

铸造用煤粉的特性及其质量要求

中国铸造协会(北京 100044) 李传斌

粘土湿型砂的主要特点是便于造型,经震击和压实即可制成所需的形状,而且所用的原材料,如硅砂、粘土和煤粉等添加剂都价格低廉、资源丰富。因此,在各种铸造工艺蓬勃发展的今天,粘土湿砂造型工艺在铸造行业中仍占有绝对优势。

粘土湿型砂的基本成分是硅砂、膨润土和水。制造铸铁件用的粘土湿型砂中,煤粉是不可或缺的添加剂,对改善铸件的质量和尺寸稳定性有非常重要的作用。若煤粉的质量不佳、选用不当或加入量不合适,都会导致铸件的表面缺陷(如粘砂、气孔、膨胀等铸造缺陷)增多,不仅使废品率提高,而且会增大铸件清理的工作量。

近30年来,铸造业在寻求煤粉的代用材料方面进行了大量的研究工作,但迄今为止煤粉仍是应用最广的添加剂,也是性价比最佳的添加剂。

一、煤的矿藏

煤是远古植物堆积成层,并埋藏在水底或水分充足的条件下,经漫长的地质年代煤化作用而成的产物。由于煤化作用的程度不同,可分为泥煤、褐煤、烟煤和无烟煤4类;由于形成条件不同,各种煤所含的总碳量可在49%~97%之间。矿化历时最长的是无烟煤,铸造用煤粉则是由烟煤制成的。

烟煤是煤化程度较深的煤,呈灰黑色到黑色,粉碎后则呈棕色到黑色。按挥发分和胶质体含量的不同,烟煤又可分长焰煤、气煤、肥煤、焦煤和瘦煤等品种。

挥发分含量高的长焰煤和气煤,受热后先形成很多不稳定的低沸点液相,很快又分解为气体逸出,残留的液相不足以使残留的颗粒粘结(不能焦化);挥发分含量低的瘦煤,热分解时虽能形成沸点较高的液相,但其量不多,也不足以发生焦化;肥煤和焦煤,挥发分含量适中,受热可形成较多的液相,易于使残留的颗粒粘结(焦化)。铸造用煤粉主要是由肥煤和焦煤制成的。

二、烟煤加热时发生的各种变化

烟煤受热时,首先是脱除水分,然后发生分解、析出挥发分。烟煤的分解大体上可分为4个阶段:

第一阶段:200℃以下,脱除水分并释放少量CO₂,此阶段反应的速度低。

第二阶段:200~350℃,除继续释放水蒸气和CO₂外,开始释放CO,并有微量焦油析出,可认为是热解开始阶段。

第三阶段:350~550℃,分解反应的速度增高,分解产物主要是低分子量烃类和其他有机化合物,焦油基本上都在这一阶段析出。此外,烟煤还要经历软化-熔融-固化和体积收缩-膨胀-再收缩的过程。

大约在350~390℃之间,烟煤逐渐软化,并伴随着体积收缩,此后开始熔融,液相逐渐增多,形成固、液、气三相混合的胶质体。初期,由于析出的气体不断增多,胶质体体积迅速膨胀,气体析出到一定程度后,析出量锐减,胶质体的体积也随之收缩;最后,胶质体固化成为多孔性固体,称为半焦。总体上,烟煤在这一阶段中的体积变化见图1。

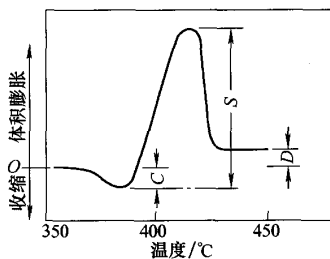


图1 烟煤加热过程中的体积变化

C—初期的体积收缩 S—随后发生的体积膨胀

D—总的体积膨胀

第四个阶段:550℃以上,继续析出各种气体,包括水蒸气、CO₂、CO、H₂、甲烷、乙炔和氨,并由半焦转变为焦炭。

第三、四两阶段产生的气体可能在灼热的固体表面上凝聚,从而形成含碳量高的石墨状薄膜,通常称之为“光亮碳”。各种烃类物质中,芳香烃最易于热解而生成光亮碳。

三、铸件表面粘砂的形成

金属液注入铸型后,在金属-铸型界面上,金属、造型材料和型内气氛之间要发生一系列物理的、化学的和物理化学的作用。粘砂就是这许多作用的综合结果之一。其中,FeO起着极为重要的作用。

FeO的熔点约为1370℃,高于一般铸铁的熔点,但FeO与硅砂接触后,极易生成熔点为1205℃的铁橄榄石(Fe_2SiO_4),铁橄榄石又能与 SiO_2 或FeO生成两种熔点约为1130℃的共晶体。若砂粒表面有粘土或其他碱性氧化物,还可能形成熔点更低的硅酸盐。

由于金属液本身原来就含有一定的氧,出铁(钢)和浇注过程中液流会被大气中的氧所氧化,进入型腔的初期还会被型内气氛氧化,金属液进入铸型后,金属-铸型界面存在着FeO。在金属静压头作用下,FeO会紧贴于砂粒表面,与砂粒和粘土等形成低熔点的硅酸盐,砂粒表面就会被熔蚀。在金属尚未凝固的情况下,界面附近的低熔点硅酸盐被挤向砂型的深处。由于砂粒之间的间隙扩大了,砂粒表面又有易被金属润湿的硅酸盐,金属液就可以渗入砂粒间的空隙,包住尚未被熔蚀的砂粒,形成粘砂。这一过程大致如图2所示。

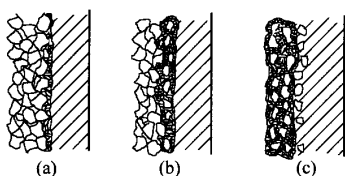


图2 铸件粘砂形成过程示意

- (a) 金属液与铸型表面接触,金属表面被氧化
- (b) FeO与硅砂和粘土接触形成易熔硅酸盐
- (c) 易熔硅酸盐被挤向铸型深处,金属液包住砂粒

四、粘土湿型砂中煤粉的作用

粘土湿型砂中加入煤粉,其在铸件成形过程中的作用主要有4个方面。

(1) 抑制FeO的形成 铁液注入砂型后,使型砂中的煤粉受热分解,所释放的还原性气体在型腔中能防止铁液氧化,抑制FeO形成,这对于防止粘砂有非常重要

的作用。

(2) 在铸型表面形成光亮碳层 铁液注满型腔后,型内气氛为还原性气氛,在这种条件下,煤粉析出的烃类气体会凝聚于铸型表面,形成光亮碳膜,能防止粘砂并使铸件轮廓清晰。

(3) 防止膨胀缺陷 靠近金属-铸型界面处,型砂中的煤粉受热而发生焦化反应时,先软化并发生体积收缩,然后再膨胀。煤粉的软化温度与石英的相变膨胀温度大致相同,可以容纳砂粒的膨胀,因而可防止铸件上出现夹砂、鼠尾之类的膨胀缺陷,并改善铸件尺寸的稳定性。

(4) 填塞铸型表面层砂粒间的空隙 煤粉焦化时发生体积膨胀,能填塞铸型表面层砂粒间的空隙,使铁液及产生的易熔硅酸盐难以渗入,从而改善铸件的表面质量。同时,离开铸型表面一定距离处仍然能保持应有的透气性。

五、选用煤粉时应考虑的质量指标

市场上供应的煤粉种类繁多,其品质可能有很大的差异。为得到最佳的效果,应通过对样品的检测和生产试验,选定适合企业具体条件的煤粉。

选用煤粉应就以下各项质量指标加以研究分析。

1. 煤粉的粒度

多年来,我国相关标准对铸造用煤粉的粒度要求都是:“应有95%以上的颗粒通过0.106mm的筛孔(即140目筛)”,这样的煤粉大体上相当于外国的超细煤粉。不作具体分析地普遍采用超细煤粉实在很不合适,这方面是亟待改革的(详见本刊第9期“正确认识对铸造用煤粉的粒度要求”一文)。

一般说来,粘土湿型砂中所用的煤粉,粒度应略细于原砂,但又不宜过细。采用粒度较粗的煤粉,在储、运及应用方面都有其优点,而且循环使用的型砂每次混砂时所需补加的煤粉较少,每次浇注所造成的灰分增量也较少,型砂的可复用性改善。

如果生产小型铸铁件,而且对铸件表面质量要求很高,应采用细粒原砂和超细煤粉。随着铸件尺寸的增大,就应采用较粗的煤粉为宜。铸造用煤粉的粒度应在0.450~0.071mm(40~200目)之间,以不同的粒度级配适应不同铸造企业的具体条件。

采用高压造型工艺时,无论是垂直分型或水平分

型, 型砂中都应配用粗粒煤粉, 这对于减少煤粉中挥发分的析出, 改善型砂的可复用性至关重要, 而且还有助于适当提高铸型的透气能力。

煤粉颗粒尺寸的上限值也应严格控制。使用粒度超过 1mm 的煤粉, 铸件就易于产生气孔缺陷。

2. 挥发分

挥发分是铸造用煤粉重要的质量指标之一, 一般应不低于 30%。我国专业标准 JB/T 9222—1999 中按挥发分含量将煤粉分为 3 级, 即挥发分 > 35%、30% ~ 35% 和 25% ~ 30%。

但是, 单是挥发分高并不意味着就是理想的铸造用煤粉, 还应考虑其他因素。

3. 灰分

粘土湿型砂循环使用时, 煤粉受热分解所产生的灰分会使型砂中的含泥量增加, 影响铸型的透气能力。灰分对型砂的性能显然是有害的。

英国优质煤粉对灰分含量的要求是 $\leq 4\%$, 其他工业国家供应厂商为铸造行业提供的煤粉, 灰分含量一般也低于 6%。

我国专业标准 JB/T 9222—1999《湿型铸造用煤粉》中, 规定灰分含量 $\leq 10\%$, 这是按我国可供煤粉的情况规定的。实际上, 我国铸造企业所用煤粉的灰分往往远高于此值。看来, 要真正提高我国的铸造水平, 在许多方面都要下大功夫。

4. 硫含量

为保证铸件质量, 粘土湿型砂中的硫含量应不超过 0.12% (质量分数)。对于循环使用的湿型砂, 由于不断补加煤粉, 其中的硫含量会逐渐积累于型砂中。因此, 必须限定煤粉中的硫含量。

我国 JB/T 9222—1999 标准中规定 $w_S \leq 2\%$, 其他工业国家铸造用煤粉中的 w_S 一般 $\leq 1\%$ 。

5. 水分

与铸造用膨润土一样, 煤粉中的水分也有两种形态: 一是自由水; 二是内在的固有水。煤粉烘干时, 主要是脱除自由水, 不能脱除固有水。如果脱除了固有水, 则煤粉冷却后仍然会再次吸收水分, 而且在储存过程中易于自燃。

如果煤粉中自由水含量太高, 则流动性差, 影响混砂作业。一般要求水分 $\leq 4\%$, 且每次验收来料时都应

检测。

6. 焦渣特征

焦渣是测定挥发分时冷却后残留于坩埚内的焦化产物, 焦渣特征反映煤在干馏过程中软化、熔融、析出气体和膨胀的特性。适当的焦渣特征对于控制铸型的型壁运动, 防止膨胀缺陷有重要作用。虽然我国专业标准 JB/T 9222—1999 中对此未作规定, 但铸企业应予以控制, 一般以弱粘结、不熔融粘结、不膨胀熔融粘结及微膨胀熔融粘结为好。

英国对煤粉的焦化特性也规定了类似的测定方法, 用膨胀指数来量化这一特性。

7. 光亮碳析出量

高温下由烃类气体凝聚而形成的光亮碳膜, 对改善铸件的表面质量也有很重要的作用。

JB/T 9222—1999 标准未对光亮碳析出量作具体规定, 但在附录中列出了测定方法。因此有条件的企业在选择煤粉时可对此项目加以考核, 正常生产中则作为抽查项目。铸造用煤粉的光亮碳析出量在 8% ~ 12% 之间即可视为正常。

8. 氯化物含量

电解质会影响膨润土的膨胀性能。如果煤粉中含有较多的氯化物, 就可能影响膨润土在型砂系统中的效能, 使型砂的湿抗拉强度显著降低。国外优质煤粉中氯化物含量不超过 0.15%, 选择煤粉时, 可将其作为参考项目。

六、检测煤粉质量的常规方法

对煤粉质量的评定, 有组成成分和使用性能测定两方面。

检测煤粉的组成成分有两种方法, 即全分析和实用分析。铸造企业对煤粉质量的考核, 通常都只作实用分析, 即对煤粉的化学性质做简要的测定。常规的测定项目有水分、灰分、挥发分和硫含量, 并可由水分、灰分和挥发分的测定值推算固定碳含量。目前, 以实用分析结果评定煤粉的质量已得到普遍的认同。必要时, 还要不定期测定煤粉中的氯化物含量。

为使煤粉加入型砂后能切实起到提高铸件表面质量的作用, 还需从铸造工艺的角度测定煤粉的使用性能, 常规的检测项目主要有焦渣特征、光亮碳析出量和粒度组成。其中, 焦渣特征对每批来料都需检测, 光亮碳析

出量和粒度组成可不定期抽查。

一般铸造企业对煤粉进行检测主要有以下几个项目。

1. 测定水分

称取煤粉样品 1.00g, 置瓷皿中, 在 105 ~ 110℃ 的烘干箱内烘干至恒重。放入干燥器内冷却到室温, 然后称重, 并计算水分。

2. 测定灰分

将测定水分的样品连同原来的瓷皿, 放入温度不超过 100℃ 的马弗炉中, 炉门不关严, 留 15mm 左右的缝隙, 以保证炉内的氧化性气氛。缓慢升温至 500℃ (不少于 30min), 保温 30min。继续升温至 (815 ± 10)℃, 灼烧 1h, 然后取出瓷皿在空气中冷却 5min 左右, 再放入干燥器中冷却到室温。称取灼烧残留物的重量, 除以样品原重量 (1.00g), 即得到样品的灰分。

3. 测定挥发分

称取煤粉样品 1.00g, 置于带盖的瓷坩锅中, 轻轻振动使样品铺平, 然后盖严坩锅, 放入已预热至 920℃ 左右的马弗炉中, 并注意将坩锅置于炉中的恒温区, 再关严炉门, 准确计时, 加热 7min, 而且必须在 3min 内使炉温恢复到 (900 ± 10)℃。到 7min 后, 取出坩锅, 置空气中冷却 5min 左右, 再移入干燥器内冷却至室温。

$$\text{挥发分 } V = (G_1 / G) \times 100 - W$$

式中 V ——煤粉样品的挥发分;

G_1 ——煤粉样品加热后的重量损失, g;

G ——煤粉样品重量, 取 1.00g;

W ——煤粉样品的水分。

4. 计算固定碳量

需要时, 可由以上求得的数值计算煤粉样品的固定碳量。

$$\text{固定碳量 } C = 100 - (W + A + V)$$

式中 C ——煤粉样品的固定碳量;

W ——煤粉样品的水分;

A ——煤粉样品的灰分;

V ——煤粉样品的挥发分。

5. 焦渣特征的评定

测定挥发分时, 用残留于坩锅内的焦渣评定焦渣特征, 通常分为以下 8 种:

(1) 全部为粉状 无互相粘结的颗粒。

(2) 稍有粘着 用手指轻碰即成粉状。

(3) 弱粘结 用手指轻压即碎成小块。

(4) 不熔融粘结 手指用力压才碎成小块, 焦渣上表面无光泽, 下表面有银白色光泽。

(5) 不膨胀熔融粘结 焦渣呈扁平饼状, 煤粒界限不易分清, 上表面有明显银白色金属光泽, 下表面银白色光泽更明显。

(6) 微膨胀熔融粘结 用手指压不碎, 焦渣的上、下表面均有银白色金属光泽, 上表面有较小的膨胀气泡。

(7) 膨胀熔融粘结 焦渣的上、下表面均有银白色金属光泽, 有明显的膨胀, 但高度不超过 15mm。

(8) 强膨胀熔融粘结 上、下表面均有银白色金属光泽, 膨胀高度 > 15mm。

6. 测定光亮碳析出量

测定光亮碳析出量的装置如图 3 所示。

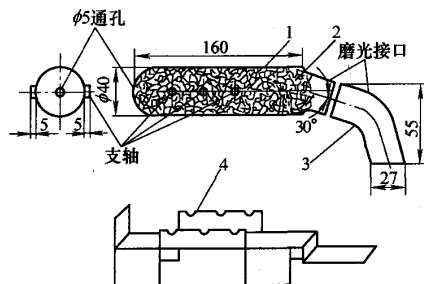


图 3 测定光亮碳析出量的装置

1. 石英管 2. 石英丝填料 3. 石英坩埚 4. 托架

测定时, 先将煤粉样品于 105℃ 烘干, 称取一定重量 (W) 的样品置于坩埚 3 中。称取样品的重量因样品种类而异, 煤粉为 0.1 ~ 0.3g, 型砂则为 1 ~ 2g。

其次, 将石英管 1 连同填料在 (875 ± 5)℃ 加热至恒重, 置干燥器中冷却后称其重量 (G)。然后, 将石英管置于托架上, 放入 (875 ± 5)℃ 的马弗炉中加热。温度恒定后, 将坩埚 3 的上部插入石英管 1 右侧的接口中, 再在炉中保持 3 ~ 4min。

自炉中取出石英管, 置于干燥器中冷却后称其重量 (G_1)。

$$\text{光亮碳析出量} = [(G_1 - G) / W] \times 100\%$$

7. 测定煤粉的粒度

煤粉的粒度可用测定原砂粒度用的标准筛, 并比照测定原砂粒度的方法测定。热

(20070516)