

晶石墨。容易在碳当量较低（亚共晶程度大）、奥氏体枝晶多而发达的铸铁中产生。此时，共晶团与枝晶交叉生长（见图2-36）。由于枝晶间的共晶液数量较少，析出的共晶石墨只好沿枝晶方向分布，故有明显的方向性（见图2-37）。形成E型石墨的过冷度比A型石墨大，但小于D型石墨，它的粗细、长短皆处于A、D型石墨之间。尽管E型石墨不属于过冷石墨，但经常与D型石墨伴生，如图2-38所示。

B型石墨形状似菊花又称菊花状（或蔷薇状）石墨。菊花心部是点状（或短片状）石墨，外部由卷曲的片状石墨包围。这类石墨常在碳、硅含量较高，冷却速度较大的近共晶或共晶灰铸铁（如活塞环、离心铸造气缸套）铸件中形成。由于过冷度大，石墨在心部的大量分枝，引起B型石墨心部呈过冷点状。释放出的结晶潜热减慢了过冷石墨向外生长的分枝倾向，使石墨由D型过渡到A型。

珊瑚状石墨是由许多纤维状石墨组成的丛生体，酷似海中的珊瑚。显微镜观察时二维形态呈点状，并带有少许短柱，彼此不太连接，端头多呈圆形。具有这种石墨的铸铁，在我国

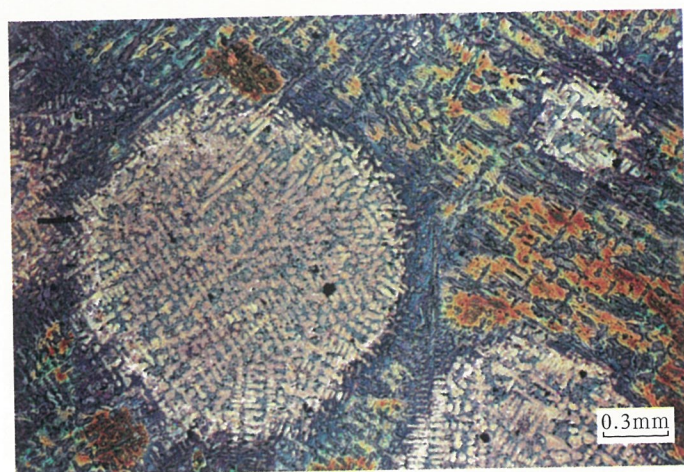


图2-36 共晶团与枝晶交叉生长

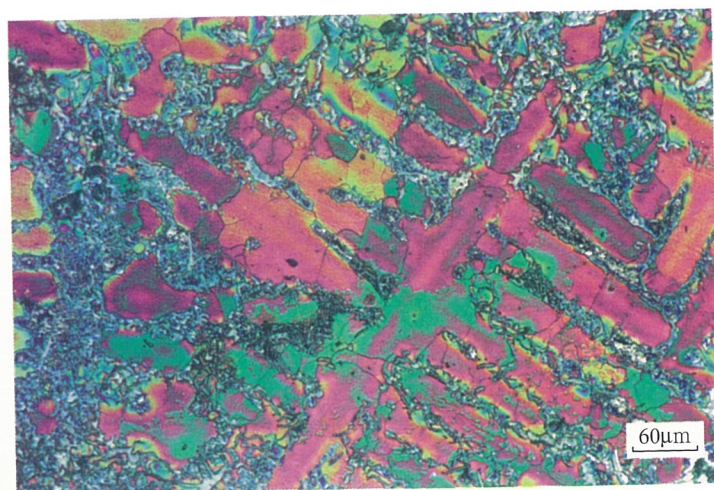


图2-37 E型石墨的方向性生长

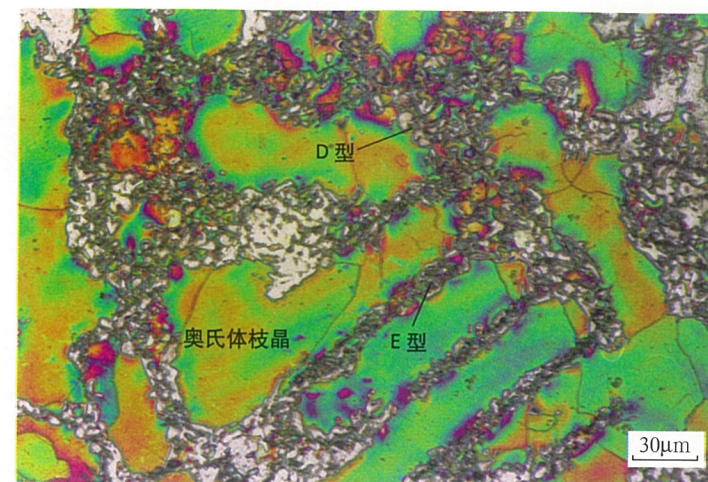


图2-38 E、D型石墨伴生

称之为点状石墨铸铁。扫描电镜观察^[57]，珊瑚状石墨的三维结构是高度分枝的细小纤维形态，纤维的横截面多为圆形，直径小于1μm。纤维状石墨由石墨的基面层片自身绕成的圆锥螺旋体所构成（见图2-5a）。常常盘绕纤维轴旋转以不稳定生长方式形成不规则的扇形旋涡体，盘旋频繁而又相互连接^[3]。

Minkoff 根据它的生长机制将其连同蠕虫状石墨一道划入片状和球状之间的一种中间石墨^[4]。

形成珊瑚状石墨的条件，要求过冷度大或极低的含S量，例如 $w(S) \leq 0.001$ 的纯Fe-C-Si系中可形成这种石墨。当硫的质量分数提高到0.002%时，需要增加冷却速度（石墨型浇注）或在成分中加 $w(Zr) = 0.5\%$ ，此时也可在 $\phi 25\text{mm}$ 的砂型铸铁试样上获得100%珊瑚状石墨^[58]。在真空条件（0.133Pa）下熔炼，只要冷却速度达 0.9°C/s ，硫的质量分数可放宽到0.01%^[59]。对含 $w(Mg_{\text{残}}) = 0.015\% \sim 0.030\%$ 的铁液用含硫变质剂处理，或对 $w(Mg_{\text{残}}) = 0.005\% \sim 0.010\%$ 的铁液用铁屑（已含有均匀的石墨粒子）进行遗传处理均可生产珊瑚状石墨^[60]。

作者发现，在厚壁蠕墨铸铁的不均匀组织中也可存在这种石墨。

珊瑚状石墨铸铁由于石墨十分细小，尽管基体组织多为铁素体，仍具有极好的力学性能，抗拉强度可达到 $\sigma_b = 400\text{MPa}$ ，断后伸长率 $\delta = 2\%$ 的水平。

2.5 灰铸铁共晶末期最后凝固LTF区铁液的结晶

共晶结晶末期，共晶团已逐渐长大，存在于共晶团间的铁液进入最后凝固阶段。此时，残余液体所处的区域称最后凝固（Last to Freeze）区，简称LTF区，如图2-39所示。LTF区的严格界限较难定量确定，但由于该处的结晶条件（化学成分、冷却速度及熔液状况）与其他位置显然不同，导致凝固组织出现差异，并要影响随后的固相转化组织。由于LTF区位于共晶晶粒周界，所以该区域的组织，纯净度、夹杂物、以及致密程度均对铸铁的力学性能产生重要影响。

2.5.1 LTF区铁液的结晶特点

1. 散热与凝固条件 LTF区内铁液的体积分数很小，四周被已凝固的金属包围，相当于在热的金属型中凝固。此外，伸入LTF区的石墨有良好传热性能，可将热量传出，所以LTF