

薄板交流水平电磁铸造的悬浮 与成形规律^①

任忠鸣 杨 眉

(大连理工大学材料系, 大连 116023)

摘 要

实验研究了薄板交流水平电磁铸造中的悬浮力和侧向力, 考察了悬浮装置结构参数对悬浮形成性的影响。结果表明: 装置中的凸台明显提高悬浮力而不增加侧向力, 屏蔽-铝液回路的电阻明显减小悬浮力, 在距凸台 2 cm 处基本不存在侧向力。

关键词: 水平电磁铸造 近形铸造 电磁力

薄板水平悬浮电磁铸造是一种利用电磁力悬浮液体金属使其成为平板状而进行连续铸造的技术, 可直接由液体金属近形铸造薄板, 且板的表面光亮, 内部质量高, 具有较大应用价值。

浅井滋生^[1]首先探索了此工艺的可能性。他采用静磁场与直流电来产生悬浮液体金属的电磁力, 并铸出金属薄板。但此方法稳定性较差, 限制其在工业中应用。具有工业应用前景的是采用交流电产生交变磁场来悬浮液体金属的方法。迄今, 仅有美日等国提出几项专利^[3, 4], 并未见有关液体金属悬浮形成的研究报告。

本文是继文[5]之后, 对交流水平电磁铸造中的液体金属悬浮形成规律做进一步研究, 重点考察悬浮装置的结构对悬浮力和侧向力的影响。

1 实 验

图1为交流水平电磁铸造的悬浮装置, 它是由感应线圈、磁轭、凸台和屏蔽板组成的。感应线圈中通以交变电流后, 将在悬浮装置内产

生交变电磁场。此磁场在由屏蔽和金属液组成的回路中感生出电流, 此电流与磁场作用, 就生成作用于液体金属的悬浮力。悬浮装置尺寸为 12 cm × 20 cm × 20 cm。

为测量悬浮力, 用铝板代替铝液, 将已知重量的磁场置于其上。调节输入电流, 使铝板刚好浮起, 以此重量计算电磁悬浮力。本实验中的铝板厚度为 0.4 mm。

侧向拉力的测量如图2所示。将一长 130 mm、宽 10 mm、厚 2 mm 的铝条置于悬浮装置内, 使其悬浮。它将受到侧向拉力 T 的作用而向侧边移动。使铝条的一端为活动支点, 另一

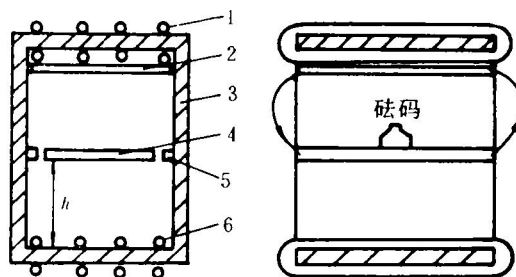


图1 水平电磁铸造装置

1—上感应线圈; 2—屏蔽板; 3—磁轭;
4—铝板(代替铝液); 5—凸台; 6—下感应线圈

① 国家青年自然科学基金课题 收稿日期: 1993年8月3日

端用一易测力 f 抵消侧向力 T 的作用,保持铝条在原位置,则可由 f 算得 T 。

2 实验结果及分析

2.1 悬浮力

图3比较了有无凸台和去除凸台上原有铜套时的悬浮力。可以看出,有凸台的悬浮力明显大于无凸台的,凸台去除铜套后悬浮力有所增加,这说明凸台起着聚磁力线、增强悬浮金属处磁场强度、提高悬浮力的作用。凸台上的铜套在磁场中感生出涡流,此涡流产生反磁场,使原磁场削弱,降低悬浮力。所以,凸台无铜套的悬浮力较大。

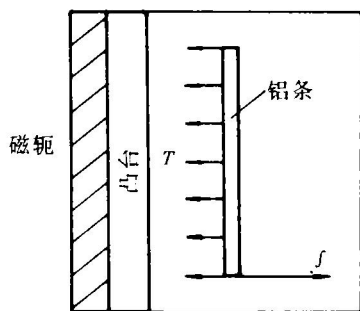


图2 侧向力的测量

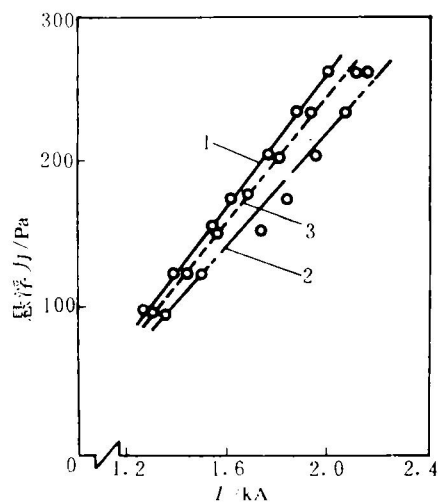


图3 有无凸台和凸台去铜套时的悬浮力

1—凸台无铜套; 2—凸台有铜套;
3—无凸台

图3还表明悬浮力与输入电流基本成线性关系。当电流为1400A时,悬浮力为120Pa,可悬浮厚度为5mm的铝液层。在文[5]中,悬浮同样厚度的铝液层则需3000A。这是因为悬浮装置的宽度不同。文[5]中的宽度为40cm,而这里为12cm。根据安培环路定律:

$$Hl = I\omega \quad (1)$$

式中 H 为磁场强度; l 为凸台之间距离,即悬浮装置的宽度; I 为输入电流; ω 为感应线圈匝数,为保持一定的 H 值, l 增加则输入电流 I 相应要增加。所以,文[5]中的电流比本实验的大。

图4表示了凸台与铝板位置同时上下移动时的悬浮力。在本实验条件下,该位置的变化对悬浮力的影响不明显,而在文[5]中,则是此位置下移则悬浮力增加。本实验中,用不锈钢板进行实验,其结果与文[5]的结果一致,如图5所示,这似乎意味着当输入电流较大时,才能显示上述位置对悬浮力的影响。

文[5]说明屏蔽—铝板回路电阻对悬浮力有很大影响,这里进一步考察其规律,实验时,采用在回路中外加已知电阻的方法来进行研究,图6为结果。可看出随电阻增加,为达到一定悬浮力所需电流基本成线性增加。回归

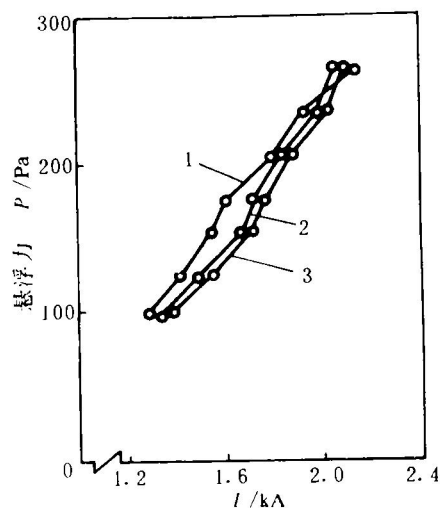


图4 凸台及铝板上下位置变化时的悬浮力

1— $h=100\text{ mm}$; 2— $h=55\text{ mm}$; 3— $h=75\text{ mm}$

实验结果, 可得电流与电阻间关系式:

$$I = 1.29 + 5R \quad (2)$$

式中 I 为电流, kA; R 为电阻, Ω 。由此式可推算原回路电阻为 0.258 Ω 。

由于悬浮力与电流间成线性关系, 所以悬浮力与屏蔽—铝板回路电阻间成反比关系, 即,

$$\text{悬浮力 } P \propto \frac{I}{R} \quad (3)$$

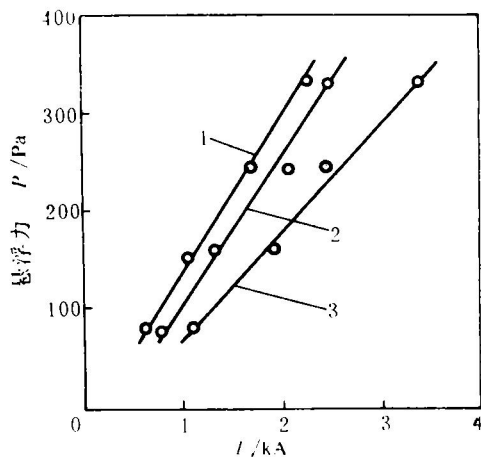


图5 悬浮不锈钢板时, 凸台和金属板位置对悬浮力的影响

1— $h=55$ mm; 2— $h=75$ mm; 3— $h=100$ mm

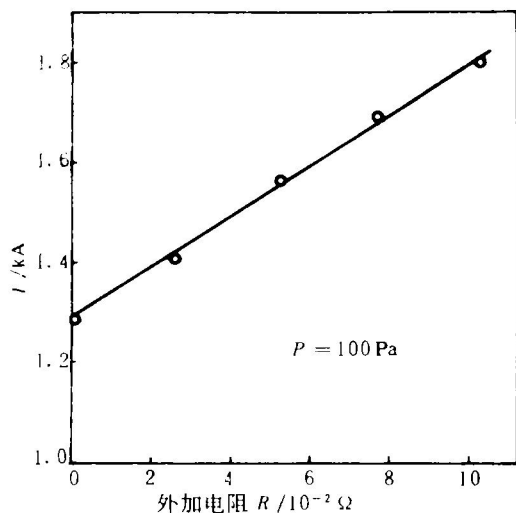


图6 一定悬浮力下, 屏蔽—铝板回路电阻与所需输入电流的关系

式中 I 为电流; R 为回路电阻。

2.2 侧向力

图7比较了多种条件下的侧向力。可看出: (1) 自悬浮装置侧壁向内, 侧向力迅速减小, 在距侧壁 3 cm, 凸台 2 cm 处, 已接近零; (2) 电流增加, 侧向力相应增加; (3) 无铜套的凸台使侧向力有所增加; (4) 凸台上沿处的侧向力较下沿处的大。

图8表示了无凸台时的侧向力, 其分布与图7的相似, 只是趋近零的位置在距侧壁 2 cm 处。这说明凸台并不明显增加侧向力。

在液体金属悬浮形成时, 如图9所示, 存在着三种力的平衡:

$$T + \rho gh_0 = f_r \quad (4)$$

式中 T 为侧向力; f_r 为液体金属由表面张力而产生的约束力; ρ 为液体金属密度; g 为重力加速度; h_0 为液体金属压头高度。而

$$f_r = \sigma/r \quad (5)$$

其中 σ 为液体金属表面张力; r 为液体金属层边缘处的曲率半径。由(4)式可知, 为保证液体金属板的形成, 应使侧向力 T 尽量小, 液体金属层厚度以及压头高度则应满足式的(4)

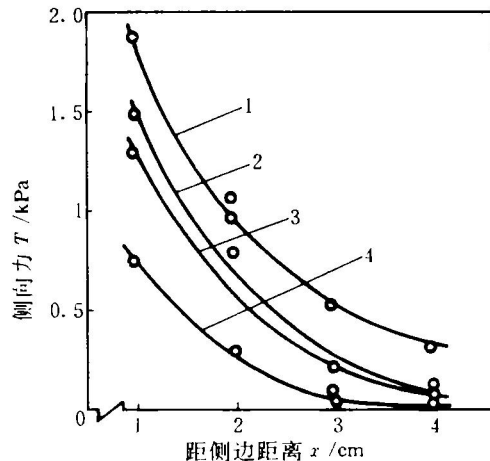


图7 有凸台时, 多种条件下的侧向力分布

(图中除注明的外, 皆为在凸台下沿或有铜套)

1— $I=1.7$ kA, 凸台上沿; 2— $I=1.7$ kA;

3— $I=1.1$ kA, 无铜套; 4— $I=1.1$ kA

要求。

由实验结果知,距凸台 2cm 处的侧向力趋于零,所以液态金属应与凸台间有 2cm 间隙。在液体金属悬浮实验中,当液体金属板较宽时,常产生金属液在侧边的漏淌,其原因在这

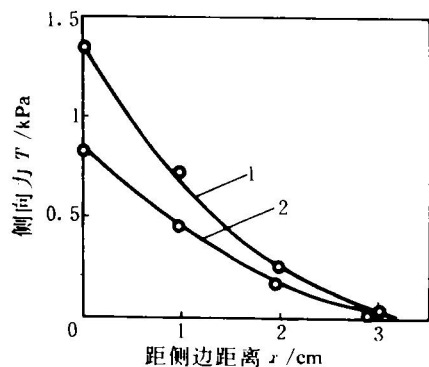


图8 无凸台时的侧向力分布

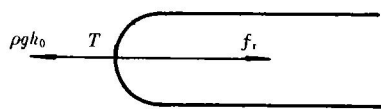


图9 液体金属层侧边上的力的平衡

里得到说明。

从实验结果知,凸台并不明显增加侧向力,但明显增加悬浮力,因此对液体金属悬浮形成是有益的。

3 结 论

(1) 凸台明显增加悬浮力,但对侧向力影响较小,所以有益于液体金属悬浮形成。

(2) 悬浮力大小与屏蔽—铝板(液)回路电阻成反比关系。

(3) 距凸台 2cm 处的侧向力基本为零,液体金属板应与凸台保持一距离。

参考文献

- 1 小田敏之,浅井滋生,鞭岩. 铁と钢, 1988, 74: 1793.
- 2 浅井洋生,小田敏之,鞭岩. 铁と钢, 1986, 72: 2218.
- 3 Hull J R, Lari R J, Turner L R. US 4 678 024.
- 4 Yoshida M, Inumaru S. US 4 694 888.
- 5 任忠鸣,范江虹,金俊泽. 中国有色金属学报, 1993, 3 (2): 93