

特殊钢连铸电磁搅拌

毛 斌 (中国科学院力学研究所)

本文综述了电磁搅拌的基本要求和特点, 搅拌器基本结构和使用要求及调控电磁搅拌运行条件等问题。着重论述了搅拌器冷却方式及水质要求, 指出这是搅拌器能否长期稳定运行的关键。提出了调控电磁搅拌运行条件的内容, 分析各种因素对他们的影响, 着重讨论了调控搅拌强度的一般规律, 正确调整运行条件对获得高质量的铸坯是极端重要的。

连铸是铸坯在强制冷却下, 在其运动过程中具有很长液相穴的凝固过程, 它受钢水对流、传热和传质等基本物理现象所控制。液相穴内钢水对流运动对消除钢水过热度、凝固结构和成份偏析有重大的影响。钢水对流的驱动力来自注流的动能和外力, 前者与浇注方式有关, 后者则可以在液相穴的任何位置上使用电磁搅拌, 两者相比较, 后者的影响则强而有效得多。

研究电磁搅拌的冶金作用涉及两个互相关联的基本过程, 即磁流体力学过程和冶金过程。前者研究钢水在电磁场作用下的运动特征, 需要同时考虑电磁学和流体力学及其相互作用的规律; 后者主要研究强化的钢水对流运动及其对传热和传质的影响, 从而控制了凝固过程。在电磁搅拌中, 这两个过程是互相关联和相互影响的, 其物理图案是相当复杂的。因此, 要使电磁搅拌运用得卓有成效, 有赖于对电磁搅拌基本过程的了解, 熟悉电磁搅拌器的性能和要求以及正确调控电磁搅拌工艺条件等。

1. 电磁搅拌的基本要求和特点

1.1 电磁搅拌的基本要求

电磁搅拌的实质在于借助电磁力强化铸坯液相穴中钢水的运动, 从而控制凝固过程。为了获得良好的冶金效果, 钢水的流动状态必须满足如下的基本要求:

(1) 在搅拌区内, 钢水具有足够大的

流速, 通常要求在0.5~1米/秒, 这样有利于夹杂物上浮分离, 也有利于折断枝晶形成等轴晶核。

(2) 在搅拌区内, 钢水流动状态是较均匀的不稳定流动, 具有较强的混合能力, 使晶核、合金元素和夹杂物等能均匀游离。

(3) 在搅拌区特别是二冷搅拌区的上下两侧, 具有足够长的搅拌影响区, 即足够长的混合长度, 促使钢水长时期处于运动状态, 不仅使等轴晶区扩大, 而且使钢水中的溶质不致于急剧浓缩, 避免造成白亮带等的缺陷。

为了满足上述的基本要求, 必须审慎地选择搅拌位置、搅拌器型式和正确调控电磁搅拌工艺条件等。

1.2 电磁搅拌的基本特点

目前用于连铸的电磁搅拌主要有两种形式: 旋转搅拌和直线搅拌, 两者都能影响枝状晶向等轴晶的过渡。旋转搅拌由于钢水受离心力作用, 使其中的轻相成份向中心运动, 则在结晶器区有利于夹杂物向中心聚集上浮, 而在结晶器下则易造成偏析特别是负偏析; 提高旋转速度, 在结晶器区能使坯壳与结晶器壁接触良好, 增强两者之间的传热, 而在结晶器下会不成比例地增加对坯壳的压力, 易使坯壳破裂, 这对浇注含P、Pb的钢种特别危险; 由于旋转运动破坏了钢水的自然对流, 使上部过热钢水和下部较

冷钢水之间的混合受到限制；此外，旋转搅拌的上下影响区也小，不利于钢水长时间流动。

至于直线搅拌，通常用于二冷区，其速度一般不受限制，上下影响区较大，有利于夹杂物上浮，减轻其在内弧的富集；上下冷热钢水可以较充分的混合，有利轴向的定向凝固，并使液相穴深度变浅且底部变成平底，有利于减轻或消除中心偏析和缩孔。此外，由于行波磁场搅拌器的结构特点，其感应器铁芯是断开的，磁路开路，导致各项电流不平衡（其不平衡程度可达30%甚至更高）和脉动磁场的产生，相应地在钢水中产

生垂直于流动方向的电磁力的脉动电磁力，前者有利于控制钢水的湍流，后者可进一步提高扰动的效果，促进晶核的生长和细化。因此，直线搅拌中出现的白亮带无论从宽度和亮度上要比旋转搅拌的轻激得多。在板坯电磁搅拌中采用变强度搅拌方式，其原因就在于此。

基于上述特点，结晶器和凝固末端电磁搅拌多为旋转搅拌，通常采用旋转磁场搅拌器或相对置于钢坯两侧、方向相反的行波磁场搅拌器来实现；二冷区电磁搅拌多为直线搅拌，采用行波磁场搅拌器来实现，见图1。

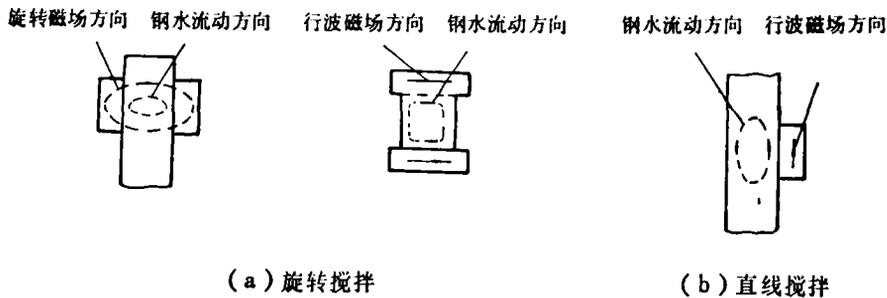


图1 搅拌方式示意图

2. 电磁搅拌器的基本特点和使用要求

2.1 我国现有特殊钢连铸电磁搅拌的基本情况

近几年来，我国引进一批特钢连铸机，都配备有多段组合电磁搅拌或一段电磁搅拌并留有多段组合搅拌的位置。我们有机会在重特、上钢五厂、天特和齐钢等的支持和帮助下，对有关电磁搅拌器进行了冷态性能测试，对其结构特点和性能有较多的了解。现将引进的电磁搅拌器的主要特点汇集于表1中。

由表可见，无论从搅拌位置、搅拌方式、搅拌器型式及其冷却方式看，目前国际上常用的电磁搅拌器，我国基本上已具备了，这为提高我国电磁搅拌技术的研究和开发水平，提供了很好的基础。

2.2 电磁搅拌器的基本结构

电磁搅拌器由感应器和非磁不锈钢壳体构成。前者激发磁场，后者防护感应器和阻隔铸坯的辐射热。

(1) 感应器：感应器类似于普通异步电机的定子，它由铁芯和绕组构成。根据铁芯构形，有圆形感应器和平面感应器之分，前者激发旋转磁场，后者激发行波磁场。根据绕组构形，又有凸极式和克兰姆式感应器之区别。前者采用O形集中绕组，围绕铁芯的齿配置，一个齿上占有一个绕组，每个槽中可有不同相的绕组；后者的绕组围绕铁芯磁轮配置，每个槽中只有一相绕组，见图2。绕组通常由带绝缘层的扁铜带和紫铜管制成。

(2) 壳体：壳体由非磁不锈钢板制成，根据冷却方式不同，通常制成单层和双层的。如双层壳体，其中间水缝中通冷却水。

表1 引进的电磁拌搅器主要特点

厂 家	连 铸 机		浇 注 钢 种	搅 拌 位 置	搅 拌 方 式	电 磁 搅 拌 器				备 注
	型 式	铸 坯 断 面 (mm)				型 式	感 应 器	冷 却 方 式	运 行 方 式	
重庆特殊钢厂	弧型	140×140 180×180 200×200	不锈、弹簧 合结、碳结	M F	水平旋转	双边行波磁场	克兰姆式	油水二次水冷	连续	予留S
上钢五厂	弧型	120×120	合结、碳结	M	水平旋转	圆形旋转磁场	凸极式	一次内水冷	连续	
		140×140 180×180	铬不锈钢、 易切削钢	S	上下直线	单边行波磁场	克兰姆式	一次内水冷	连续	
长城钢厂	弧型	150×150 200×200	合结、碳结 不锈、弹簧	I	水平旋转	圆形旋转磁场	凸极式	一次外水冷	连续、交替	予留M
陕西钢厂	弧型	130×130 200×200	合结、碳结 碳工、不锈 弹簧、轴承	I	水平旋转	圆形旋转磁场	凸极式	一次外水冷	连续 交替	予留F
大冶钢厂	弧型	130×130 200×200	合结、碳结 弹簧、轴承	I	水平旋转	圆形旋转磁场	凸极式	一次外水冷	连续 交替	
天津特殊钢厂	水平	120×120 150×150	合结、不锈 滚珠轴承 易切削	S	水平直线	单边行波磁场	凸极式	一次外水冷	连续交替等	
齐齐哈尔钢厂	水平	130×130 180×180 185×185	合结、碳结 不锈、轴承	S	水平直线	单边行波磁场	凸极式	一次外水冷	连续交替等	

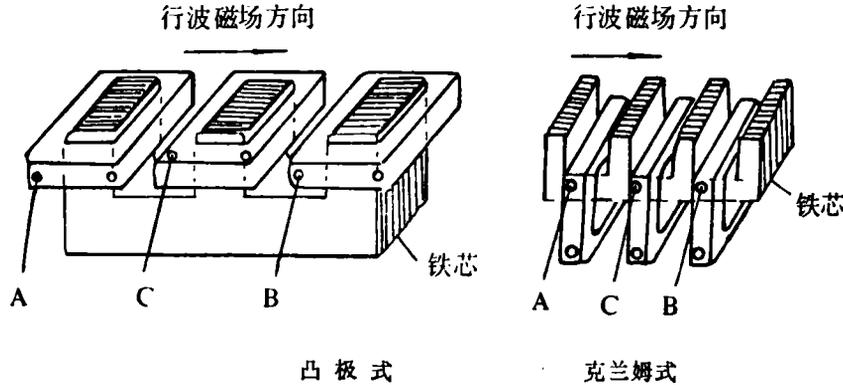


图2 电磁搅拌器的感应器

2.3 电磁搅拌器的冷却方式

电磁搅拌器在运行时，接受来自三方面的热量：铸坯的辐射热、绕组的焦耳热和面对铸坯一侧壳体的不锈钢板中感应电流的焦耳热，其总量可达几十个瓦，其中前两者是主要的。因此，电磁搅拌器能否长期稳定运行，冷却方式是一大关键。根据绕组材质不同，通常有三种冷却方式：一次内水冷、一次外水冷、油水二次冷却。

(1) 一次内水冷：搅拌器壳体采用双层壳体，中间水缝通冷却水。主要带走铸坯

的辐射热；绕组用紫铜管制成，管内直接通水冷却，带走绕组焦耳热。此冷却效果最好，但水质要求也最高，通常要求去离子水，偶而也用蒸馏水。冷却水闭路循环，需独立的配水系统。另外，搅拌器壳体整体上是密封的，但由于搅拌器的热胀冷缩的“呼吸”作用，加之周围环境潮湿，潮气易于侵入，影响绕组绝缘，因此，在壳体内腔中需充干燥空气和 N_2 ，气压略高于大气压，并维持一定的流量。

(2) 一次外水冷：搅拌器壳体通常采

用单层壳体。绕组由带绝缘层的扁铜带制成, 浸在壳体内腔的冷却水中, 直接通水冷却。冷却效果较好, 但水质要求也较高。冷却水闭路循环, 需独立的配水系统。

(3) 油水二次冷却: 搅拌器壳体采用双层壳体, 中间水缝通冷却水, 主要带走铸坯辐射热。绕组由带绝缘层的扁铜带制成, 浸在壳体内腔中的硅油中, 硅油不循环, 而壳体内腔中安装热交换器, 通水冷却, 带走绕组焦耳热。与前两种方式比较, 冷却效果稍差, 但水质要求低, 通常使用结晶器软水, 冷却水开路运行。

由上所述, 一次内水冷和外水冷方式, 绕组和冷却水直接接触, 虽冷却效果好, 但水质要求也高, 绕组绝缘强度较低。而油水二次冷却方式, 绕组不与水接触, 虽冷却效果稍差, 但水质要求低, 绕组绝缘强度高。从目前使用情况看, 采用一次水冷或外水冷方式, 由于水质不易控制, 造成绕组绝缘降低, 使搅拌器性能下降, 影响使用效果。而油水二次冷却方式, 由于绕组保持较高的绝缘强度, 搅拌器性能也基本保持不变。

2.4 冷却水水质要求

不同的冷却方式, 除对冷却水的压力、流量、温度有不同要求外, 对水质各有特殊的要求, 主要有PH值、导电率、悬浮物含量和颗粒大小等等。现根据有关资料汇集于表2。

表2 对冷却水质的特殊要求

	一次内水冷	二次外水冷	油水二次冷却
PH	7~9	7~9	7~9
导电率 $\mu\text{s}/\text{cm}$	≤ 10	<500	
强磁颗粒		绝对没有	
悬浮物含量 mg/l	<50	<50	<50
悬浮物直径 μm	<100	<5	<200
冷却水运行方式	闭路	闭路	开路

由表可见, 油水二次冷却方式对水质要求较低, 且可开路运行, 在目前国内条件

下, 水质较易控制。

3. 调控电磁搅拌运行条件的一般规律

众所周知, 电磁搅拌的冶金效果受多种因素的影响, 包括钢水过热度、拉速、搅拌位置、搅拌强度和钢种等等, 而这些影响又是互相关联和制约的。因此, 电磁搅拌运行条件的选择是一个复杂而困难的问题, 不仅需要了解其一般规律, 更需要实践经验的积累。下面从几个方面作一简述, 以便为正确调控运行条件提供一些思路 and 依据。

3.1 搅拌位置的选择

正确选择搅拌位置可以使铸坯质量达到实质性的改进, 此处包括组合搅拌的选择和搅拌位置的选择。

(1) 组合搅拌的选择

实践表明, 一段搅拌虽可以达到一定的等轴晶率, 但对减少中心偏析是不充分的, 因此对于高碳钢及难于连铸的钢种需要采用两段或三段组合搅拌。采用多段组合搅拌的目的就是要使钢水在整个冶金长度上不停地搅动, 使其中的晶核、合金元素、夹杂物等均匀游离而不致富集, 从而较好地控制凝固过程。采用两段组合搅拌, 搅拌强度可适当降低, 由于搅拌时间延长了, 相对的提高了有效功率的范围。这样不仅促进了等轴晶生长而且也抑制了白亮带的形成。采用三段组合搅拌能更有效地产生宽而细的等轴晶区且可避免白亮带的出现, 使一段搅拌时难于做到的最佳搅拌条件在三段搅拌时易于做到。

选择多段组合搅拌可以从冶金目的、等轴晶率和钢种等方面来思考, 其选择思路见表3和图3。

(2) 搅拌位置的确定

在给定的铸坯断面 a 、钢种、拉速和冷却制度下, 搅拌位置确定柱状晶区厚度 b 和等轴晶区厚度 c 之比。最佳搅拌位置由两个矛盾的准则所决定: 一是接近结晶器的高位搅拌, 可以在凝固桥形成之前早早阻止柱状晶生长, 二是远离结晶器的低位搅拌可以防

表3 多段组合搅拌的选择思路

搅拌的组合	冶金目的	适用钢种
M	减少夹杂物	低碳沸腾钢(包括低合金钢)含微量Si-Al钢
	减少气孔	同上
	减少夹杂物和中心偏析	中、高碳钢(包括低合金钢和弹簧钢)特殊高碳钢
M+S 或 M+F	减少夹杂物和中心偏析	同上
	控制搅拌功率抑制白亮带	同上
M+S+F	减少中心缩孔	同上
	减少夹杂物和中心偏析	同上
	控制搅拌功率抑制白亮带	同上
	减少中心缩孔	同上
	更有效地减少中心偏析和中心缩孔	中、高碳钢(包括低合金钢和弹簧钢)

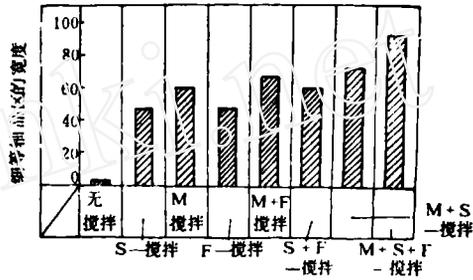


图3 一段或多段组合搅拌对等轴晶率的影响

止等轴晶向二次柱状晶的转化。另外，在弧形连铸中，大型夹杂物常在内弧侧偏聚，恰当的搅拌位置和搅拌方式有利于夹杂物分离上浮。经验表明，二冷区电磁搅拌器中心的最佳位置约在 $b \approx \frac{a}{4} \sim \frac{a}{3}$ 范围内，通常希望在铸坯宽度上柱状晶区与等轴晶区各占一半处。而凝固末端的最佳搅拌位置则在冶金长度的四分之三处，即 $\frac{3}{4}H$ 处。见图4。

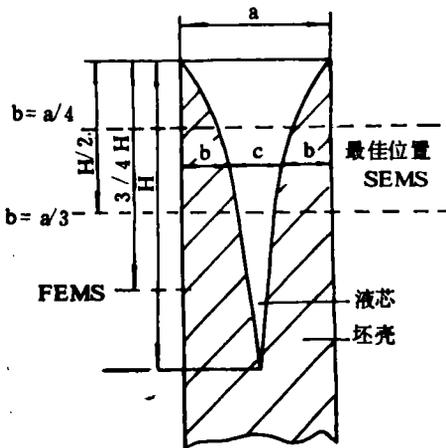


图4 搅拌位置示意图

至于结晶器电磁搅拌的位置要考虑两个互相矛盾的因素的影响。搅拌位置高，显然有利于夹杂物向中心聚集，但另一方面需要

考虑流动造成翻皮等的影响。如采用旋转磁场搅拌器，当钢水旋转时，中心下陷而沿四壁上升，这样在结晶器振动过程中，可能导致钢水在坯壳和结晶器壁之间溢流，造成翻皮缺陷；如采用双边行波磁场搅拌器，当钢水旋转时，在中心形成旋涡而在四个角部会产生卷吸现象，也易造成翻皮缺陷，见图5。另外，由于特殊钢连铸都采用保护渣浇注，上述流动现象也会造成卷渣。因此，结

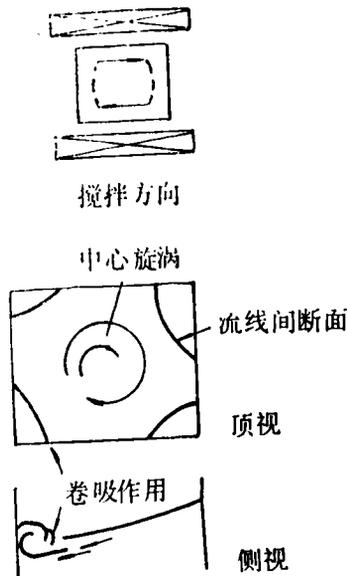


图5 流动示意图

晶器电磁搅拌的位置通常是搅拌器的感应器铁芯的顶部离钢水液面之距离约在100—150 mm范围内。

需要指出的是，在有结晶器电磁搅拌时，钢液面的控制是至关重要的。

3.2 电磁搅拌运行条件的调控

当搅拌位置确定后，电磁搅拌运行条件的调控可以归结为以下三个方面：

(a) 电源频率：主要针对结晶器电磁搅拌；

(b) 搅拌强度；

(c) 运行方式：主要针对足辊下二冷区电磁搅拌。

3.2.1 各种因素对最大电磁力和最佳频率的影响

结晶器电磁搅拌需要使用低频电源，理论分析表明，钢水中电磁力的大小随频率的变化有个最大值，相应地有个最佳频率，它们与结晶器铜板厚度和导电率、钢种和流速及铸坯断面等密切相关，见图6~10。

由图6和7可见，结晶器铜板厚度和导电率（实际上是材质和冷却制度）不仅影响最大电磁力的量值，而且也影响最佳频率的大小；

由图8和9可见，钢水导电率（实际上是钢种和温度）和流速对最大电磁力的量值影响很大，而对最佳频率的影响却不大。

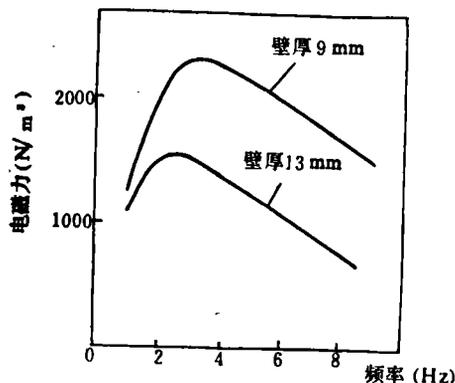


图6 结晶器铜板厚度对电磁力的影响

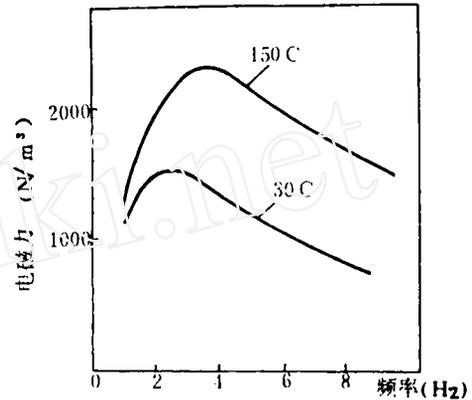


图7 结晶器铜板导电率对搅拌力的影响

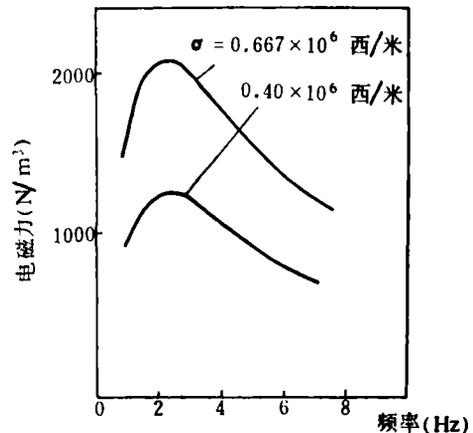


图8 钢水导电率对电磁力的影响

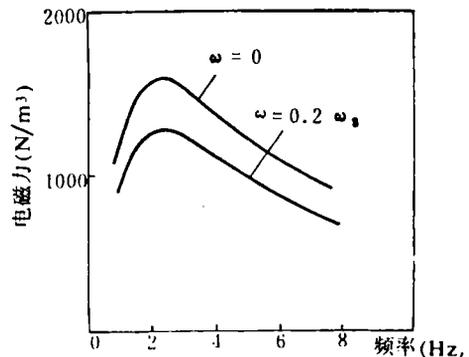


图9 钢水流速对电磁力的影响

由图10可见，铸坯断面对最大电磁力的量值影响很小，而对最佳频率的影响较大。

由上述各图可见，最佳频率左面的曲线

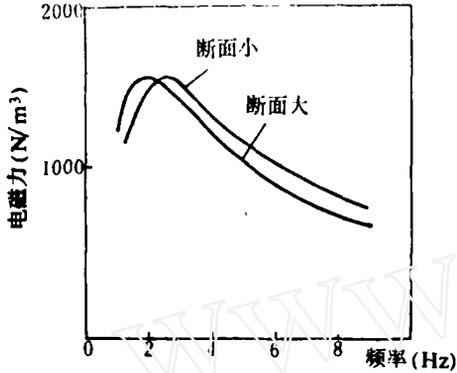


图10 铸坯尺寸对电磁力的影响

较陡，而其右面的则较平缓，所以在实际使用时，考虑一些实际因素的影响，使用频率应选在最佳频率右面的范围内，否则有可能大大降低电磁力，影响使用效果。

需要指出的是，讨论此问题的实际意义在于，恰当选择电源频率，使电磁力达到尽可能大的值，由于它与感应器激发的磁场强度的平方成正比，因此，在同样电磁力下，搅拌强度尽可能小一些，即搅拌功率尽可能小一些。

3.2.2 搅拌强度的调控

(1) 搅拌强度的定义

由理论分析可知，电磁力的大小 f_e 与感应器表面的磁感应强度切向分量幅值 B_0 的平方成正比，而 B_0 与感应器的安匝数 $N I$ 成正比，即

$$B_0 = \mu_0 N I \quad (1)$$

对于一台给定的搅拌器，感应器绕组的匝数 N 是一个定值，因此，电磁力与电流强度 I 的平方成正比，即

$$f_e \propto B_0^2 \propto I^2 \quad (2)$$

通常搅拌强度以电流强度 I 表示，其原因就在于此。

(2) 钢种物性的影响

钢种物性此处主要指钢水导电率和粘性。图11表示碳钢和不锈钢的流速与磁感应强度的实验结果，由图可见，要得到同样流速，搅拌不锈钢所需场强要比碳钢高得多。

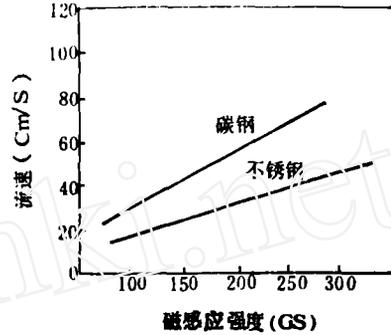


图11 流速与磁感应强度的关系

(3) 合金元素的影响

实践表明，增加等轴晶率有利于消除宏观偏析，偏析程度随搅拌强度增加而减少，将柱状晶完全转变成等轴晶要求某个最小功率，实践表明，它随合金含量的增加而减小，见图12。如在高于最小搅拌功率上运行，虽可增加等轴晶率和消除凝固桥的形成，但将增加白亮带形成的可能性。特殊钢不同程度地含有合金元素，因此，控制搅拌强度尤为重要。

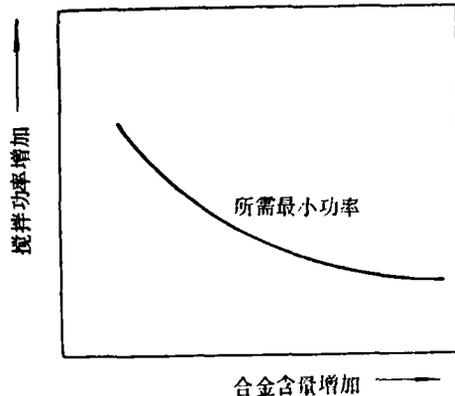


图12 合金含量对最小搅拌功率要求的影响

(4) 拉速的影响

搅拌强度的调整实质上依赖搅拌位置的液芯宽度 C ，对于给定的铸坯断面、钢种、冷却条件，液芯宽度和拉速有关。图13表示拉速对搅拌强度的影响。对于一台固定的搅拌器，在相同铸坯断面和冷却制度下，拉速高，铸坯液芯大，搅拌强度应当小一些，反之则应当大一些；在同样拉速和冷却制度

下，断面大，液芯也大，搅拌强度应当小一些。

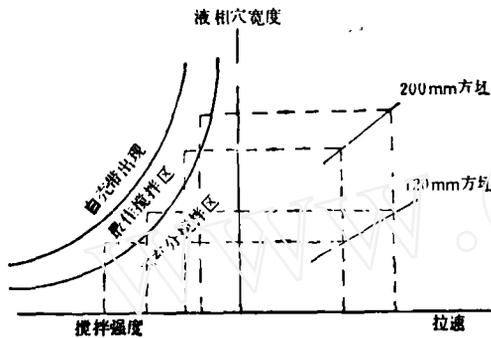


图13 转速的影响

(4) 如何调控搅拌强度

和连铸机一样，一台搅拌器需要适用几个断面的钢种，当它们变化时，如何调节搅拌强度？我们从两个电磁搅拌工况中几何相似的磁流体力学过程的相似性出发，导出三个相似参数，即无量纲量：

$$\text{雷诺数 } Re = \frac{\text{惯性力}}{\text{粘性力}} = \frac{\rho V_0 L}{\eta} \quad (3)$$

$$\text{磁雷诺数 } Rm = \frac{\text{磁扩散项}}{\text{磁对流项}} = \mu_0 \sigma V_0 L \quad (4)$$

$$\text{哈特门数 } Ha = \frac{\text{电磁力}}{\text{粘性力}} = \frac{\sigma B_0^2 L^2}{\eta} \quad (5)$$

要使两个不同搅拌工况的磁流体力学过程相似，除几何相似外，还必须使相似参数即无量纲量 Re 、 Rm 、 Ha 分别相等。

(a) 钢水导电率和铸坯线性尺度的影响

由公式 (3) ~ (5) 和 (1)，在一定条件下，经适当运算，可以得到两个不同搅拌工况下，搅拌强度的调整规律：

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{L_1}{L_2} \sqrt{\frac{\sigma_1}{\sigma_2}} \quad (6)$$

式中 L 通常可以理解为铸坯尺寸或液芯尺寸， σ ~ 钢水导电率，下标 1 和 2 指两个搅拌工况。

对于同一钢种，(6) 式退化为

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{L_1}{L_2} \quad (7)$$

由此可见，搅拌强度的调整与线性尺度成反比，其结果与图13相一致。

对于同一线性尺度，(6) 式退化为

$$\frac{I_2}{I_1} = \sqrt{\frac{\sigma_1}{\sigma_2}} \quad (8)$$

则搅拌强度的调整与钢水导电率的平方根成反比。

(b) 钢水粘性的影响

由公式 (3) ~ (4) 和 (1)，在一定条件下，可以得到另一个不同搅拌工况下，搅拌强度的调整规律，即

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{\eta_2 L_1}{\eta_1 L_2} \quad (9)$$

其中 η — 动力粘性系数。

对于同一线性尺度，(9) 式退化为

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{\eta_2}{\eta_1} \quad (10)$$

则搅拌强度的调整与钢水粘性系数成正比。

上述分析是在理想情况下导出的，实际的电磁搅拌过程是较复杂的，但上述分析可以作为调节搅拌强度的一些思路和依据。

需要指出的是，上述分析的实际意义在于，只要将一个钢种和一个断面的实验做充分了，依据上述的分析结果，比较容易把握另一断面和钢种的调节的趋向。一般说来，钢种的粘性系数的数据较详，而导电率的数据不详，但导电率高的钢种，其导热率也高，而导热率的数据较详，因此，可以从导热率的角度去思考。

3.3.3 运行方式的选择

电磁搅拌器的运行方式目前常用的大体有连续搅拌、交替搅拌和异相电流搅拌等方式，其示意图见图14。

(1) 连续搅拌方式：该方式就是对搅拌器各相施以同一频率和电流强度，激发向一个方向运动的磁场，从而使钢水连续向一个方向运动。这种方式比较适用于结晶器和凝固末端电磁搅拌，对足辊下和二冷区电磁

搅拌,如使用不当,易产生白亮带。

(2) 交替搅拌方式:为了防止和减轻白亮带,目前在足辊下或二冷区电磁搅拌中多采用正反相交替搅拌方式,即搅拌器激发的磁场按设定的时间正反向交替变换,使钢水也随之变换运动方向。这样有利于造成较均匀的不稳定流动,使其中的晶核、合金元素、夹杂物等能均匀游离。这里关键是交替时间的调整。

(8) 异相电流方式:异相电流方式也称异频方式,即对搅拌器的各相施以不同频率的电流。由于各相的频率不同,导致激发的磁场的强度和方向的同步变化,使电磁力的方向作周期性变化,其大小也由零到最大值作周期性变化,因此钢水的流动方向和速度也相应作周期性变化。这种运行方式能导致钢水缓慢搅拌,可使溶质富集的钢水连续地改变方向和速度,其结果能使铸坯无中心偏析且不会出现白亮带。

由于该方式需要变频电源,除板坯电磁搅拌中使用得较普遍外,方坯中还较少。

对于黄培章高工及重特、上钢五厂、天特、齐钢及长城钢厂等的支持与帮助,作者深表谢意!

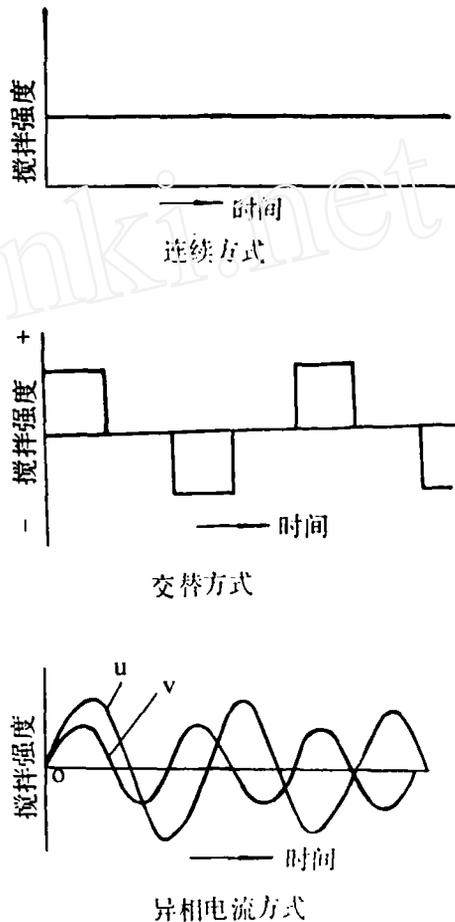


图14 运行方式示意图

· 特钢简讯 ·

抚顺钢厂用普钢铸机生产特殊钢

抚顺钢厂的一台两机两流小方坯普钢连铸机是1985年从西班牙引进的二手设备,此设备由日本设计,西德制造。到1989年5月,这台连铸机的厂房建设、设备安装、人员培训等全部完成,具备热试车条件。但是,由于原设计简单、落后,致使所拉铸坯质量难以过关。在领导的重视下,抚钢与东工合作,对铸机按特钢要求进行技术改造。1990年7~8两个月拉成1Cr18Ni9Ti107t,20钢217t,拉成率达98%。主要措施是改定经水口为浸入式水口,其次是安装铸坯剪切回顶的模板装置,使结晶器液面稳定,三是除长水口外的全部耐材在东工指导下均由本厂重新设计制造,从而保证了浸入式水口的安全启闭。

今后,还有些技改项目,如大包到中间包的全封闭无氧化浇注,提高二冷水压力,使之雾化均匀,流量可控。品种则以不锈钢为主实行攻关。这样,技改和攻关同步进行的任务完成之后,这台落后的普钢连铸机就一定生产出高档品种质量的特钢连铸坯来。