

# 减少湿型砂排放的实例分析

Cornelis Grefhorst<sup>1</sup>, Wim Senden<sup>2</sup>, Resat Ilman<sup>2</sup>, Oleg Podobed<sup>1</sup>, Vic Lafay<sup>1</sup>, W. Tilch<sup>3</sup>

(1. S&B 工业矿产股份有限公司, 德国; 2. Componenta Foundry Heerlen, 荷兰;

3. 德国弗莱贝格 (Freiberg) 矿山大学, 德国)

**摘要:** 试验研究了膨润土粘结剂型砂 (湿型砂) 造型用煤粉的无机替代物, 即煤粉替代物的开发, 及其在铸造生产厂的实际应用。结果表明: 采用不含煤粉的湿型砂体系, 铸件质量稳定, 有利于节能减排。

**关键词:** 湿型砂; 煤粉; 煤粉替代物; 排放

中图分类号: TG221 文献标识码: B 文章编号: 1001-4977 (2010) 12-1251-05

## Reduction of Greensand Emissions Case Study

Cornelis Grefhorst<sup>1</sup>, Wim Senden<sup>2</sup>, Resat Ilman<sup>2</sup>, Oleg Podobed<sup>1</sup>, Vic Lafay<sup>1</sup>, W. Tilch<sup>3</sup>

(1. S&B Industrial Minerals, Germany; 2. Componenta Foundry Heerlen, Netherlands;

3. University of Bergakademie Freiberg, Germany)

**Abstract:** This paper describes the development of an inorganic alternative to coal or coal replacement for bentonite bonded molds (greensand molding) and the realization in an operating foundry. The result show that the coal free green sand system was adopted, and this contributes to raw material, waste, energy reduction and improvement of working and environmental situations.

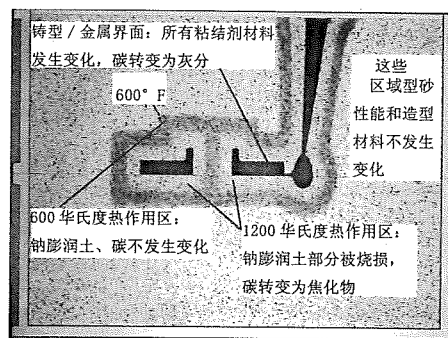
**Key words:** green sand; coal; coal replacement; emission

在欧共体基金第5框架计划 (2000-2004) 中, GO-APIC (Greensand without organic additives for the production of iron castings, 用于生产铸铁件的不含有机附加物的湿型砂) 项目是研究不含有机添加物的湿型砂体系, 这已于2004年在伊斯坦布尔召开的世界铸造会议上发表过<sup>[1]</sup>。2004年, S&B工业矿产股份有限公司 (S&B Industrial Minerals) 与德国弗莱贝格 (Freiberg) 矿山大学和波兰克拉科夫 (Krakow) 市合作启动了这一项目, 使用不含煤粉的型砂系统, 以便最大限度地减少湿型砂排放, 并建立了测试方法来评价相应测试过程相关参数的变化。

膨润土 (粘土) 砂型原则上应是无机粘结剂体系, 不产生有机物排放。粘土在铸造过程中仅部分烧损, 大部分粘土 (超过90%) 仍可重新再用作无机粘结剂 (见图1)。

铸造厂常常在湿型砂中添加煤粉, 有时也添加烃类树脂, 以提高铸件表面质量, 减少铸造缺陷, 并使铸件在落砂过程中易与型砂分离。在铸造过程中, 当使用含有煤粉的型砂时, 在熔融金属液浇入铸型后, 由于不完全燃烧以及焦化反应, 铸型会产生和排放出有害物, 对铸造工人的健康和周围环境产生不良影响。这些有害物包括释放出来的芳香族化合物、苯、一氧

化碳, 以及废物污染, 从而限制了型砂的回用。通常, 粘结剂 (膨润土) 与碳质添加物的比例为25%~75%。



(600 °F=315 °C, 1 200 °F=650 °C)

图1 碳转化为焦化物的过程, 排放出一氧化碳, 并可使产品报废  
Fig. 1 The conversion of carbon to coking materials courses of cracking products and carbon monoxide

## 1 开发不含煤粉的湿型砂

不含煤粉的湿型砂并不是完全不含有有机物的湿型砂。必须认识到: 在铸造过程中, 含有有机粘结剂的芯砂会混在湿型砂中。实际上, 由于粘土砂型的吸收作用, 这些有机粘结剂释放出的气体和气味是可以容忍的, 许多文献对此进行了评述。令人欣慰的是, 现在铸造生产中出现了不含碳质成分的湿型砂系统。这

收稿日期: 2010-09-26。

作者简介: Cornelis Grefhorst (1954-), 男, 工程师, 主要从事造型材料的研究工作。E-mail: c.grefhorst@sandb.com

种湿型砂所含矿物不会散发出产生光亮碳的有机挥发物（光亮碳是金属铸造过程中从过饱和含碳化合物的热气氛中析出石墨，附着在湿型砂铸型表面上）。如果去除型砂中的光亮碳和煤粉，型砂的膨胀、塑性及形成焦炭残留将会在铸件表面上产生粘砂，影响铸件的质量。

在GO-APIC项目中，对几种具有前景的无机煤粉替代物进行了试验。加入湿型砂中的大多数成分会降低湿型砂砂型的力学性能。研究得出：在加工后的膨润土中加入足量的石墨获得了一种新型膨润土粘结剂材料，并联合加入一种特殊的天然沸石来代替铸造过程想要得到的残留碳成分。如果铸造厂有其他不同的落砂需求（这取决于特殊的铸造应用场合），还可以加入特殊的添加物或使用另外不同的膨润土。所研制矿物混合物的试验证明：湿型砂中不含碳质添加物并不会改变球墨铸铁件的组织结构。这种湿型砂系统已于2007年5月和2008年12月期间在Componeta公司的铸造厂进行了优化，并获得了实际应用。

## 2 生产条件

Componeta Heerlen 铸造厂的HWS（Hans W. Schmidt GmbH & CO. KG）湿型砂生产线上铸型尺寸为860 mm×630 mm×（330/330）mm，铸型重量大约580 kg，浇注铁液重量约120 kg。此生产线每小时生产铸型130型。混制型砂的新砂加入量取决于铸造过程中砂芯的用量。Componeta Heerlen铸造厂的湿型砂每班次（8 h）进行一个半循环。生产的典型铸件产品是液压件、轮毂和变速箱体。他们将传统的光亮碳预混合物产品替换为S&B研制的产品，以最大限度地减少传统预混合物产品对环境的影响，改善工厂的工作环境。S&B的这一产品的商业名称为ENVIBOND®。

## 3 试验过程及结果

### 3.1 加入ENVIBOND®后型砂的性能

Componeta公司最初使用的型砂组成是膨润土

混合物，即50%光亮碳形成物和50%纯膨润土，从两个加料筒分别将它们加入至同一混砂机中，混合成的混合物为含22%光亮碳形成物和78%膨润土。由于两种成分预混，只需要一个加料筒，另外一个加料筒用于加入ENVIBOND®产品。设计的加入方案是，将ENVIBOND®产品从10%开始加，然后每个月再增加10%，在每个阶段开始加入ENVIBOND®产品之前采集湿型砂的全部工艺参数。在铸造厂的不同位置进行排放测试，这些测试位置包括铸件生产区及落砂区。完成了多项排放测试，以便获得加入ENVIBOND®产品后，每个阶段的对比结果。

在系列生产试验初期，湿型砂的灼减量为5%，有效粘土约为8.5%。在ENVIBOND®产品加入至100%的过程中，灼减量降低至2.5%，如图2所示。残余的灼减量是由石墨、膨润土灼减量和残留芯砂粘结剂产生的。剩余总有机碳为1.0%。

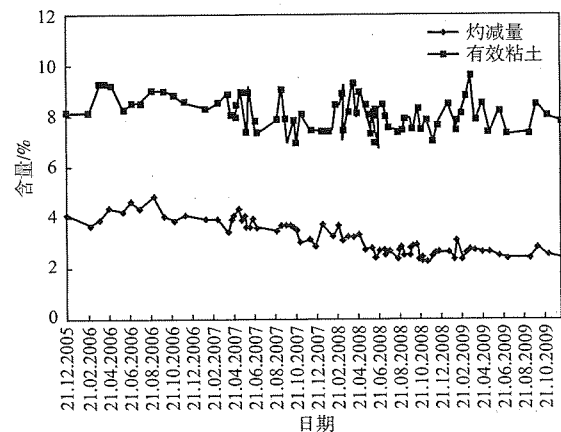


图2 在ENVIBOND®产品加入至100%的过程中，灼减量及有效粘土含量  
Fig. 2 The lol and active clay content during the process of ENVIBOND® was added to 100%

将不含煤粉的湿型砂样品先储存起来，储存的湿型砂添加0.2%的水分，用实验室混砂机进行混制，然后与每个试验阶段的型砂砂样同时进行检测。表1为其测试结果对比，从表1中可以看出含较少煤粉的湿型砂的性能稍有不同。

表1 湿型砂的性能对比

Table 1 Properties comparison of green sand

	砂样重量/g	紧实率/(100 N/cm <sup>2</sup> )	含水量/%	湿压强度/(N·cm <sup>2</sup> )	湿拉强度/(N·cm <sup>2</sup> )	干压强度/(N·cm <sup>2</sup> )	干拉强度/(N·cm <sup>2</sup> )
2007年	143.0	41.4	3.4	17.4	3.2	40.7	0.29
2008年	142.5	41.2	3.6	17.1	2.9	47.0	0.30
变化率%	-0.3	-0.5	5.6	-1.7	-7.8	15.5	2.40
	透气性	破碎指数/%	Orlov流动性/%	2 min后的磨耗量/%	5 min后的磨耗量/%	塑性/mm	湿剪强度/(N·cm <sup>2</sup> )
2007年	153	77.5	79.9	3.65	24.3	0.37	5.36
2008年	158	77.9	76.2	2.68	20.0	0.39	5.49
变化率%	3.3	0.5	-4.6	-26.6	-17.7	5.40	2.40

可以预料到：湿型砂不含煤粉或碳质成分将对湿型砂的高温性能和冷却降温时的性能产生影响，对于

“落砂”（将型砂与铸件分离），重要的是型砂的热压强度，表2是试验结果的对比。可见，新制备的铸型在温

表2 湿型砂的高温性能

Table 2 High temperature properties of greensand

紧实率 /%	含水量 /%	试样重量 /g	湿压强度 /(N·cm <sup>-2</sup> )	热压强度 /(N·cm <sup>-2</sup> )				热剪强度 /(N·cm <sup>-2</sup> )			膨胀量 /mm			加热过程中的应力 /(N·cm <sup>-2</sup> )		
				150 °C	350 °C	550 °C	750 °C	加热	加热	加热	加热	加热	加热	加热		
				/3 h	/1.5 h	/45 min	/30 min	15 s	60 s	30 s	60 s	180 s	30 s	60 s	最大值	
2007年	41.0	3.38	143	17.7	38.7	21.0	21.0	14.9	2.3	3.7	0.15	0.33	0.60	9.22	18.3	22.9
2008年	40.9	3.45	143	16.6	38.1	28.3	28.3	14.9	2.1	4.7	0.17	0.33	0.58	9.09	20.8	26.7
变化率/%	-0.2	2.10	0	-6.2	-1.6	34.8	34.8	0	-8.7	27.0	13.3	0	-3.3	-1.4	13.7	16.6

度达到400 °C时溃散性较好,而当型砂温度超过400 °C时溃散性变差,如图3所示。由于煤粉在较高温度时会发生反应,所以这点是不难理解的。在Componenta公司的铸造厂,发现了型砂落砂性能的这些差别,但并没有产生严重问题。

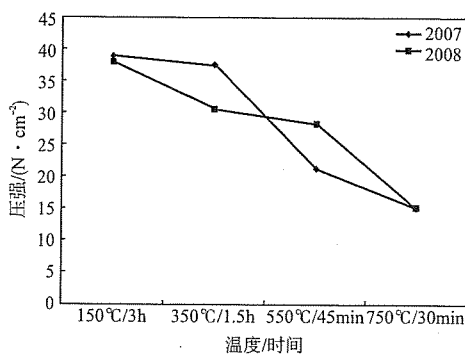
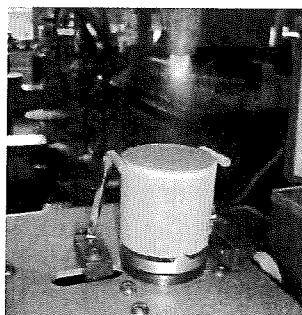


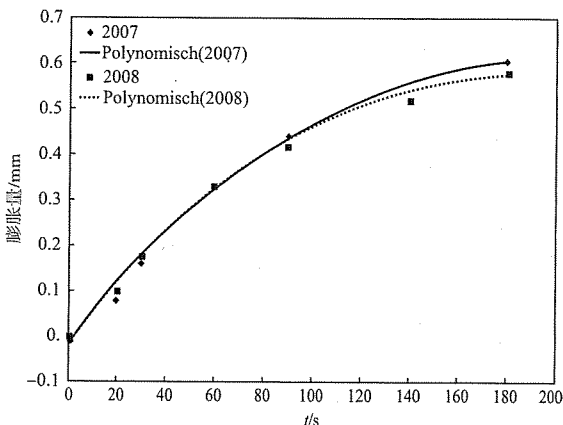
图3 2007年和2008年湿型砂的热压强度对比

Fig. 3 The composition of compressive strength in 2007 and 2008

测试了湿型砂在火焰加热过程中的膨胀和应力,如图4<sup>[2]</sup>、5所示。加入ENVIBOND<sup>®</sup>后的湿型砂与传统



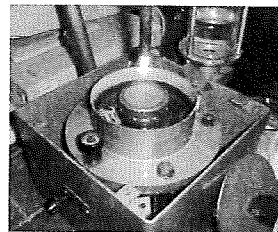
(a) 测试湿型砂在火焰加热过程中的膨胀的设备



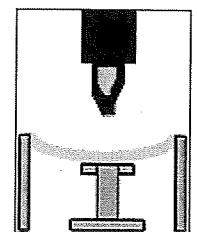
(b) 膨胀曲线

图4 2007年和2008年湿型砂的膨胀曲线

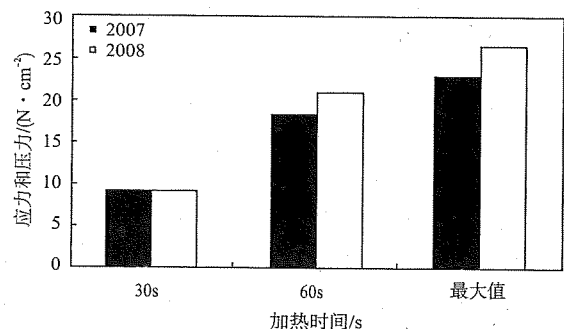
Fig. 4 The dilatation curves of green sand 2007 and 2008



(a) 湿型砂应力检测装置



(b) 应力检测示意图



(c) 湿型砂的应力检测对比

图5 火焰加热过程中已被加热的圆块湿型砂的应力检测

Fig. 5 The measurement of the stress from a heated greensand plate during flame heating

湿型砂相比,其膨胀量没有变化。传统湿型砂中的应力<sup>[3]</sup>,即封住湿型砂使之不能移动所需的压力较小,加入ENVIBOND<sup>®</sup>后由于加入了更多的石墨(获得更高的紧实度)<sup>[4]</sup>,在铸造过程中没有火焰和氧气,所以两类型砂对铸型膨胀和应力方面的影响不大,完全不含煤粉使型砂应力稍有增加。

在Componenta公司,使用100%不含煤粉的湿型砂后,发现了更多的夹砂结疤缺陷,通过使用改良膨润土解决了这一问题。也许由于只需较低的水分,铸型的紧实更加均匀,完全消除了灰铸铁产生渗透粘砂缺陷的倾向。

### 3.2 加入ENVIBOND<sup>®</sup>后的排放量

图6所示为Componenta公司的湿型砂排放来源,铸型(580 kg湿型砂,24 kg芯砂)在加入50%ENVIBOND<sup>®</sup>前后的排放物对比,Componenta公司在聚氨酯冷芯盒工艺中使用的粘结剂含量很低,含0.4%组分1和0.4%组分2,这对排放也起到有利作用。通过计算湿型砂中的有机挥发物量,得出形成光亮碳的挥发性有机物成分(VOC)含量为73%,光亮碳形成物从每型0.19%降低至0.09%,湿型砂的排放量减少了38%,由709 g减少到437 g。随后,Componenta公司使用了100%的ENVIBOND<sup>®</sup>型砂。

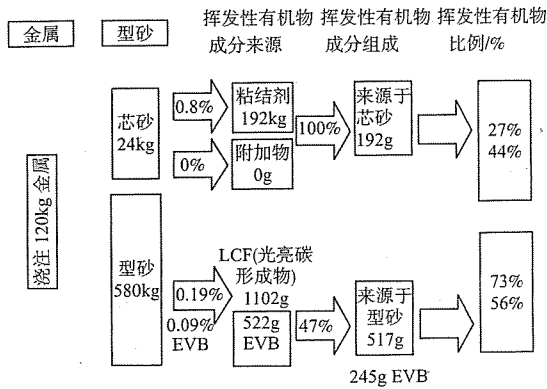


图6 含有光亮碳形成物的湿型砂和芯砂粘结剂的主要排放物来源总述  
Fig. 6 An overview of the main emission contributors LCP greensand and core binder

为了比较含煤粉和不含煤粉湿型砂体系的铸造排放，必须尽可能地使型砂体系在加入不含煤粉湿型砂之前和加入后的工艺条件保持严格一致。在这一测试中，检测的是一个无砂芯的铸件，而且它经常应用于生产中。图7是测试排放的示意图，测试的是200 g湿型砂3锤紧实标准砂样，浇入1 400 °C的铁液。所有气体只能通过金属管逸出。BTEX（苯、甲苯、乙苯和二甲苯）吸收于吸附剂（木炭）中，测试结果如表3（测试的排放值取最差时的值）。从表3中可以看出，加入不含煤粉的ENVIBOND®后，气体体积减少20%，降低苯排放量约40%（气体也包含无机挥发物）。

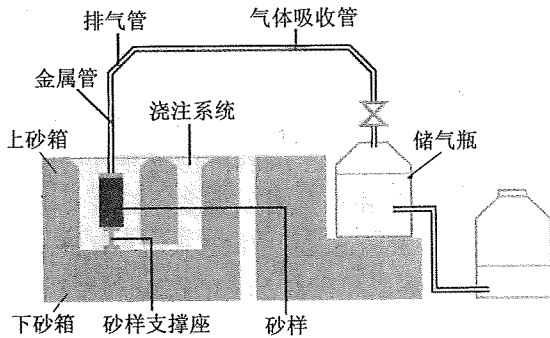


图7 试验中气体形成及排放的示意图  
Fig. 7 Pilot casting and measurement of BTEX and gas volume

所测砂样被瞬间加热，湿型砂表面温度达到1 400 °C，中心温度升得相对较慢，升至900 °C。在这种情况下，砂样的所有型砂均经历了温度区间400~900 °C，排放出大部分挥发物，而未被金属液包围的型砂仍保持为冷砂。这意味着所测排放值不能作为铸造排放量，它们之间的差异表明苯排放量减少了38%。铸造过程

表4 铸造中两个环节（浇注/冷却、落砂）的BTEX（苯、甲苯、乙苯、二甲苯）和气体排放

Table 4 BTEX and odor emissions at two foundry locations pouring/cooling and shake out

	浇注冷却环节			落砂环节			浇注冷却环节排放的OU值			落砂环节排放的OU值		
	苯	甲苯	二甲苯	苯	甲苯	二甲苯	第1次测试	第2次测试	第3次测试	第1次测试	第2次测试	第3次测试
2007年	100	53	40	67	67	67	1 814	3 058	2 362	6 232	4 492	16 483
2008年	60	0	0	53	67	0	1 986	3 087	534	3 883	1 825	1 536

铸件90 kg, 每小时43型 设定苯为100  
气体排放倾向相同  
气体排放倾向较小

表3 2007年和2008年测试铸造过程中的气体排放量

Table 3 Gas emission in testing of 2007 and 2008

时间	砂样重量 /g	气体体积 /(dm <sup>3</sup> ·kg <sup>-1</sup> )	每公斤湿型砂气体排放量/mg			
			苯	甲苯	乙苯	二甲苯
2008年	191.29	20.91	141.15	16.73	0.52	3.66
2008年	191.13	20.93	116.15	14.13	0.52	3.14
2008年平均	-	20.92	128.65	15.43	0.52	3.40
2007年	189.32	25.35	206.53	28.52	1.58	7.92
2007年	191.70	25.04	206.57	22.95	0.52	5.74
2007年平均	-	25.20	206.55	25.74	1.05	6.83

中较低的发气量对于铸件质量是有利的。更重要的是气体析出率，即 $dv/dt$ ，不含煤粉的ENVIBOND®型砂的气体析出率为0.5 cm<sup>3</sup>/g·s，而煤粉砂的气体析出率为0.88 cm<sup>3</sup>/g·s，如图8所示。

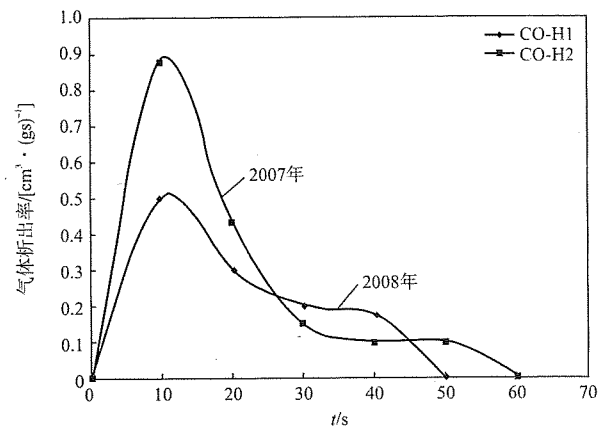


图8 加入ENVIBOND®产品前后湿型砂的气体析出率  
Fig. 8 Gas volume before and after coal less (ENVIBOND®)

在试验过程中还发现了苯排放和湿型砂苯含量之间的关系。苯排放量在110~210 mg/kg时湿型砂中苯含量在1 mg/kg以下，说明湿型砂吸收苯的量非常有限。

测试了铸造过程中浇注-冷却环节（PC-Line）和落砂环节中的BTX（苯、甲苯和二甲苯）及气体排放（OU值），见表4所示。在规定的试验程序中，浇注90 kg铁液，20 min内采集不含芯砂的型砂样品3次，重新计算每次浇注铸型的排放量。砂芯粘结剂在湿型砂中聚集会影响气体排放量，而且整个装置对气体具有滞留作用（所有管道会被灰尘和聚集物污染），这意味着OU值与BTX值相比更不准确。

## 4 铸件质量

观察发现，Componenta Heerlen铸造厂使用不含煤

粉的湿型砂体系生产的铸件表面质量与以前没有差别。在替代50%的煤粉砂后,铸件表面的粘砂缺陷增加,通过使用较少量的膨润土预混合物来进行弥补,减少铸件的粘砂缺陷。当替代超过70%的煤粉砂时,在铸

锭中或者铸型底部会产生应力裂纹倾向,通过使用更多生铁及更高活化级别的膨润土,解决了这一问题。在完全采用不含煤粉的湿型砂体系后,消除了灰铸铁件的渗透粘砂缺陷,如图9所示。

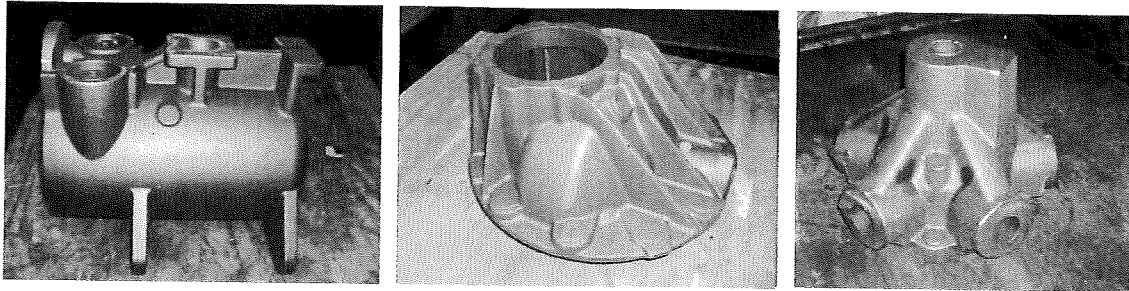


图9 不含煤粉湿型砂生产的铸件  
Fig.9 The castings made in coal free greensand

## 5 结束语

在一年半时间内,基于GO-APIC项目(并进一步发展成为了S&B项目)研制出的ENVIBOND®产品,Componenta铸造厂经过多步从传统的湿型砂体系转变成不含煤粉的型砂体系,没有增加铸造缺陷的比例。观察发现,产生应力(夹砂结疤)缺陷的倾向增大,而产生渗透粘砂缺陷的倾向减小;苯排放量减少了40%,气体排放量具有更低的值(未进行统计验证),尤其是在铸造厂的冷却线上,烟尘明显减少了。

采用不含煤粉的湿型砂体系有利于节能减排,并改善工作条件及环境状况,而且在输送预混合物,储存和处理ENVIBOND®产品或者其粉状成分时,因不含危险成分,含少量煤粉的预混合物产品不会由于煤粉的自氧化及潜在爆炸可能性而产生自热,所以在安全方面是有利的。

不含煤粉湿型砂对比传统湿型砂的科学发现:

- (1) 湿型砂性能基本上没有变化,不含煤粉湿型砂具有更好的易碎性;
- (2) 膨胀曲线没有变化;
- (3) 型砂溃散性有微小变化,在低温时,不含煤粉湿型砂溃散性更好,而在高温时,则要差一些;
- (4) 在高温时的加热过程中产生更大的应力;
- (5) 湿型砂吸收苯的量很少;

(6) 气体析出量从 $0.88 \text{ cm}^3$ 减少至 $0.50 \text{ cm}^3$ ;

(7) 不含煤粉湿型砂产生气体排放倾向很小,由于芯砂粘结剂的残留作用和系统污染,此方面未作统计性验证;

(8) 苯排放量减少了约40%。

致谢:感谢Componenta Heerlen铸造厂的员工及其管理人员的努力和配合,使采用无煤粉湿型砂体系成为可能。感谢弗莱贝格矿业大学,尤其是Werner Tilch教授的支持,扩大了湿型砂的科学研究范围。感谢经验丰富的铸造工程师Oleg Podobed先生和Vic Lafay先生,在产品开发和创新方面所做的大量工作。

### 参考文献:

- [1] Grethorst Lemkow. Greensand without organic additives for the production of iron castings [C]// Proceedings of the 66th World Foundry Congress, Turkey, 2004: 489-501.
- [2] Dietmar Boenisch. Höhere gussgenauigkeit durch ausdehnungsarme formteile. Untersuchungen mit dem formstoffdilatometer [J]. Giesserei, 1979, 66 (21): 775-787.
- [3] Patterson, Boenisch. Das schulpendiagramm für nassgussande [J]. Giesserei, 1964, 51: 634-641.
- [4] Patterson, Boenisch. Wirkung des kohlenstaubes im nassgussand [J]. Giesserei, 1967, 54: 465-471.

(翻译:向青春;编辑:刘冬梅,ldm@foundryworld.com)