

材料

用于浇铸大型铸件和重型铸件的铸铁材料

固溶强化型 GJS 球墨铸铁材料因其一系列的优点而备受青睐。首要一点就是它具有很高的抗拉强度和屈服强度。屈强比的提高为设计师们在设计结构轻量化中进一步挖掘铸铁材料应用的潜力提供了可能。

文 | HERBERT WERNER, INGO LAPPAT 和 BENJAMIN AURICH

固溶强化型 GJS 球墨铸铁材料的延伸率明显优于铁素体 - 珠光体型 GJS 球墨铸铁材料。从金属材料学的角度来看，它保证了 Si 的极限值大约为 4.3%。在

Meuselwitz Guss 公司里的前期试验和首次浇铸中都证明它改写了现代铸造技术的水平。测试记录的数据表明：固溶强化型 GJS 球墨铸铁材料是一种适合于在大型铸件浇铸中

使用的铸铁材料。

能够满足用户特殊要求的铸件材料

在进一步保障生产工艺可



图 1 重达 16 000 kg 的风力发电设备的转子壳就是利用固溶强化的 GJS 铸铁材料生产铸造的

靠性的试验中已经证明：采用合适的冶金学技术措施有可能浇铸出迄今为止 DIN 标准中没有收录的超大壁厚零部件。另外，它还能浇铸 DIN 标准规定以外的，但符合用户特殊要求的变形铸件类型。

当前，MEuselwitz Guss 公司所生产的固溶强化铸件就是球墨铸铁材料的铸件。除此之外，还可以生产（水泥、石灰、煤炭）磨机、注塑机、压力机、驱动技术部件和风力发电设备的铸件（图 1、图 2）。

有不同等级的铸件可供选用

大约两年前，球墨铸铁 GJS 的基本标准 DIN EN 1563 又增加了 GJS 450-18、500-14 和 600-10 等固溶强化质量的球墨铸铁等级。这样一来，除了普通质量等级的 GJS 450-10、500-7 和 600-3 之外又增加了三种高品质的材料。新增加的纯铁素体质量等级的 GJS 450-18、500-14 和 600-10（图 3）中 Si 的含量有所提高，它们与传统的铁素体 - 珠光体型球墨铸铁相比较在下列性能方面有了改进与提高：在不损失强度的条件下提高韧性；屈服比（ $R_{p0.2}/R_m$ ）大约从 0.6 提高到 0.8；均匀的铁素体基本晶格提高了铸件的切削加工性能（标准的硬度差 $\Delta_{HBW}=30$ ，原来为 50 ~ 80）。

球墨铸铁是一种凝固稳定性好、碳形态为椭圆球形的铁碳合金材料。与片状石墨的灰铸铁（GJF）相比，球墨铸铁内部应力的集中程度较低，保证了抗拉强度 $R_m=350 \sim 900$ MPa，延伸率 $A=22\% \sim 2\%$ 。根据经验，球墨铸铁的性能可以由铁素体 - 珠光体的比例来确定。在确定球墨铸铁的性能时可以利用像 Mn、Cu 或者 Sn 等合金元素来调节基本晶格中的珠



图 2 重达 18 800 kg 的固溶强化型球墨铸铁材料浇铸的水泥磨机轴承座

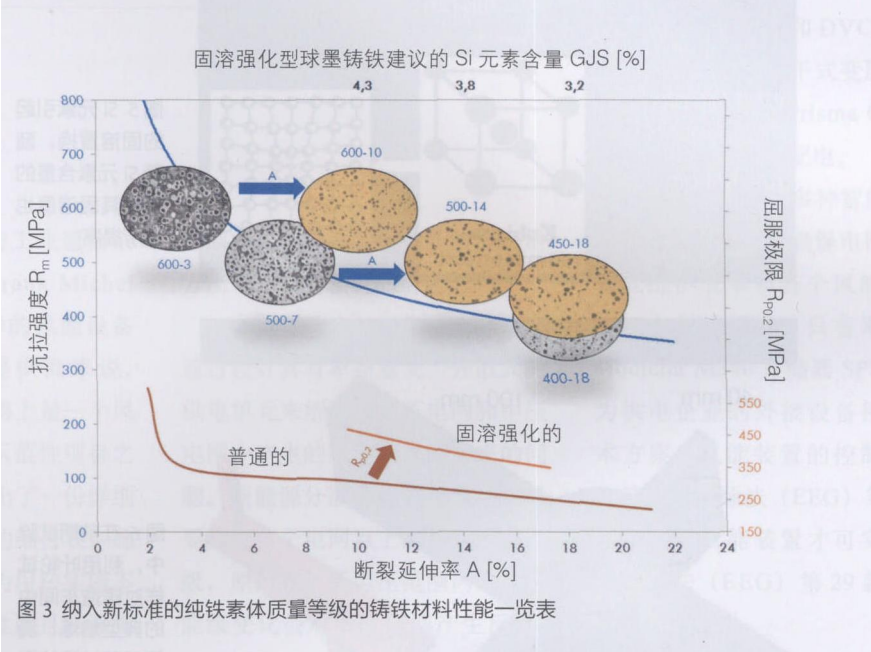


图 3 纳入新标准的纯铁素体质量等级的铸铁材料性能一览表

光体比例，并通过这种渠道增加材料中珠光体的数量。

随着强度的提高，材料的韧性会有所降低，这是由于珠光体的脆性导致的。由于冷却降温曲线的变化，复杂形状结构铸件中的铁素体 - 珠光体的比例在整个铸件内并不是均匀一致的。这种差异的外在表现体现在同一铸件的不同部位有着不同的机械加工性能。

通过固溶强化的铸铁，其质量因 Si 元素的增加而使得铁素体更加稳定，强化了铁素体，同时也抑制了珠光体的形成。

随着 Si 含量的增加提高了固化程度

在传统的球墨铸铁中，Si 元素的含量在 1.9% ~ 2.7% 之间上下波动，通过固溶强化改性的球墨铸铁中的 Si 元素含量则提高到了 4.3%。其作用机制在两个方面发挥了重要作用：基本组织的铁素体化；稳定的铁素体固溶强化。

由于共晶转变（奥氏体 → 铁素体 + 石墨）的范围随着 Si 元素的增加而扩大，使得在快速冷却时铁素体的形成也更加有利（薄壁铸件）：能够生成均质的铁素体基质。

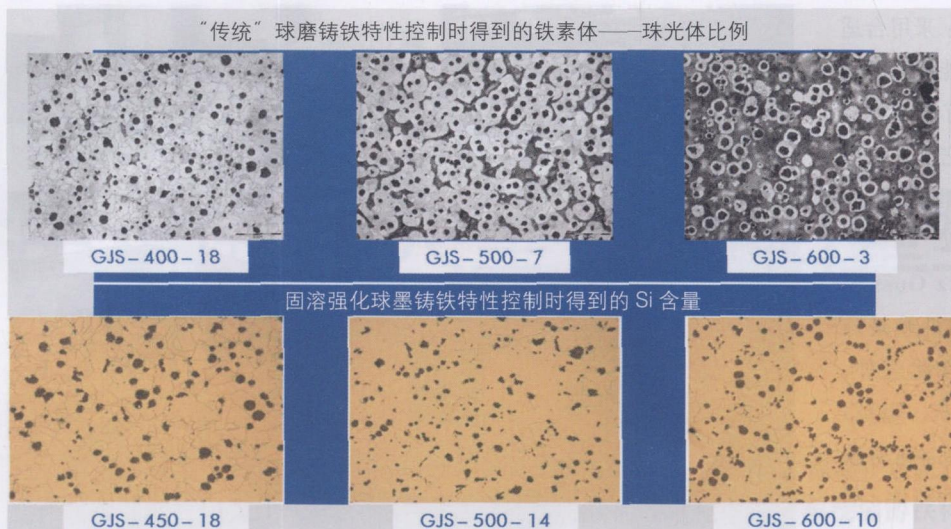


图4 铁素体-珠光体型球墨铸铁与高硅固溶强化型球墨铸铁微观结构的比较,改性的固溶强化球墨铸铁中Si元素的含量高达4.3%

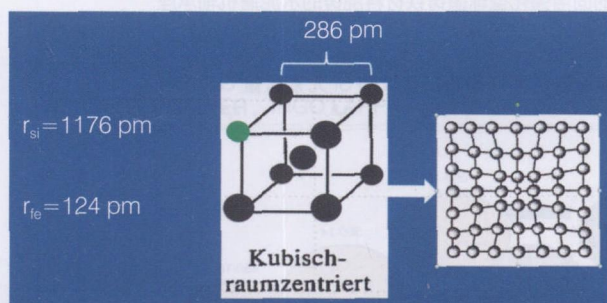


图5 Si元素引起的固溶置换,随着Si元素含量的增加其固溶度也有所提高

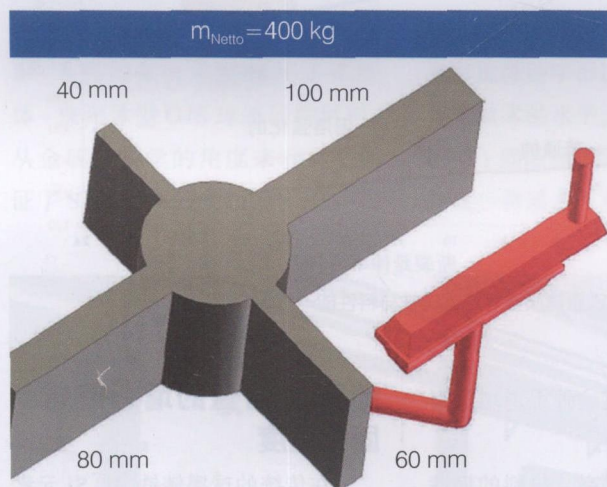


图6 在前期试验中,利用叶轮试样对铸造车间中的典型熔炼、浇铸工艺过程的影响变化进行了模拟分析

通过铁素体晶格均质化的提高(图4),根据微观组织的情况来看是否有明显的机械性能变化。

铁素体晶格的固溶强化是由Fe元素和Si元素原子半径的不同引起的。Si元素在体心立方晶格中占有一个(铁素体)晶格位置,从原子的角度来看就构成了一个扭曲的固溶置换体晶格(图5)。这样,随着Si元素含量的增加固溶度也

就随之提高。

前文中介绍了Si元素含量(达6%时)对球墨铸铁机械性能的作用和影响。根据Löblich et al. 先生的研究结果,Si元素的极限值可以达到4.3 wt.%。超过这一极限值时会导致材料的韧性急剧下降,同时也伴随着强度的下降。这是因为出现了过固溶置换,从而导致了机械性能的下降。这也就说明:

非常严格地遵守规定的化学元素成分是保证可靠地生产某种材料的基本前提。

对不同壁厚的铸造试样进行检验

为了能够在典型的铸造生产过程中使用改善过的固溶强化型球墨铸铁的熔炼技术,利用自己设计的叶轮试样(图6)进行了前期的熔炼浇铸试验。在这一试样的帮助下可以对不同的壁厚(这里为40~100 mm)进行材料检验。所进行的试验包括:40~100 mm的壁厚处进行拉伸强度、屈服强度和断裂延伸率的试验。

根据前期试验的结果可以把允许适用的Si元素含量界定在4.1%~4.4%之间。同时可以看出:延伸率的陡然下降出现在强度损失之前。最低的标准要求与达到强度和延伸率最大值的比较试验表明:结合GME熔炼技术能够在大多数情况下明显地超过所提出的要求。当固溶强化型球墨铸铁材料零件的壁厚超过60 mm后,此时并没有规范性的参考值,从而阻碍了相互对比性。MM