

# 连铸用浸入式水口非纤维隔热

Günther Schrick  
TYK Europe GmbH  
Friedrich-Ebert-Str. 134  
47229 Duisburg  
Germany

Dirk Gotthelf  
Thyssen Krupp Stahl AG Dortmund  
44120 Dortmund  
Germany

Andreas Buhr  
Alcoa World Chemicals  
Olof-Palme-Str. 37  
60439 Frankfurt / Main  
Germany

摘要: 本文介绍了以六铝酸钙微孔隔热材料代替连铸用浸入式水口常用的纤维隔热材料。由于该新型隔热材料更适于工序自动化, 因此它更有利于浸入式水口的生产。这种新型隔热材料具有良好的隔热能力, 并且便于操作。这些正面的试验结果是通过超过 100 个浸入式水口的试用而得出的。与纤维隔热材料相比, 即使在厚度相同的情况下, 新材料的隔热性能有了很大提高。根据这些正面的结果, 微孔隔热材料将用于越来越多的浸入式水口。

## 引文

在连铸过程中, 薄板坯浸入式水口应用于中间包和结晶器之间。为了满足使用中的种种需求, 要不断调整产品的形状和材料的性能。水口的主体采用氧化铝/石墨, 而渣线部位则采用氧化锆和石墨来提高抗保护渣的侵蚀性。浸入式水口用陶瓷材料含大约 30% 的石墨 (见表 1) 从而提高产品的弹性和导热性能, 以避免在浇铸开始时由于热震所导致的裂纹。一般情况下, 为了避免热震对产品造成的损害, 在开始浇铸前要对浸入式水口进行预热。

表 1 浸入式水口用料的典型值

质量分数, %	主要材料	渣线材料	微孔隔热
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	47	<0.5	89
CaO	—	1	10
ZrO <sub>2</sub>	3	76	—
SiO <sub>2</sub>	24	<0.5	<0.5
SiC	—	10	—
游离 C	26	13	—
体积密度 g/cm <sup>3</sup>	2.35	3.48	0.91
显气孔率%	15.0	18.5	62
导热系数 W/mK			
20°C	23.5	13.1	0.43
500°C	15.3	10.5	0.40
1000°C	9.4	9.2	0.38
1400°C	10.7	9.5	0.38

\*化学分析按来样计算 (总数包括碳含量)

由于在预热过程中，浸入式水口用料的高导热性能会导致热量损失，因此需在水口的外部安装隔热材料以降低热量损失。这在从中间包到结晶器传送的过程中尤为重要。通常这一传送过程的时间约为 5 分钟。

现在连铸用浸入式水口通常采用陶瓷纤维材料作为隔热材料。近来，人们正在为用非纤维隔热材料替代纤维隔热材料而努力，目的是为了提高隔热性能，使其更适于工序自动化。本文是根据该新型高温隔热材料在德国多特蒙德 Thyssen Krupp Stahl AG 公司试用的结果而得出的结论。

### 微孔材料

Perich<sup>[1]</sup> 和 Morikawa 等人<sup>[2]</sup> 报道了浸入式水口用非纤维隔热材料。他们在论文中介绍了  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$  化合物基隔热材料。在起泡后将该材料喷射于浸入式水口上。起泡对于获得隔热所需的气孔率十分重要。与本文中所提到的试验产品相比，试验用新型多孔原材料能够在使用温度下直接提供所需的保温性能。

试验用保温原材料 SLA-92 含 92%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 。另外一种主要的化学成分为氧化钙，含量为 7%-8%。从矿物学的角度来看，这种原材料由六铝酸钙 ( $\text{CaO} \cdot 6\text{Al}_2\text{O}_3$  或者  $\text{CA}_6$ ) 组成，杂质含量很低，例如， $\text{SiO}_2$  和  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  的含量低于 1%。由于耐火度为  $1500^\circ\text{C}$ ，因此  $\text{CA}_6$  的熔点高于  $1850^\circ\text{C}$ 。该原料的体积密度约为  $0.75\text{g/cm}^3$ 。

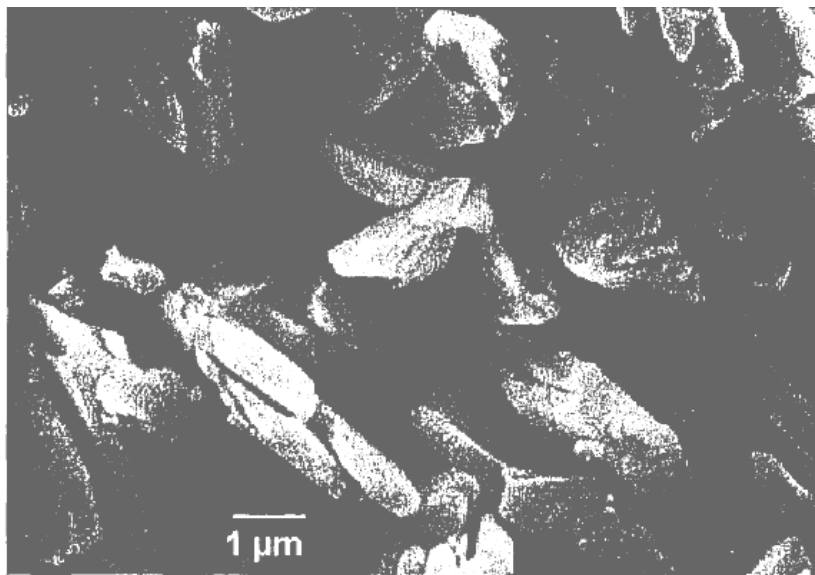


图 1 通过 SEM 显微照片所显示的 SLA-92 的断面区

SLA-92 的一个重要性能在于它的结构。图 1 显示了  $\text{CA}_6$  晶体的自锁式片状结构。晶体间的自由距离使得这一微孔结构的典型开气孔率为 75%，孔径分布范围较窄，气孔直径为  $3\text{-}4\ \mu\text{m}$  (如图 2)。与传统的隔热原料相比，微孔结构导致了产品具有两个本质的性能：

1. 微孔减少了热量的散失，从而降低了材料的导热性能，尤其是在高于  $1000^\circ\text{C}$  的

温度下。这种新型的隔热材料在高于 1000℃ 下导热系数的典型值为 0.4W/mK。

- 总体来说，由于热梯度斜度大，隔热材料只表现轻微的抗热震性。Van Garsel 等人<sup>[5,6]</sup>的研究表明，与传统的隔热材料（除纤维材料）比较，微孔可以阻止 SLA-92 由于热震所导致的裂纹形成过程。

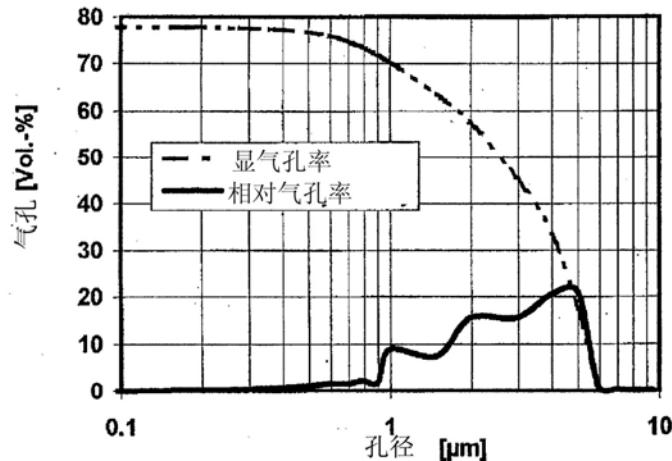


图 2 SLA-92 微孔孔径分布(压汞法)<sup>[5]</sup>

### 制备非纤维隔热材料

将 SLA-92 和铝酸钙水泥加水（见表 1）混合，加入的水（70-90%）控制着隔热混合料的稠度和施工性能。喷涂与自动生产程序相匹配。这一过程可以考虑形状和特殊操作条件，例如：在不同的位置采用不同厚度的隔热层。此外，在喷涂过程中，为了避免热应力，可以在舷窗里采用隔热材料（如图 3）。

在预热到 400℃ 时，水泥结合的水释放了。这些水可能会引起浸入式水口材料中碳的氧化。为了更好的避免氧化，在浸入式水口和隔热层之间通过喷涂制备单独的玻璃层。这个中间层的另一个性能是在高于 700℃ 时发挥结合作用。

### 工业试验

图 4 所示为多特蒙德 Thyssen Krupp Stahl AG 公司对长塞棒和浸入式水口的安装情况。在熔池区域，浸入式水口在安装时采用氧化锆/石墨作为渣线的材料。连铸过程中，中间包沿固定的位置周期性移动，由保护渣所导致的侵蚀分散在这个区域内（如图 4）。通过这些手段，浸入式水口的耐用性提高到了 10 小时。

图 5 所示为多特蒙德的预热设备。预热时间约为 120 分钟。然后中间包运输车会将中间包运送到铸造位置。这段时间大约有四五分钟，然后开始连铸，浸入式水口没有被预热。

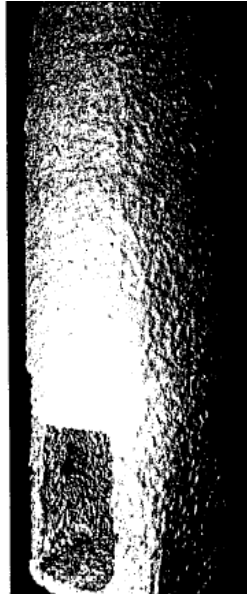


图3 经微孔隔热材料喷涂后的浸入式水口

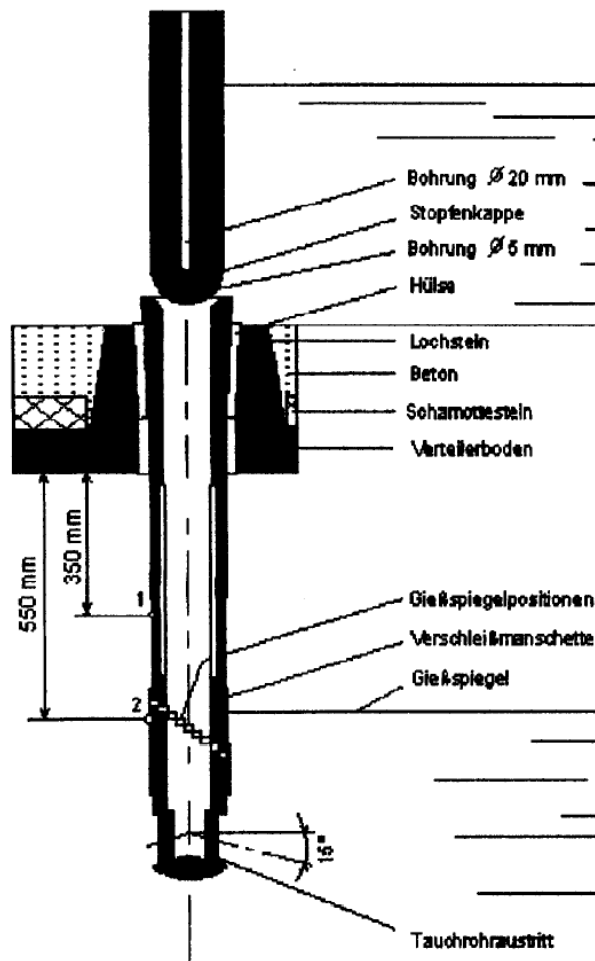


图4 中间包中整体塞棒和浸入式水口的布置

1 和 2 表示接触温度计的测温点

如果浸入式水口的温度下降太多，在 900-1100℃ 范围内，渣线材料中的  $ZrO_2$  的晶体结构从四方变为单斜，这个阶段非常重要。这种晶体结构的变化会导致体积增大 9%<sup>[7]</sup>，以及浸入式水口中产生裂纹。因此，在开始连铸之前的这段时间内需要采用一种合适的隔热材料。通过测量表面下 10mm 处的温度，Morikawa 等人发现了在浸入式水口外采用和不采用隔热材料，其冷却速度有很大差异。不采用隔热材料的，在 3 分钟内从 1000℃ 冷却到 800℃ 以下。采用 6mm 厚的纤维隔热材料，要冷却到同样的温度需要 12 分钟。

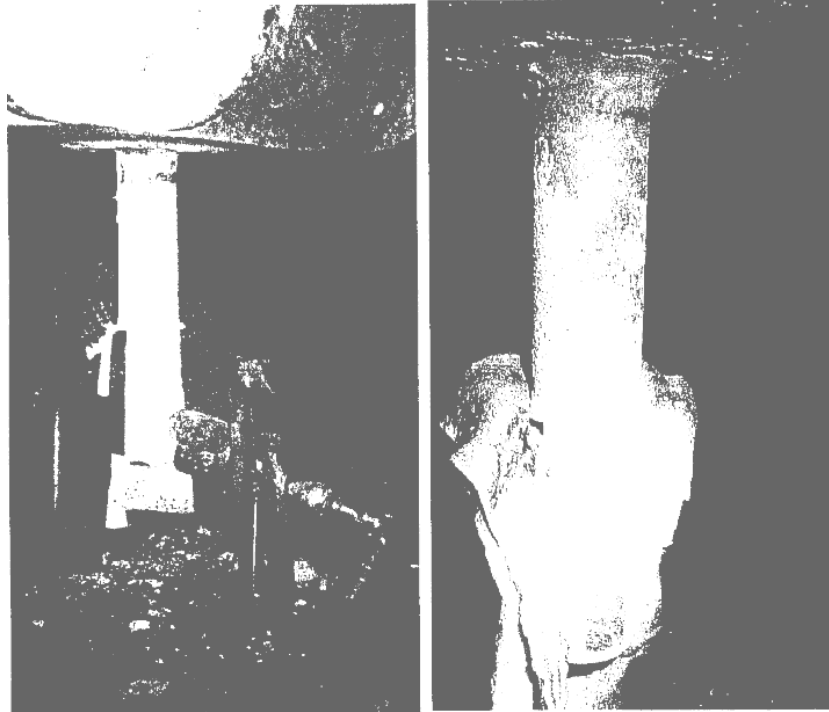


图 5 浸入式水口预热设备，带有微孔隔热（右）

对这种微孔隔热材料进行了两项试验。在双流连铸机上，其中一个采用试验材料，另外一个采用标准纤维隔热材料。浸入式水口的主体部分厚度为 22mm，渣线厚度为 27mm。喷涂层的厚度为 1-3mm。纤维隔热层的第一次试验厚度为 3mm，第二次为 6mm。在第一次试验时，使用接触温度计测量浸入式水口从预热到连铸时的外部温度。测温点的位置如图 4 所示。在第二次试验时，使用由 Flir Systems type Agema System 470 扫描器组成的热扫描器。

两次试验的结果见表 2。将相同厚度的隔热层进行比较，采用微孔隔热材料的浸入式水口的外部温度比采用纤维隔热材料的浸入式水口在预热时低约 30-50℃，在连铸时低约 220℃。连铸过程中的试验结果表明，微孔隔热材料在高温下性能更好。与两倍厚度（6mm）的纤维隔热材料比较，两种材料在预热和连铸过程中的温度十分接近。

表 2 使用微孔隔热材料和纤维隔热材料的不同外部温度

试验 1: (测温点, 见图 4)	预热开始后的时间 min	微孔隔热材料 1-3mm	纤维隔热材料 3mm
1(主体)	120	480	530
2(渣线)	120	550	580
1(主体)	190 (连铸过程中)	750	970
试验 2: (热扫描器, 见图 6 和图 7)		微孔隔热材料 1-3mm	纤维隔热材料 6mm
	115	349-496*	264-466*
	135 (连铸过程中)	496-765*	496-773*

\*沿测温线测量 (如图 6 和图 7)

预热过程中, 微孔喷涂料的温度分布更均匀。

试验表明与纤维隔热材料相比, 新型微孔喷涂料具有更好的隔热性能。使用两倍厚度的纤维隔热材料与使用微孔隔热材料达到的隔热效果类似。

### 前景展望

由于上述提到的种种正面效果, 因此微孔隔热材料用于浸入式水口的数量大幅增加。在钢厂对水口的喷涂操作不存在问题, 但是一旦浸入式水口被水平放下来进行中间包的整修, 建议在中间包的下部使用一种软材料以避免对隔热层的损坏。现在大家正在研究改进结合剂从而提高喷涂料的强度。

这种微孔材料的高耐火度和隔热性能使其同样能够应用于炼钢的其它环节。

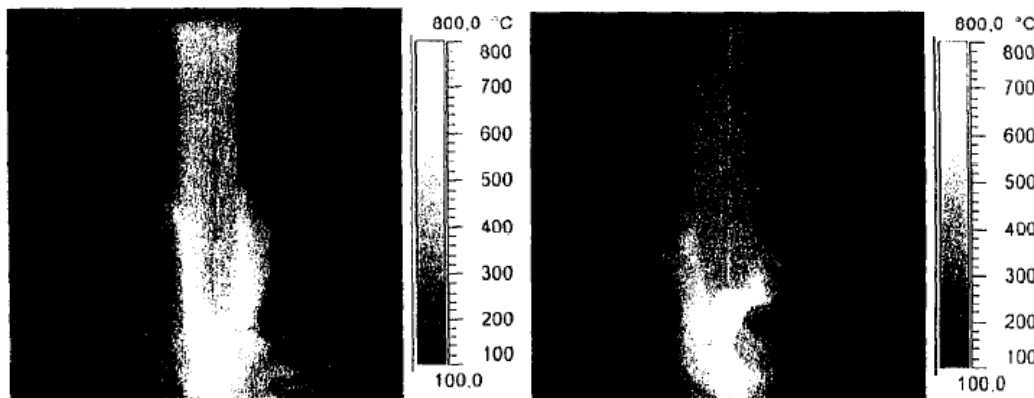


图 6: 预热过程中对使用微孔材料的浸入式水口 (1-3mm) (左) 和使用纤维隔热材料的浸入式水口 (6mm)

的热扫描

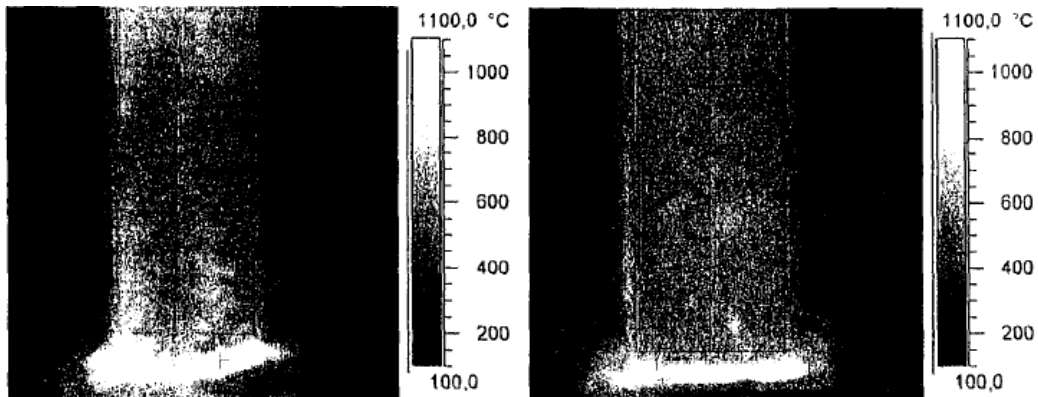


图7 连铸过程中对使用微孔材料的浸入式水口（1-3mm）（左）和使用纤维隔热材料的浸入式水口（6mm）

的热扫描

参考文献:

- 1) Perich, R.M.: Spray Insulating Coating for Refractory Articles, UNITECR'97 Proc. Vol1, New Orleans, 1997, 287-293
- 2) Morikawa, K.; Kawabe, H.; Ohtsuka, K.; Yamato, T.: Fibre-Free Sprayable Foaming Insulation Coat for Continuous Casting Nozzles, Taikabutsu 52 (4), 189-196 (2000) jp.3)
- 3) Schulle, W.: Feuerfeste Werkstoffe, Dt. Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1990
- 4) Schulle, W.; Melzer, D.: Wärmedämmung bei hohen Temperaturen - Möglichkeiten mikroporöser Baustoffe, Stahl und Eisen 119 (1999), Nr. 1, 55-58
- 5) Van Garsel, D.; Gnauck, V.; Kriechbaum, G.W.; Stinneßen, I.; Swansinger, T.G.; Routschka, G.: New Insulating Raw Materials for High Temperature Applications, Proc. 41 International Colloquium on Refractories Aachen 1998, 122-128
- 6) Van Garsel, D.; Buhr, A.; Gnauck, V.: Long Term High Temperature Stability of Microporous Calcium Hexaluminate Based Insulating Materials, Proc. UNITECR'99, Berlin, 181-186
- 7) Granitzki, K.E.; Krönert, W.; Müller, E.: Feuerfeste Stoffe im Gießereibetrieb, 2.Auflage, Gießerei-Verlag GmbH, Düsseldorf