

[文章编号] 1004-0609(2001)02-0294-04

铝熔体中夹杂物的电磁分离^①

翟秀静, 李明军, 范立志, 孙中祺, 姚广春

(东北大学 材料与冶金学院, 沈阳 110006)

[摘 要] 根据电磁分离铝熔体中的非金属夹杂物数值模拟结果, 设计并制作了电磁感应线圈和分离器。感应线圈的设计参数为: 长度 250 mm, 长度方向匝数为 125 匝, 高度 100 mm; 高度方向的匝数为 2 匝, 宽度为 100 mm, 宽度方向的匝数为 2 匝, 两线圈距离为 40 mm。分离器内腔尺寸为 80 mm × 20 mm × 80 mm, 分离通道尺寸为 37.5 mm × 20 mm × 80 mm。研究了铝熔体温度、时间和线圈电流对分离铝熔体中非金属夹杂物的影响, 结果表明, 当铝熔体温度为 740 ℃, 分离时间为 3 min 以上, 线圈通入 20 A 电流时, 电磁分离夹杂物的效果较好。

[关键词] 电磁分离; 铝熔体; 夹杂

[中图分类号] TF 777

[文献标识码] A

为了提高铝材料质量, 人们一直在寻求经济而有效的去除铝熔体中杂质的方法, 其中电磁分离杂质是一种比较理想的方法^[1~4]。文献[5]报道了用高频电磁分离杂质, 文献[6, 7]报道了用工频电磁分离杂质。文献[9]介绍了采用矩形线圈和工频电磁分离铝熔体中非金属夹杂物的数值模拟结果。在此基础上, 我们设计并制造了电磁感应线圈和分离器。通过静态的电磁分离铝熔体中夹杂的试验, 研究了感应线圈电流、铝熔体温度和分离时间等因素对分离效果的影响。试验中, 为了明显地观测电磁分离效果, 纯铝中添加一些电厂烟道灰颗粒(主要成分为 Al_2O_3 和 SiO_2 , 粒径为 50~120 μm)。烟道灰颗粒呈球状, 密度为 2.67 g/cm³, 与铝熔体的密度相近。加入量为 1%。经过一定的处理, 烟道灰颗粒在铝熔体中分布均匀。

1 电磁感应线圈和分离器的设计

在设计感应线圈形状时主要考虑线圈应产生匀强磁场和线圈磁场利用率高的要求。设计的感应线圈参数为: 长度为 250 mm, 长度方向匝数为 125 匝, 高度为 100 mm, 高度方向匝数为 2 匝, 宽度为 100 mm, 宽度方向匝数为 2 匝, 两线圈间距离(气隙)为 40 mm, 线圈电磁线直径为 1.8 mm。

由于试验中利用分离腔壁吸附夹杂物颗粒, 所以分离器腔壁必须用不导电的、有吸附性的材料烧

结而成。把分离器分隔成两个在顶部和底部相连通的分离通道, 上底开口, 下底封闭。分离器内腔的尺寸为 80 mm × 20 mm × 80 mm, 分离通道尺寸为 37.5 mm × 20 mm × 80 mm。感应器气隙(两磁极间距离)为 40 mm, 即气隙的尺寸为 40 mm × 100 mm × 100 mm。坐标系如图 1 所示。

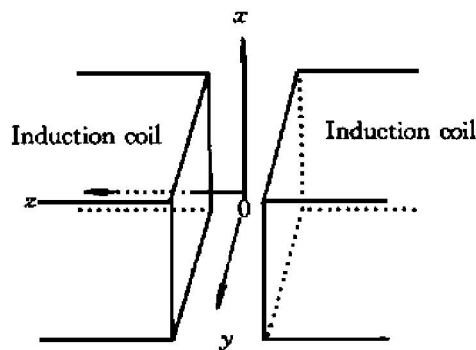


图 1 电磁感应线圈气隙坐标

Fig. 1 Void coordinate of electromagnetic induction coil

由于熔体在高温下分离, 而感应器不应在高温下工作, 所以在分离器与感应器之间设置一层绝热材料。

在电磁线圈气隙中部区域, 由于磁场强度比较均匀(为匀强磁场), 所以熔体所受的电磁力在区域内相互平行, 夹杂物颗粒受的电磁分离力也相互平行。电磁力从分离器两外侧向中心逐渐减小, 这是由于在熔体中产生的感应电流存在集肤效应。

① [基金项目] 国家自然科学基金资助项目(59774017)和国家重点基础研究发展规划项目(G199906490-4)

[收稿日期] 2000-05-22; [修订日期] 2000-08-31

[作者简介] 翟秀静(1951-), 女, 教授, 博士。

2 铝熔体温度的影响

熔体分离温度的高低直接影响到熔体的粘度, 温度低, 熔体粘度大, 不利于夹杂颗粒的分离; 温度过高, 熔体的电导率降低, 也不利于分离。在线圈电流为 20 A、分离时间为 3 min 条件下, 分别选定 670, 740 和 830 °C 的铝熔体试样进行分析。

分离温度为 670 °C 时, 仍然有部分粒径较大的夹杂颗粒没有迁移到分离通道的外侧; 当分离温度为 740 °C 时, 50 μm 以上的夹杂颗粒全部迁移到通道外侧, 靠近内侧的熔体已基本提纯干净; 当分离温度为 830 °C 时, 由于熔体的电导率降低, 分离效果不好, 仍然有部分粒径较大的夹杂颗粒没有迁移到分离通道的外侧。试验结果表明, 适宜的铝熔体温度为 740 °C 左右。图 2 为铝熔体温度为 740 °C 分离后试样的金相照片。

3 分离时间的影响

对铝熔体施加电磁场的时间越长, 越有利于夹杂颗粒的分离。在铝熔体温度为 740 °C、线圈电流为 20 A 条件下分别进行 1, 2, 3 和 4 min 分离夹杂试验。对于不同分离时间的试样, 在金相显微镜上, 从试样的内侧向试样外侧查看, 选距离分离通道内侧最近的含有 50 μm 以上夹杂颗粒的区域拍金相照片。

试验结果表明, 当分离时间为 1 min 时, 在 y 为 7 mm 区域有较多的大夹杂颗粒; 当分离时间为 2 min 时, 在 y 为 21 mm 区域仍有少量的大夹杂颗

粒(见图 3)。当分离时间为 3 min 时, 发现最内侧的 50 μm 左右的大颗粒位置在 y 为 37 mm 处, 靠近边部; 分离时间为 4 min 时, 铝熔体中部区域已不含 50 μm 以上的夹杂颗粒, 只在局部区域中还含有小颗粒夹杂。

熔体提纯所需时间不但与夹杂颗粒的粒径有关, 还与分离通道在 y 轴方向的长度即分离距离有关, 分离距离越短, 颗粒到达通道的外侧所需时间就越短。试验中设计的分离器的分离距离为 37.5 mm, 夹杂颗粒的分离时间为 3 min 以上。

4 线圈电流的影响

在理论上, 通入感应线圈的电流越大, 则气隙中产生的磁感应强度越大, 熔体中产生的电磁力越大, 夹杂颗粒所受的分离驱动力就越大, 分离所需要的时间就越短, 能分离的夹杂颗粒粒径也越小。夹杂颗粒粒径为 50 ~ 125 μm , 铝熔体温度为 740 °C、分离时间为 3 min 的条件下, 分别进行电流为 14, 20 和 24 A 的分离试验。

试验结果表明, 通入线圈的电流为 14 A 时, 由于熔体中产生的分离驱动力小, 粒径大的夹杂颗粒没有完全到达分离通道的外侧; 当通入线圈的电流为 20 A 时, 大粒径的颗粒都已迁移到通道的外侧, 粒径较小的颗粒也已经靠近外侧, 分离通道内侧熔体的提纯比较干净(图 4); 当通入线圈的电流为 24 A 时, 熔体表面波动较剧烈, 熔体中涡流强烈, 熔

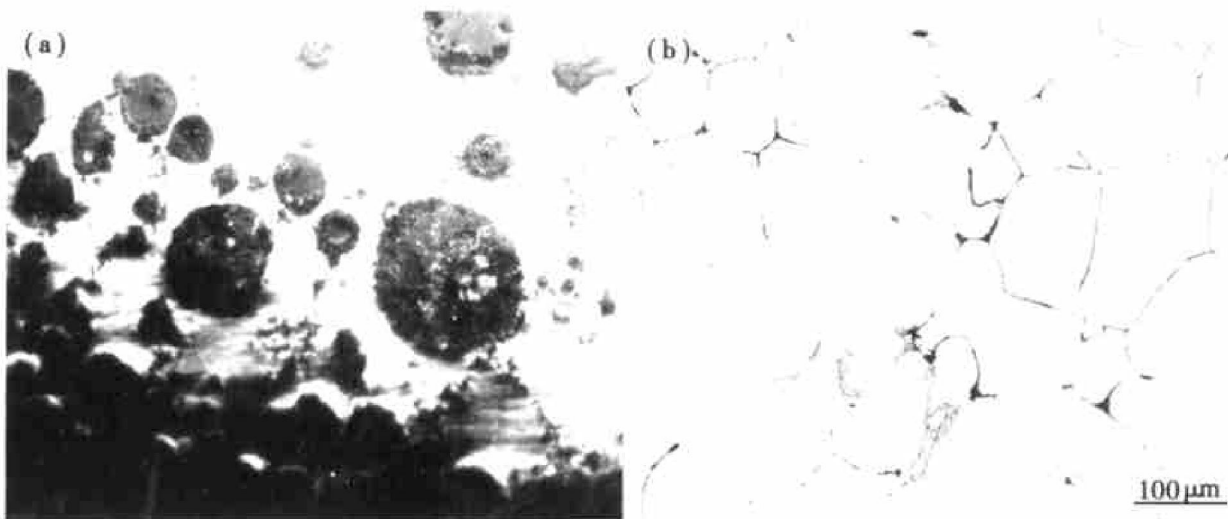


图 2 铝熔体温度为 740 °C 分离后试样的金相照片

Fig. 2 Metallographs after separating inclusions at 740 °C

(a) — y = 37.5 mm; (b) — y = 5 mm

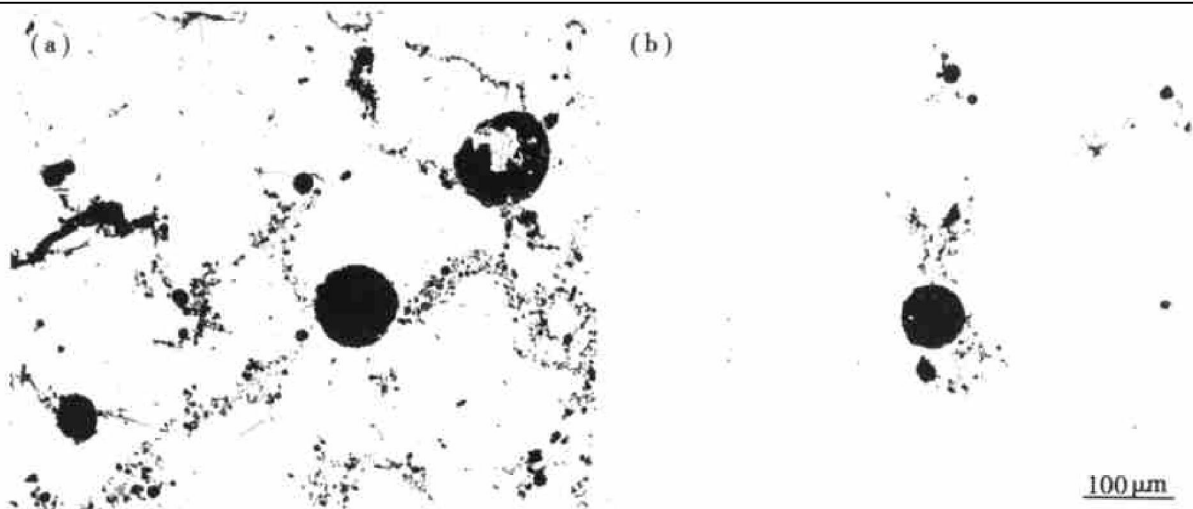


图 3 不同分离时间试样分离后的金相照片

Fig. 3 Metallographs after separating inclusions at different separation time

(a) —1 min, $\gamma = 7$ mm; (b) —3 min, $\gamma = 7$ mm

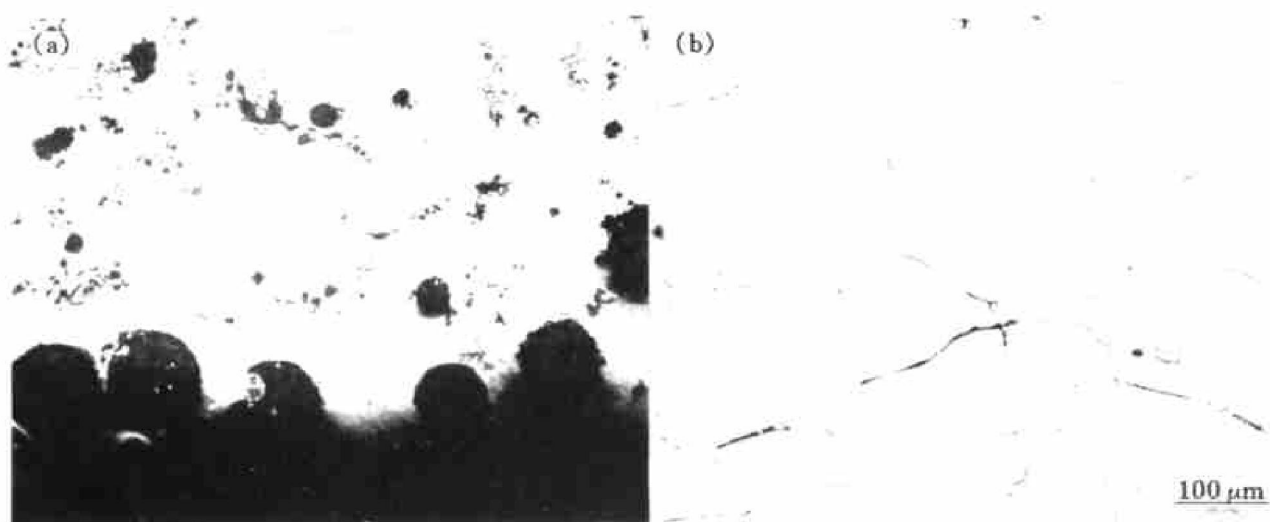


图 4 线圈电流 20 A 电流时试样分离后的金相照片

Fig. 4 Metallographs after separating inclusions with coil current 20 A

(a) — $\gamma = 37.5$ mm; (b) — $\gamma = 2.5$ mm

体中部还有较大夹杂颗粒, 故通入线圈的适宜电流为 20 A 左右。

杂效果。

5 结论

1) 铝熔体温度过高或过低对分离夹杂物产生不利的影响, 在本实验条件的 3 个温度条件中, 以 740 °C 效果较好。

2) 在其它实验条件相同的条件下, 电磁感应线圈通入电流小时, 分离驱动力小, 分离夹杂的效果不好; 通入的电流太大时, 易产生涡流, 分离夹杂的效果也不好; 当通入的电流为 20 A 左右时, 分离夹杂的效果较好。

3) 由于试验采用的分离器中分离距离较长, 通电分离时间为 3 min 以上才能获得理想的分离夹

[REFERENCES]

- [1] Kolin A. An electromagnetokinetic phenomenon involving migration of neutral particles [J]. Science, 1953, 117(2): 134– 137.
- [2] Ilenovm D and Kolin A. Theory of electromagnetic phoresis (1) —Magnetohydrodynamic forces experienced by spherical and symmetrically oriented cylindrical particles [J]. The Journal of Chemical Physics, 1954, 22 (4): 683– 688.
- [3] WU Jir-bo (吴锦波). 铝基复合材料的发展与现状 [J]. The Material Science and Engineer (材料科学与工程), 1992, 1: 6– 12.

- [4] WU Ren-jie(吴人洁). 金属基复合材料的现状与展望 [J]. The Journal of Metals(金属学报), 1999, 133(1): 78–83.
- [5] Yuji M and Hdenari K. Inclusion separation from molten steel in tundish with rotating electromagnetic field [J]. Tetsu-to-Hagane/ISIJ, 1996, 82(6): 498–503.
- [6] El-kaddah N and Patel A D. The electromagnetic filtration of molten aluminum using induced current separator [J]. Journal of Metals, 1995, 5: 46–498.
- [7] El-kaddah N and Ala T. Apparatus and a method for improved filtration of inclusions from molten metals [P]. US patent 4909836, 1990.
- [8] LI Ming-jun(李明军), ZAI Xiur-jing(翟秀静), FAN Li-zhi(范立志), et al. 电磁分离铝熔体中夹杂的电磁场数值模拟 [J], J Northeastern University(东北大学学报), 2001, 22(1): 67.
- [9] LI Ming-jun(李明军), ZAI Xiur-jing(翟秀静), FAN Li-zhi(范立志), et al. 电磁分离铝熔体中夹杂颗粒的模拟计算 [J]. J Northeastern University(东北大学学报), 2000, 21(6): 632.

Electromagnetic separation of inclusions from molten aluminum

ZHAI Xiur-jing, LI Ming-jun, FAN Li-zhi, SUN Zhong-qi, YAO Guang-chun

(School of Materials and Metallurgy, Northeastern University, Shenyang 110006, P. R. China)

[Abstract] An induction coil and separator were designed and manufactured according to the numerical simulation results of electromagnetic separation of inclusions from molten aluminum. The length of coil is 250 mm and the turn number is 125. The height of coil is 100 mm and the turn number is 2; the width of coil is 100 mm and the turn number is 2. The distance between two coils is 40 mm. The measurement of inner cavity of separator is 80 mm × 20 mm × 80 mm and the measurement of separating channel is 37.5 mm × 20 mm × 80 mm. The experiment of electromagnetic separation of inclusions from molten aluminum was conducted. The experiment results show that efficient separating inclusions from aluminum is gained when the molten aluminum temperature is about 740 °C, the separating time is more than 3 min, the coil current is 20 A.

[Key words] electromagnetic separation; molten aluminum; inclusion

(编辑 朱忠国)