

LCBA 薄壁铸态全铁素体球铁孕育剂的研制

袁征峰¹, 庞争群¹, 毛启成²

(1. 东风汽车股份有限公司铸造分公司, 湖北 襄樊 441004;

2. 荆州市紫荆特种炉料有限公司, 湖北 荆州 434000)

摘要:考察了 La、Ce、Ca、Ba、Bi、Al、Si 等元素在铸态铁素体球铁中的多重作用,探讨了薄壁铸态全铁素体球铁的关键生产技术及其对孕育剂的要求,针对 FeSi75Al3.0 硅铁的不足,经过优化设计,反复试验,研制出一种多功能、高效、专用、复合随流孕育剂,用于实际后,大批量生产出薄壁的铸态全铁素体球铁铸件。

关键词:多功能;高效;球墨铸铁;孕育剂

中图分类号: TC243 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004 - 6178(2004)05 - 0020 - 06

球铁孕育剂是生产优质球墨铸铁的关键因素之一,特别是它的种类、成分、质量直接影响铸件的金相组织、力学性能。例如,我公司的康明斯 6B 排气歧管(铸件如图 1 所示,材质 QT420 - 15,轮廓尺寸 650.8 mm × 185 mm × 106 mm,主要壁厚 4 mm ± 0.75 mm,属于细长复杂管状体、薄壁的高难度类球铁件),我们在生产铸态铁素体 99% 以上、碳化物为零(以下简称铸态全铁素体)的铸件时,采用 FeSi75Al3.0 硅铁作为孕育剂,虽然经过采取多种措施,反复改变其它原材料,不断完善工艺,结果却是:如图 2,个别铸件珠光体 30%,渗碳体 3%;如图 3,大部分铸件铁素体 90%,珠光体 10%;总之,由于珠光体、渗碳体严重超标,总也达不到铸态全铁素体的目标。另外,在生产 EQ1141G 后桥主减速器壳(QT420 - 10)等铸件时,连续出现球化衰退、皮下气孔分别达到 8.58%、5.65%。并且,由于硅铁加入量大,造成回炉料大量积压。经分析验证,其主要原因之一是 FeSi75Al3.0 硅铁造成的。因此,开发一种多功能、高效、专用于薄壁铸态全铁素体球铁的复合孕育剂(以下简称 LCBA 孕育剂),成为一个重要的研究课题。

1 部分组元初选

1.1 La、Ce、Ca、Ba、Bi、Al、Si 等元素在铸态铁素体球铁中的多重作用

镧 La 与 S 的亲合力仅次于 Ce 与 S 的亲合力,加入高温铁液首先发生脱硫反应,生成 LaS₂;而 La 与 O 的亲合力次于 Ca、Y、Mg 与 O 的亲合力,加入铁液后,其次发生脱氧反应,生成 LaO₂;LaS₂、LaO₂ 密度大、熔点高,可成为球墨晶核;另外,La + MgBi

(Sb、Pb)_n - m Mg + n Bi (Sb、Pb)La、Bi (Sb、Pb)La₃、Bi (Sb、Pb)₃La₄。因此,La 能中和 Bi、Pb、Sb 等元素的反球化作用;同样铁液、工艺、加入量处理的结果,镧比铋具有更大的促进铸态铁素体量增加的作用,且远少于铋的渗碳体、磷共晶含量;当 La/Ce 为某特定值时,球铁中出现较多球墨个数。La 属于表面活性元素,当 La 量超过最佳值时,破坏了球墨等轴生长条件,导致球墨发生畸形生长;同时,过量 La 会促使薄壁处形成初生渗碳体^[1]。

铈 Ce 与 S 的亲合力大于任何元素与 S 的亲合力,加入高温铁液首先发生脱硫反应,生成 CeS₂;而 Ce 与 O 的亲合力次于 Ca、Y、Mg、La 和 O 的亲合力,加入铁液后,其次发生脱氧反应,生成 CeO₂;CeS₂、CeO₂ 密度大、熔点高,可成为球墨晶核;另外,Ce + MgBi (Sb、Pb)_n - m Mg + n Bi (Sb、Pb)Ce、Bi (Sb、Pb)Ce₃、Bi (Sb、Pb)₃Ce₄。因此,Ce 能中和 Bi、Pb、Sb 等元素的反球化作用,使片状石墨变为球状石墨;Ce 属于强球化元素,其球化能力仅次于 Mg;Ce 也属于表面活性元素,当 Ce 量超过最佳值时,其有害作用与 La 相同。

钙 Ca 与 O 的亲合力大于任何元素与 O 的亲合力,加入高温铁液首先发生脱氧反应:2Ca + O₂ → 2CaO,Ca + MgO → Mg + CaO,Ca + FeO → Fe + CaO;而 Ca 与 S 的亲合力次于 Ce、La、Pr 与 S 的亲合力,加入高温铁液后,其次发生脱硫反应:Ca + FeS → Fe + CaS,Ca + MgS → Mg + CaS,故钙能有效地促进石墨化。另外,Ca 在 MnS 中的固溶度很高,极易形成非常有效的异质晶核 - 复合型硫化物 (MnCa)S。CaO、CaS 比 CaC₂ 更稳定,可以作为 SiO₂ 析出的基底,促使更多的异质晶核 —— SiO₂ 析出。因此,Ca 对增加球墨个数的效果特别明显。将 Ca 与 Re 一起加入铁

收稿日期:2004 - 07 - 10

作者简介:袁征峰(1956 -),男,陕西澄城县人,工程师,从事铸造材料开发与应用。

液,比单独添加 Ca 或 Re 能获得更多的球墨,既可增加球墨个数,又可有效防止薄壁(3 图)球铁产生白口;Ca 是一种强球化元素,在孕育期间加入,既具有一定的补充球化作用,又是很好的孕育元素,能使球墨细化,提高力学性能,抑制孕育衰退。

钡 Ba 与 Ca 一起加入孕育剂中,可使孕育剂很好地溶解和不易渣化,消耗量也少;Ba 具有很强的生成 BaO、BaS 倾向,能有效地促进石墨化;Ba 是一种中等球化元素,既具有一定的球化作用,同时又是很好的孕育元素,能使球墨细化,提高球铁的力学性能,抑制衰退的时间;Ba 在铁液中可阻碍 C 和 Si 扩散,从而为石墨晶核的形成和生长提供良好的环境,使含 Ba 孕育剂具有长效作用;试验证明,同样条件下,调整 Ca 为 0.4 % ~ 0.5 %,Al 为 1.04 % ~ 1.33 % 的 FeSi75 孕育剂中的 Ba 含量,发现孕育剂中 Ba 在 2 % - 3 % 时抗孕育衰退效果最佳^[2]。

铋 添加少量 Bi^[3]或 Bi 的氧化物、碳化物,可显著增加球墨个数;Bi + Ce Ce₂Bi、CeBi₃、CeBi,其金属间化合物可以作为石墨晶核;Bi 是一种表面活性元素,破坏球化元素使石墨成长为球墨的条件,导致球墨畸变;又是促进碳化物形成元素,并具有稳定珠光体、抑制铁素体的作用;Bi 和 RE 复合加入,比 Bi、RE 单独加入时的效果好(即: σ_b 、 σ_s 高),能显著提高球墨个数,降低孕育衰退速度。

铝 强烈促进各结晶阶段石墨化,增加基体中的铁素体量,也有抑制游离渗碳体析出的作用;Al 具有很高的化学活性,在高温下与 O、P 发生反应,生成 Al₂O₃、AlP,抵消了 O、P 对球铁韧性的不良作用,Al₂O₃ 与 SiO₂ 的晶格失配度相近,为 SiO₂ 析出提供了基底条件,促使析出大量异质晶核——SiO₂。因此,为了使孕育更有效,孕育剂中至少应含有 0.8 %Ca 和 0.7 %Al;Cu、Al、Ni 又是钡合金与水反应的最有效抑制剂,当钡/钡为某特定值时,含钡球化剂与水几乎不反应^[4]。少量 Al 可以进一步提高球铁的力学性能(σ_b 、 σ_s),提高球化率。但 0.005 % - 0.02 % 铝足以造成氢针孔;当铝 0.3 % 时,若钛 0.02 % 就会促成铸件产生皮下气孔。

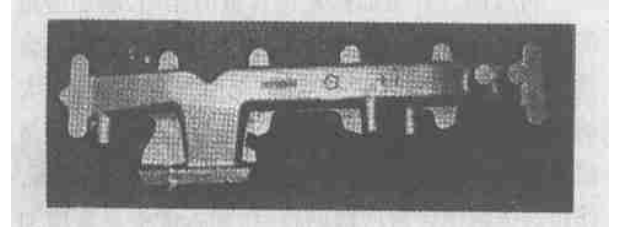


图 1 排气歧管铸件图
硅 强烈促进石墨化,若硅从 1 % 增加到 3.3 %

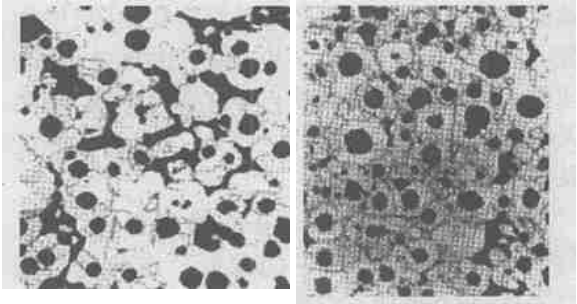


图 2 采用 FeSi75Al3.0 硅铁
P 30 %,渗碳体 3 %
3 采用 FeSi75Al3.0 硅铁
F 90 %,P 10 %

时,石墨化速度增至 5 倍 ~ 7 倍;随铁液中含硅量的增加,不易出现共晶碳化物,无论铸态或退火态,都促进形成铁素体、减少珠光体,抗拉强度、屈服强度下降而延伸率增加;硅强化铁素体并提高铁素体硬度,但过量硅将导致铸件脆性转变温度提高(磷、锰也有类似影响),室温出现脆性断裂。

根据上述 La、Ce、Ca、Ba、Bi、Al、Si 在铸态铁素体球铁中的多重作用,从提高孕育效果考虑,它们均应作为 LCBA 孕育剂的组元。

1.2 铸态铁素体球铁的关键生产技术及其对孕育剂的要求

1.2.1 薄壁铸态全铁素体球铁的关键生产技术

数次试验及生产实践证明,选用较低促进、稳定珠光体元素、强烈促进、稳定、形成碳化物元素的特定金属炉料,使用薄壁铸态全铁素体球铁专用球化剂,使用多功能、高效、长效的薄壁铸态全铁素体球铁专用孕育剂,优化设计铁液化学成分,采用定量加入技术、特殊孕育技术,严格控制球化处理、孕育处理、铁液浇注等工序,是稳定生产薄壁铸态全铁素体球铁铸件的关键技术^[5]。

1.2.2 薄壁铸态全铁素体球铁对孕育剂的基本要求

制取薄壁铸态球铁铸件时,常遇到的一大难题是由于冷却速度过快,极易形成晶间碳化物。另外,经球化处理的铁液中的 Mg、La、Ce 等球化元素,具有极强烈的促进碳化物倾向。因此,孕育剂的首要任务是能够强烈促进石墨化、有效抑制碳化物的形成。

铁液化学成分、工艺参数、工艺过程等决定铸件的金相组织、力学性能。而孕育剂的成分、加入量、孕育工艺等则是影响铸件金相组织的重大因素。故新孕育剂必须能够有效促进铁素体、抑制珠光体。

避免白口的主要措施有:提高石墨共晶凝固的速率,提高石墨球数,减少碳化物形成元素,采用阻热铸型降低散热速度,增加共晶晶核数。球墨个

数增加,可缩短 C 的扩散距离,加速 F + G 转化,能够使铁素体增加;球墨个数还影响缩孔缺陷,增加球数可遏制分散宏观缩孔,制得补缩好的球铁;而增加球墨个数,保证球墨个数大于白口临界球数,是实现无碳化物最为有效的措施之一。故孕育剂必须能够显著增加球墨个数。

铸铁的组织、性能取决于石墨的形核、生长及基体的转变^[6],当球铁铁液的碳量一定且其它条件不变时,如果既加强石墨的形核又有效控制石墨的生长,就可提高球墨的数量。因此,孕育剂必须具有双重作用,即:既能显著增加石墨晶核数量,又能有效控制石墨生长。

实践证明,良好的孕育可以有效防止铸件出现球化衰退、皮下气孔等铸造缺陷。因此,孕育剂必须具有较强的消除球化衰退、减少皮下气孔的能力。

孕育剂如果含有形核能力极强的组元,能够以高效的特点降低孕育剂的加入量,进而降低其带入铁液的 Si 量,使炉前铁液 Si 量提高,最终提高金属炉料中回炉料的加入比例,从根本上彻底解决球铁回炉料严重积压的难题。因此,所用孕育剂必须具有高效的特点。

2 设计思路

孕育剂种类、加入方式、添加数量、处理温度等均影响孕育效果的好坏;石墨高温形核与溶解试验表明:使用同批硅铁、相同成分铁液在不同温度进行孕育,孕育温度低,峰值晶核数多,达到最多晶核数的时间越长,石墨晶核全部溶解所需时间越长(1 400 约需 60 s,1 300 时则为 150 s)。从获得较多石墨晶核和防止孕育衰退角度出发,要得到最佳的孕育效果,最好在距离铁液凝固较短时间内进行孕育;另外,使用同批硅铁、不同块度(8 mm ~ 18 mm,0.2 mm ~ 1.5 mm)、不同加入量(0.67 %、0.13 %)、相同成分铁液进行包内和随浇注流孕育试验证明,随流孕育碳化物少得多。因此,LCBA 孕育剂设计为随铁液浇注流加入的孕育方式。

曾用 FeSi75Al3.0 硅铁的不足是:石墨化能力较强,但功能单一;通用性过强,不具有专用性;Al 量高达 3.0 %以上,加入 1.2 %时带入铁液的 Al 量达到 0.045 %,铁液中的 Ti 为 0.05 %左右,极易引起皮下气孔;Ca < 0.2 %,形核能力差,增加球墨个数的能力很低;不含有 Ce、La、Ca 等强球化元素,消除球化不良球化衰退的能力也几乎为零;没有能够强烈形成有效异质晶核的元素,如:Ca、Sr、Ce、La、Pr、Nd 等,导致炉前加入量较大,例如包内孕育加入量

有时高达 1.2 %;加入量过大,要求炉前 Si 量尽可能低,导致配料时球铁回炉料加入量很低,造成回炉料大量积压;增重剂选择不当,其中 Mn 量达到 4.5 %以上,带入铁液中的 Mn 量达到 0.068 %左右;图便宜图方便,有时使用报废的高 Cr 磨球或合金废钢,导致硅铁中的 Cr、V 等强碳化物形成元素较高。

2.1 新孕育剂的功能与特点

2.1.1 功能

具有强烈的促进石墨化和形成石墨晶核的能力;含有适量的具有强烈球化、再球化功能的元素,能够有效消除球化不良、球化衰退;含有十分微量的 Ti 和适量的 Al,能够避免本身引起铸件产生的皮下气孔缺陷;含有特别低的 Mn、Sb、Sn 等促进珠光体元素,避免本身引起珠光体量超标;配入较佳数量的助熔剂,既能使本身被铁液吸收,又能有效地消除皮下气孔,有助于减少气孔;配加能够显著增加球墨个数、又强烈阻碍石墨生长的元素,并与能中和恶化石墨形态的稀土元素复合加入;具有特别强烈的抑制白口能力;具有特别强烈的促进铁素体形成能力。

2.1.2 特点

多功能 不但具有 FeSi75Al3.0 硅铁的所有功能,而且具有其不可比拟的特殊功能,如:显著增加球墨个数功能、消除球化不良球化衰退功能、消除皮下气孔功能等; 高效 加入量是 FeSi75Al3.0 硅铁的 1/4 ~ 1/5,能够达到相同甚至更加优异的孕育效果; 长效 与 FeSi75Al3.0 硅铁相比,保持孕育效果的时间长得多; 专用 适用于薄壁铸态铁素体球铁; 易吸收 在规定温度范围,加入后容易被铁液吸收,不漂浮于铁液表面,也不形成夹杂、夹渣; 渣量少 与 FeSi75Al3.0 硅铁相比,形成炉渣的数量少,引起夹渣缺陷的几率小; 易操作 与型内孕育相比,向铁液中加入时,定量准确、快捷,操作简单方便,容易,步骤少,注意事项少; 防潮性能好 储存期间,不易吸潮,变质,可避免本身引起的皮下气孔; 能够彻底解决回炉料大量积压的难题; 促进石墨化能力强。

2.2 采取的措施和方法

2.2.1 抑制珠光体,促进形成铁素体

利用铝具有增加铁素体含量的作用,添加适量的铝;利用钙与钡共同加入随钡含量增加铁素体含量增加的特点,加入适量的钡;利用镧比铈具有更大的促进铸态铁素体含量增加的作用,加入一定数量的镧;利用增加球墨个数,可以缩短碳的扩散距离,使铸态铁素体含量增加的特点,加入能够显著增加球墨个数的组元;考虑稀土元素不能中和微量元素

对珠光体的促进作用,尽可能采用很低强烈形成、促进、稳定珠光体的 Sn、Mn 等元素的原材料。

2.2.2 抑制白口倾向,消除碳化物

根据白口倾向与临界球数的关系,加入一定数量的能够显著增加石墨球数的组元,使球墨个数超过获得无碳化物的临界球数;根据同样铁液,随流孕育比包内孕育所获铸件碳化物少得多的特点,采用随流孕育工艺;利用钙与稀土共同加入可防止球铁产生白口的特性,加入适量的钙;利用镧与镁比铈与镁处理的球铁随铁水中镧增高而渗碳体减少的特点,保证适当的 La/Ce 值;利用钙与钡共同加入钙达一定值时能完全组织中的游离渗碳体的特性,加入适宜数量的钙;利用铝具有抑制游离渗碳体析出的作用,保持较佳铝量;采用低 Cr、V 等强碳化物形成元素的原材料。

2.2.3 补充球化,消除球化不良、球化衰退

利用 Ce 的球化能力仅次于 Mg 且具有再球化功能的特点,添加适量的 Ce;利用 La 的球化能力仅次于 Mg、Ce 的特点,添加适量的 La;利用 Ca 是一种强球化元素的特点,添加适量的 Ca。

2.2.4 消除皮下气孔

加入较佳数量的助熔剂,既能有效地消除皮下气孔,又能使本身被铁液吸收,有助于减少气孔;防潮性好,避免自身吸潮引起皮下气孔发生的现象;采用低钛原材料;铝含量控制在设定范围。

2.2.5 高效

利用 Ca、Sr、Ba、Al 与 O 的亲合力大于 Si 与 O 的亲合力,随 FeSi75 硅铁一起加入,可使 SiO₂ 异质核心的石墨雏晶数提高至 75 % 以上(与纯净的 FeSi75 硅铁相比)的特点,添加适量的 Ca、Sr、Ba、Al;根据孕育铸铁异质核心的 75 % 左右是复合型硫化物,而 Ca、Sr、Ce、La、Pr、Nd 极易形成复合型硫化物,形核能力是 FeSi75 硅铁的 3 倍,添加适量的 Ca、Sr、Ce、La、Pr、Nd;依据同样效果、同样质量 FeSi75Al1.5 硅铁,随流孕育加入量是包内孕育加入量的 1/4 ~ 1/5 的特点,采用随流孕育;利用 Ca 对孕育硅铁的强化作用最明显,含 Ca 的 FeSi75 的形核能力强(球墨个数多),添加适量 Ca。

2.2.6 长效

RE、Ca、Ba 等元素的共同作用,可以提高稀土孕育剂的高效长效作用,添加适量的 RE、Ca、Ba 等;利用钡的长效性,增加一定含量的钡,消除孕育衰退。

2.2.7 显著增加球墨个数

Ca 与 RE 一起加入铁液,能获得更多的球墨个数;同样条件下试验 FeSi75、FeSiMnAlCaBa、FeSi-CaAlZr、FeSiCaRe、FeSiCaBaAl、FeSiReMg、FeSi75 + Bi

等,最好的孕育效果是 FeSi75 + (0.02 % - 0.05 %) Bi,球数增加 75 % ~ 125 %;Al、Ca、Sr、Ba 催化 SiO₂ 成为异质晶核,起到增加球墨个数的作用;微量的 La、Ce 对已有夹杂物异质晶核具有激活作用,起到增加球墨个数的作用。

2.2.8 解决回炉料积压难题

利用高效的特点,减少球化包中 FeSi75Al1.5 硅铁的加入量,提高炉前回炉料的比例;利用随铁液浇注流孕育剂可为包内孕育用量的 1/3 ~ 1/5,采用随铁液浇注流孕育工艺。

2.2.9 强烈促进石墨化

利用硅强烈促进石墨化的作用,添加 50 % ~ 70 % 的硅;利用铝强烈促进各阶段石墨化,添加适量的铝。

3 配方与试制

3.1 配料方案

3.1.1 LCBA 孕育剂化学成分

1 % ~ 8 % Re(其中,Ce 占总稀土 35 % ~ 50 %,La 占部稀土 35 % ~ 50 %,Pr 占总稀土 3 % ~ 8 %,Nd 占总稀土 10 % ~ 15 %);1 % ~ 6.5 % Ca;1 % ~ 3 % Sr;1 % ~ 8 % Ba;适量 Bi;适量 Al;50 % ~ 70 % Si;其余为 Fe。另外,在金属孕育剂粉碎过程,加入 2 % ~ 25 % 的助熔剂;有害元素控制范围为:Mn < 0.5 %;Ti < 0.3 %;Cr < 0.08 %;Cu < 0.05 %;V < 0.04 %;Sn < 0.04 %;As < 0.002 %;Sb < 0.0012 %;Pb < 0.0007 %。

3.1.2 原材料

高铈稀土硅铁(FeSiRE32Ce),高铈稀土硅铁(FeSiRE32Le),硅铁(FeSi75Al1.5、FeSi45Al1.5),硅钙合金(Ca28Si60, Ca31Si60),硅钡合金(FeBa30Si35),硅锆合金(FeSr30Si35),一级铝锭,一级铋锭,金属镨,金属铈,低微量有害元素的优质废钢(< 30mm × 40mm 和 > 60mm × 100mm),小块(3mm ~ 15mm)低 Mn、P、S 的 Q10 生铁,小块(25mm ~ 85mm)QT420 - 15 球铁回炉料等。

3.1.3 配料

各种原材料的加入数量由化学成分考虑烧损率并保证适宜的 La/Ce、Bi/Ce、Al/Ba 比值而确定,并经反复试验最终选取最佳值(具体数据从略)。

3.2 熔制工艺和措施

孕育剂中的氧化物含量尽可能低,才能最大限度发挥孕育作用。当原材料种类和配比确定后,熔制孕育剂的最关键技术是获得最低含量的氧化物,难点是获得高的 Pr、Nd、Bi、Al 回收率和投料产出比。为此,采取特殊熔制工艺和措施。

先加入炉料,顺序为:Pr、Nd、Bi、Al 1/3 FeSi75Al1.5 Ca28Si60 FeBa30Si35 FeSr30Si35 FeSiRE32Ce (FeSiRE32La) 1/5 Fe (废钢) 剩余 FeSi75Al1.5,然后开始送电,待液面升至料面时加入剩余废钢,直到废钢熔化后出炉。

加料方式为:1/5 FeSi75Al1.5 Pr、Nd、Bi、Al 2/5 FeSi75Al1.5 Ca28Si60 FeBa30Si35 FeSr30Si35 FeSiRE32Ce (FeSiRE32La) Fe (废钢) 剩余 FeSi75Al1.5,一次加完料,然后开始送电,炉料熔化完全后浇注。

一次加入炉料完后送电,溶化完毕浇注,加入炉料顺序为:FeBa30Si35 Ca28Si60 1/3 FeSi75Al1.5 Pr、Nd、Bi、Al FeSr30Si35 FeSiRE32Ce (FeSiRE32La) Fe (废钢) 剩余 FeSi75Al1.5。

上述方案中的大、小块废钢,生铁、回炉料、不同品种硅铁,均进行交叉试验。

通过对比试验,上述某一方案不仅回收率高,而且氧化物含量低,故采用该种较佳方案。经反复试验后发现,采用块度 < 30mm ×40mm 的废钢或小块 (3 mm ~ 5 mm) 低 Mn、P、S 的 Q10 生铁效果最好,可生产出理想的孕育剂,经破碎后,孕育剂的投料产出比不低于 1:0.95,金属回收率高,氧化物含量低。通过多轮试制、多次试验、反复改进,孕育剂终于开发成功。

4 应用结果

1) 图 2、图 3 是球化包必须加入 1.8 %某地稀土镁硅铁合金、1.0 % FeSi75Al3.0 硅铁,随浇注流加入 0.3 % FeSi75Al3.0 硅铁粉的金相组织图。如今,提高炉前铁液中的含硅量,其它原材料、工艺等条件基本不变,球化包加入 1.2 % ~ 1.3 % 配套的铸态全铁素体球铁专用球化剂、加入 0.4 % ~ 0.5 % FeS-

i75Al1.5 硅铁,随浇注流加入 0.1 % ~ 0.15 %LCBA 孕育剂,所得康明斯 6B 排气歧管铸件 (管壁) 金相组织如图 4 所示。与图 2、图 3 相比,图 4 特点是:石墨球数多,石墨球径小,球墨圆整度高,石墨分布均匀性高,铁素体 99 %,珠光体 1 %,碳化物为零。因而,康明斯 6B 排气歧管完全实现了大批量、铸态化生产。

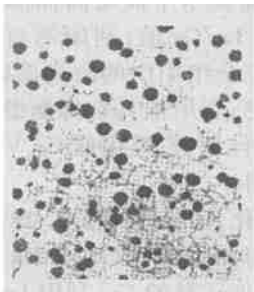


图 4 采用 LCBA 孕育剂 F = 99 %, P = 1 %, 渗碳体 = 0 %

2) 提高炉前铁液中的含硅量,其它原材料、工艺等条件基本不变,球化包加入 1.3 %左右配套的铸态铁素体球铁专用球化剂、0.5 %左右 FeSi75Al1.5 硅铁,随浇注流加入 0.1 % ~ 0.15 %LCBA 孕育剂以后,铸态化生产的康明斯 6B 排气歧管,不但金相组织达到美国康明斯公司的技术要求,而且力学性能也有一定幅度的提高,改进前后力学性能对比详见表 1 所示。

3) 现在,设备、工艺等条件基本不变,大批量使用 FeSi75Al1.5 硅铁、配套的铸态铁素体球铁专用球化剂、LCBA 孕育剂,上述所讲 EQ1141G 后桥主减速器壳 (材质 QT420 - 10) 等铸件生产中发生球化衰退、皮下气孔分别达到 8.58 %、5.65 %的现象,基本上被消除。改进前后球化衰退、皮下气孔对比详见表 2、表 3。

表 1 康明斯 6B 排气歧管力学性能对比

力学性能	抗拉强度/MPa	延伸率/ %	硬度/ HB	备 注
改进前	420 ~ 445	15 ~ 18.5	150 ~ 220	使用某地稀土镁硅铁合金、FeSi75Al3.0 硅铁
改进后	495 ~ 565	18 ~ 20.5	155 ~ 180	采用铸态铁素体球铁专用球化剂、LCBA 孕育剂

表 2 EQ1141G 后桥主减速器壳改进前后球化衰退废品率对照表

月 份	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	小计
改前交检数量/ 件	8 875	2 635	8 590	5 565	7 595	1 283	34 543
改前球化衰退/ 件	755	229	816	445	630	89	2964
改前废品比例 / %	8.507	8.69	9.499	7.996	8.295	6.937	8.58
改后交检数量/ 件	9 845	5 422	14 375	12 930	8 040	12 890	63 502
改后球化衰退/ 件	无	3	5	4	无	3	15
改后废品比例 / %	无	0.055	0.035	0.031	无	0.023	0.024

表 3 EQ1141G 后桥主减速器壳改进前后皮下气孔废品率对照表

月 份	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	小计
改前交检数量/ 件	7 882	1 835	8 583	5 350	7 492	1 245	32 387
改前皮下气孔/ 件	395	90	702	301	325	18	1 831
改前废品比例 / %	5.01	4.905	8.179	5.626	4.336	1.446	5.65
改后交检数量/ 件	8 892	6 435	15 385	12 958	8 245	12 890	64 805
改后皮下气孔/ 件	无	5	8	10	无	7	30
改后废品比例 / %	无	0.078	0.052	0.077	无	0.054	0.046

4) 以前,康明斯 6B 排气歧管退火态生产时,按照高碳低硅大孕育量的原则,某地稀土镁硅铁合金、FeSi75Al3.0 硅铁的加入量必须分别高达 1.8 %、1.3 %,其带入铁液硅量为 1.77 %。如今采用特殊孕育工艺,使用铸态铁素体球铁专用球化剂、FeSi75Al1.5 硅铁、LCBA 孕育剂,加入量分别为 1.2 % ~ 1.3 %、0.4 % ~ 0.5 %、0.1 % ~ 0.15 %,带入铁液硅量为 1.02 %左右。因此,不但可使球化包少加入 1.0 %左右的 FeSi75Al1.5 硅铁,而且还可提高炉前铁液含硅量 0.75 %左右,从而炉前配料时可以提高回炉料比例,使得以前大量积压的回炉料逐渐被消耗。这样,彻底解决了球铁回炉料大量积压的难题,并且硅铁的节约使得每吨球铁铸件可降低生产成本 110 元左右。

5) 改进前,在生产铸态铁素体 EQ1141G 后桥主减速器壳(QT420 - 10)等铸件时,也遵照高碳低硅大孕育量的原则,球化包(一次孕育)加入 0.5 %的 10mm ~ 20mm FeSi75Al3.0 硅铁,浇注包(倒包,二次孕育)加入 0.6 %的 4mm ~ 8mm FeSi75Al3.0 硅铁,随浇注流(三次孕育)加入 0.3 %的 0.2mm ~ 1.2mm Fe-Si75Al3.0 硅铁粉,铁液容易产生大量氧化物渣,导致铸件的渣孔缺陷经常发生,严重时达 1.2 %左右。特别是铸件在机械加工过程发现由于局部硬质点导致打刀现象,严重时每年给机械加工厂的刀具赔偿费达 7000 多元;经验证明,原因是未熔化的硅铁造成的。改进后,FeSi75Al3.0 硅铁改为 FeSi75Al1.5 硅铁,批量使用 LCBA 孕育剂,彻底取消了二次孕育,三次孕育由 0.3 %降为 0.1 % ~ 0.15 %,不但渣孔缺陷几乎为零,而且硅铁难熔化、难吸收造成的打刀现象完全消除,再也没有发生一次打刀现象。

5 结 论

1) LCBA 孕育剂(现由荆州市紫荆特种炉料有限公司生产)具有形核数量多、能力强,强烈促进石墨化,显著增加球墨个数,抑制碳化物效果显著,强烈促进铁素体,有效抑制珠光体,提高铸件力学性能(常温抗拉强度、延伸率)效果明显,渣量少,易吸收等特点。

2) 与配套的铸态铁素体球铁专用球化剂一起使用,LCBA 孕育剂具有多功能(补充球化与再球化、显著增加球墨个数、消除球化不良球化衰退、消除皮下气孔、解决回炉料积压等)、高效(加入量 0.1 % ~ 0.15 %)的优点。

3) LCBA 孕育剂适用于生产中小壁厚的铸态铁素体球铁铸件,特别适用于壁厚为 3mm ~ 6mm、重量为 8 kg ~ 15 kg 的铸态全铁素体球铁铸件,建议有关厂家借鉴。

参考文献:

[1] 黄莹,等. 镧基稀土镁球化剂的应用[J]. 铸造,1993,(10):30~33.

[2] 李荣德,等. 铸铁质量及其控制技术[M]. 北京:机械工业出版社,1998.

[3] 周定远,等. 铈在球铁中的应用[J]. 球铁,1990,(2):54~56.

[4] 清华大学稀土铸铁课题组. 稀土铁合金和碱土铁合金[M]. 北京:冶金工业出版社,1991.

[5] 袁征峰. 薄壁铸态全铁素体球铁的关键生产技术[C]. 第十届全国铸造年会学术论文文集,全国铸造学会 2002.

[6] 布. 刘可斯,等. 铸铁冶金学[M]. 北京:机械工业出版社,1983.

欢迎订阅《铸造设备研究》杂志