

第五章 铸件与焊缝宏观组织及其控制

1. 铸件典型宏观凝固组织是由哪几部分构成的，它们的形成机理如何？

答：铸件的宏观组织通常由激冷晶区、柱状晶区和内部等轴晶区所组成。

表面激冷区的形成：当液态金属浇入温度较低的铸型中时，型壁附近熔体由于受到强烈的激冷作用，产生很大的过冷度而大量非均质生核。这些晶核在过冷熔体中也以枝晶方式生长，由于其结晶潜热既可从型壁导出，也可向过冷熔体中散失，从而形成了无方向性的表面细等轴晶组织。

柱状晶区的形成：在结晶过程中由于模壁温度的升高，在结晶前沿形成适当的过冷度，使表面细晶粒区继续长大（也可能直接从型壁处长出），又由于固-液界面处单向的散热条件（垂直于界面方向），处在凝固界面前沿的晶粒在垂直于型壁的单向热流的作用下，以表面细等轴晶凝固层某些晶粒为基底，呈枝晶状单向延伸生长，那些主干取向与热流方向相平行的枝晶优先向内伸展并抑制相邻枝晶的生长，在淘汰取向不利的晶体过程中，发展成柱状晶组织。

内部等轴晶的形成：内部等轴晶区的形成是由于熔体内部晶核自由生长的结果。随着柱状晶的发展，熔体温度降到足够低，再加之金属中杂质等因素的作用，满足了形核时的过冷度要求，于是在整个液体中开始形核。同时由于散热失去了方向性，晶体在各个方向上的长大速度是相等的，因此长成了等轴晶。

2. 试分析溶质再分配对游离晶粒的形成及晶粒细化的影响。

答：对于纯金属在冷却结晶时候没有溶质再分配，所以在其沿型壁方向晶体迅速长大，晶体与晶体之间很快能够连接起来形成凝固壳。当形成一个整体的凝固壳时，结晶体再从型壁处游离出来就很困难了。但是如果向金属中添加溶质，则在晶体与型壁的交汇处将会形成溶质偏析，溶质的偏析容易使晶体在与型壁的交会处产生“脖颈”，具有“脖颈”的晶体不易于沿型壁方向与其相邻晶体连接形成凝固壳，另一方面，在浇注过程和凝固初期存在的对流容易冲断“脖颈”，使晶体脱落并游离出去，形成游离晶。一些游离晶被保留下来并发生晶体增殖，成为等轴晶的核心，形成等轴晶，从而起到细化晶粒的作用。

3. 液态金属中的流动是如何产生的，流动对内部等轴晶的形成及细化有何影响？

答：浇注完毕后，凝固开始阶段，在型壁处形成的晶体，由于其密度或大于母液或小于母液会产生对流，此外型壁处和铸件心部的熔体温度差也可造成对流，从而使熔体流动。依靠熔体的流动可将型壁处产生的晶体脱落且游离到铸件的内部，并发生增殖，从而为形成等轴晶提供核心，有利于等轴晶的形成，并细化组织。

4. 常用生核剂有哪些种类，其作用条件和机理如何？

答：生核剂主要有两类：一类是起非自发形核作用；另一类是通过在生长界面前沿的成分富集而使晶粒根部和树枝晶分枝根部产生缩颈，促进枝晶熔断和游离而细化晶粒。

作用条件及机理：

（1）对于第一类生核剂可以从三个方面来理解。

第一种情况是孕育剂含有直接作为非自发生核的物质，即一些与欲细化相具有界面共格对应的高熔点物质或同类金属微小颗粒。它们在液态金属中可直接作为欲细化相的有效衬底而促进非均质生核。

第二种情况，孕育剂能与液相中某些元素(最好是欲细化相的原子)反应生成较稳定的化合物而产生非自发生核。此化合物应与欲细化相具有界面共格对应关系而能促进非均质生核。

第三种情况，通过在液相中造成很大的微区富集而迫使结晶相提前弥散析出而生核。

(2) 对于第二类生核剂，它的作用在于使枝晶产生更细的脖颈，其结果必然导致结晶更易于游离。这种晶粒细化剂之所以使枝晶脖颈更细，主要是溶质的偏析造成的，在凝固过程中由于溶质在枝晶侧向的偏析，使此处的过冷度减少，从而使晶体的长大受到抑制而产生细的脖颈。

5. 试分析影响铸件宏观凝固组织的因素，列举获得细等轴晶的常用方法。

答：铸件的三个晶区的形成是相互联系相互制约的，稳定凝固壳层的形成决定着表面细晶区向柱状晶区的过度，而阻止柱状晶区的进一步发展的关键则是中心等轴晶区的形成，因此凡能强化熔体独立生核，促进晶粒游离，以及有助于游离晶的残存与增殖的各种因素都将抑制柱状晶区的形成和发展，从而扩大等轴晶区的范围，并细化等轴晶组织。

细化等轴晶的常用方法：(1) 合理的浇注工艺：合理降低浇注温度是减少柱状晶、获得及细化等轴晶的有效措施；通过改变浇注方式强化对流对型壁激冷晶的冲刷作用，能有效地促进细等轴晶的形成；(2) 冷却条件的控制：对薄壁铸件，可采用高蓄热、快热传导能力的铸型；对厚壁铸件，一般采用冷却能力小的铸型以确保等轴晶的形成，再辅以其它晶粒细化措施以得到满意的效果；(3) 孕育处理：影响生核过程和促进晶粒游离以细化晶粒。(4) 动力学细化：铸型振动；超声波振动；液相搅拌；流变铸造，导致枝晶的破碎或与铸型分离，在液相中形成大量结晶核心，达到细化晶粒的目的。

6. 何谓“孕育衰退”，如何防止？

答：孕育衰退是指孕育效果逐渐减弱的现象。孕育效果不仅取决于孕育剂的本身，而且也与孕育处理工艺密切相关。一般处理温度越高，孕育衰退越快，在保证孕育剂均匀散开的前提下，应尽量降低处理温度。孕育剂的粒度也要根据处理温度、被处理合金液量和具体的处理方法来选择。

7. 试述焊接熔池中金属凝固的特点。

答：熔焊时，在高温热源的作用下，母材发生局部熔化，并与熔化了了的焊接材料相互混合形成熔池，同时进行短暂而复杂的冶金反应。当热源离开后，熔池金属便开始了凝固。因此，焊接熔池具有以下一些特殊性。(1) 熔池金属的体积小，冷却速度快。在一般电弧焊条件下，熔池的体积最大也只有 30cm^3 ，冷却速度通常可达 $4\sim 100^\circ\text{C/s}$ 。(2) 熔池金属中不同区域温差很大、中心部位过热温度最高。熔池金属中温度不均匀，且过热度较大，尤其是中心部位过热温度最高，非自发形核的原始质点数将大为减少。(3) 动态凝固过程。一般熔焊时，熔池是以一定的速度随热源而移动。(4) 液态金属对流激烈。熔池中存在许多复杂的作用力，使熔池金属产生强烈的搅拌和对流，在熔池上部其方向一般趋于从熔池头

部向尾部流动，而在熔池底部的流动方向与之正好相反，这一点有利于熔池金属的混和与纯净。

8. 讨论分析影响焊接弯曲柱状晶形态的因素。哪种形态的柱状晶最易于产生焊接纵向裂纹？

答：由于在焊接熔池中，晶体的生长线速度 R 与焊接速度 v 之间存在以下关系： $R = v \cos \Psi$ 式中 Ψ — 晶粒生长方向与熔池移动方向之间的夹角。

在熔池液相等温线上各点的 Ψ 角是变化的，说明晶粒成长的方向和线速度都是变化的。在熔合区上晶粒开始成长的瞬时， $\Psi = 90^\circ$, $\cos \Psi = 0$ ，晶粒生长线速度为零，即焊缝边缘的生长速度最慢。而在热源移动后面的焊缝中心， $\Psi = 0^\circ$, $\cos \Psi = 1$ ，晶粒生长速度与焊接速度相等，生长最快。一般情况下，由于等温线是弯曲的，其曲线上各点的法线方向不断地改变，因此晶粒生长的有利方向也随之变化，形成了特有的弯曲柱状晶的形态。

焊接速度影响焊接弯曲柱状晶形态。焊接速度大时，焊接熔池长度增加，柱状晶便趋向垂直于焊缝中心线生长。焊接速度慢时，柱状晶越弯曲。垂直于焊缝中心线的柱状晶，最后结晶的低熔点夹杂物被推移到焊缝中心区域，易形成脆弱的结合面，导致纵向热裂纹的产生。热裂敏感性大的奥氏体钢和铝合金最易于产生焊接纵向裂纹。