C 的两相混合物。它比淬火 M 易受浸蚀，在光学显微镜下成黑色针状或竹叶状，只有在电子显微镜下放大 8000X 以上，才能分辨 F 内的 Fe <sub>3</sub> C。图中白色部分为淬火 M 和 A 残。
15	20	淬火	板条 M。尺寸大致相同的条状 M，定向平行排列，呈现黑白差的 M 束。束与束之间位向差较大，一个 A 晶内可形成几个不同取向的 M 束。板条 M 之所以呈现黑白差，因低碳钢的 Ms 点高，先形成的 M 受自回火程度重，呈黑色，后形成的 M 自回火轻而呈白色。
16	T8	淬火	片状 M+Ar。高碳 M 呈片状，片间互成一定的角度。在一个 A 晶内，第一片形成的 M 较粗大，往往贯穿整个 A 晶粒，将 A 晶粒加以分割，以后形成的 M 针，则被受其限制而逐渐变得细小，故片状 M，在同视场中有长短粗细之分。淬火 M 本为白色针状，Ar 为浅灰色。由于制样过程中造成回火，故马氏体呈浅黑色针状。



13#

450X

浸蚀剂:4%硝酸酒精溶液



14#

450X

浸蚀剂:4%硝酸酒精溶液



15#

450X

浸蚀剂:4%硝酸酒精溶液



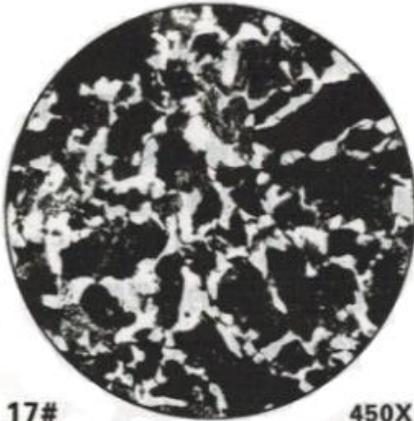
16#

450X

浸蚀剂:4%硝酸酒精溶液

## 三、45 钢与 T12 钢热处理组织

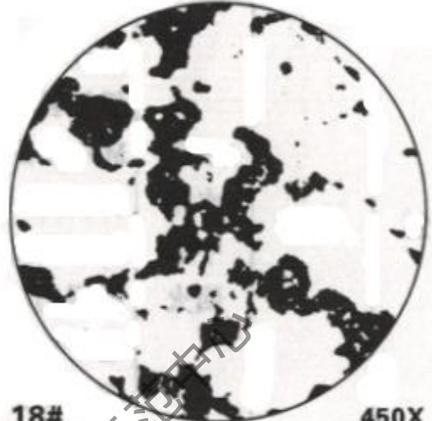
序号	材料	状态	组织说明
17	45 钢	正火	F+S。白色条块状为 F，沿晶界析出；黑色块状为 S。正火冷却块，F 得不到充分析出，含量少，进行共析反应的 A 增多，析出的 P 多而细。45 钢正火可以改善铸造或锻造后的组织，细化 A 晶粒，组织均匀化，提高钢的强度、硬度和韧性。
18	45 钢	油淬	M+T。沿晶界分布的黑色团体为 T，白色为淬火 M。油淬冷速慢，45 钢淬透性不够，不能全部获得 M，会析出少部分 T。T 易浸蚀，稍浸蚀即成黑色，淬火 M 难浸蚀而是白色。
19	45 钢	860℃水淬	中碳 M。M 成板条和针状混合分布。板条 M 较多，针状 M 的针叶两端较为圆钝。45 钢的 Ms 较高，先形成的 M 产生自回火，呈黑色，未自行回火的 M 呈白色。因而形成衬度。
20	45 钢	860℃水淬 低温回火	回火中碳 M。在 200℃以内回火，M 内的 Fe <sub>3</sub> C 析出，使 M 呈深黑色。极少量 Ar 完全转变。



17#

450X

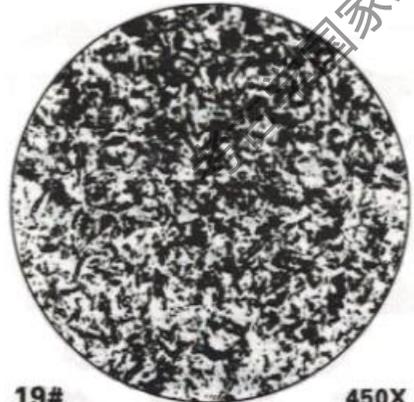
浸蚀剂:4%硝酸酒精溶液



18#

450X

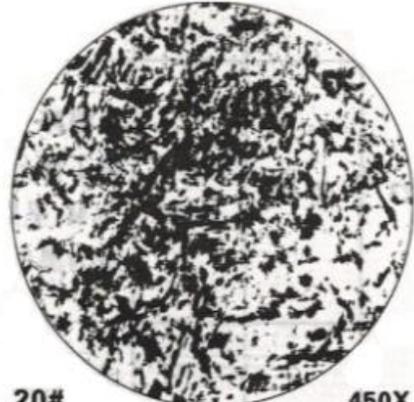
浸蚀剂:4%硝酸酒精溶液



19#

450X

浸蚀剂:4%硝酸酒精溶液



20#

450X

浸蚀剂:4%硝酸酒精溶液

序号	材料	状态	组织说明
21	45 钢	860℃水淬 中温回火	回火 T。回火 T 是从 M 分解出的 F 基体上分布极细粒状 Fe <sub>3</sub> C 的混合物组织。中温回火，促使 M 中析出的碳化物向针叶边缘集聚。呈极细颗粒状，在光学显微镜下不能分辨而呈黑色。而 M 的中心出现贫碳而呈白色。所以白色 F 片条状说明仍稍保持 M 位向。黑色的碳化物，只有在电子显微镜下才能分辨渗碳体质点，并可看出回火 T 仍然保存有针状 M 的位向。
22	45 钢	860℃水淬 高温回火	回火 S。回火 S 是 F 基体上分布细粒状 Fe <sub>3</sub> C 的混合物。回火温度增高，Fe <sub>3</sub> C 颗粒长大，其颗粒比回火 T 粗，但光学显微镜下仍不能分辨 Fe <sub>3</sub> C 颗粒。淬火得到的 M 通过高温回火，促使 M 中析出的碳化物向针叶边缘集聚，致使其易浸蚀呈黑色，而 M 中心贫碳呈灰白色。
23	45 钢	780℃水淬	亚温淬火组织 F+M。由于加热温度低于 AC <sub>3</sub> ，保留了部分 F，加热组织为 A+F。淬火后，A 转变为 M，呈黑色，F 不变，为白色。所以亚温淬火组织为黑色的 M 基体上，分布着白色块状 F。
24	45 钢	1100℃水淬	过热淬火组织 M 粗。由于加热温度过高，A 晶粒迅速长大，淬火后获得成排分布的粗大的中碳 M。不同的晶粒内，平行排列的 M 位向是不同的。



21#

450X

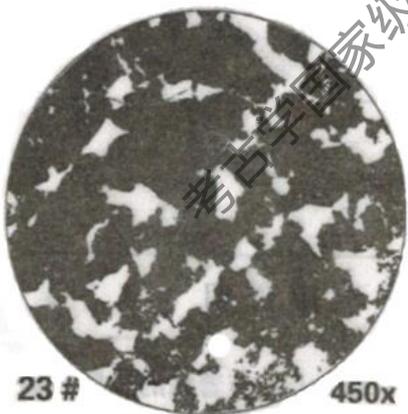
浸蚀剂:4%硝酸酒精溶液



22#

450X

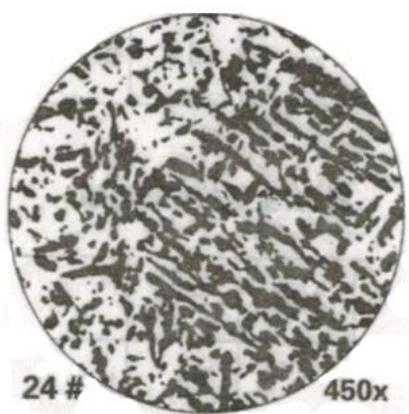
浸蚀剂:4%硝酸酒精溶液



23 #

450x

浸蚀剂:4%硝酸酒精溶液



24 #

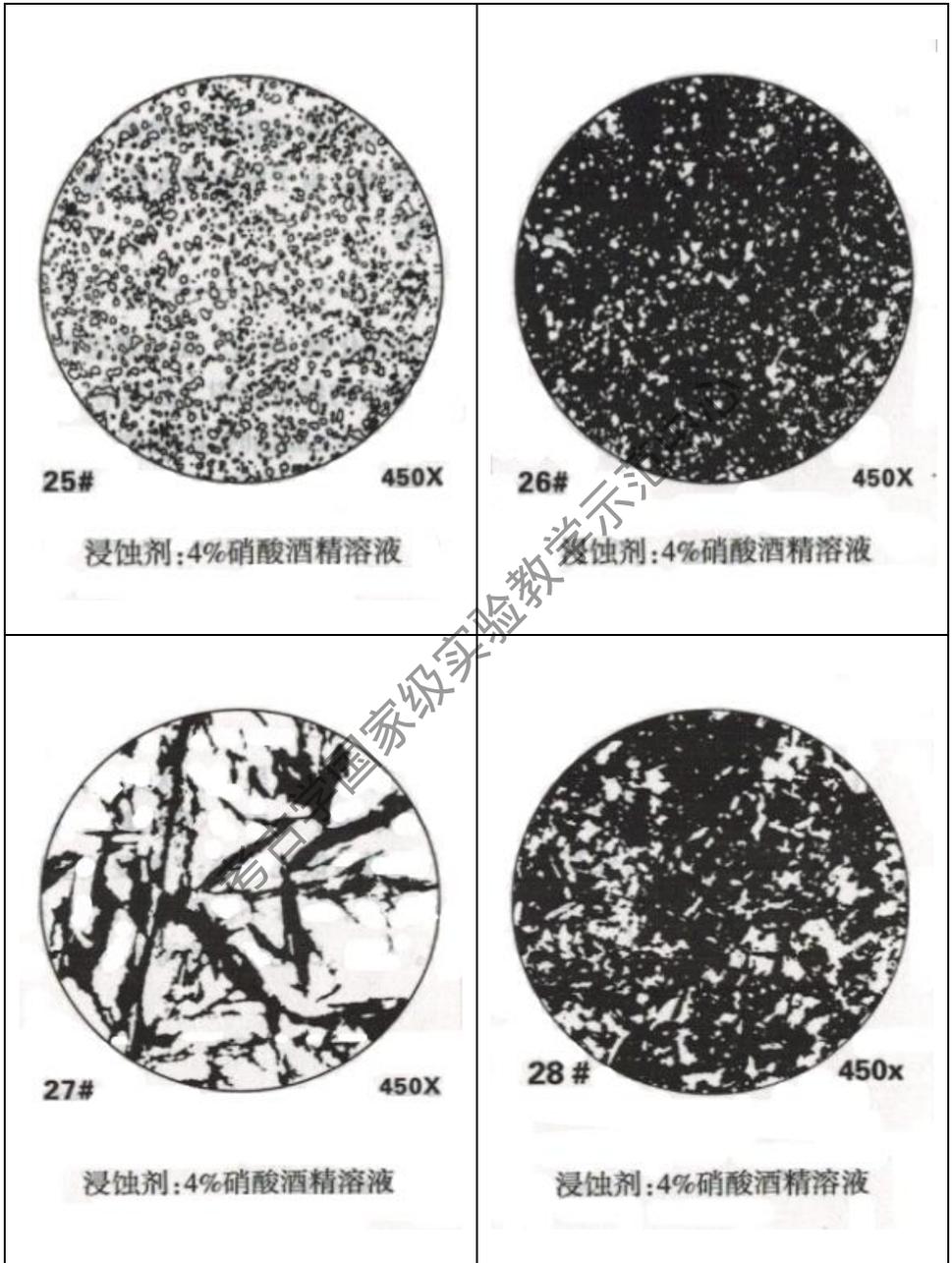
450x

浸蚀剂:4%硝酸酒精溶液

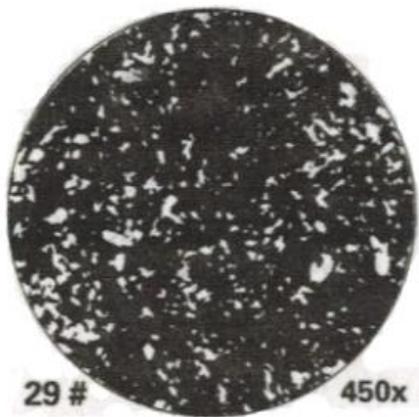
序号	材料	状态	组织说明
25	T12	球化退火	球状 P。是 F 基体上分布颗粒状 Fe <sub>3</sub> C。白色为 F 基体，白色小颗粒为 Fe <sub>3</sub> C。图中部分 Fe <sub>3</sub> C 颗粒较粗大。
26	T12	780℃水淬 低温回火	回火 M 和粒状 Fe <sub>3</sub> C。黑色为隐针状回火 M，白色颗粒为 Fe <sub>3</sub> CII。由于加热温度在 A <sub>3</sub> 在 A <sub>C1</sub> 之间，加热组织为 A+Fe <sub>3</sub> CII。淬火后晶粒细的 A 获得的 M 针亦细，Fe <sub>3</sub> CII 不变。回火后 M 成黑色，成为黑色回火 M 基体分布白色颗粒 Fe <sub>3</sub> CII。属正常淬火组织。若黑色 M 基体出现浅黄色，甚至有细针状 M，说明回火不充分。
27	T12	1100℃水淬 低温回火	过热淬火后的低温回火组织 M+Ar。由于加热温度过高，Fe <sub>3</sub> C 全部溶解于粗大的 A 中，淬回火后获得粗针状的黑色回火 M 体及灰白色的残留 Ar。

#### 四、合金钢热处理组织

序号	材料	状态	组织说明
28	40Cr	调质	回火 S。白色 F 基体上分布着细的浅黑色颗粒 Fe <sub>3</sub> C。当淬火温度较低时，合金碳化物难于完全溶于 A 中。因而在回火 S 中残存极少量的颗粒状合金碳化物。



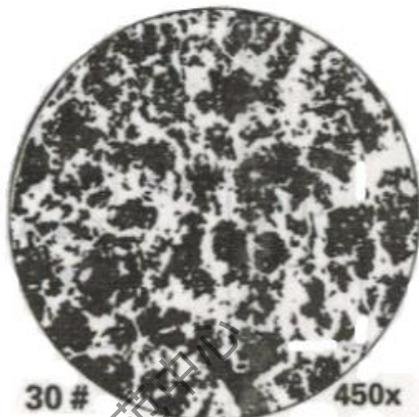
序号	材料	状态	组织说明
29	65Mn	淬火中温回火	回火 T。白色 F 基体上分布极细的黑色 Fe <sub>3</sub> C 颗粒，它仍保持 M 位向。由于放大倍数低，难于分辨渗碳体的形貌。
30	GCr15	常规淬火低温回火	回火 M 及细颗粒碳化物+A 残。M 分黑区和白区，是轴承钢淬火后的特有组织。白区在 A 晶界处呈网状分布。淬火加热时，碳化物在 A 晶界处首先溶解，使之含碳、碳量比晶内多，Ms 较低，淬火后获得以孪晶 M 为主的隐针 M 体，不易自回火，不易浸蚀而成白色；A 晶内的碳化物溶解少些，Ms 点较高，淬火时获得板条 M 为主的隐晶 M，易回火，易浸蚀呈黑色。白色细颗粒为加热时未溶的合金碳化物。
31	W18Cr4V	铸态	Ld'+T+M+Ar。共晶 Ld'呈鱼骨状分布，其中的共晶碳化物极难溶于 A 中，不能用热处理改变其形态，只能通过锻轧破碎；T 易浸蚀呈黑色，有黑色组织之称；M+Ar 不易浸蚀呈白色，有白色组织之称。黑色、白色组织均可通过退火、淬火消除。
32	W18Cr4V	退火	S+碳化物。基体为 S，放大倍数低，S 条间距离未显示，而呈暗色；白色块状为共晶碳化物，白色细小颗粒为二次碳化物。



29 #

450x

浸蚀剂:4%硝酸酒精溶液



30 #

450x

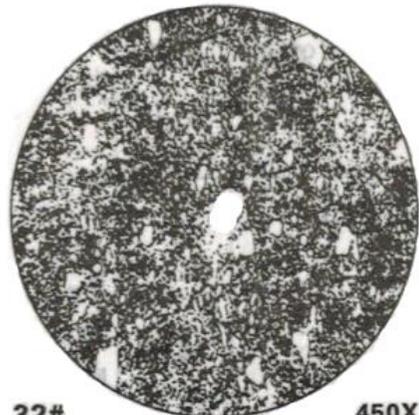
浸蚀剂:10%硝酸酒精溶液



31#

450X

浸蚀剂:10%硝酸酒精溶液

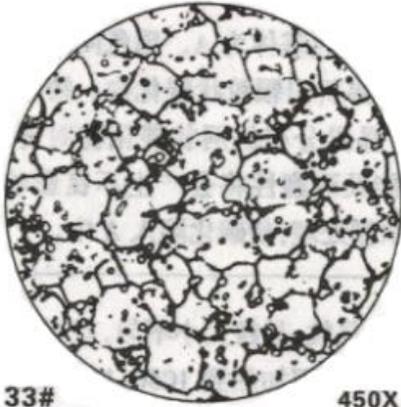


32#

450X

浸蚀剂:10%硝酸酒精溶液

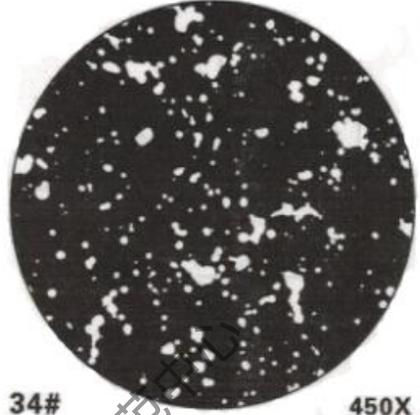
序号	材料	状态	组织说明
33	W18Cr4V	淬火	M+Ar+碳化物。白色基体为隐针状淬火 M 及 Ar。高速钢淬火后，Ar 高达 20-25%，故稍深浸蚀就可呈现黑色网络的 A 晶界；A 晶粒的粗细反应淬火加热温度的高低。白色大块为共晶碳化物，白色细小颗粒为二次碳化物。
34	W18Cr4V	淬火及回火	M+碳化物+A 残。黑色基体为回火 M+Ar，白色大块颗粒为共晶碳化物，细小颗粒为二次碳化物。
35	1Gr18Ni9 Ti	固溶处理	A <sub>2</sub> 。白色晶粒为 A 晶粒，部分晶粒呈孪晶，基体上黑色点状为碳化物，有的试样存在黑色成条状分布的硫化物夹杂。
36	30CrMnSi	等温淬火	B 粒。由灰白色 F 和它所包围的小岛状组织所组成。岛的形态多样，呈粒状或条状，很不规则。岛刚形成时为富碳 A，在随后的转变可以有三种情况：它可能是 F 和 Fe <sub>3</sub> C；也可能是发生 M 转变或者仍保持富碳 Ar。



33#

450X

浸蚀剂:10%硝酸酒精溶液



34#

450X

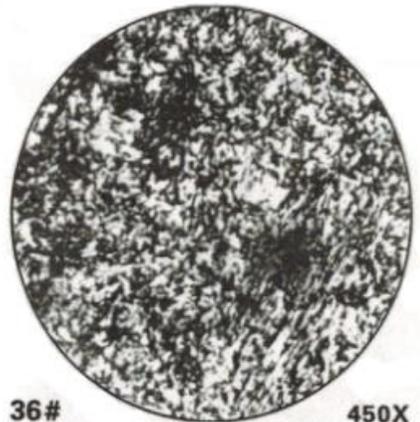
浸蚀剂:10%硝酸酒精溶液



35#

200 x

浸蚀剂:王水溶液



36#

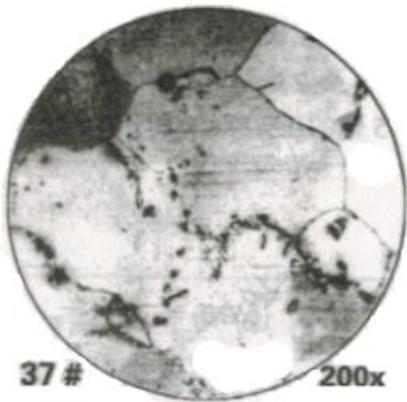
450X

浸蚀剂:4%硝酸酒精溶液

序号	材料	状态	组织说明
37	ZGMn13	铸态	A+碳化物。白色基体为 A，黑色网络为晶界，沿 A 晶界析出颗粒状碳化物。铸态高 Mn 钢沿 A 晶界分布的网状碳化物对铸件的机械性能及耐磨性将会产生不良影响。必须经过水韧处理，使碳化物溶于 A 中。
38	ZGMn13	水韧处理	A。全部为 A 晶粒，晶粒大小不匀，有孪晶变形。铸态高 Mn 钢加热到 1050-1100℃，使碳化物溶于基体，迅速冷却，获得单一 A。具有良好的韧性，工作在承受较大的冲击载荷时，发挥出高耐磨性的特点。

## 五、钢的化学热处理组织

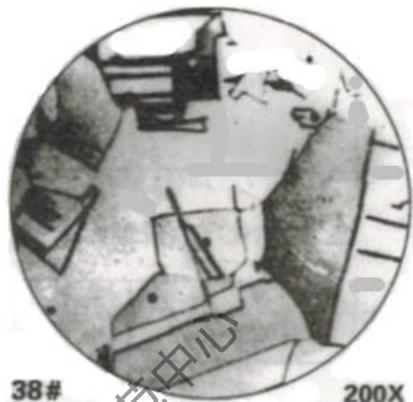
序号	材料	状态	组织说明
39	20 钢	渗碳后退火	正常渗碳的平衡组织。最表层为过共析层，黑色基体为 P，白色网络为 Fe <sub>3</sub> CII；次表层为共析层，全部为黑色片状 P；第三层为亚共析过渡层，含碳量逐步下降，一直到心部，其组织特征，白色 F 逐渐增多，P 相应减少，一直到 20 钢原始组织。
40	40Cr	调质软氮化	软氮化组织。白色表层为多相化合物层，其结构一般为：Fe <sub>4</sub> N、Fe <sub>3</sub> N、CrN 的混合组织。比较致密，余为回火索氏体。



37 #

200x

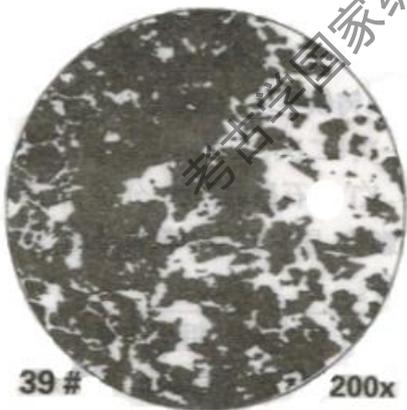
浸蚀剂:王水溶液



38 #

200X

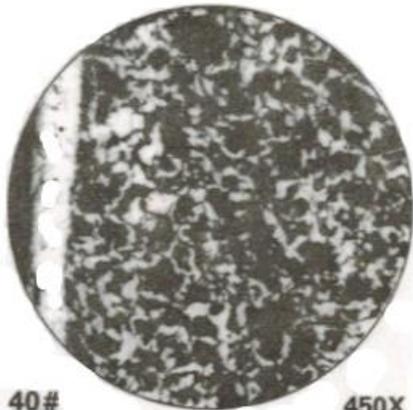
浸蚀剂:王水溶液



39 #

200x

浸蚀剂:4%硝酸酒精溶液



40 #

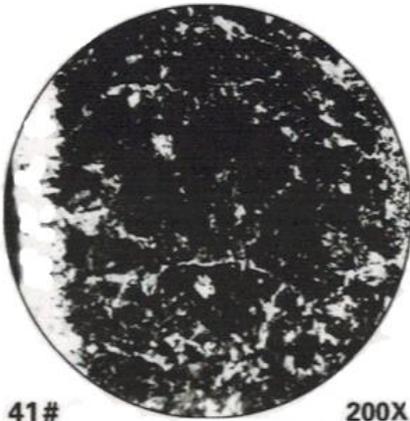
450X

浸蚀剂:4%硝酸酒精溶液

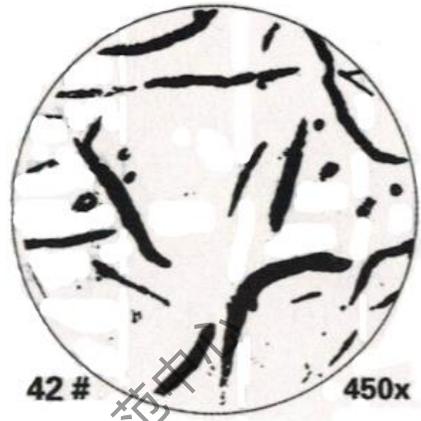
序号	材料	状态	组织说明
41	45 钢	渗硼后空冷	渗 B 组织。表层白色为硼化物 Fe <sub>2</sub> B 相，呈现齿形楔入基体中；次层过渡层为扩散增碳层，基体为 S 及少量沿晶界呈条状分布的 F；心部为 45 钢的正火组织，即 S+F。

## 六、铸铁热处理组织

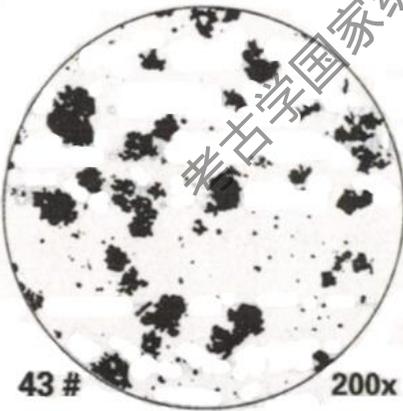
序号	材料	状态	组织说明
42	灰口铸铁	铸态	HT 的石墨形态。黑色片状组织为石墨，因未作浸蚀，故基本未显示，呈白色。金相观察石墨以单独的片状，散布在基体上，它们是分开的，互不联系的。HT 的片状石墨的长度各不相同，性能存在差异，因此，根据使用要求，在工艺上对石墨形态及长度进行控制。国家标准，按石墨形状分为 6 种，石墨长度分为 8 级。
43	可锻铸铁	退火	KT 的石墨形态。黑色团絮状组织为石墨，类似棉絮，外形较为规则。未浸蚀，基体未显示为白色。KT 是由白口铸铁生坯。通过退火的固态石墨化处理，使一次、二次、三次渗碳体经过充分的石墨化而得。KT 中石墨的形状、分布、数量对性能有明显的影响。国家标准中都有分级，作为金相验收的条件。
44	球墨铸铁	铸态	QT 的石墨的形态。黑色球状组织为石墨，在低倍下近似圆形。在高倍下为多边形，周围凹凸。因未浸蚀，基体未显示，呈白色。QT 的熔炼是向铸铁水中加入稀土镁球化剂和硅铁孕育剂而得，其质量一般以球化率来评定，可按规定标准进行，它分为六级。



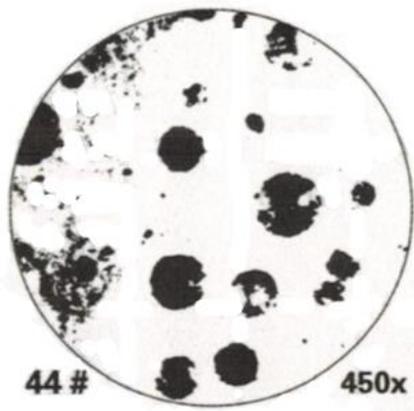
浸蚀剂:4%硝酸酒精溶液



未浸蚀



未浸蚀

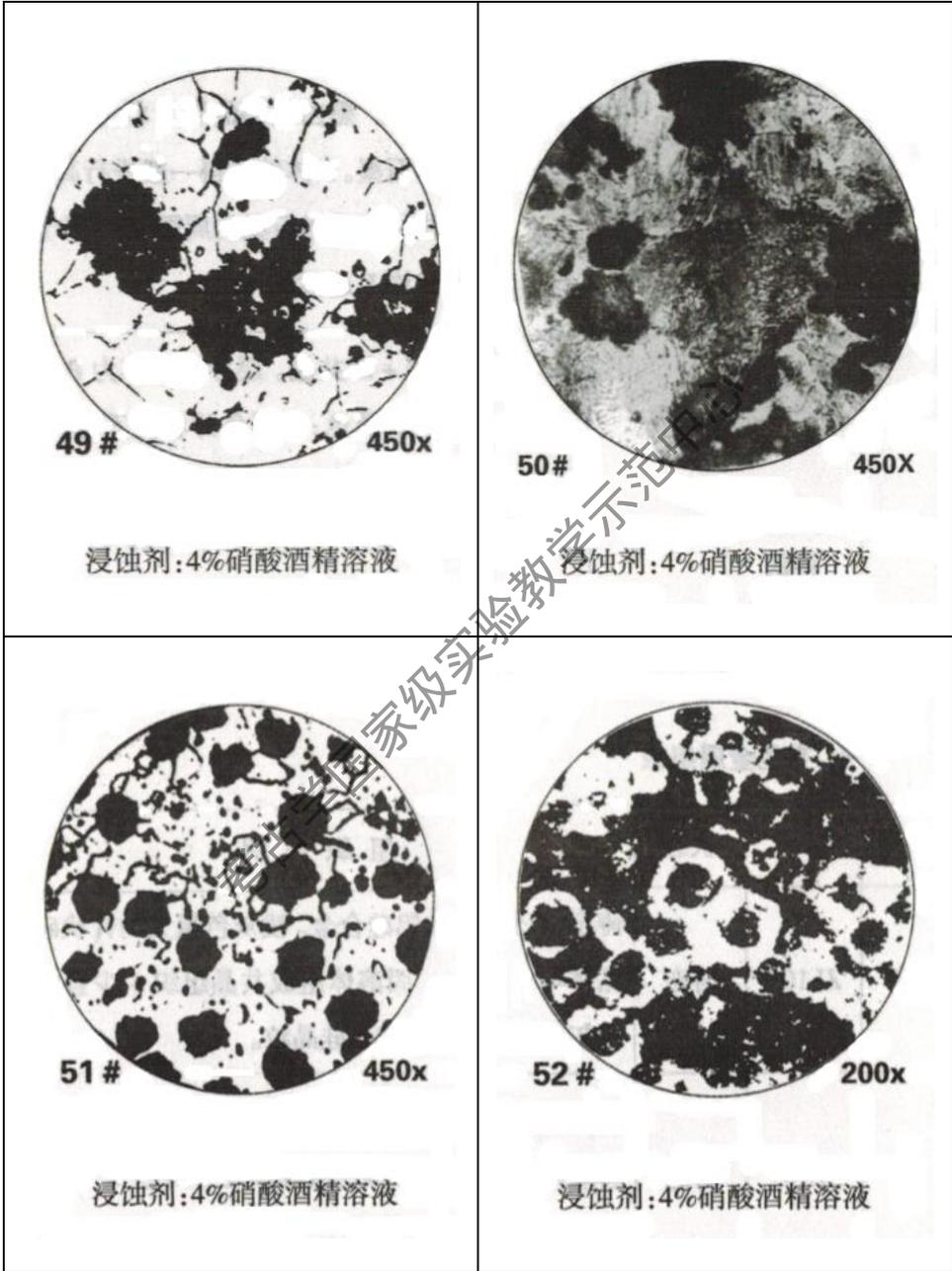


未浸蚀

序号	材料	状态	组织说明
45	蠕墨铸铁	铸铁	蠕墨铸铁的石墨形态。蠕墨铸铁的石墨结构处于片状石墨和球状石墨之间，其特征石墨的长与厚之比值较小，片厚短，两端部圆钝。图中黑色蠕虫状者即是。未浸蚀，基体未显示为白色。蠕墨铸铁是在铁水中加入蠕化剂硅铁合金或硅钙合金而得。生产中石墨蠕化过程有波动会出现少量球状，团状，片状等非蠕虫状石墨，对于蠕墨铸铁，石墨的蠕化率是主要技术指标，蠕化率共分为9级。
46	灰口铸铁 HT100	退火	F基灰口铁。基体F为白色，并显示黑色网络晶界，F基体上分布着黑色的片状石墨。F灰口铁一般是经过高温石墨化退火，使渗碳体分解成F和石墨。当分解不充分时会存在极少量的P。
47	灰口铸铁 HT150	铸态	F+P基灰口铁。P呈黑色层片状，F分布于片状石墨两侧呈白色，片状石墨为黑灰色。F+P基灰口铁，亦可采用低温石墨化通火获得。即将工件加热到720-760℃，保温2h左右，炉冷到300℃出炉空冷。
48	灰口铸铁 HT200	正火	P基灰口铁。灰黑的长片为石墨，基体为灰黑色较细的片状珠光体。它是正火加热空冷时，A在共析转变时析出的，较细。铸造状态亦可获得P基的HT，但常有在石墨周围析出的块状F，有的分布着不规则块状的黑色点状磷共晶。



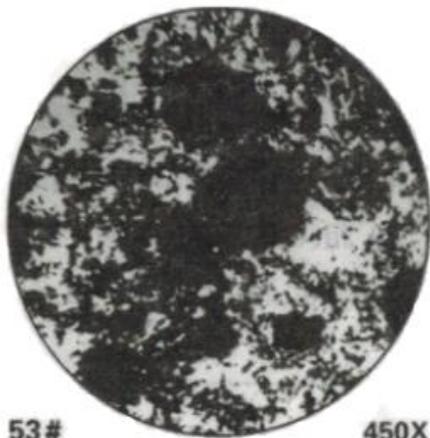
序号	材料	状态	组织说明
49	可锻铸铁 KT350-10	退火	F基可锻铸铁。基体为F，呈白色，有明显的黑色F网络晶界。黑色团絮状为退火时析出的石墨，灰黑色细小颗粒多为硫化物夹杂。F可锻铸铁是第一阶段高温及第二阶段中温退火都较充分，使基体中的渗碳体完全分解析出石墨碳，而基体贫碳，冷却后获得全部为F的基体组织。
50	可锻铸铁 KT550-04	第一阶段石墨化退火	P基可锻铸铁。基体P呈黑白相间的层片状。有的有小量白色F，黑色团絮状为石墨。P可锻铸铁是在将白口铁坯料进行第一阶段高温石墨化退火后，不再经第二阶段石墨化退火而出炉空冷获得的组织。
51	球墨铸铁 QT400-15	退火	F基球墨铸铁。白色基体为F，黑色网络为F晶界，黑色球状为石墨。共晶团晶界处的锰磷元素偏析，且含碳量较高，又稳定，不易石墨化，导致残存极少量P。当铸态组织中不仅有P，而且有自由渗碳体时，进行高温退火。若铸态组织仅为F+P，没有自由渗碳体，则低温退火。
52	球墨铸铁 QT500-5	铸态	F+P基球墨铸铁。黑色球状为石墨，白色F环绕于球状石墨周围，成为牛眼状的组织。球状石墨在液态金属中析出时，球状周围的A中含碳量显然较低，含硅量高，因此在冷却过程中沿着石墨球容易析出F。F+P亦可通过低温（低于AC3）正火获得，但F为块状的，称为破碎状F。



序号	材料	状态	组织说明
53	球墨铸铁 QT700-2	正火	P 基球墨铸铁。黑白相间的层片状为 P，灰黑色球状为石墨。P 体的获得一般进行高温正火。但往往在球状石墨的周围，含有少量的 F，一般不允许 F 超过 15%。
54	高磷铸铁	铸态	P+片状石墨+磷共晶。层片状基体为 P，由于深浸蚀而成黑色；灰黑色片状为石墨，白色棱角状为磷共晶。磷共晶沿晶界分布，形似网孔，相互连接构成坚硬的骨架。在摩擦时，石墨及基体被磨损而凹陷，可储存润滑油，起减摩作用；网状磷共晶凸起，承受摩擦，从而使零件耐磨性提高。

## 七、有色金属组织

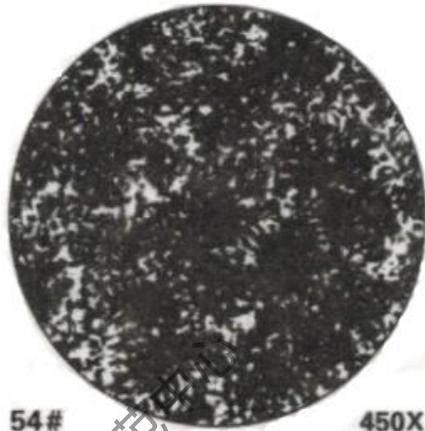
序号	材料	状态	组织说明
55	ZL102	铸态	铸态未变质的铝硅合金，浅灰色粗大的针状硅晶体与白色 $\alpha$ 固溶体组成共晶组织+少量的浅灰色多边形的初晶硅晶粒。
56	ZL102	铸态	已变质的铝硅合金。白色枝晶状组织为初生 $\alpha$ 固溶体，其余为灰黑色细粒状硅与白色 $\alpha$ 固溶体组成的共晶组织。



53#

450X

浸蚀剂:4%硝酸酒精溶液



54#

450X

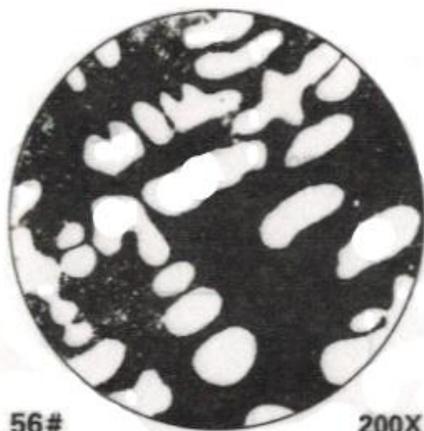
浸蚀剂:4%硝酸酒精溶液



55#

200X

浸蚀剂:混合酸水溶液

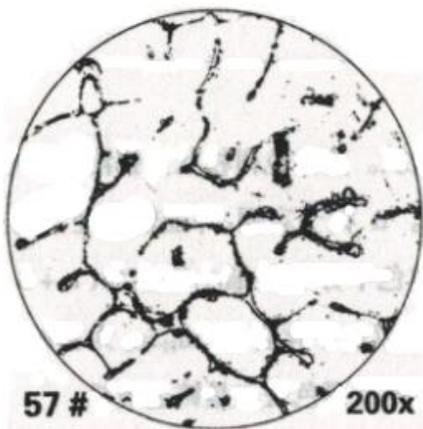


56#

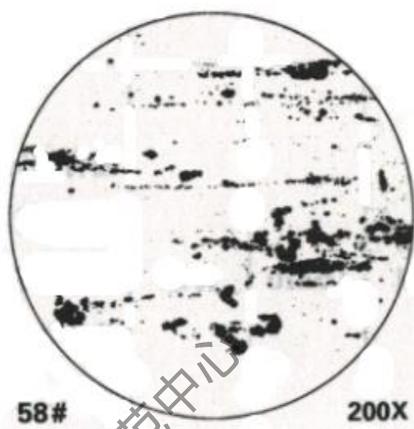
200X

浸蚀剂:混合酸水溶液

序号	材料	状态	组织说明
57	LY12	铸态	硬铝的铸造组织。白色为 $\alpha$ (Al) 基体与深黑色的 [ $\alpha$ (Al) + $\theta$ 相 (CuAl <sub>2</sub> ) +S 相 (Al <sub>2</sub> CuMg)]三元共晶及[ $\alpha$ (Al) + $\theta$ 相 (CuAl <sub>2</sub> )]二元共晶。三元、二元共晶均呈网络分布，难于分辨。
58	LY12	时效板材	硬铝的时效组织。白色 $\alpha$ (Al) 基体上分布黑色 $\theta$ 相 (CuAl <sub>2</sub> ) 及 S 相 (Al <sub>2</sub> CuMg) 强化相质点。因沿板材纵向取样，故强化相质点沿纵向分布。有的试样未作纵向样品，强化相质点在断面弥散分布。
59	H70	变形退火	单相黄铜组织。为锌溶于铜中的 $\alpha$ 固溶体等轴晶粒。有的晶粒含有孪晶。
60	H62	退火	双相黄铜组织。白色部分为 $\alpha$ 固溶体基体，黑色条块状是以电子化合物 CuZn 为基的 $\beta$ 固溶体。浸蚀浅 $\alpha$ 相晶界未显示。



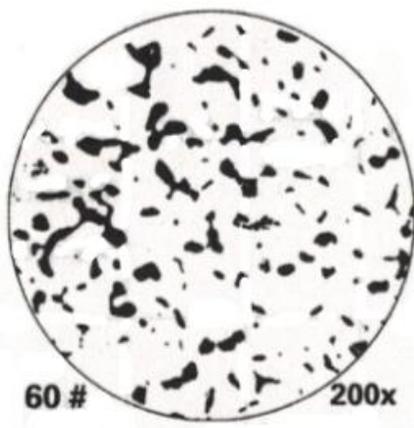
浸蚀剂:混合酸水溶液



浸蚀剂:混合酸水溶液

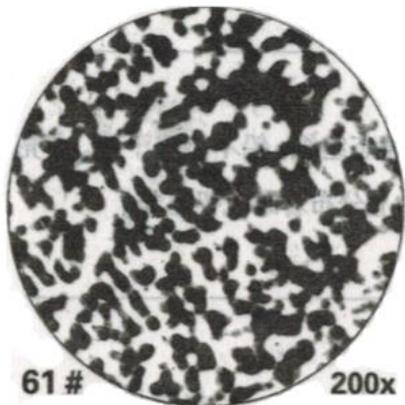


浸蚀剂:氯化铁盐酸水溶液

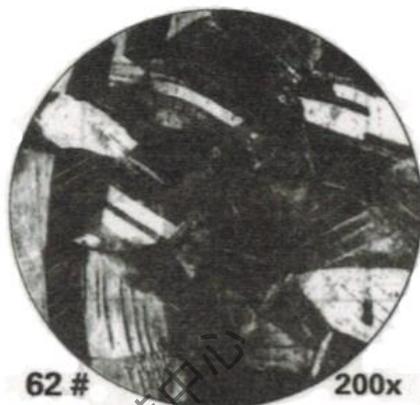


浸蚀剂:氯化铁盐酸水溶液

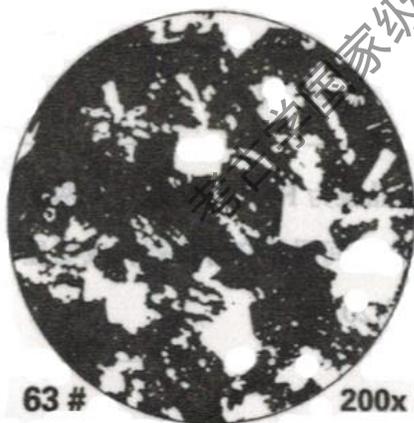
序号	材料	状态	组织说明
61	QSn10	铸态	锡青铜铸态组织。亮白色树枝状为锡溶于铜中的 $\alpha$ 固溶体。A 树干富铜，外围较黑处富锡；树枝间隙处白色中分布很细小的点为 $(\alpha+\delta)$ 共析体。 $\delta$ 是以电子化合物 $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ 为基的固溶体。有的试样有黑色斑点是铸造疏松。
62	QSn10	挤压棒	$\alpha$ 固溶体单相组织，晶粒内有滑移带。
63	锡基轴承合金	铸态	$\alpha+\beta'+\eta$ 组织。基体为锡在铜中的 $\alpha$ 固溶体，易浸蚀呈黑色，白色方块为 $\beta'$ 相，是以 $\text{SnSb}$ 为基的有序固溶体，难浸蚀。颗粒较小，较难浸蚀呈白色星状或放射针状的为 $\eta$ 相，即 $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ 亦难浸蚀。
64	锡基轴承合金	铸态	$\beta+(\alpha(\text{Pb})+\beta)$ 共+ $\text{Cu}_2\text{Sb}$ 组织白色方块为 $\beta$ 相 ( $\text{SnSb}$ ) 硬质点，部分针状为铜锡化合物 ( $\text{Cu}_2\text{Sb}$ )，其余为 $(\alpha(\text{Pb})+\beta)$ 共晶软基体。



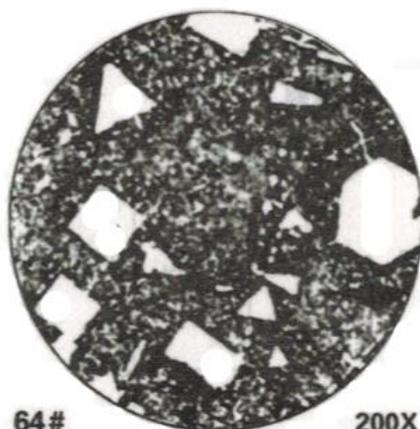
浸蚀剂:氯化铁盐酸水溶液



浸蚀剂:氯化铁盐酸水溶液



浸蚀剂:4%硝酸酒精溶液



浸蚀剂:4%硝酸酒精溶液

序号	材料	状态	组织说明
65	QPb30	铸态	铅青铜的铸态组织。铅不能溶于铜。白亮色的 $\alpha$ (Cu) 上分布着暗色铅晶粒。
66	TC4	退火	( $\alpha+\beta$ ) 双相钛合金。白色条片状为 $\alpha$ 固溶体，条间黑色为 $\beta$ 固溶体， $\alpha$ 片交错排列，犹如编织的网篮球，称为网篮组织。

## 八、钢的缺陷组织

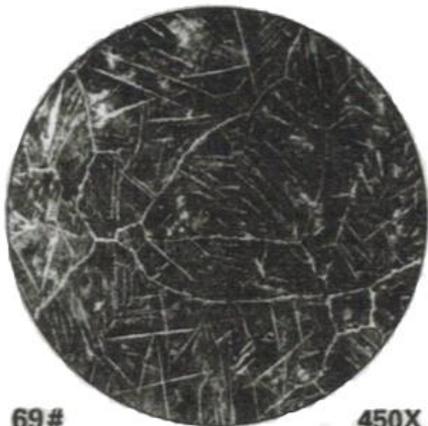
序号	材料	状态	组织说明
67	45 钢	锻轧	带状组织。白色晶粒为 F，黑色块状为 P，两者沿变形方向呈黑白相间层状交替排列，成明显带状。有的试样是 20 钢。
68	ZG30	铸态	低碳魏氏体。白色针状、块状为 F，黑色为 P。白色 F 针插入黑色 P 晶内，呈严重魏氏体组织。



序号	材料	状态	组织说明
69	T13	过热正火	高碳魏氏体。黑色块状为 P，白色网络为 Fe <sub>3</sub> C，Fe <sub>3</sub> C 呈针状插入、甚至穿透 P 晶粒。
70	工业纯铁	冷轧	纤维状组织。压缩量达 70% 以上。F 晶粒沿变形方向伸长，晶粒内被许多滑移带分割成细小的小块，F 晶界与滑移带分辨不清，呈纤维状组织。

### 九、补充组织 7 种

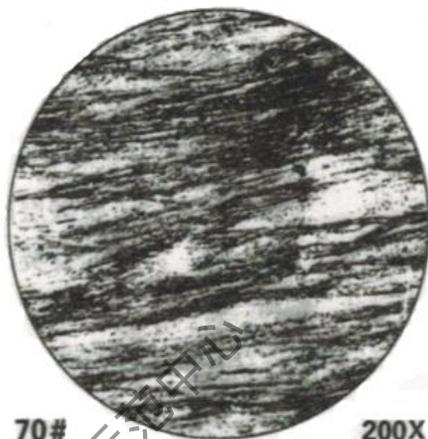
序号	材料	状态	组织说明
71	A3 钢	电弧焊	焊接组织。左侧焊缝区为 F+P，沿散热方向呈柱状晶；紧邻焊缝区的过热区，A 晶粒粗大，呈魏氏组织；随后，受热温度降低到正火区，为细小的 F+P。逐渐过渡到母材退火的原始组织 F+P。
72	铁基粉末冶金	压制烧结	铁素体+珠光体+孔隙。白色基体为铁素体，黑色粗片状为珠光体，极少量条状渗碳体，黑色颗粒为孔隙。



69#

450X

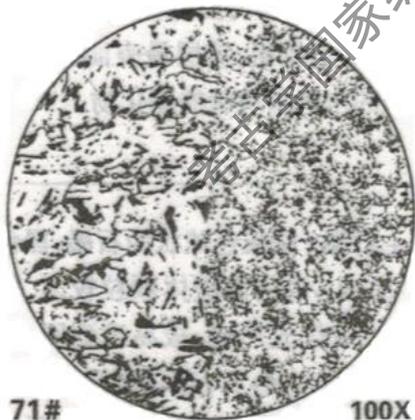
浸蚀剂:4%硝酸酒精溶液



70#

200X

浸蚀剂:氯化铁盐酸水溶液



71#

100X

浸蚀剂:4%硝酸酒精溶液

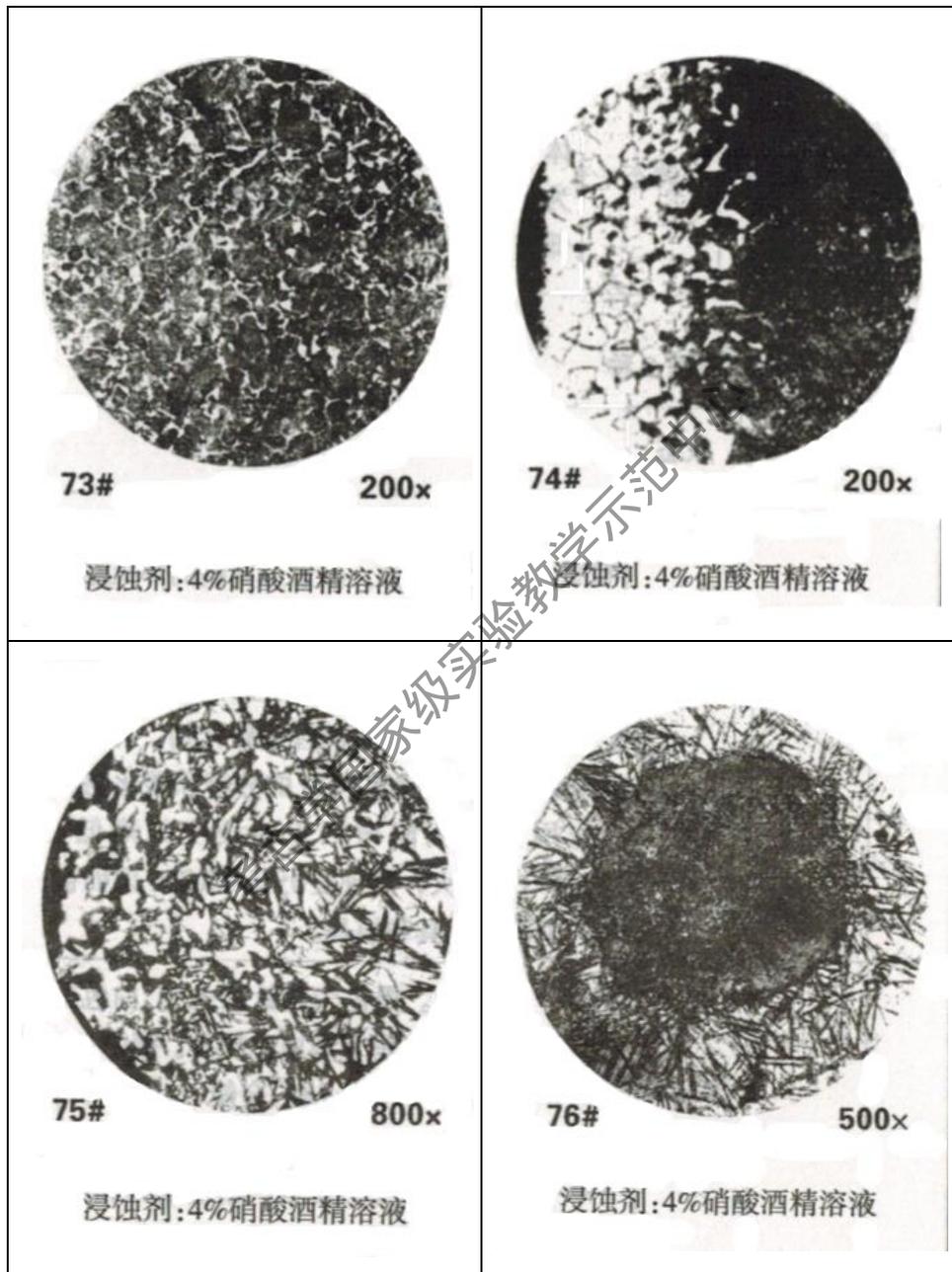


72#

450x

浸蚀剂:4%硝酸酒精溶液

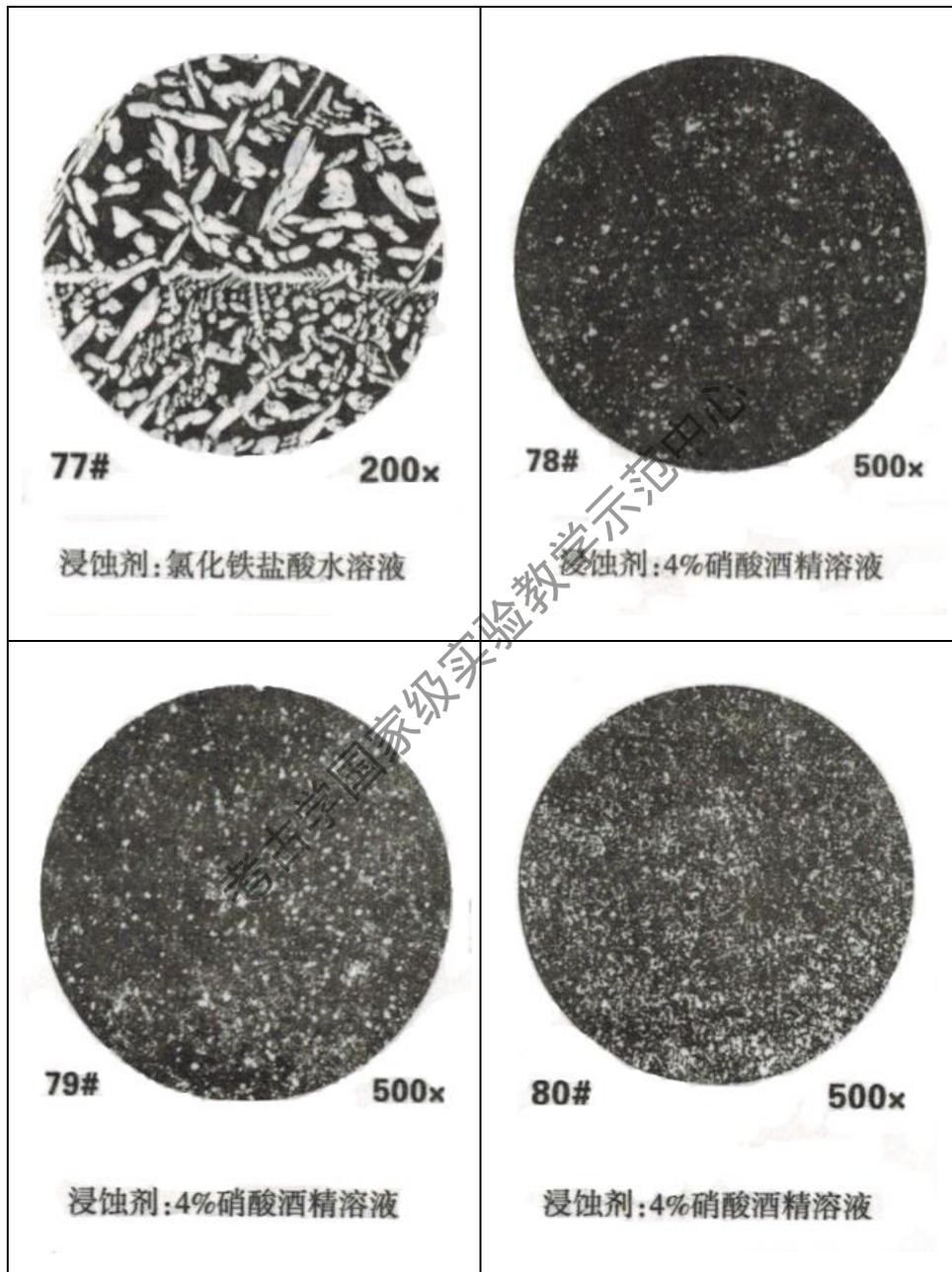
序号	材料	状态	组织说明
73	T12 钢	正火	P+Fe <sub>3</sub> CII。基体为黑色 P，白色小块状为 Fe <sub>3</sub> CII，原始材料中的 Fe <sub>3</sub> CII 网络已消除。
74	T8 钢	退火	脱碳层的显微组织。按其脱碳严重程度分为两种类型。一种为表面脱碳严重，出现全脱碳层，最表层为白色 F，深浸蚀还呈现 F 晶界；次表层为 F 及片状 P，随着向心 P 深入，F 减少，P 增多，直到没有脱碳的全部 P 为止。另一种表面只有部分脱碳层，组织为 F+P，次层为 P。本图谱表面为全脱碳层。
75	20CrMnTi	渗碳、降温 淬火，低温 回火	表层为过共析钢渗碳层的淬回火组织。M 回+A 残+碳化物。基体为针状 M 回火+Ar，在长时间高温渗碳后，晶粒粗大，虽降温到 860℃油冷，黑色 M 回针叶仍较粗，渗层最表面有较多的呈聚集分布的白色条块状的碳化物。
76	QT900-2	900℃加热 等温淬火	B 下+M+A 残+石墨。深灰色球状为石墨，黑色细针状为 B 下。B 下内的渗碳体颗粒较多，较细，又在球墨边缘优先形成，极易遭到回火，易浸蚀成黑色。淬火 M+A 残基体因浸蚀浅呈白色。对一些要求综合机械性能较高，外形比较复杂的截面尺寸不大的工件，可采用等温淬火获得 B 下组织。



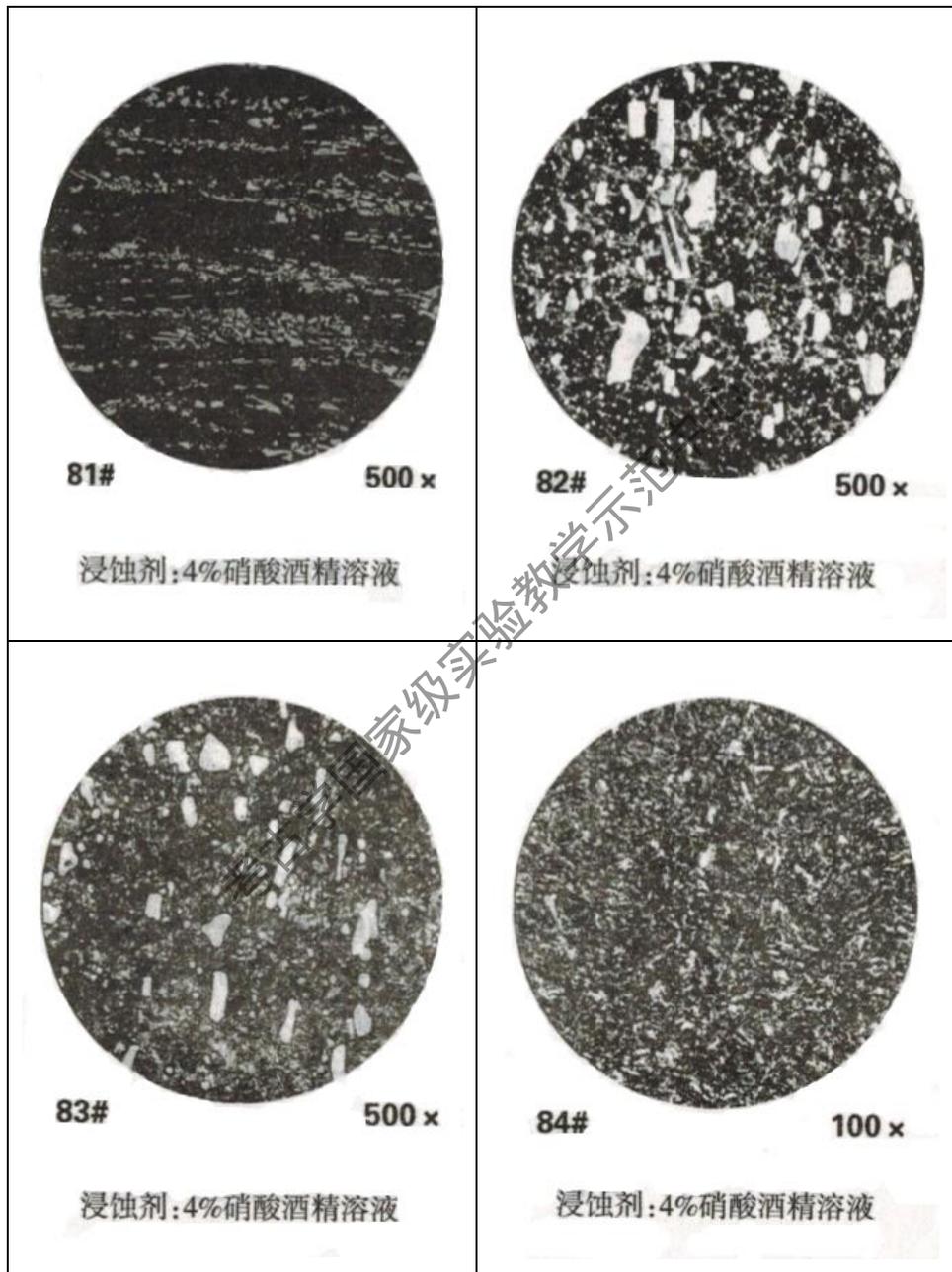
序号	材料	状态	组织说明
77	铝青铜	铸态	$\alpha + (\alpha + \gamma_2)$ 共析体。 $\alpha$ 相是以 Cu 为基的固溶体为白色； $\gamma_2$ 相是以电子化合物 $\text{Cu}_{32}\text{Al}_{19}$ 为基的固溶体。 $(\alpha + \gamma_2)$ 共析体很细为黑色，低倍时分辨不清，另有少量的黑点为 $\text{FeAl}_3$ 。

## 十、模具钢组织 9 种

序号	材料	状态	组织说明
78	T10 钢	780℃ 淬火+低温回火	M+A 残，灰黑色基体为 M 回火+少量 A 残，白色颗粒状为二次渗碳体。碳素工具钢的淬火温度一般选在 780-800℃ 之间。这时 A 晶粒细小淬火后获得细针状 M，并且原球化退火的碳化颗粒仍残留一部分于 M 基体上，增加耐磨性。
79	9CrSi	淬火+低温回火	M 回火+碳化物，极细的黑色针状为低温回火 M，白色颗粒为未溶解的合金碳化物。9CrSi 钢，Si 能强化 F，阻碍淬火 M 的分解和碳化物的聚集作用，因而阻碍回火时硬度的降低，经 250-300℃ 回火，其硬度仍有 HRC60 因而被广泛用来制造工具和模具。
80	CrWMn	淬火+低温回火	M 回火+碳化物。黑色为隐针回火 M，白色颗粒为合金碳化物，有呈现黑白色现象。钢中 Mn 能使 Ms 点强烈下降，淬火时，会使 A 残增多，可抵消 M 形成时产生体积膨胀，减少淬火后的总变形量，有利于制造变形要求严格的模具和刀具。但碳化物不均匀性较严重，常常是模具和刀具，剥落脆断的主要原因。



序号	材料	状态	组织说明
81	Cr12	原材料经淬火+低温回火，取纵向试样	基体为黑色回火 M+A 残，及白色块粒状碳化物。Cr12 属口氏体钢，基体中共晶碳化物数量多，不均匀性较严重，钢坯纵向组织常呈网状、带状分布，严重时需改锻。
82	Cr12	淬火+低温回火	M 回火+A 残+碳化物。黑色基体为回火 M+少量 A 残，白色大块状为共晶碳化物，白色颗粒为二次碳化物。Cr12 钢含 Cr 量高，淬透性大，与碳成形的 Cr7C3 合金碳化物硬度很高，极大的增加了钢的耐磨性，淬火时 Cr 使 A 残增多，可抵消一部分因 M 转变产生的体积膨胀，淬火变形极小，属于微变形钢。因此 Cr12 钢应用于模具，使用极广。但是，钢中含碳高达 2.3%，碳化物多，若分配不均，或回火不充分，模具极易早期剥落或脆裂失效。
83	Cr12MoV	淬火+低温回火	M 回火+A 残+碳化物。黑色基体为回火 M+A 残，白色大块状为共晶碳化物，细小颗粒为二次碳化物。Cr12MoV 钢与 Cr12 相比含碳量降低，又加入了 Mo、V 元素，除改善淬透性和回火稳定性外，尚能细化晶粒，改善碳化物不均匀性，从而提高其强度，韧性和耐磨性。
84	5CrMnMo	淬火+460℃回火	T 回火。即白色 F 与黑色极细碳化的混合组织。5CrMnMo 淬火获得针状 M，再通过中温回火，促使 M 中析出的碳化物向针叶边缘聚集，易侵蚀而成黑色；而针叶 M 中心贫碳转变成灰白色 F。5CrMnMo 常用作中、小型热作模具。



序号	材料	状态	组织说明
85	3Cr2W8V	1120℃淬火 +580℃回火 两次	M 回火+A 残+碳化物。基体为黑色细小的回火 M+A 残少量，及未溶的白色细小碳化物。 3Cr2W8V 含有较高的合金元素，淬透性好，高温下具有较高的强度与硬度，适用于制造高温下要求高应力、高耐磨而不受冲击负荷的热作模具。但钢的韧性塑性较差，抗冷热疲劳性能差。
86	T8 钢	渗 Cr 后空 冷	基体为细 P 及小量碳化物。表层白色为 Cr 的碳化物，结构为 (Cr, Fe) 7C3。T8 钢渗 Cr 显微硬度达 1404~1482，高于渗碳、氮化、渗硼层，有高的耐磨性，并有好的抗氧化性和耐蚀性，在冷作、热作模具上应用，均有提高寿命的效果。

## 十一、电子金相组织

序号	材料	状态	组织说明
87	T8	退火	P。深灰色基体为 F，白亮条状为 Fe <sub>3</sub> C。深黑色围边为 Fe <sub>3</sub> C 与 F 交界线。电镜的高倍加大，分辨了 Fe <sub>3</sub> C 的条宽与间距。
88	T8	正火	S。灰白色基体为 F，白亮细长条为 Fe <sub>3</sub> C。电镜的高倍放大，不仅分清了 P 层片间距，而且呈现了亮白色 Fe <sub>3</sub> C 的条宽。



85#

500 x

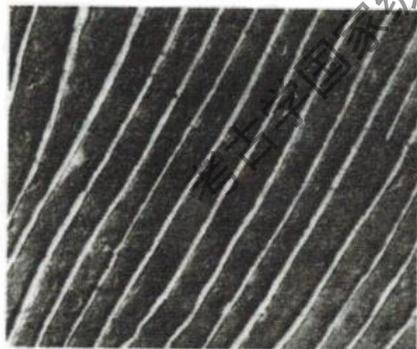
浸蚀剂:4%硝酸酒精溶液



86#

200 x

浸蚀剂:4%硝酸酒精溶液



87#

12500 x

电子显微镜:二次复型

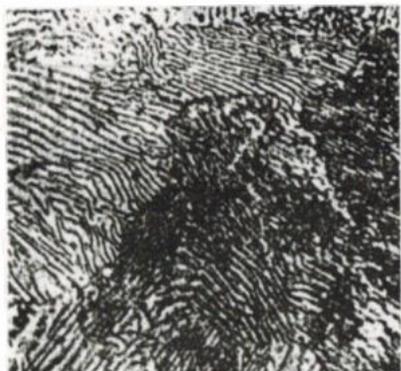


88#

12500 x

电子显微镜:二次复型

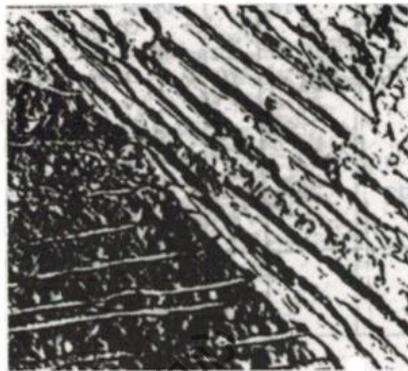
序号	材料	状态	组织说明
89	T8	淬火	T。白色基体为F。黑色条状为Fe <sub>3</sub> CII，电镜的高倍放大，已使光学显微镜下为黑色团状的T，呈明显的P型层片状结构，但没有分辨出Fe <sub>3</sub> C体的条片宽度。
90	30CrMnSi	等温淬火	羽毛状B上。电镜的高倍放大分辨出了B上中灰白色基体的大致平行排列的条状F和由F边缘析出的条状碳化物。
91	30CrMnSi	等温淬火	针状B下。电镜的高倍放大分辨出了B下中灰白色针状F上分布的细小片状碳化物。片状碳化物与F的长轴大致呈55~60°角。
92	16Mn	淬火	板条M。电镜的高倍放大，呈现了M束的板条形貌，它互成垂直交叉的形态分布。



89#

12500 x

电子显微镜:二次复型



90#

8000 x

电子显微镜:二次复型



91#

12500 x

电子显微镜:二次复型

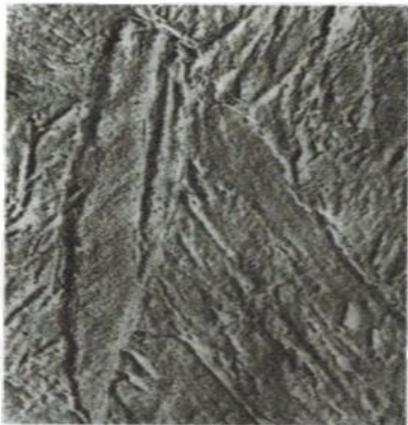


92#

10000 x

电子显微镜:二次复型

序号	材料	状态	组织说明
93	40Cr	淬火	中碳 M。电镜的高倍放大。使针状的孪晶 M，由于淬火中的自回火，在针叶内析出的碳化物颗粒清晰明显。其余为板条 M。
94	40Cr	调质	回火索氏体。电镜的高倍放大，明显的展现了回火 S 中，灰白色 F 基体上，分布着亮白色颗粒的合金 Fe <sub>3</sub> C。
95	70Si3Mn	淬火及中温回火	回火 T。电镜的高倍放大分辨出了回火 T 中灰色 F 基体上分布着亮色细颗粒状合金 Fe <sub>3</sub> C。
96	球墨铸铁	铸态	盐酸深腐蚀，扫描电镜下球状石墨的立体形貌，明显的显示了球墨的表面结构。可看到表面有起伏的生长台阶，由内层及外层的组成，可看出多晶体的特征。



93#

25000 x

电子显微镜:二次复型



94#

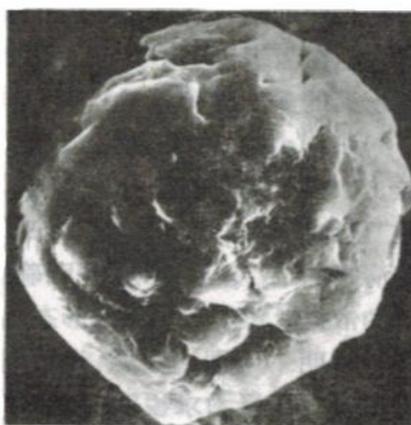
15000 x

电子显微镜:二次复型



95#

电子显微镜:二次复型



96#

8000 x

电子显微镜:二次复型

## 后 语

本金相图谱对原初版进行了一些增加与修改。主要用做本公司生产的标准金相试样与对应的金相照片的说明书。在原 72 种的基础上又增加了 14 种，共计 86 种。为了使初学者认识光学金相的局限性。一些难于分辨的组织在电子金相中可以区分的知识，所以特编入了透射电镜的复型试样组织照片十种。

本 86 种金相试样为金相实验室所必备的。在编号中带 $\Delta$ 的是最常用的 50 种，为一小套。可成套订购，亦可选购。其特点：

1) 试样为胶木粉镶嵌，试样上表面的编号为特制模具压出，字形凸起，规整美观。

2) 选样精良，不会出现选材错误。如回火索氏体和回火屈氏体，按教材要求均选用调质钢和弹簧钢制作。不会出现选用高碳的 GCr15 钢制作回火索氏体和回火屈氏体的错误。也不会在有限的试样中，在同种材料中选两种相同的组织集体。如 F+P 球墨铸铁。没有将铸态和低温正火的同时选用。但在组织说明中指明了两者的形态是不同的。铸态的多呈牛眼状。低温正火的多为破碎状 F。

3) 试样力求原理正确，组织力求典型，照片力求清晰，工艺状态力求标准。如屈氏体明确是淬火而得，不会有什么“快冷正火”的状态。更不可能是“正火”，而又得到淬火 M；又如 B<sub>上</sub>基体不可能是 S；W<sub>18</sub>Cr<sub>4</sub>V 淬火组织有清晰的 A<sub>晶</sub>晶界网络，并明确指出网络的粗细是现场加热淬火温度调整的依据。没有网络 A<sub>晶</sub>形态的组织是不标准的。

4) 说明书用图谱对照，说明时力求避免简单、含糊、不明确、不清晰、掩盖错误。尽量力求说明清楚，如在说明回火 S、T 时，指明回火析出的碳化物颗粒在光学显微镜下是分辨不清的。而且配备了电子显微镜的二次复型照片作为对照分析。那种用 GCr15 钢作回火 S、T 的，把 GCr15 加热淬火时未溶解到 A 中而残留的颗粒碳化物。说成是回火 S、T 中的碳化物，显然是错误的。又如对 P、S、T、B<sub>上</sub>、B<sub>下</sub>、M 板、M 针、GCr15 钢、T12 钢常规热处理的组织特征等都尽量力求说清楚，有的还配备了电子金相作为对照，以便使初学者更明确清晰。

5) 全部金相试样用我公司生产的创新专利型金相制样设备——金相试样切割机、金相试样镶嵌机、金相试样磨抛机、金相风干机制作的。它制样高效、迅速、标准、极少划痕。经浸蚀后，并逐个检验合格后，在样芯上涂一层抗氧化又不影响组织观察的透明薄膜后出厂的。做实验时，只需从盒中取出观察，不必重做。

我们这套金相试样与照片挂图，希望得到老师们的喜欢与试用，更希望老师们提出宝贵的批评与建议。我们一定会给予酬谢。

向关心、指导、使用我们这套金相试样与照片的老师鸣谢，致敬！

上海弘测仪器科技有限公司

2008 年秋

### 参考资料:

- |               |               |
|---------------|---------------|
| 1、金属材料及热处理    | 史美堂主编         |
| 2、钢铁材料及有色金属材料 | 崔崑主编          |
| 3、模具钢         | 姜祖庚，陈再枝等主编    |
| 4、工程材料        | 宋张校主编         |
| 5、工程材料及应用     | 周风云主编         |
| 6、电子显微分析导论    | 张益谨编          |
| 7、金相技术基础      | 邓杭生编          |
| 8、金属材料及热处理实验  | 王运炎主编         |
| 9、金属学实验指导书    | 韩德伟编          |
| 10、钢铁材料金相图谱   | 李炯辉，施友方，高汉文编著 |