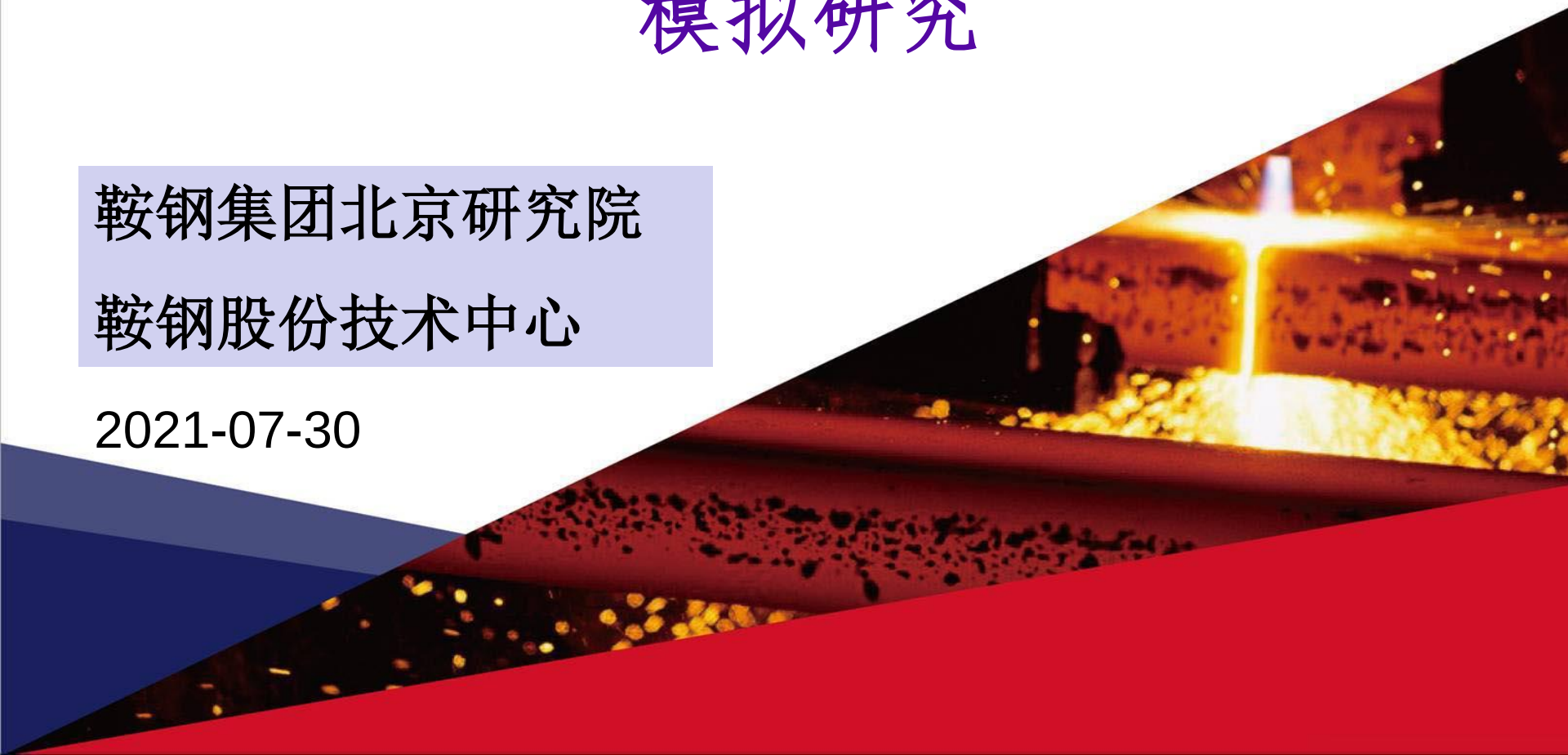




螺旋电磁搅拌对大尺寸圆坯连铸影响 模拟研究

鞍钢集团北京研究院
鞍钢股份技术中心

2021-07-30



目录

1、简介

2、理论分析

3、数值仿真

4、实验研究

5、小结

6、致谢

1 简介



矛盾



搅拌不充分
补缩不足

中心疏松

传热

搅拌强度

搅拌方式

中心孔洞

搅拌过强
溶质偏析

白亮带

传质

解决途径

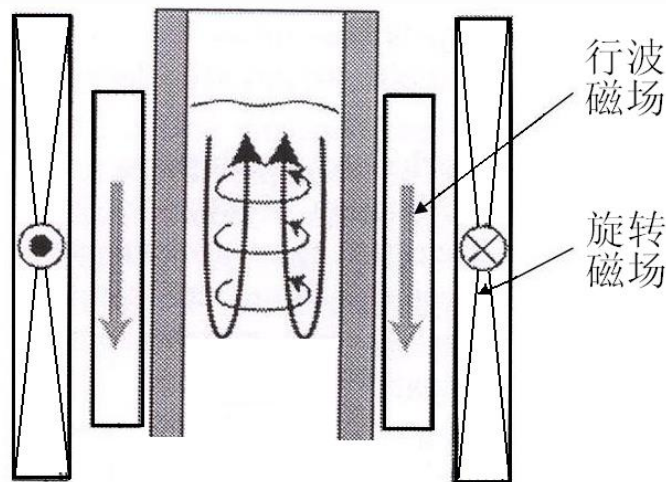
应用

板坯连铸、方坯连铸

电磁搅拌

旋转磁场+ 行波磁场

螺旋磁场 (H-EMS)



结果

- 流场、温度场
- 溶质分布、夹杂物、缩松、缩孔、微观组织
- 铸坯内部质量、产品性能

1932

Dreyfus博士发现低速移动着的感应磁场能在钢水中产生强力的搅拌。

1948

瑞典ASEA公司制造出世界第一台电磁搅拌器，用于电弧炉炼钢。

80年代

法国人最先发明了适合连铸钢二冷区用的螺旋磁场搅拌器（复合型）。

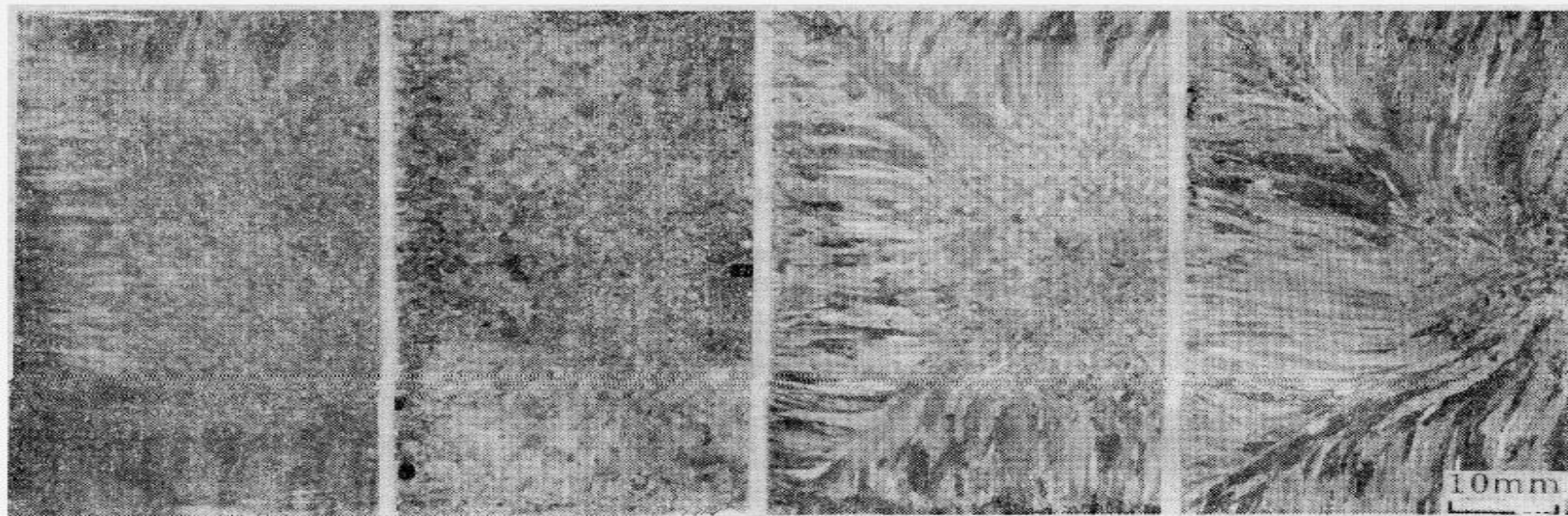
1988

张裕后 提出 螺旋磁场搅拌器的专利，他们发明的螺旋磁场搅拌器由于体积小，可以在结晶器内安装。

至今

北科大、清华大学、大连理工大学、宝钢等都进行螺旋电磁搅拌的研究。

❖ 电磁搅拌技术的发展历程



S—旋转搅拌
 $Bro = 0.154T$

S—螺旋搅拌
 $Bro = 0.147T$

S—直线搅拌
 $Bro = 0.151T$

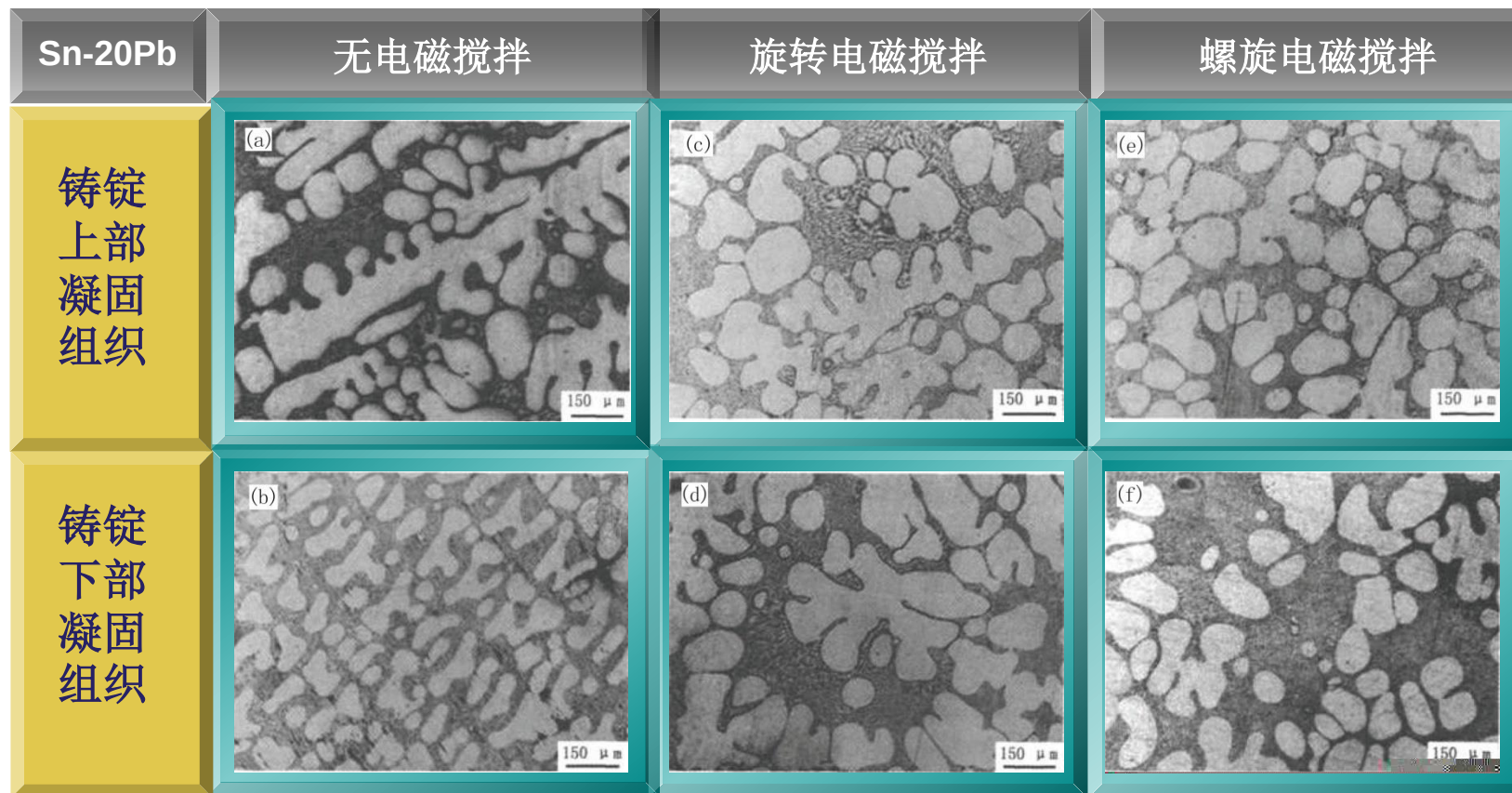
对比锭，无搅拌

不同搅拌方式下Sn锭等轴晶率对比

搅拌方式	等轴晶率, %
无电磁搅拌	13.67
直线搅拌	28.92
旋转搅拌	46.61
螺旋搅拌	82.09

1991年
北京科技大学

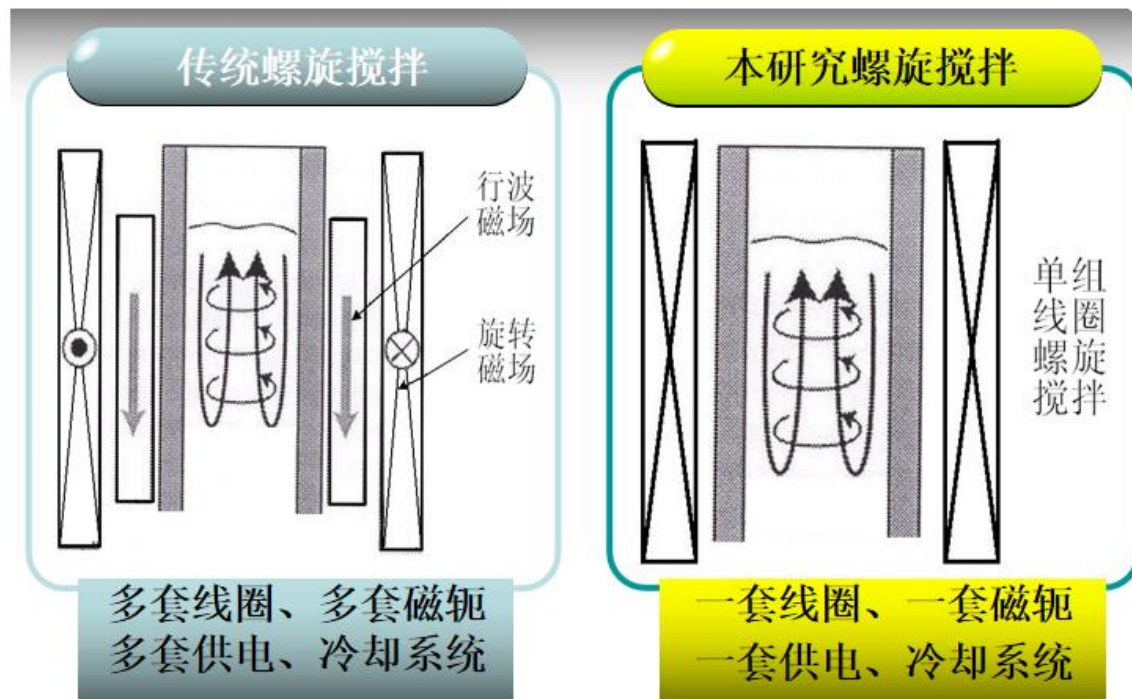
螺旋电磁
搅拌的致
果要优于
传统线性
和旋转搅
拌



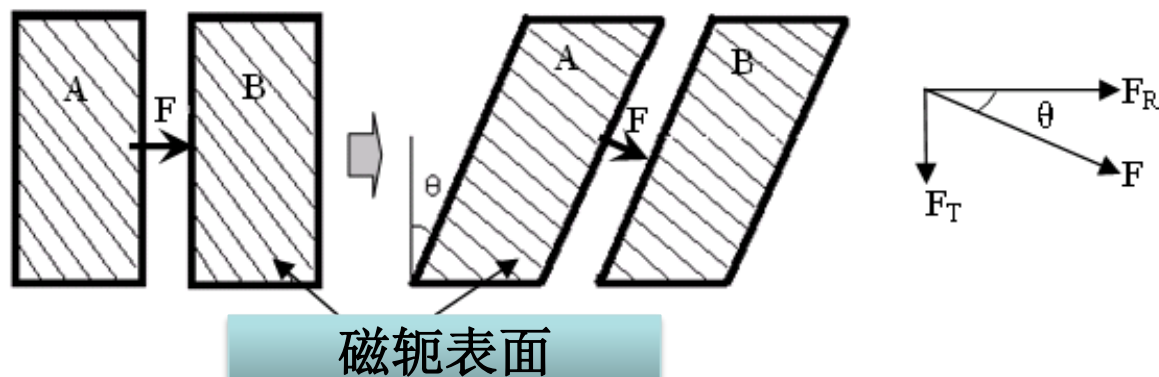
2011年 大连理工大学联合宝钢

2 理论分析

设备
结构
改进

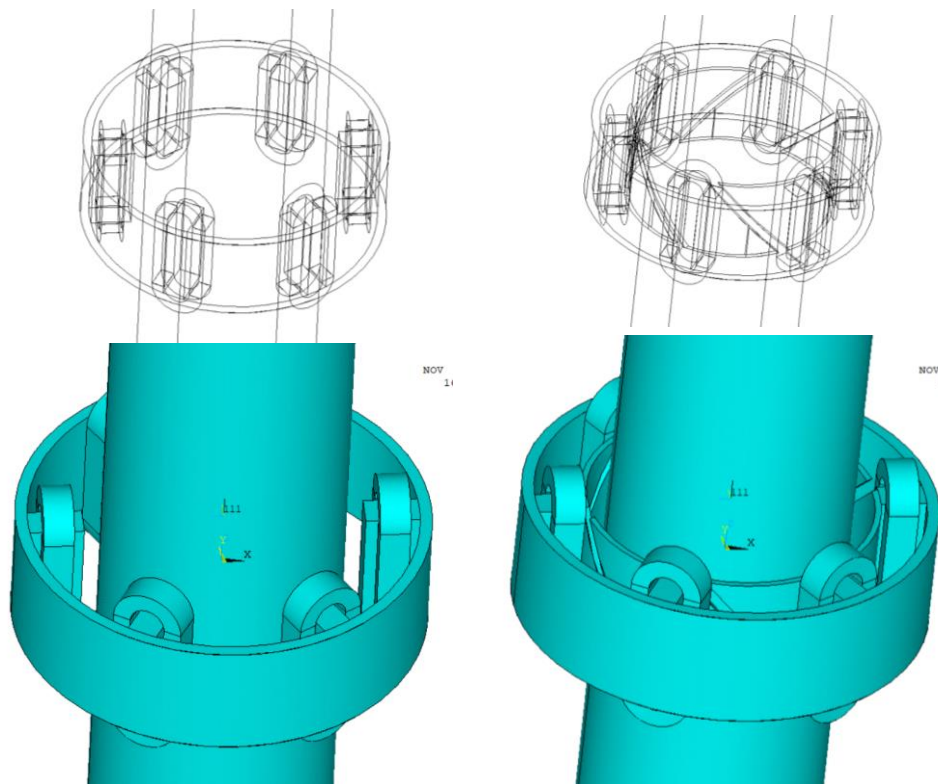


螺旋
力产生
示意图



3 数值仿真

模拟模型及参数设置



(a) 螺旋电磁搅拌

(b) 旋转电磁搅拌

铸坯直径	$\Phi 800\text{mm}$
搅拌器内径	$\Phi 900\text{mm}$
搅拌器外径	$\Phi 1400\text{mm}$
搅拌器高	600mm
铁芯高	400mm
磁轭倾斜角度	43°
模拟铸坯长	5.5m
拉坯速度	0.18m/min
液相线温度	1493°C
固相线温度	1429°C
搅拌电流	1000A/匝
搅拌频率	6Hz

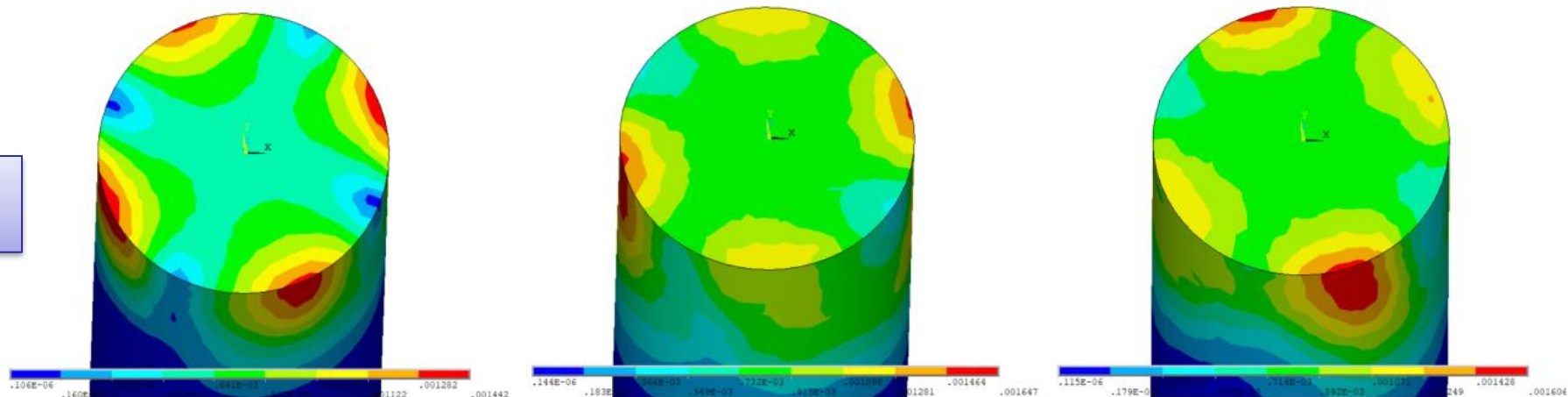
模拟参数设置

数值仿真模拟模型

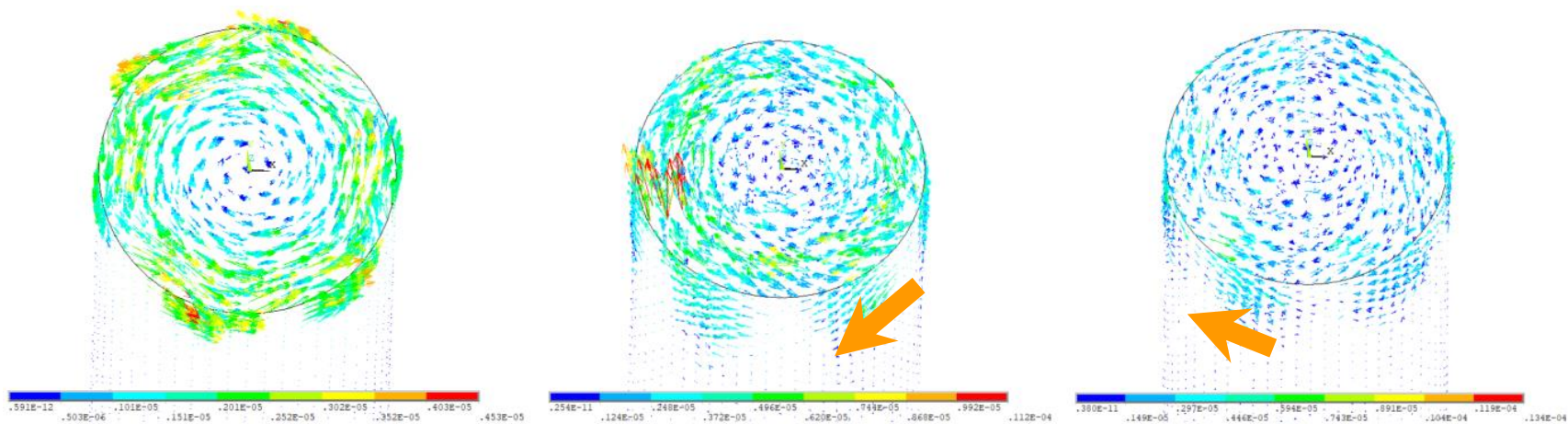


电磁场

B



F

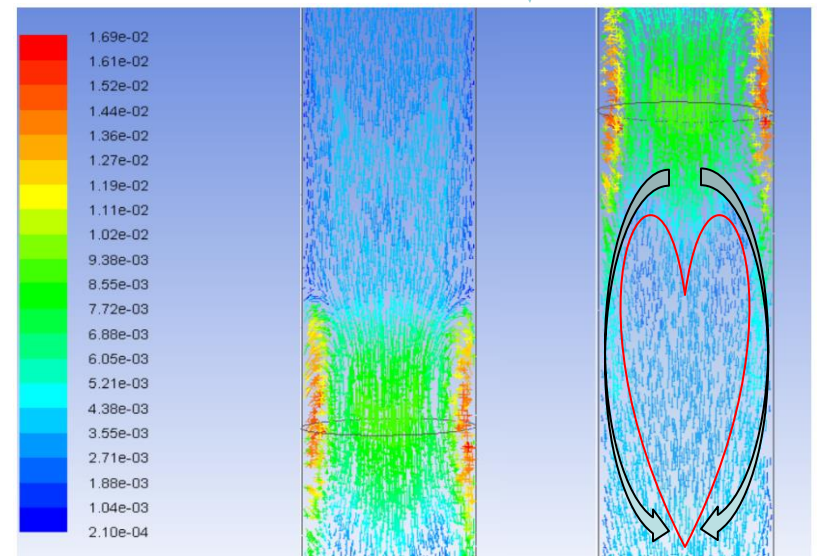
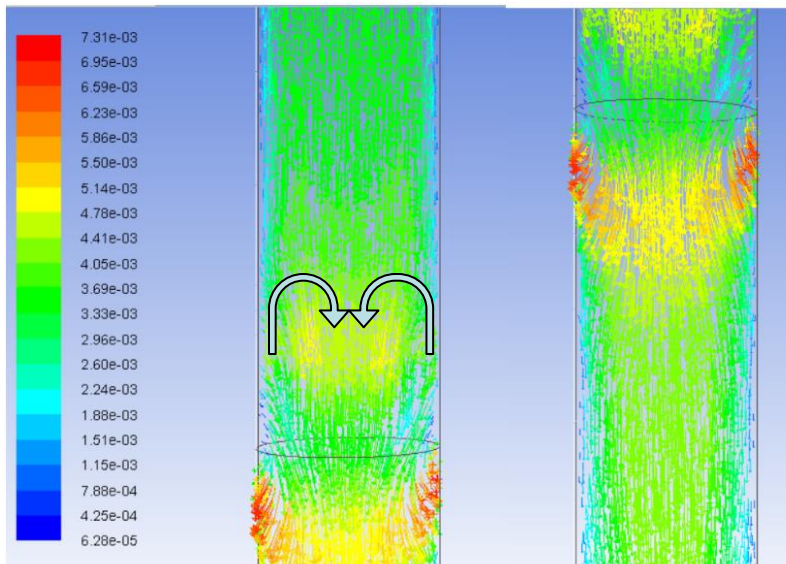
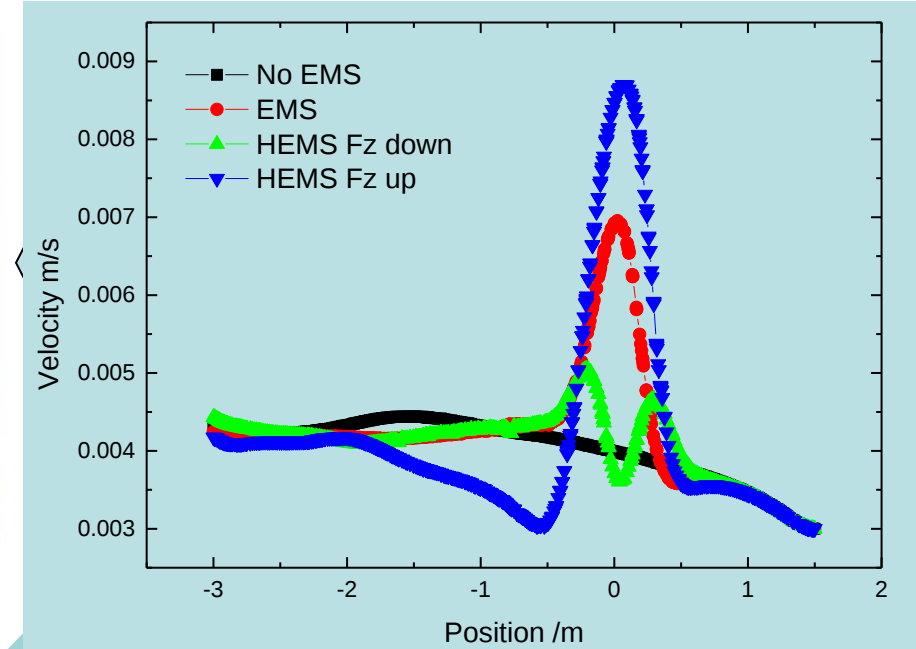
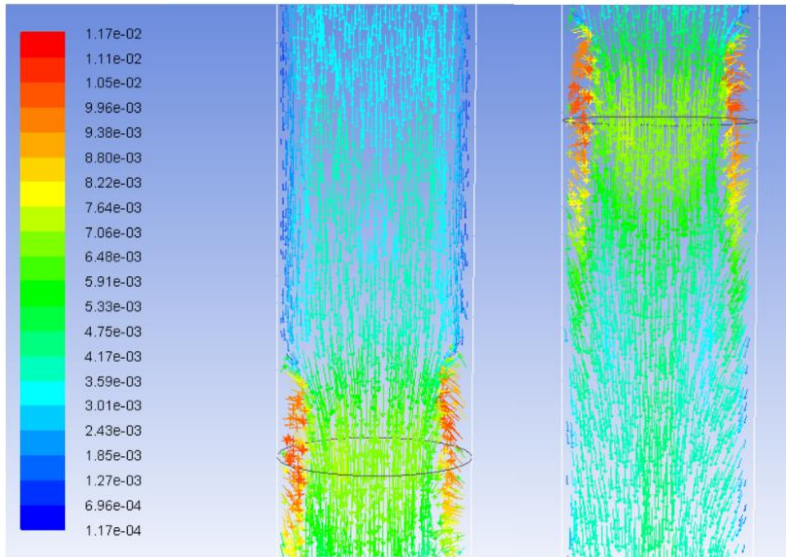


(a)旋转电磁搅拌

(b)螺旋电磁搅拌(Fz down)

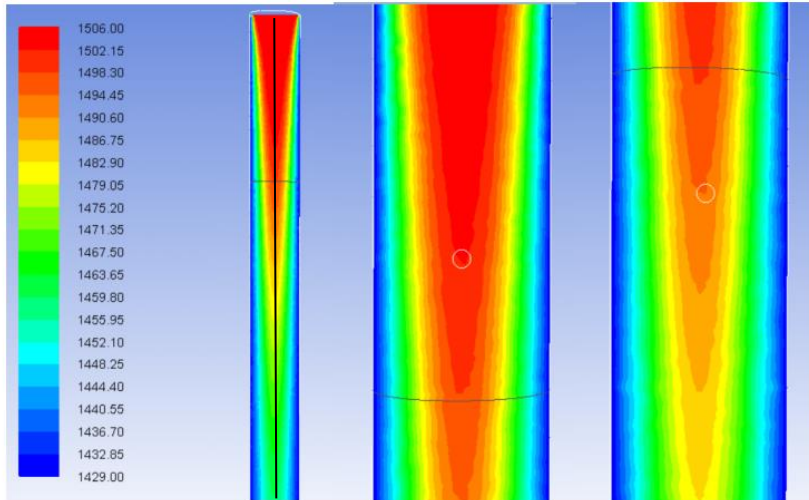
(c)螺旋电磁搅拌(Fz up)

流速场

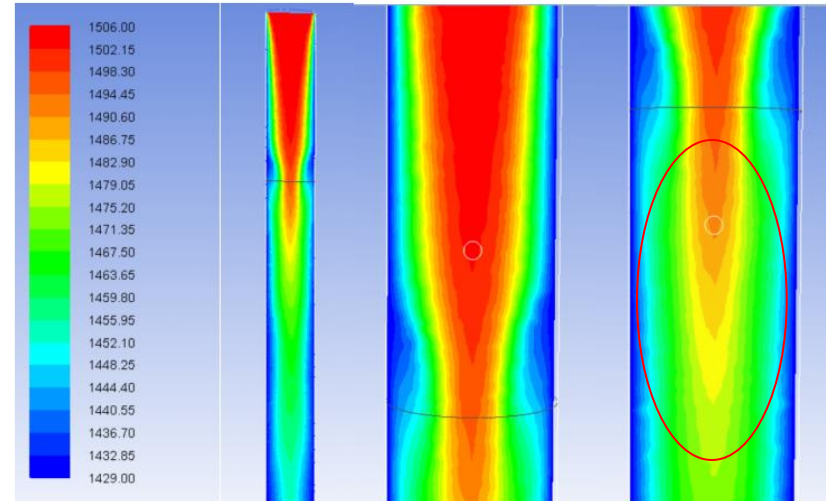




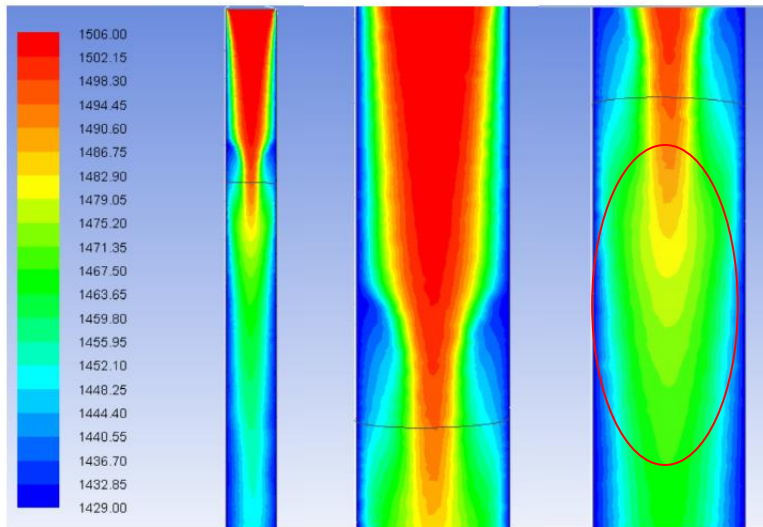
温度场



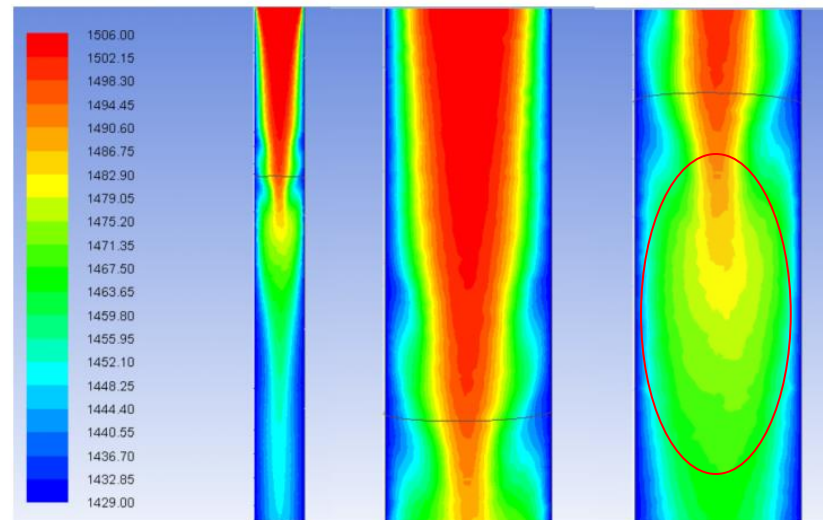
No EMS



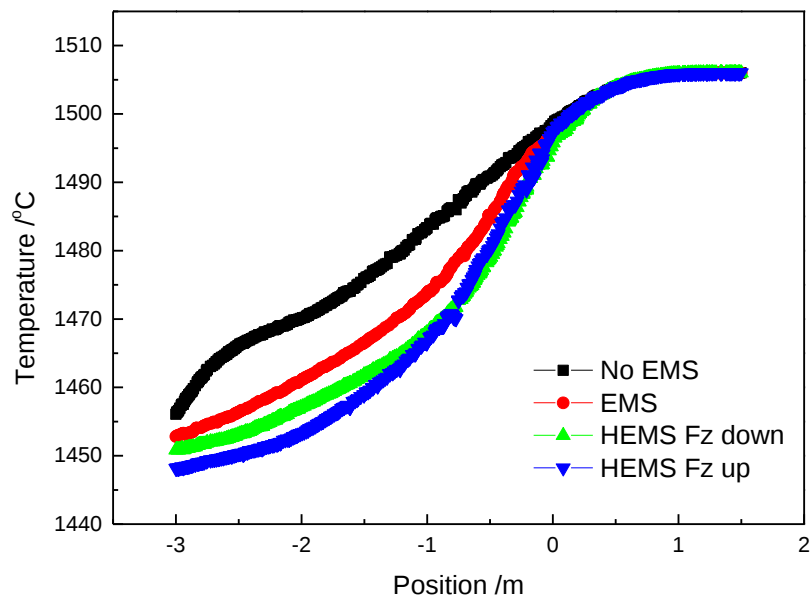
Trational EMS



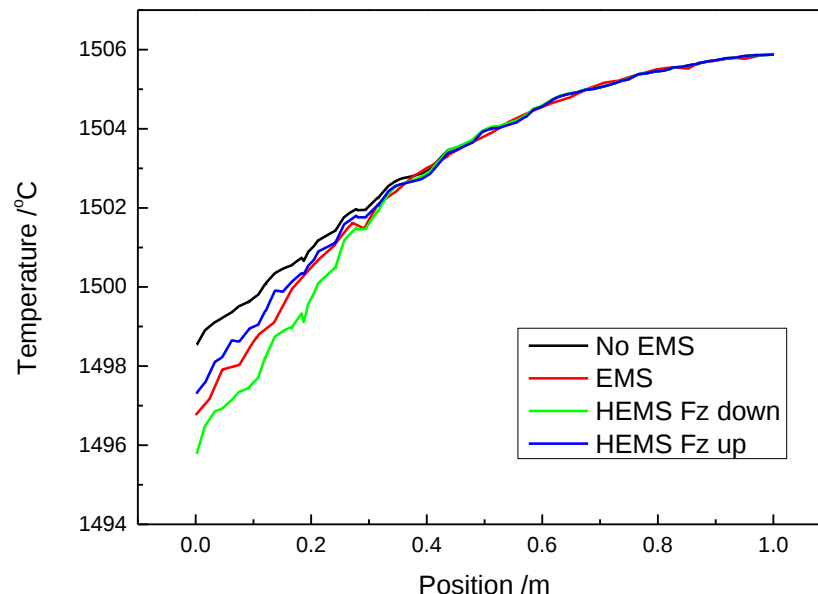
HEMS Fz down



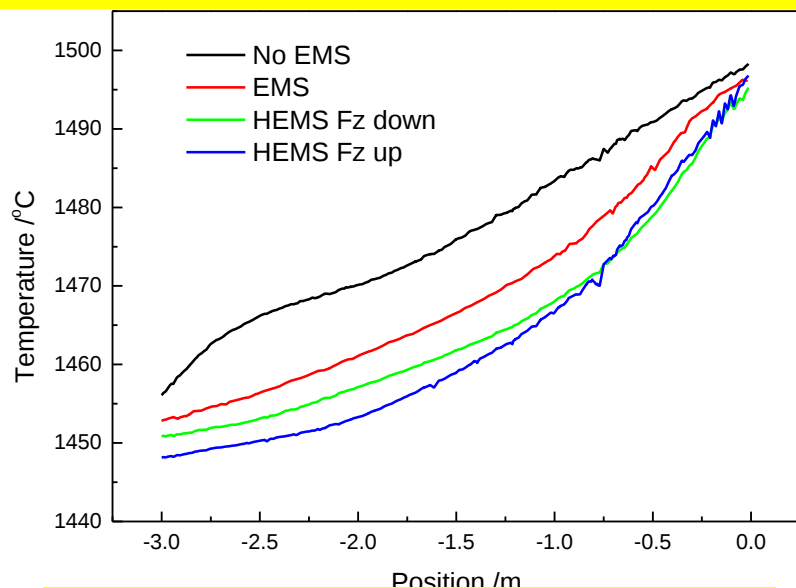
HEMS Fz up



不同搅拌方式时钢液中心线的温度分布



上影响区钢液中心线的温度分布



下影响区钢液中心线的温度分布

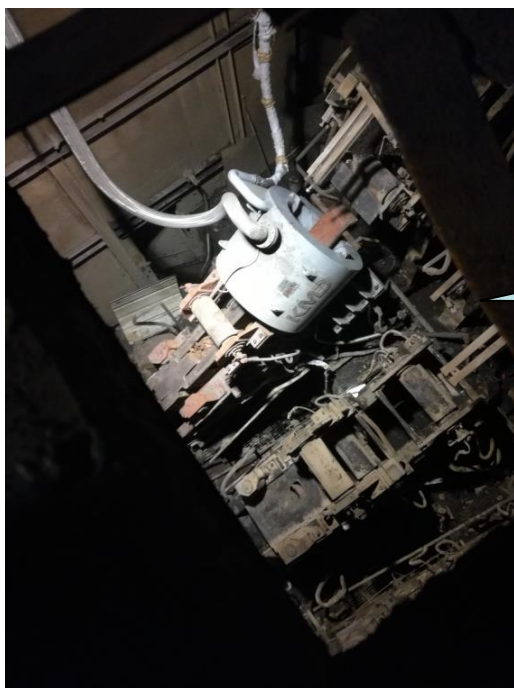
无电磁搅拌时下影响区范围内钢液中心线上的平均温度为**1477.02°C**，传统搅拌时，该位置平均温度为**1470.21°C**，比前者低了**6.81°C**，当螺旋搅拌Fz向下时，该位置平均温度为**1464.77°C**，比无电磁搅拌时低了**12.25°C**；当Fz向上时该位置平均温度为**1462.98°C**，比无电磁搅拌时低了**14.04°C**。从上述数据可以看出，螺旋电磁搅拌在降低铸坯液芯温度梯度方面具有更明显的优势。

4 实验研究

连铸实验



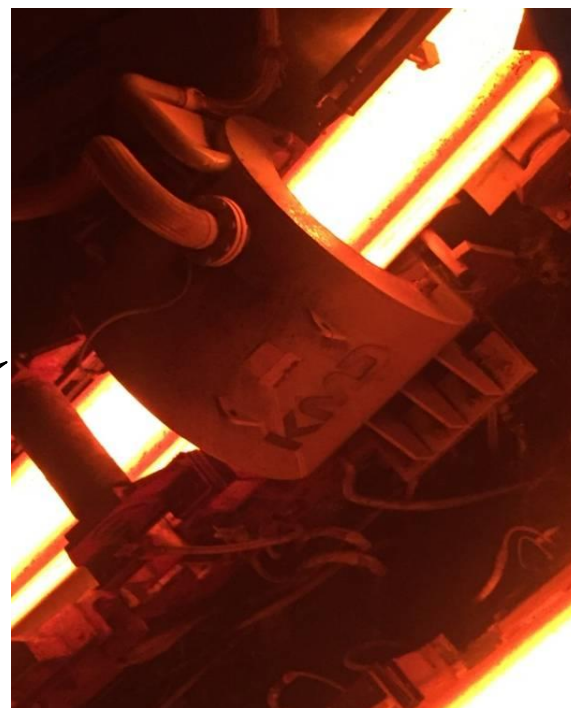
280*380mm大方坯连铸



螺旋电磁搅
拌控制界面

搅拌器正
在安装

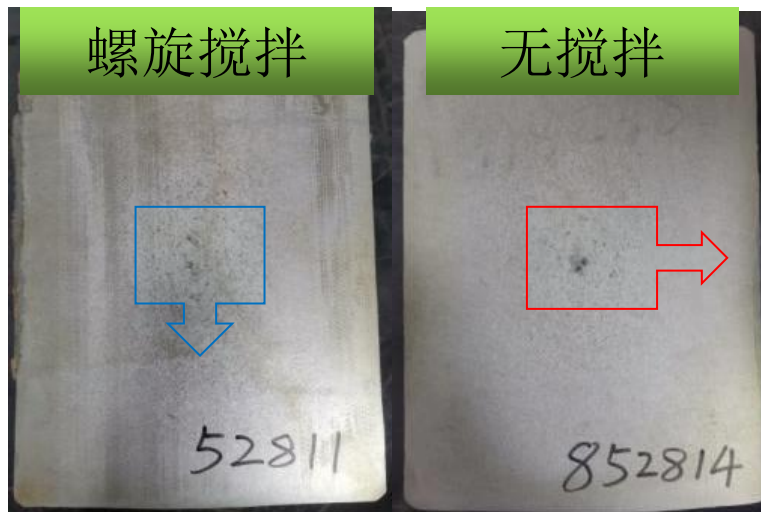
调试运行



U75V低倍检验

螺旋搅拌

无搅拌

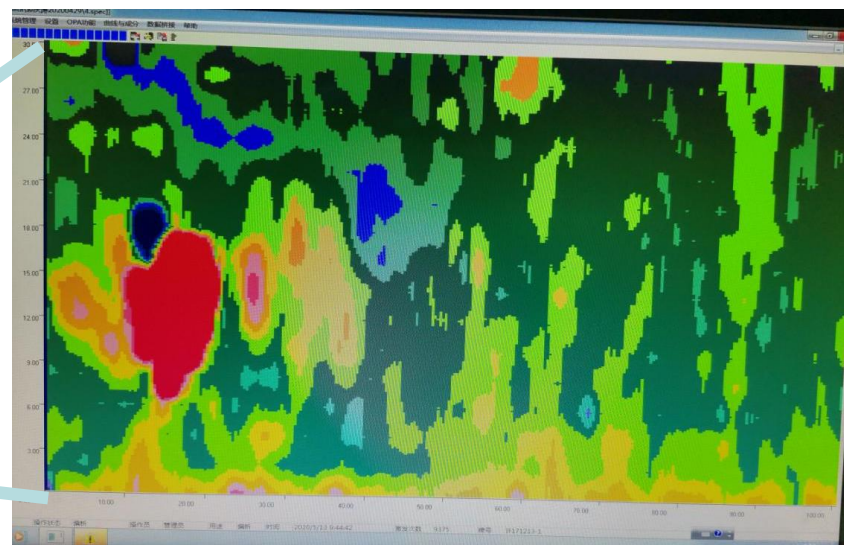


钢种：U75V，
频率：6Hz
电流：600A
垂直电磁力：向下

原位分析扫描样品示例



扫描后的样品



原位显示C偏析

原位分析

	C		Mn		C统计偏析度改善比例
	统计偏析度	统计均匀度	统计偏析度	统计均匀度	
400A	0.0961	0.8972	0.2471	0.1107	↑5.2%
对比坯	0.1014	0.8586	0.3596	0.2202	
500A	0.0837	0.9028	0.127	0.4028	↓3.2%
对比坯	0.0811	0.9289	0.1262	0.8148	
600A	0.033	0.9981	0.0262	0.9585	↑51.5%
对比坯	0.0681	0.8602	0.0803	0.7156	

	C		Mn		C统计偏析度变化比例	备注
	统计偏析度	统计均匀度	统计偏析度	统计均匀度		
6Hz	0.0837	0.9028	0.127	0.4028	↓3.2%	拉速 0.7m/min
对比坯	0.0811	0.9289	0.1262	0.8148		
7Hz	0.077	0.9299	0.1577	0.3772	↑20.5%	拉速 0.7m/min
对比坯	0.0968	0.9247	0.152	0.4418		
8Hz	0.0324	0.9688	0.0402	0.934	↑28.3%	拉速 0.7m/min
对比坯	0.0452	0.9536	0.0674	0.8591		
8Hz	0.1123	0.7712	0.2181	0.2963	↑59.8%	拉速 0.6m/min
对比坯	0.2795	0.6564	0.308	0.2463		

原位分析

参数	搅拌方式	C		Mn		统计偏析度改善比率
		统计偏析度	统计均匀度	统计偏析度	统计均匀度	
400A6Hz	正转	0.1547	0.7577	0.2237	0.3262	↓166%
	对比坯	0.058	0.9441	0.2269	0.1417	
	反转	0.0961	0.8972	0.2471	0.1107	↑5.2%
	对比坯	0.1014	0.8586	0.3596	0.2202	
500A8Hz	正转	0.0355	0.9989	0.0208	0.9837	↓48.5%
	对比坯	0.0239	0.9996	0.0333	0.9336	
	反转	0.0324	0.9688	0.0402	0.934	↑28.3%
	对比坯	0.0452	0.9536	0.0674	0.8591	
600A6Hz	正转	0.1163	0.8753	0.3669	0.2434	↓20%
	对比坯	0.0969	0.9143	0.2328	0.3848	
	反转	0.033	0.9981	0.0262	0.9585	↑51.5%
	对比坯	0.0681	0.8602	0.0803	0.7156	

U75V原位分析对比

统计偏析度

处理方式	C	Si	S	Mn
NO EMS	0.0452	0.0520	0.1696	0.0674
HEMS	0.0324	0.0263	0.1125	0.0402
同比变化	↓28.3%	↓49.4%	↓33.7%	↓40.4%

统计偏析度

处理方式	C	Si	S	Mn
NO EMS	0.0681	0.0677	0.1751	0.0803
HEMS	0.0330	0.0229	0.0845	0.0262
同比变化	↓51.5%	↓66.2%	↓51.7%	↓67.4%

统计均匀度

处理方式	C	Si	S	Mn
NO EMS	0.9536	0.9398	0.9648	0.8591
HEMS	0.9688	0.9473	0.9770	0.9340
同比变化	↑1.6%	↑0.8%	↑1.3%	↑8.7%

统计均匀度

处理方式	C	Si	S	Mn
NO EMS	0.8602	0.7612	0.9633	0.7156
HEMS	0.9918	0.9688	0.9934	0.9585
同比变化	↑15.3%	↑27.3%	↑3.1%	↑33.9%

500A、8Hz

600A、6Hz

传统电磁搅拌与单绕组螺旋电磁搅拌对比

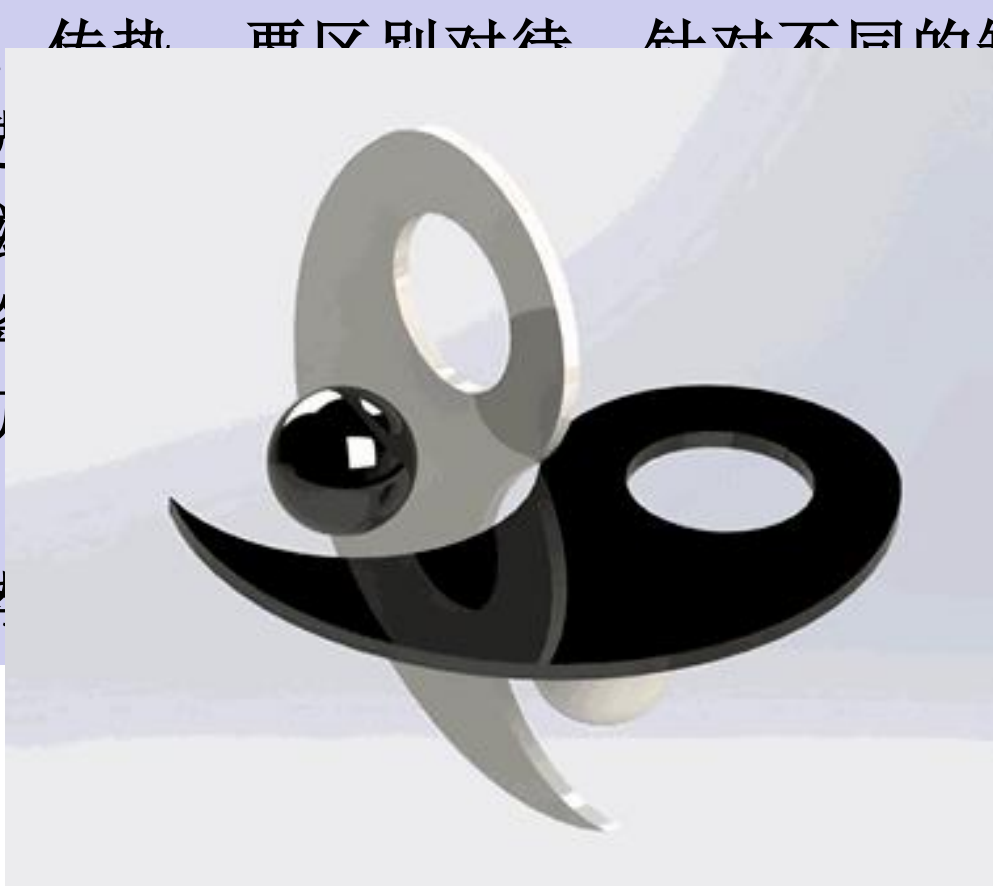
	传统电磁搅拌	螺旋电磁搅拌
制作成本及维护费用	~	比传统电磁搅拌系统（包含电控、水冷、搅拌器本体）高 2~5%
设备体积	~	根据不同的搅拌对象，其外径比传统电磁搅拌器本体大 5~20cm
能耗	~	与传统电磁搅拌器相当
搅拌功能	主要在二维方向上促进金属液的传质、传热	能够在三维方向上促进金属液的传质、传热
对铸坯中心偏析等缺陷的影响	末端电磁搅拌能够在一定程度上缓解铸坯中心疏松、偏析	由于螺旋电磁搅拌可以促进铸坯液芯产生沿拉坯方向的流动，因此对促进铸坯液芯同时凝固、减轻铸坯中心偏析效果更佳。



发明专利：螺旋电磁搅拌装置
专利号：ZL201110160188.2

5 小结

- 电磁力是一双看不见的手，可以助力我们实现金属液的理想搅拌；
- 控制传质、传热、合金化、夹杂物控制、针对不同缺陷问题/质量
- 问题，应选
- 磁搅拌参数；
- 与传统电磁
- 质传热，降
- 属熔体三维传
- ，是可实现
- 具有明显优势
- 电磁搅拌，
- 的一个趋势
- 未来发展追求



谢谢！



郭庆涛

Tel: 15104124600