

灰铸铁和球墨铸铁凝固过程中的几个问题（下）

李传栻

三、铸铁的共晶转变和生核

灰铸铁和球墨铸铁都是共晶型Fe-C合金，共晶转变是凝固过程中最重要的环节。

虽然亚共晶铸铁、共晶铸铁和过共晶铸铁中都有初生奥氏体析出，但是共晶转变时并不依托奥氏体生核、结晶，而是在初生奥氏体枝晶间具有共晶成分的铁液中单独由石墨生核开始。

灰铸铁和球墨铸铁共晶转变形成的组织，都是由石墨和奥氏体共同形成的共生晶体，但形成的方式有所不同。

促进铸铁中石墨的析出，基本上都借助于异质生核的方式。析出石墨所依托的异质晶核，基本组成物质是多种氧化物、硫化物和硅酸盐等非金属夹杂物。由于各种铸铁的成分不同，经历的处理方式也不一样，石墨晶核的实际构成当然也不尽相同。

根据近年来一些工业国家在这方面所作的大量研究工作，目前已经形成一些共识。

1. 灰铸铁的共晶转变

通常所谓的共晶转变，所指的是：一定成分的液态合金，在一定的温度下，结晶出两种（二元合金）或两种以上（多元合金）固相，而且还具有液相与析出的各种固相共存的特点。

就Fe-C合金的稳定系而言，共晶转变时析出石墨和奥氏体两种固相，石墨和奥氏体共生，在转变过程中石墨、奥氏体和液相三相共存，直至共晶转变结束。

灰铸铁共晶转变的领先相是石墨，石墨析出后，奥氏体在石墨的分枝间析出，然后二者共同长大，形成一个近于球形的协同结晶、长大的共生晶体。共生晶体与液相接触的前沿是参差不齐的，石墨片的尖端始终都突出在共生晶体的外面，伸向液相中，保持领先在液相中生长、分枝的态势，共晶转变过程参见图4。

灰铸铁共晶转变过程中，石墨和奥氏体是共生的，而且有石墨、奥氏体和液相三相共存的特点，具有共晶转变的特征。即使如此，由于转变过程中石墨处于领先的地位，石墨和奥氏体的协同生长不那么紧密，共生晶体的界面参差不齐，也有人认为灰铸铁的共晶转变应该算是‘非正常的共晶转变’。

灰铸铁中，石墨和奥氏体构成的共生晶体通常称之为“共晶团”。共晶团与共晶团以及共晶团与初生奥氏体，共同长大到互相衔接、液相消失，共晶转变的过程即告结束。

2. 灰铸铁中石墨的晶核

灰铸铁中析出石墨所依托的异质晶核，其生核的过程可分为两个阶段。

第一阶段：一些强脱氧元素在铁液中形成微细氧化物，其中以Al、Si为主，还包括Mn、Ti、Zr等，作为晶核的核心。

第二阶段：在微细氧化物上形成（Mn、x）S系硫化物的外层，这才是石墨析出的异质晶核，其尺寸＜5μm，一般为0.4～2.0μm。

铸铁不进行孕育处理时，（Mn、x）S中的x主要是Fe，硫化物中含有的Ca、Al、Ti等元素很少，这种（Mn、x）S与石墨晶格的适配度不太好，促进石墨析出的作用较差。

铸铁经孕育处理后，x包括Ca、Al、Ti、Sr和RE等元素，这种硫化物与石墨晶格的适配度较好，颗粒也较小，比较适合于石墨生核。如果孕育处理得当，还可以在（Mn、x）S表面上形成一薄层复合的硅酸盐，进一步改

善其与石墨晶格的适配度。

由此可见，为使孕育处理效果良好，灰铸铁原铁液中应保有一定的氧、硫含量。一般说来，w_S不宜低于0.06%，w_O宜在0.003%左右。

通常都认为，Al在灰铸铁中没有孕育的作用。而且，如果灰铸铁中的Al含量在0.02%以上，铁液的表面张力降低，采用粘土湿砂型铸造工艺时，铸件易产生针孔缺陷，这已经是铸造行业的共识。因此，通常都希望铸铁中的Al含量低一些。

实际上，在灰铸铁中，Al对石墨的析出和成长有重要的作用，可以使共晶转变的过冷度降低，共晶团数增加，且有利于A型石墨的形成。通常，宜将Al含量控制在0.005%～0.01%。保持这样的Al含量，既可以有上述正面作用，又不致诱发针孔缺陷。

因此，孕育剂中有一定的Ca、Al含量是至关重要的。

3. 球墨铸铁的共晶转变

球墨铸铁的共晶转变，虽然也是先析出石墨，随即析出奥氏体，但是，石墨在共晶凝固过程中的主导作用不如灰铸铁中那样明显，石墨球与奥氏体也不像灰铸铁中那样，在共同与液相接触的条件下共生、共长。

在球墨铸铁的共晶转变过程中，石墨球自接近共晶成分的液相中生核，而且有一个长大的过程。石墨球长大到一定的尺寸，周围液相中的碳当量很低，从而奥氏体在石墨的表面上生核、长大，逐渐形成一个包围石墨球的“晕圈”，阻断了石墨与液相的接触。石墨的长大只能由石墨-奥氏体界面处铁原子向外扩散、碳原子通过奥氏体晕圈向石墨扩散，长大的速度比灰铸铁中的石墨片低得多。

由于石墨球脱离了与液相的接触，不具备与奥氏体协同生长的条件，不能说是正常的共晶转变，而球墨铸铁又是在共晶温度附近由液相析出石墨和奥氏体，因此，通常都将其称之为“离异共晶”，其共晶转变的过程参见图5。

大连理工大学的周继扬教授，用彩色金相技术，对球墨铸铁的离异共晶进行过系统的研究，提出了另一种观点，认为石墨和奥氏体可以自液相中于不同的位置、在不同的时间分别析出，因而，球墨铸铁的共晶转变可能有多种形态。

共晶转变时，奥氏体可以在石墨球界面上生核、长大，也可以在石墨球的界面外依托其他的异质晶核生核、长大。

有一个石墨球和奥氏体组成的共晶晶粒，也有包围几个石墨球的奥氏体晶粒。

更多的是，共晶石墨球的外围有多个奥氏体晶粒生核、长大，最后形成包围石墨球的“晕圈”，这种情况如图6所示。其中，图6a为石墨球生核、长大，图6b为石墨球外围的贫碳区，图6c为奥氏体在石墨球表面或外方生核，图6d为奥氏体长成枝晶，图6e为形成封闭的晕圈。

4. 球墨铸铁中石墨的晶核

球墨铸铁的处理方式不同于灰铸铁，其中，析出石墨所依托的异质晶核也就不同于灰铸铁。

经球化处理的铁液纯净度高，其中硫、氧含量显著降低。从热力学能位的角度来看，一些元素的硫化物比氧化物稳定，因而先形成MgS、CaS和MnS等，作为晶核的核心。然后在微细的硫化物上形成多种氧化物，这些氧化物又与SiO_2作用，形成复合硅酸盐外层，与石墨晶格的匹配度较好，这就是球状石墨析出的异质晶核。

关于球墨铸铁的石墨化生核，应该注意以下几点：

1）由于经强烈的处理后铁

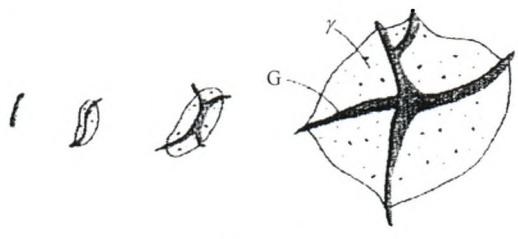


图4 灰铸铁共晶转变过程的示意

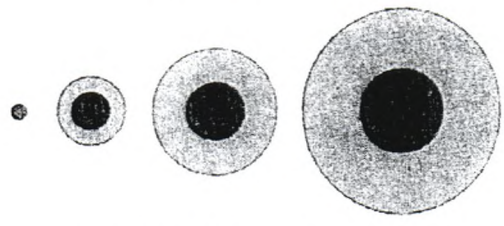


图5 球墨铸铁共晶转变过程示意



车体铸件制造过程控制与效益分析

隋显常

我公司是以生产铸造产品为中心的企业，从1996年开始生产带式焙烧机车体，到现在已累计生产2885台套。车体铸造材质通常采用美国标准ASTMA 217，相当于我国ZG15CrMo，车体在结构方面目前有两种：安装箅条的工字梁为水平形式和工字梁带拱度形式。带拱度的车体相当于预先做出了反变形量，增加了车体的使用寿命。

车体是带式焙烧机核心部件，上部安装箅条，箅条上承载高温球团精矿，循环运转，受周期性热作用，受热温度达到1200℃，工况条件恶劣，要求其具有一定程度的耐热性，并具有良好的塑性、韧性、强度指标，为保证其较长的使用寿命，以减少停机、更换备件的次数，提高生产效率，车体技术要求：材质、尺寸、无损检测、表面粗糙度和力学性能必须达到图样要求。图1为铸造焙烧机车体结构。

一、车体制造的过程控制

1. 铸造工艺设计

（1）浇注位置的确定 采取全补缩方案，在大筋上必须设置冒口，为了充分发挥冒口对大梁的补缩作用，采取拱度向上的工艺方案。

（2）分型面的确定 采取分箱生产，上箱在专用模板上舂出，下箱实样做成抽芯结构，在平板上卧样舂出，以拱度向上的平面作分箱面，上下箱划对十字线定位。

（3）浇注系统的确定 车体属于薄壁框架结构，浇注系统必须分散设置以保证钢液充型平稳，避免褶皱、缺肉及局部过热粘砂，我们采取从两侧宽度方向大筋对应端头各引入4道ϕ50mm

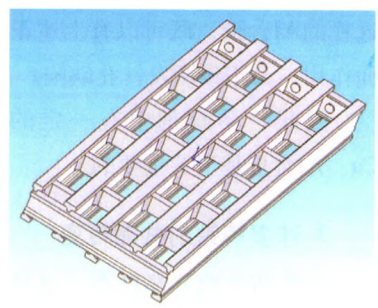


图 1

液的纯净度高，异质晶核的数量减少，所需孕育剂的用量比灰铸铁多。

2）一般都要求原铁液中的硫含量尽量低，但是，从石墨化生核方面考虑，不宜太低，尤其不宜时高时低，最好保持在0.005%～0.015%之间。

3）原铁液仍然应该有一定的氧含量。

基于这样的认识，就会想到：如果原铁液经球化处理后用含硫、氧的孕育剂进行孕育处理，应该有很好的效果。这种设想，已在十多年前由欧洲同行的研究工作确认，采用含硫、氧的孕育剂，可以使球化率提高、石墨球数量增多、石墨球尺寸减小，因而可以从多方面提高球墨铸铁件的质量。

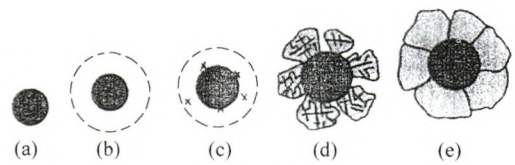


图6 石墨球外围奥氏体晕圈的形成过程

作者简介：李传栻，中国铸造协会顾问，铸造专家。

MW 20140401