



中华人民共和国国家标准

GB/T 26492.1—2011

变形铝及铝合金铸锭及加工产品缺陷 第1部分：铸锭缺陷

Defects for wrought aluminium and aluminium alloys ingots and products—
Part 1: Defects for ingots

2011-05-12 发布

2012-02-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会

前 言

GB/T 26492《变形铝及铝合金铸锭及加工产品缺陷》分为五个部分：

- 第1部分：铸锭缺陷；
- 第2部分：铸轧带材缺陷；
- 第3部分：板、带缺陷；
- 第4部分：铝箔缺陷；
- 第5部分：管材、棒材、型材、线材缺陷。

本部分为 GB/T 26492 的第1部分。

本部分由全国有色金属标准化技术委员会(SAC/TC 243)归口。

本部分负责起草单位：东北轻合金有限责任公司。

本部分参加起草单位：西南铝业(集团)有限责任公司、中国铝业西北铝加工分公司、山东兖矿轻合金有限责任公司、广东坚美铝型材有限公司、福建省南平铝业有限公司、龙口市丛林铝材有限公司。

本部分主要起草人：吴欣凤、吕新宇、王美琪、李成利、王立娟、李海仙、王贵福、冯彦波、段瑞芬、郭瑞、谢延翠。

变形铝及铝合金铸锭及加工产品缺陷

第 1 部分：铸锭缺陷

1 范围

本部分规定了变形铝及铝合金铸锭产品中常见缺陷的定义、特征,并分析了其主要产生原因。
本部分适用于变形铝及铝合金铸锭缺陷的分析与判定。

2 缺陷定义、特征和主要产生原因

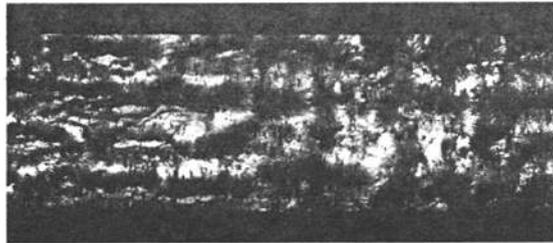
2.1

偏析浮出物(偏析瘤) nodule of segregation (segregation knob)

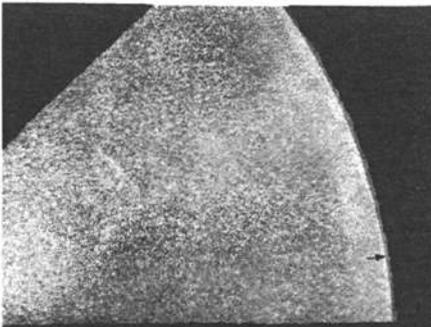
半连续铸造过程中,在铸锭表面上产生的瘤状物称偏析浮出物。宏观组织特征是铸锭表面呈不均匀的凸起[如图 1a)、图 1b)],显微组织观察偏析瘤处的第二相比基体的大,分布致密,第二相体积分数也大,有时在偏析瘤处可发现一次晶[如图 1c)]。

主要产生原因:

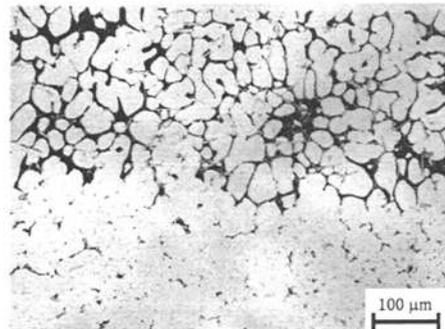
- a) 铸造温度高,铸造速度快;
- b) 结晶器或芯子锥度过大;
- c) 冷却强度低或结晶器内部缺水;
- d) 漏斗摆放不正。



a) 铸锭表面偏析浮出物



b) 偏析浮出物低倍组织



c) 偏析浮出物显微组织

图 1 偏析浮出物

2.2

冷隔(或成层) cold shut (or stratification)

铸锭表皮上存在的有规律性重叠或靠近表皮内部形成隔层的现象称冷隔。宏观组织表现为不合

层,低倍组织有明显分层,分层处凹下形成沿铸锭外表面的圆弧状黑色裂纹(如图2)。显微组织冷隔处为黑色裂纹,裂纹处有非金属夹杂。冷隔一般可通过机械加工方式进行处理。

主要产生原因:

- a) 铸造速度慢,金属熔体供流少,边部易凝固,继续供给熔体补充不足就提前凝固;
- b) 铸造温度低,金属熔体流动性不好,靠近结晶器壁处易凝固;
- c) 铸造漏斗安放不正或漏斗孔堵塞,造成金属液流供给不均;
- d) 结晶器锥度不当或结晶器变形;
- e) 漏斗过小,结晶器内液面过低或波动过大;
- f) 冷却强度过大或冷却不均匀;
- g) 润滑不均,局部供油过量。

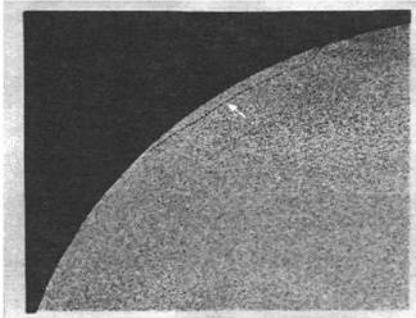


图2 冷隔(或成层)低倍组织

2.3

断流冷隔 breaking cold shut

在铸造过程中因金属流供应不足造成组织不连续、铸锭表面横截面分层的现象称断流冷隔。

主要产生原因:

- a) 铸造时金属液面水平控制过低;
- b) 铸造时漏金属;
- c) 铸造时因流口堵塞或冷凝、流口太小等原因致使金属液流供应不上。

2.4

竹节 bamboo-ridge

因铸造设备运转问题,铸锭表面上形成的“竹节”状现象。竹节经铸锭车皮可去掉。

主要产生原因:

- a) 铸造机运行不稳,有停顿现象;
- b) 无导轨铸造机,导向滑轮夹杂铝或杂物。

2.5

弯曲 bow

铸锭纵向轴线不成一条直线的现象。

主要产生原因:

- a) 结晶器安装不正或固定不牢,铸造时错动;
- b) 铸造机运行不稳;
- c) 铸造机导轨不直或导轨间隙过大,底座不稳;
- d) 盖板不平,使结晶器歪斜;
- e) 结晶器变形,锥度不当或光洁度差,造成局部悬挂产生弯曲;
- f) 吊运或摆放不当。

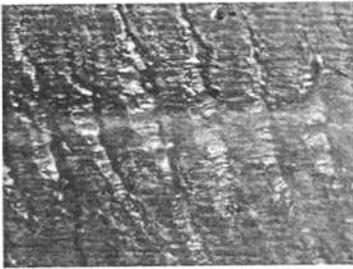
2.6

拉裂 pull crack

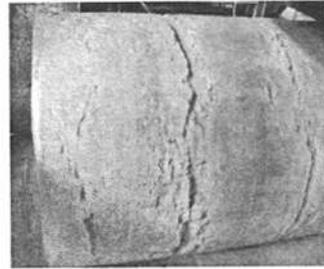
铸造时形成的凝固外壳与结晶器壁的摩擦阻力超出铸锭的本身强度时,在铸锭表面形成拉痕。严重时铸锭表面产生横向裂口称为拉裂[如图 3a)、图 3b)]。有时在裂口处产生流挂。这种缺陷破坏了铸锭组织的连续性,严重时应为废品。只有当拉痕、拉裂深度不超出铸锭机械加工余量时,可以进行铣面或车皮处理。

主要产生原因:

- a) 结晶器内表面不光滑,有毛刺、划痕、润滑不好;
- b) 结晶器或漏斗安放歪斜,使铸锭下降时一侧产生很大的摩擦阻力;
- c) 铸造过程中,金属熔体水平忽高忽低造成抱芯子(空心锭)或漏铝而悬挂;
- d) 铸造速度快、铸造温度高,铸造水压大容易造成拉痕和拉裂;
- e) 结晶器冷却水结垢;
- f) 结晶器退火或过烧。



a) 扁铸锭拉裂



b) 圆铸锭拉裂

图 3 拉裂

2.7

竖道皱褶 vertical fold

铸锭宽面沿铸造方向出现的凹下的竖条状缺陷称竖道皱褶。宏观上主要存在于扁锭漏斗对应的两侧表面上。皱褶沿纵向发展,可能是连续的,也可能是断续的,长度和深度不等(如图 4),皱褶严重时可导致裂纹。

主要产生原因:

- a) 熔体中 B 元素含量高;
- b) 铸造温度低;
- c) 润滑不好。

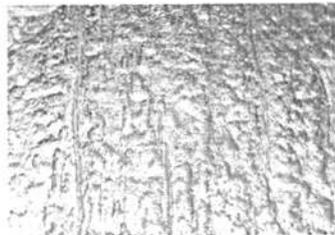


图 4 扁铸锭竖道皱褶

2.8

偏心 eccentric centre

空心铸锭内、外圆不同心的现象,偏心的结果导致空心锭壁厚不均。

主要产生原因：

- a) 芯子安装不正,铸造机下降时不稳定;
- b) 铸造工具不符合要求;
- c) 铸锭弯曲或锭孔不正确。

2.9

缩孔 shrinkage cavity

液体金属凝固时,由于体积收缩而液体金属补缩不足时,凝固后在铸锭尾部中心形成的空腔叫缩孔。

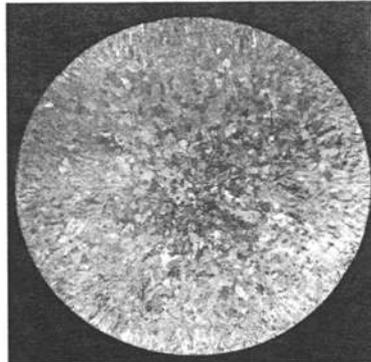
2.10

热裂纹 hot crack

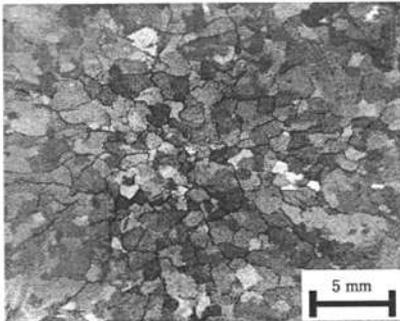
金属凝固过程中,在线收缩开始温度至固相点温度的结晶终了区间,由于结晶收缩受到阻碍而产生拉应力,又由于这个区间含有较多的脆性金属化合物,拉应力超过了该区金属的强度极限时产生的裂纹叫热裂纹。热裂纹的宏观组织特征为裂纹曲折、分叉或呈网状、圆弧状[如图 5a)、图 5b)];断口上裂纹处多呈黄褐色,有氧化现象,裂纹凸凹不平。显微组织特征为裂纹沿晶界开裂,且裂纹处有低熔点共晶物填充[如图 5c)]。

主要产生原因：

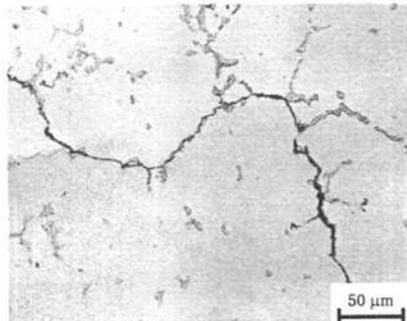
- a) 铸造速度、温度、冷却水压不当,或冷却不均匀;
- b) 结晶器、盖板变形或结晶器、芯子锥度不当;
- c) 熔体过热或液体金属停留时间过长;
- d) 合金化学成分、杂质含量控制不当;
- e) 铸造时液流分配不均匀;
- f) 铸造开头或结尾处理不当。



a) 热裂纹低倍组织



b) 热裂纹处低倍组织的局部放大图



c) 热裂纹显微组织

图 5 热裂纹

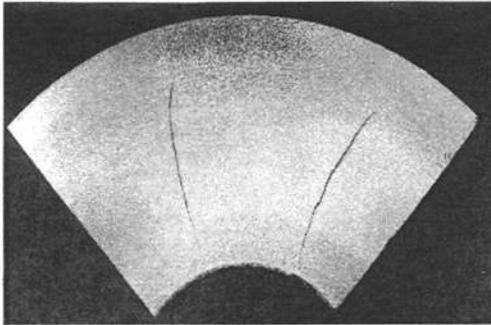
2.11

冷裂纹 cold crack

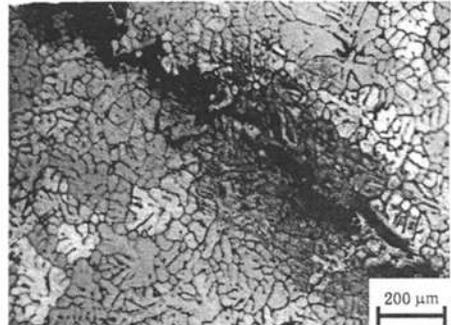
液态金属凝固后,由于铸锭内部冷却不均产生的拉应力超过了金属的强度极限,而在铸锭的某个或某几个塑性薄弱区产生的裂纹称冷裂纹。宏观组织特征呈平直的裂纹[如图 6a)],断口上裂纹为亮晶色,断口没有氧化。显微组织特征为裂纹不沿枝晶发展,横穿基体和枝晶网络[如图 6b)]。

主要产生原因:

- a) 合金元素、杂质含量控制不当;
- b) 熔体过热或液体金属停留时间过长;
- c) 冷却不均匀,铸造速度快、铸造温度偏高;
- d) 结晶器、盖板变形或结晶器、芯子锥度不当;
- e) 铸造时液流分配不均匀;
- f) 铸造开头或收尾处理不当。



a) 冷裂纹低倍组织



b) 冷裂纹显微组织

图 6 冷裂纹

2.12

偏析 segregation

铸锭中化学成分分布不均的现象称偏析。在变形铝合金中,偏析主要有晶内偏析和逆偏析。

2.13

晶内偏析 coring segregation

显微组织中同一个晶粒内化学成分不均的现象称晶内偏析。晶内偏析的显微组织特征是,浸蚀后的晶内呈水波纹状的类似树木年轮状组织(如图 7)。表现为晶界或枝晶界内化学成分和显微硬度不均匀。

主要产生原因:

- a) 结晶区间间隔大,引起不平衡结晶;
- b) 结晶过程中溶质原子在晶体中的扩散速度小于晶体生长速度。

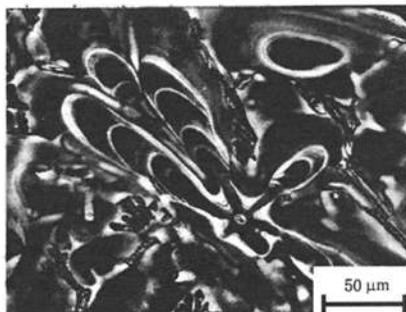


图 7 晶内偏析显微组织

2.14

逆偏析 inverse segregation

铸锭边部的熔质浓度高于铸锭中心熔质浓度的现象称逆偏析。逆偏析的组织特征不易从显微组织辨别,只能从化学成分分析上确定。

主要产生原因:

结晶过程中,液体中富集溶质受力,穿过以结晶的树枝晶枝干和分枝缝隙向铸锭表面移动的结果。

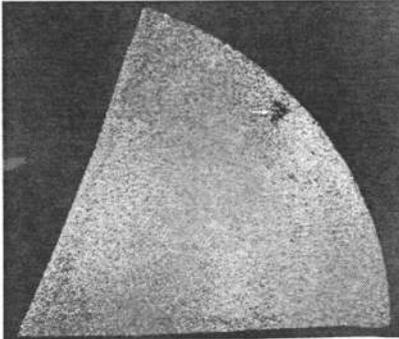
2.15

非金属夹杂 non-metallic inclusion

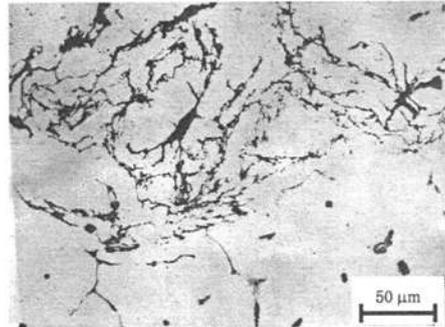
混入铸锭中的熔渣或落入铸锭内的其他非金属夹杂。低倍组织为无固定形状、与基体界限不清的黑色凹坑[如图 8a)]。其断口特征为黑色条状、块状或片状,显微组织特征多为黑色线状、块状、絮状的紊乱组织,与基体色差明显[如图 8b)]。

主要产生原因:

- a) 原、辅材料不干净,如有油污、泥土、灰尘、水分等;
- b) 炉子、流槽、流盘或导炉流管处清理不干净;
- c) 精炼不彻底,精炼温度低,静置时间不足,使渣、铝分离得不好;
- d) 铸造温度低;
- e) 操作不当,导致外来脏物掉入液体金属中进入铸锭。



a) 非金属夹杂低倍组织



b) 非金属夹杂显微组织

图 8 非金属夹杂

2.16

金属夹杂 metallic inclusion

由于铸造工艺不当,或外来金属掉入液体金属中,致使铸锭结晶后在组织中存在外来金属物。在组织中存在的外来金属物称金属夹杂。其宏观组织和显微组织特征为有棱角的金属物,颜色与基体金属有明显差别,并有清晰的分界线。铸锭变形后金属夹杂与基体金属间易产生裂纹。

主要产生原因:

- a) 操作不当,导致外来金属掉入液体金属中,进入铸锭;
- b) 外来的未被熔化的金属块保留在铸锭中。

2.17

氧化膜 oxide film

熔体铸造时由于操作不当和熔体污染,铸锭中存在的由非金属夹杂形成的氧化物和未排除气体(主要为氢气)称氧化膜。由于氧化膜尺寸较小,在铸锭宏观组织中很难发现,应将检查氧化膜用铸锭试样变形后做断口检查,氧化膜特征为黄褐色、灰色的条状或片状物小平台,对称的分布在两个断面上(如图 9)。显微组织上的氧化膜特征为黑色线状包留物或闭合的空腔,黑色为氧化膜,白色为铝基体,包留

物往往为窝纹状。

主要产生原因：

- a) 原、辅材料不干净,有油污、潮湿、水分、腐蚀、灰尘、泥沙等;
- b) 熔炼过程中,反复补料、冲淡,搅拌方法不当,破坏了表面氧化膜,使其成为碎块掉入熔体内;
- c) 精炼除气不彻底,熔剂、铸造工具潮湿未经充分干燥,空气湿度大,容易产生氧化膜;
- d) 熔体转注过程中金属熔体没有满管流动,冲击太大或落差点没有封闭造成氧化膜碎块掉入熔体内;
- e) 静置时间不够,熔炼炉、静置炉积渣太多;
- f) 铸造温度低;
- g) 铸造过程中净化装置出现故障,过滤系统没起作用;
- h) 结晶器内金属水平波动大或液流供应不均匀。

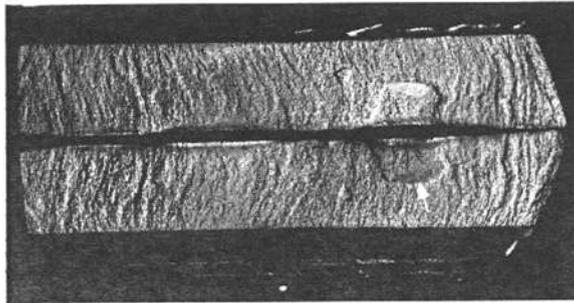


图 9 氧化膜断口组织

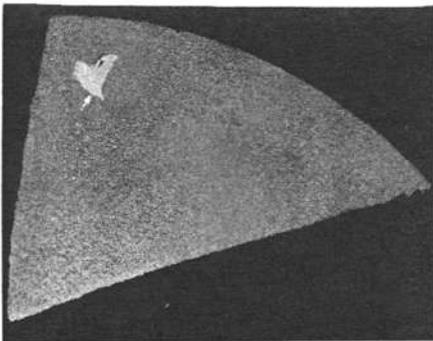
2. 18

白斑 white spot

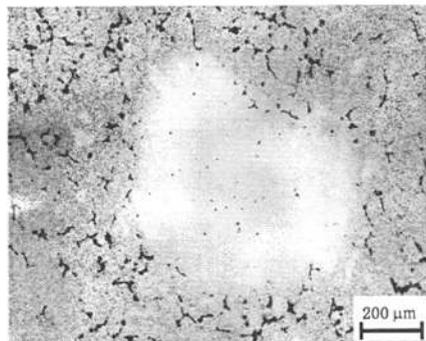
在宏观组织中的白色块状物称白斑。白斑的低倍组织与基体金属组织有明显的色差,形状不定、轮廓清晰[如图 10a)],但并没有破坏金属的连续性。显微组织特征为纯铝组织,没有合金那样多的化合物[如图 10b)],显微硬度很低。白斑出现在铸锭底部。

主要产生原因:

- a) 采用纯铝铺底铸造的合金中,由于铸造操作不当,熔体液流将铺底铝溅起,混入合金的熔体中;
- b) 用纯铝铺底时表面硬壳未打净;
- c) 铸造漏斗温度低,纯铝粘在漏斗底,在铸造过程中掉下;
- d) 铺底纯铝温度低。



a) 白斑低倍组织



b) 白斑显微组织

图 10 白斑

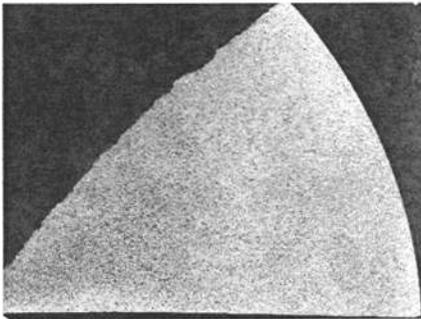
2.19

疏松 porosity

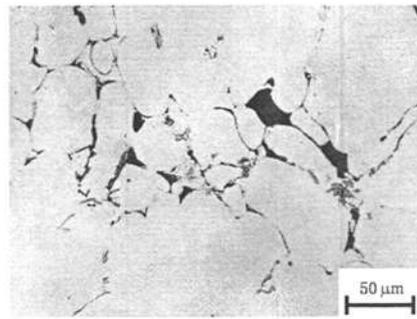
当熔体结晶时,由于基体树枝晶间液体金属补充不足或由于存在未排出的气体(主要为氢气),结晶后在枝晶内形成的微孔称疏松。由补缩不足形成的微孔称为收缩疏松;由气体形成的疏松称气体疏松。疏松的低倍组织特征为形状不规则、分散状的黑色针孔[如图 11a)],断口组织特征为组织粗糙、灰白色的点状小坑,不致密,疏松严重时断口上有白色小亮点。显微组织特征为沿枝晶分布、有棱角形的黑洞,疏松愈严重,黑洞数量愈多,尺寸也愈大[如图 11b)]。

主要产生原因:

- a) 合金的开始凝固温度与凝固终了温度相差很大,即过渡带宽,使补缩和气体逸出困难;
- b) 熔体过热、停留时间长、高镁合金不覆盖或覆盖不好等,吸收大量气体;
- c) 工具潮湿、熔剂、精炼气体水分含量高;
- d) 铸造温度低、铸造速度快、冷却强度小,熔体中的气体逸出困难;
- e) 静置时间不够,精炼除气不彻底;
- f) 空气湿度大;
- g) 燃气、燃油水分大;
- h) 原材料潮湿,有油污、水分;
- i) 炉子大修、中修、长期停炉后干燥不彻底。



a) 疏松低倍组织



b) 疏松显微组织

图 11 疏松

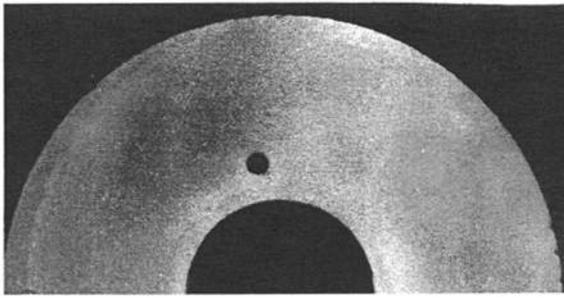
2.20

气孔 gas porosity

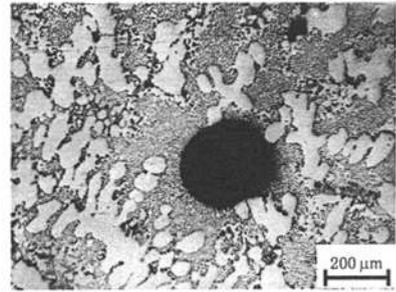
当熔体中氢含量较大且除气不彻底时,使氢气以泡状存在,并在金属凝固后被保留下来,在金属内形成空腔,该空腔称为气孔。气孔的组织特征为圆孔状,内表面光滑明亮[如图 12a)、图 12b)]。

主要产生原因:

- a) 合金的开始凝固温度与凝固终了温度相差很大,即过渡带宽,使补缩和气体逸出困难;
- b) 熔体过热、停留时间长、熔体不覆盖或覆盖不好等,吸收大量气体;
- c) 熔体含气量高、工具潮湿、熔剂、精炼气体水分含量高,精炼除气不彻底;
- d) 铸造温度低、铸造速度快、冷却强度小,熔体中的气体逸出困难;
- e) 静置时间不够;
- f) 空气湿度大;
- g) 燃气、燃油含水量高;
- h) 原材料潮湿,有油污、水分。



a) 气孔低倍组织



b) 气孔显微组织

图 12 气孔

2.21

白点 white freckles

断口呈白色、边界不齐、形状不规则、对光无选择性的絮状物(如图 13)。显微组织为几个粗大的缩孔沿枝晶边界连成一串。白点通常分布在铸锭底部、浇口部及横断面的边部。

主要产生原因:

- 合金的开始凝固温度与凝固终了温度相差很大,即过渡带宽,使补缩和气体逸出困难;
- 熔体过热、停留时间长、熔体不覆盖或覆盖不好等,吸收大量气体;
- 熔体含气量高、工具潮湿、熔剂、精炼气体水分含量高,精炼除气不彻底;
- 铸造温度低、铸造速度快、冷却强度小,熔体中的气体逸出困难;
- 静置时间不够;
- 空气湿度大;
- 煤气、燃油含水量高;
- 原材料潮湿,有油污、水分;
- 炉子大修、中修、长期停炉后干燥、烘炉不彻底。

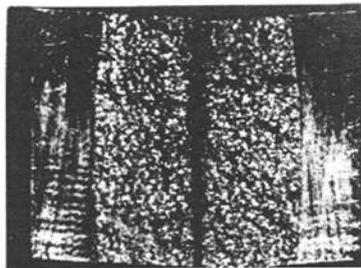


图 13 白点断口组织

2.22

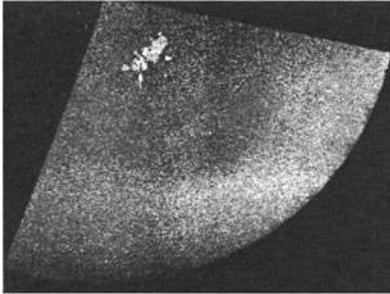
光亮晶粒 bright crystal

在宏观组织中存在着色泽光亮的树枝状组织称为光亮晶粒[如图 a)]。它对光线无选择性,断口组织观察光亮晶粒为亮色絮状物。显微组织特征为粗大枝晶网状组织,与正常结晶组织相比枝晶粗大,枝晶网络稀薄,含有的低熔点共晶较少,该组织显微硬度低,为贫乏固熔体组织[如图 b)]。

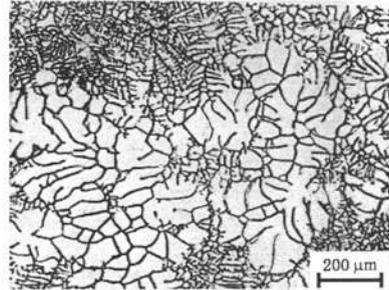
主要产生原因:

- 铸造开始时使用漏斗表面不光滑或导热不好,漏斗孔距底部过高,漏斗预热不好;
- 漏斗沉入液穴过深时,使铸锭液体部分的过冷带扩展到液穴的整个体积,造成体积顺序结晶;
- 铸造开始时漏斗底粘铝,铸造过程中落入铸锭中;

- d) 铸造温度低,铸造速度慢,使漏斗底中易产生底结;
- e) 结晶器内金属水平波动或液流供应不均匀。



a) 光亮晶粒低倍组织



b) 光亮晶粒显微组织

图 14 光亮晶粒

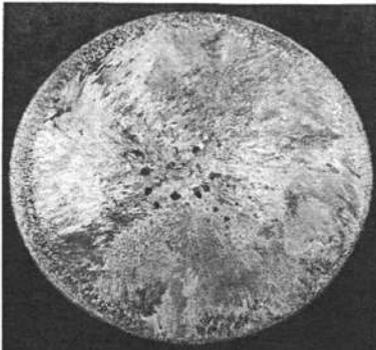
2.23

羽毛状晶(孪晶) feather crystals (twin columnar grains)

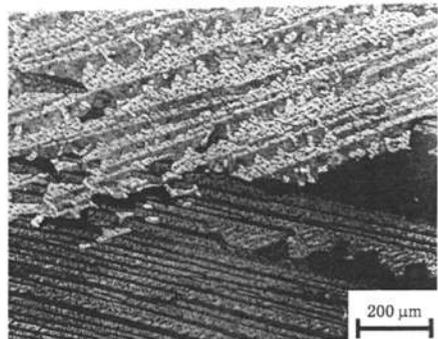
由于熔体过热等原因在铸锭宏观组织中形成的类似羽毛状的金属组织,称羽毛状晶。羽毛状晶的低倍组织特征为呈扇形分布的、有许多平行细条组成的羽毛状,尺寸较大,在铸锭截面上分布有时分散,有时连成一片[如图 15a]。断口组织呈片状。显微组织为粗大孪晶组织,是柱状晶变种。枝晶一边为直线孪晶晶轴,另一边为锯齿状晶界[如图 15b]。铸锭变形后宏观组织仍保持羽毛状,显微组织由亚晶晶粒组成。

主要产生原因:

- a) 熔体过热或液体金属停留时间过长,使非自发晶核减少;
- b) 铸造温度过高;
- c) 晶粒细化剂加入量少或失效。



a) 羽毛状晶低倍组织



b) 羽毛状晶显微组织

图 15 羽毛状晶

2.24

粗大晶粒 coarse grain

在宏观组织上出现的均匀或不均匀的、超出晶粒标准规定的大晶粒,称粗大晶粒(如图 16)。特征是粗大晶粒不破坏基体的连续性,只使金属某些性能指标降低或性能不均。

主要产生原因:

- a) 合金熔体过热或局部过热,液体金属停留时间过长,使非自发性晶核被溶解,结晶核心减少;
- b) 铸造温度高,晶核产生数量少;
- c) 冷却强度弱,结晶速度慢;

- d) 合金成分与杂质含量调整不当;
- e) 液流分布不均或冷却不均。

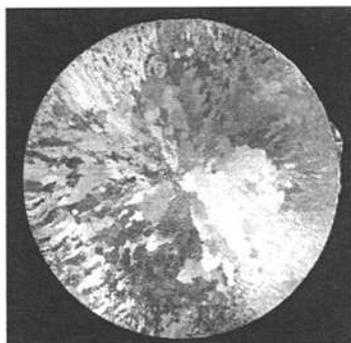


图 16 粗大晶粒

2.25

初晶硅 primary crystal silicon

在亚共晶或共晶变形铝-硅系合金中,显微组织中存在的呈块状的、硅的一次晶组织(如图 17)。

主要产生原因:

- a) 硅元素含量过高;
- b) 中间合金中的初晶硅未充分熔解扩散;
- c) 熔炼温度低;
- d) 熔化不充分,搅拌不充分。

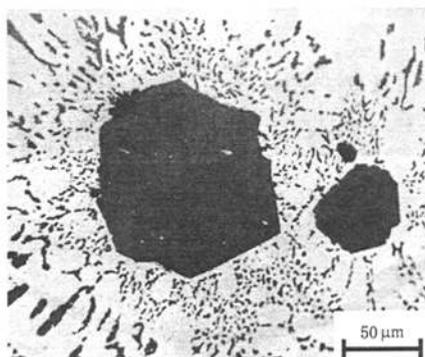


图 17 初晶硅显微组织

2.26

晶层分裂 crystal layer splitting

在铸锭边部断口上沿柱状晶轴产生的层状开裂称晶层分裂(如图 18)。断口特征为裂纹取向与柱状晶轴相同,在显微组织上裂纹沿着枝晶发展,裂纹诸多含有金属间化合物。

主要产生原因:

- a) 合金成分与杂质含量调整不当;
- b) 熔体过热或局部过热,液体金属停留时间过长,使非自发晶核被熔解,结晶核心减少,易于柱状晶生长;
- c) 集中供流或供流不均,有利于柱状晶生长;
- d) 水冷强度小。

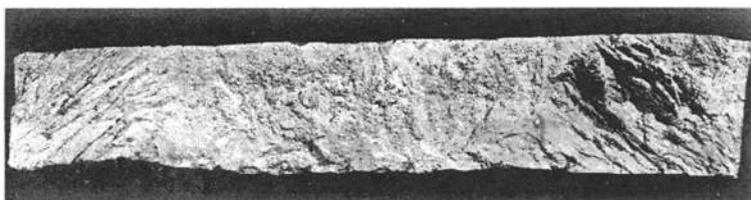


图 18 晶层分裂断口组织

2.27

粗大金属化合物 coarse metal compound

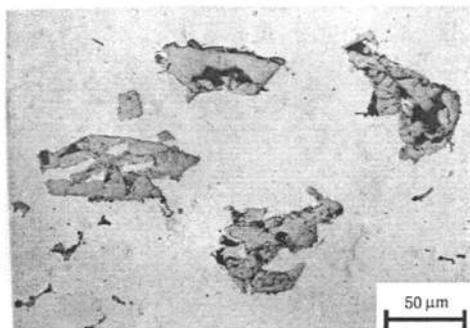
由于熔铸工艺不当,在固液两相区使溶质富集和有充足的生长时间形成的粗大第二相,称粗大金属化合物。宏观组织特征为分散或聚集的针状或块状凸起,边界清晰,有金属光泽,对光有选择性[如图 19a)];断口组织特征为针状或块状晶体,有闪亮金属光泽;显微组织特征为有特定形状的粗大化合物[如图 19b)],既脆又硬,对不同化学侵蚀剂有不同着色。金属加工变形后沿变形方向被破碎成小块。

主要产生原因:

- 化学成分中含高熔点元素多而且控制不当;生成初晶化合物的元素含量超过生成初晶界限;
- 中间合金难熔组元高,加入合金没充分熔解;中间合金中的粗大化合物在熔炼时没充分熔解;
- 铸造温度过低或铸造速度慢;
- 漏斗表面不光滑或导热不好,漏斗预热不好,漏斗沉入过深。



a) 粗大金属化合物低倍组织



b) 粗大金属化合物显微组织

图 19 粗大金属化合物

2.28

过烧 burnt

铸锭均匀化退火时金属温度等于或高于低熔点共晶熔点,使低熔点共晶在晶界重熔的现象叫过烧。过烧严重时可使铸锭表面色泽变暗、变黑,有时产生表面气泡。显微组织特征有复熔的共晶球(共晶球有清晰的几何外圆)、晶界局部复熔加宽和在三个晶粒交界处形成复熔三角形(如图 20)。

主要产生原因:

- 没有正确的执行铸锭均匀化制度中规定的加热和保温时间的定温制度;
- 均热炉各区温度不均或装料时放的不正确,易引起铸锭组织局部过烧;
- 均热炉不正常,通风设备不良,使各区温度不均;
- 仪表失灵或测温电偶放置位置不当,导致温度升高;
- 装错料。

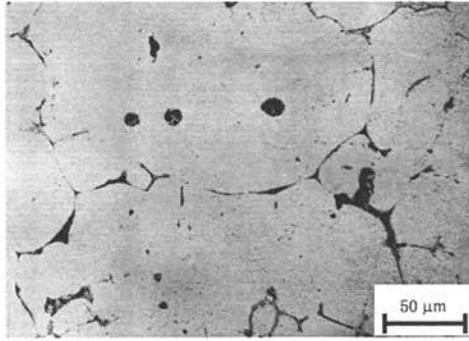


图 20 过烧显微组织

附录 A
(资料性附录)
汉语拼音索引

B

白斑..... 7
白点..... 9

C

初晶硅..... 11
粗大晶粒..... 10
粗大金属化合物..... 12

D

断流冷隔..... 2

F

非金属夹杂..... 6

G

光亮晶粒..... 9
过烧..... 12

J

金属夹杂..... 6
晶层分裂..... 11
晶内偏析..... 5

L

拉裂..... 3
冷隔(或成层)..... 1
冷裂纹..... 5

N

逆偏析..... 6

P

偏析..... 5
偏析浮出物(偏析瘤)..... 1
偏心..... 3

Q	
气孔·····	8
R	
热裂纹·····	4
S	
竖道皱褶·····	3
疏松·····	8
缩孔·····	4
W	
弯曲·····	2
Y	
氧化膜·····	6
羽毛状晶·····	10
Z	
竹节·····	2
