

ICS 77.040.99

CCS H24

YS

中华人民共和国有色金属行业标准

YS/T XXX—XXXX

代替 YS/T 448 -2002、YS/T 449 -2002

铜及铜合金

铸造和加工制品组织检验方法

Copper and copper alloys inspection

method of structure for cast and wrought products

(送审稿)

20 XX—XX—XX 发布

20 XX—XX—XX 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

前 言

本文件按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件代替 YS/T 448-2002《铜及铜合金铸造和加工制品宏观组织检验方法》、YS/T 449-2002《铜及铜合金铸造和加工制品显微组织检验方法》。与 YS/T 448-2002 和 YS/T 449-2002 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 增加了规范性引用文件、术语和定义（见第 2、3 章）；
- b) 删除了抛光剂三氧化二铬（见 YS/T449-2002 的 2.5.1）；
- c) 增加了镶样的要求（见 4.2.4）；
- d) 增加了全自动抛光（见 4.2.6.2）；
- e) 更改了显微检验的低倍率观察范围，由“显微检验一般先由低倍率 50~100X 观察”更改为“显微检验一般先由低倍率 25~100X 观察”（见 7.2.2，YS/T 449-2002 的 4.2）；
- f) 删除了“根据检验目的选择合适的黑白底片或彩色底片，底片的曝光时间依试样情况、底片性质和光线而定，必要时可采用分段曝光法进行试验”（见 YS/T 448-2002 的 6.4）；
- g) 删除了“底片和相纸应正确冲洗，以使色彩真实清晰”（见 YS/T 448-2002 的 6.5）；
- h) 增加了“宏观照相可采用数码相机或体视显微镜或计算机图像分析系统，进行照相，照片应清晰标注放大倍率或标尺，照相倍率可根据试样大小、组织缺陷情况而定”（见 7.1.4）；
- i) 增加了“一般采用计算机图像分析系统照相，照片应清晰标注标尺。”（见 7.2.4）；
- j) 增加了“照相时，可以通过景深扩展、对比度调节、划痕消除等计算机技术对图片进行处理，以使图片更为清晰，但不能影响检验结果的判定。”（见 7.2.5）；
- k) 附录 C 中“氯化钠重铬酸钾饱和溶液 9g”更改为“氯化钠饱和水溶液 4ml 重铬酸钾 2g”（见 YS/T448-2002 附录 A）。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国有色金属标准化技术委员会（SAC/TC243）提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

本文件 2002 年首次发布为 YS/T 448—2002《铜及铜合金铸造和加工制品宏观组织检验方法》、YS/T 449—2002《铜及铜合金铸造和加工制品显微组织检验方法》；本次为第一次修订。

铜及铜合金铸造和加工制品组织检验方法

1 范围

本文件描述了铜及铜合金铸造和加工制品宏观组织和显微组织的试样制备、试样浸蚀、组织检验及试验报告。

本文件适用于用肉眼、放大镜或体视显微镜检验铜及铜合金铸造和加工制品的缺陷等宏观组织及利用金相显微镜检验铜及铜合金的显微组织。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 30067-2013 金相学术语

YS/T 462-2003 铜及铜合金管棒型线材产品缺陷

YS/T 465-2003 铜及铜合金铸造产品缺陷

3 术语和定义

GB/T 30067 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

宏观组织 macrostructure

宏观组织，亦称为“低倍组织”，用肉眼或放大镜观察到的金属材料的组织，包括晶粒的大小、形态、分布和材料中存在的缺陷。

3.2

显微组织 microstructure

通过显微镜揭示的抛光面上的组织结构。

[来源：GB/T 30067-2013, 2.2.277]

3.3

宏观偏析 macrostructural segregation

金属凝固后，铸锭中化学成分不均匀的现象称为偏析。宏观偏析是指在较大区域内偏析，亦称区域偏析。

[来源：YS/T 465-2003, 2.1.1, 有修改]

3.4

显微偏析 microstructural segregation

显微偏析是指在一个晶粒范围内的偏析，它分为晶内偏析和晶界偏析。

[来源：YS/T 465-2003, 2.1.1, 有修改]

3.5

夹杂 inclusion

与基体有明显分界面，性能相差悬殊的金属或非金属物称为夹杂。

[来源：YS/T 465-2003, 2.4.1, 有修改]

3.6

气孔 gas cavity

金属在凝固过程中, 气体未能及时逸出而滞留于熔体内形成气孔。气孔一般呈圆形、椭圆形或长条形, 单个或成串状分布, 内壁光滑。

[来源: YS/T 465-2003, 2. 2. 1]

3.7

缩孔与缩松 shrinkage and porosity

金属在凝固过程中发生体积收缩, 熔体不能及时补充, 出现收缩孔洞, 称为缩孔或缩松。

[来源: YS/T 465-2003, 2. 3. 1]

3.8

裂纹 crack

材料在应力或环境(或两者同时)作用下产生的裂隙。

3.9

缩尾 tail tuck

缩尾是挤制品尾部的一种特殊缺陷。在挤压末期, 由于金属紊流, 铸锭表面的氧化皮, 润滑剂等污物往往流入其中, 而导致金属之间的分层。

[来源: YS/T 462-2003, 2. 4. 1]

4 试样制备

4.1 宏观组织试样制备

4.1.1 铸造制品在浇口端横向切取宏观试样, 或者根据检验目的切取其他部位试样, 厚度不应超过 25 mm。

4.1.2 挤压制品在切尾后, 沿尾端横向切取试样, 断口检验可在宏观组织检验后的试样上进行, 也可以重新取样。

4.1.3 除检验铸造制品表面需采用原始表面外, 试样被检验面均需铣削加工, 粗糙度 R_a 不大于 $3.2\mu\text{m}$, 在保证不降低检验目的的前提下, 可采用其他加工方法。试样锯切加工时应防止过热, 为了得到更光洁的表面或观察更细小的缺陷, 可用金相砂纸进行打磨。

4.1.4 断口检验试样应在欲折断部位进行锯切、刻槽或加工成楔形槽, 要求断裂截面为原截面的三分之一到三分之二为宜。试样放在压力机上折断、撕裂或采用其他折断方法, 应一次完成, 不许反复多次。加工后的试样和折断、撕裂断口的表面应保持洁净, 不允许受到污染或损伤。

4.2 显微组织试样制备

4.2.1 试样选择

试样选择应根据有关标准或技术协议的规定, 选取有代表性的部位。

- a) 测定加工制品的退火再结晶晶粒平均直径, 以及观察冷加工的金属晶粒畸变程度的试样沿平行于加工方向的纵向切面截取;
- b) 检验锭坯径向组织变化规律的试样沿垂直于锭坯轴线方向的截面截取;
- c) 分析缺陷的试样, 应在缺陷部位或缺陷附近取样, 并同时在正常部位取样进行对比。

4.2.2 试样尺寸

取样数量应符合有关技术标准、技术协议的规定，试样尺寸可参照表 1 进行。

表 1 试样尺寸

试样类型	长度 mm	宽度 mm	高度 mm
块试样	5~25	5~15	5~20
板试样	5~30	5~30	<20

注:厚度小于 0.5 mm 的带材及具有小截面的加工制品,可视具体情况截取。

4.2.3 试样切取

4.2.3.1 试样不宜采用砂轮切取，可采用手锯、剪切、刨、车、铣加工等取样，精细样品应采用线切割取样，硬脆的中间合金可用锤击取样。

4.2.3.2 取样时可采用水、机油或乳液冷却，避免样品变形、温度过高。

4.2.4 镶样

根据需要试样可采用冷热镶嵌两种，一般采用热镶嵌。镶嵌后的试样，必须保证组织无变化、磨面平整、无缝隙。

4.2.5 试样粗加工

4.2.5.1 试样表面不平整时，应先用锉刀锉去 1mm~2mm，锉出一个平面后，依次采用不同粒度的水砂纸磨光。磨光可用手工磨光或电动磨盘磨光。

4.2.5.2 电动磨光粗磨通常使用 150 号~180 号水砂纸，用水冷却，在研磨盘上进行。粗磨磨出方向一致的磨痕后，采用 320 号~350 号金相砂纸进行细磨。更换一次砂纸，磨制方向应转换 90°，磨制时用力不宜太大，以减少变形。

4.2.5.3 粗磨至磨痕基本消失，即可进行抛光。

4.2.6 试样抛光

4.2.6.1 手动抛光

4.2.6.1.1 经粗磨后的试样，水洗后移至装有帆布的抛光盘上先进行粗抛，抛光剂可选用氧化铝等水悬浮液或金钢砂研磨膏。转速一般采用 500r/min~1000r/min，抛至细磨痕完全消失为止，粗抛光一次完成后，磨制方向应转换 90°，试样再抛一次，当上次磨痕消失时(10s 以内为好)，用水洗净，进行细抛光。

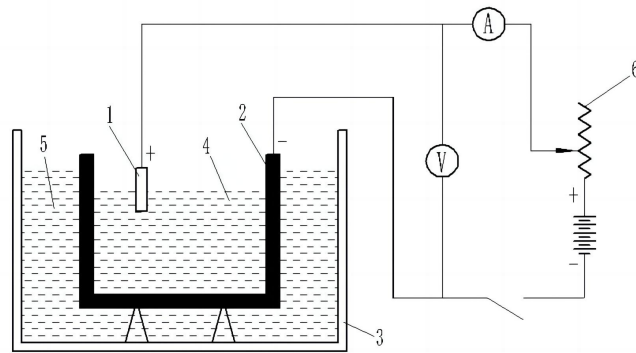
4.2.6.1.2 细抛光在装有毛毡的抛光盘上进行。抛光剂使用氧化铝悬浮液或金钢石研磨膏，细抛达到划痕方向一致时，用水冲洗试样，进行精抛光，精抛在装有呢绒或丝绒的抛光盘上进行，精抛时可以用水润滑，抛到试样表面无划痕为止。

4.2.6.2 全自动抛光

使用全自动抛光设备，压力采用 20N~25N，底盘转速采用 200r/min 左右，上盘转速采用 150r/min 左右，依次用水砂纸 NA320、NA1000 进行粗抛，再采用 9 μ m、3 μ m、1 μ m 抛光布进行抛光，压力减小为 10N~15 N，同时使用对应颗粒抛光液，颗粒度要求 9 μ m、3 μ m、1 μ m，直至抛到试样表面无划痕为止。注意每次更换砂纸、抛光布时，应对试样进行冲洗，避免上道工序中颗粒进入。

4.2.6.3 电解抛光

本方法适用于大批量生产检验和一般的组织检查。将粗加工的试样，用夹子夹住，接通电源，抛光后取出，放入水中清洗。电解抛光装置的示意图如图 1。电解槽的尺寸为 $\Phi 100\text{mm} \times 60\text{mm}$ 。抛光液成分及抛光参数见附录 A。



标引序号说明：

- 1——试样；
- 2——电解槽；
- 3——冷却槽；
- 4——电解液；
- 5——水；
- 6——变阻器。

图 1 电解抛光装置示意图

4.2.6.4 化学抛光

通过化学试剂对试样表面的溶解，达到抛光的目的。常用化学抛光剂及抛光参数见附录 A。

5 浸蚀剂

5.1 宏观组织浸蚀剂

5.1.1 宏观检验一般采用 30%~50% 的硝酸水溶液作为浸蚀剂，也可以根据合金类别选择附录 B 推荐的浸蚀剂。溶液应干净透明，无悬浮颗粒。

5.1.2 浸蚀剂应使用化学纯以上药品配制。

5.1.3 配制时应小心谨慎，很多浸蚀剂是强酸，应将各种化学药品依次序缓慢倒入水中或溶液中并且搅拌，特别是硫酸。

5.2 显微组织浸蚀剂

5.2.1 抛光好的试样，根据检查目的，选用适当浸蚀剂，以显示其显微组织，浸蚀剂应使用化学纯以上药品配制，建议现用现配。

5.2.2 常用浸蚀剂为硝酸铁乙醇溶液和三氯化铁盐酸乙醇溶液。在不降低浸蚀质量的前提下，也可以采用其他浸蚀剂，常见铜合金的特殊浸蚀剂见附录 C。

a) 硝酸铁乙醇溶液

将 2g 硝酸铁溶解到 50mL 无水乙醇中，配置成硝酸铁乙醇溶液。该试剂作用柔和，使用时加入少量的水可使单相铜合金晶粒染色。

b) 三氯化铁盐酸乙醇溶液

将 3g 三氯化铁 和 2mL 盐酸溶解到 96 mL 无水乙醇中，配置成三氯化铁盐酸乙醇溶液。该试剂对晶界浸蚀能力较强。

6 浸蚀方法

6.1 浸蚀程度以铜及铜合金制品的性质、检验目的而定，以观察组织清晰为准。

6.2 浸蚀过程中应及时去除腐蚀中产生的表面膜，一般要先进行浅浸蚀，浸蚀程度不足时，可继续浸蚀或重新抛光后再浸蚀；若浸蚀过度，表面出现腐蚀麻坑或浮雕，应重新磨制抛光后再浸蚀。

6.3 宏观组织可采用浸入法或均匀浇上一层浸蚀溶液的两种方法，浸蚀后迅速用大量清水冲洗。试样浸蚀冲洗后要立即擦干，如需保留或照相，应及时涂上一层透明保护油(如机油)以防氧化。

6.4 显微组织浸蚀时，取一小块脱脂棉放入浸蚀剂中，用夹子夹住脱脂棉球，轻轻地在试样表面上擦拭几下，使试样表层变形层溶去，然后一边在试样表面滴上浸蚀剂，一边观察，待试样表面光泽变暗，组织显示后，迅速移至水下，冲去多余浸蚀剂，将试样表面倾斜约 45°，用少量酒精冲洗走残留水珠后，用冷风吹干试样。

6.5 对于含有有毒的或刺激气体的试剂，整个过程要在通风良好的地方进行，避免接触皮肤。

7 组织检验

7.1 宏观组织检验

7.1.1 根据技术标准或技术协议规定的质量要求进行检验。检验中应随时变换光线照射方向，仔细观察各部位，如遇可疑之处，肉眼识别有困难时，可采用 10 倍以下放大镜检验，也可进一步做断口或显微组织分析。

7.1.2 对于细小的缺陷，用放大镜难以分辨时，可以借助体视显微镜予以确认。一般先用低倍观察，逐步提高观察倍率。

7.1.3 准备进行宏观照相的试样应精细制备，浸蚀均匀，组织清晰，保持清洁。

7.1.4 宏观照相可采用数码相机或体视显微镜进行照相，照片应清晰标注放大倍率或标尺，照相倍率可根据试样大小、组织缺陷情况而定。

7.1.5 照相使用的光源应调整适宜，光线均匀稳定，有足够的强度，使所得影象亮度强弱均匀一致。

7.1.6 宏观组织检验用以显示铜及铜合金制品的缺陷和组织不均匀性，其检验结果如下：

a) 宏观组织结构方面的变化。如铸造制品的柱状晶、等轴晶、枝晶，加工制品的金属流线等。

b) 化学成分方面的变化。如宏观偏析、夹杂等。

c) 铸造和加工制品的宏观缺陷。如气孔、缩孔与缩松、裂纹、冷隔、缩尾以及断口缺陷等。

7.1.7 铜及铜合金的典型宏观组织见附录 D 中图 D.1。

7.2 显微组织检验

7.2.1 试样的显微组织检验包括浸蚀前检验和浸蚀后的检验，浸蚀前主要检验试样的夹杂物、裂纹、孔

隙等。

7.2.2 显微检验一般先由低倍率 25X~100X 观察，对于有细微结构的组织，用高倍率 200X~1000X 作细致地观察分析。

7.2.3 利用显微镜具有的多种照明方式，对组织的特征进行对比分析。

7.2.4 一般采用计算机图像分析系统照相，照片应清晰标注标尺。

7.2.5 照相时，可以通过景深扩展、对比度调节、划痕消除等计算机技术对图片进行处理，以使图片更为清晰，但不能影响检验结果的判定。

7.2.6 显微组织检验用以显示金属及合金的缺陷和组织不均匀性，其检验结果应对其组织形态分布，晶粒大小，缺陷类型等进行描述。

7.2.7 铜及铜合金的典型显微组织见附录 D 中图 D.2。

8 试验报告

试验报告至少应包括下列内容：

- a) 试样的来源、牌号、规格、状态；
- b) 必要时应包括取样部位示意图，试样加工工艺等；
- c) 组织说明；
- d) 如照相应注明标尺和浸蚀剂；
- e) 委托单位、试验日期；
- f) 试验者、复验者的签名；
- g) 本文件编号。

附录 A
(规范性)

铜及铜合金电解抛光液、化学抛光剂及抛光条件

铜及铜合金电解抛光液、化学抛光剂及抛光条件应符合表 A. 1 的规定。

表 A. 1 铜合金电解抛光液、化学抛光剂及抛光条件

序号	抛光液成分	抛光条件	阴极材料	适用范围	用途
1	正磷酸 150ml 水 200ml	电压: 30V~50V 时间: 10s~20s	纯铜	纯铜及某些单相铜合金	电解抛光
2	正磷酸 200ml 水 100ml	电压: 1.2V~2V 时间: 15min~30min	纯铜	纯铜、黄铜、铅青铜、锡青铜、磷青铜、硅青铜及含铍、铁、铅、铬低于 3% 的青铜。	
3	正磷酸 670ml 硫酸 100ml 蒸馏水 300ml	电压: 2V~3V 时间: 15min	纯铜	纯铜、锡青铜	
4	正磷酸 50ml 无水乙醇 450ml	电压: 10V~20V 时间: 10s~15s	纯铜	高铜箔材	
5	正磷酸 33 ml 硝酸 33ml 冰醋酸 33 mL	温度: 60℃~70℃ 时间: 122min	-	纯铜	化学抛光
6	正磷酸 10mL 硝酸 30mL 盐酸 10mL 冰醋酸 50mL	温度: 70℃~80℃ 时间: 1min~2min	-	铜合金	

附录 B
(规范性)

铜及铜合金宏观组织检验用浸蚀剂

铜及铜合金宏观组织检验用浸蚀剂应符合表 B. 1 的规定。

表 B. 1 铜及铜合金宏观组织检验用浸蚀剂

试验合金	浸蚀剂组成	浸蚀步骤	说明
铜及所有黄铜	硝酸(浓) 20 ml 水 80 mL	将试样在室温浸入溶液几分钟，在水中清洗并吹干	显示晶粒及裂纹
铜及所有黄铜	硝酸(浓) 50ml 水 50ml	将试样在室温浸入溶液几分钟，在水中清洗并吹干	及时搅拌
铜及所有黄铜	盐酸 30ml 三氯化铁 10g 水或无水乙醇 120ml	将试样在室温浸入溶液几分钟，在水中清洗并吹干	具有良好的晶粒反差
铜、高铜合金、磷青铜、锡青铜	氯化钠饱和水溶液 4ml 重铬酸钾 2g 硫酸(浓) 8ml 水 100ml	将试样在室温浸入溶液 15 min~30 min,，而后用新配溶液擦拭，在温水中清洗并吹干	显示晶界及氧化物夹杂
所有合金	硝酸(浓) 50 ml 硝酸银 5g 水 50ml	将试样浸入溶液，在温水中清洗并吹干	深浸蚀
黄铜	20%醋酸 20 ml 5%铬酸 10mL 10%三氯化铁水溶液 5ml	将试样浸入溶液，在温水中清洗并吹干	显示应变线
硅黄铜或青铜	三氧化铬 40 g 氯化铵 7.5g 硝酸(浓) 50 ml 硫酸(浓) 8 ml 水 100ml	将试样浸入溶液，在温水中清洗并吹干	-
锡黄铜、白铜	硝酸(浓) 10 mL 双氧水 90mL	将试样在室温浸入溶液几分钟，在水中清洗并吹干	此试剂可有效避免锡青铜用硝酸浸蚀时易产生的黑色膜

附录 C
(规范性)
铜及铜合金显微组织检验用浸蚀剂

铜及铜合金显微组织检验用浸蚀剂应符合表 C.1 的规定。

表 C.1 铜及铜合金显微组织检验用浸蚀剂

序号	试剂成分	浸蚀方法	适用范围	说明
1	不浸蚀	---	铜及铜合金	检查含铅铜合金中铅相的分布,铜中氧化物、硫化物、硒化物、碲化物等夹杂
2	硝酸铁 2g 无水乙醇 50mL	擦拭	铜及铜合金	加少量水可使单相合金晶粒染色。纯铜、铬青铜、碲铜抛光时,将几滴浸蚀剂倒在最后一道抛光布上,抛至表面发亮,反复数次能得到较好的效果。
3	三氯化铁 g 盐酸 mL 水 mL 1 20 100 3 10 100 ^① 5 10 200 ^② 19 (20) 6 (5) 300 ^③	浸入或擦拭	纯铜、黄铜或青铜	使用时加入 50%酒精混合使用。黄铜中 β 相能变黑。 ① 可加入 1g 二氯化铜 ② 格莱氏试剂 No2,使用时可加入 1g 二氯化铜及 0.5g 二氯化锡 ③ 又称格莱氏试剂 No1
4	三氯化铁 59g 盐酸 2mL 无水乙醇 96mL	擦拭	铜及铜合金	用乙醇稀释至 5: 1
5	三氯化铁 3g 无水乙醇 100mL	反复擦拭	硅青铜	试剂现配现用,腐蚀速度较慢
6	氢氧化铵 20mL 水 0~20 mL 双氧水 8~20mL	浸入或擦拭	铜及铜合金	先将氢氧化铵与水混合好,然后加入双氧水,必须现配现用。
7	三氯化铬 7.2g 重铬酸钾 12g 醋酸 7 mL 硫酸 58 mL 加水至 100mL	浸入	铜及铜合金	可显现铜合金晶界,浸蚀后再用格莱氏试剂 No1 染色。
8	二铬化铜 8~10g 氢氧化铵 8~100mL	浸入	铍青铜、白铜	能使铍青铜 α 相变暗,β 相呈亮 白色。
9	硝酸 30 mL 醋酸 42 mL 水 28 mL	浸入	加工及退火锡青铜	良好晶粒对比

表 C.1 铜及铜合金显微组织检验用浸蚀剂(续)

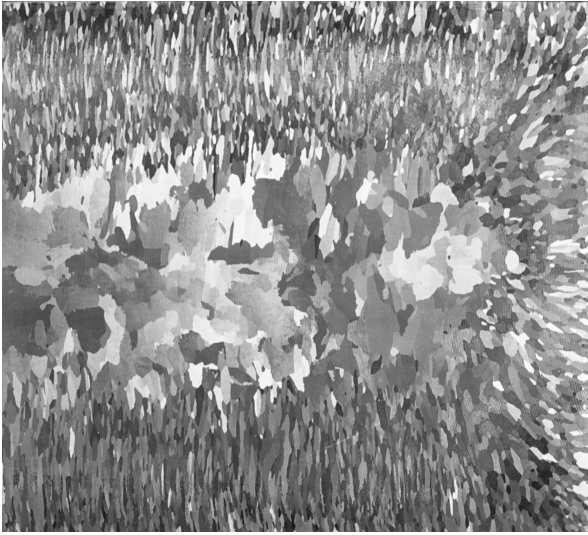
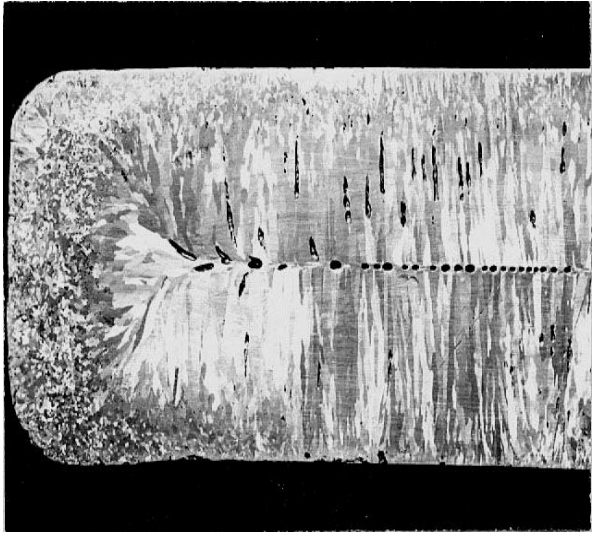
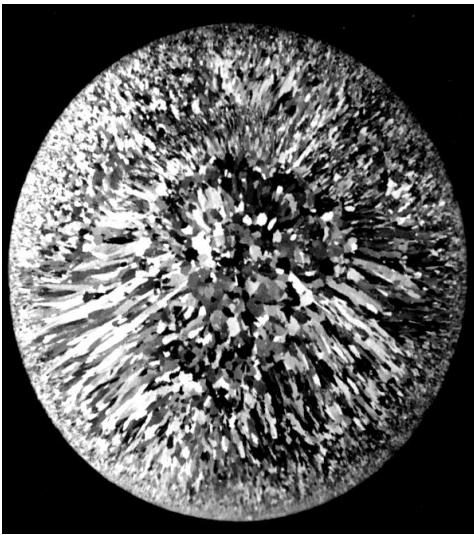

序 号	试剂成分	浸蚀方法	适用范围	备注
10	铁氰化钾 1g~5g 水 100mL	浸入	锡磷青铜	能区分 δ 相及 CH_3P 相, δ 相浸蚀后 颜色不变, CH_3P 相由兰色变至深灰色
11	重铬酸钾 2g 硫酸 8mL 氯化钠饱和水溶液 4ml	浸入	纯铜及铍、 锰、硅、铬 青铜、白铜	---
12	醋酸(75%) 30mL 硝酸 20ml 丙酮 30mL	擦拭	白铜	---
13	氢氧化铵 25ml 过硫酸铵溶液 50 mL 水 25mL	浸入 冷浸或热浸	铜及铜合金	浸蚀后 NiAl 呈鸠灰色, Ni_2Al 呈暗灰色
14	铬酸 1g 水 100m L	电压:6V 时间:56s	铍青铜	铝作阴极
15	硫酸亚铁 30g 氢氧化钠 4g 硫酸 100mL 水 1900 mL	电压:8~10V 时间:10~15s	黄铜 青铜 白铜	---
16	冰醋酸 5 mL 硝酸 10 mL 水 85 mL	电压:0.5~ 10V 时间:5~15s	白铜	---
17	氢氟酸 30 mL 水 70 ml	擦拭	单晶铜	---
	氢氟酸 30ml 盐酸 30ml 硝酸 20ml 水 20ml			---

附录 D

(资料性)

铜及铜合金的典型宏观组织、显微组织

铜及铜合金的典型宏观组织、显微组织见图 D. 1~D. 2。

	
<p>图 a 1/4×</p> <p>合金牌号 T2</p> <p>工艺条件 半连续铸造 180mm×640mm 扁锭</p> <p>浸蚀剂 硝酸水溶液</p> <p>组织说明 边部为较细柱状晶，中心为较粗之等轴晶。</p>	<p>图 b 1/2×</p> <p>合金牌号 T2</p> <p>工艺条件 中频炉铁立模铸造，Si-Mg 中间合金脱氧。</p> <p>浸蚀剂 硝酸水溶液</p> <p>组织说明 中心气孔，铜水脱氧不良，铸造时沿结晶方向。</p>
	
<p>图 b 1/4×</p> <p>合金牌号 TU1</p> <p>工艺条件 半连续铸造 ϕ195mm 圆锭</p> <p>浸蚀剂 硝酸水溶液</p> <p>组织说明 边部为较细等轴晶，向内为柱状晶，中心为等轴晶，呈明显三晶层。</p>	<p>图 d 1/2×</p> <p>合金牌号 T2</p> <p>工艺条件 挤压棒</p> <p>浸蚀剂 硝酸水溶液</p> <p>组织说明 挤压棒尾端有明显皮下缩尾，黑色为氧化皮卷入物。</p>

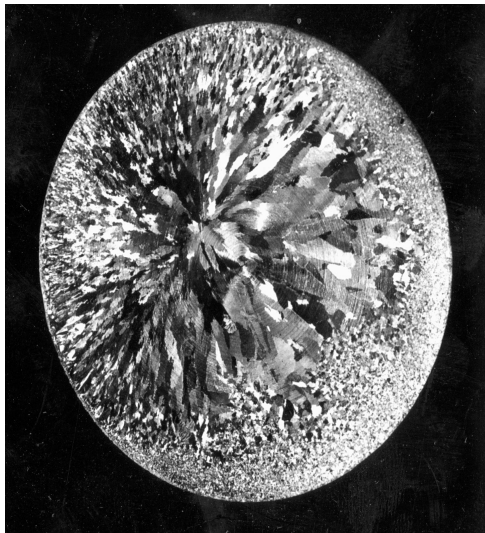


图 e 2/3×

合金牌号 H68

工艺条件 $\phi 95\text{mm}$ 卧式连铸, 铸造速度 $V=9$ 米/小时

侵蚀剂 硝酸水溶液

组织说明 由卧式连铸的工艺特点所决定其结晶组织多不对称。

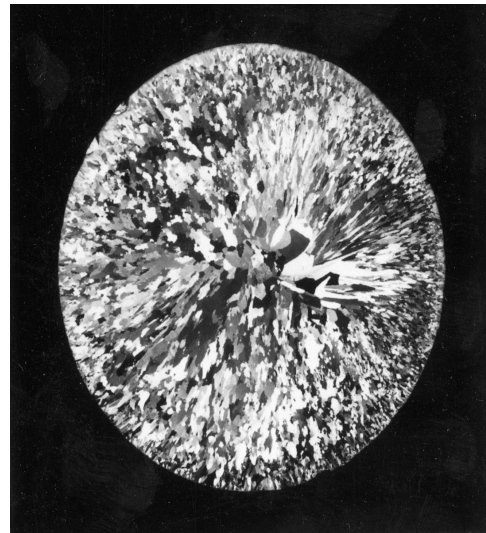


图 f 1/4×

合金牌号 HSn70-1

状态 铸造

侵蚀剂 硝酸水溶液

组织说明 宏观铸造组织。

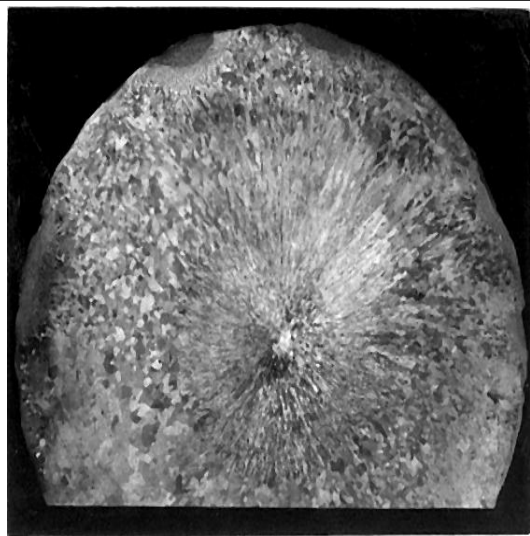


图 g 2/5×

合金牌号 QSn7-0.2

工艺条件 中频炉熔炼, 半连续铸造之 $\phi 245\text{mm}$ 圆锭

侵蚀剂 硝酸水溶液

组织说明 边部灰色处为反偏析区, 锡含量高达 11% 以上, 而锭中心只有 5.86%。



图 h 2/3×

合金牌号 QSn7-0.2

工艺条件 冷轧

侵蚀剂

组织说明 由于内应力过大而产生严重应力腐蚀破裂。

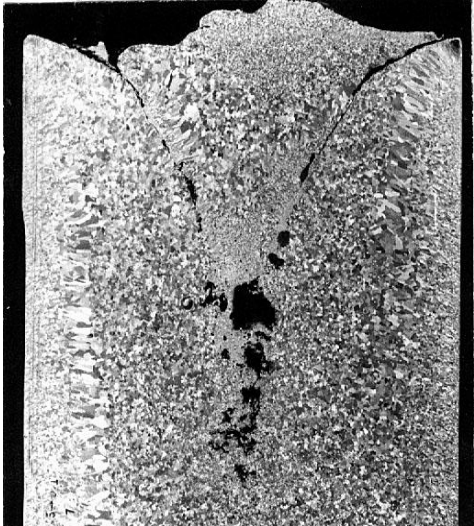

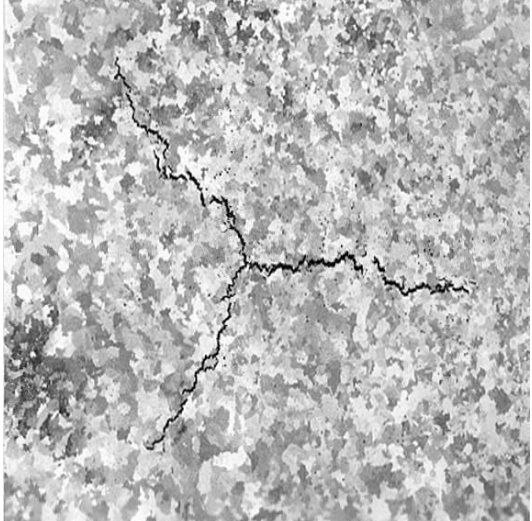
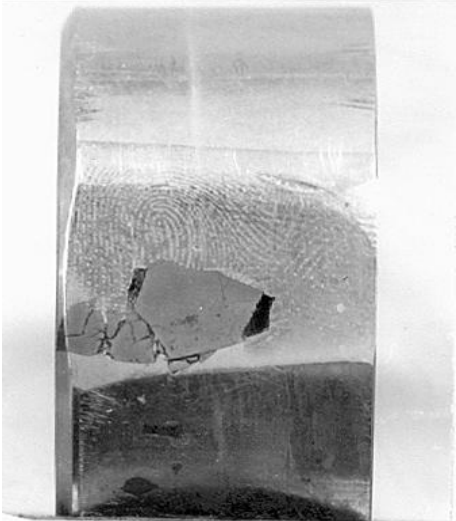
	
<p>图 i 1/3×</p> <p>合金牌号 QSn6.5-0.1</p> <p>工艺条件 ϕ 195mm 中频炉熔炼, 水冷模铸造</p> <p>浸蚀剂 硝酸水溶液</p> <p>组织说明 浇铸终了时由于温度过低, 补缩金属与原锭互不熔合, 形成缩孔, 并在缩孔下部附近有严重缩松。</p>	<p>图 j 1/3×</p> <p>合金牌号 B10</p> <p>工艺条件 铸造</p> <p>浸蚀剂 硝酸水溶液</p> <p>组织说明 边部有细晶粒区, 中心晶粒粗大。</p>
	
<p>图 k 1/2×</p> <p>合金牌号 BZn15-20</p> <p>工艺条件 ϕ 295mm 半连续铸锭</p> <p>浸蚀剂 硝酸水溶液</p> <p>组织说明 试样中心热裂纹的放大。</p>	<p>图 l 1×</p> <p>合金牌号 BFe30-1-1</p> <p>工艺条件 挤压管</p> <p>浸蚀剂</p> <p>组织说明 管材表面铁块压入。</p>

图 D. 1 铜及铜合金的典型宏观组织

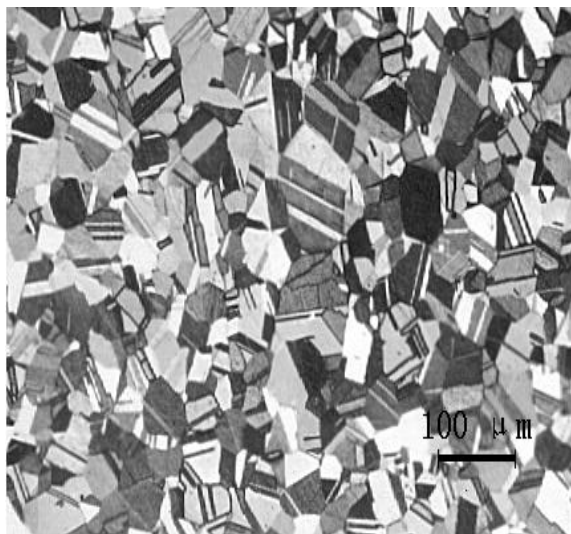


图 m 120×
 合金牌号 T2
 工艺条件 试料经 600℃ 30 分钟保温退火
 浸蚀剂 硝酸高铁酒精溶液
 组织说明 变形组织经退火后已完全再结晶，晶粒平均直径为 0.030mm。

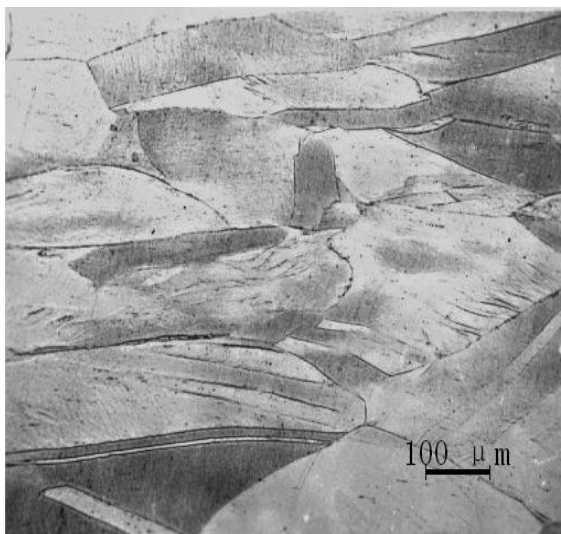


图 n 120×
 合金牌号 T2
 工艺条件 φ18mm 冷拉棒
 浸蚀剂 硝酸高铁酒精溶液
 组织说明 棒材纵向组织，可见晶粒沿加工方向，拉长、破碎及滑移带。

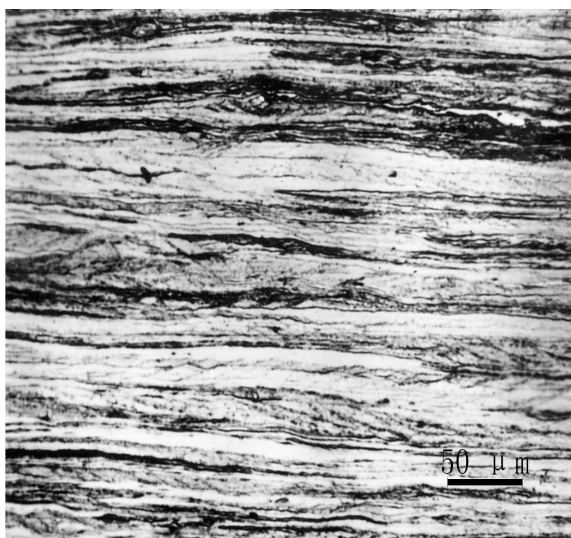


图 o 200×
 合金牌号 T2
 工艺条件 冷轧板厚 1.0mm，加工率 85%
 浸蚀剂 硝酸高铁酒精溶液
 组织说明 随着冷加工率的不断增大，晶粒的变形，及破碎愈严重，逐渐拉长为纤维状组织。

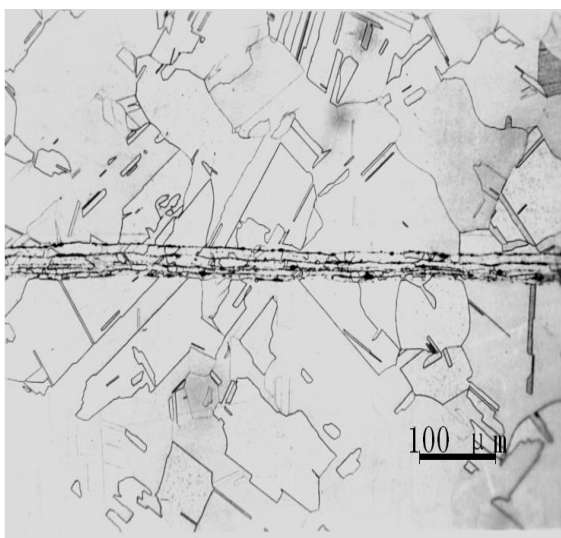


图 p 70×
 合金牌号 T2
 工艺条件 挤压棒
 浸蚀剂 三氯化铁酒精溶液
 组织说明 黑色条状为缩尾内的氧化皮夹杂。

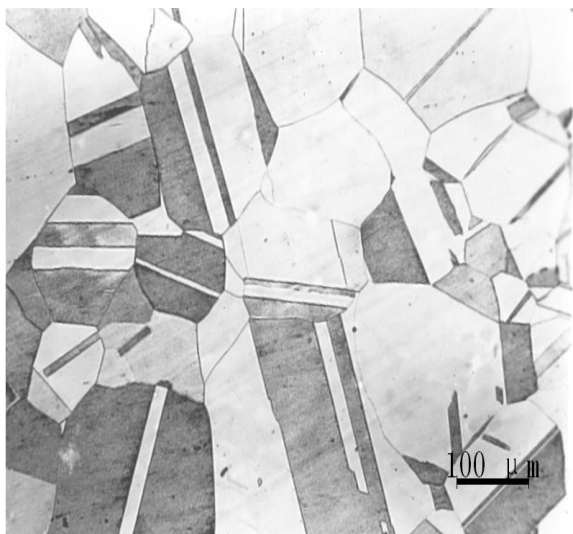


图 q
100×
合金牌号 H68
工艺条件 热轧
侵蚀剂 三氯化铁盐酸水溶液
组织说明 随终轧温度的提高, 再结晶晶粒较为粗大, 晶粒平均直径为 0.090mm。

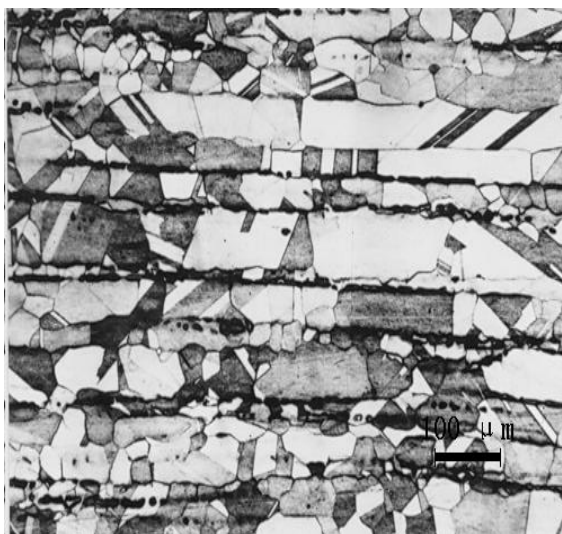


图 r
100×
合金牌号 H62
状态 热轧
侵蚀剂 三氯化铁酒精溶液
组织说明 热轧组织 (轧制温度较低), 具有等轴孪晶的晶粒为 α 相, 黑色链条状为 β 相。

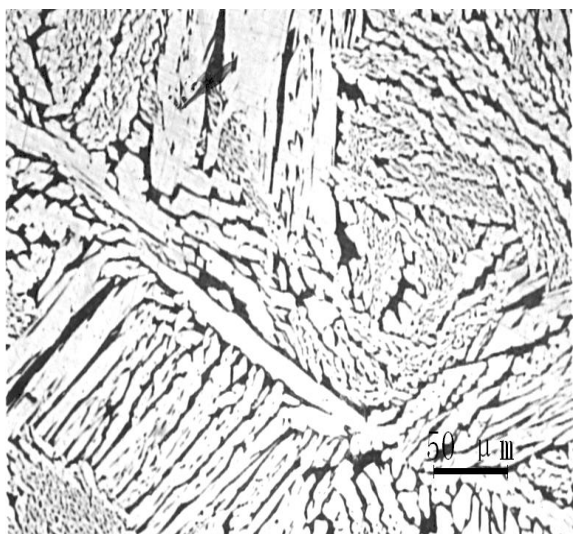


图 s
200×
合金牌号 H62
工艺条件 铸锭边部组织
侵蚀剂 三氯化铁酒精溶液
组织说明 ($\alpha + \beta$) 两相组织, β 相系由包晶反应而得, 由于边部冷却较快, 组织较细, 而中心组织较粗。

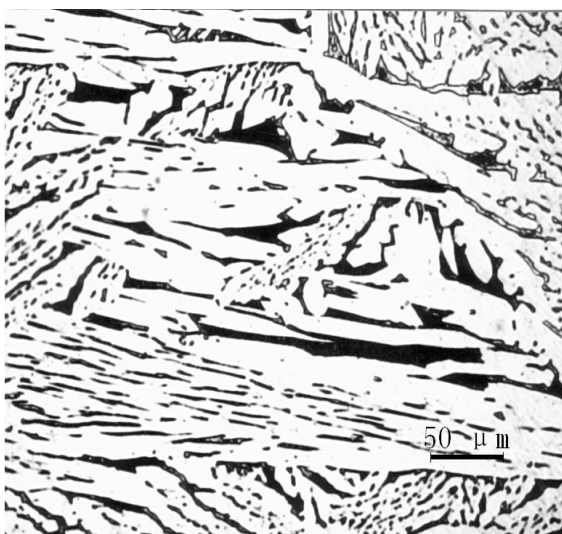


图 t
200×
合金牌号 H62
工艺条件 铸锭中心组织
侵蚀剂 三氯化铁酒精溶液
组织说明 ($\alpha + \beta$) 两相组织, β 相系由包晶反应而得, 由于边部冷却较快, 组织较细, 而中心组织较粗。

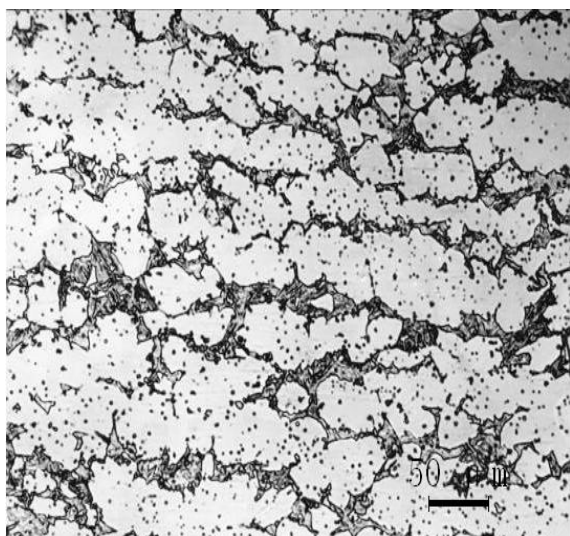


图 u 200×
 合金牌号 QA110-3-1.5
 工艺条件 挤压
 侵蚀剂 三氯化铁盐酸水溶液
 组织说明 白色基体为α相，灰色共析体沿加工方向分布，黑点为富铁相。

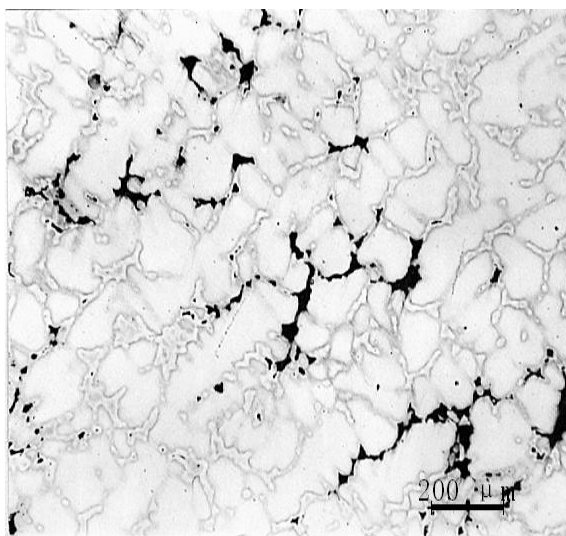


图 v 50×
 合金牌号 QSn6.5-0.1
 工艺条件 铸造
 侵蚀剂 三氯化铁酒精溶液
 组织说明 位于铸锭中心的显微缩松。

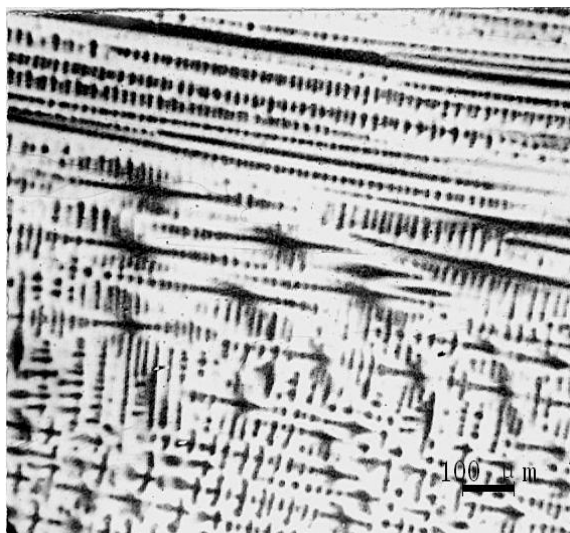


图 w 70×
 合金牌号 BA113-3
 工艺条件 冷轧板厚 1.0mm，加工率 85%
 侵蚀剂 硝酸高铁酒精溶液
 组织说明 Cu-Ni 合金凝固温度范围较大，呈明显的树枝状晶内偏析。

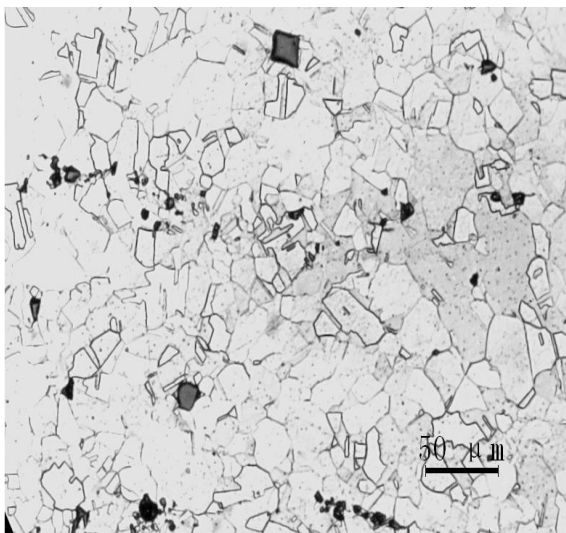


图 x 200×
 合金牌号 B19
 工艺条件
 侵蚀剂 硝酸高铁酒精溶液
 组织说明 组织中较多 NiO 夹杂。

图 D. 2 铜及铜合金典型显微组织