

微观组织和缩孔缩松控制

蠕墨铸铁生产的工艺控制

蠕墨铸铁生产中最重要的考虑就是避免由于镁的衰退形成片状石墨。从铁水处理结束到浇铸结束的 10–15 分钟期间，由于衰退镁的损失可能达 0.003%。如果铁水处理起始点的镁太接近蠕墨铁/灰铁的突变点，该包铁水接近浇铸结束时生产的铸件就可能含有片状石墨。仅仅知道在浇铸开始时铁水的凝固行为是不够的。可靠和大批量生产蠕墨铸铁还需要一种测量技术，能够确定浇铸结束时石墨的形状。

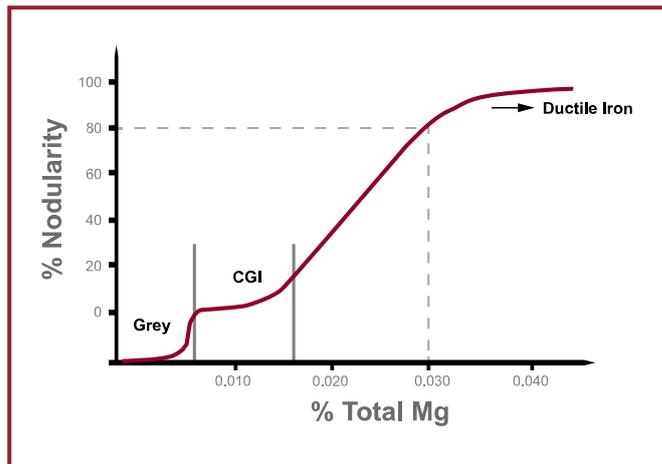


图 1: 镁含量降低少于 0.001% 就可产生从蠕虫状石墨到片状石墨的突变

镁衰退

蠕墨铸铁微观组织中的石墨首先以互不相连的一簇簇片状石墨出现。如果缺少充分数量的镁，石墨就以片状石墨形状生长。当凝固前沿辐射向外生长时，有效镁就会在固/液界面偏析。取决于初始镁含量和凝固速度，镁偏析可能会在共晶团周围造成稳定的蠕虫状石墨生长。如果局部区域的凝固条件容许片状石墨簇形成，几个这样的片状石墨簇就会长大，蠕墨铸铁的机械性能就会大大降低。

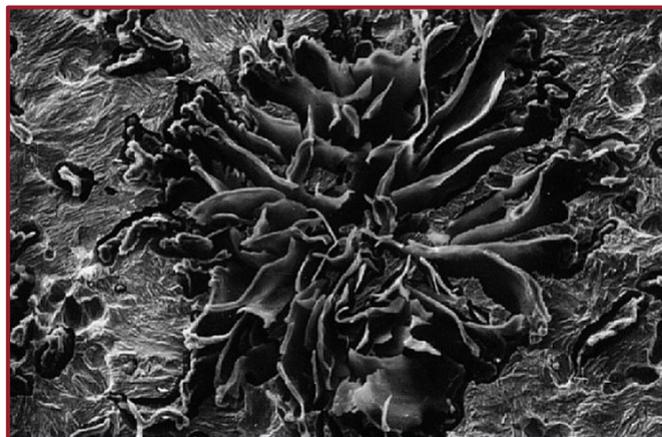


图 2: 当镁含量不足时，互不相连的片状石墨区域就会形成

球化率，片状石墨和强度

片状石墨的出现会大幅降低蠕墨铸铁的机械性能。片状石墨片尖锐的端部会造成裂纹萌生，而石墨片光滑的表面由于石墨和金属界面分层而助长裂纹扩展。即使存在少量的片状石墨也会造成抗拉强度和弹性模量降低 20–30%。疲劳强度和冲击韧性也会由于片状石墨刚刚出现而明显降低。复杂蠕墨铸铁件较高的含碳量 (3.6–3.8%C) 会进一步降低含片状石墨区的强度。由蠕墨铸铁化学成分产生的 A 型片状石墨铸铁组织的室温抗拉强度低于 200 MPa。

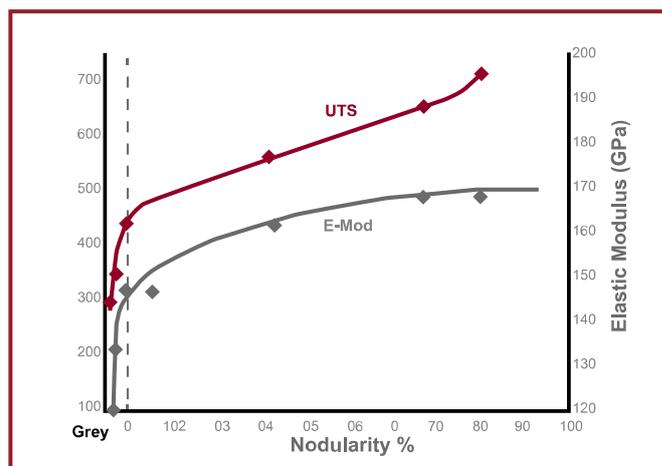


图 3: 只要存在片状石墨区域，抗拉强度和弹性模量就会降低 20–30%

微观组织和缩孔缩松控制

虽然蠕墨铸铁各牌号零件的蠕化率大于 80%，但许多复杂铸件如气缸体和气缸盖在蠕化率大于 80% 时仍可能形成缩松缩孔缺陷。如图 1 所示，蠕墨铸铁蠕化率控制区域，含镁的范围是相对固定的，大约为 0.006%。然而，就是在这个范围内，随镁含量增加，缩松也可能出现。这种情形如图 4 所示，图 4 中具有类似微观组织的两个试样有着明显不同的收缩行为（一个为平的底部，一个为曲线的底部并且内部有些缩松）。

欣特卡斯特热分析测量和控制技术经过专门开发，用以控制蠕墨铸铁生产中蠕墨铸铁控制范围低端一侧，从而提供最佳的抗缩松缩孔倾向。虽然图 4 中的两个微观组织看起来是一样的，但是欣特卡斯特变质指数 (MGM) 分别是 36 和 45，这就提供了测量和防止缩松缩孔缺陷的方法。

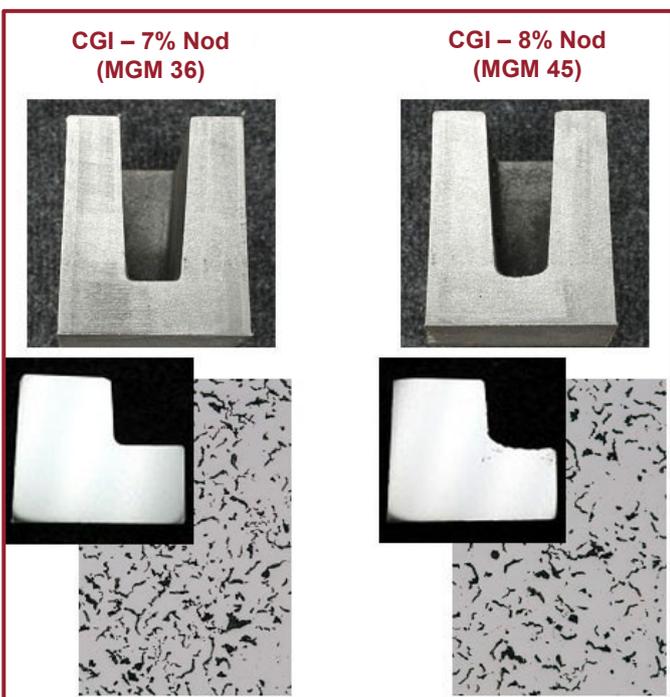


图 4：镁含量增加在观察到微观组织的变化之前就可能造成缩松缩孔缺陷。所示的两个试样都是从同样的一吨浇包铁水浇铸。唯一不同的是，在浇铸第二个试样之前，浇包中又加入了 60 克镁。

欣特卡斯特取样杯

欣特卡斯特热分析测量结果是将有专利权的样杯浸入到铁水中获得的。浸入式取样方法保证了样杯和熔融铁水达到热平衡，防止了激冷诱导的凝固和避免了将铁水浇入样杯时产生的氧化。因为蠕墨铸铁镁的控制范围非常狭窄，最为关键的就是要保证所有测量得到的参数差异均来自于该试样铁水自身的条件，而不是由于取样技术和操作的波动造成的。每一次分析开始时，欣特卡斯特软件执行 6 种不同的控制检查，以保证每一次取样的一致性。

欣特卡斯特样杯壁涂有消耗镁的活性涂料以模拟镁衰退。活性涂料使聚集在样杯底部的与流动层分开（即不参与流动）的铁液的含镁量比样杯中部铁液的含镁量少 0.003%。如果铁液中的起始镁含量太接近蠕铁向灰铁转变的边界，聚集在样杯底部的不参与流动的铁液就会凝固成灰铁，而在中心区域没有与涂料反应的铁液就会凝固成蠕墨铸铁 (CGI)。

欣特卡斯特样杯有两个位于保护钢套管中的可重复使用的热电偶。第一个热电偶位于试样的中心，第二个热电偶位于保护钢套管的底部，由反应过的铁水包围着。从而，样杯中心的热电偶指示的是铸件开始浇铸时的凝固行为，而底部的热电偶指示的是浇铸结束时的凝固行为。

这种具有专利权的消耗镁的反应使得铸造厂能够稳定可靠地控制蠕墨铸铁生产，从而能够最有效地控制蠕墨铸铁微观组织和防止缩松缩孔缺陷。

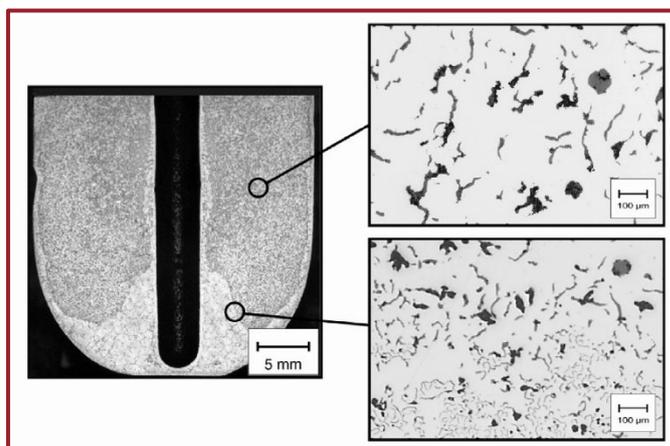


图 5：反应性样杯壁涂料消耗镁，用来模拟欣特卡斯特样杯底部铁水镁的衰退