

# 连铸保护渣熔化析晶过程序列统计分析

## 一、背景介绍

保护渣工作环境是在连铸工艺中称之为“心脏”的结晶器内，主要冶金功能是绝热保温、防止二次氧化、控制传热、润滑铸坯和吸收非金属夹杂物。保护渣能否较好的发挥其冶金功能，主要取决于其理化性能是否合理。理化性能的好与坏直接关系到铸坯表面质量及连铸工艺是否顺行。

当将连铸保护渣添加到结晶器内钢液面上之后，连铸保护渣就开始了其“一生”的热历程。首先这些固态渣样在钢液面上堆积形成粉渣层，能够防止钢水温降过大造成钢液面结壳；随后，连铸保护渣的温度会逐渐升高，直至达到熔化温度，此时保护渣形成熔融层，配制保护渣的各种原料之间通过发生化学反应生成低熔点物质形成液渣，而成分也会发生一定程度的变化，这个过程被称为熔化行为。当连铸保护渣熔化完全后会形成液渣层，覆盖在钢液面上，随着液渣从钢液面上的熔渣池流入新生坯壳和结晶器铜壁的间隙形成渣膜，靠近铸坯一侧的液渣在铸坯表面高温的作用下，仍然保持液渣状态，但液渣温度在结晶器纵向会随着铸坯表面温度的降低而降低。而靠近结晶器铜壁一侧的渣膜在结晶器的强冷作用下急冷凝固形成玻璃态固渣膜（渣膜的凝固行为），而渣膜上的某个位点在合适的条件下会结晶形成结晶层（渣膜的结晶行为），最终形成典型的3层渣膜结构：玻璃层、结晶层和液渣层。这个过程就是连铸保护渣的凝固结晶行为。



图1 SHTT II 型熔化结晶温度测试仪

保护渣对结晶器传热的影响主要通过结晶层实现，而对钢坯的润滑作用同样受到保护渣相态影响，一般来讲，液态层润滑效果最好，玻璃层次之，过早

结晶或者结晶层太厚都会影响润滑效果。因此研究保护渣在结晶器壁和凝固坯壳之间的空隙的相态分布十分重要。但在实际的连铸生产过程中，由于结晶器内高温、瞬态流体流动、各种复杂相变和化学反应，加之结晶器壁不透明等因素，很难直接观察保护渣相态变化。目前，多采用SHTT II型熔化结晶温度测试仪（见图1）观察保护渣的析晶过程，获取保护渣结晶温度、结晶率和时间三者的关系，为设计出满足钢种凝固要求的保护渣提供基础。

实验过程如下所示：

（1）将30g脱碳后的保护渣进行研磨，粒度为200目，取其2-3mg研磨后的试样放置于热电偶接点部位，持续升温至1500℃，此时保护渣逐渐由固态熔化为液态。

（2）使液态保护渣保温30s，之后渣样在50℃/s的速度下冷却，在降温过程中原位观察渣池中晶体的变化，此时逐渐有晶体析出。并且记录不同升温速率下发生脱玻化温度，及降温时开始析晶时间、结束析晶时间。

（3）在降温至室温的过程中，通过可视化界面的图像分析软件观察渣池中的保护渣，确定此时渣池中完全凝固后，实验结束。

## 二、建模题目

保护渣熔化结晶过程的节点图像如下所示。

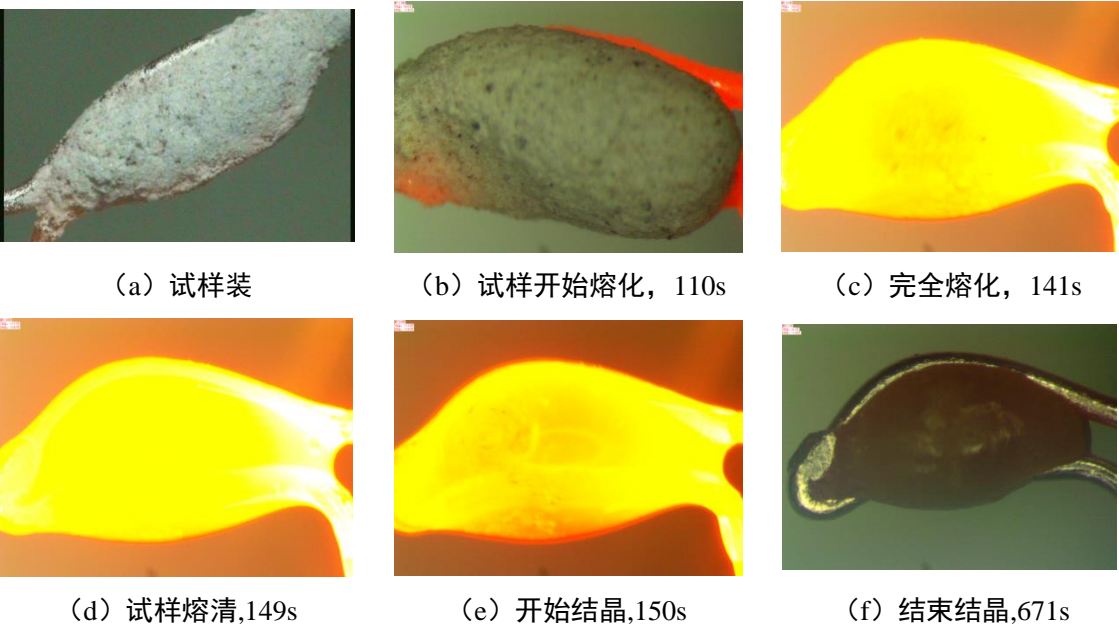


图2 保护渣熔化结晶过程

图2中的6个图像即为保护渣熔化结晶过程序列图像中的6种物理变化节点

处的视觉效果。

上述实验过程中每1秒产生1张图像，每组实验进行时间约为700s，相邻图像间产生的动态差异累积即为保护渣熔化结晶过程。实验人员仅关注6个节点对应的时间和温度变化曲线而忽略大量的过程信息，导致绝大多数的有效信息被雪藏，未发挥其潜能。此外，设备本身有自主知识产权的隐私保护，无法自动获取每1张图像对应的时刻与温度，只能实验结束后，靠肉眼识别关键节点图像，依此打开图像，记录图像左上角的信息，以指导设计出满足钢种凝固要求的保护渣。浪费了大量人力，也为实验过程信息的进一步开发造成障碍。

保护渣熔化结晶过程序列图像见附件1，附件1中有562张序列图像，这些图像是实验开始后第110秒至第671秒过程中采集的，文件名序号即为采集时刻序列，每隔1s采集1张图像。附件1中数字图像呈现的信息见图2，每张图像左上角标记着图像对应的时间、1#丝与2#丝的温度值。

为实现保护渣熔化结晶过程序列图像自动识别与性能预测，请完成如下3个问题。

**第一问：**采用图像分割与识别的技术或其他技术，自动提取每1张图像左上角的1#丝温度，并将其自动导入附件2中对应表格里，并制作温度与时间关系曲线图（1#丝温度与时间的关系图、平均温度与时间的关系图）。

建议方法：使用图像分割算法把图像左上角裁剪后，可以调用python中支持图像识别的第三方库（比如：百度云OCR图像识别，Tesseract-OCR图像识别，微软Azure 图像识别，有道智云文字识别，阿里云图文识别，腾讯OCR文字识别等等方式），这里推荐选择其中一种方式，之后使用 python + pytesseract+Tesseract-OCR来完成图片中的文字识别。

**第二问：**根据图2中6个节点图像，采用数字图像处理技术，研究保护渣熔化结晶过程中相邻序列图像间的动态差异，并量化表征这些差异。在此基础上，研究应用这些量化后的差异特征进行时间序列建模，获取保护渣熔化结晶进度曲线。

**第三问：**考虑温度、时间变化，结合第二问的研究成果，构建数学模型，讨论温度、时间变化与保护渣熔化结晶进度之间的函数关系。