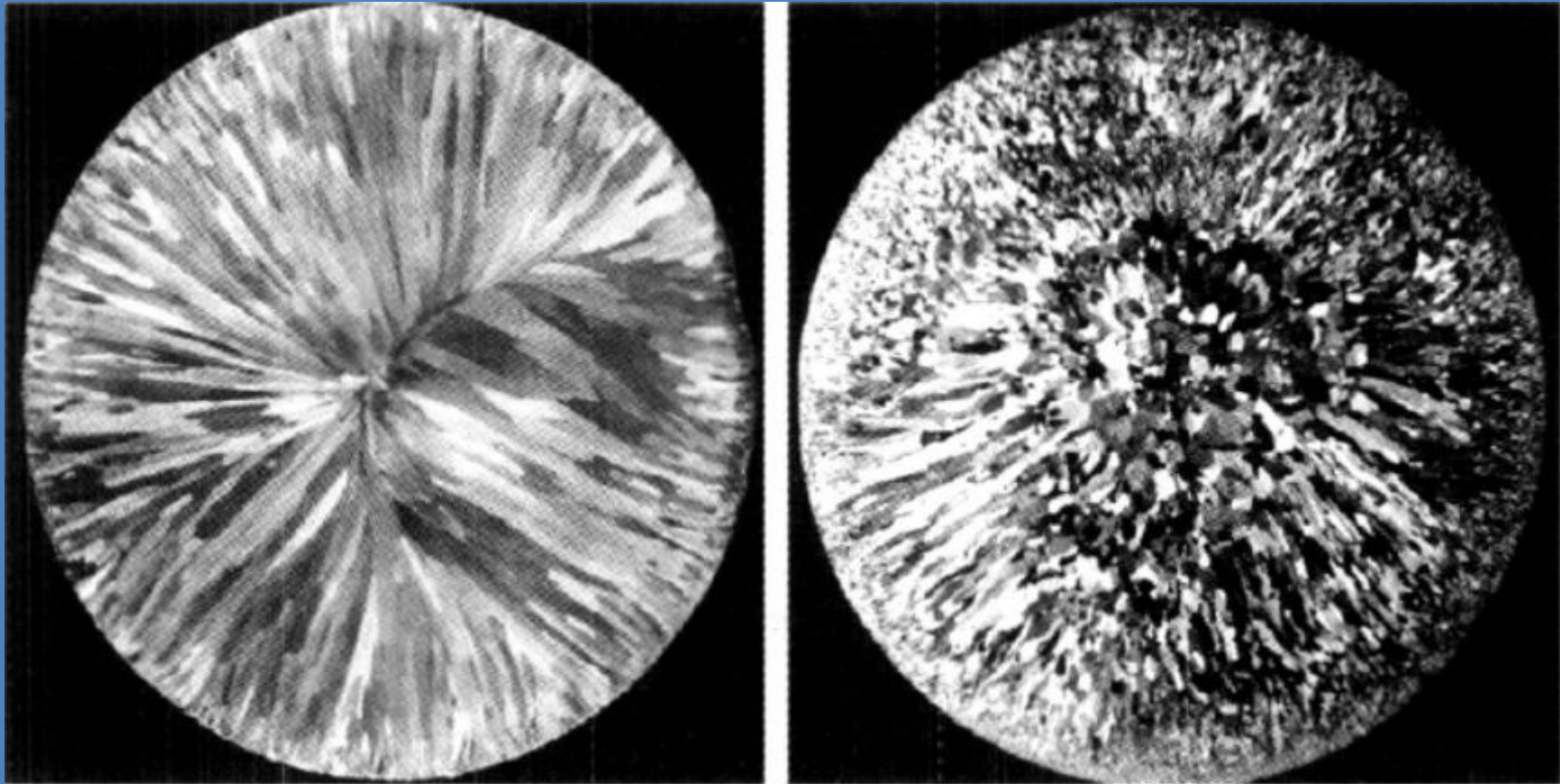


## 紫铜的金相组织轮图普



(a)

(b)

放大倍率：1/4×

合金牌号：TU1

工艺条件：半连续铸造 $\varnothing 195\text{mm}$ 圆锭，(a)铸造速度和冷却温度较(b)小

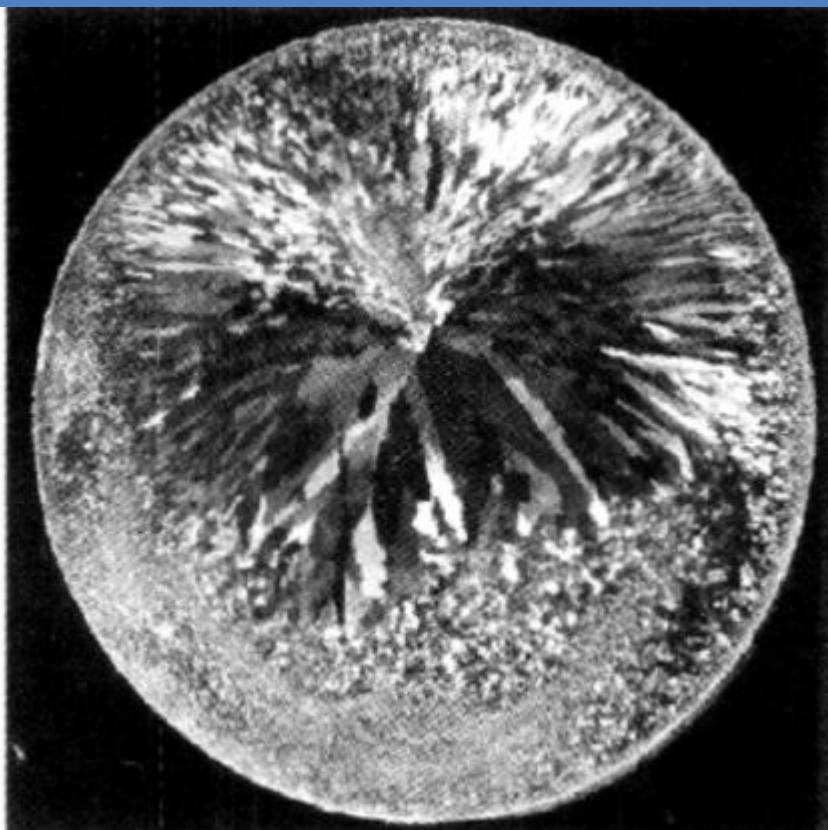
侵蚀剂：硝酸水溶液

组织说明：(a)全为柱状晶

(b)呈明显三晶层



(a)



(b)

放大倍率：1/4×

合金牌号：T2

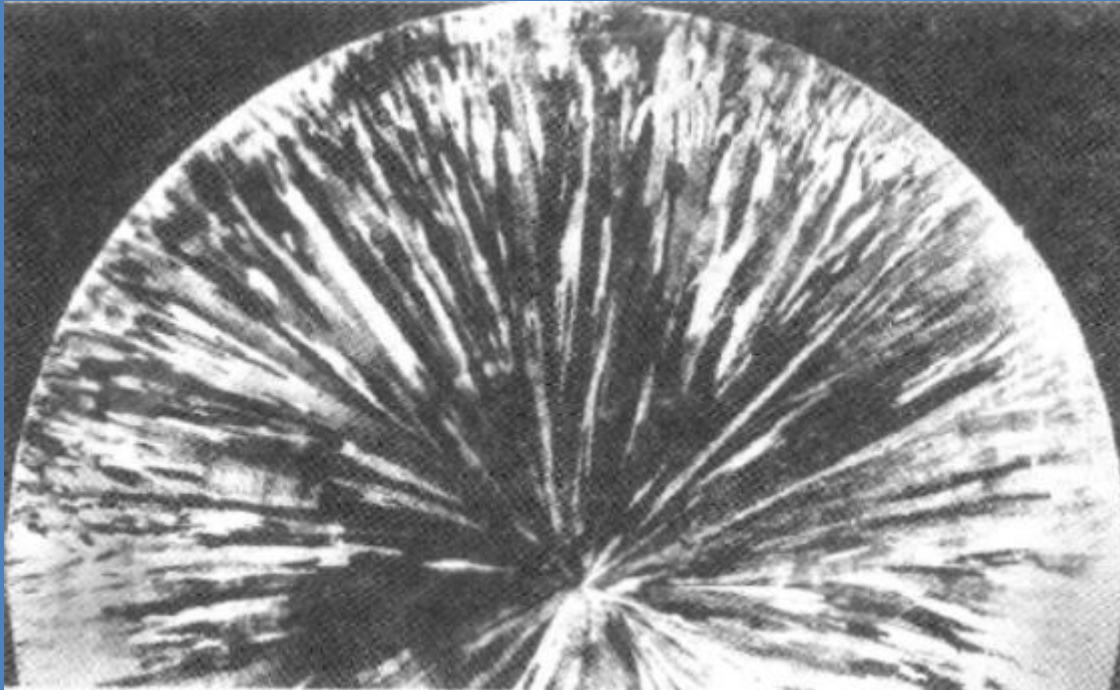
工艺条件：半连续铸造Ø195mm 圆锭

侵蚀剂：硝酸水溶液

组织说明：由于铸造工艺和冷却不均匀，造成结晶组织严重不均匀。

(a) 中心为细小等轴晶，其他部位为柱状晶，

(b)中心为柱状晶，其他部位为等轴晶，局部有特别细小等轴晶



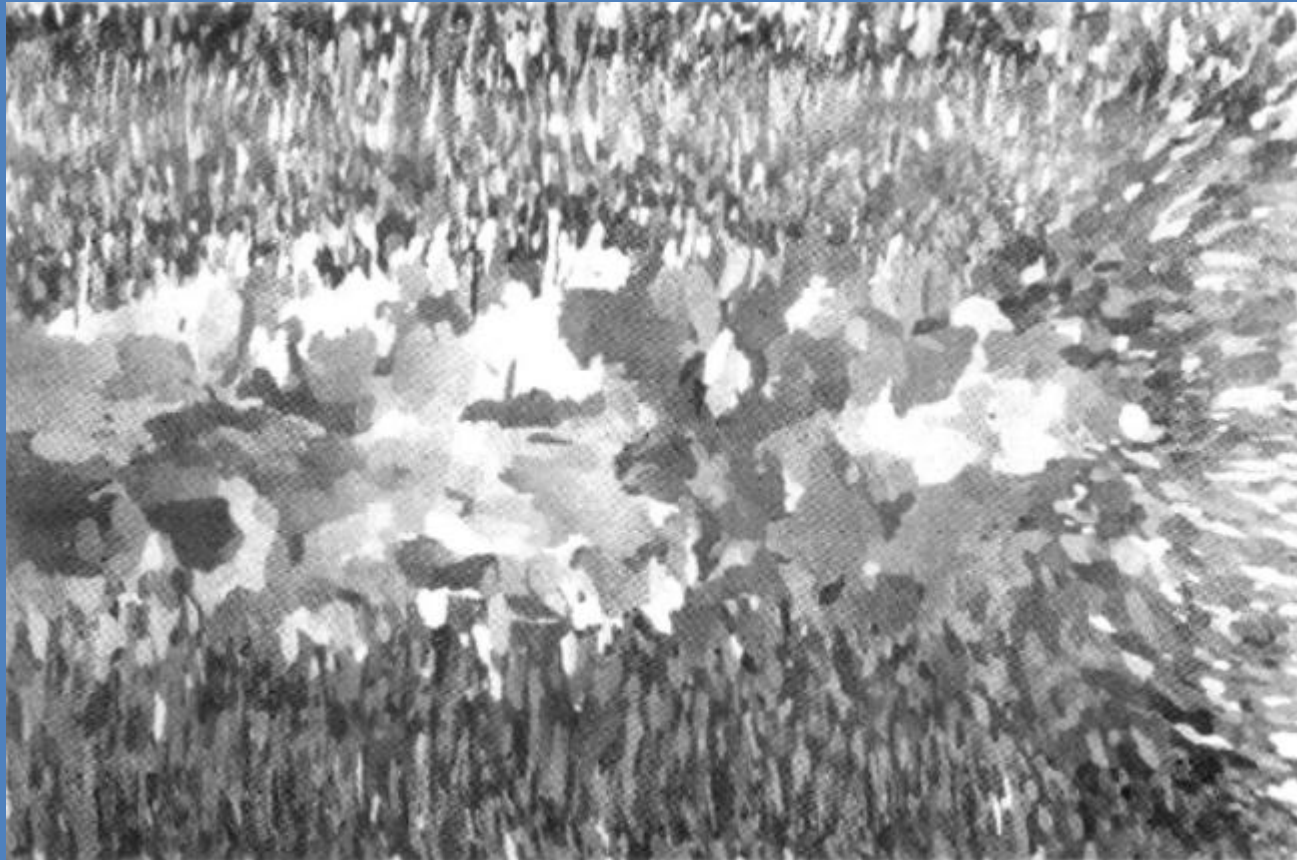
放大倍率：1/5×

合金牌号：T2

工艺条件：铁模铸造 $\text{Ø}360\text{mm}$  圆锭

侵蚀剂：硝酸水溶液

组织说明：自边部至中心全为发达的柱状晶



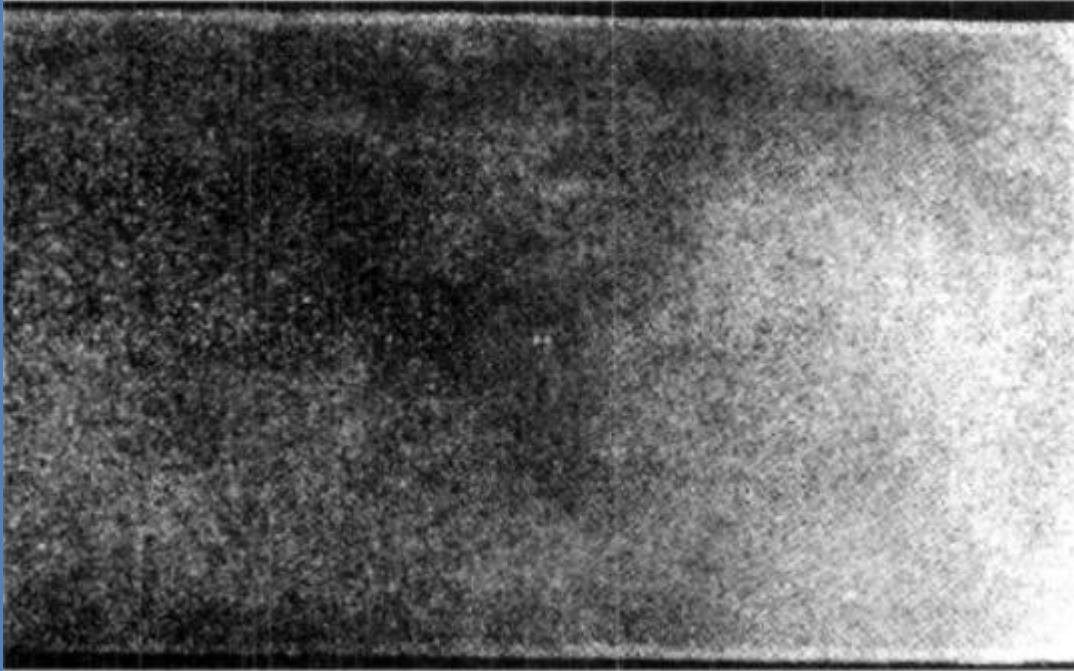
放大倍率：1/3×

合金牌号：T2

工艺条件：半连续铸造 180mm×640mm 扁锭

侵蚀剂：硝酸水溶液

组织说明：边部为较细柱状晶，中心为较粗等轴晶



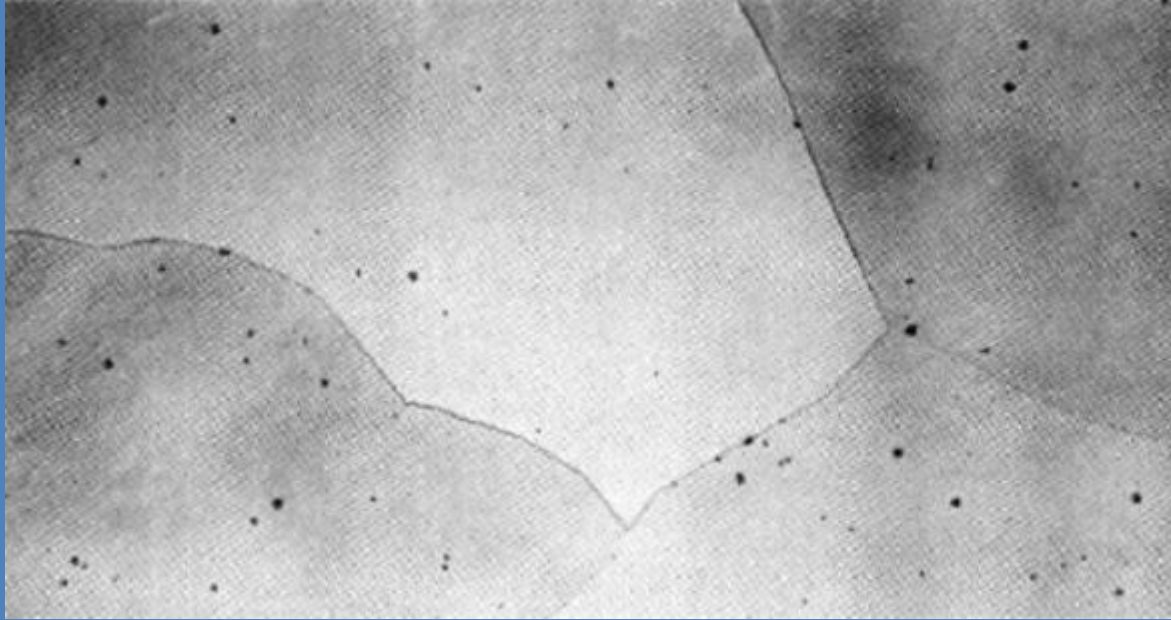
放大倍率：1/3×

合金牌号：TU2

工艺条件：半连续铸造 170mm×630mm 扁锭

侵蚀剂：硝酸水溶液

组织说明：全部为细小等轴晶



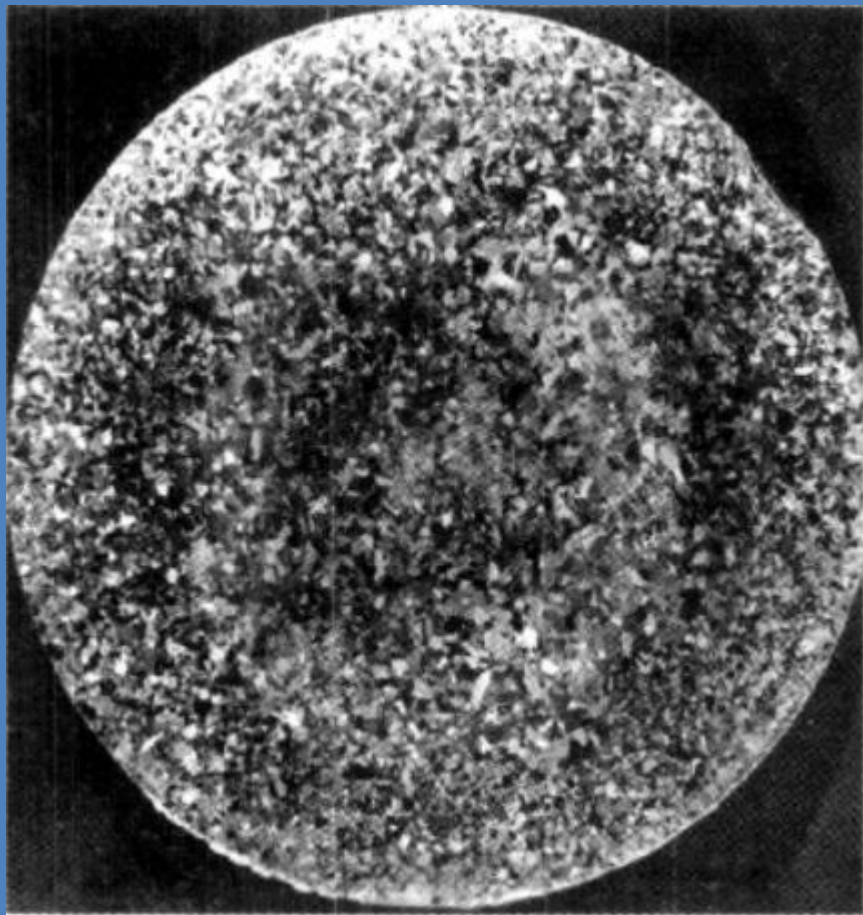
放大倍率：70×

合金牌号：T2

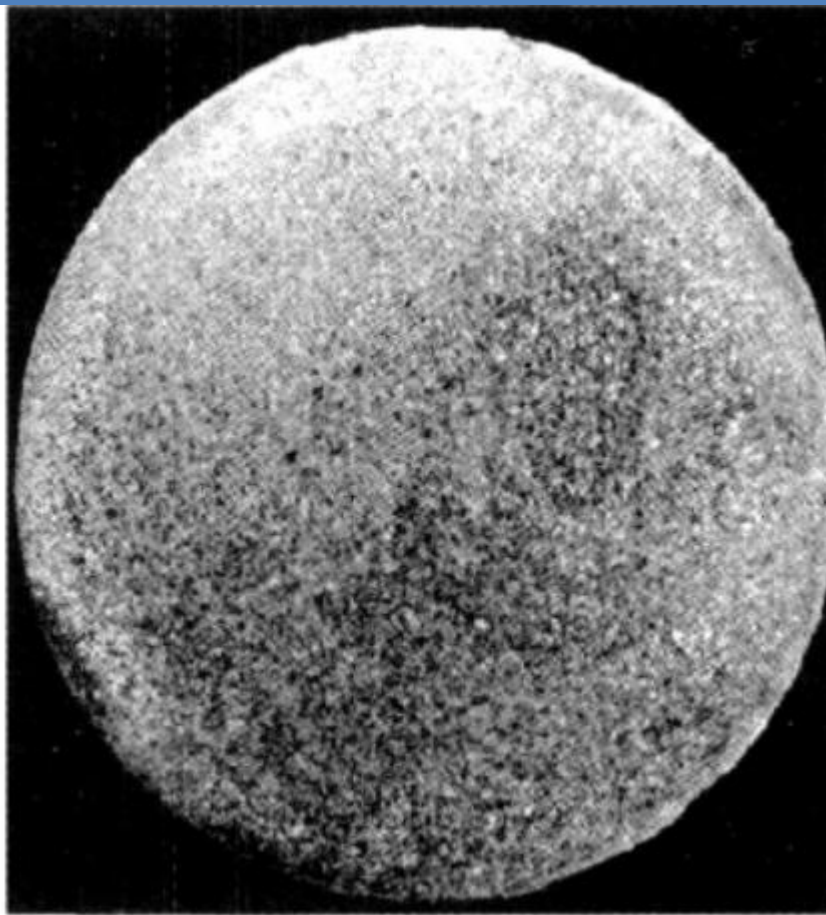
工艺条件：半连续铸造

侵蚀剂：硝酸高铁酒精溶液

组织说明： $\alpha$ 单相固溶体，黑点系腐蚀产物



(a)



(b)

放大倍率：2/3×

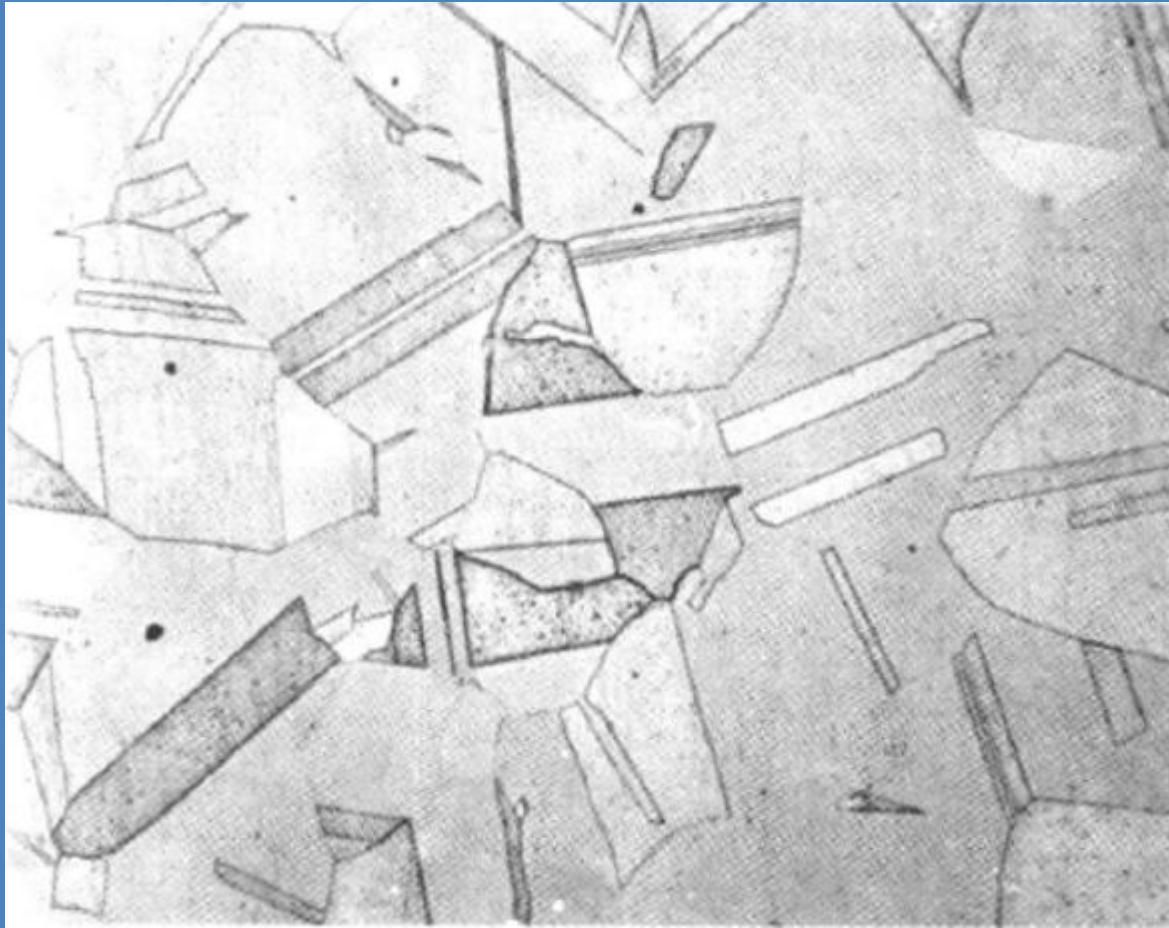
合金牌号：T2

工艺条件：热挤压棒

侵蚀剂：硝酸水溶液

组织说明：(a)为挤压棒头部组织，再结晶晶粒明显。

(b)为挤压棒尾部组织，再结晶晶粒较细。边部加工率更大，晶粒也更细





放大倍率：120×

合金牌号：T2

工艺条件：850℃加热挤压Ø18mm棒

侵蚀剂：硝酸高铁酒精溶液

组织说明： $\alpha$ 单相固溶体，明显的再结晶组织



(a)



(b)

放大倍率：120×

合金牌号：T2

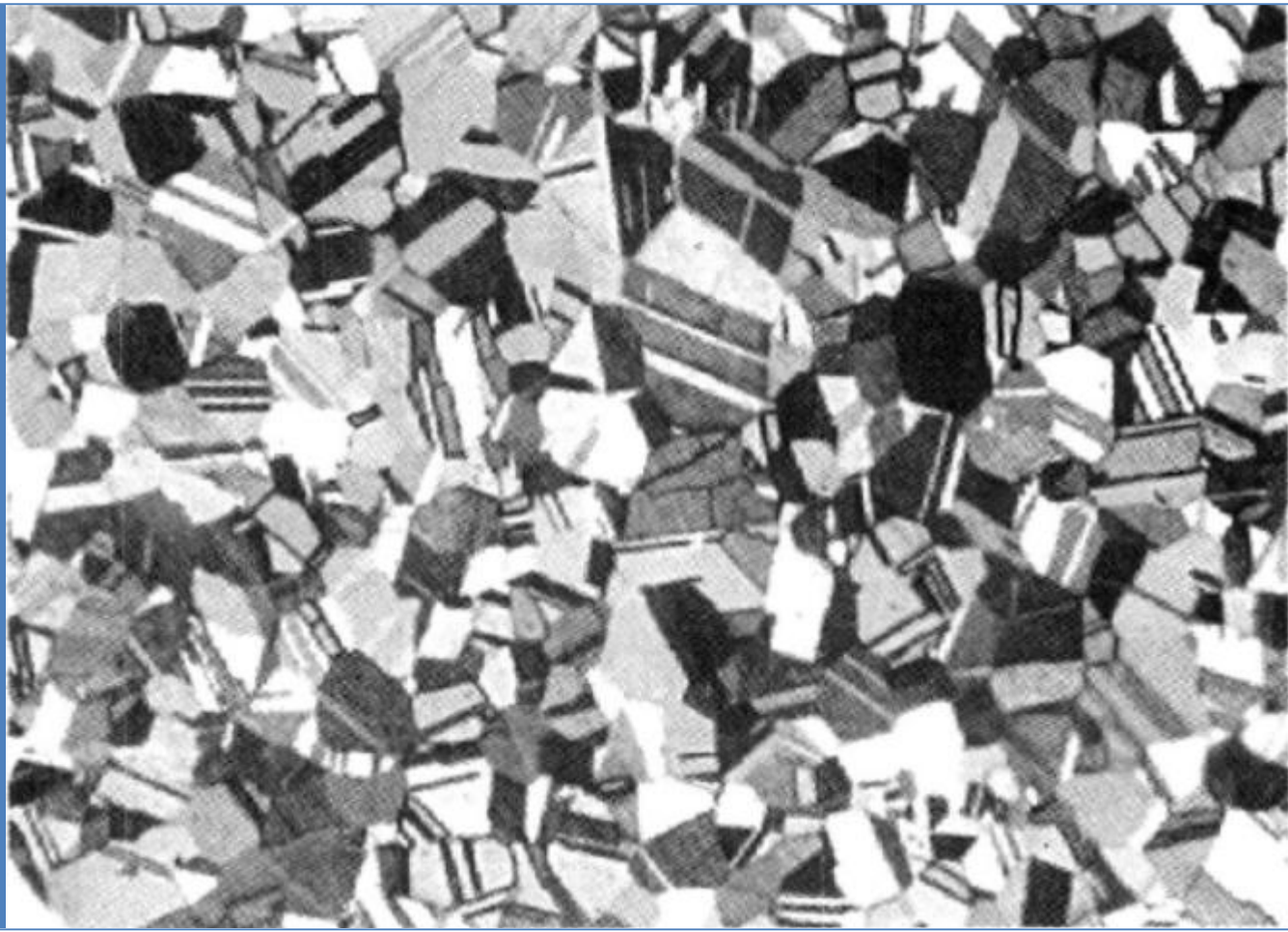
工艺条件：Ø18mm 冷拉棒

侵蚀剂：硝酸高铁酒精溶液

组织说明：(a)为棒材横向组织，可见晶粒发生歪扭。

(b)为棒材纵向组织，可见晶粒沿加工方向拉长、破碎及滑移带





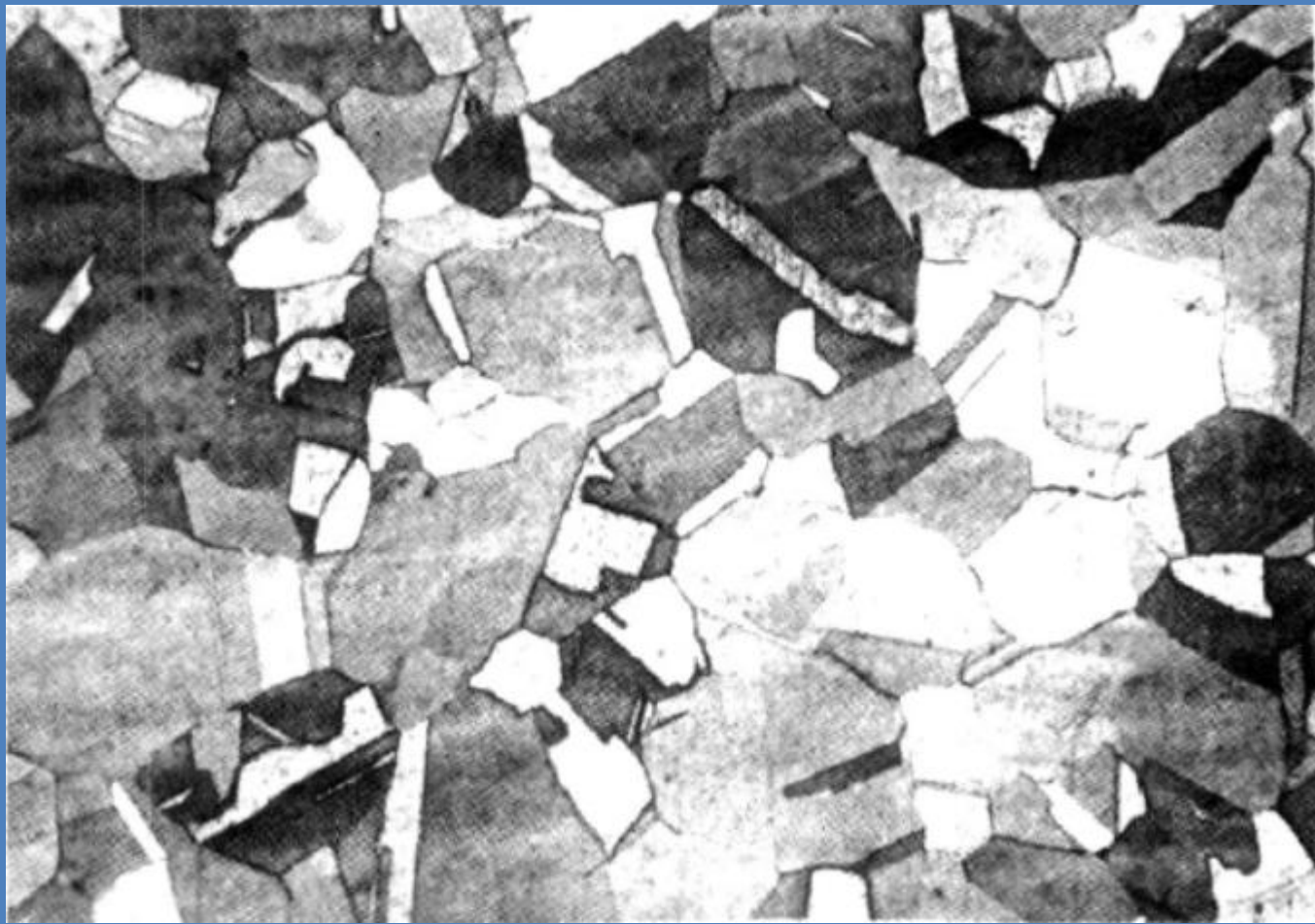
放大倍率：120×

合金牌号：T2

工艺条件：Ø18mm 冷拉棒经 600°C/30min 保温退火

侵蚀剂：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 0.03mm



放大倍率：120×

合金牌号：T2

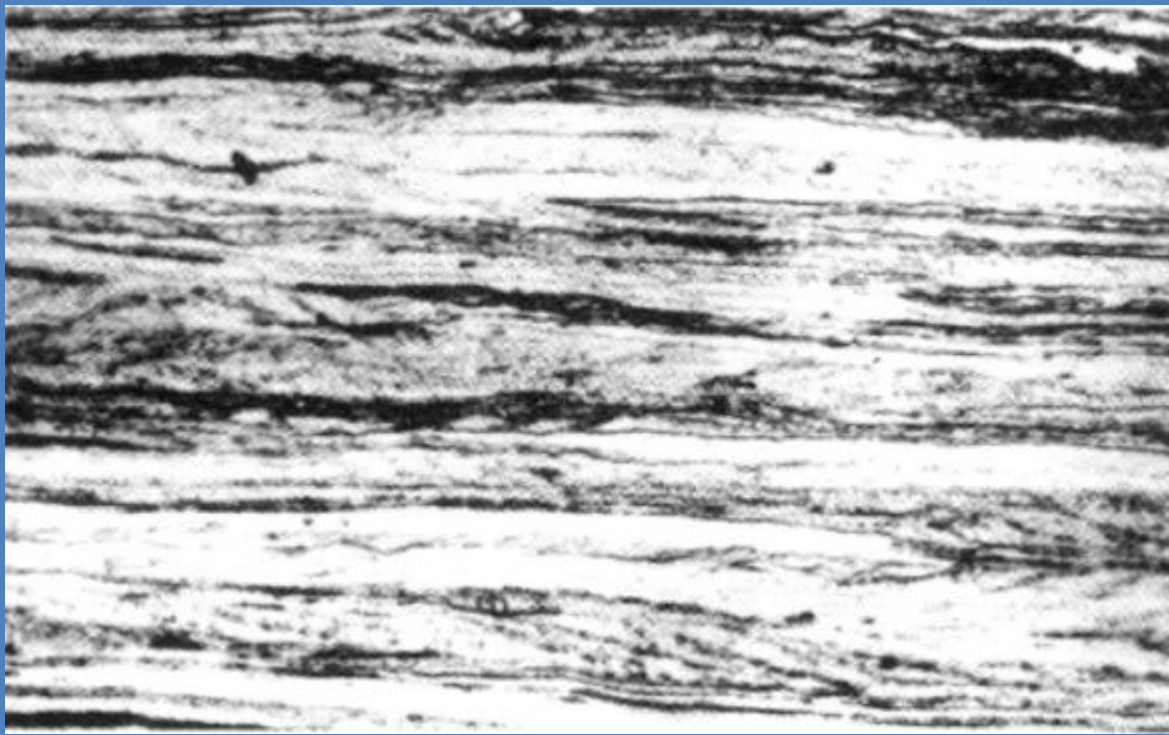
工艺条件：厚 12mm 热轧板

侵蚀剂：硝酸高铁酒精溶液

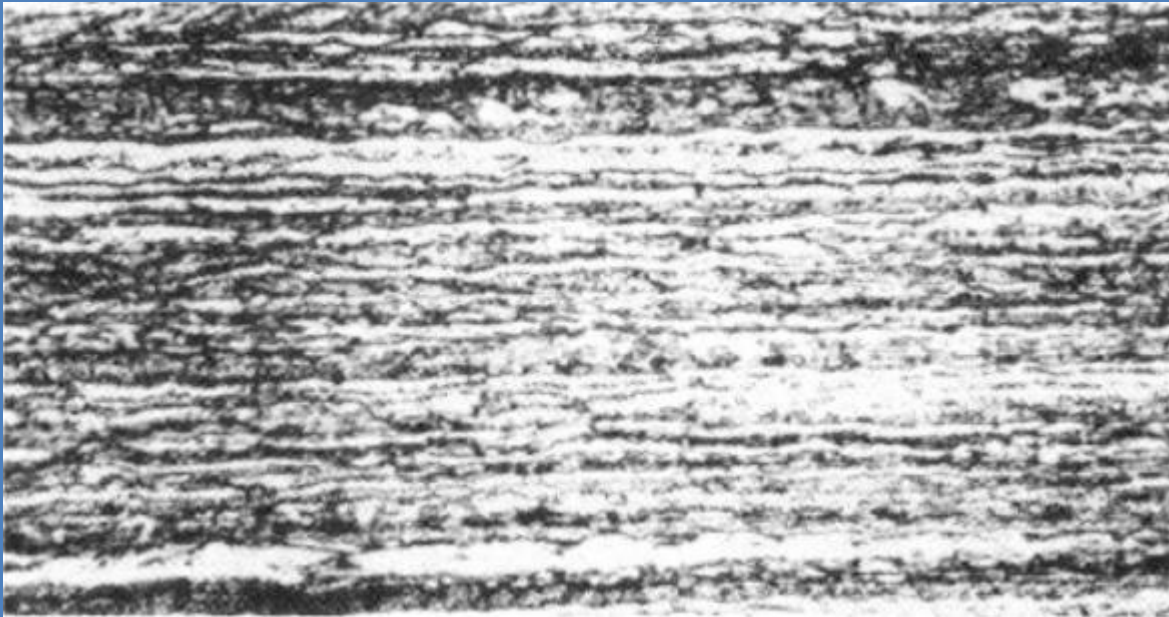
组织说明：由于终轧温度较高，再结晶晶粒较大



(a)



(b)



(c)

放大倍率：200×

合金牌号：T2

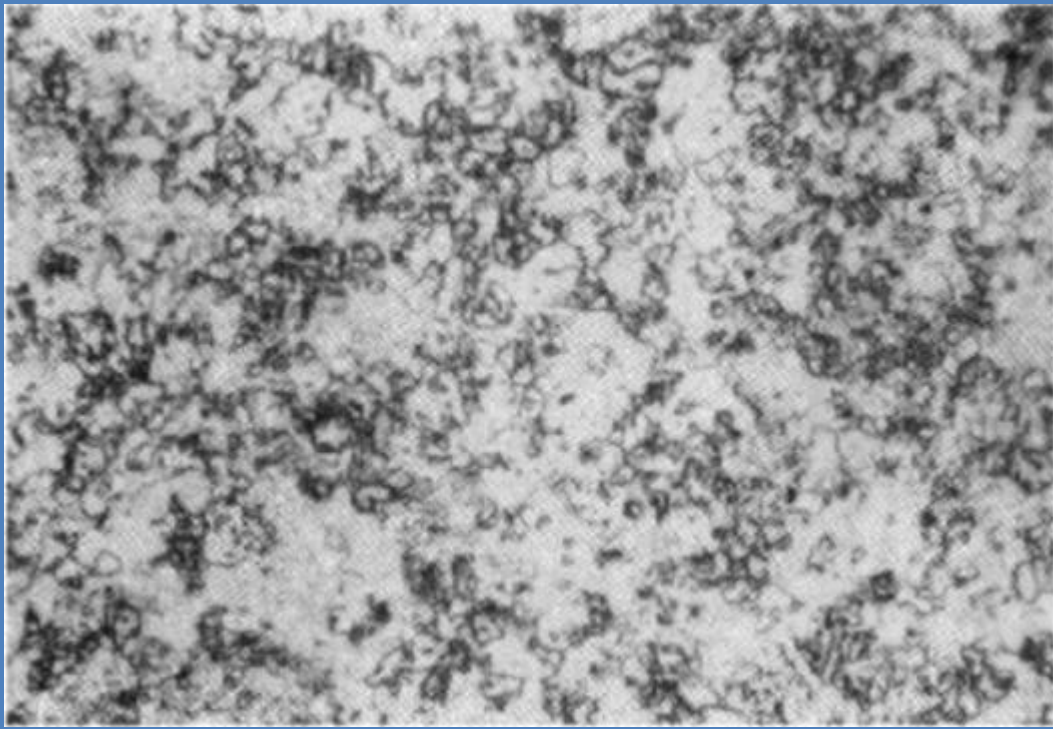
工艺条件：(a)冷轧板厚 5.5mm，加工率 54%；

(b)冷轧板厚 1.0mm，加工率 85%；

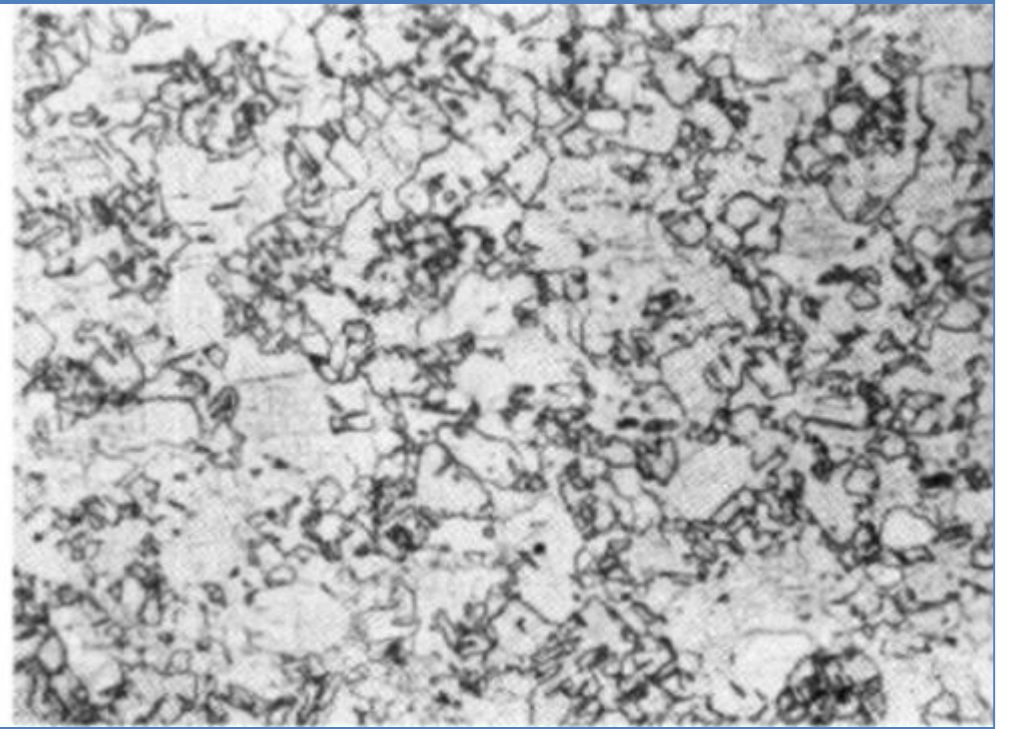
(c)冷轧板厚 0.5mm，加工率 95%

侵蚀剂：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

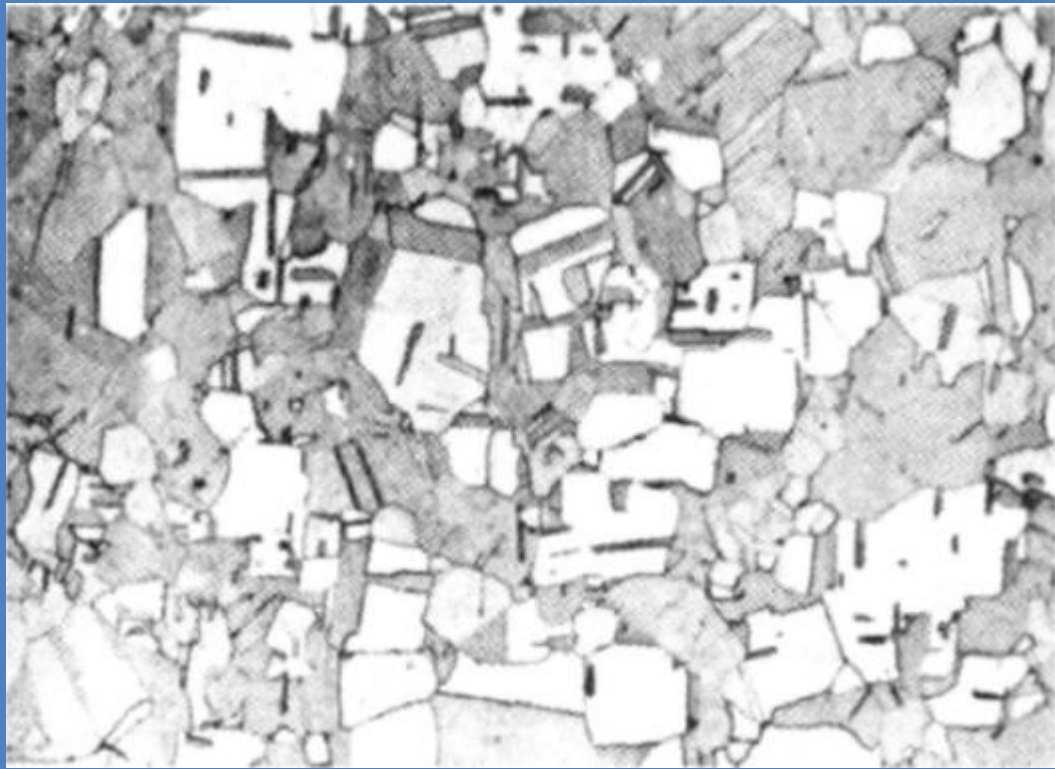


(a)



(b)





(c)



(d)

放大倍率：120×

合金牌号：T2

工艺条件：0.5mm 冷轧板经不同工艺退火后组织。

(a)350°C退火 30min;

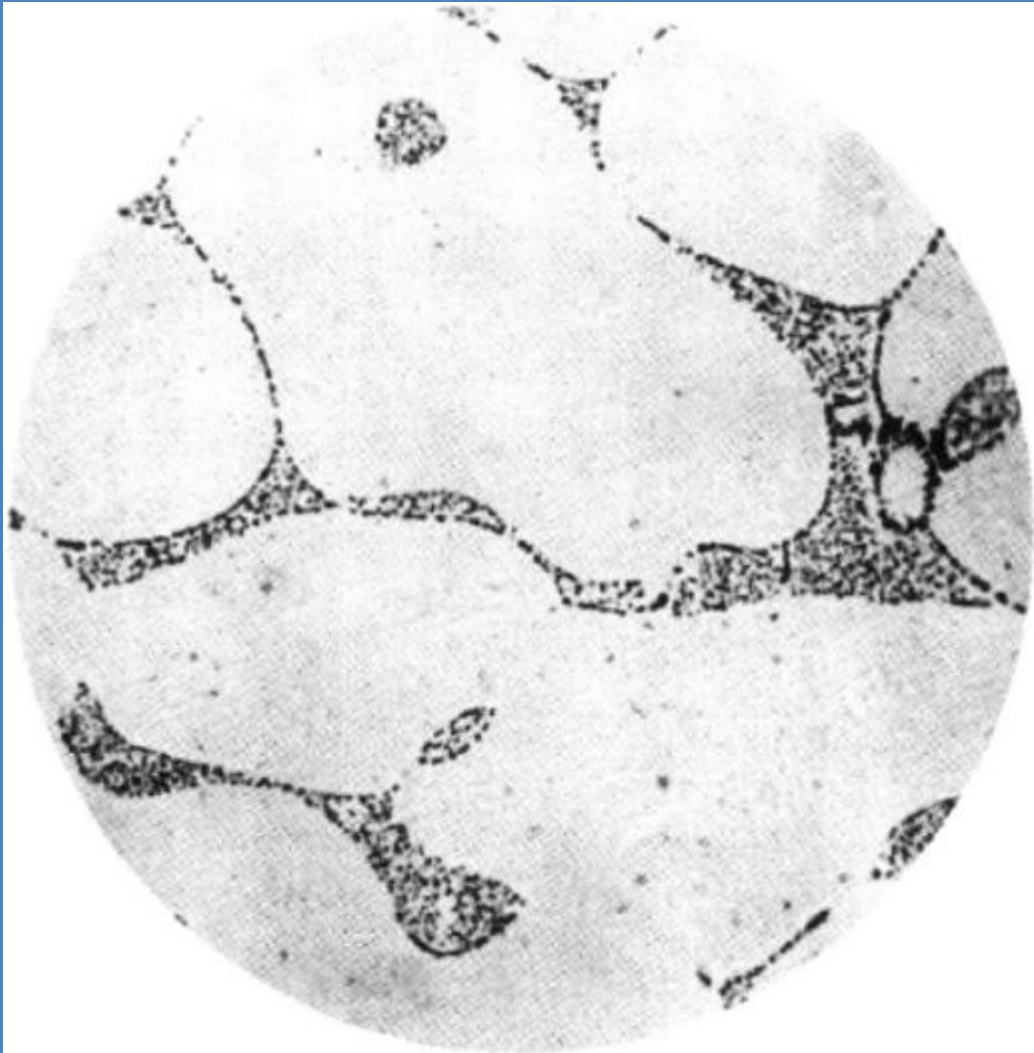
(b)冷轧板于 450°C退火 30min;

(c)冷轧板于又 500°C退火 30min;

(d)冷轧板于 700°C退火 30min

侵蚀剂：硝酸高铁酒精溶液

组织说明：随着退火温度的提高，再结晶晶粒不断长大

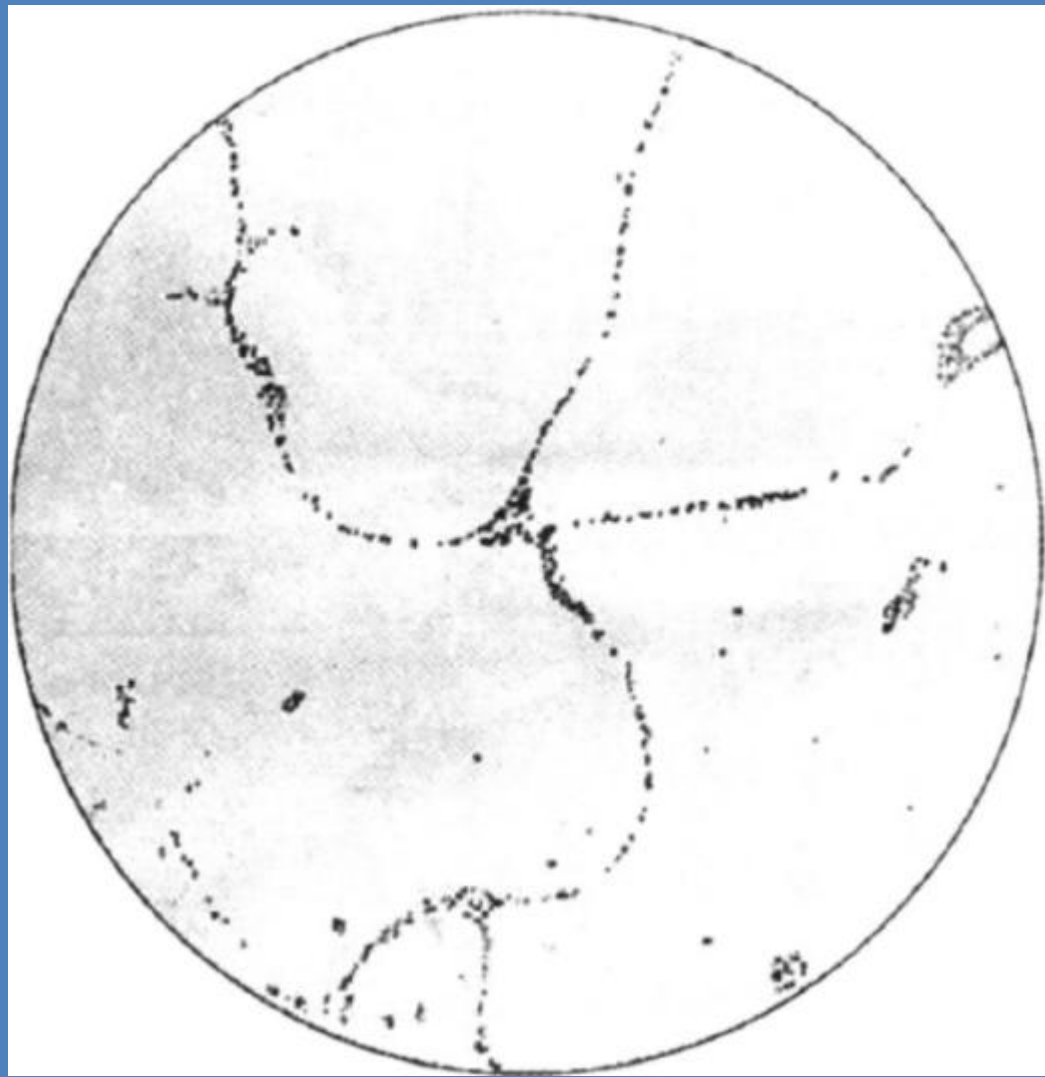


放大倍率：200×

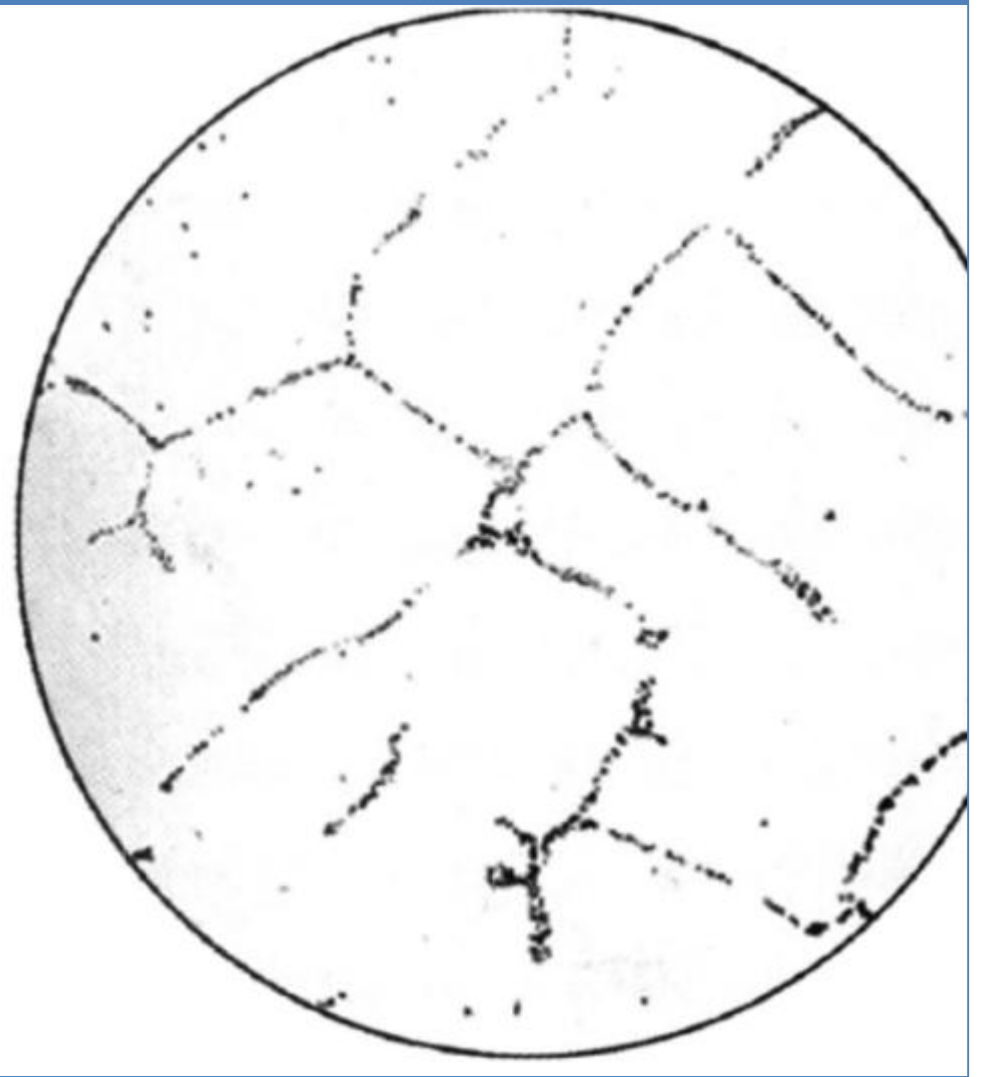
合金牌号：紫铜

工艺条件：铸造

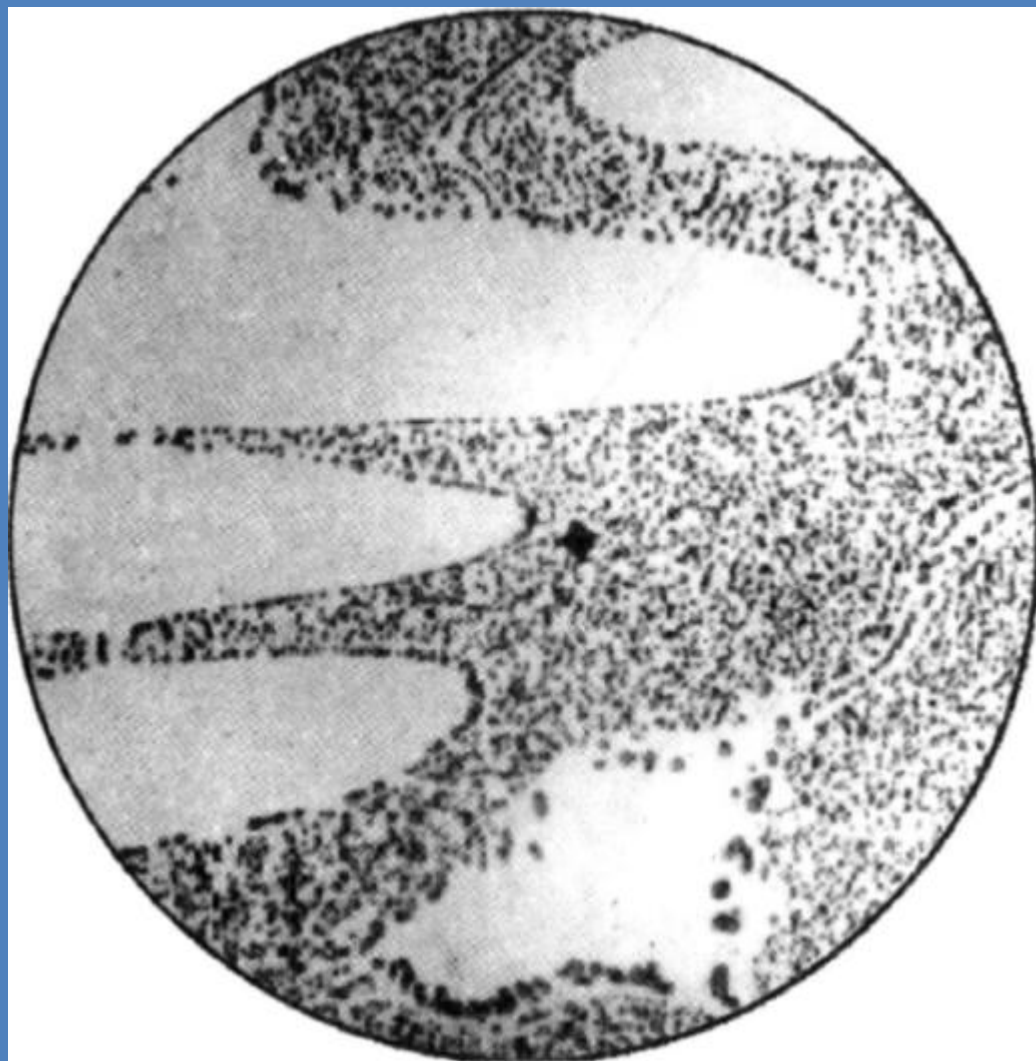
组织说明： $\alpha + (\alpha + \text{Cu}_2\text{O})$ 亚共晶组织，共晶体内黑点为  $\text{Cu}_2\text{O}$  含氧量 0.07%，偏光下  $\text{Cu}_2\text{O}$  呈红宝石色



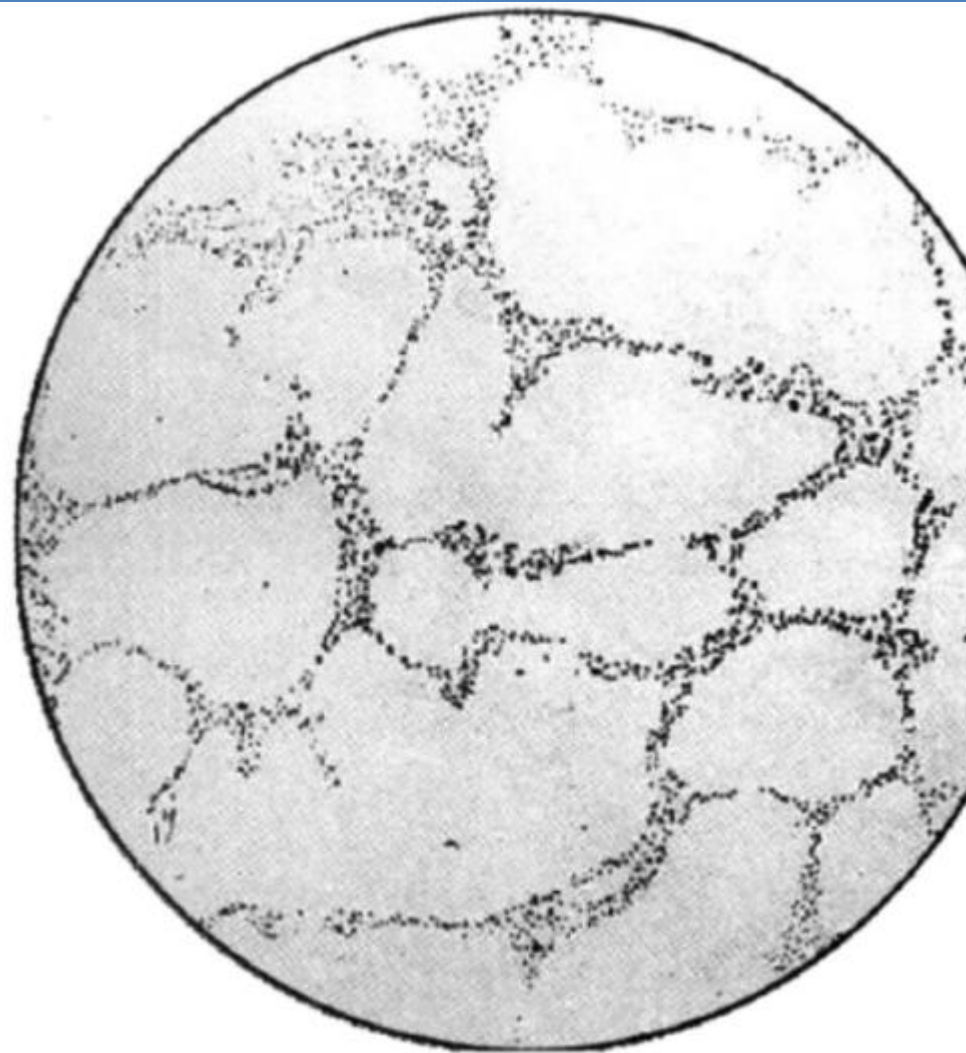
(a)



(b)



(c)



(d)

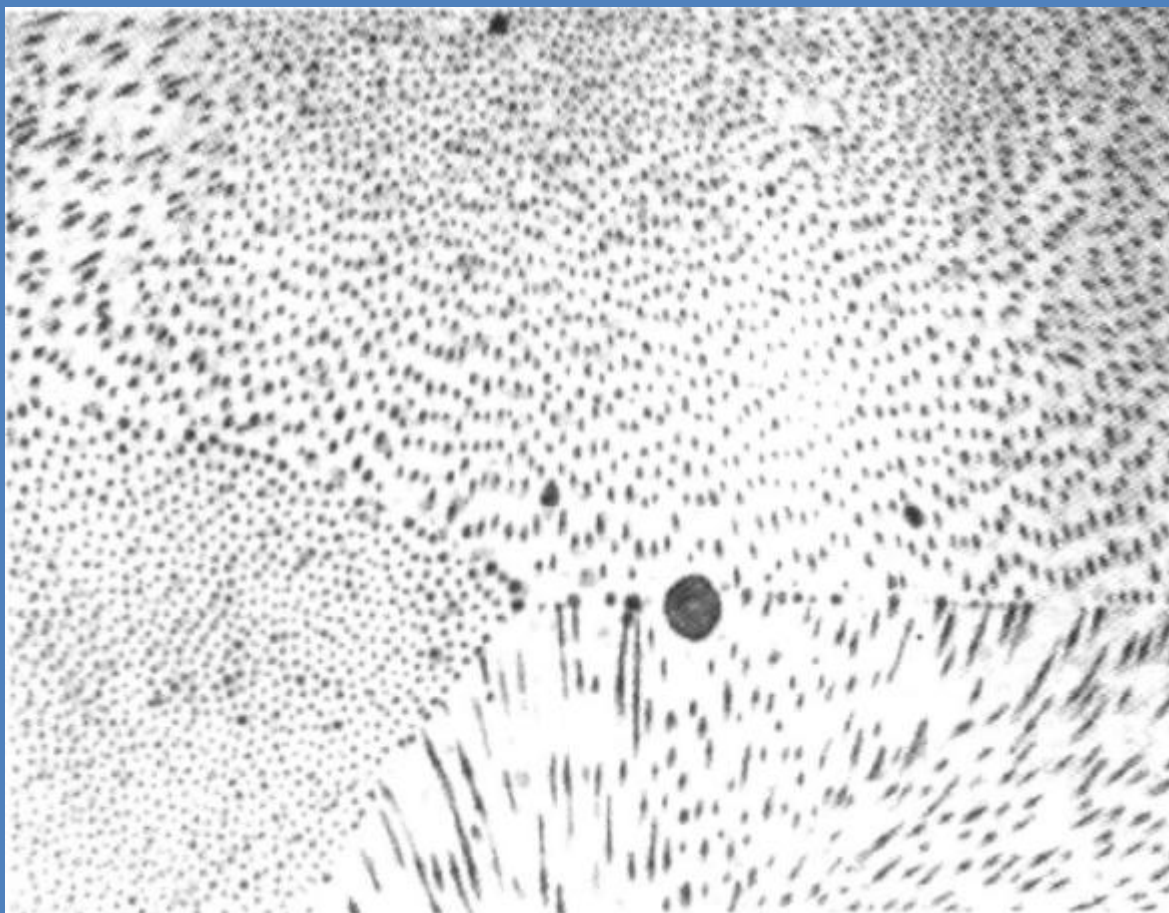
放大倍率：200×

合金牌号：紫铜

工艺条件：铸造

侵蚀剂：未浸蚀

组织说明：紫铜铸造状态(a)、(b)、(c)、(d)的含氧分别为:0.015%、0.035%、0.09%、0.28%，共晶体的量依次增多。



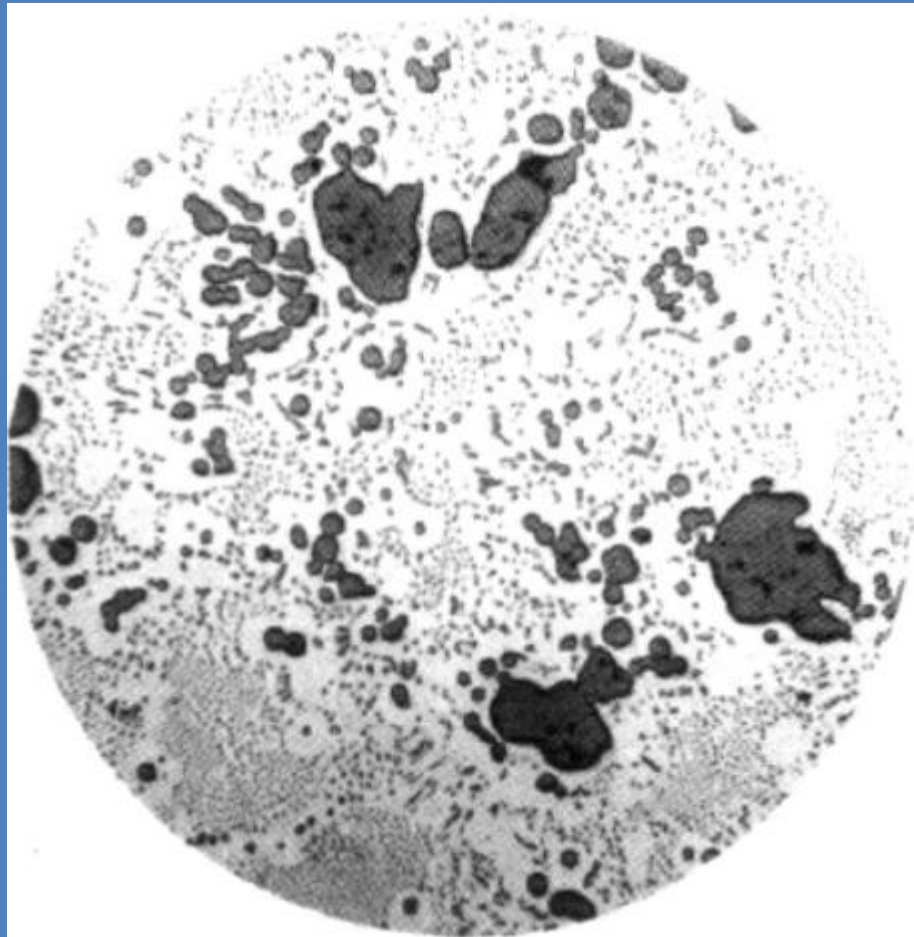
放大倍率：200×

合金牌号：紫铜

工艺条件：铸造

侵蚀剂：电解浸蚀

组织说明：全共晶组织（含氧 0.39%）



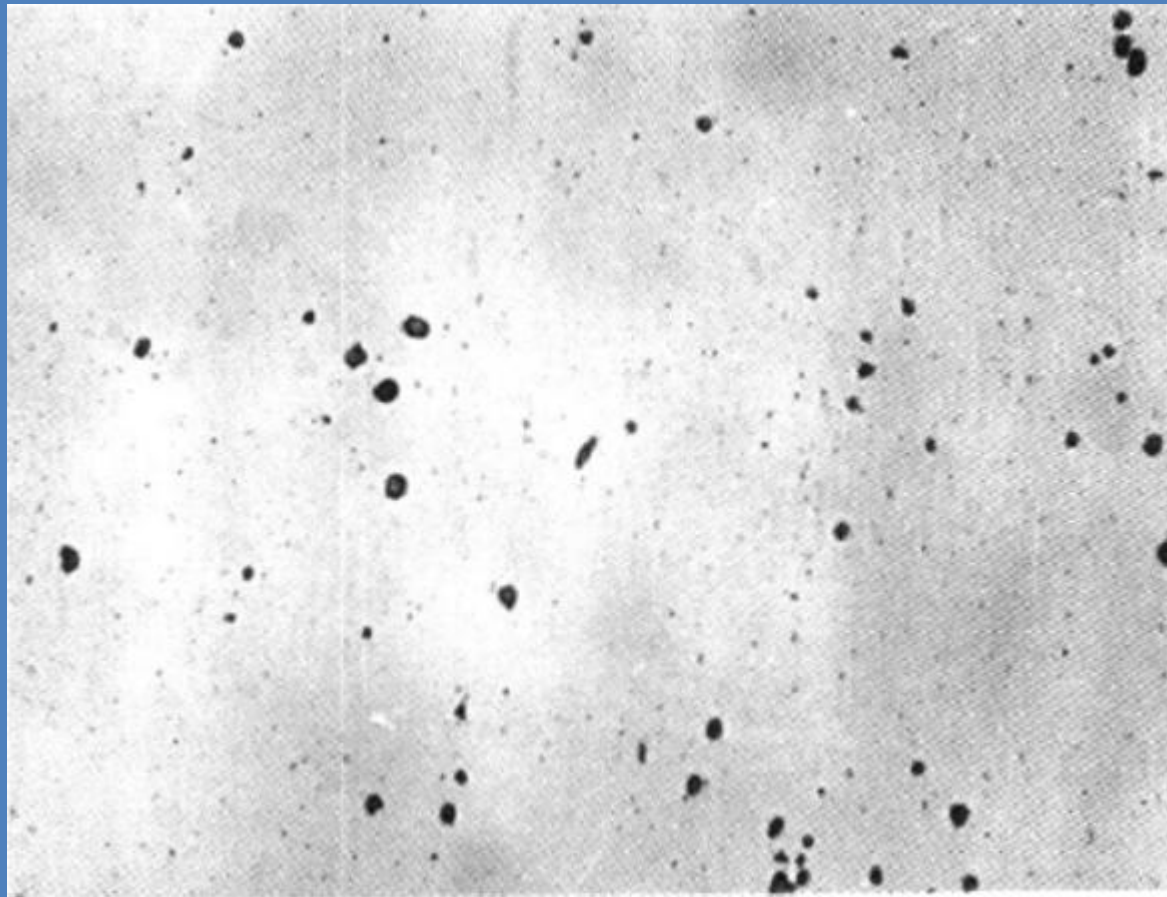
放大倍率：200×

合金牌号：紫铜

工艺条件：铸造

侵蚀剂：未浸蚀

组织说明：过共晶组织大块灰色者为  $\text{Cu}_2\text{O}$  初晶





放大倍率：200×

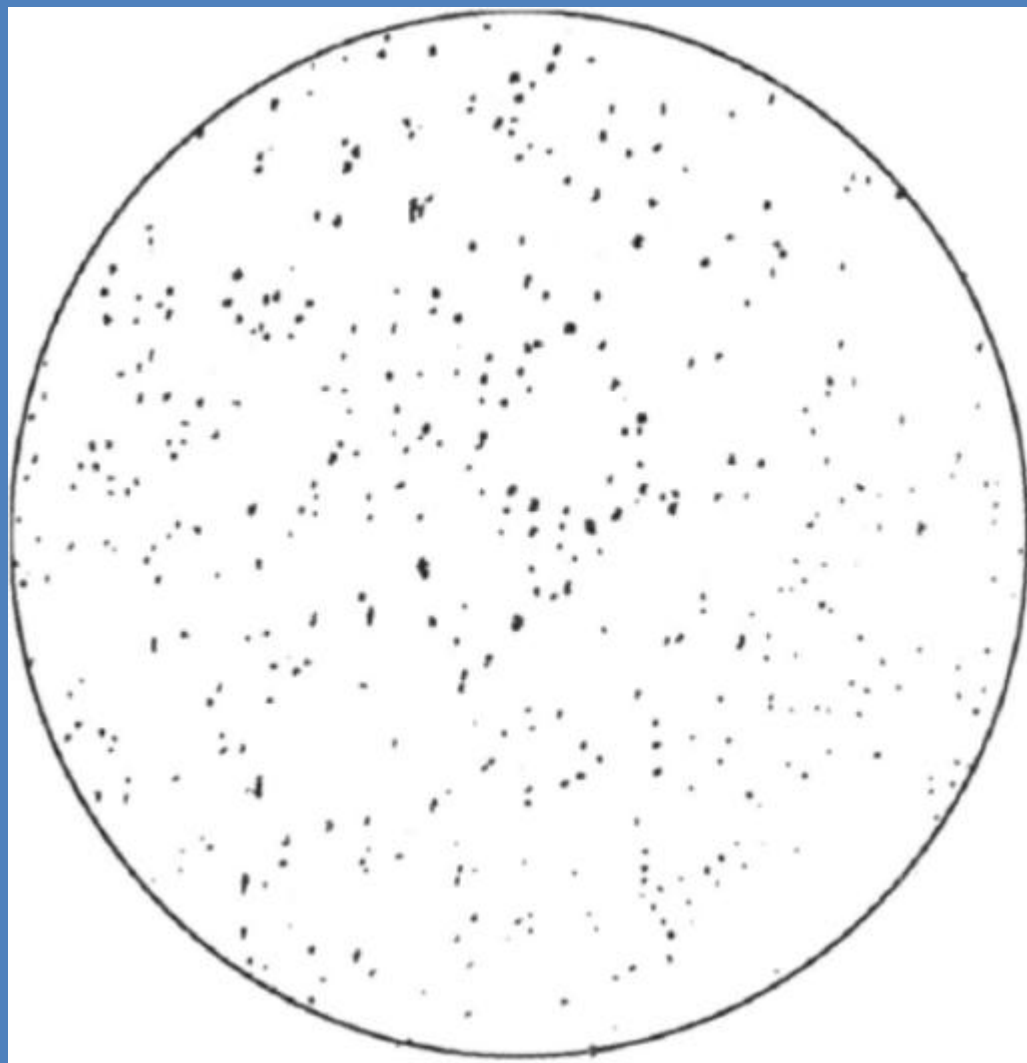
合金牌号：T2

工艺条件：热挤压棒

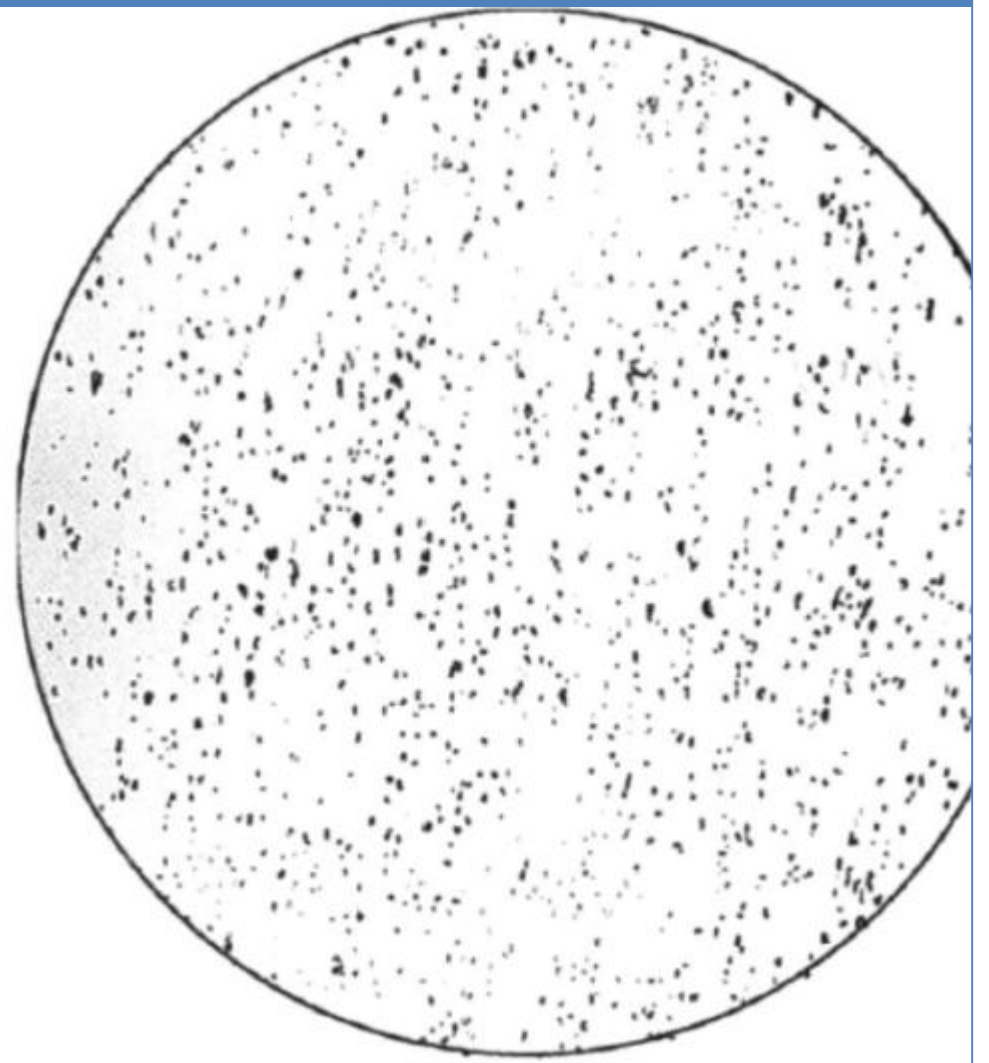
侵蚀剂：未浸蚀

组织说明： $\text{Cu}_2\text{O}$  呈颗粒状分布





(a)



(b)

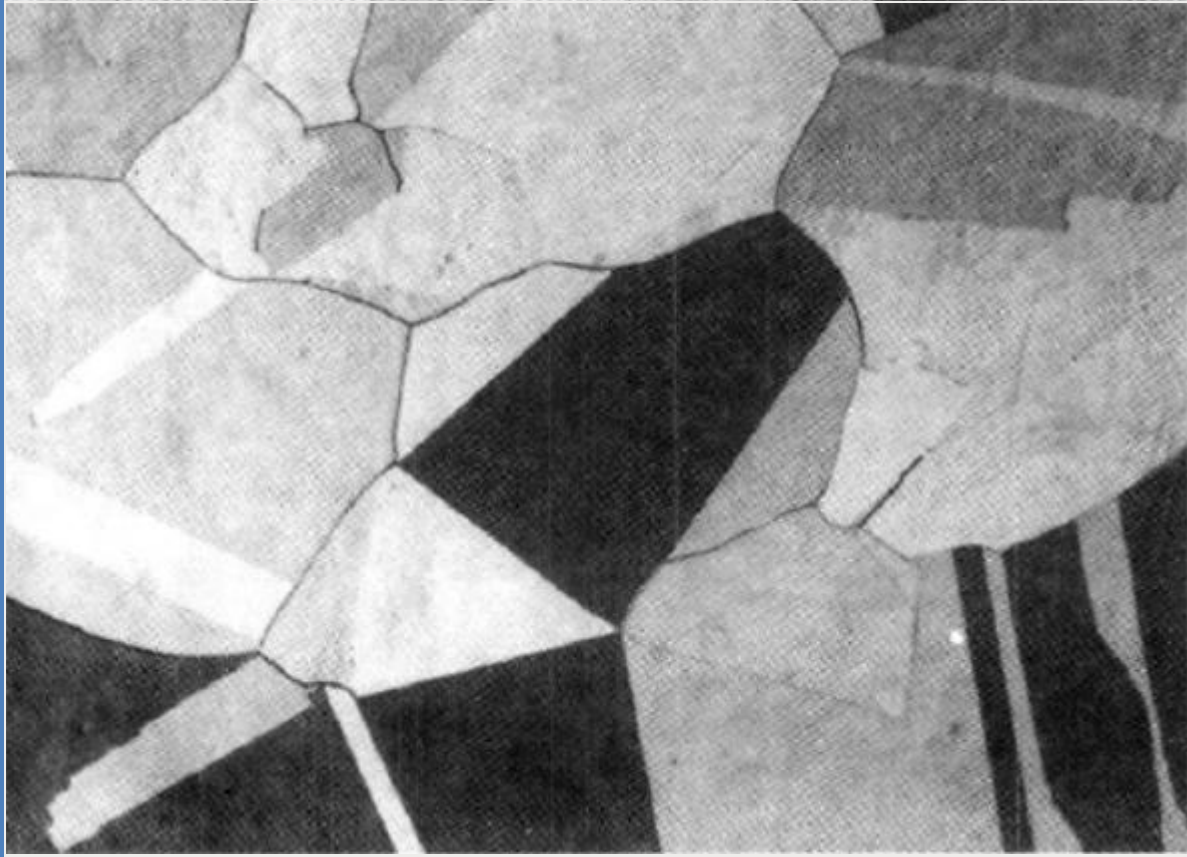
放大倍率：200×

合金牌号：紫铜

工艺条件：加工状态

侵蚀剂：未浸蚀

组织说明：含氧量分别为 0.035%和 0.09%



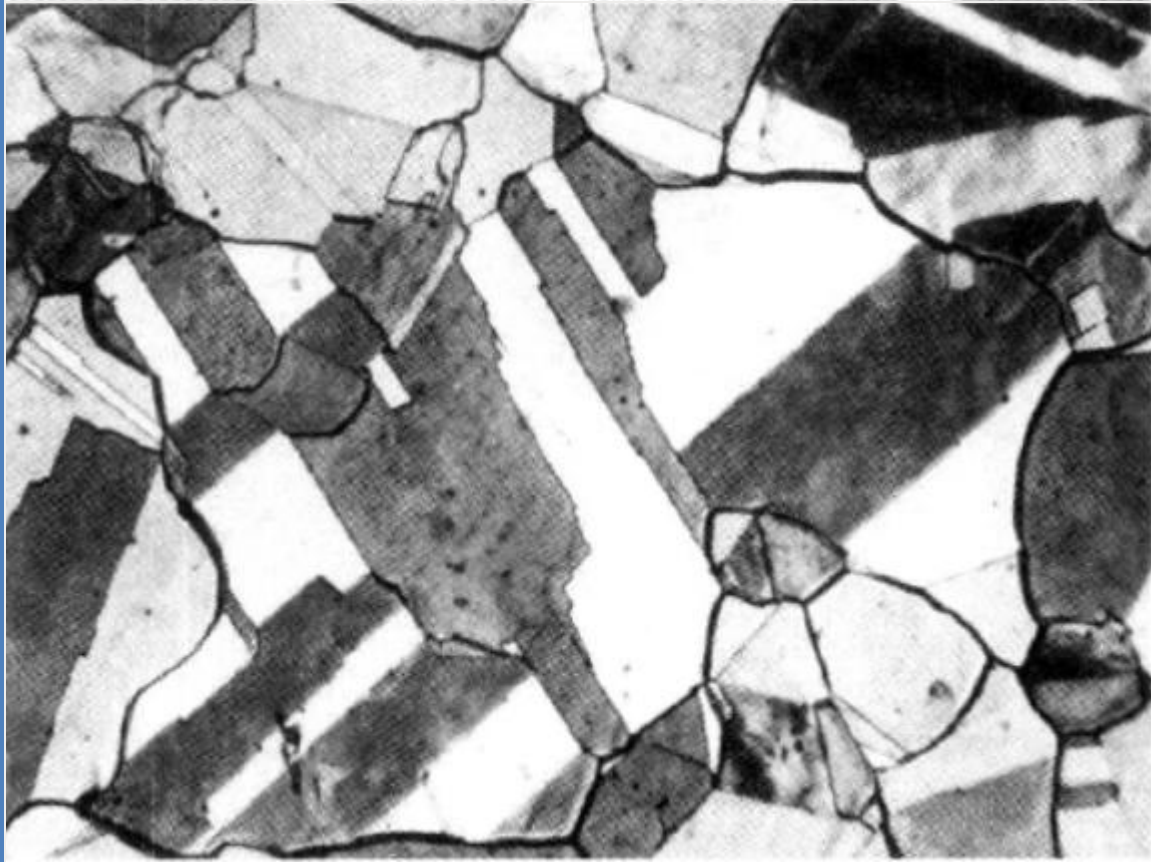
放大倍率：200×

合金牌号：TU1

工艺条件：挤压后 820~840°C/20min 氢气退火

侵蚀剂：未浸蚀（试样经电解抛光制备）

组织说明：因不含氧经氢气退火后表面不出现裂纹



放大倍率：200×

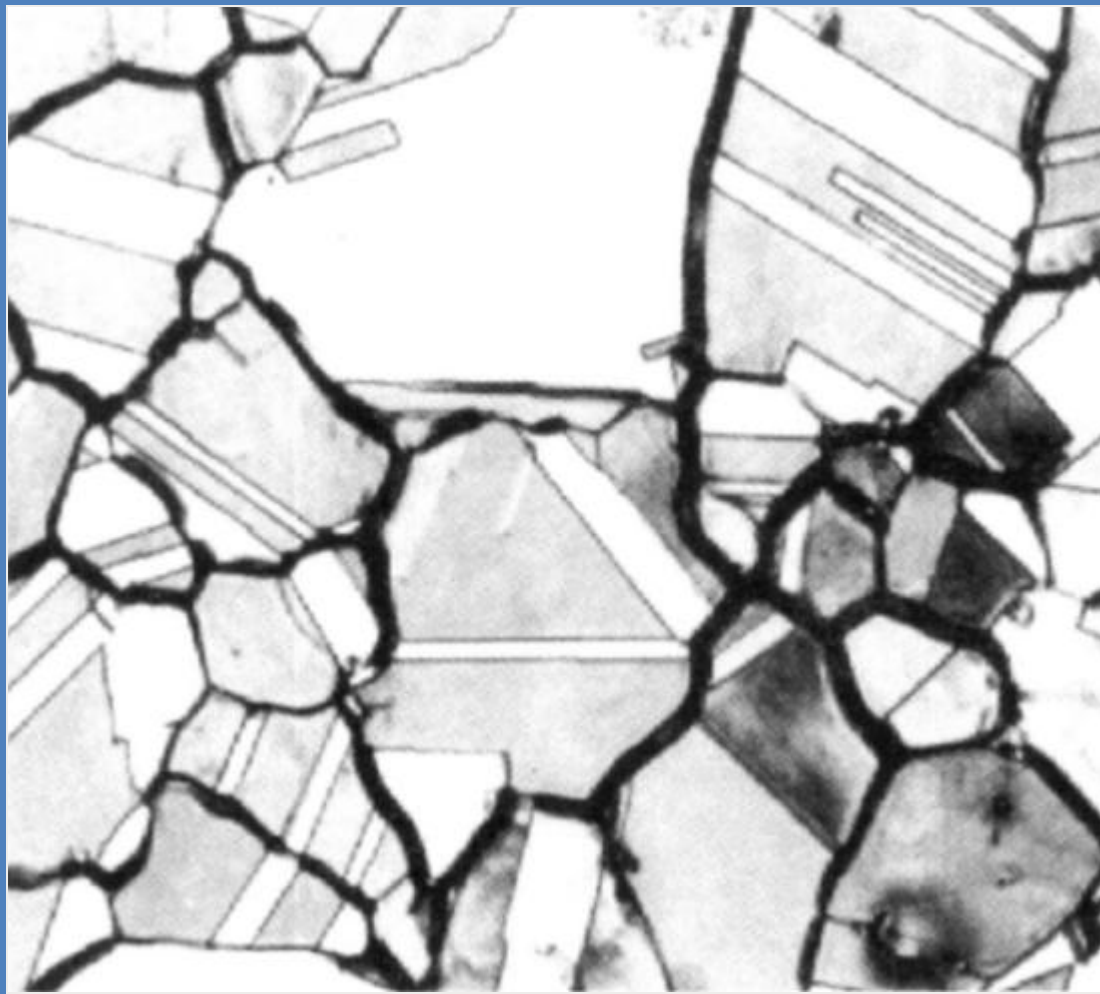
合金牌号：TU1

工艺条件：挤压后 820~840°C/20min 氢气退火

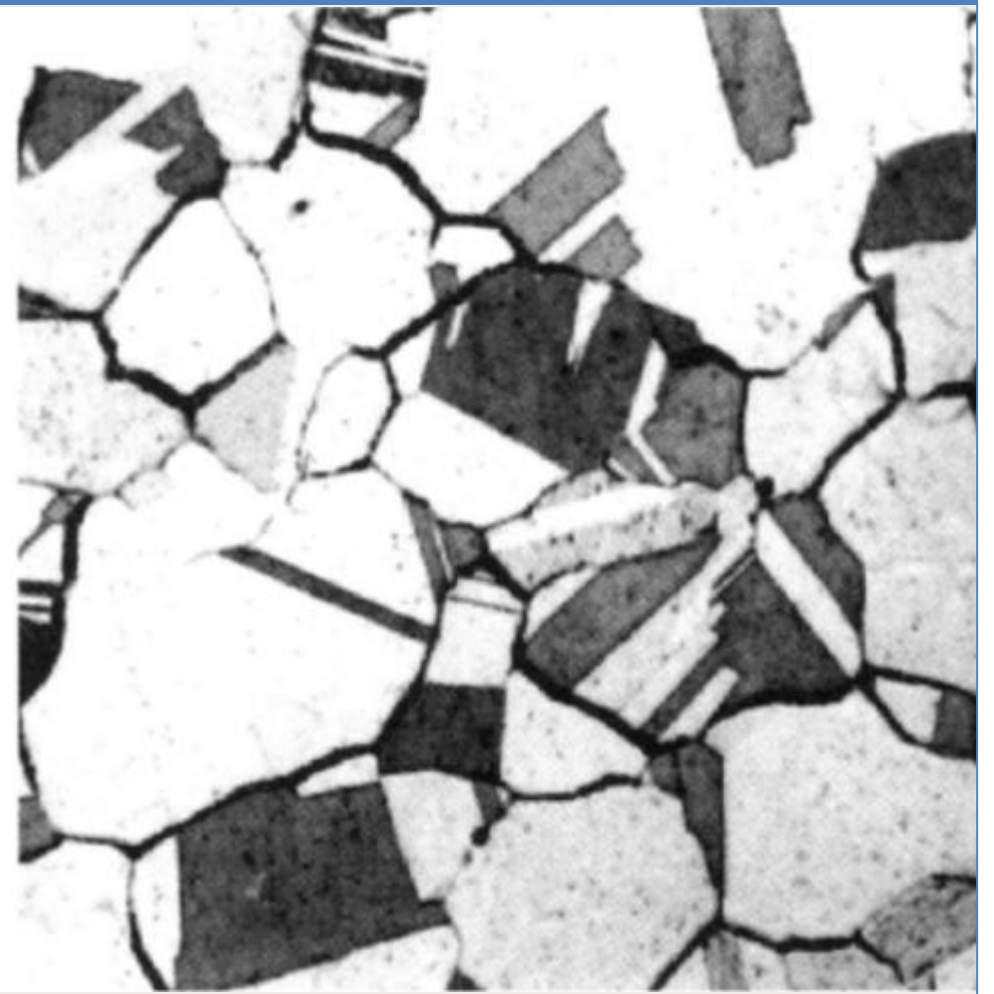
侵蚀剂：未浸蚀（试样经电解抛光制备）

组织说明：由于内部含氧，试样表面部分晶界出现开裂





(a)



(b)

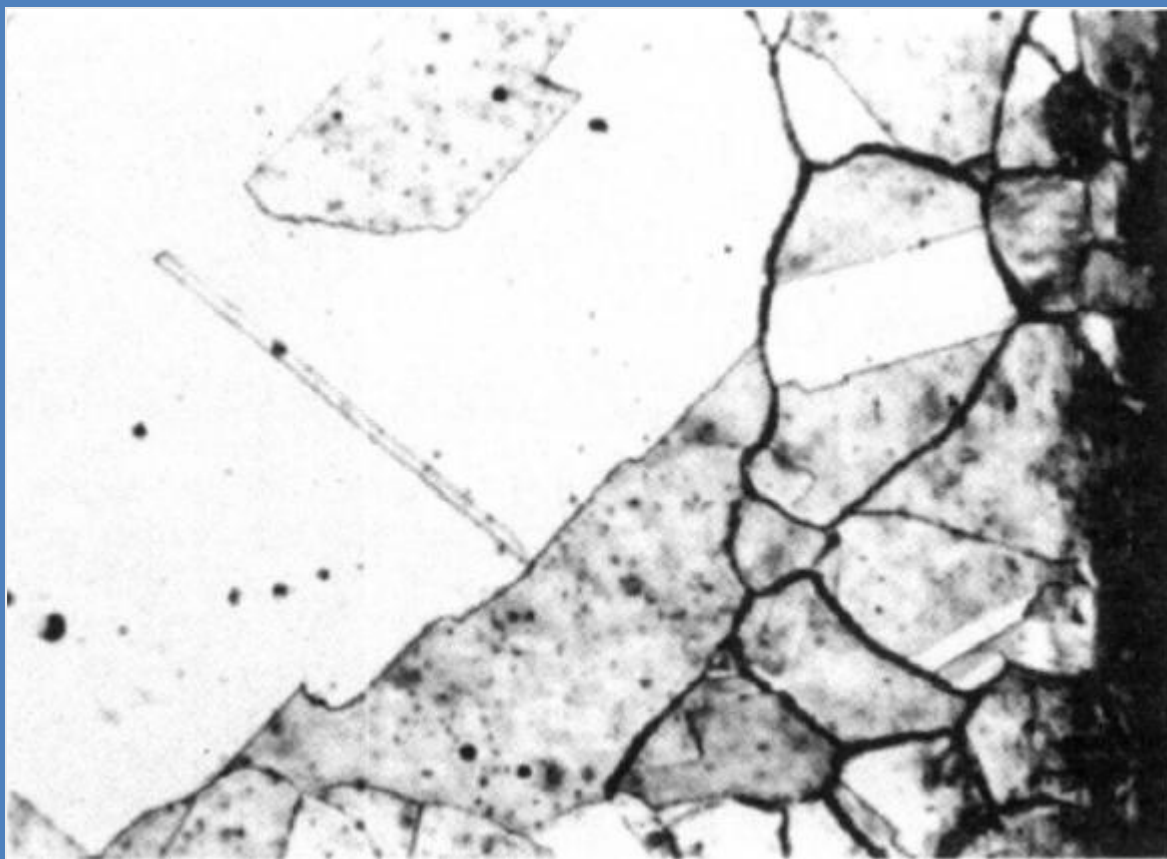
放大倍率：200×

合金牌号：TU1

工艺条件：挤压后 820~840°C/20min 氢气退火

侵蚀剂：未浸蚀（试样经电解抛光制备）

组织说明：试样含氧较多，经氢气退火后表面严重开裂。其中(a)用电解抛光制备;(b)用机械抛光制备



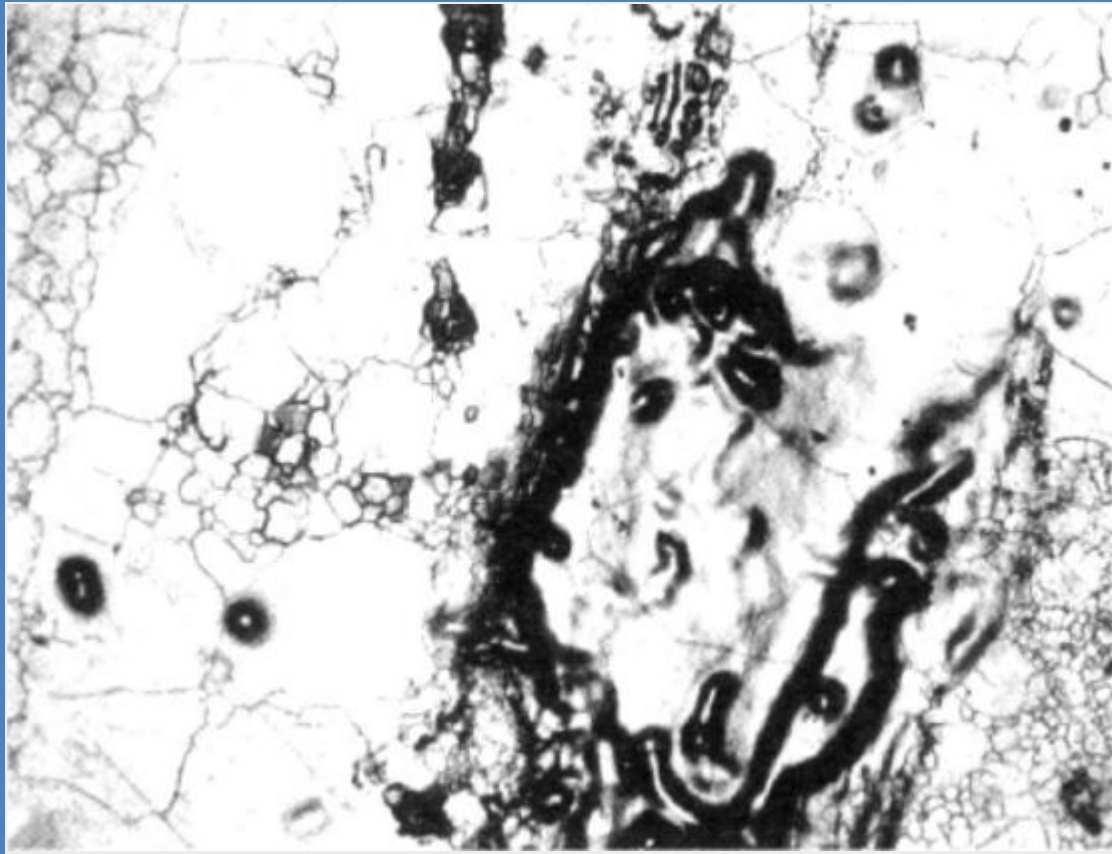
放大倍率：70×

合金牌号：TU1

工艺条件：先经 800°C/50min 空气退火再做上述氢气退火

侵蚀剂：未浸蚀（试样经电解抛光制备）

组织说明：试样本不含氧，但高温退火时表面渗氧，经氢气退火后边部出现裂纹



放大倍率：200×

合金牌号：TU1

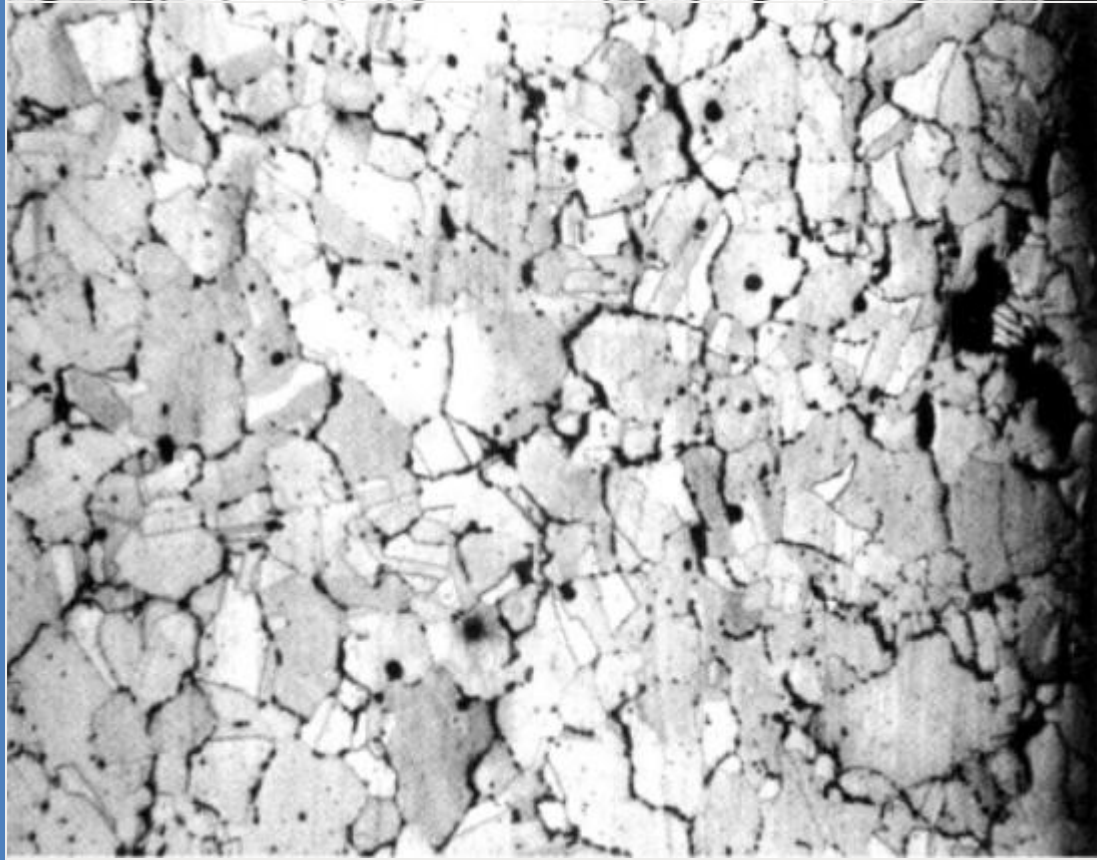
工艺条件：挤压棒经氢气退火

侵蚀剂：未浸蚀

组织说明：试样内部并无氧，但由于制备时锯口变形层未予锉净经氢气退火后被锯



切氧化的金属出现“假”裂纹



放大倍率：200×

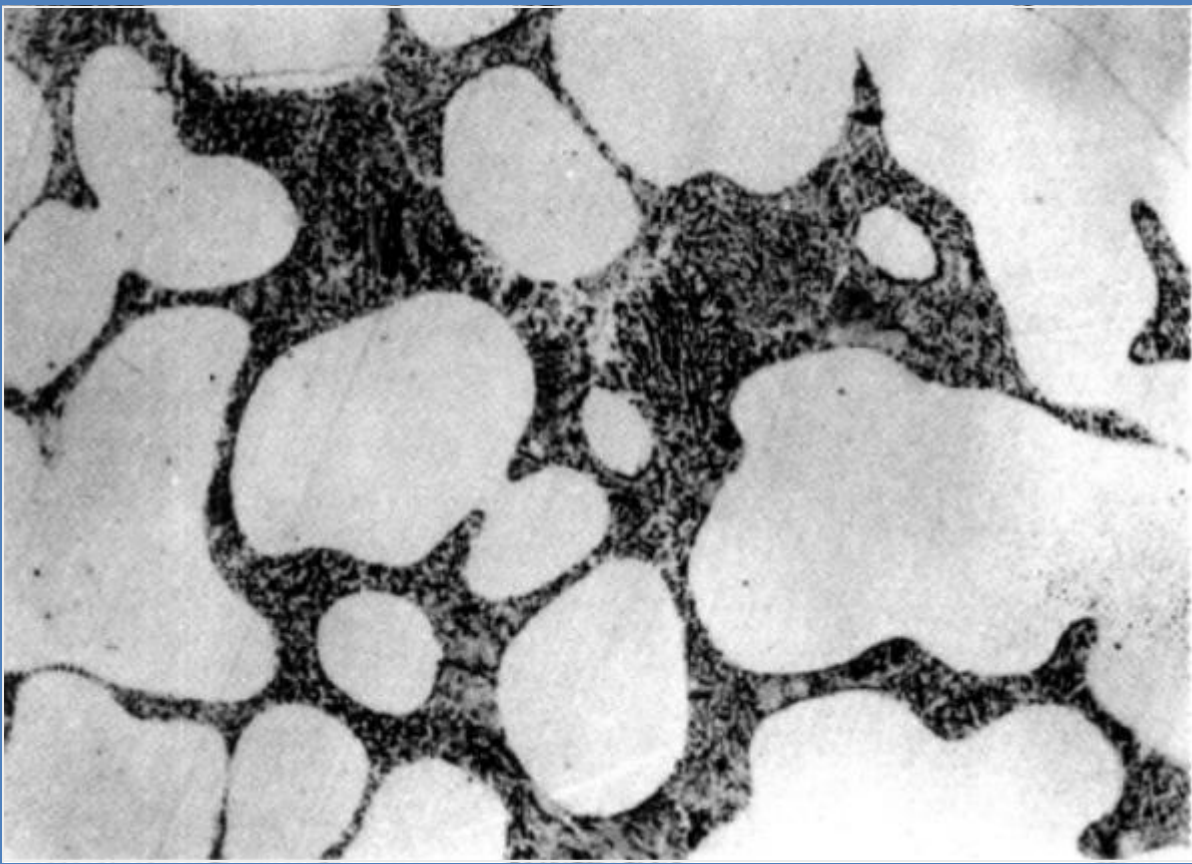
合金牌号：T2

工艺条件：冷轧板在 820~840℃氢气退火 1h

侵蚀剂：三氯化铁酒精溶液

组织说明：由于试样含氧较高，经氢气退火后表面起泡。内部晶界（亦有晶内）出现大量空洞，个别已连成晶界裂纹





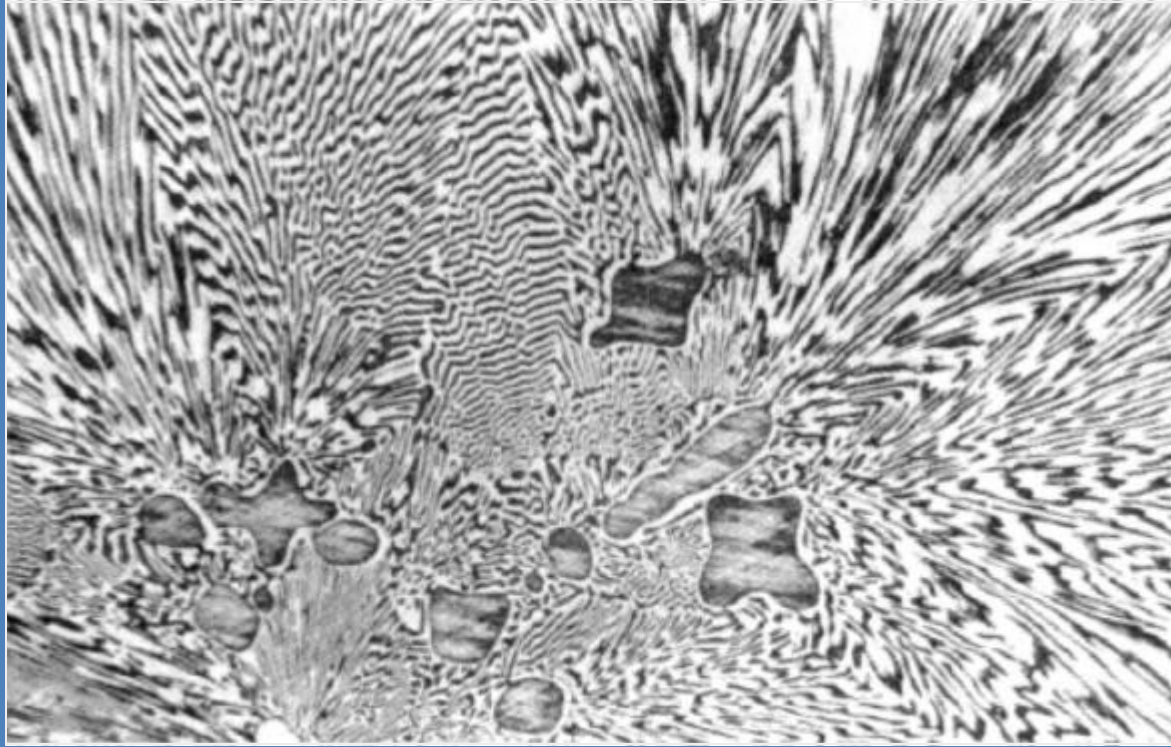
放大倍率：120×

合金牌号：Cu-P 中间合金

工艺条件：铸造

侵蚀剂：三氯化铁酒精溶液

组织说明：Cu-P 亚共晶组织  $\alpha + (\alpha + \text{Cu}_3\text{P})$ 。由于冷却速度较快，共晶体细密



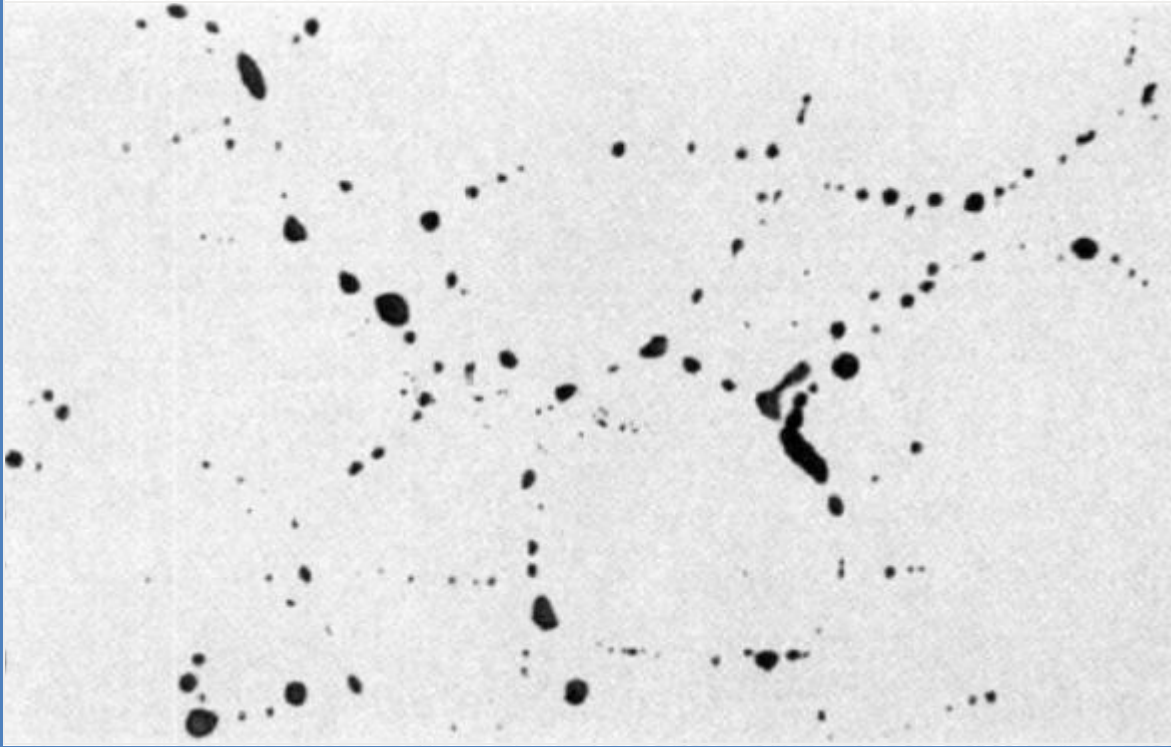
放大倍率：200×

合金牌号：Cu-P 中间合金

工艺条件：铸造

侵蚀剂：三氯化铁酒精溶液

组织说明：放射状共晶组织



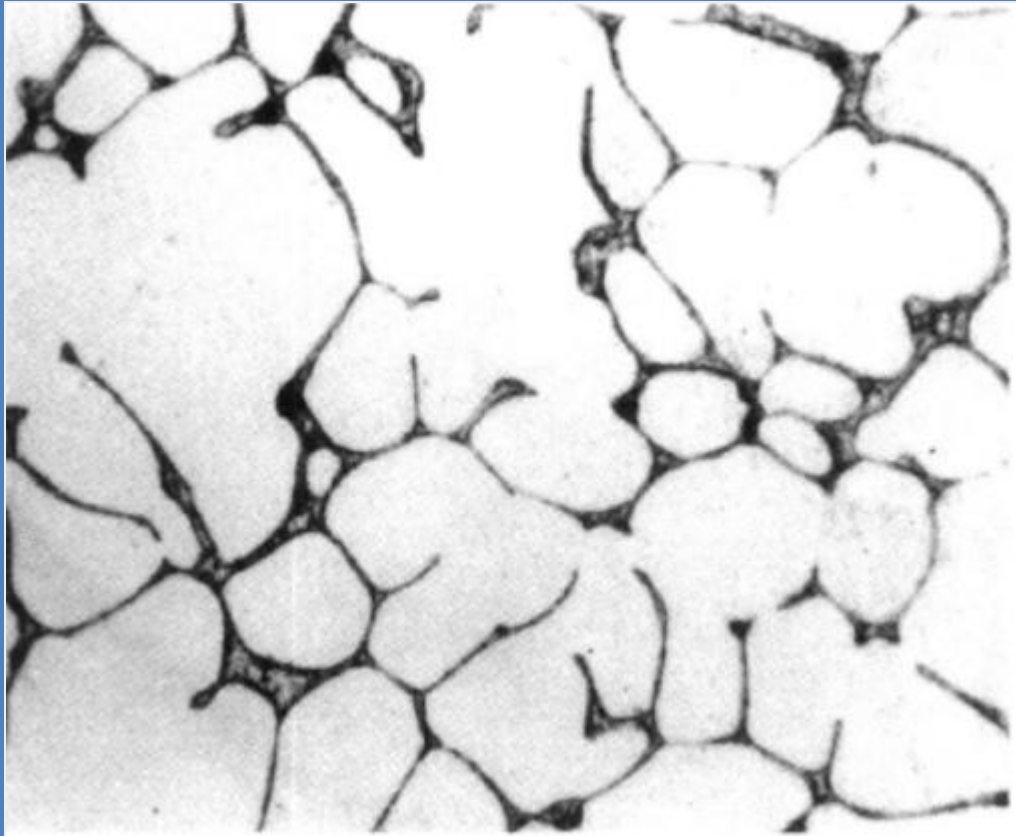
放大倍率：200×

合金牌号：Cu-S

工艺条件：铸造

侵蚀剂：未侵蚀

组织说明：颗粒状的  $\text{Cu}_2\text{S}$  呈网状分布于  $\alpha$  相基体



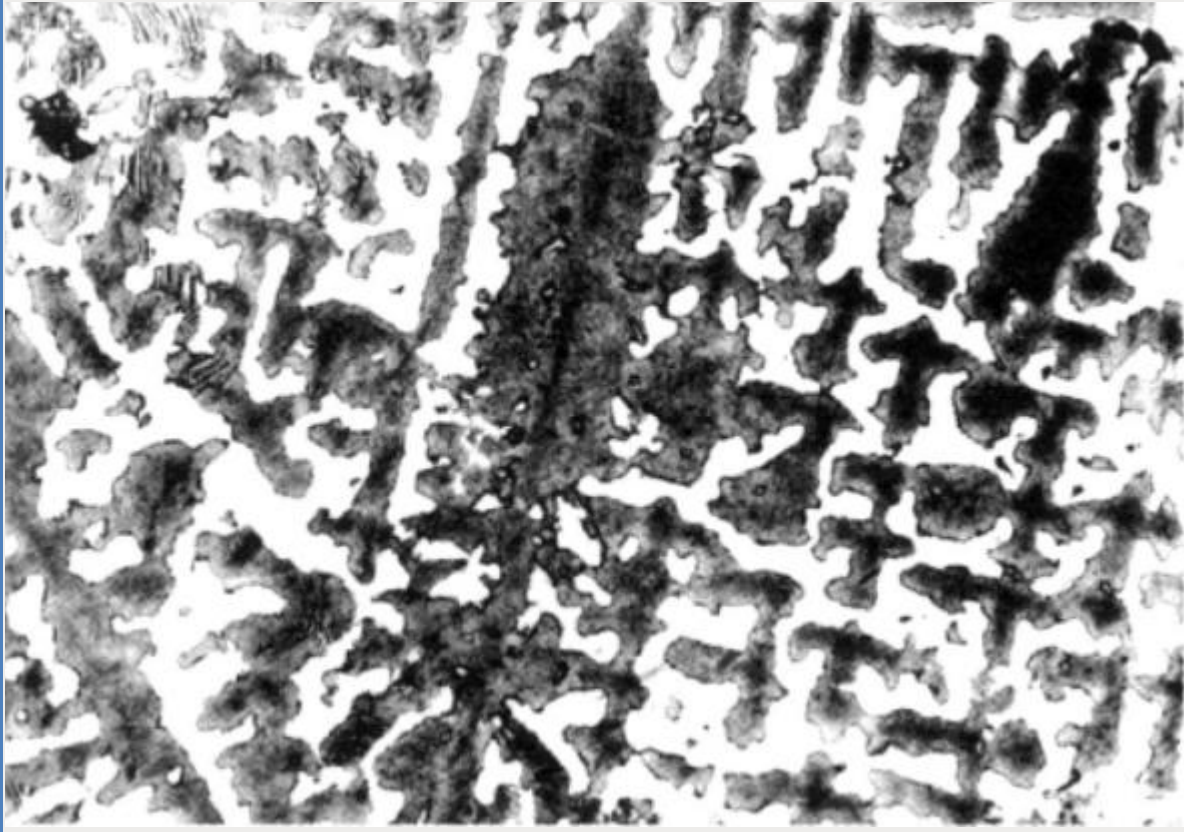
放大倍率：200×

合金牌号：Cu-Bi（含 Bi9.4%）

工艺条件：铸造

侵蚀剂：三氯化铁酒精溶液

组织说明：铜-铋共晶呈网状分布于 $\alpha$ -相基体



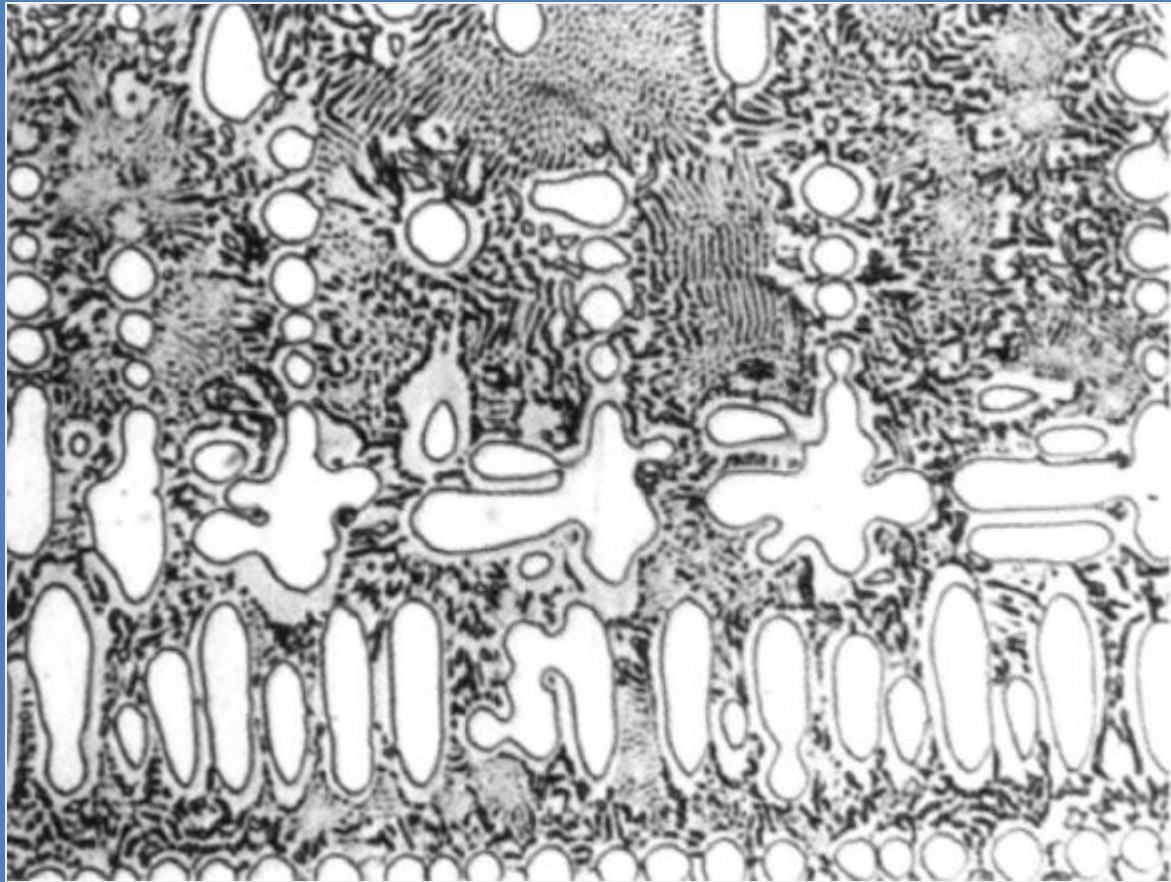
放大倍率：200×

合金牌号：Cu-Ti 中间合金（含 Ti0.28%）

工艺条件：铸造

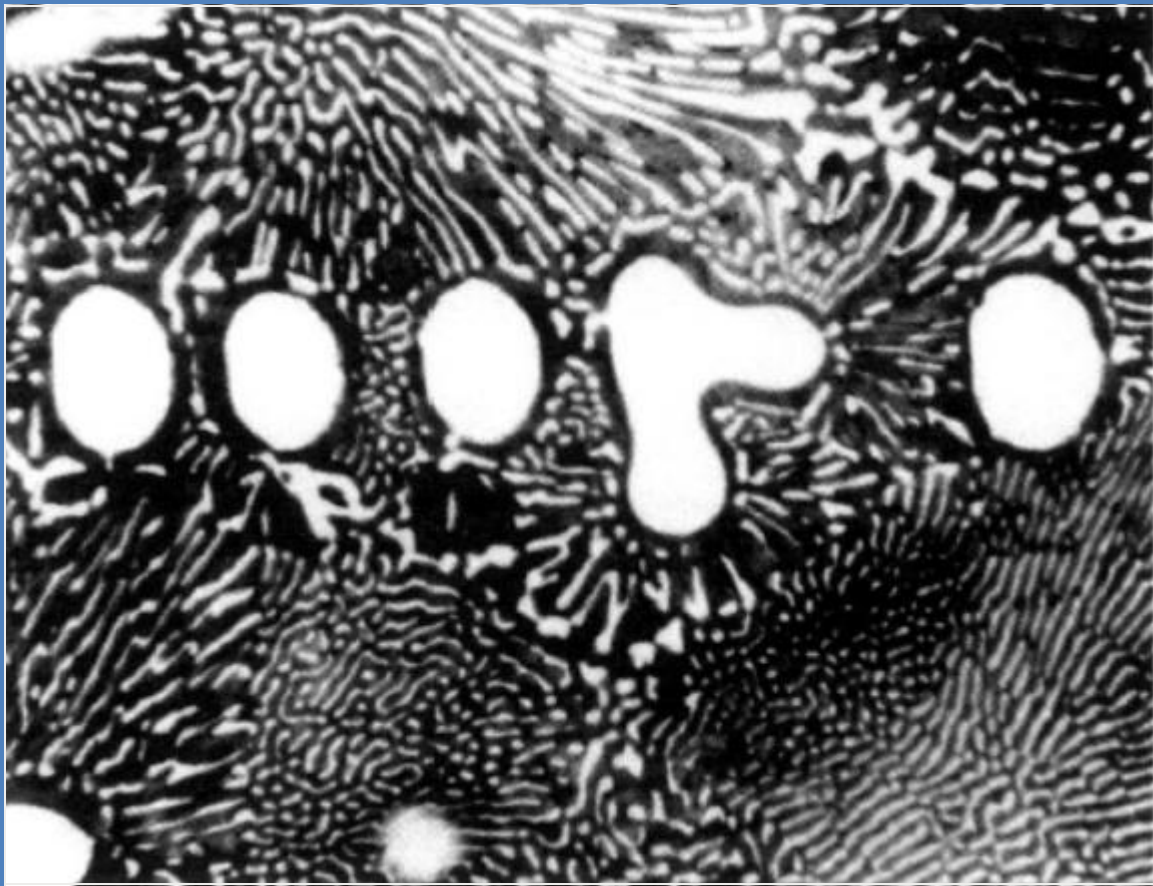
侵蚀剂：三氯化铁酒精溶液

组织说明：基体为( $\alpha$  +  $\text{Cu}_3\text{Ti}$ )共晶，白色块状为  $\text{Cu}_3\text{Ti}$  相



(a)





(b)

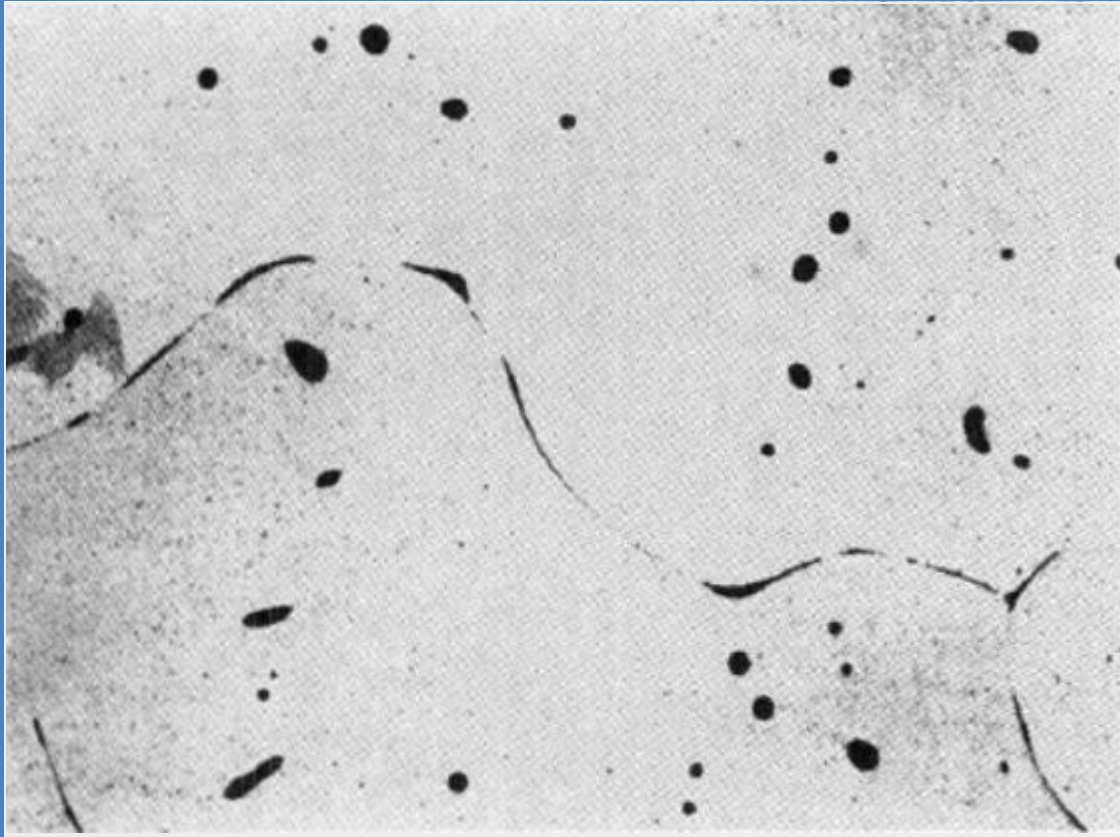
放大倍率：(a)200×；(b)400×

合金牌号：Cu-As 中间合金

工艺条件：铸造

侵蚀剂：氢氧化铵双氧水溶液

组织说明：(a)基体为( $\alpha$ +Cu<sub>3</sub>As)共晶，白色卵形和块状相 $\alpha$ 初晶，(b)为 $\alpha$ 组织的放大



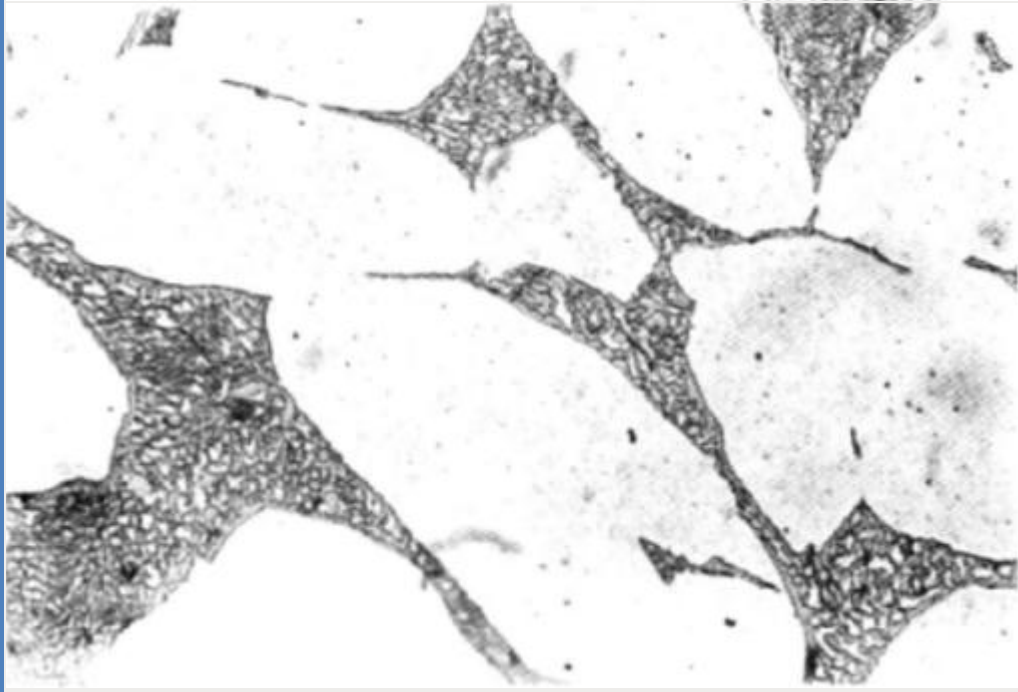
放大倍率：400×

合金牌号：Cu-Ce

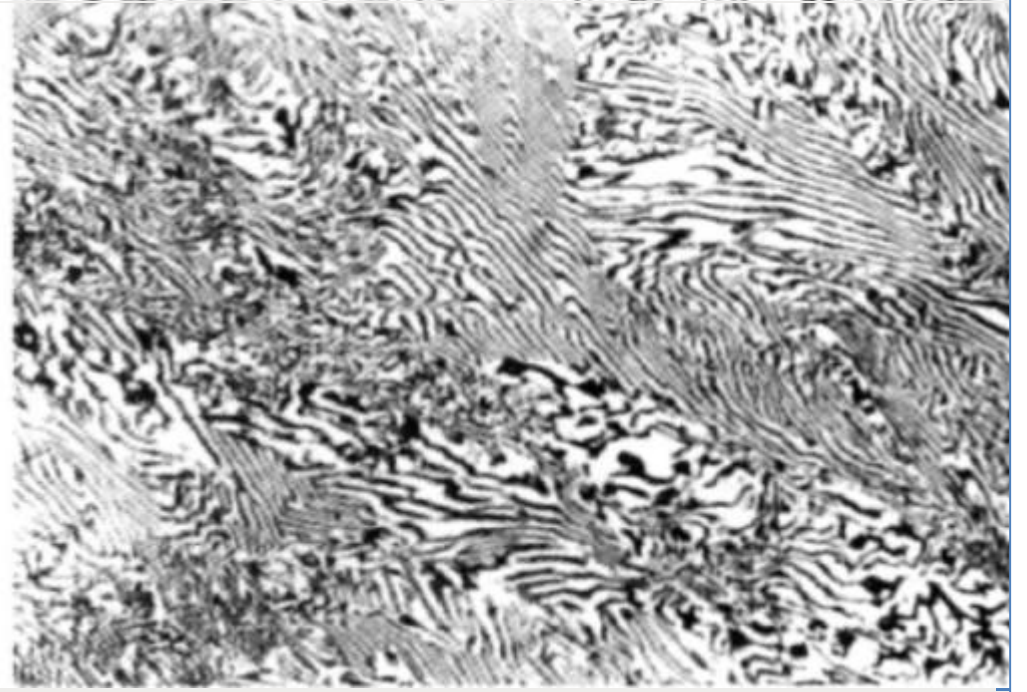
工艺条件：铸造

侵蚀剂：硝酸高铁酒精溶液

组织说明： $\alpha$  +  $\text{Cu}_6\text{Ce}$  化合物， $\text{Cu}_6\text{Ce}$  分布于晶内及晶界



(a)



(b)



(c)

放大倍率：120×

合金牌号：Cu-Al 中间合金

工艺条件：铸造（铸造试样经 850°C 退火）

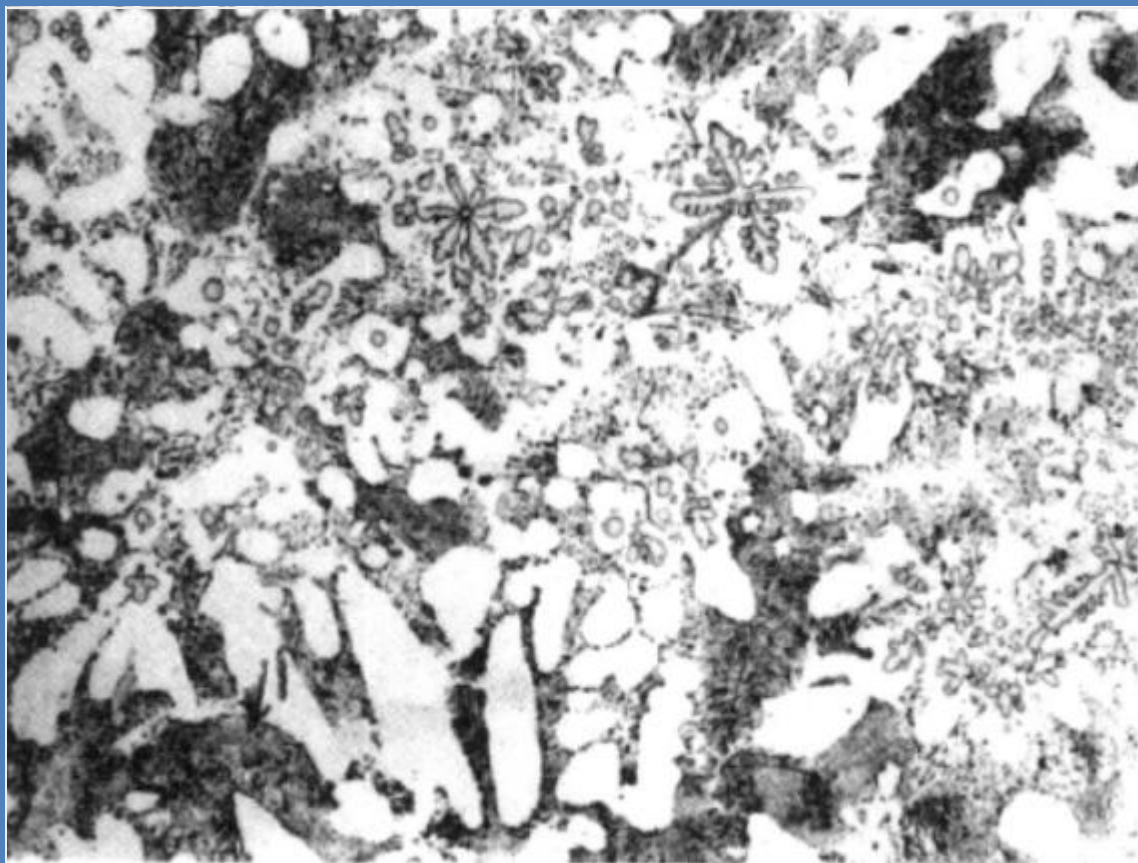
侵蚀剂：三氯化铁酒精溶液

组织说明：

(a) 含铝：10.20%， $\alpha + (\alpha + \gamma_2)$  亚共析组织

(b) 含铝：11.93%，全为层状珠光体型( $\alpha + \gamma_2$ )共析组织

(c)含铝: 12.70%,  $\gamma_2 + (\alpha + \gamma_2)$ 过共析组织, 灰色块状为  $\gamma_2$  相



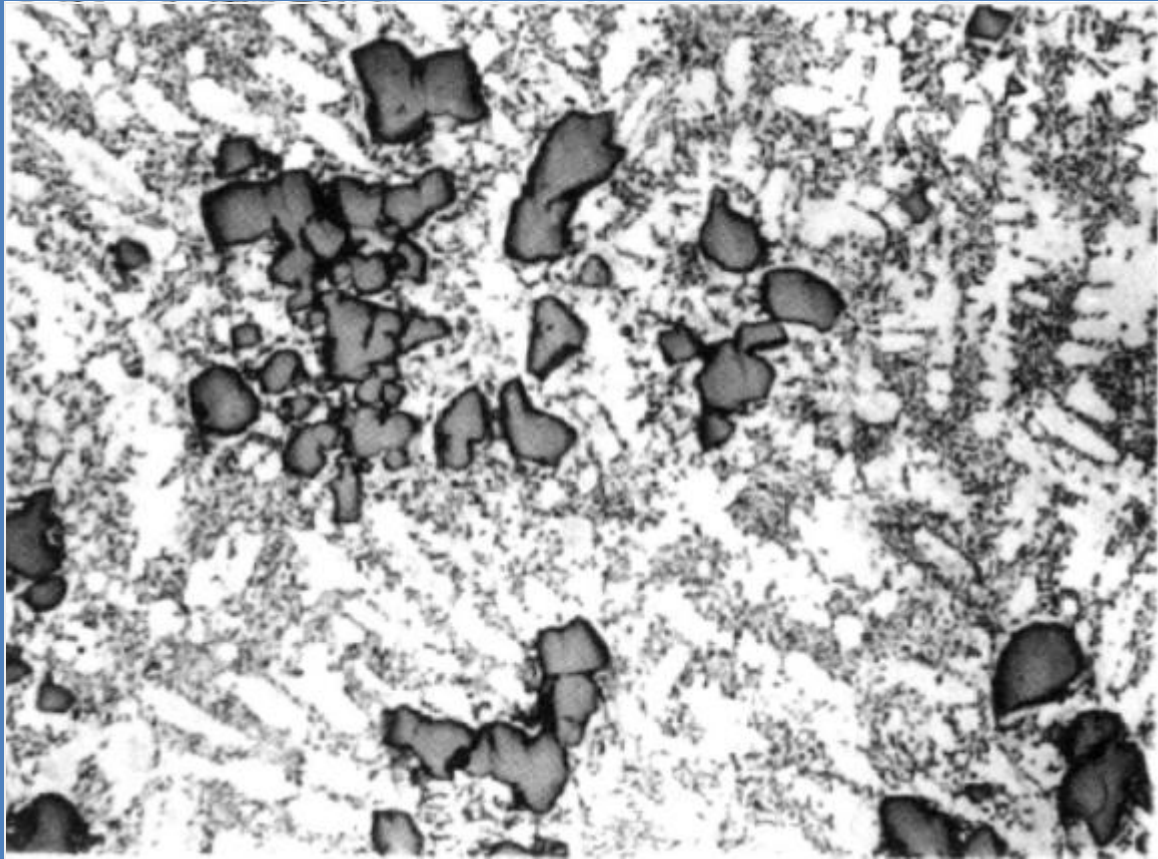
放大倍率：75×

合金牌号：Cu-Cr 中间合金

工艺条件：铸造

侵蚀剂：硝酸高铁酒精溶液

组织说明： $\alpha$  ( $\alpha + \text{Cr}$ ) 共晶 + Cr, Cr 相呈星花状



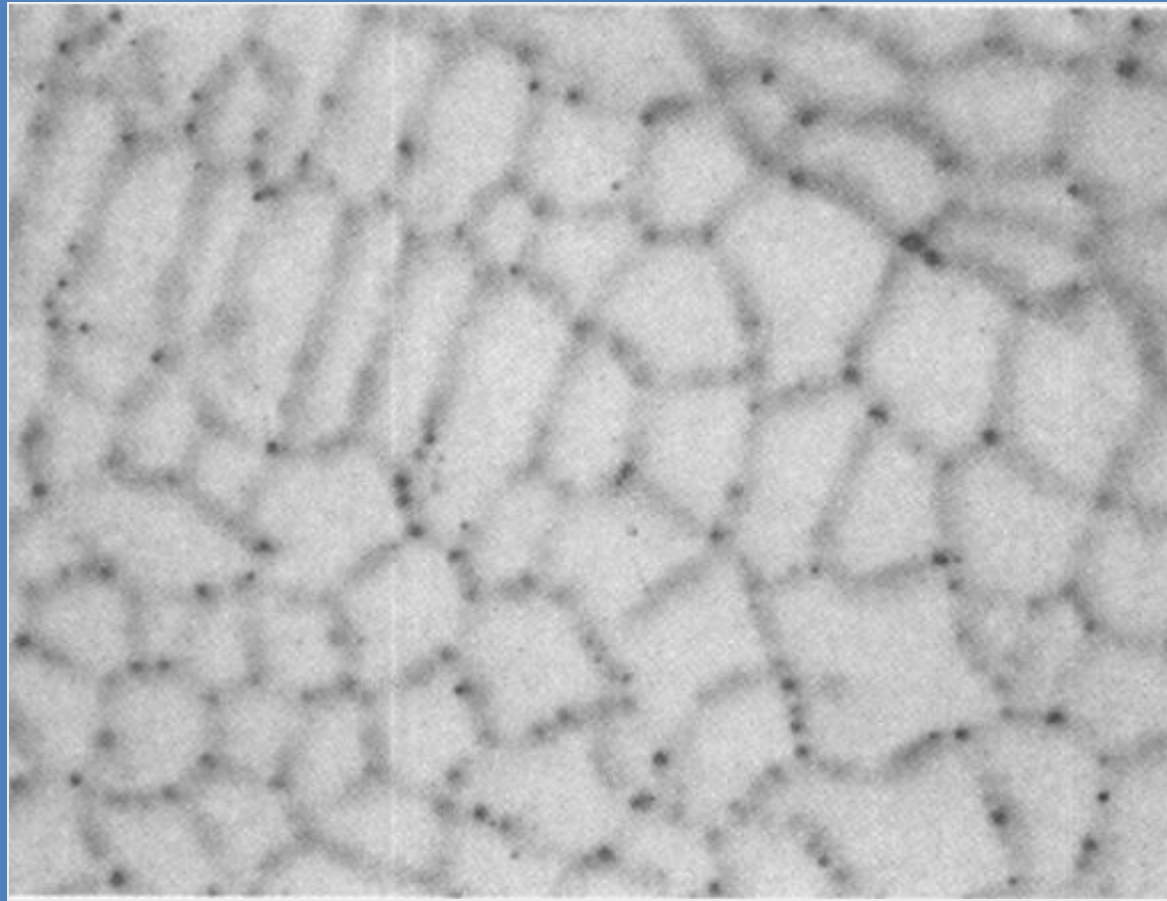
放大倍率：200×

合金牌号：Cu-B 中间合金

工艺条件：铸造

侵蚀剂：硝酸高铁酒精溶液

组织说明：含 B4~6%，块状为富硼相



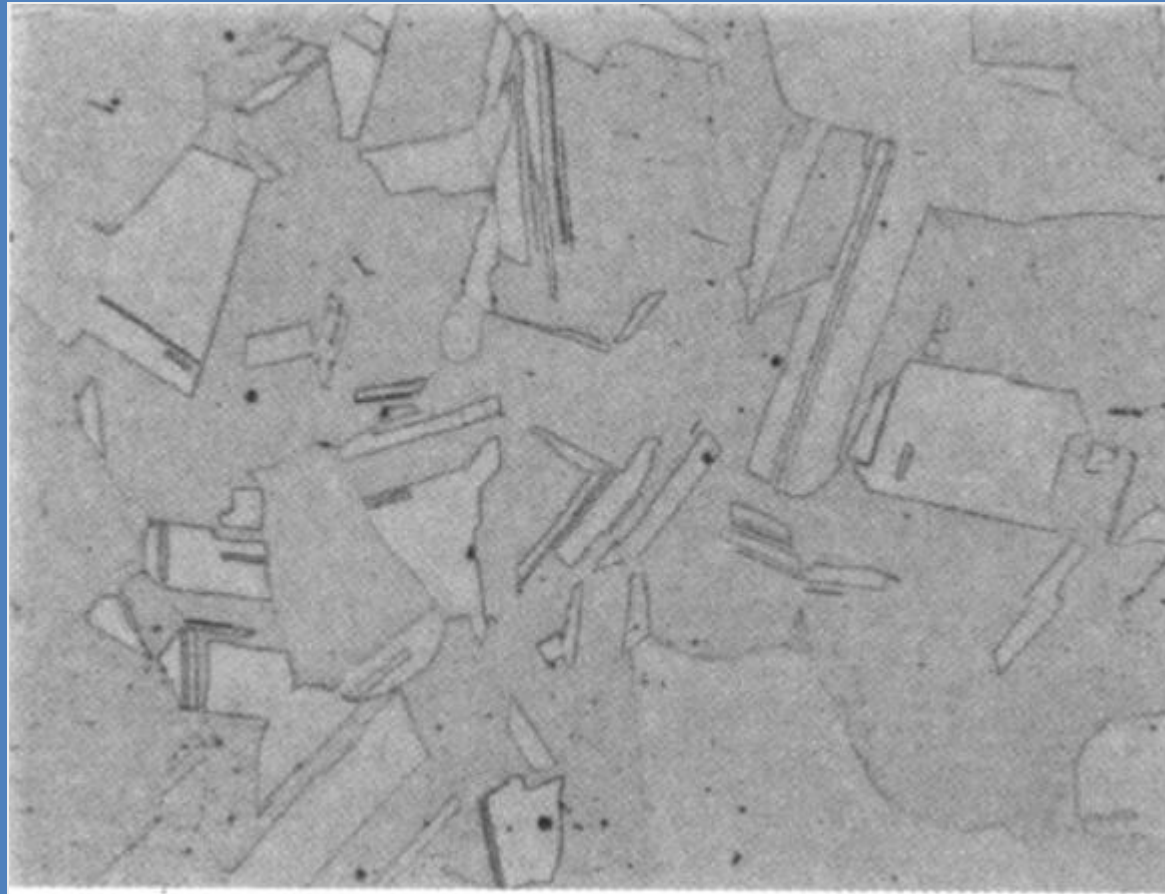
放大倍率：100×

合金牌号：TAg0.1

工艺条件：半连续铸造

侵蚀剂：硝酸高铁酒精溶液

组织说明：呈明显树枝状偏析，枝晶间有细小低熔点质点





放大倍率：100×

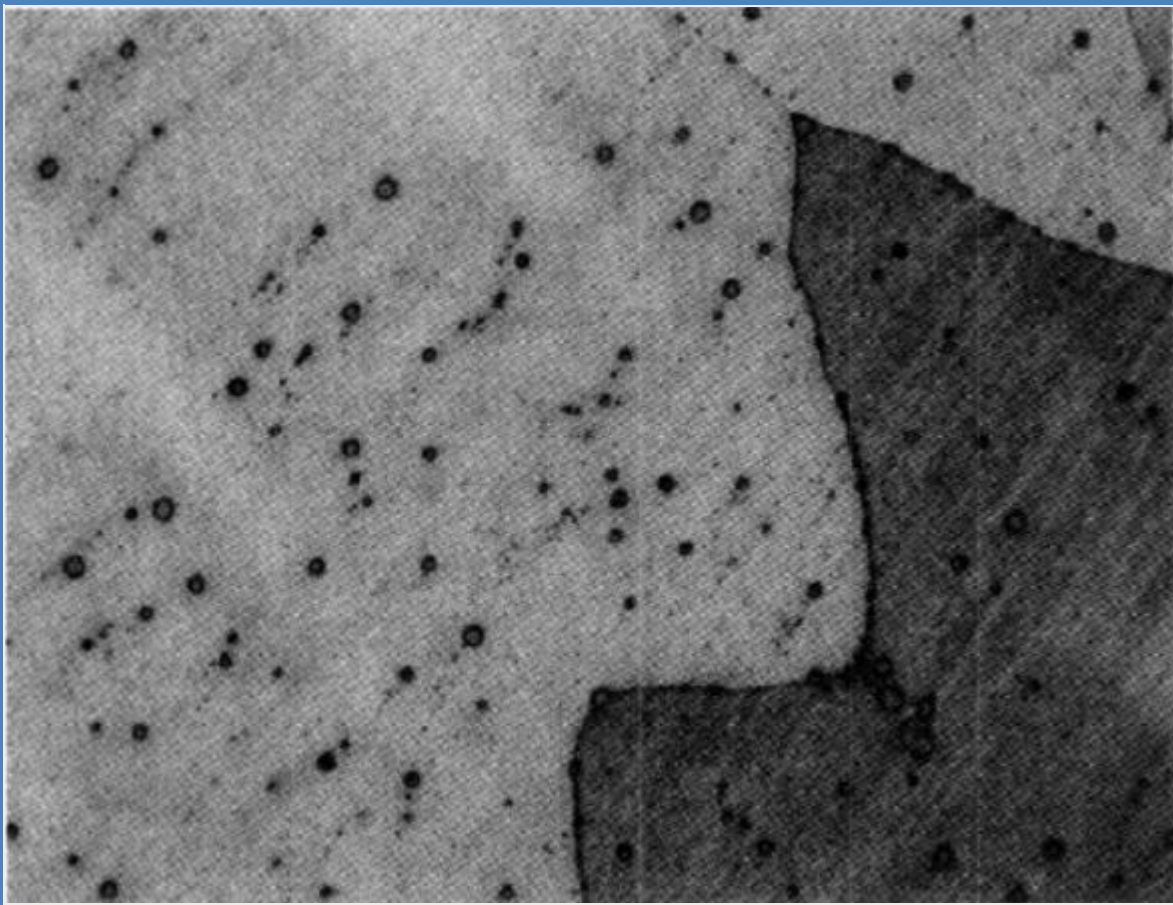
合金牌号：TAg0.1

工艺条件：带材轧制后退火

侵蚀剂：硝酸高铁酒精溶液

组织说明：充分再结晶组织，少量质点，银铜中加入其他元素，比如 Zr 或 Cr，基体中将析出细小弥散的  $\text{Cu}_3\text{Zr}$  或单质 Cr 质点，使基体强化





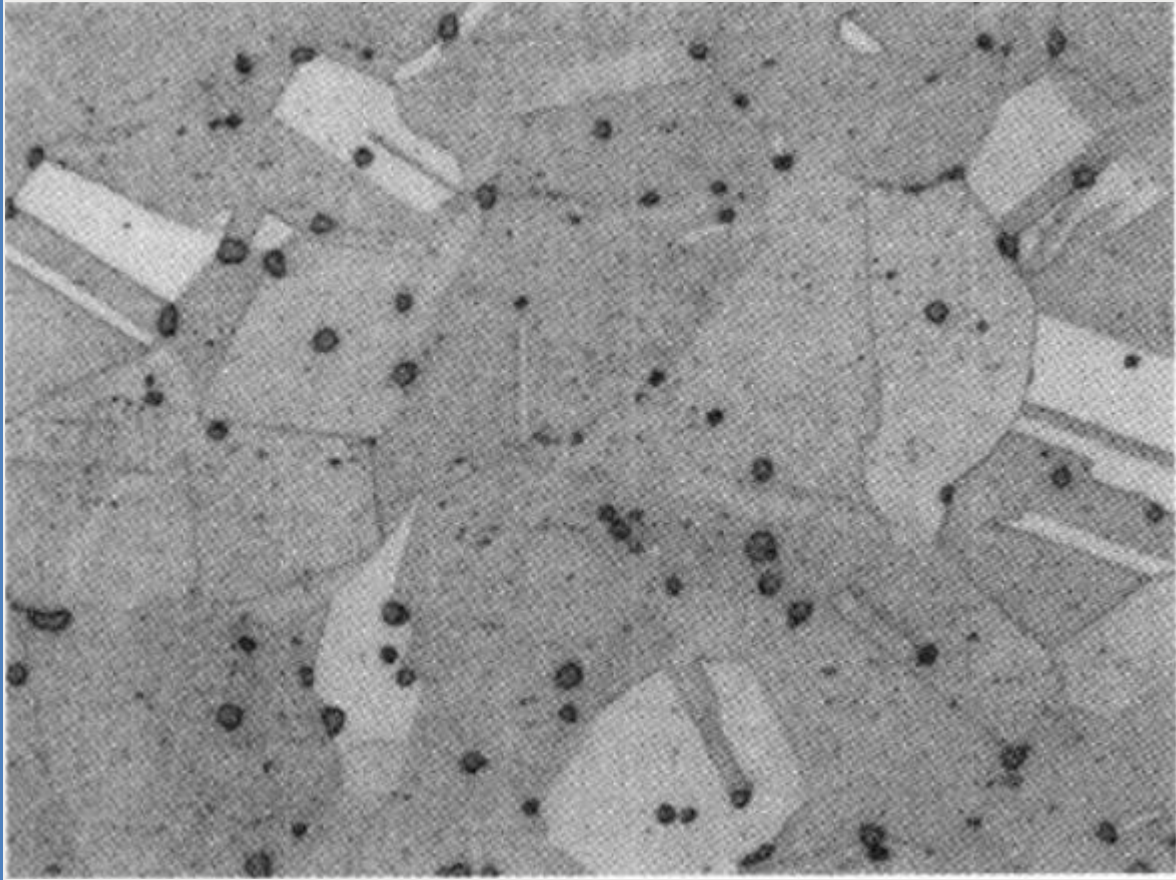
放大倍率：200×

合金牌号：TTe0.5

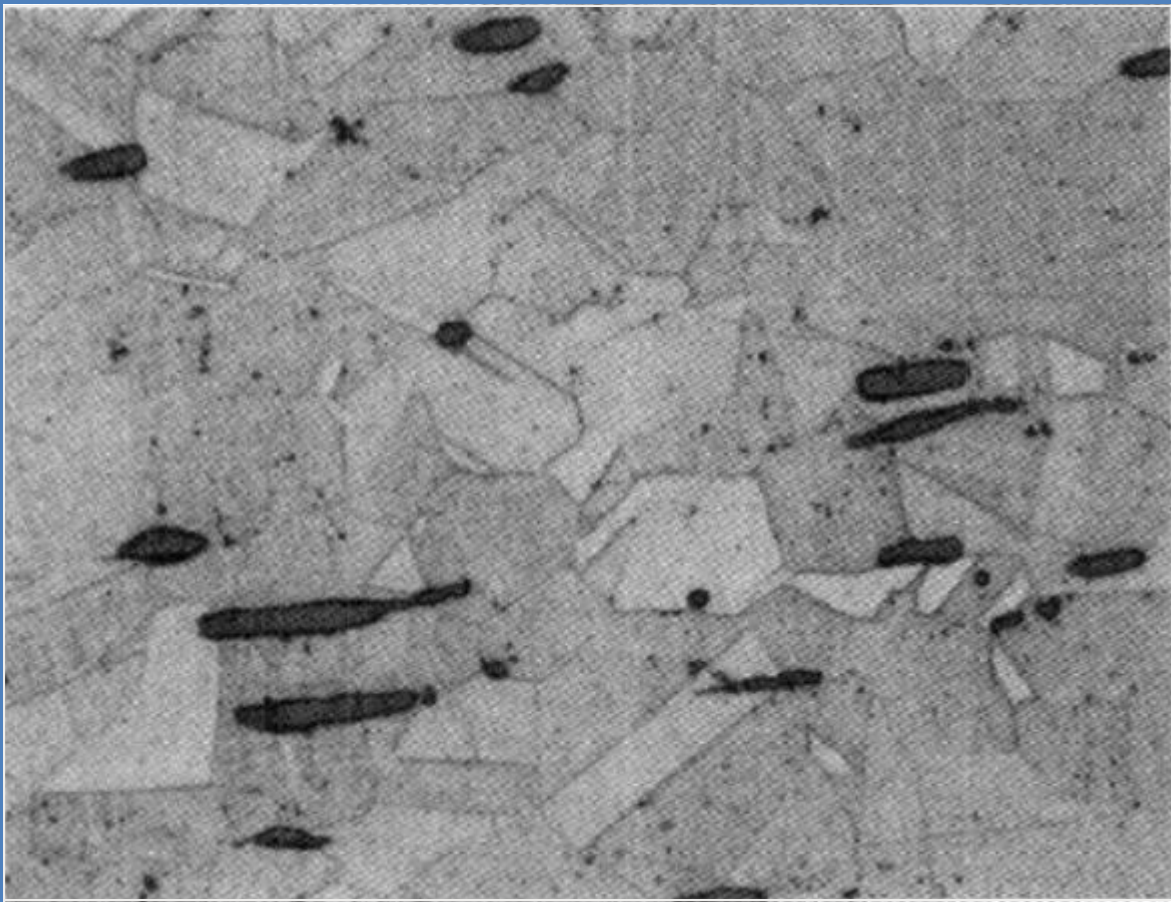
工艺条件：半连续铸造

侵蚀剂：硝酸高铁酒精溶液

组织说明：轻微树枝状偏析，Cu<sub>2</sub>Te 相呈颗粒状均匀分布



(a)



(b)

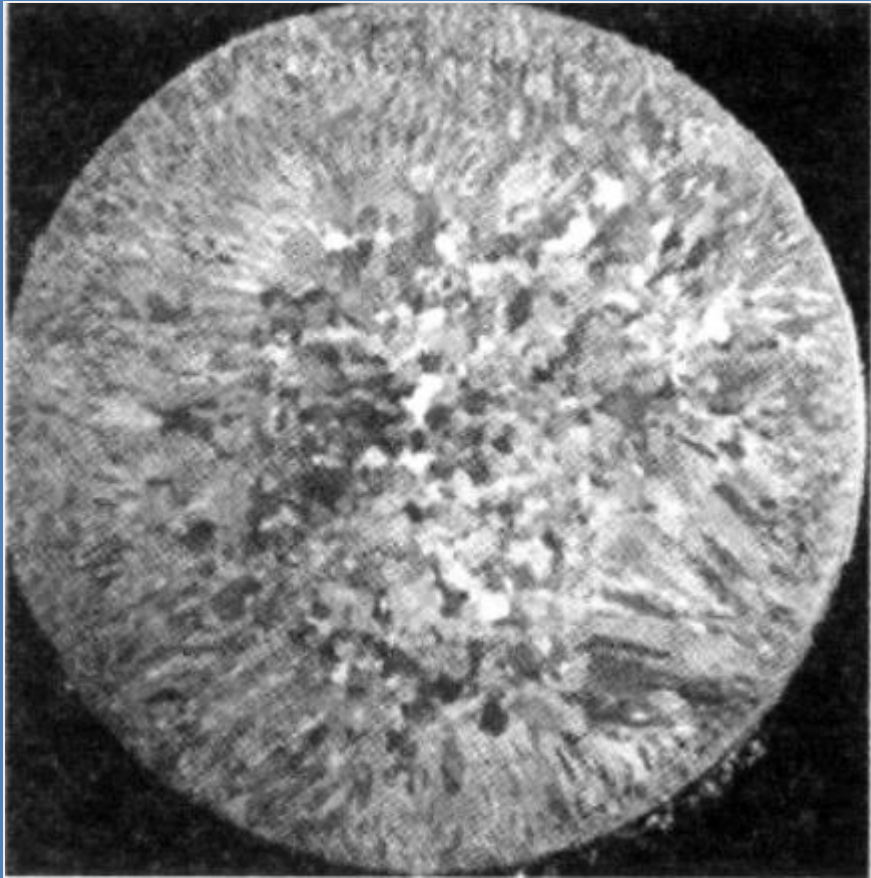
放大倍率：500×

合金牌号：TTe0.5

工艺条件：挤压棒材

侵蚀剂：硝酸高铁酒精溶液

组织说明：基体为再结晶组织，(a)Cu<sub>2</sub>Te相呈颗粒状均匀分布；(b)Cu<sub>2</sub>Te相呈长条状沿加工方向拉长



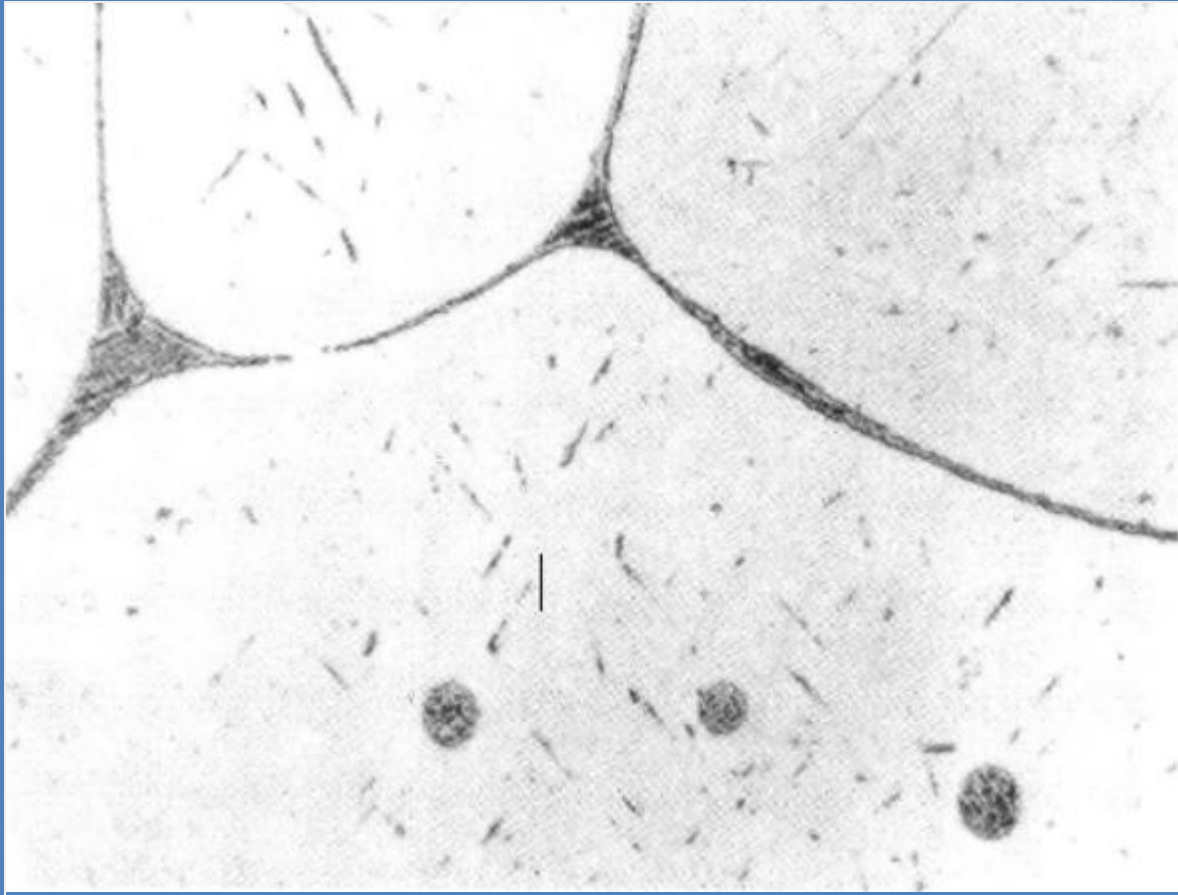
放大倍率：2/3×

合金牌号：TZr0.2

工艺条件：半连续铸造

侵蚀剂：硝酸水溶液

组织说明：边部为柱状晶区，中心等轴晶较大



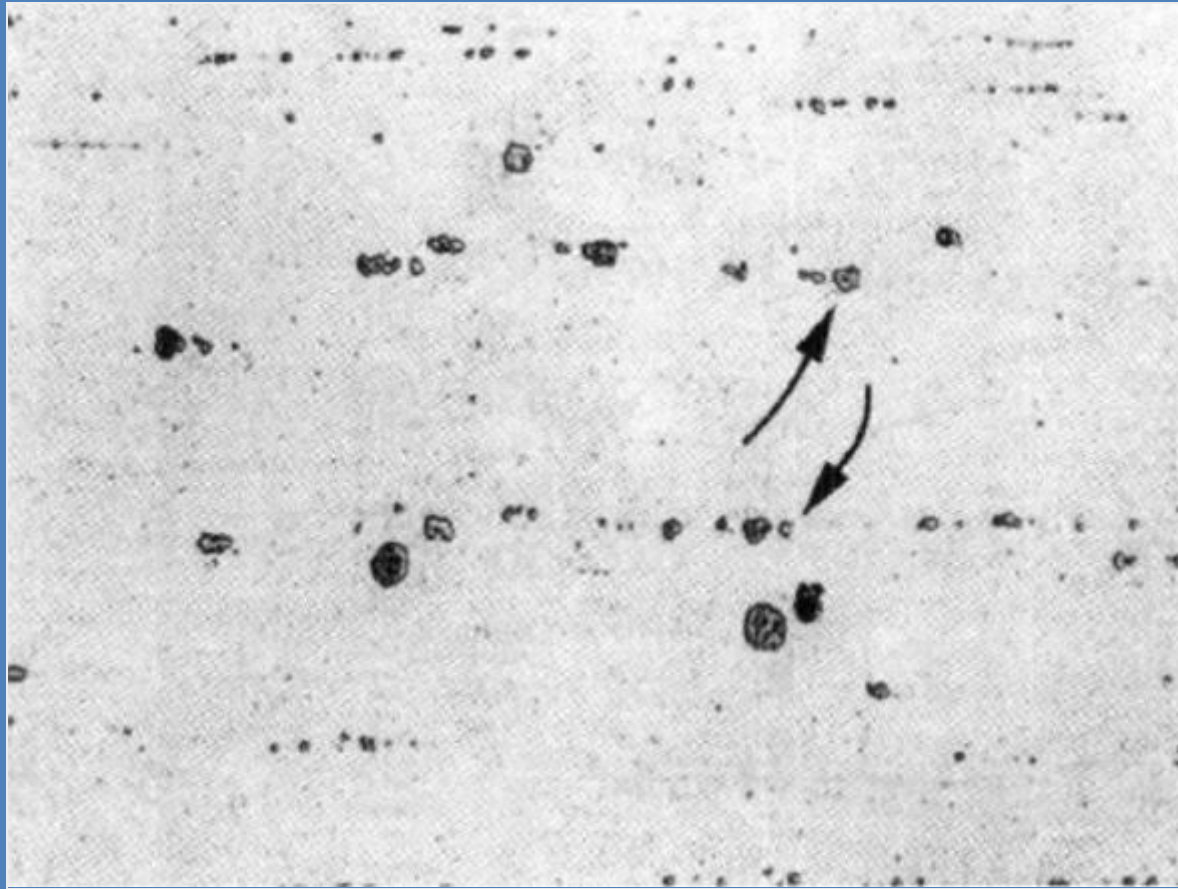
放大倍率：350×

合金牌号：TZr0.5

工艺条件：半连续铸造

侵蚀剂：硝酸高铁酒精溶液

组织说明：基体为 $\alpha$ -相，晶界及晶内灰色物为 $(\alpha + \text{Cu}_3\text{Zr})$ 共晶体



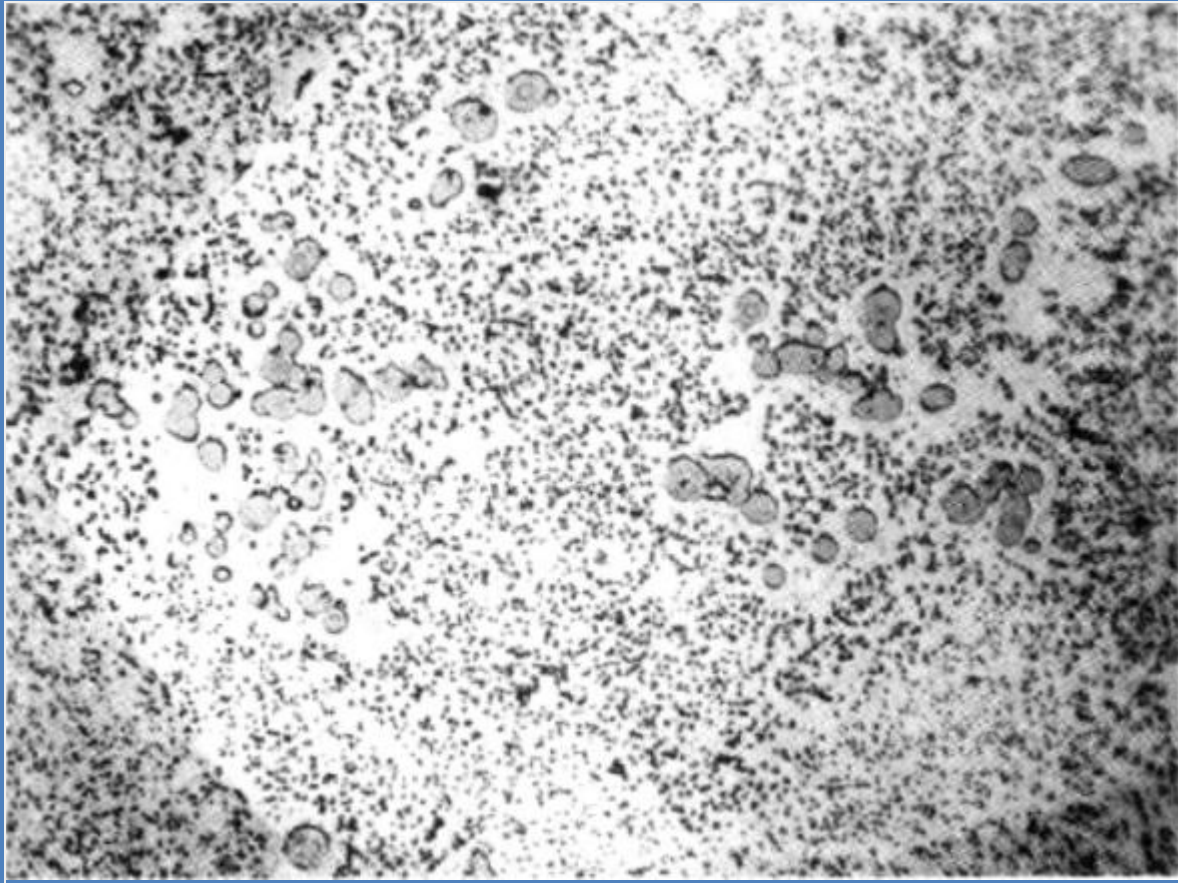
放大倍率：200×

合金牌号：TZr0.2

工艺条件：拉制棒

侵蚀剂：硝酸高铁酒精溶液

组织说明：基体为 $\alpha$ -相，( $\alpha$  +  $\text{Cu}_3\text{Zr}$ )沿加工方向分布，有时呈单独的 $\text{Cu}_3\text{Zr}$ 相



放大倍率：400×

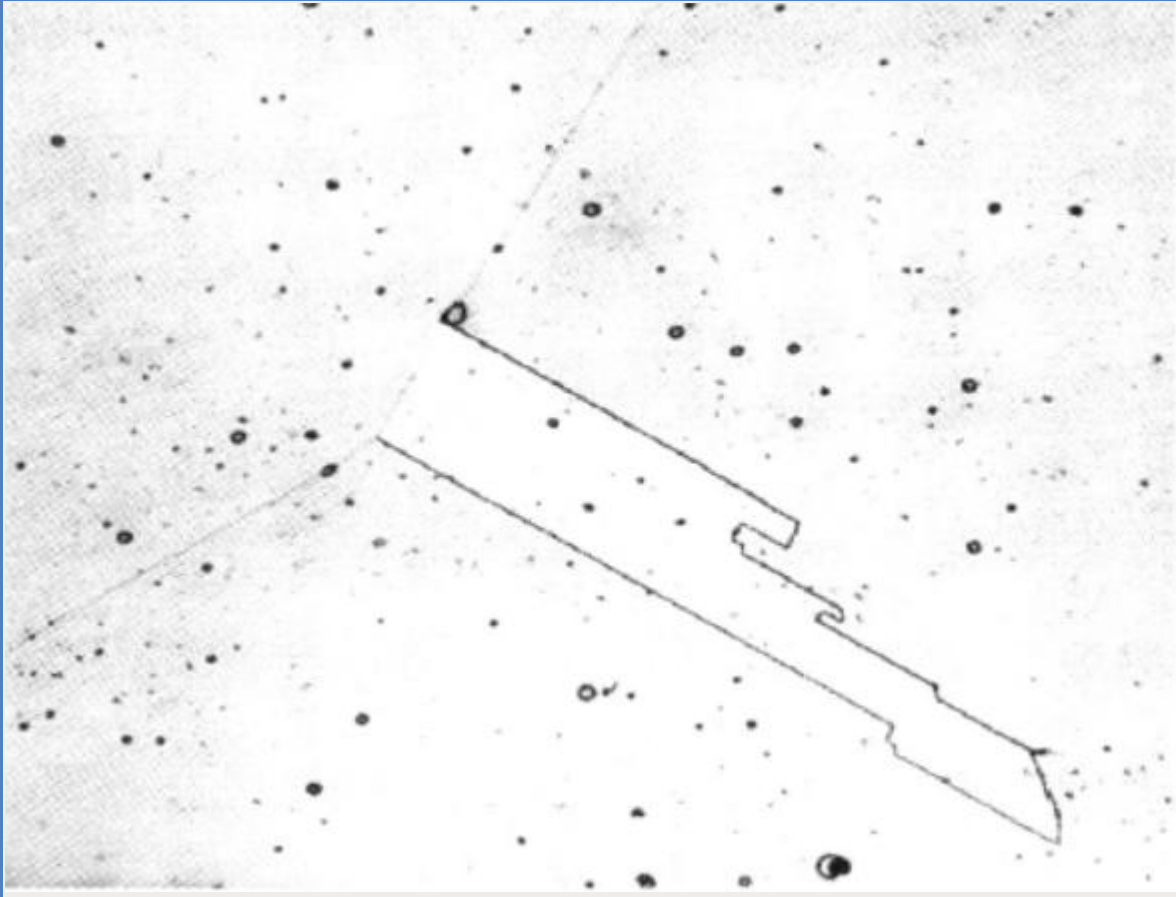
合金牌号：TFe1.5

工艺条件：半连续铸造

侵蚀剂：硝酸高铁酒精溶液

组织说明：基体为 $\alpha$ -相，颗粒及黑色质点均为Fe-相





放大倍率：200×

合金牌号：TFe1.5

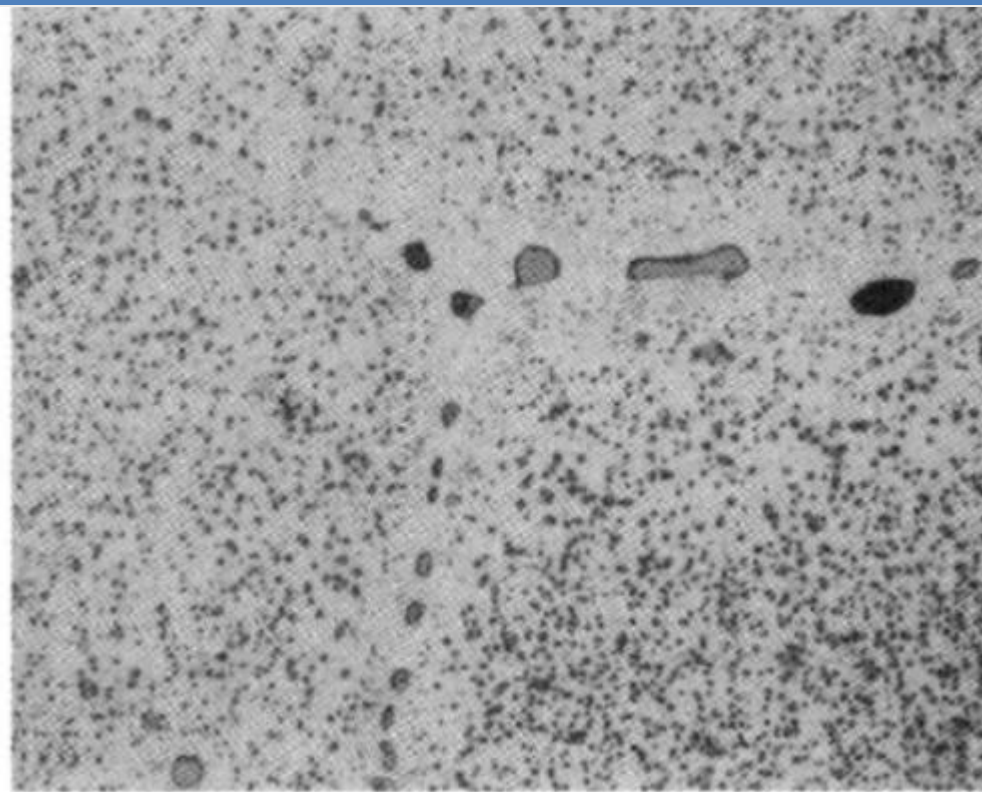
工艺条件：挤制棒于 1060℃保温 2h 水淬

侵蚀剂：硝酸高铁酒精溶液

组织说明：晶粒长大，大部分 Fe-相溶入  $\alpha$ -相中



(a)



(b)

放大倍率：(a)200×；(b)500×

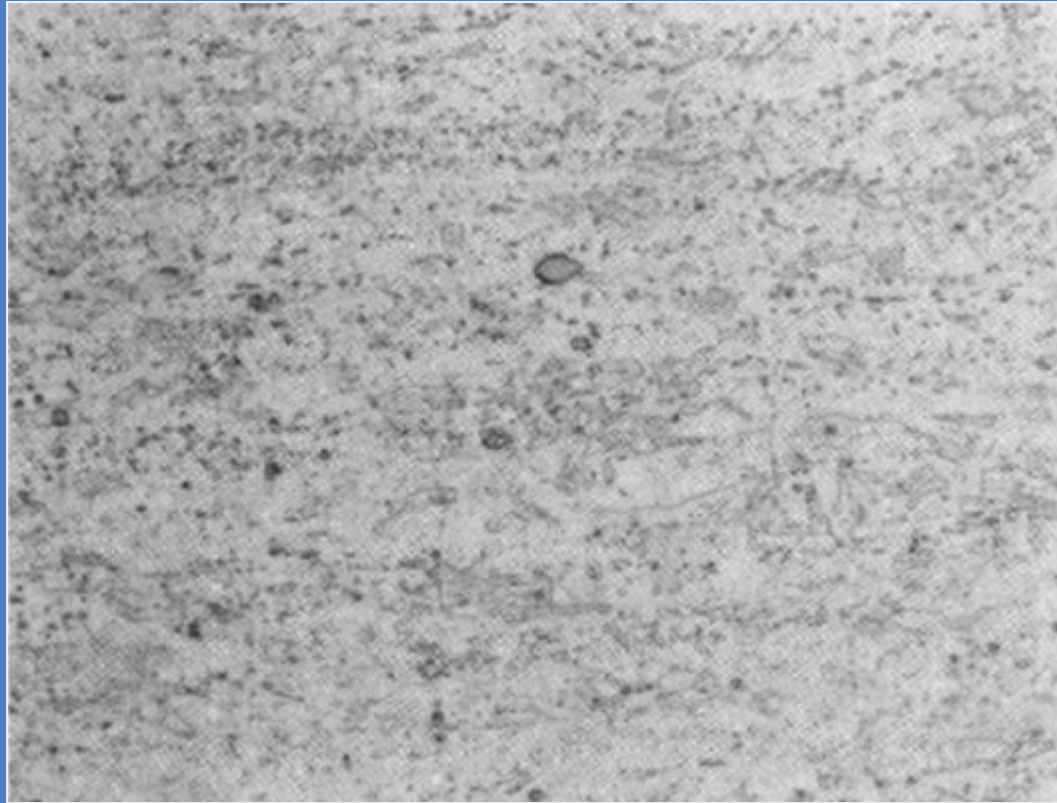
合金牌号：TFe2.5

工艺条件：半连续铸造

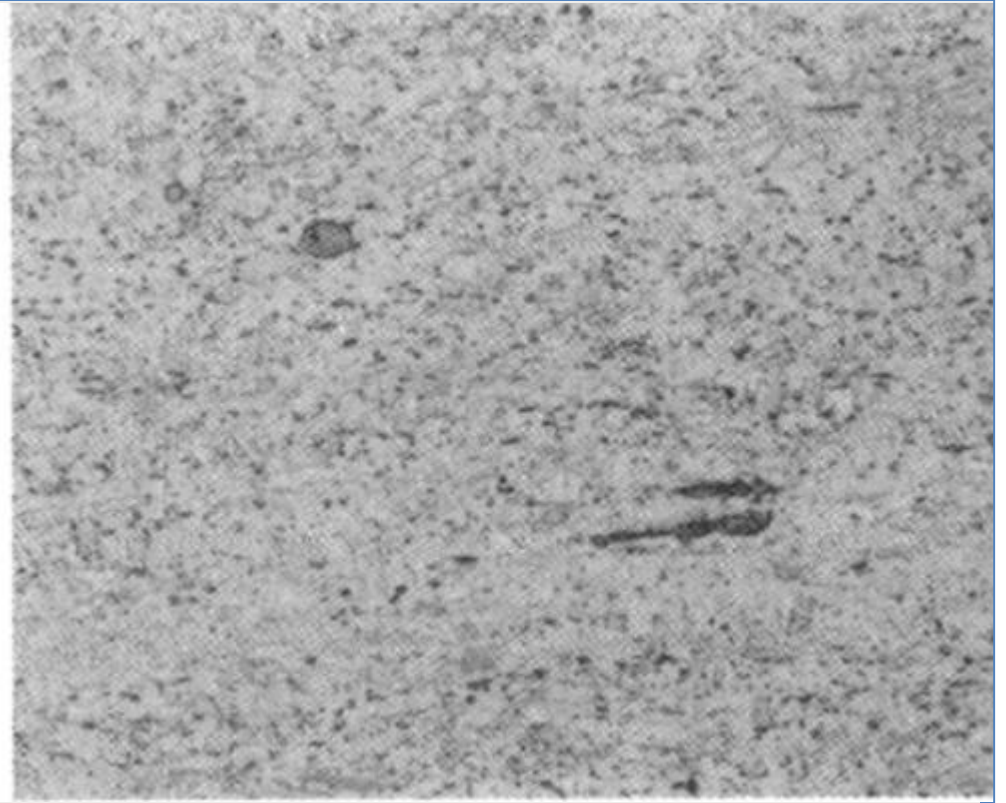
侵蚀剂：硝酸高铁酒精溶液

组织说明：晶内有大量弥散质点，晶界出现颗粒状物。图(b)为图(a)的进一步放大，质点更加明显，晶界颗粒多呈圆形、块状、长条状

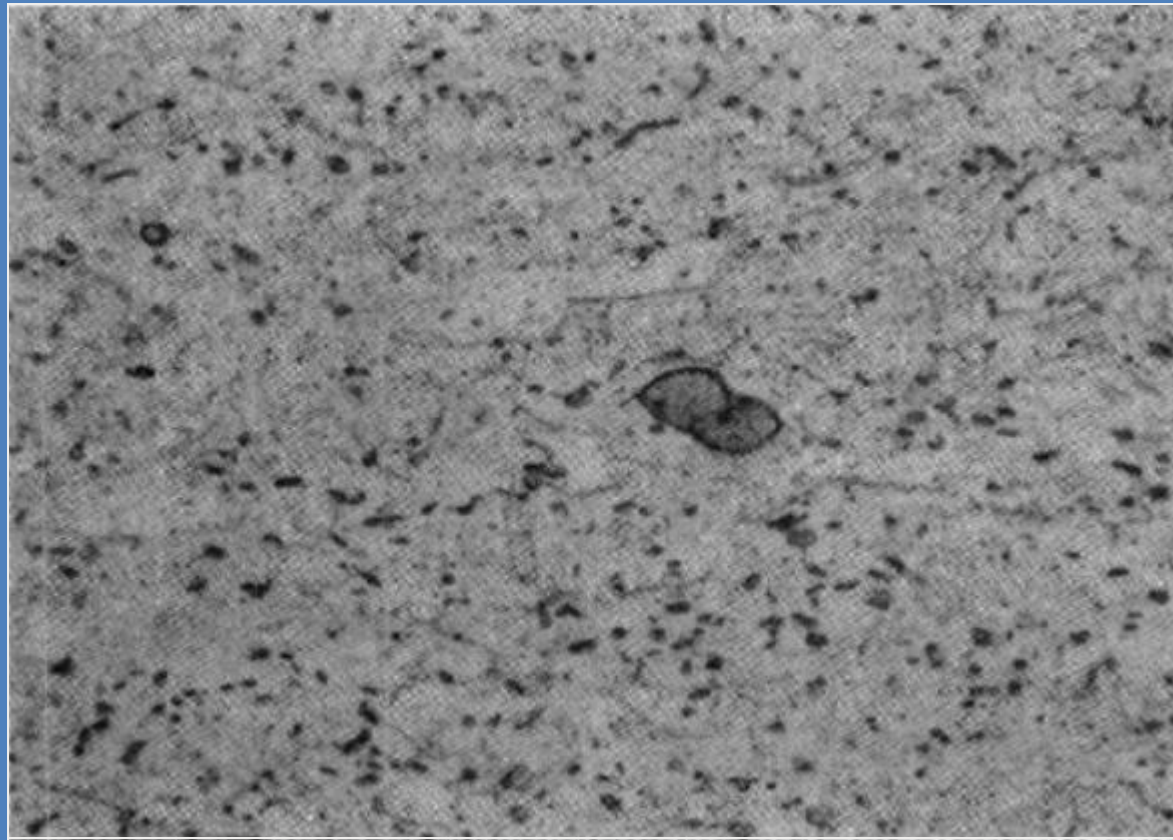
及星花状等，为未融化完的铁颗粒



(a)



(b)



(c)

放大倍率：(a)(b)200×；(c)500×

合金牌号：TFe2.5

工艺条件：热轧板

侵蚀剂：硝酸高铁酒精溶液

组织说明：热轧后基体再结晶，大部分 Fe-相溶入  $\alpha$ -相中。铁含量较高，熔炼时未熔化完，形成较大颗粒，有些呈星花状、块状，个别沿加工方向呈短条状。热轧加热不充分或水淬效果差，易使组织中出现较多细小富铁相颗粒



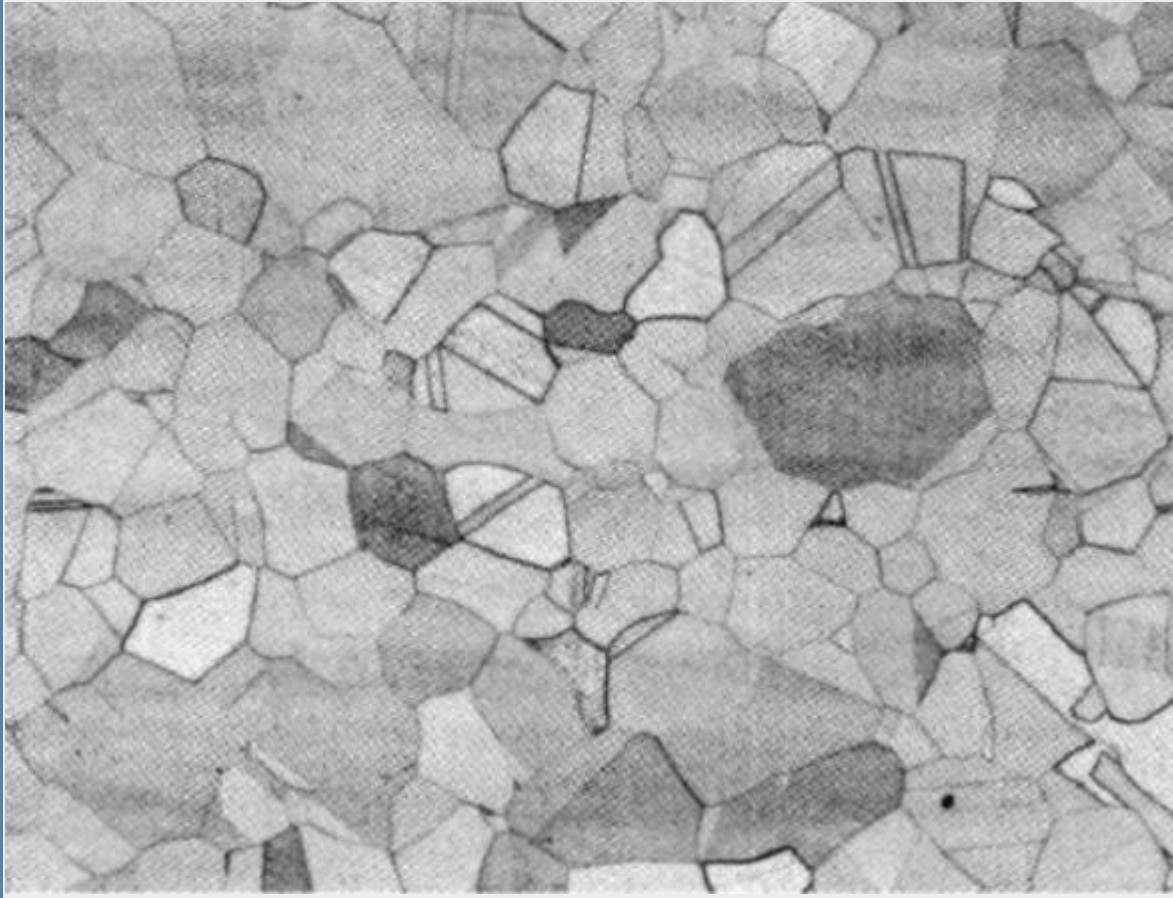
放大倍率：200×

合金牌号：TFe2.5

工艺条件：冷轧退火 M 态

侵蚀剂：硝酸高铁酒精溶液

组织说明：析出细小弥散质点，经标定为  $\text{Fe}_2\text{P}$ 。TF0.1、TFe1.0、TFe1.5、TFe2.5 等合金析出相均为  $\text{Fe}_2\text{P}$ ，少量  $\text{Fe}_3\text{P}$ ，组织中还可能出现少量富铁质点



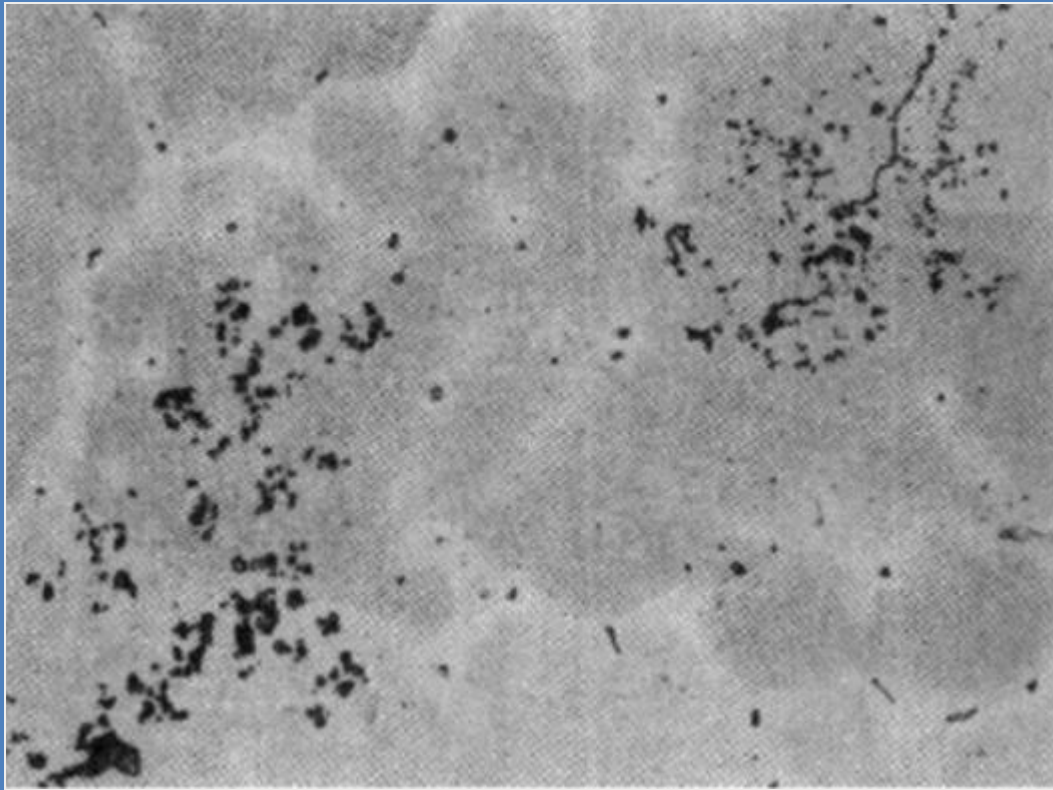
放大倍率：100×

合金牌号：TMg0.4

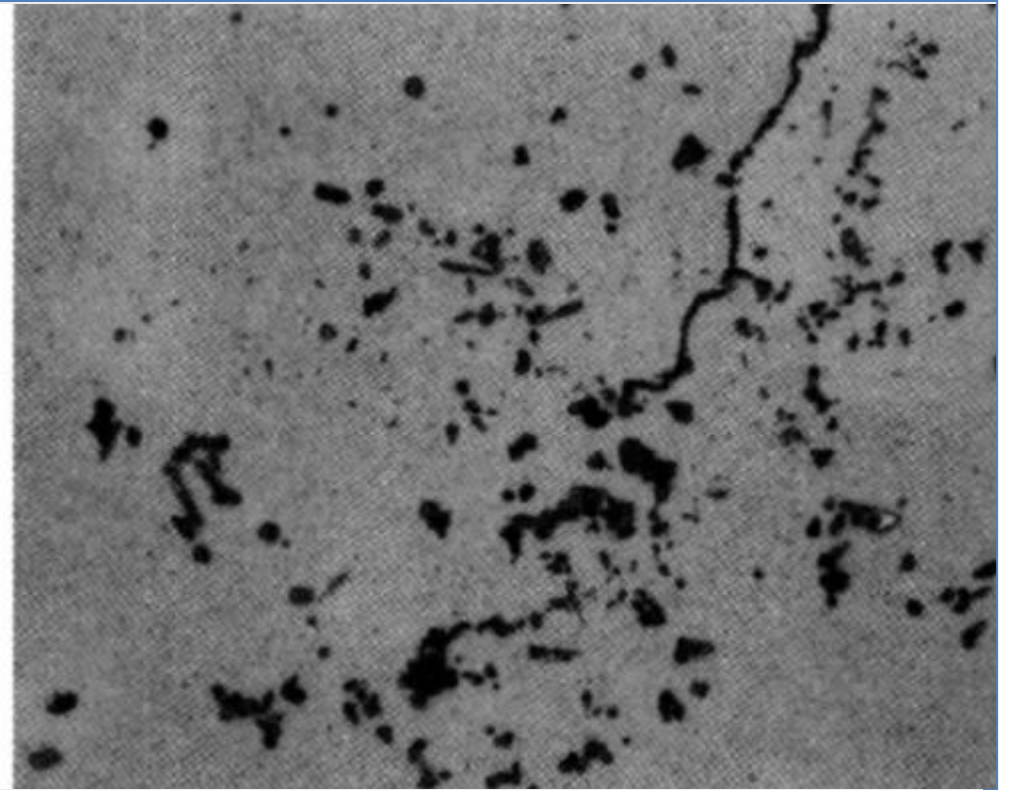
工艺条件：退火

侵蚀剂：硝酸高铁酒精溶液

组织说明：单相 $\alpha$ 组织，含镁量较少，未发现 $\text{Cu}_2\text{Mg}$ 相



(a)



(b)

放大倍率：(a)200×；(b)500×

合金牌号：TSn0.4

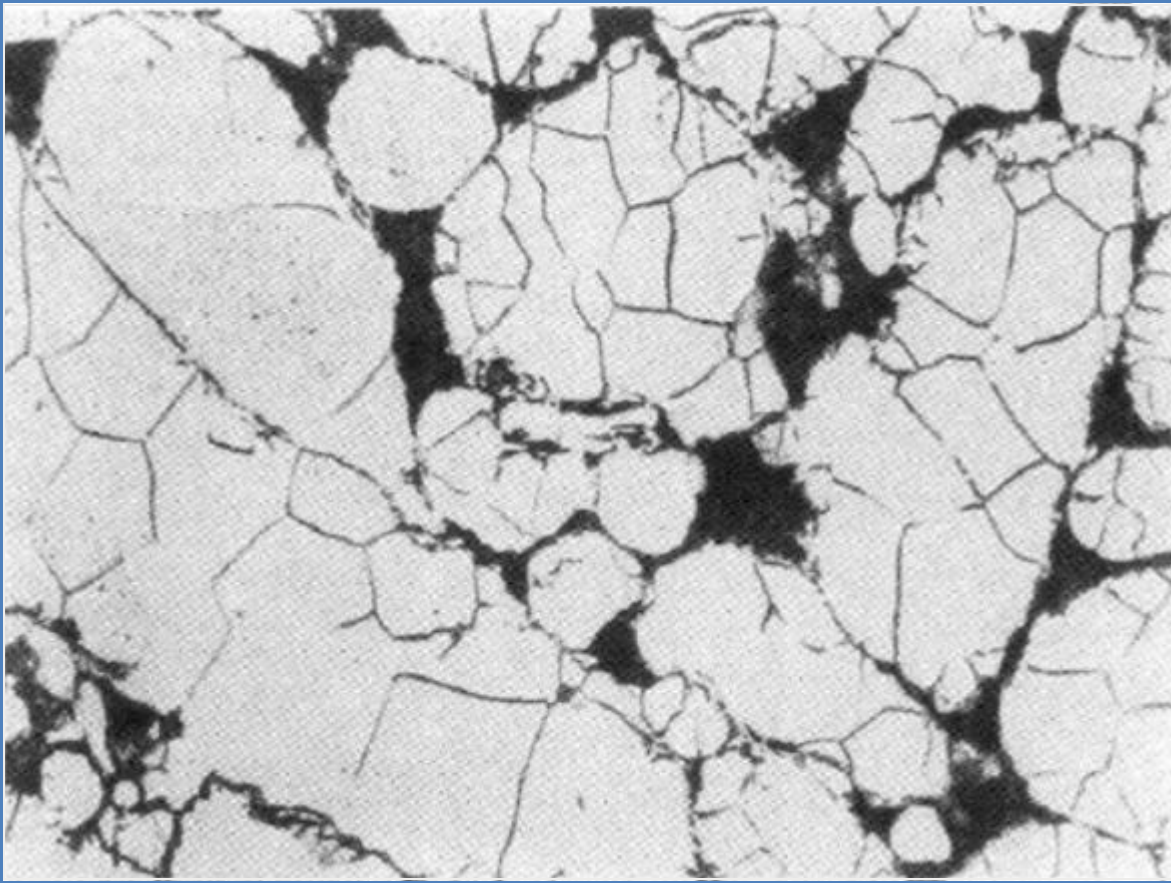
工艺条件：半连续铸造

侵蚀剂：硝酸高铁酒精溶液

组织说明：轻微树枝状偏析，基体为单相 $\alpha$ 组织，枝晶间有少量低熔点物，图中呈不规则片块状散乱聚集的为 $\text{SnO}_2$ 夹杂，图(b)为图(a)的放大，夹杂特征清晰可见







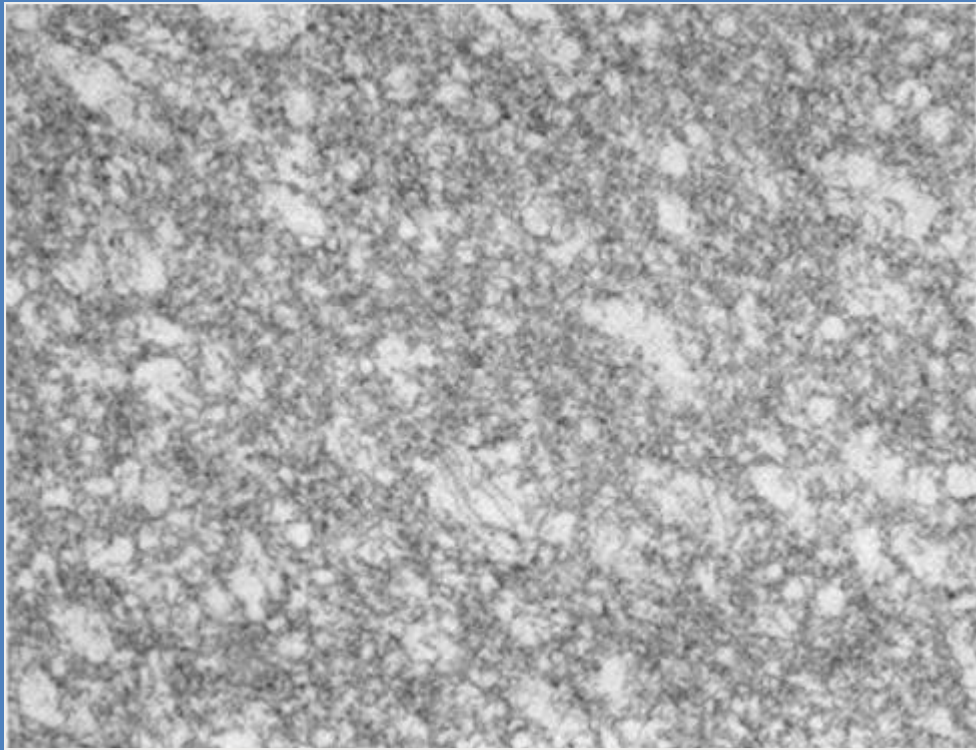
放大倍率：200×

合金牌号：TUAI0.12

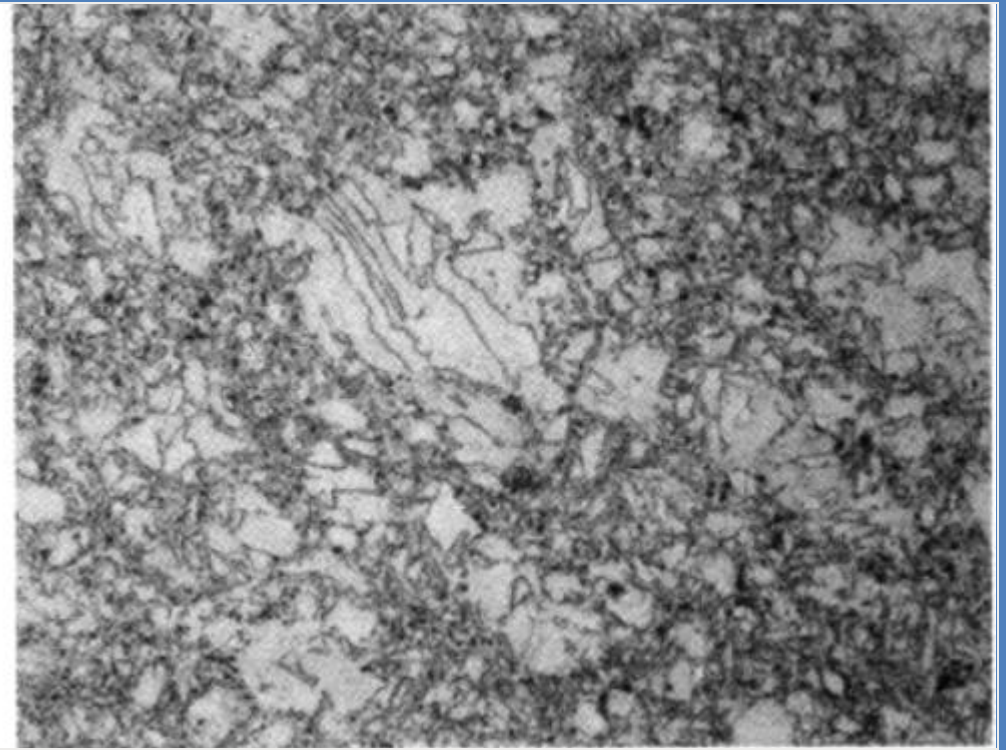
工艺条件：等静压高温烧结

侵蚀剂：硝酸高铁酒精溶液

组织说明：弥散铜经等静压高温烧结的粉末颗粒特征，空隙较多



(a)



(b)

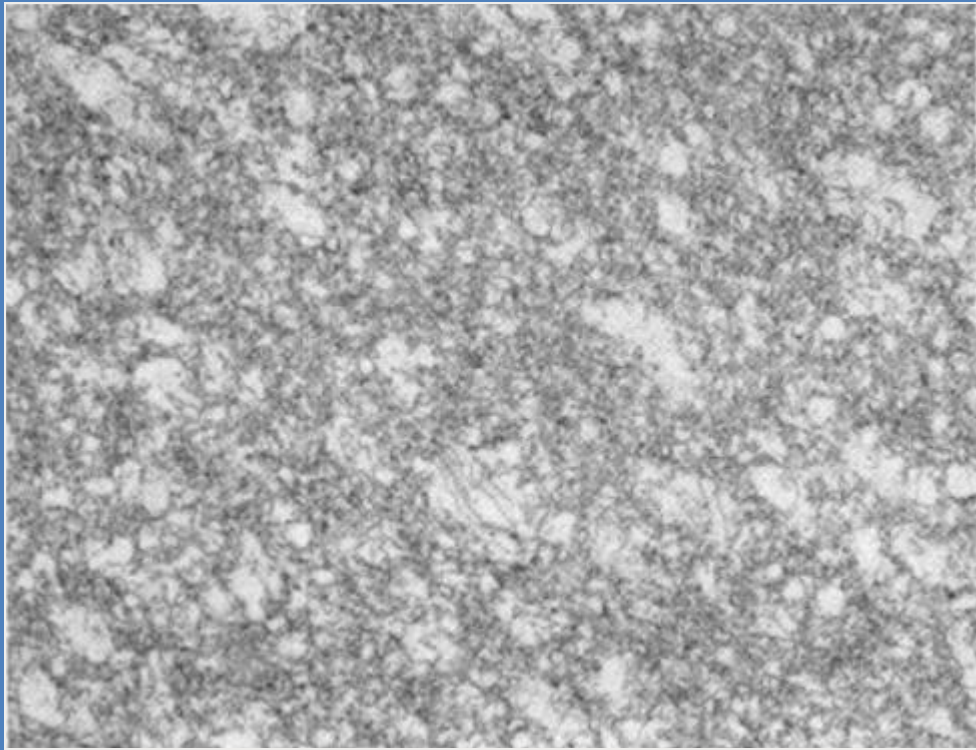
放大倍率：(a)200×；(b)500×

合金牌号：TMAI0.6

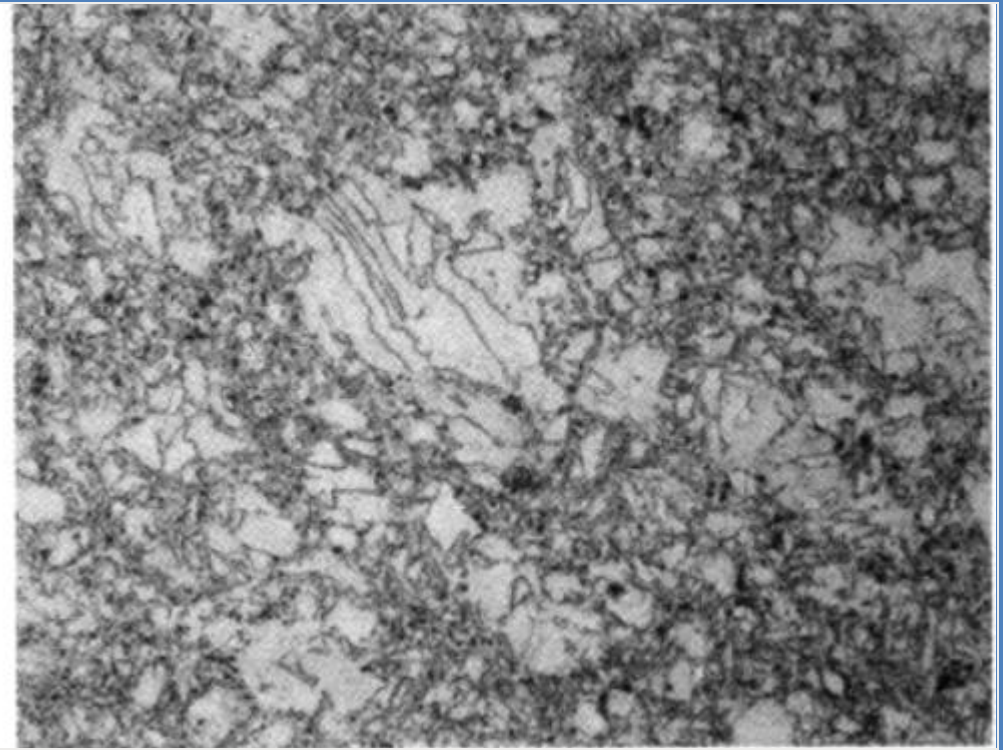
工艺条件：R 状态，横向

侵蚀剂：硝酸高铁酒精溶液

组织说明：弥散铜经挤压后质点弥散分布，组织致密，空隙较少



(a)



(b)

放大倍率：(a)200×；(b)500×

合金牌号：TMAI0.6

工艺条件：R 状态，纵向

侵蚀剂：硝酸高铁酒精溶液

组织说明：弥散铜基体组织沿加工方向拉长，组织致密，空隙较少， $\text{Al}_2\text{O}_3$  质点弥散分布



放大倍率：50000×

合金牌号：TMAI0.6

工艺条件：冷拉拔态

侵蚀剂：FeCl<sub>3</sub> 酒精溶液

组织说明：TEM 明场像，Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 颗粒平均直径在 10~20nm 之间，经标定为 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

质点



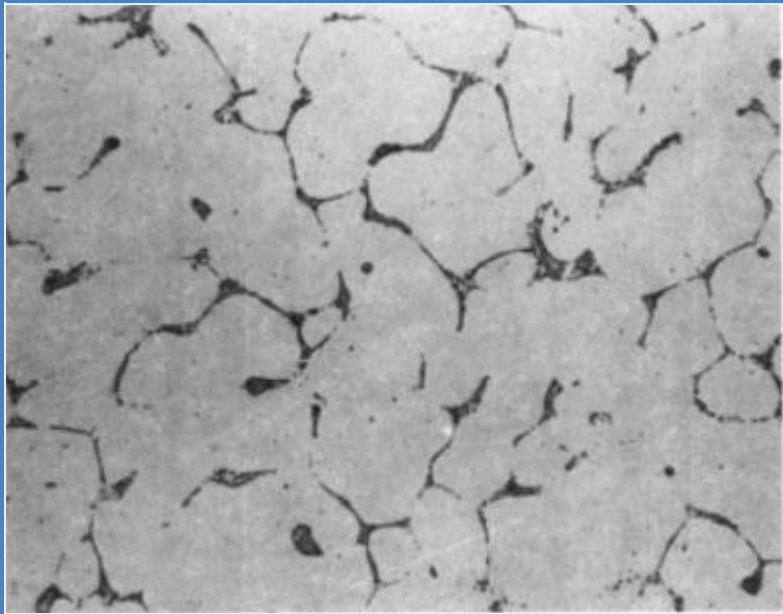
放大倍率：2/3×

合金牌号：TCr0.5

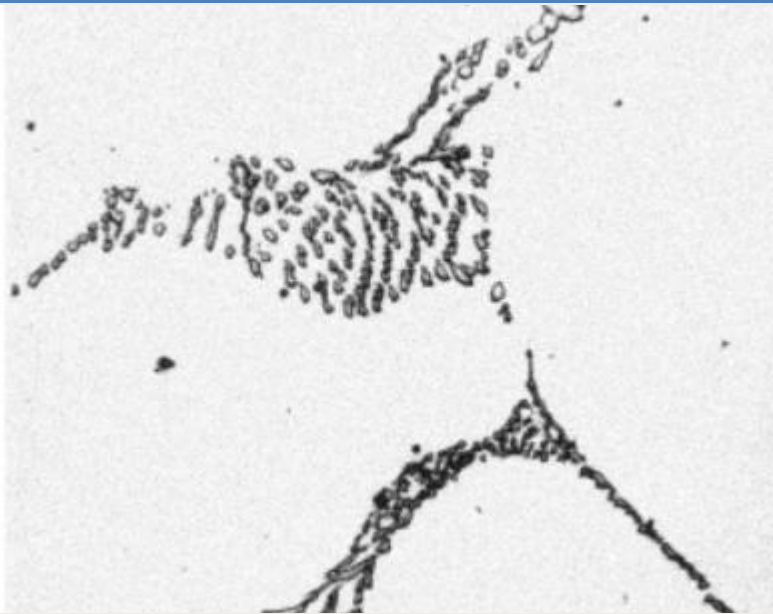
工艺条件：半连续铸造

侵蚀剂：硝酸水溶液

组织说明：晶粒较粗大



(a)



(b)

放大倍率：(a)120×；(b)600×

合金牌号：TCr0.5

工艺条件：半连续铸造

侵蚀剂：硝酸高铁酒精溶液

组织说明：基体为  $\alpha$  相， $(\alpha + \text{Cr})$  共晶体呈网状分布。(b)为(a)放大，明显观察到共晶体中的 Cr 相



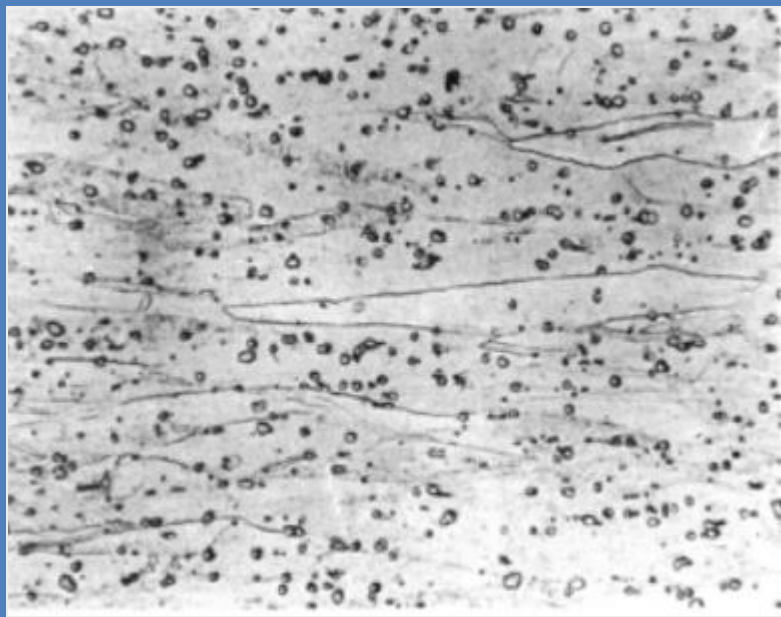
放大倍率：450×

合金牌号：TCr0.5

工艺条件：挤压棒

侵蚀剂：硝酸高铁酒精溶液

组织说明：基体为 $\alpha$ 相，颗粒状的Cr相沿加工方向分布



放大倍率：400×

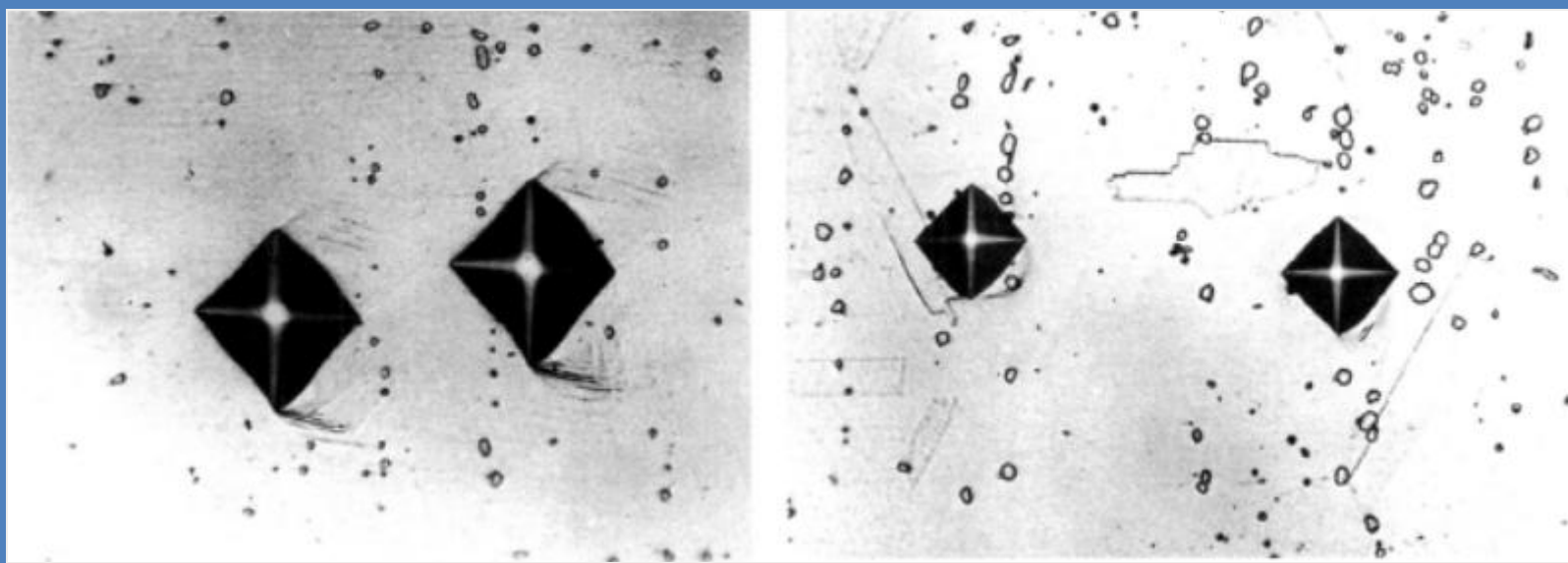
合金牌号：TCr0.5

工艺条件：拉伸棒

侵蚀剂：硝酸高铁酒精溶液

组织说明：Cr 相呈颗粒状分布于变形的  $\alpha$  基体上





(a)

(b)

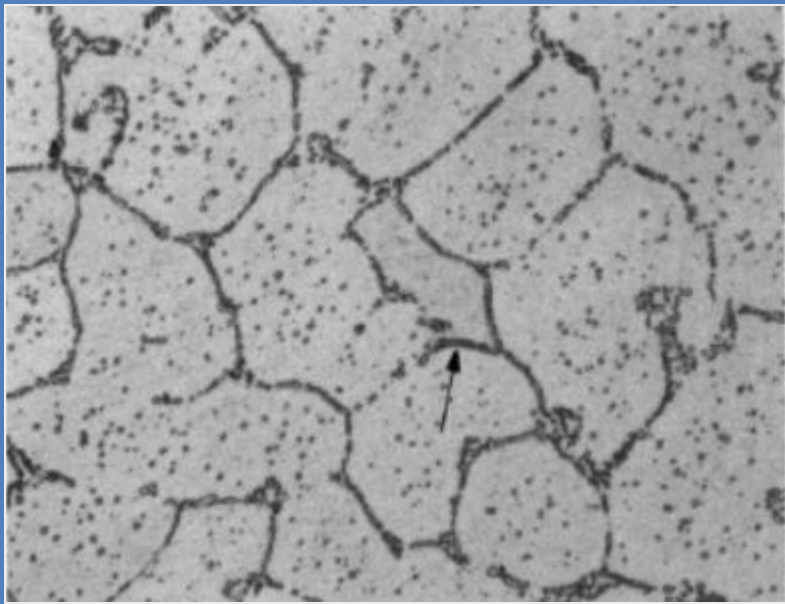
放大倍率：400×

合金牌号：TCr0.5

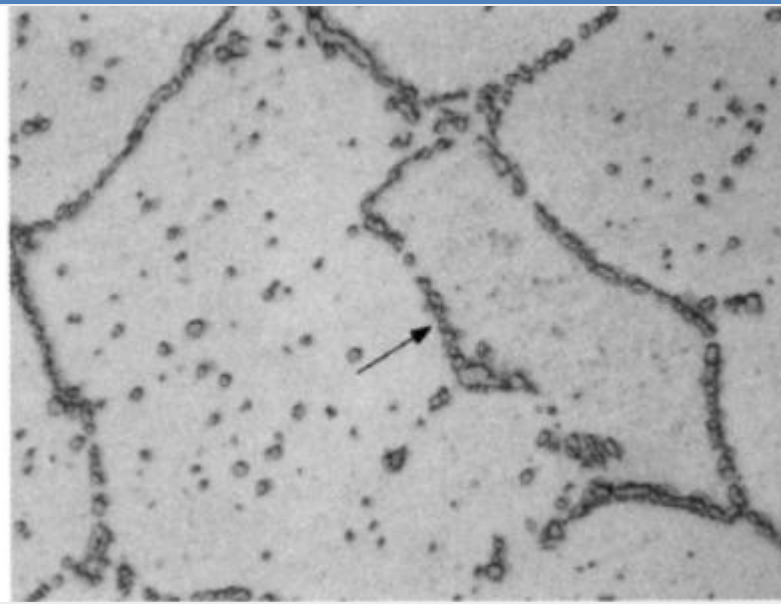
工艺条件：(a)为挤压棒于 1045~1065°C保温 3h 淬火；(b)为淬火后于 500°C下时效 1h

侵蚀剂：硝酸高铁酒精溶液

组织说明：合金经高温长时间保温后晶粒长大，而仍有部分 Cr 相未溶入  $\alpha$  相中，此时显微硬度为 63~66，时效后组织与淬火组织无明显改变，但显微硬度却提高到 137~148



(a)



(b)

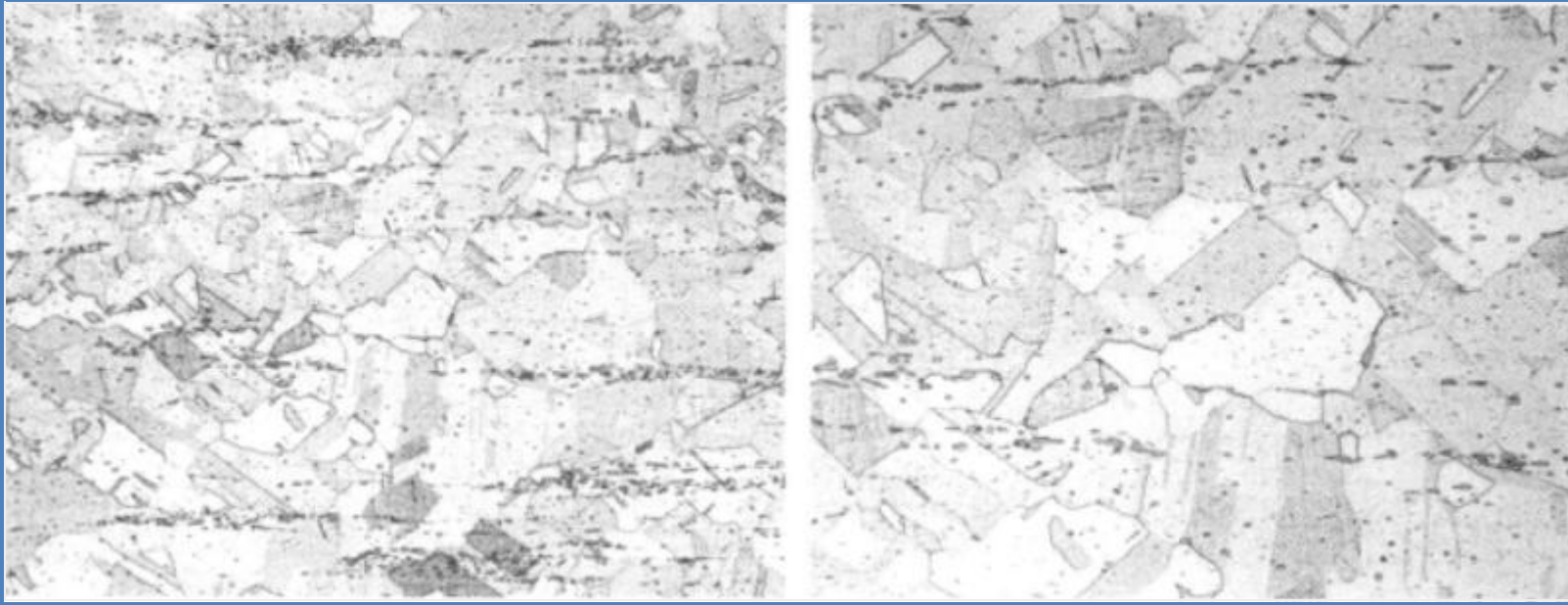
放大倍率：(a)200×；(b)500×

合金牌号：TCr0.8

工艺条件：铸态

侵蚀剂：硝酸高铁酒精溶液

组织说明：组织为  $\alpha + \text{Cr} + (\alpha + \text{Cr})$  网状共晶，箭头所示为  $(\alpha + \text{Cr})$  共晶，Cr 颗粒均以弥散质点状和颗粒状分布于  $\alpha$  基体上



(a)

(b)

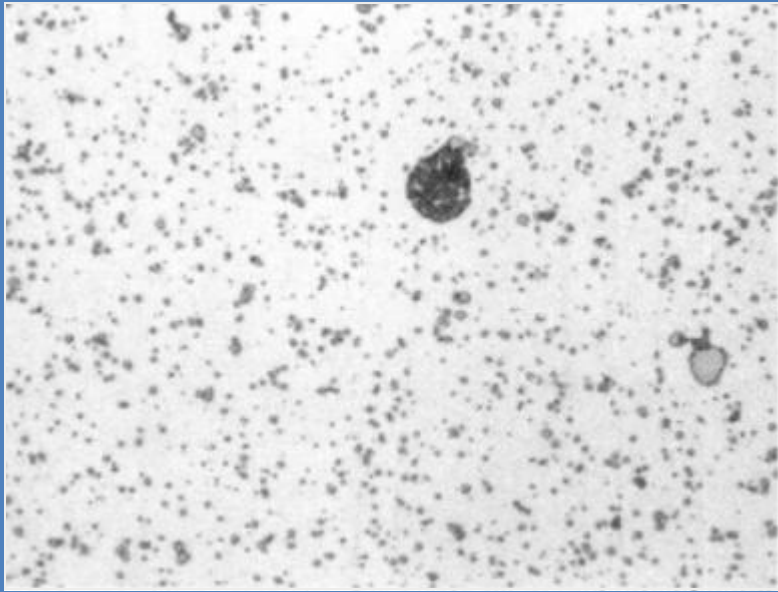
放大倍率：(a)100×；(b)200×

合金牌号：TCr0.8

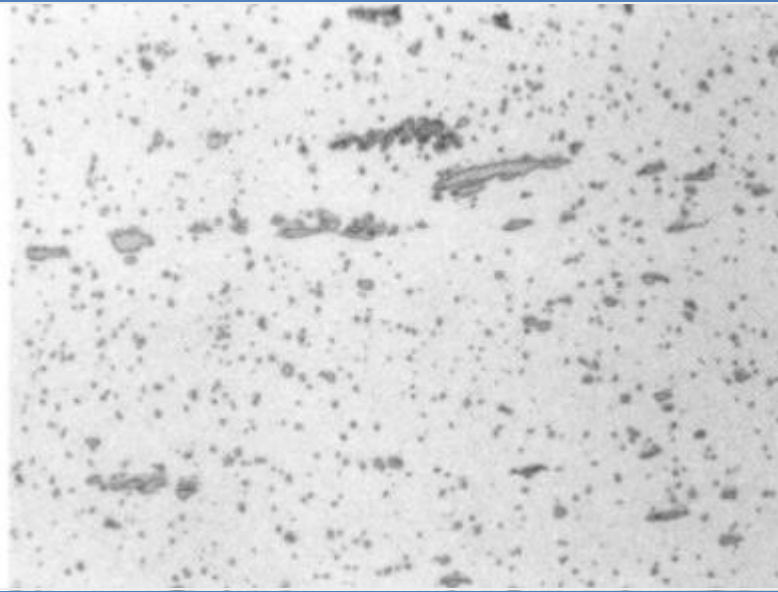
工艺条件：挤压

侵蚀剂：硝酸高铁酒精溶液

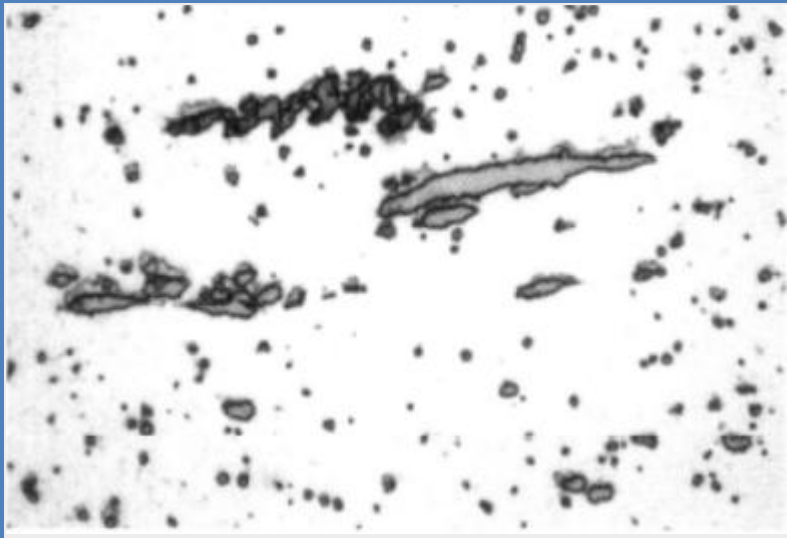
组织说明：组织为 $\alpha$ 相+Cr颗粒，基体 $\alpha$ 已再结晶，Cr颗粒均以颗粒状沿加工方向分布于 $\alpha$ 基体上



(a)



(b)



(c)

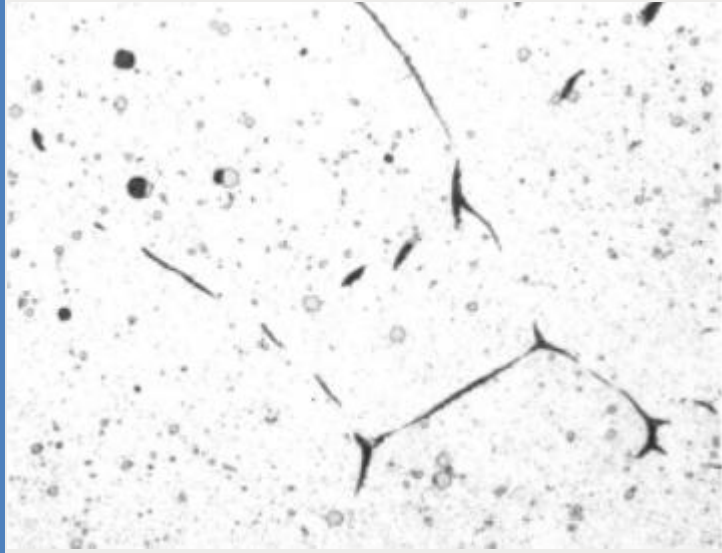
放大倍率：(a)(b)500×；(c)1000×

合金牌号：CuCr1Zr

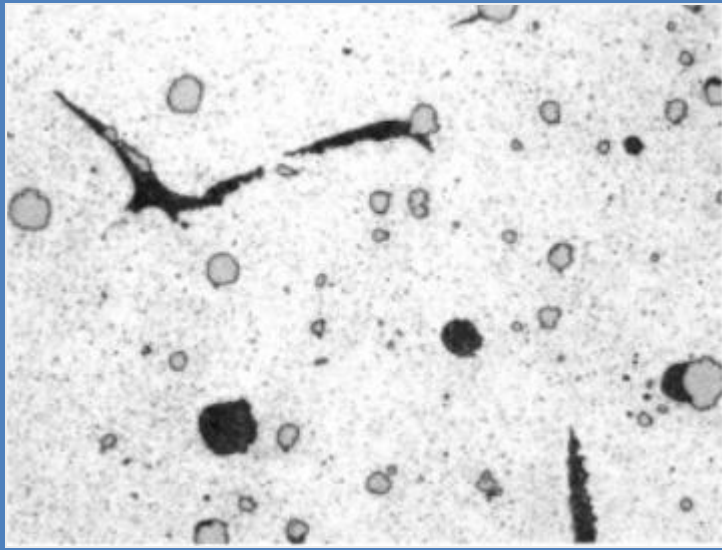
工艺条件：挤制棒，(a)横向，(b)纵向，(c)纵向

侵蚀剂：硝酸高铁酒精溶液

组织说明： $\alpha$  + Cr +  $\text{Cu}_3\text{Zr}$ ，Cr 呈浅灰色颗粒状， $\text{Cu}_3\text{Zr}$  呈球状分布，纵向有沿加工方向拉长分布特征



(a)



(b)

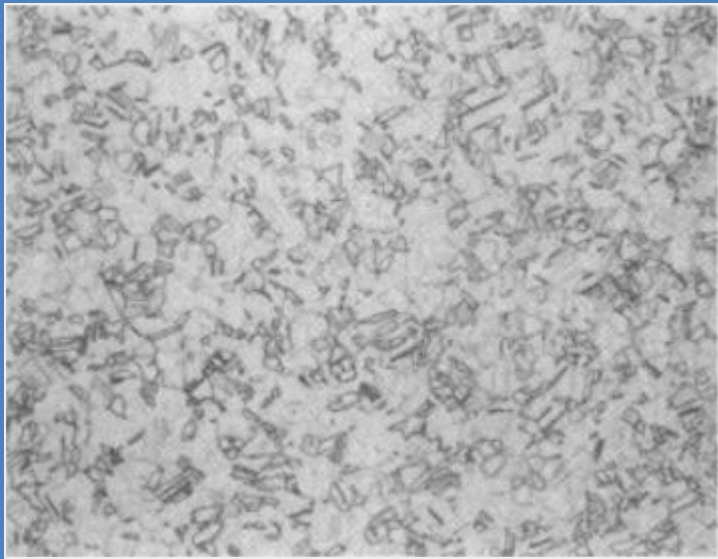
放大倍率：(a)200×；(b)500×

合金牌号：CuCr1Zr

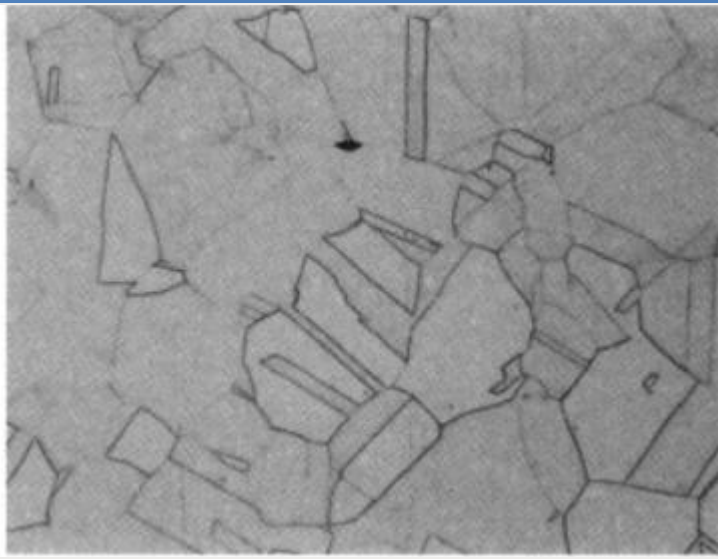
工艺条件：挤制棒 1000°C水淬

侵蚀剂：硝酸高铁酒精溶液

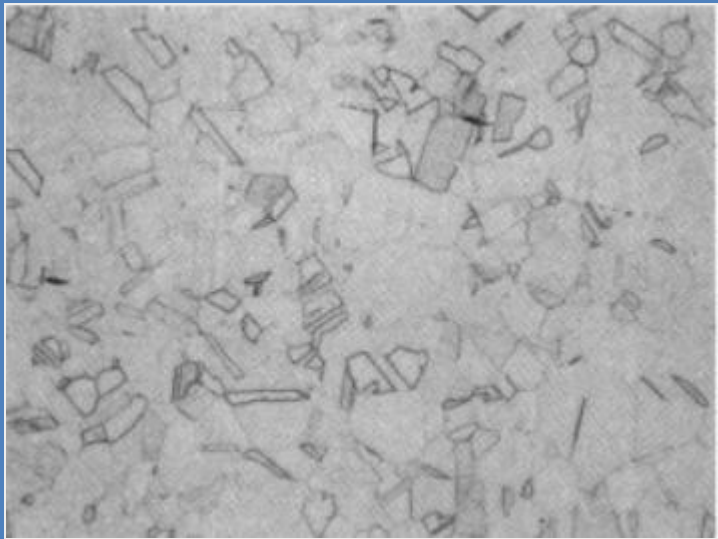
组织说明：晶界有大量( $\alpha + \text{Cu}_3\text{Zr}$ )聚集，Cr呈灰色颗粒状、晶内 $\text{Cu}_3\text{Zr}$ 呈球状



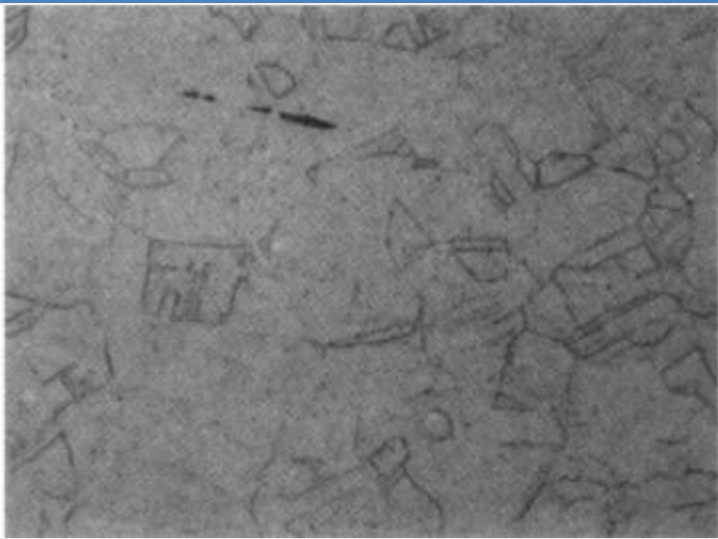
(a)



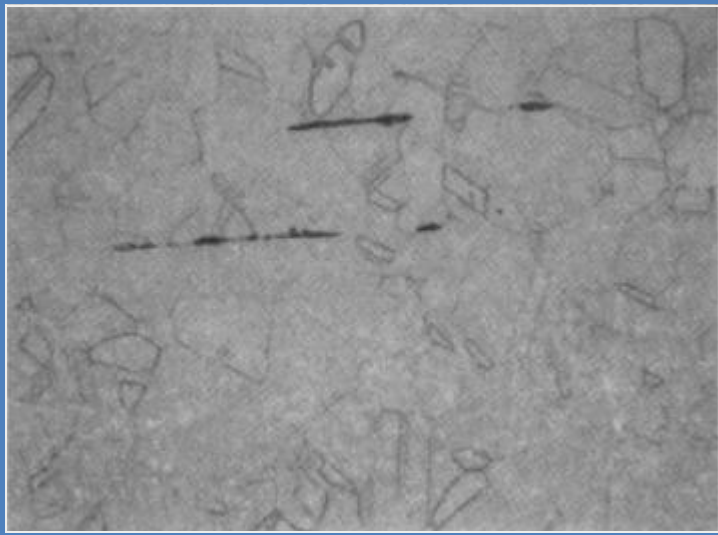
(b)



(c)



(d)



(e)

放大倍率：(a)100×；(b)(c)200×；(d)(e)500×

合金牌号：TNi2.4-0.6-0.5

工艺条件：挤压棒 $\varnothing$ 28mm

侵蚀剂：硝酸高铁酒精溶液

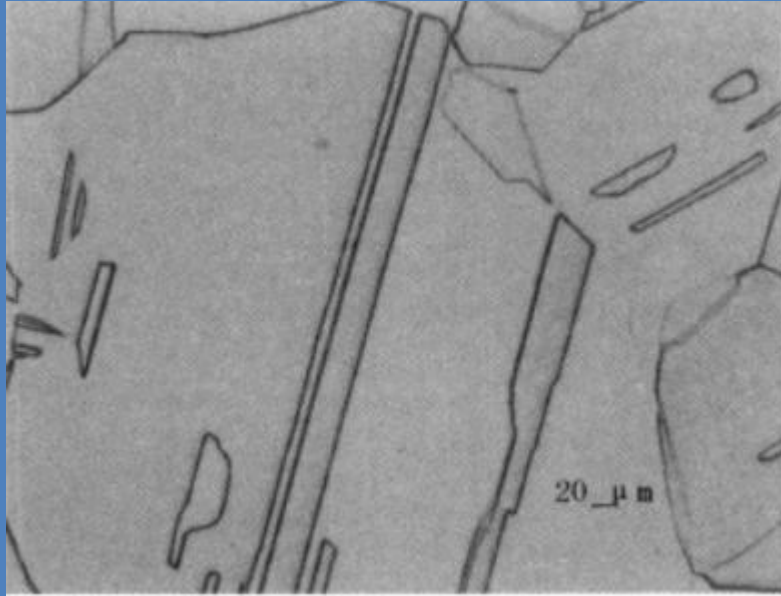
组织说明：

(a)充分再结晶组织，晶粒度为 0.020mm；

(b)、(c)进一步放大后发现有点状、纺锤状第二相分布在基体上，不同部位晶粒大小有差异；

(d)、(e)高倍下，第二相沿挤压方向呈断续条状分布，经分析为含镍硅等的化合物





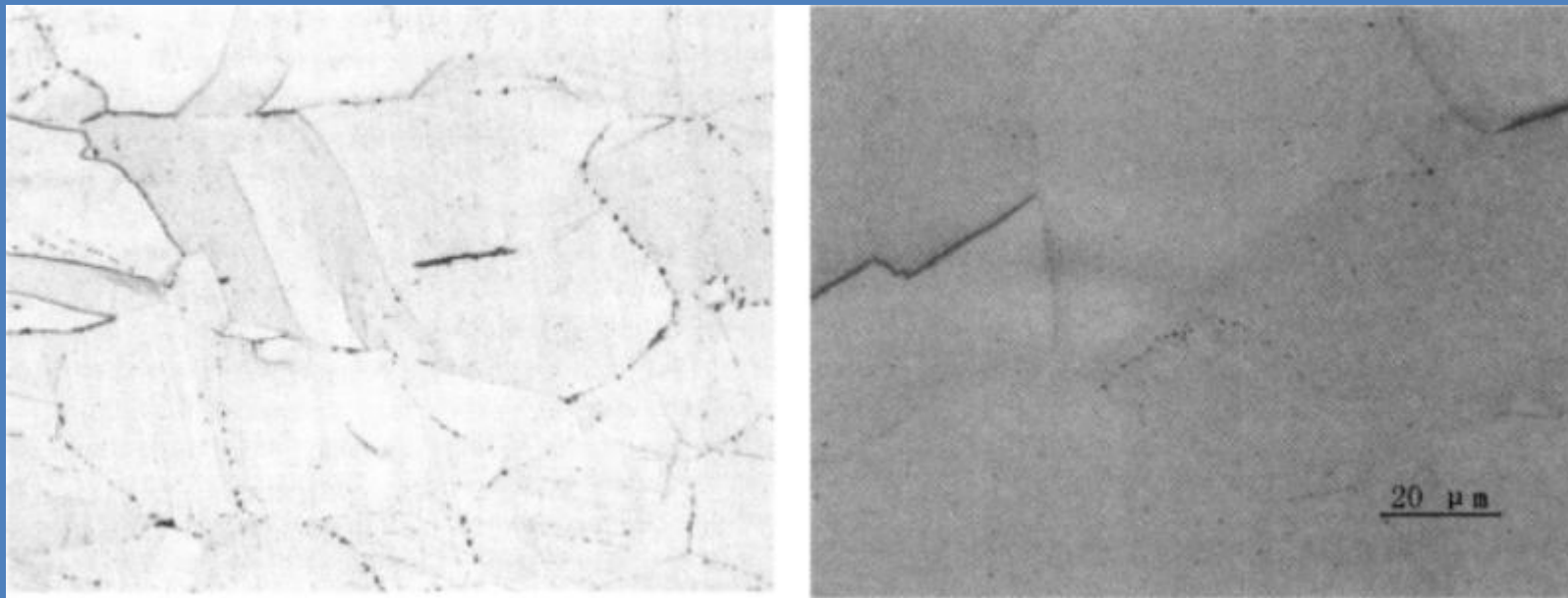
放大倍率：100×

合金牌号：TNi2.4-0.6-0.5

工艺条件：880℃/2.5h 固溶

侵蚀剂：硝酸高铁酒精溶液

组织说明：充分固溶，完全再结晶组织



(a)

(b)

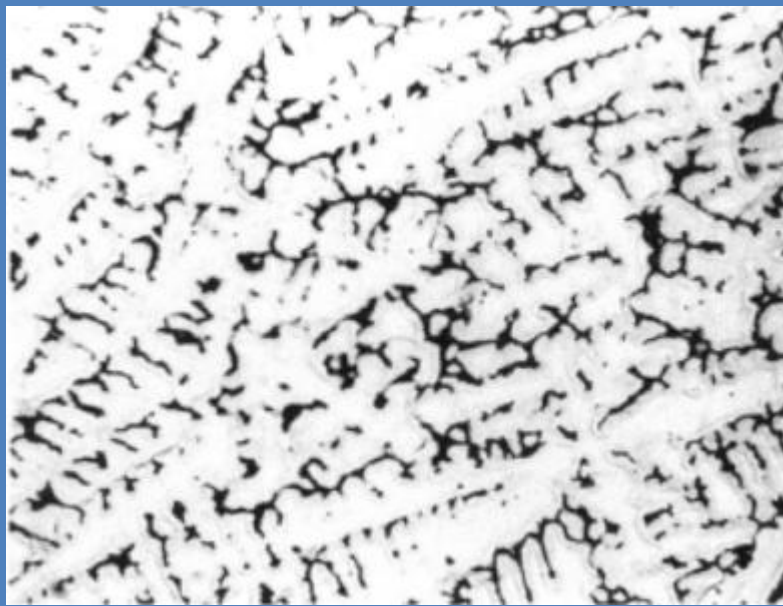
放大倍率：(a)200×；(b)500×

合金牌号：TNi2.4-0.6-0.5

工艺条件：Ø24mm 棒材，固溶后(a)480°C/1.5h 时效，(b)500°C/2h 时效

侵蚀剂：硝酸高铁酒精溶液

组织说明：经时效后析出弥散细小的  $\text{Ni}_2\text{Si}$  相，光学显微镜下未发现 Cr 相



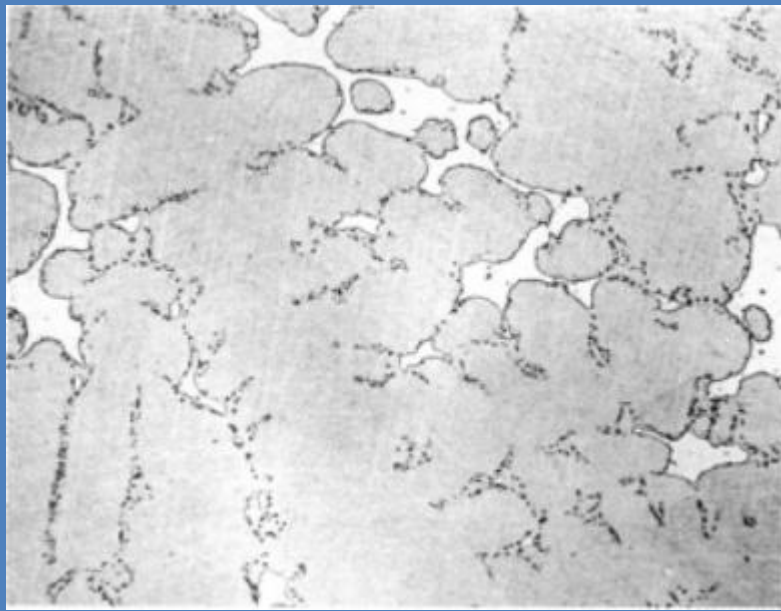
放大倍率：120×

合金牌号：TBe2.0

工艺条件：铸造

侵蚀剂：硝酸高铁酒精溶液

组织说明：基体为 $\alpha$ 相，黑色( $\alpha + \gamma$ )共析体呈树枝状分布



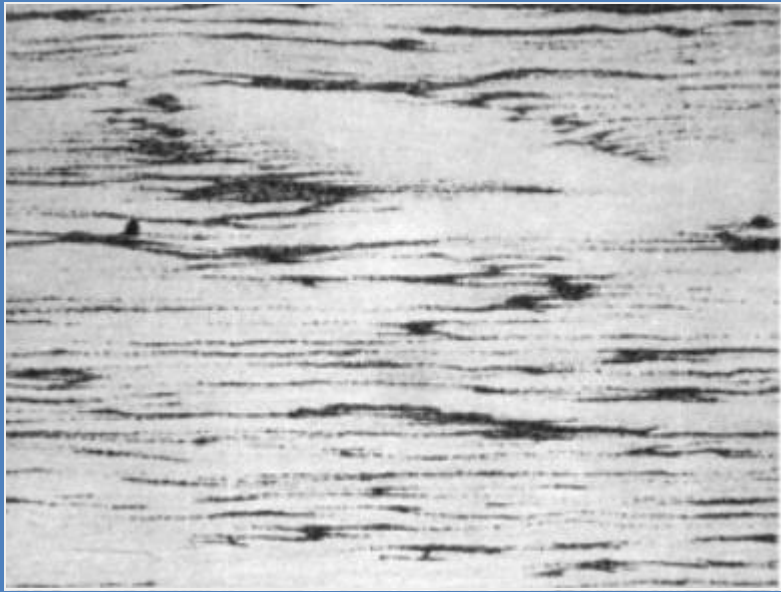
放大倍率：200×

合金牌号：TBe2.0

工艺条件：铸造试样于 780°C 保温 1h 淬火

侵蚀剂：二氯化铜氨水溶液

组织说明：灰色基体为  $\alpha$  相，白色块状及黑色颗粒状为  $\beta$  相， $(\alpha + \gamma)$  相在高温下相变为  $\beta$  相，淬火后得以保留



放大倍率：200×

合金牌号：TBe2.0

工艺条件：热压板

侵蚀剂：硝酸高铁酒精溶液

组织说明：基体为 $\alpha$ 相，黑色条状为 $(\alpha + \gamma)$ 共析体。铸锭在高温下变形， $\beta$ 相沿加工方向拉长并相变成 $(\alpha + \gamma)$



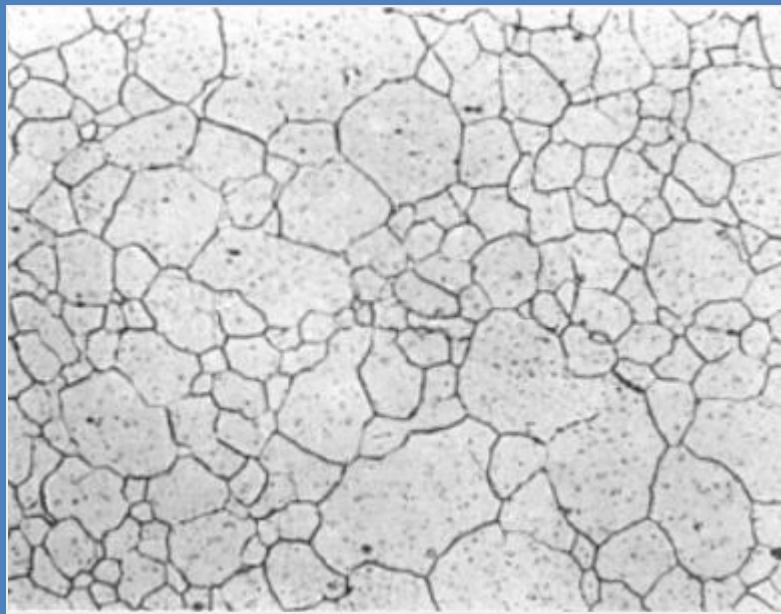
放大倍率：200×

合金牌号：TBe2.0

工艺条件：热轧板经 780°C 保温 1h 淬火

侵蚀剂：二氯化铜氨水溶液

组织说明：灰色基体为  $\alpha$  相，亮白色为  $\beta$  相，已有部分溶入基体



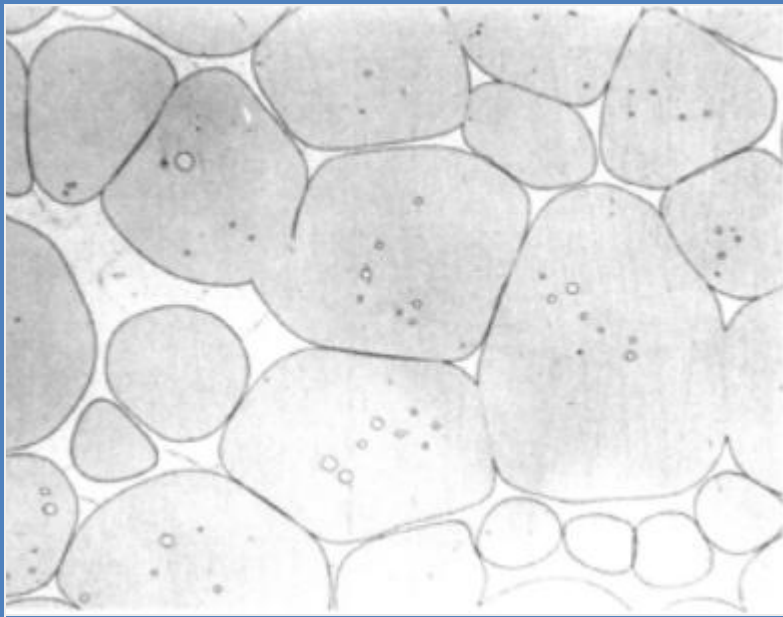
放大倍率：200×

合金牌号：TBe2.0

工艺条件：热轧板经 780°C 保温 2h 淬火

侵蚀剂：铬酐水溶液电解侵蚀

组织说明： $\beta$  相全部溶入基体， $\alpha$  相晶粒进一步长大



放大倍率：200×

合金牌号：TBe2.0

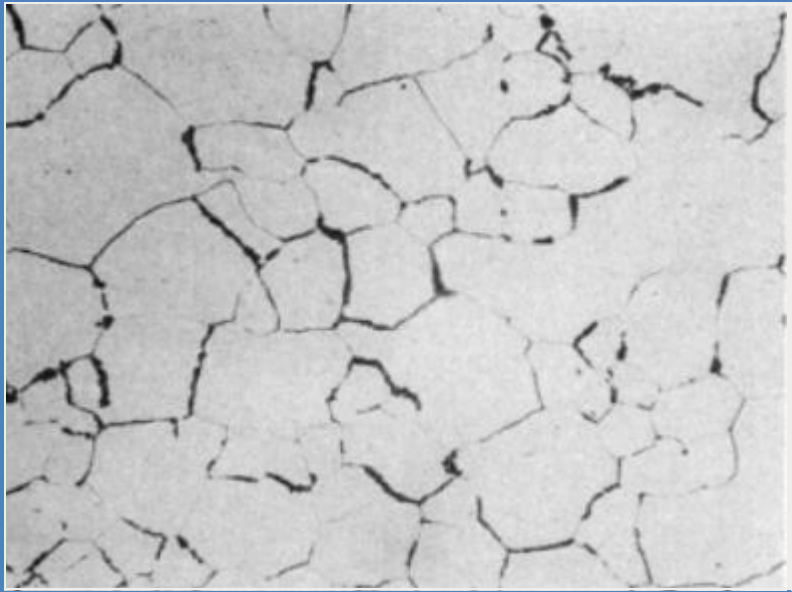
工艺条件：热轧板经 870°C 保温 1h 淬火

侵蚀剂：二氯化铜氨水溶液

组织说明：由于淬火温度过高产生过烧，晶界及晶内局部发生复熔。图中基体为  $\alpha$

相，白色块状为  $\beta$  相





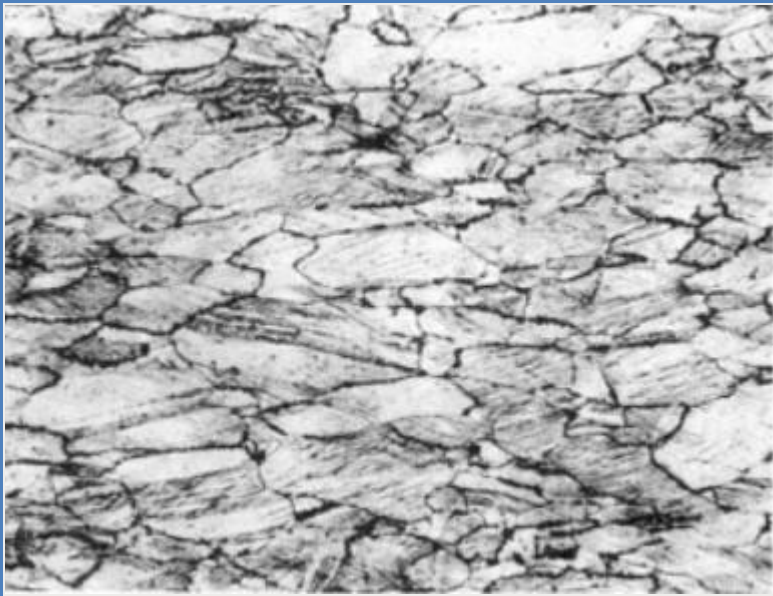
放大倍率：200×

合金牌号：TBe2.0

工艺条件：780℃淬火后于 320℃时效 2h

侵蚀剂：1%铬酸水溶液电解

组织说明：基体为  $\alpha$  相，黑色物为析出的  $\gamma$  相在晶界的聚集



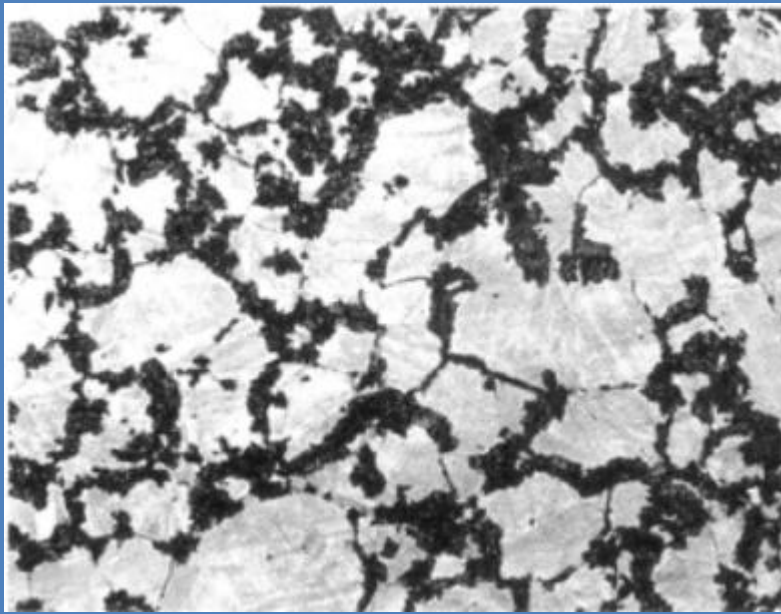
放大倍率：200×

合金牌号：TBe2.0

工艺条件：淬火后冷轧再于 320°C 时效 2h

侵蚀剂：1% 铬酸水溶液电解

组织说明： $\alpha$  相晶粒变形，晶内有滑移带，晶界上有  $\gamma$  相（黑色）析出



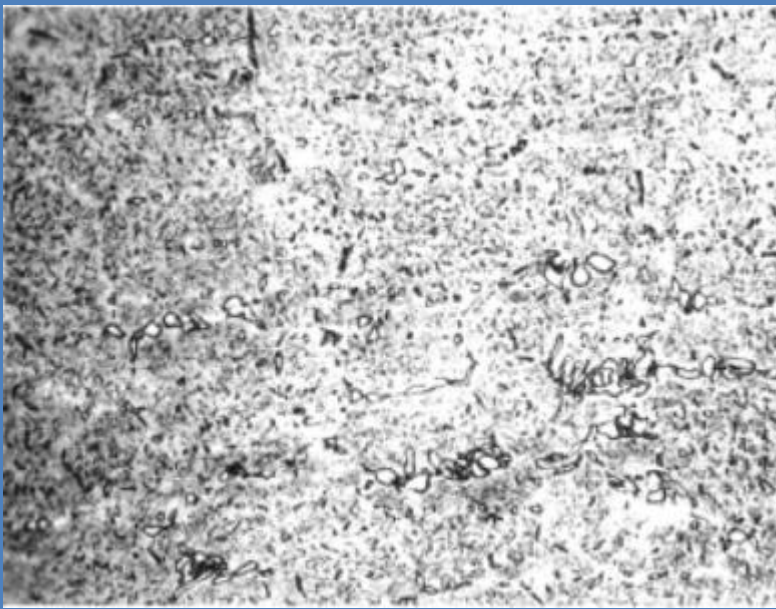
放大倍率：200×

合金牌号：TBe2.0

工艺条件：合金淬火后于 350°C 时效

侵蚀剂：1% 铬酸水溶液电解

组织说明：由于时效温度过高保温时间过长，黑色  $\gamma$  相大量在晶界聚集球化形成过时效组织



放大倍率：400×

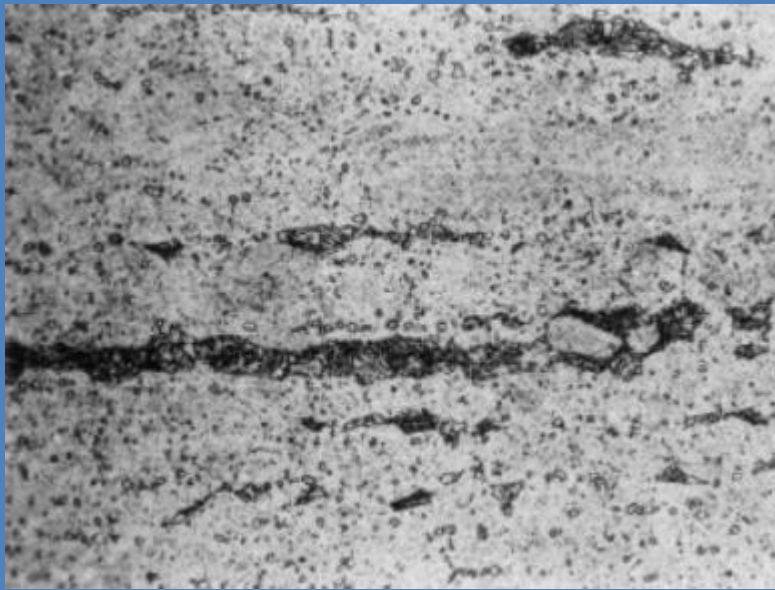
合金牌号：TBe2.0

工艺条件：热轧板于 800°C 下保温 2h 后炉冷至室温

侵蚀剂：硝酸高铁酒精溶液

组织说明：缓慢冷却使  $\gamma$  相从  $\beta$  相及  $\alpha$  相中得到充分的析出、聚集。图中颗粒状及

点状均为  $\gamma$  相



放大倍率：400×

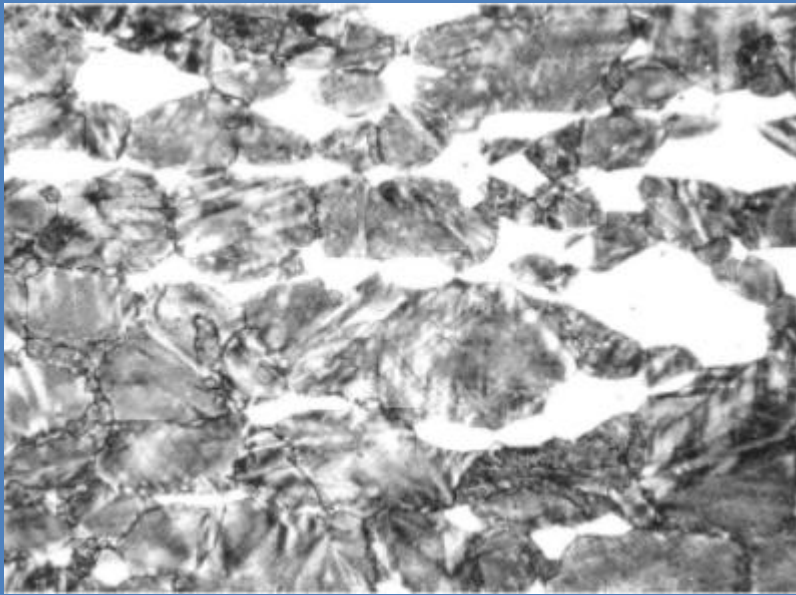
合金牌号：TBe2.0

工艺条件：热轧板于 780℃ 下保温 2h 淬火在 520℃ 下时效 16h

侵蚀剂：硝酸高铁酒精溶液

组织说明：由于时效温度过高，时间长，使  $\beta$ -相发生  $\beta \rightarrow (\alpha + \gamma)$  的共析转变。在

$\alpha$  相基体上也有大量  $\gamma$  相的脱溶



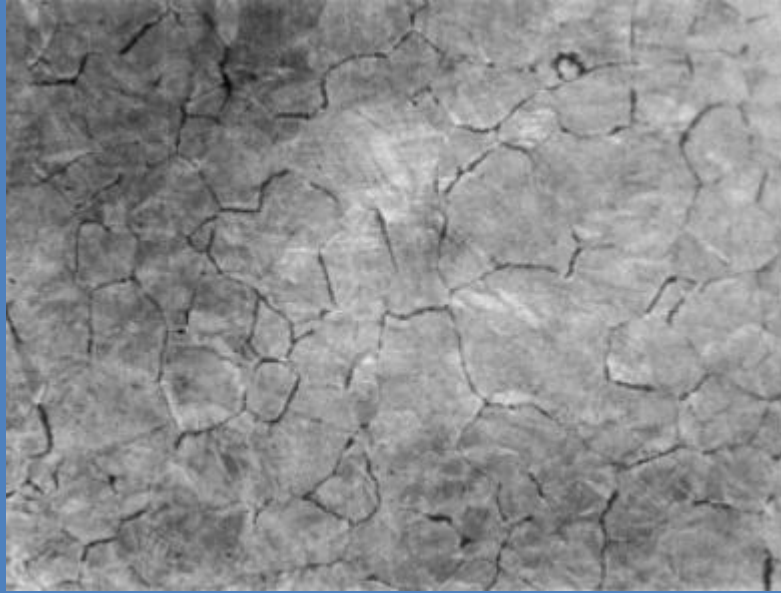
放大倍率：400×

合金牌号：TBe2.5

工艺条件：热轧板于 780℃ 下保温 2h 淬火在 320℃ 下时效 2h

侵蚀剂：二氯化铜氨水溶液

组织说明：合金淬火后时效发生，相自  $\alpha$  相的脱溶， $\alpha$  相因时效应力产生沿 {110} 面的滑移变形，故出现了波纹状组织，图中  $\gamma$  相已在晶界首先析出，而  $\beta$  相尚未发现明显分解，但此时合金强度已得到很大提高



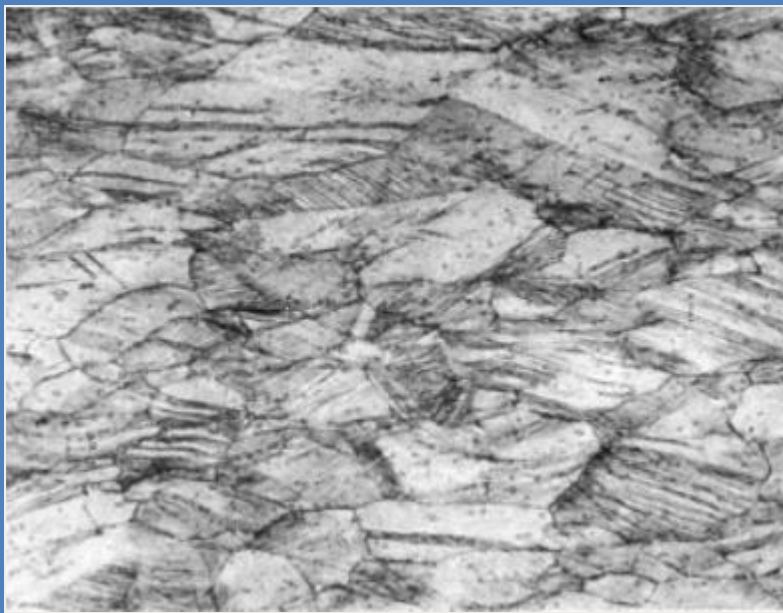
放大倍率：200×

合金牌号：TBe1.9

工艺条件：780℃淬火后于 320℃时效 2h（软时效）

侵蚀剂：1%铬酸水溶液电解侵蚀

组织说明：α相有波纹组织，晶界有少量γ相析出



放大倍率：200×

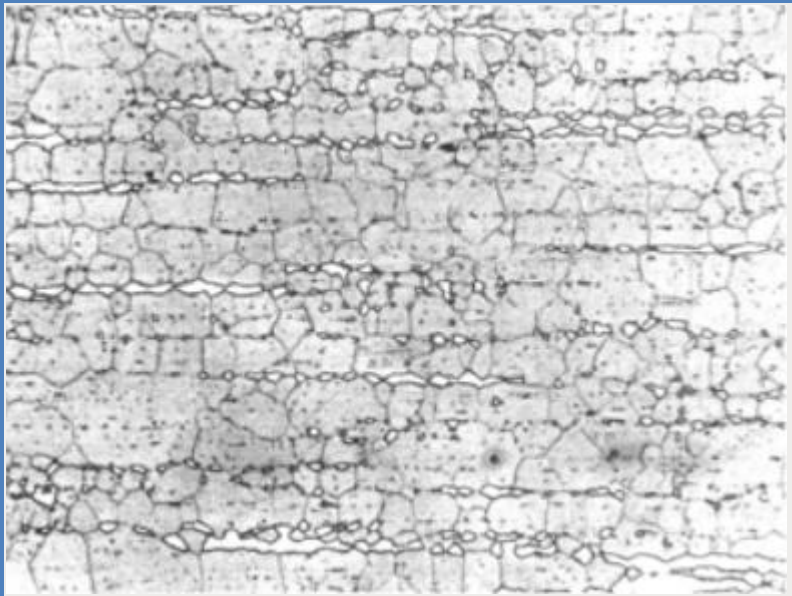
合金牌号：TBe1.9

工艺条件：780℃淬火后冷轧( $\epsilon = 33\%$ )再经 320℃时效 2h

侵蚀剂：1%铬酸水溶液电解侵蚀

组织说明： $\alpha$ 相为变形组织，晶界有少量 $\gamma$ 相析出，而颗粒状 $\beta$ 相尚未分解





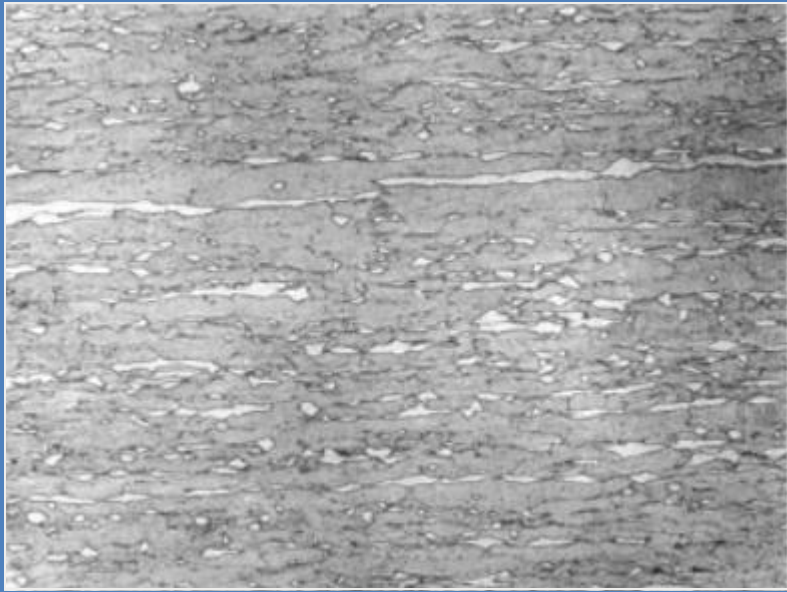
放大倍率：200×

合金牌号：TBe2.0

工艺条件：冷轧板于 780°C 保温 1h 水淬

侵蚀剂：硝酸高铁酒精溶液侵蚀后二氯化铜氨水溶液擦拭

组织说明： $\beta$  相分布不均并呈链条状



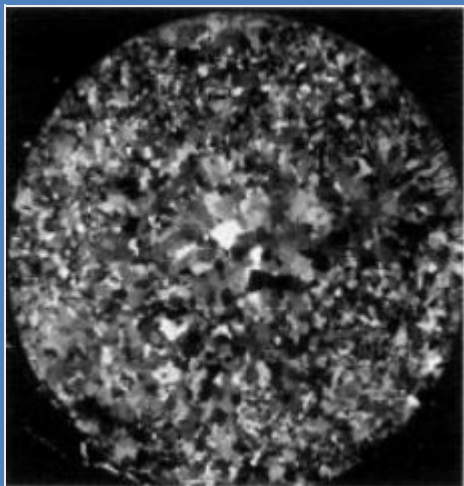
放大倍率：200×

合金牌号：TBe2.0

工艺条件：淬火后冷轧

侵蚀剂：二氯化铜氨水溶液

组织说明：由加工热处理不当造成 $\beta$ 相呈链条状分布



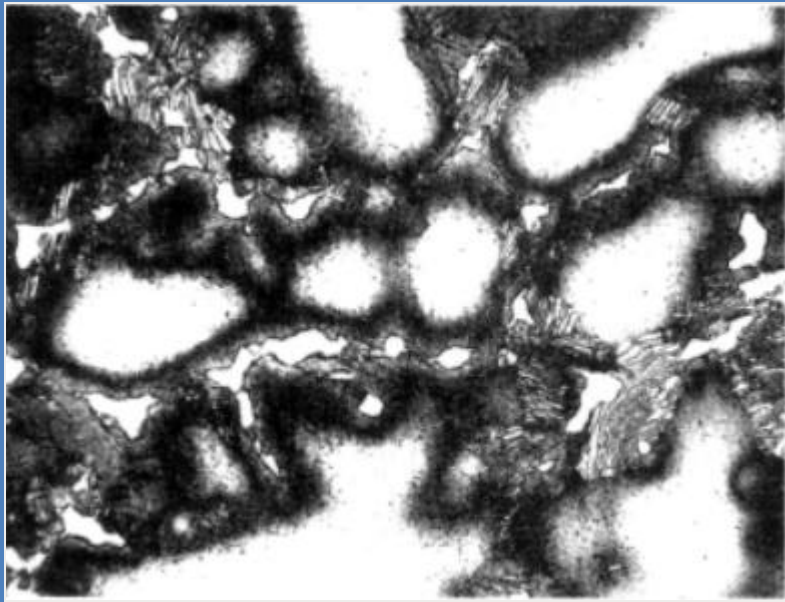
放大倍率：1/2×

合金牌号：TTi3.5

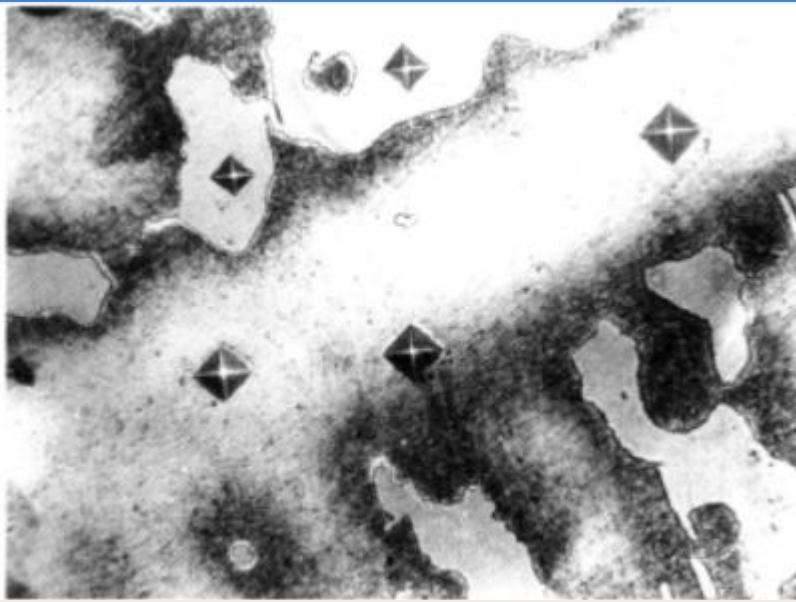
工艺条件：半连续铸造小圆锭

侵蚀剂：硝酸水溶液

组织说明：全为等轴晶，中心较粗大



(a)



(b)

放大倍率：(a)200×；(b)500×

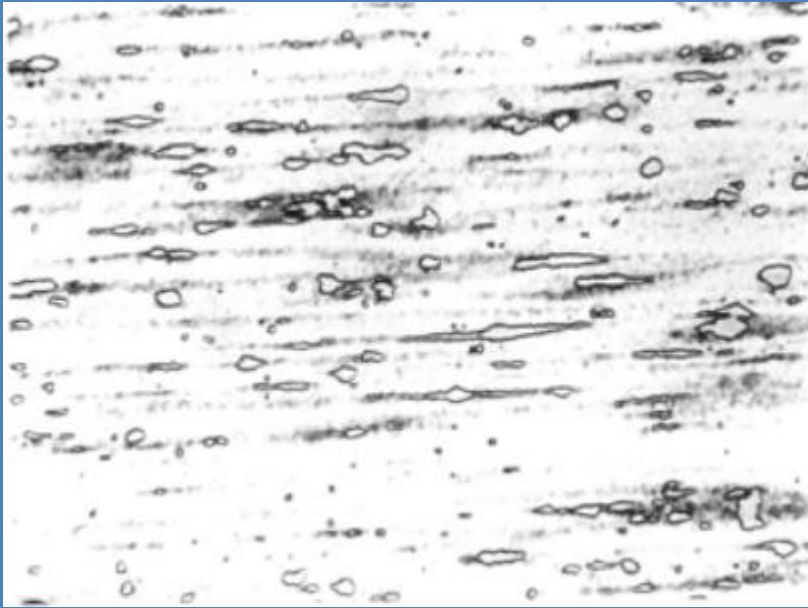
合金牌号：钛铜（含 Ti6.0%，Al1%）

工艺条件：铸造

侵蚀剂：三氯化铁丙酮溶液

组织说明：(a)基体为具有树枝状偏析的  $\alpha$  相，枝晶间有块状及层片状的  $\text{Cu}_3\text{Ti}$  相。(b)为(a)的局部放大，

由显微压痕可见  $\text{Cu}_3\text{Ti}$  相比基体硬



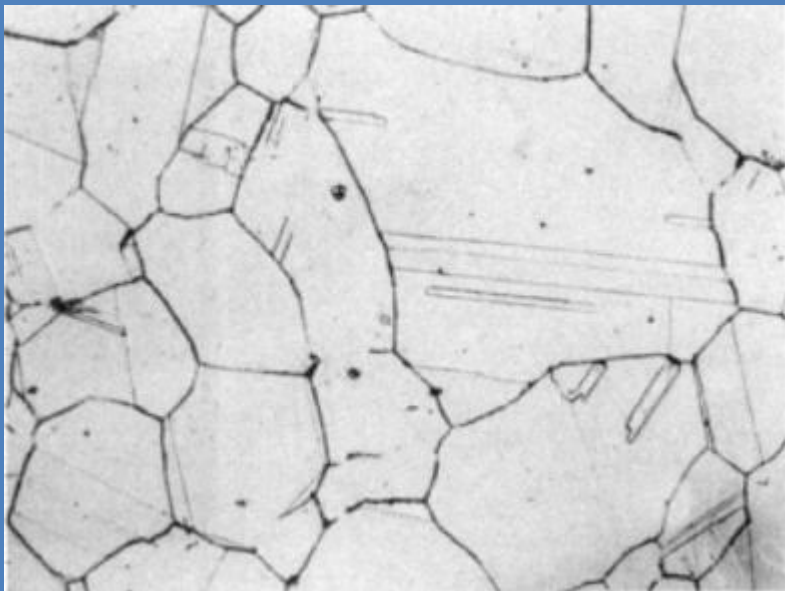
放大倍率：200×

合金牌号：钛铜（含 Ti 6.0%，Al 1%）

工艺条件：挤压

侵蚀剂：三氯化铁酒精溶液

组织说明：基体为  $\alpha$  相， $\text{Cu}_3\text{Ti}$  相沿加工方向拉长变形



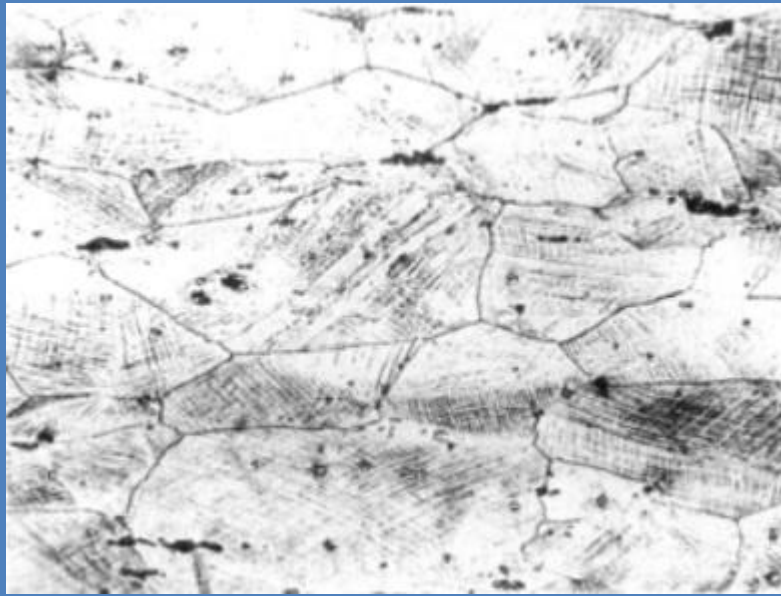
放大倍率：200×

合金牌号：TTi3.5

工艺条件：挤制品 850℃保温 30min 水淬

侵蚀剂：三氯化铁酒精溶液

组织说明： $\alpha$  单相晶粒。此时 Rm 为 200~250MPa，A 为 45%~48%，Z 为 60.5%~72%



放大倍率：200×

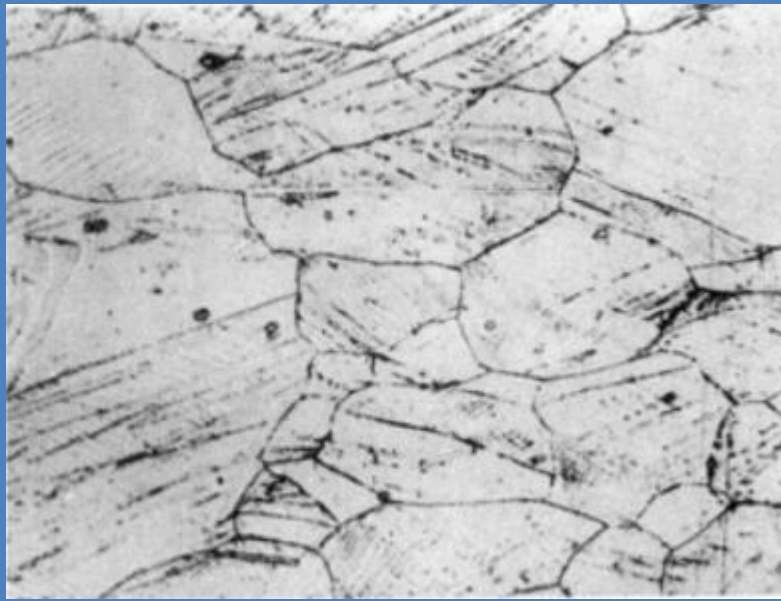
合金牌号：TTi3.5

工艺条件：棒材经淬火后拉伸

侵蚀剂：三氯化铁酒精溶液

组织说明：晶粒已变形，晶内出现滑移带，基体有少量的  $\text{Cu}_3\text{Ti}$  相。此时  $R_m$  为 69

0~720MPa， $A$  为 11%~13%， $Z$  为 57%~59.5%



放大倍率：200×

合金牌号：TTi3.5

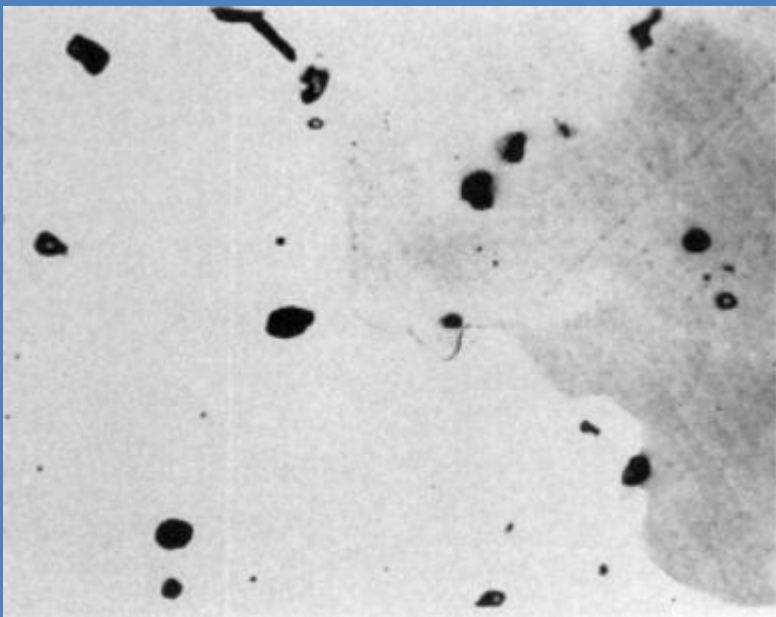
工艺条件：棒材经淬火后拉伸并随后作时效处理

侵蚀剂：三氯化铁酒精溶液

组织说明：晶粒组织无明显变化，但强度明显上升。Rm 为 900~1050MPa，Rm<sub>0.2</sub>

=800~880MPa，A<sub>11.3</sub> 为 7%~9%





放大倍率：400×

合金牌号：TCd1.0

工艺条件：半连续铸造

侵蚀剂：硝酸高铁酒精溶液

组织说明：基体为  $\alpha$ -相，灰色颗粒为  $\text{Cu}_2\text{Cd}$  相，此相极易在抛光侵蚀过程中剥落



放大倍率：200×

合金牌号：TCd1.0

工艺条件：挤压棒

侵蚀剂：硝酸高铁酒精溶液

组织说明：基体为带双晶的 $\alpha$ 相， $\text{Cu}_2\text{Cd}$ 颗粒较小且易剥落，故图中多为小黑点，有沿加工方向分布特征

来源：常州精密钢管博客网《加工铜及铜合金进行图谱》