

连铸保护渣

(译文集)



上海浦东钢铁集团

上海浦东钢铁(集团)有限公司

1996.6



责任编辑 戴正安

编辑：上海浦东钢铁(集团)有限公司科技部

印刷：上海崇明晨光印刷厂

发行：上海浦东钢铁(集团)有限公司科技部

邮政编码：200126

电话：021-58839180-3656



目 录

1. 综述连铸结晶器保护渣的要求	(1)
2. 连铸保护渣的性能	(7)
3. 粘结型拉漏机理及连铸结晶器保护渣的新进展	(13)
4. 连铸保护渣的性能及其对表面质量的影响	(20)
5. 高速连铸结晶器保护渣的设计原理	(28)
6. 连铸保护渣熔融特性的改善	(34)
7. 连铸结晶器保护渣的熔化速率	(39)
8. 连铸保护渣的润滑作用	(47)
9. 连铸保护渣的物理性能:第一部分——保护渣化学成份图	(54)
10. 连铸保护渣的物理性能:第二部分——保护渣所形成的渣的矿物结构	(61)
11. 连铸保护渣的物理性能:第三部分——连铸保护渣的热传导率	(68)
12. 结晶器保护渣熔化机理	(78)
13. 钢连铸用保护渣	(85)
14. 液渣和结晶器保护渣有效导热系数的测量	(90)
15. 开发和应用预测连铸过程中结晶保护渣成份的模型	(98)
16. 耐蚀钢连铸保护渣的性能	(108)
17. 不锈钢和钛轴承钢用的结晶器保护渣的改善	(111)
18. 碳钢结晶器保护渣的最佳选择和应用	(117)
19. 新的低碳和超低碳钢板坯连铸结晶器保护渣的特性	(134)
20. 超低碳钢用结晶器保护渣的开发	(143)
21. 印度开发板坯和大方坯连铸保护渣	(150)
22. 中间包保护渣的开发	(157)
23. 碳替代物的研究——超低碳钢结晶器保护渣的开发	(163)
24. 通过结晶分析评估结晶器保护渣的性能	(167)
25. 连铸过程中结晶器保护渣挥发物的研究	(179)
26. 不同保护渣粉末成份对连铸保护渣和连铸操作的影响	(189)
27. 评价连铸保护渣的新测试方法	(199)

综述连铸结晶器保护渣的要求

J. A. Moore, R. J. Phillips, T. R. Gibbs

引言

连铸结晶器保护渣必须满足隔热、避免化学反应、夹杂吸收、润滑和提高通过结晶器的热流均匀性等各种条件。这些性能的相关重要性随浇铸钢种、主要浇铸条件以及最终钢的要求而变化。

图1为使用保护渣的连铸结晶器的示意图。结晶器保护渣由未反应的保护渣层、熔融的液态层和渣层组成。根据特殊保护渣的熔化特性另外还有一层烧结层或半反应层。接近于凝固的钢坯壳在接近水冷结晶器处是伴有固态保护渣膜的液态保护渣。当钢凝固时,坯壳收缩并且在结晶器与保护渣之间形成空气隙。保护渣渣圈或渣绳位于结晶器上部附近。液态保护渣深度正常情况下在8mm与20mm之间变化,保护渣厚度至少为25mm以确保模糊操作。

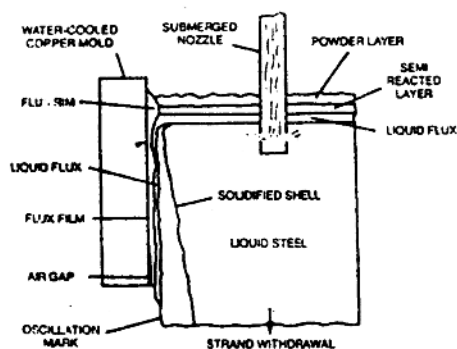


图1. 使用保护渣的连铸结晶器的示意图

结晶器保护渣可分成许多种。最普遍的种类有:

飞灰保护渣——机械混合物,其中飞灰是混合物中最主要成份。由于干飞灰的利用率,限制这种保护渣的生产。

合成保护渣——由高级的切割混合料制成的细粉末原料的机械混合物。

预熔或烧结保护渣——三种保护渣具有相当大的预熔的和规定尺寸的料。

颗粒保护渣——设计成球形或挤制的颗粒,灰尘比粉末状保护渣要少。球形颗粒特别适用于保护渣自动操作。

结晶器保护渣为特殊的钢种和钢厂条件而设计。结晶器保护渣的实际化学成份完全根据所需的性能而变化。典型的范围见表1。

表1. 结晶器保护渣典型化学成份范围

CaO	25-45%	Na ₂ O	1-20%	BaO	0-10%
SiO ₂	20-50%	K ₂ O	0-6%	Li ₂ O	0-4%
Al ₂ O ₃	0-10%	FeO	0-6%	B ₂ O ₃	0-10%
TiO ₂	0-5%	MgO	0-10%	F	4-10%
C	1-25%	MnO	0-10%		

结晶器保护渣的主要功能

隔热

保护渣必须能隔热避免搭桥和钢浮渣。改善隔热可提高钢弯月面区域的温度,有助于减少振动痕迹并且可以降低皮下缺陷如针孔。隔热的主要控制是未反应的保护渣的密度。但是使用的碳类和保护渣的物理条件也可能影响隔热性能。散装密度太低可能会引起不理想的灰尘问题。此问题用颗粒状的结晶保护渣解决。由于颗粒的形状,球形颗粒保护渣已改善了如粉末和挤制颗粒保护渣等其他类保护渣的流动性。

避免化学反应

如保护渣含氧化物低,则连续渣层通过钢与大气隔绝可有效避免钢的氧化。

夹杂吸收

液态渣起吸收非夹杂的作用,如浮在钢上面的氧化铝,图2为保护渣碱度(CaO/SiO_2)如何影响保护渣吸收氧化铝的能力。氧化铝棒浸入到可改变碱度比的液态保护渣内。棒直径的差异(ΔR)根据不同保护渣的时间绘制成曲线。标准保护渣的碱变化在0.8与1.25范围内。非金属物的吸收随渣的碱度增加和 Al_2O_3 的降低而改善。渣粘度低会增加夹杂物吸收和溶解的动力。值得注意的是,保护渣的能力是生产清洁钢的要求与浸入式水口寿命之间的平衡。

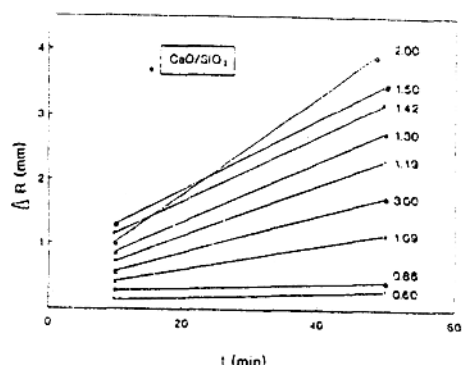


图2. CaO/SiO_2 对氧化铝溶解速率的影响

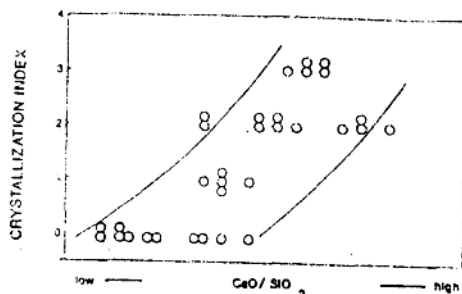


图3. 结晶器保护渣碱度与结晶指数的关系
润滑

润滑可能是结晶器保护渣最主要的功能。保护渣必须起到在固态壳与水冷结晶器之间提供润滑膜的作用。较低的保护渣粘度

助于避免粘结。

如图3所示碱度(CaO/SiO_2)增加或F或者 Na_2O 百分比增加将会导致保护渣再结晶的可能性更大。图4所示的结晶器指数是通过从结晶器内取得的渣样和通过测量凝固渣横断面区域的不透明部分而确定的。指数0表示渣完全是玻璃质的,而指数3表示渣100%不透明。不透明区域的X射衍射证明它是结晶的。当保护渣往往有更多的结晶时,可能会剧烈地增加粘结的发生。

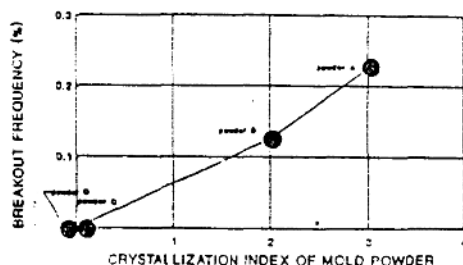


图4. 结晶器保护渣的结晶指数对拉漏频率的影响

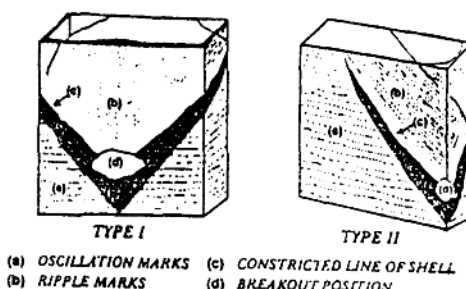
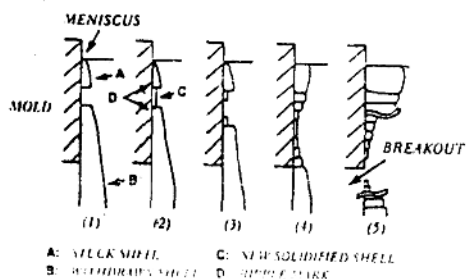


图5. 粘结型拉漏后结晶器内保留的坯壳外观
(a) 振荡痕迹 (b) 波纹痕迹
(c) 坯壳拉漏位置 (d) 拉漏位置

示意图见图5。由粘结引起的拉漏有二种：第一种是发生在接近板坯宽面的中心,第二种是发生在接近角部。拉漏总是发生在收缩线(C)与结晶器底部之间交叉处(d)。一般收缩线与水平成 $30^\circ \sim 45^\circ$ 。沿此线的坯壳极薄,或甚至破裂。通常,此收缩线可确定没有任何破裂的整个坯壳的界线。在(A)区中有

常规的振动痕迹。在(b)区,收缩线上下有如与收缩线几乎平行的振动痕迹并且有时比振动痕迹窄。

图6描述了粘结型拉漏的过程。在第一部分,铸坯A在弯月面附近粘结,当铸坯B拉出时此坯壳被拉破漏钢。钢液进入破裂的缝隙,坯壳第二部分和新的坯壳C沿着皱纹痕迹D形成。当铸坯向下移动(第三部分)时新的薄坯壳破裂,另一薄坯壳在第四部分形成。铸坯在结晶器内向下移动直至第5部分C位置达到结晶器底部边缘时,此过程反复,最后发生拉漏。



(A) 粘结的坯壳 (B) 拉出的坯壳
(C) 新凝固的坯壳 (D) 皱纹痕迹

图6 粘结引起的拉漏过程

由于拉漏成本高,必须避免粘度。避免浇铸中断使用合适的保护渣是很重的。

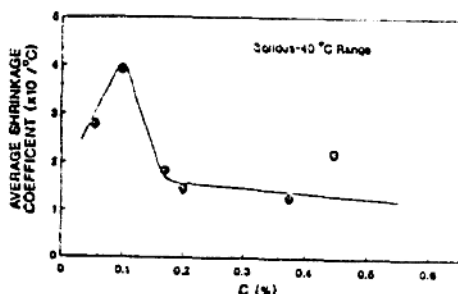


图7 碳含量对凝固后缩孔的影响

均匀热流的改善

最终要求是提供均匀的热流。为了避免可能导致浇铸产品裂纹的钢坯壳不均匀凝固这是必需的。中碳钢种凝固后具有较大的缩

孔,它使这些钢种特别容易产生裂纹(图7)。

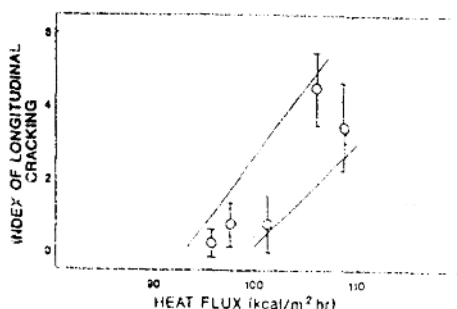


图8 热流对纵向裂纹的影响

具有较高的凝固温度的保护渣在坯壳与结晶器之间保护渣膜中产生较厚的结晶层,降低热传导率。降低通过结晶器的热流对减少纵向裂纹的影响见图8。

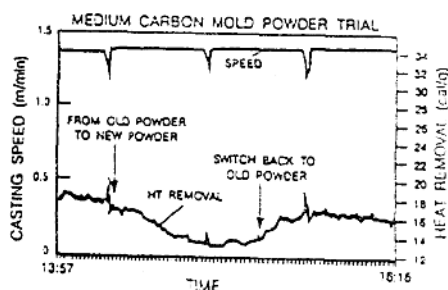


图9 散热的比较

(“老的”和“新的”中碳钢结晶器保护渣)

图9比较二种中碳钢结晶器保护渣的散热速率。“新的”保护渣具有较高的凝固点和较低的粘度。表2为使用“新的”高凝固点保护渣改善纵向表面裂纹率。

应考虑的保护渣的性能

粘度、凝固点、熔化和熔渣速率被认为是保护渣最重要的性能。对于某些钢种或条件有时必需专门考虑保护渣的密度或化学成份。

粘度是控制保护渣消耗的主要因素,如图10所示,粘度低往往会引起消耗增加。

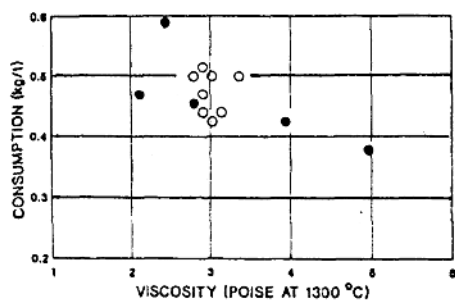


图 10. 粘度对保护渣消耗的影响

Al_2O_3 增加对保护渣粘度和凝固温度的影响见图 11 和 12。保护渣 C 和 D 提高粘度较低, 因此使用过程中较稳定。由于 Al_2O_3 被吸收, 保护渣中加入 MgO 有助于稳定粘度。采用清洁钢操作法时, 如渣脱氧和良好的保护技术, 熔融保护渣化学成份中 Al_2O_3 增加量往往低于 3%。

表 2. 中碳钢结晶器保护渣的纵向裂纹率

	板坯数	有裂纹的板坯数	%
老的保护渣	1485	75	5.05
新的保护渣	894	3	0.89

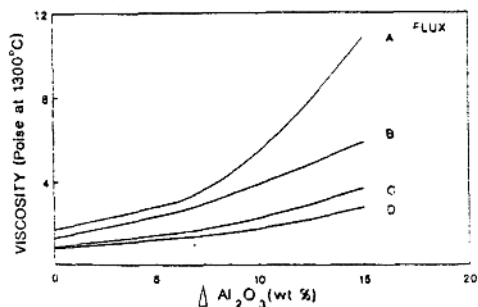


图 11. 氧化铝的增加对保护渣粘度的影响

粘度和凝固温度结合会影响润滑和热传递。结晶膜比玻璃膜孔隙多, 这是降低热导的一个因素。结晶器镀层方式、空隙、氢含量也影响热流率。

保护渣主要由造渣剂(或填充剂)、助熔剂和含碳物质组成。各种氧化物添加剂的增加对保护渣粘度和凝固点的影响见图 13 和

图 14。

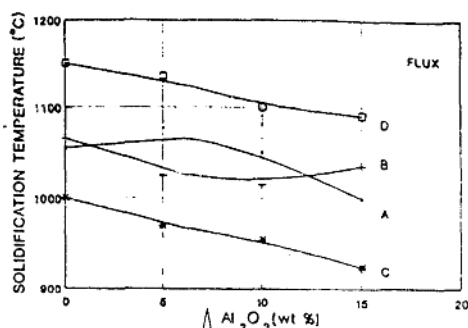


图 12. 氧化铝的增加对保护渣凝固温度的影响

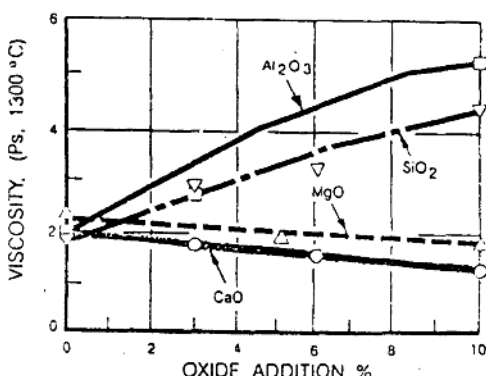


图 13. 氧化物添加剂对保护渣粘度的影响

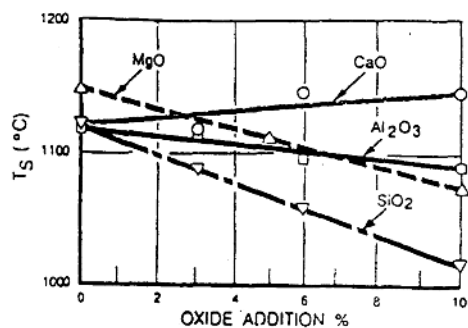


图 14. 氧化物对保护渣凝固点的影响

改变化学成份对保护渣性能的影响见表 3。保护渣性能的改变是普遍的, 并与典型的保护渣化学成份有关。保护渣熔点不但受保护渣化学成份的影响, 而且受矿物组成的影响。

碳对熔化速度、烧结性、隔热性能和渣圈

具有较大的影响。保护渣熔化特性受碳的种类(燃烧温度不同),其粒度和添加的百分比的影响。适量的结晶器保护渣碳粒有助于确定其熔化方式。

表 3. 化学成份对结晶器保护渣性能的影响

添加剂	粘度	凝固点	熔点
CaO	降低	增加	增加
SiO ₂	增加	降低	降低
CaO/SiO ₂	降低	增加	增加
Al ₂ O ₃	增加	降低	增加
Na ₂ O	降低	降低	降低
F	降低	增加	降低
Fe ₂ O ₃	降低	降低	降低
MnO	降低	降低	降低
MgO	降低	降低	降低
B ₂ O ₃	降低	降低	降低
BaO	降低	降低	降低
Li ₂ O	降低	降低	降低
TiO ₂	不改变	增加	增加
K ₂ O	降低	降低	降低

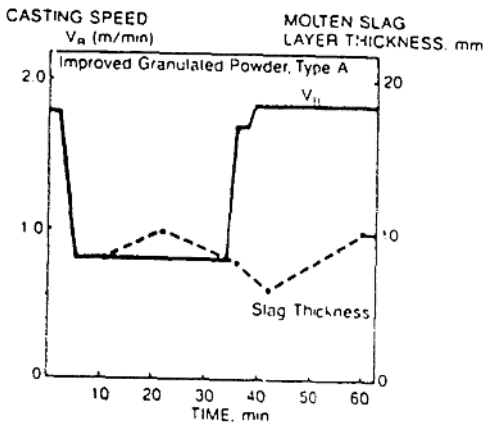


图 15. 浇铸速度增加时熔融渣层厚度的变化(A型)

α 型熔化方式,具有较大部分的细碳粒,在半熔融层形成离散微粒。这些保护渣熔化迅速。而且特别适用于高速浇铸和不稳定的

结晶器条件。 β 型熔化方式,具有较大部分的粗碳粒,形成部分烧结的半熔融渣层。这些保护渣缓慢地稳定地供应渣,并证明适用于低的或中间浇铸速度的对裂纹敏感的钢种。

浇铸条件对结晶器保护渣要求的影响

浇铸速度、振动周期和结晶器结构是影响适合的结晶器保护渣设计的一些关键操作参数。

浇铸速度

当浇铸速度加快时,如图 16 所示保护渣消耗降低。如保护渣消耗太低,可能会破坏润滑膜,导致粘结。

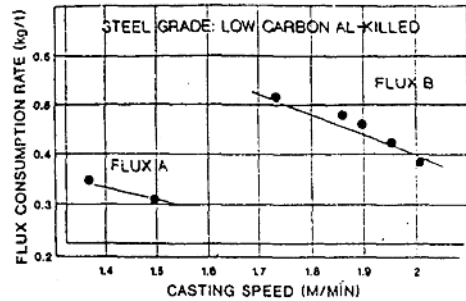


图 16. 浇铸速度对保护渣消耗的影响

浇铸速度低也可能具有负作用。降低的钢水流速可能导致结晶器内有冷点,可能会形成钢浮渣或搭桥。浮渣可能引起如裂纹或气泡等质量问题,全搭桥会导致粘结。要特别注意保护渣隔热性能以避免低浇铸速度下的问题。

振动周期

较高的振动频率和较短的振幅减少振动痕迹深度,同时有助于消除横向裂纹问题。较高的振动频率减少负速铸坯时间。依次,采用较高的浇铸速度的类似方法可降低保护渣的消耗。因此,为了避免粘结,振动周期的变化需要调整保护渣。

结晶器结构

目前已采用结晶器镀层来降低星状裂纹,从而改善板坯表面质量。由于镀层表面

耐磨也提高了结晶器的寿命。由于剥落问题,往往用镍基材料替代铬镀层。然而,镍对通过结晶器的热流具有较大的负作用。可能需要增加热传导的保护渣。

各钢种用结晶器保护渣的要求和设计

低碳铝镇静钢[LCAK](C<0.08%)

LACK 钢具有良好的高温机械性能,裂纹一般来说不会成为严重的问题。但是,较高的生产率需要增加浇铸速度。这些钢种要求具有良好的表面质量,良好的内在质量和避免粘结痕迹。这就要通过具有良好的隔热性能、良好的非金属吸收,良好的润滑和稳定的保护渣来获得的。

保护渣的稳定性、吸收 Al_2O_3 的能力及对粘度没有反作用是非常重要的,特别是较高的浇铸速度下更是如此。较低的粘度和/或凝固点有助于保护渣在较高的浇铸速度下提供足够的润滑。

中碳钢[MEDC](C0.08%—0.18%)

由于与包晶凝固有关的收缩增加,这些钢容易产生裂纹。避免纵横向裂纹是最重要的。这就是通过采用能减少经结晶器的热流和具有控制熔化速度的保护渣所获得的。

高凝固点保护渣对降低表面裂纹一直很有效的。保护渣的高凝固点有效的。保护渣的高凝点有助于降低通过结晶器的热流,而低粘度可使保护渣提供适当的润滑。

高碳钢[HC](C)0.18%)

这些钢种的特点是热强度差,浇铸温度低,而且在低速下浇铸。对保护渣的要求是降低表面浮渣,避免气孔和粘结痕迹。这一要求是通过具有良好的隔热性能,正确的碳选择和良好的润滑的保护渣来达到。

低粘度和低熔点能使保护渣获得迅速熔化的速度。保护渣密度低和适当添加碳有助于获得良好的隔热以避免过早凝结。

超低碳钢[ULC](C<0.005%)

与 LCAK 比较,这些钢种在凝固过程中具有较薄的模糊区。这就增加了由凝固界面

快速运动引起的皮下缺陷的危险。钢内添加钛可能导致改变结晶器保护渣性能的化学反应。此保护渣必须设计成能提供良好的表面质量、良好的内在质量和避免粘结痕迹。对此钢的这些要求可通过用增加非金属的吸收、最低的增碳、改善隔热、良好的润滑、稳定的性能、最少的夹渣和粘附的保护渣来达到。

具有含氧化物成份的高碱度保护渣可增加对 Al_2O_3 的吸收和降低夹渣和粘附。在具有稳定的结晶器条件的同时保护足够的液渣的深度可减少增碳。另一种方法,降低结晶器保护渣内的碳含量也有效。

每一钢种用的结晶器保护渣的物理性能归纳在表 4 内。

表 4. 各钢种用的结晶器保护渣性能

钢种	浇铸速度 (m/min)	粘度(泊) (1300℃)	T_s (℃)	T_2 (℃)
LACK	0.8—1.4	2.5—1.0	1120—1060	1140—1060
	1.6—2.0	1.2—0.6	1060—960	1060—960
MEDC	0.8—1.2	5.0—0.8	1200—1100	1190—1120
	1.3—1.6	2.0—0.8	1180—1120	1180—1120
HC	1.3MAX	2.0—0.8	1180—980	1180—980
ULC	0.8—1.2	2.6—1.2	1100—1000	1120—1000
	1.3—1.8	1.5—1.0	1050—950	1040—1000

T_s ——凝固温度; T_2 ——熔化温度

m/min——米/分

结论

在开发、生产和应用连铸结晶器保护渣方面有许多研究的问题。我们认为粘度与凝固点之间的相互关系是最重要的。结晶器保护渣的熔化方式对性能也具有明显的影响。为了确保结晶器保护渣的正确配方必须认真考虑现行浇注条件、钢的最终用途和钢的化学成份。

戴正安译自《Steelmaking Conference
Proceedings》1991

朱杏菊 校

连铸保护渣的性能

[英] Kenneth C Mills

连铸保护渣对产品的表面质量有重大作用。保护渣流入结晶器与铸坯之间的空隙是关键工艺之一。纵向裂纹的产生与结晶器/铸坯热流之间的关系对了解表面缺陷是特别重要的。

连铸保护渣性能对连铸产品的表面质量起着决定性的影响。连铸保护渣用来(1)避免钢的氧化,(2)提供隔热,避免金属表面部分凝固,(3)吸收钢内的夹杂物,(4)润滑铸坯表面,(5)铸坯与结晶器之间提供均匀的热传递。

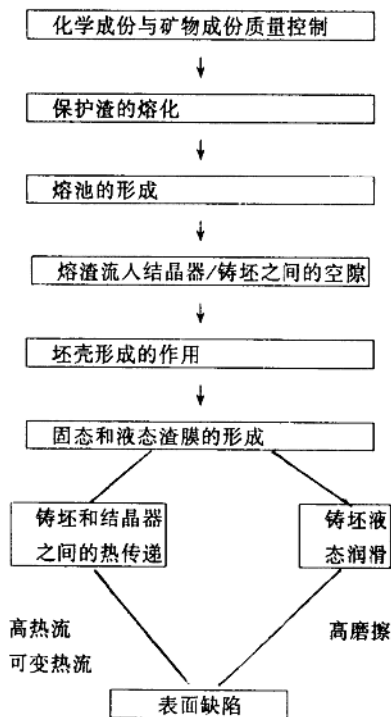


图1. 连铸保护渣关键功能及其对表面质量的影响
保护渣良好的性能的关键功能见图1。

此外,重要的是每个阶段保护渣应都能满意地操作,因不这样会导致产生较差的表面质量。

最初结晶器保护渣以电工业废品烟灰为基础。然而,烟灰往往会导致成份的变化,加上质量的要求越来越高,导致采用由矿物混合物组成的人造结晶器保护渣。最近,已用预熔和颗粒保护渣来降低由灰尘引起的成份变化和有害物。

保护渣的主要成份是: CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O (或 Li_2O), CaF_2 和碳颗粒。 CaO/SiO_2 之比一般在 0.8 与 1.2 之间,添加 Na_2O 和 CaF_2 降低熔化速率和所形成的渣粘度。

如图2所示,保护渣进入结晶器内时保护渣经历各种顺序变化,如碳粒的氧化和矿物成份的熔化。碳粒往往会分离熔融渣粒,延迟熔化速率。这样,熔化速率基本上由保护渣碳粒的氧化特性决定。

熔化行为,特别是保护渣熔化速率,对保护渣性能起决定的作用,因为它们控制熔融渣池的深度,从而控制液渣进入结晶器/铸流空隙的速率。复盖钢表面的保护渣形成各种层次,颗粒状和粉末状的材料都一样。一些研究者已经进行了试验,设计保护渣的熔化速率。总的来说,虽然这些试验都不太满意,但已表明通过降低游离碳含量,增加碳粒半径,改变所用的碳种类。可以加快熔化速率。

另外,通过降低熔化温度(和粘度),增加矿物成份的晶粒度和增加垂直的热流,则增加浇铸速度也可加快熔化速率。

液渣的进入

液渣溶池在钢液弯月面上形成,充当了液渣进入结晶器/铸坯空隙的蓄存池。熔池

在任何时候应有足够的深度,提供适当的渣 度)。
流(铸速较快时推荐使用 20mm 以上的深

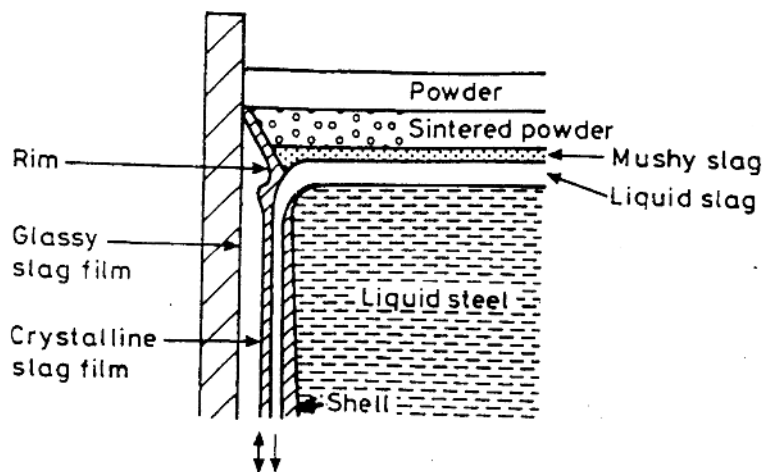


图 2. 渣粉和渣膜层

液渣熔池深度不均匀,在 SEN 和表面的中心和窄面处溶池较深。但是,人们可以发现不管什么位置,由于铸速增加,渣的熔化温度降低和渣的熔化速率增加(降低微米型的小颗粒时报导的)。其深度会增加。液渣熔池深度也会受流入结晶器/铸坯空隙的液渣膜厚度(相等于消耗率)和结晶器尺寸的影响。深度有助于调节铸速的变化,例:铸速加快其液渣溶池深度开始降低。然后,在铸速

较高时由于较高的热流其深度不断增加。

液渣流入结晶器/铸坯空隙是连铸关键工艺,因在铸坯与结晶器之间必需确保良好的润滑和均匀的热传递。如这些条件提供不足,可能会导致产生表面缺陷。结晶器向下运动时熔渣被吸入结晶器/铸坯空隙内。原则上,向上运动时液渣可能会反压,但是在全部或者部分用正速铸坯密封空隙时钢液弯月面向结晶器运动时会阻止这现象。

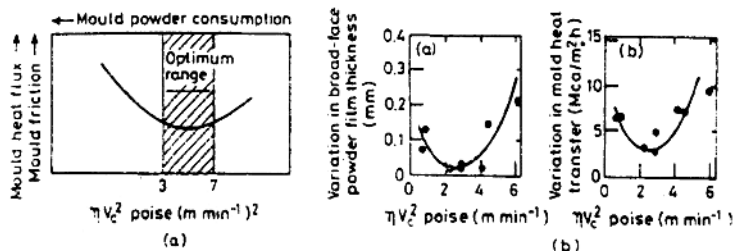


图 3. Wolf 和新日本钢公司推荐的最佳渣流入范围

(a) 与 V_c^2 成函数关系的热流和磨擦力

(b) 与 ηV_c 成函数的渣流入的波动和热流

液渣必须提供良好的润滑,液渣一定湿润钢铸坯,所有的工业保护渣都应满足此条

件。因由于液渣膜造成 90% 的消耗率, 保护渣消耗为渣流入结晶器/铸坯空隙的流量提供理想的措施。由于振动痕迹中夹渣造成的损失也影响 10% 的保护渣消耗。其消耗率和流入量已报道过, 这些随渣的粘度值(η), 负速铸坯百分数(% N_s), 结晶器振动频率和铸速(V_c)的降低而增加

人们建议渣流入最佳范围用粘度(η)和

浇铸速度(V_c)来测定, 它与磨擦力和表面缺陷最小值一致。Wolf 认为参数(η_c^v)约 5 泊($m \min^{-1}$)值时出现最稳定的渣流, 并认为热流和磨擦力经过那个区的最小值(图 3)。新日本钢铁操作者认为参数(η_c^v)在 1 与 315 泊($m \min^{-1}$)之间某一值时熔融渣流波动为最小值, 结晶器温度(和热流)波动在此区也为最小值(图 3)。

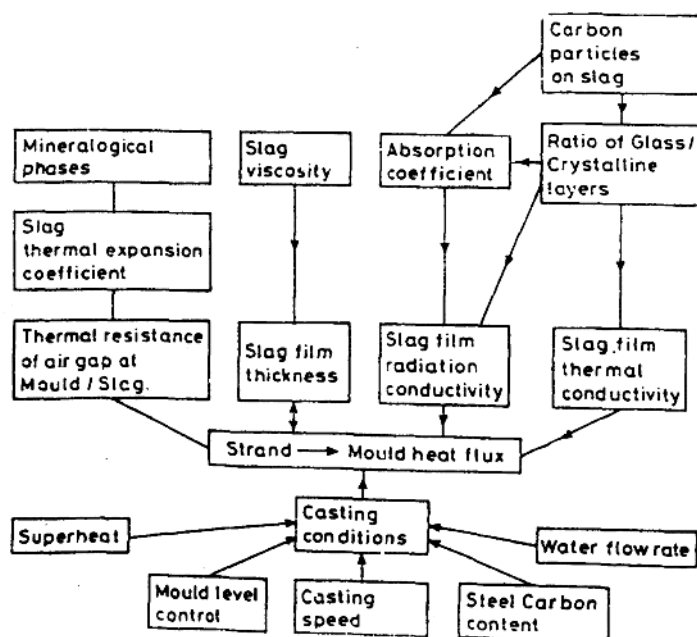


图 4. 影响铸坯与结晶器之间的热传递因素

液态和固态渣膜

渣膜在钢与结晶器之间的空隙内形成。因液态渣提供铸坯润滑而固态渣膜控制热传递, 所以它起着重要的作用。良好的表面质量具有最佳的热传递。这样, 确定传递最佳热流的适当厚度的稳定的固态渣层是很重要的。开浇的保护渣可能证明是有助于形成稳定的渣膜。

固态渣膜(约 2mm 厚)开浇时在结晶器

上面, 而且在浇铸顺序中变化极小。它由玻璃层和结晶层组成, 假定固态渣膜随结晶器运动, 则液态渣层(厚度 0.1mm 左右)随铸坯运动。虽然在浇铸过程中接近液态渣层的固态区可能会出现一些变化。但是结晶器上所形成的玻璃层在浇铸中基本上保护不变。现发现碳粒有助于晶体层成核。

铸坯与结晶器之间的热传递

纵向裂纹是与弯月面区中结晶器和铸坯

之间流动的热流有关。然而,热传递非常复杂因它受浇铸参数、固态和液态渣膜的热和物理性能以及铜渣界面对耐热性能的影响。而且,根据热传导和辐射传导机理,热在固态渣膜上传递。热传递过程的复杂性见图 4。影响热流密度的因素见表 1。

表 1. 最小表面裂纹单位最佳浇铸条件

(n.Poise. $V_c, m \min^{-1}$)

	A	B	C	D	E
η_c^v	2.4-3.2	4.2-6.3	4.2-5.6	4.2-9	3.1-1.4
η_c^2	2.3-3	4.5-5	4-5	5-9	4-10

渣膜结晶度在铸坯与结晶器之间热传递中是个重要因素,因为它通过消光系数作用来降低辐射传导。碱性结晶器保护渣导致降低纵向裂纹因较多的晶体渣膜会降低辐射传导,因此降低整个热流。现已报道用 MgO 替代一些保护渣中的 CaO 来增加结晶度和降低纵向裂纹。

工厂记录的热流密度在 $0.8 \sim 1.6 MW_m^{-2}$ 之间变化,并随浇铸速度加快而增加,也有点随渣粘度降低而增加。Wolf 认为当参数 (η_c^v) 为 5 泊 ($m \min^{-1}$)² 左右流入的条件最稳定,在此区热流密度最小。工厂试验所获得的结果不能证实这部分。根据表 2 的关系和模型的预测,热流与 (V_c/η) 关系可以预料,一般工厂数据与建议的一致。

另外,也认为当参数 (η_c^v) 在 1—3.5 泊之间某一值时渣流波动在最小值。同时,在此区热流变化也在最小值。英国钢公司证明纵向裂纹可能与热可变性有关(即热流变化)。

为了更好地了解影响热传递过程的因素,已进行了模拟铸坯与结晶器之间热传递实验室试验。证明热流密度与工厂记录的相类似,辐射传导在玻璃渣中对热流是最大的贡献,但在晶体渣中大大降低。这样,预料热流(a)在碱性和 Na_2O 含量降低时,(b)在渣膜含有充当结晶成核点的碳粒时可能会降低。另外,铜/渣界面耐热性与渣膜热收缩所形成的空隙有关,渣的矿物特性对热阻有较大的

影响。渣膜厚度随渣粘度而增加。

表 2. 导致热流降低的因素

浇铸参数	热传导	辐射传导	铜/渣界面
铸速降低	渣厚度增加	低辐射传导	界面热阻增加
水流量增加	热传导降低	结晶度提高	空隙增加
过热降低	粘度较高	吸光系数降低	渣膨胀系数增加
	结晶度降低		

另外,通过测试结晶器渣的物理性能来研究热传递过程。热扩散率、导热系数、吸光系数和折光指数(决定辐射导热)、热能和熔、密度和热扩散系数的值都已报导过。根据这些测试,渣膜的导热率和吸光数推断分别为 $1.1, Wm^{-1}$ 和 $0.5-10cm^{-1}$ 。然而,大概由于浇铸过程中结晶度和渣含量($FeO + MnO$)的增加,从结晶器渣膜中测得的这些参数可看出比实验室制备的试样高 2—3 倍。

润滑

在结晶器内作用在铸坯壳上的磨擦力受渣的性能和浇铸条件的影响。在弯月面区中产生液体磨擦,而在结晶器下部(固态/固态)磨擦力可能由于固态渣(有时结晶器)与铸坯壳之间接触产生。这样,通过液态和固态磨擦就可获得总的磨擦力。液态磨擦力与(a)粘度、(b)液态渣膜的厚度倒数,(C)其 V_m 和 V_c 分别为结晶器的速度和浇铸速度时的 ($V_n - V_c$) 成正比。在负速铸坯区, V_m 大于 V_c , 这样,磨擦力通过降低负速铸坯时间能减少磨擦力。

工厂试验记录的磨擦力与 Wolf 认为的参数 η_c^2 为 5 泊 ($m \min^{-1}$) 左右时磨擦力为最小值一致。新日本钢铁公司也认为当 η_c^v 为 2 泊 ($m \min^{-1}$) 时磨擦力的波动为最小值。

固态/固态磨擦可能在结晶器下半部出现。这就可能连续导致渣膜的剥落,形成空隙和可能结晶器/铸坯接触。同样,这也将导致热流变化和可能出现星状裂纹。后者通过使用结晶器内保持熔融状态的渣避免。

纵向裂纹。

这种裂纹是浇铸 0.1% 与 0.15% 含碳钢时的一个特殊的问题。这被认为弯月面区产生的和由 δ 铁素体和奥氏体相热收缩差异形成坯壳热应力造成的。现认为为了减少纵向裂纹,必需在弯月面形成薄的,均匀的壳。这就能通过减少铸坯与结晶器之间的热流来达到。实际上,水流量降低和产生空气隙的槽式结晶器的使用已导致了表面质量的改善。关于不均匀的坯壳,热收缩差异在坯壳较厚部分比较大,并会导致应力梯度,它可通过表面裂纹来释放。因此,为了减少热流波动必须减少渣流和结晶器液面控制的变化。

现已提到的某些条件可提供最佳的表面质量并这些通过以渣粘度(η)和铸速(V_c)为基础的参数来确定。(Wolf: $\eta V_c^2 = 3 - 7$ 泊 (m min^{-1}), 新日本钢: $\eta V_c = 1 - 3.5$ 泊 ($\text{m$

min^{-1})。

渣粘度的误差可在 50% 的观点获得某些赞同。然而,80 年代初,英国钢铁公司采用各种结晶器保护渣时就记录了有关裂纹的指数,与 ηV_c 和 ηV_c^2 成函数关系的裂纹指数曲线图没有表明最小值。但是,结晶器液面变化在这些研究中对记录的裂纹指数可能有明显的作用。最近,工厂试验证明纵向裂纹可能与热可变性有关(如热流变化),这就证实了纵向裂纹由不同厚度变化的坯壳引起的。

星状和海棉状裂纹

这种裂纹一般与铸坯表面存在铜有关。通常在结晶器下半部出现,在结晶器中铸坯/结晶器接触导致局部铜熔化并且连续地转到铸坯上。

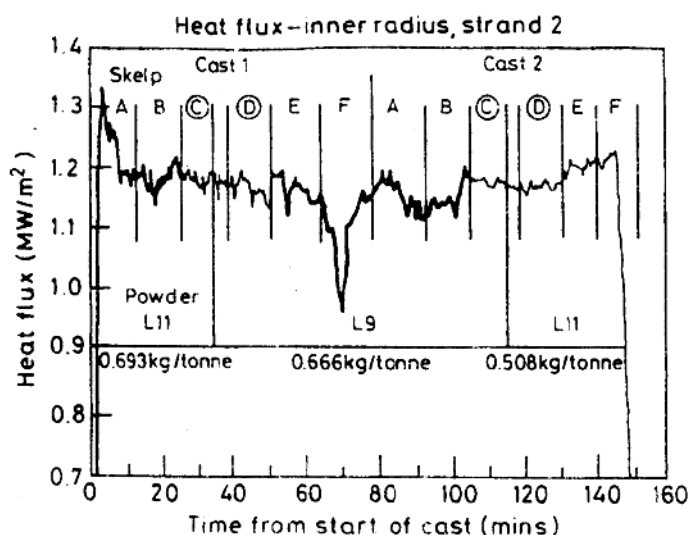


图 5. 使用二种连铸保护渣时与连铸时间成函数关系的热流和表明星状裂纹数量——轻微裂纹;——没有星状裂纹;——0 无保护的火焰清理。

星状裂纹一般用镍、铬或钼高熔点金属镀在结晶器上就可克服。然而,在使用带有仪器装备的镀镍结晶器时检测了星状裂纹,

发现裂纹状况如图 5 所示,可能与热流变化幅度有关。这种裂纹可借助于初始保护渣形成稳定的渣膜和使用整个结晶器内保护熔融

状态的连铸保持渣来降低。

横向角裂

这种裂纹与振动痕迹深度有关。虽然振动痕迹的深度和间距基本上通过振动特性可决定,但连铸保护渣可能对横向角裂也有影响。其深度和间距相互依存。振动痕迹深度随粘度增加,铸速降低和(与间距不同)随负速铸坯降低而降低。

星状裂纹可能受凹坑内有夹渣的影响。然而,其他可选择的理论认为一些偏析在负速铸期间从部分凝固壳的枝晶液态金属压缩过程中出现,并认为偏析导致横向裂纹。

渗出物

在靠近结晶器上部铸坯表面上形成小裂纹,与结晶器下部区域连接起来形成“一串珠状”外观的表面。虽然这些表面夹杂可能引起这些问题,但一般来说由粗糙的结晶器表面引起渗出。

表面夹杂、气泡

铸坯表面夹杂包括浇铸保护渣和脱氧产物如 Al_2O_3 。当浮在金属表面的固态颗粒留在凝固壳上时它们会出现。液态夹杂也可能通过由 SEN 不正确定位引起结晶器内过度干扰而带入。夹杂基本源是脱氧产物,如铝氧化物。夹杂物也可能由渣圈、损坏的 SEN 形成和由钢液与中间包耐材或浇铸保护渣之间的交换反应引起。

熔融保护渣溶解 Al_2O_3 的能力也将在降低大量夹杂物中起到重要作用。 Al_2O_3 溶解

分三个阶段:(a)颗粒浮动,(b)通过金属/渣界面排出,(c)在渣内溶解。通过金属/渣界面排出夹杂物的研究表明金属与渣的接触角度(θ)在此过程中是个关键因素,同时表明因 θ 总是 $<90^\circ$, 排出总是有利的。然而,铝氧化物族界面的凝固金属颗粒的存在可能对上浮和排出过程具有反作用,可能会导致铝氧化物族集中在坯壳上。据报道,溶解铝氧化物的能力受(a)具有 $\text{NaF} > \text{LiF} > \text{CaF}_2$ 的氟化物含量增加,(b) Li_2O 替代 Na_2O , (c) Al_2O_3 含量降低,(d)碱度增加而增大。

工厂表面夹杂指数结果表明它随粘度增加而降低并且在各种钢板的 4—5 泊下通过最小值。

日本操作者已企图通过降低保护渣为 Na_2O 和 NaF 含量降低“湿湿性”减少浇铸保护渣的夹带(增加固态坯壳上的渣接触角度)。然而,目前使用的降低坯壳紊流的电磁闸对减少表面夹杂物非常成功。

铸坯表面渗碳

浇铸低碳钢时渗碳是个特殊的问题。在开浇时钢液低的地方吸碳特别大,而且紊流往往也大。证明结晶器保护渣的碳是表面再渗碳的主要原因。通过使用含碳量低的保护渣和初始保护渣可减少这问题。

戴正安译自《Steel Technology International》1994

秦连祥校

粘结型拉漏机理及连铸结晶器 保护渣的新进展

[日] Masahiro Emi

摘要

由于操作重点放在提高生产率和较高的连铸速度,避免粘结型拉漏和不断改进铸坯表面质量是主要研究课题。因此,必须研究粘结型拉漏的机理和考虑继续开发用户设计的结晶器保护渣。

引言

连铸最困难的问题之一是拉漏问题。由于其复杂的因素,往往很难清楚地确定它们的原因,但这对众所周知的拉漏的类型较为正确。结晶器润滑及保持渣流通道的能力是结晶器保护渣系统极关键的功能,发现它能强烈降低粘结型拉漏的发生。

结晶器润滑

结晶器润滑受结晶器保护渣粘度和结晶温度的影响。经研究后发现结晶温度对结晶器的热传导有直接影响,从而影响铸坯的表面质量。因此,认真设计结晶器保护渣综合性能是非常重要的。

表 1

1. 液态润滑
2. 固态润滑

图 1 为结晶器壁和凝固坯壳之间的示意图,在结晶器壁和凝固坯壳之间的渣膜由结晶器壁侧的固相及凝固坯壳侧的液相构成,因此,存在两种不同的润滑状态:液态润滑状态和固态润滑状态(表 1),为了减小结晶壁和凝固坯壳之间的摩擦,必须扩大液态润滑区域,并减小固态润滑区域。从结晶器保护渣的观点来看,为了便于结晶器润滑,必须

降低粘度和结晶温度。

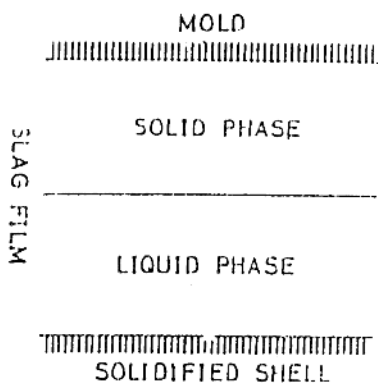


图 1. 结晶器壁和凝固坯壳之间的示意图

粘度、结晶温度和消耗率之间的关系

图 2 和图 3 为结晶温度、粘度和结晶器保护渣消耗之间的关系。

消耗率随结晶温度和粘度的降低而增加,按推测,结晶器壁和凝固坯壳温度分别为 T_1 和 T_2 ,如图 4 所示, T_1-T_2 为温度分布,固态相在结晶器保护渣的结晶温度 T_3 的结晶器壁侧,而液态相在对面一侧。当结晶温度从 T_3 降到 T_4 时,可看到液态渣膜厚度从 d_1 增加到 d_2 。所以,随结晶温度降低而消耗率增加的理由是液渣膜厚度增加。这样,因为液渣流速增加,随粘度降低消耗率增加。

总之,通过降低结晶器保护渣的结晶温度和粘度,可以有效的方式加强液体润滑的产生。

然而,尽管使用完善的结晶器摩擦和/或拉漏报警装置,但在实际操作中都有粘结型

拉漏经验。另外,有资料表明,以通常的结晶器保护渣消耗率在正常稳定的浇铸状态会出现粘结型拉漏。因此,必须仔细分析粘结型拉漏的倾向、机理和原因。

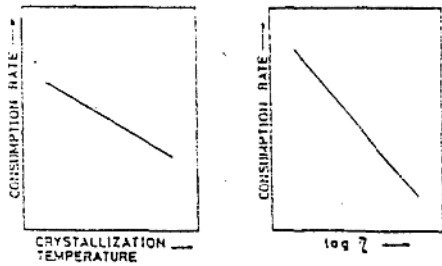


图 2.3. 结晶温度、粘度和消耗率之间的关系

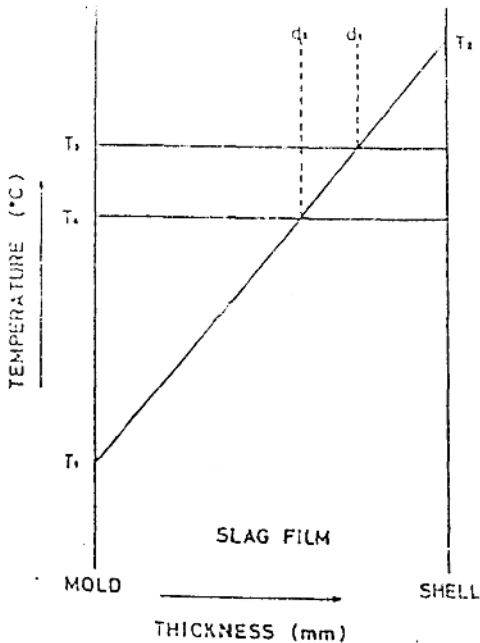


图 4. 结晶器和凝固壳之间温度分布和渣膜厚度示意图

粘结型拉漏的机理

基于上述倾向,应研究粘结型拉漏的机理。首先,必须说明先决条件:

1. 钢水直接接触结晶器壁,导致粘结型拉漏
2. 当粘结力超过凝固的坯壳强度时,就发生粘结型拉漏

3. 存在渣流障碍机理

当研究可能导致阻碍渣流的条件时,必须要研究渣圈的条件,存在及行为。

图五为渣圈、固体渣膜及连铸机结晶器的示意图。在实际操作中,我们偶然可见到结晶器振动时渣圈的振动,有时在结晶器振动时,渣圈沿结晶器壁凸出。因此,渣圈不会粘结在结晶器壁上,也表明固体渣膜结合力低,以及渣圈受到钢液及熔渣的浮力。

其次,我想提供另一个粘结型拉漏的机理。

图六为结晶器示意图

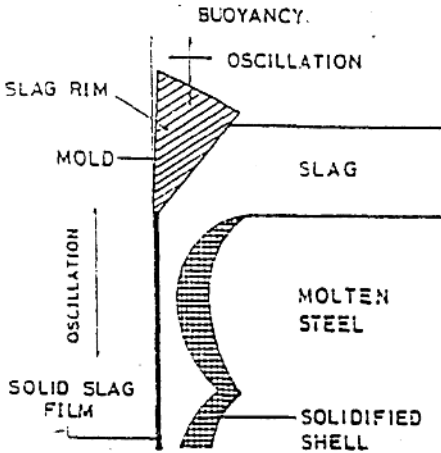


图 5. 渣圈、固态渣膜及连铸机结晶器示意图

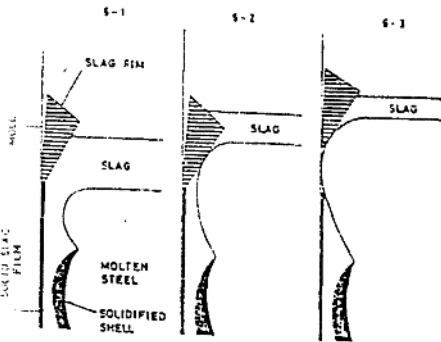


图 6. 结晶器内部示意图
钢水进入结晶器开始形成凝固壳(6—