

硅铁球化的原理和方法

王绪然, 王 忠

(陕西理工学院材料系, 陕西 汉中 723003)

摘要:从理论上说明在一定条件下, 液态硅铁合金自由出口处形成液滴的体积仅与液体的表面张力和出流孔直径有关。且当该体积液滴的重力和上部液体的内聚力相等时, 液滴即可分离自由下落。据此理论进行了试验, 结果表明, 液态硅铁合金可直接进入冷却液中形成球状颗粒。当出流孔径 $d=8$ mm, 浇注温度为 $1\ 420\ ^\circ\text{C}$, 落差 $H=150$ mm, 油层/水层为 $700/1\ 000$ mm 时, 76% 的颗粒形状几乎都近于圆球形, 颗粒体积与理论计算值最大偏差不超过 10%。同时, 这种液态硅铁合金直接颗粒化的方法与机械破碎法相比, 具有简易、快捷、节能、高效的优点。

关键词: 硅铁; 颗粒化; 原理; 方法

中图分类号: TF645 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8365(2006)08-0809-03

Theory and Process of Ferrosilicon Globuling

WANG Xu-ran, WANG Zhong

(Shaanxi University of Technology, Hanzhong 723003, China)

Abstract: According to the theoretical, the volume of ferrosilicon liquid drops is relation to the surface tension of liquid and the diameter of outflow. When the gravity of this liquid drops equate with the cohesive force of the liquid columns, the liquid drops would freely. According to this theory, it indicates that grains of ferrosilicon can be obtained by pouring directly into cooling fluid. when the outflow $d=8$ mm, the pouring temperature $t=1\ 420\ ^\circ\text{C}$, the fall head $H=150$ mm, the depth of oil/water equaling to $700/1\ 000$ mm, almost 76% of grains are roundness. The maximize deviation of grains dimension according to test is less 10% than according to theoretical compute. And, the method is better than mechanical grinding, such as facility, shortcut, energy saving, efficiency high.

Key words: Ferrosilicon; Grain; Theory; Process

硅铁一般是在生铁锭模里浇注成形, 再经破碎后使用。用户对硅铁的块度有不同的要求, 如铸造行业要求单块重量在 $150\sim 200$ g 之间, 而有些用户要求部分硅铁的块度为 $2\sim 10$ mm, 或 ≤ 3 mm。因此, 硅铁的破碎在其生产过程中是必不可少的一环。目前破碎使用的是各种不同类型的机械式破碎机, 不但生产工艺落后, 劳动强度大, 质量不稳定, 颗粒收得率低, 损耗大, 而且在破碎过程中由于发声、发热、振动和摩擦等作用, 使得能源消耗, 效率低, 产品单位成本增高^[1]。同时由于硅铁内各种相的密度差别大, 所以硅与铁的合金易产生偏析, 合金锭上部的硅含量和下部的硅含量之差可达 20% 以上。合金锭的厚度越大, 凝固时间越长, 则偏析也越

严重。而且凝固时的偏析有助于 ξ 相 ($53.5\%\sim 56.5\%$ Si) 的形成, 而 ξ 相在冷却时的共析转变将使体积显著的膨胀, 因而会引起该种成分硅铁的分解 (粉化)^[2]。若用过冷凝固的办法, 可以避免因偏析形成 ξ 相进而限制这种转变与分解, 也可使含有的杂质磷以较稳定的磷化硅形式存在, 避免磷化氢 (有毒物) 的形成^[3]。

把成分均匀的合金液直接冷却制成颗粒形状, 上述问题不但可满意解决, 还可达到减少工装模具、节能、提高生产效率和降低成本的目的。

1 球化原理

假定选用和金属液完全不润湿的铸型材料, 液流出口直径为 d , 液流到冷却液面的距离为 H , 则液流在出口处的初始形状为一个下垂的液滴 (图 1, 图 2)。为简单起见, 作为一级近似, 可认为颗粒的尺寸是相同的。假设颗粒都是球形的, 可以把一个直径为 d 的圆球的阻力系数作为所有颗粒的平均阻力

收稿日期: 2006-06-10; 修订日期: 2006-06-27

作者简介: 王绪然 (1948-), 陕西西安人, 副教授。研究方向: 材料成形技术与工艺。

系数。

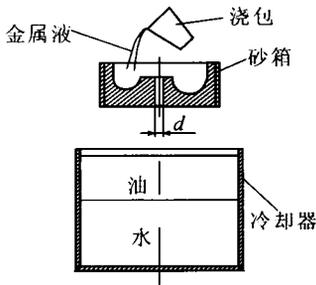


图1 球化装置示意图结果

Fig. 1 Schematic of globulizing device of ferrosilicon

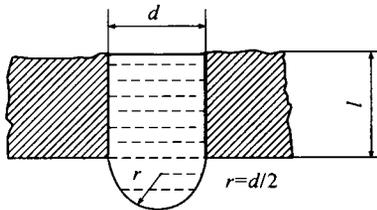


图2 液滴头部形状简化图

Fig. 2 Facilitation schematic of Nose shape of liquid drop

当铸型与金属液完全不润湿时,初始液滴的头部形状可简化为半球形,图2中 l 为平衡下垂液体表面张力所需的上部液柱高度。液体初始出口处的表面张力(假定其在球化过程中不随温度变化)为:

$$F_{表} = -\sigma \cos\theta \pi d \quad (1)$$

式中 θ ——液体和出流孔材料的润湿角;
 d ——出流孔径。

由于 $\theta = 180^\circ$, 所以 $\cos\theta = -1$, 因此

$$F_{表} = \sigma \pi d \quad (2)$$

与此相应的保持平衡的液体的体积 V 应为

$$V = \frac{2}{3}\pi\left(\frac{d}{2}\right)^3 + \frac{\pi d^2}{4}l = \frac{\pi d^2}{4}\left(\frac{d}{3} + l\right) \quad (3)$$

该体积液体产生的重力 $F_{重}$

$$F_{重} = mg = \rho Vg = \frac{\pi d^2}{4}\rho g\left(\frac{d}{3} + l\right) \quad (4)$$

式中 m —— V 体积的流体的质量;

ρ ——硅铁合金的密度;

g ——重力加速度。

令 $F_{重} = F_{表}$, 得

$$l = \frac{4\sigma}{d\rho g} - \frac{d}{3} \quad (5)$$

将式(5)代入式(3)得所形成液滴的体积为

$$V = \frac{\pi\sigma}{\rho g}d \quad (6)$$

可见形成液滴的体积仅与该种液体的表面张力和出流直径有关,一旦合金确定后,其体积的大小和出流孔径成正比。

将一个断面为 1 cm^2 的液柱在空气中分为两段,则生成了两个新表面,每一个表面上增加的表面能为 σ_{LG} ,总增加的表面能为 $2\sigma_{LG}$ (图3)。这一部分能量是由外力克服原液柱本身之内聚力而做的功,所以称之为内聚功 $W_{内}$ 。故外力对液柱断面为 S 的液体所做的内聚功为 $W_{内} = 2\sigma \cdot S$ 。若仍以液流出口的直径 d 近似代替液柱的直径(在落差不大时误差很小),那么液柱的内聚功

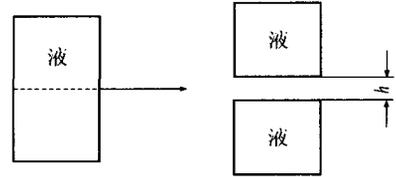


图3 1 cm^2 的液柱分为两段

Fig. 3 Parting liquid column of 1 cm^2 into two stage

$$W_{内} = 2\sigma\left(\frac{\pi d^2}{4}\right) \quad (7)$$

当液柱自由下落时(因落差很小,可忽略空气的阻力及浮力),只有重力对其做功为

$$W_{重} = mgH \quad (8)$$

式中 H ——液滴与上部液体分离时其重心下落高度。

当 $W_{重} = W_{内}$ 时,具有 V 体积的液体与上部分离。

即 $mgh = 2\sigma\left(\frac{\pi d^2}{4}\right)$, $H = \frac{\pi d^2 \sigma}{2mg}$ 时,初始液滴已与上部液体无内聚力。

依此类推,液流滴即可在下落过程中连续形成,只要冷却得当,即可得到成分均匀的体积类同的球形颗粒合金。

2 实验结果及分析

选用 Si75 铁合金,密度 $\rho \approx 3.27\text{ kg/m}^3$,表面张力 $\sigma = 1.4910^{-3}\text{ N/m}$,熔点 $(1\ 320 \sim 1\ 340)^\circ\text{C}$ 。

冷却液用 50# 机油和水,熔化设备用 GGW0.015 中频感应炉。实验结果见表 1。

颗粒的规范程度定义为:若将颗粒皆看为椭球,其轴径 x, y, z 最大差值在 2 mm 以下者皆认为是球体,其不符者视为圆饼状颗粒,球体所占总颗粒的比例称为颗粒的规范程度。

颗粒平均体积的测定:把每次生产出的颗粒放进一个有刻度的装有液体的容器中,量出液体的体积变化量,再将此量除以颗粒的数目,所得 $V_{实平均}$ 值。

颗粒平均重量的测定:每次生产的所有颗粒的重量除以颗粒的数目即得其平均个重。

从表 1 可以看出,影响颗粒规范程度的因素依

此为出流孔径,油/水层厚度,浇注温度和落差。同样可以看出,当出流孔径 d 在 8 mm,浇注温度在 1 420 °C,落差为 150 mm,油层/水层为 700/1000 时,颗粒的规范程度最好。这时 76% 的颗粒的形状

几乎都近于圆球的形状,也就是说符合上述规定的球体定义。其余颗粒的形状虽不符合以上的定义,但其偏差值亦不甚大,经测定绝大部分都在 3% 以内。

表 1 Si75 铁合金球化实验结果

Tab.1 Result of Si75 ferrosilicon globuling test

序号	出流孔径 d/mm	落差 H /mm	油层/水层 /mm	浇注温度 /°C	颗粒体积($V \times 10^{-8} \text{m}^3$)与直径($\Phi \times 10^{-3} \text{m}$)					颗粒规范程度
					实际测量		理论计算		差值 $V(\%)$	
					$V_{\text{实际}}$	$\Phi_{\text{实际}}$	$V_{\text{计}}$	$\Phi_{\text{计}}$		
1	5	50	500/1 200	1 420	74.6		73	9.0	2.2	0.48
2	5	150	600/1 100	1 380	75.8	~11.0	73	9.0	3.8	0.58
3	5	200	700/1 000	1 460	74.9		73	9.0	2.6	0.65
4	8	50	600/1 100	1 460	118.3		116	10.5	2.0	0.64
5	8	150	700/1 000	1 420	117.7	~13.0	116	10.5	1.5	0.76
6	8	200	500/1 200	1 380	118.3		116	10.5	2.2	0.69
7	10	50	700/1 000	1 380	186.3		175	12.0	6.5	0.48
8	10	150	600/1 100	1 460	188.8	~15.0	175	12.0	7.9	0.46
9	10	200	500/1 200	1 420	183.2		175	12.0	4.7	0.55

从图 4 球体颗粒的实物照片可以看出,颗粒的均匀度比较满意。并且对 9 号实验所得的球体进行了随机检验,结果表明其体积偏离均值(183.3210^{-8}m^3)最

大值亦不超过 10%。且 95% 以上的体积值偏离均值在 6.2% 以内,这在硅铁合金粉碎过筛后的颗粒配比中也是相当令人满意的。

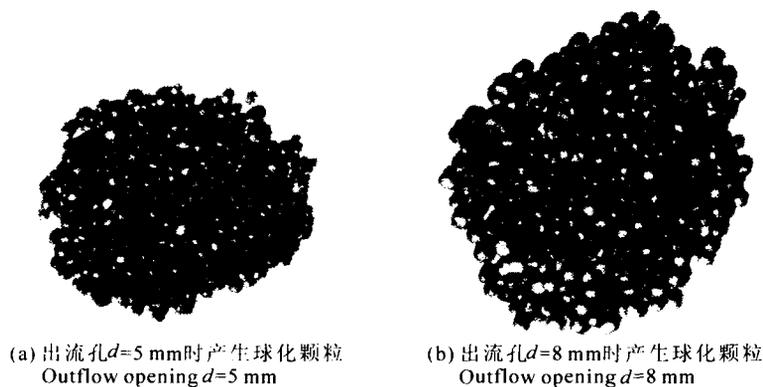


图 4 球化颗粒的实物照片

Fig. 4 Photograph of practicality of globuling grain

3 结论

(1) 理论计算表明,液滴的体积仅与液体的表面张力和出流孔径有关,在一定范围内调整出口直径,即可得到不同体积与不同平均直径的硅铁颗粒。

(2) 实际生产证明液态硅铁合金进入冷却液中可直接形成硅铁颗粒,且当出流孔径 $d=8$ mm,浇注温度为 1 420 °C,落差 $H=150$ mm,油层/水层为 700/1 000 mm 时,76% 的颗粒几乎都近于圆球形状。

(3) 与用破碎法得到颗粒相比,这种液态硅铁直接冷却颗粒化的方法具有简易、快捷、节能、高效的优点。

参考文献

- [1] 孙成林. 破碎机的最新进展[J]. 中国粉体技术, 2000, (2): 32-39.
- [2] 姚登华. 硅铁粉化问题的探讨[J]. 铁合金, 2001, (6): 17-20.
- [3] 胡礼木, 崔令江, 李慕勤. 材料成型原理[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.