

[文章编号] 1004- 0609(2002)S1- 0196- 04

单辊搅拌工艺条件对 A2017 合金热/流耦合场影响的有限元分析^①

管仁国, 温景林, 刘相华
(东北大学 材料与冶金学院, 沈阳 110004)

[摘 要] 针对单辊搅拌技术制备 A2017 半固态合金的工艺过程, 利用 ANSYS 有限元分析软件计算出了不同浇注温度、轧辊转速、辊-靴型腔宽度条件下合金温度场、速度场分布, 分析了单辊搅拌工艺条件对 A2017 合金热/流耦合场的影响。优化了单辊搅拌制备 A2017 半固态材料的工艺参数, 合理的浇注温度为 690~ 790 ℃, 辊-靴型腔宽度为 4 mm, 轧辊转速为 0.2 m/s。

[关键词] 工艺条件; 有限元; 半固态

[中图分类号] TB 331; TG 371

[文献标识码] A

单辊搅拌技术的基本原理如图 1 所示。单辊搅拌技术为高熔点、高固相率的半固态合金的制备开辟了一条新途径^[1~ 7]。目前该技术尚处于实验研究阶段^[8, 9]。ANSYS 有限元分析软件是一种功能强大的计算分析软件, 可以很好解决热/流耦合场的问题^[10]。作者利用 FLUID141 多场耦合单元, 对单辊搅拌技术制备 A2017 半固态合金过程中工艺条件对热/流耦合场的影响进行研究。

以稳定制备状态时辊-靴型腔中的 A2017 合金为研究对象。计算中涉及的设备参数如表 1 所示, 实验中单辊搅拌工艺参数如下: 浇注温度分别为 690, 710, 750, 770 和 790 ℃, 轧辊旋转速度为 0.15, 0.20, 0.25 m/s, 辊-靴型腔宽度分别设定为 4 和 8 mm。

表 1 实验设备参数

Table 1 Equipment parameters

Roll radius (R_0)/mm	Shoe curvature (R_1)/mm	Roll rotating velocity (v_R) /($m \cdot s^{-1}$)	Roll shoe gap width (B)/mm	Angle size in circle of shoe (θ)/ $^\circ$
150	154~ 158	0.15~ 0.25	4~ 8	90

由于合金在运动过程中会以热传递为主要方式快速向工具释放热量, 合金温度会逐步降低, 并且发生由液相向固相的转变, 从而使合金的热物性参数发生变化。通常处理相变的方法主要有温度回升法、等效比热法、热焓法。本文中作者采用等效比热法进行计算, 即将凝固潜热折合成比热容的增加。合金比热容与热传导系数随温度的变化如图 2 所示。

1.2 边界条件设定

1) 浇口恒定温度边界条件

在稳定制备过程中合金无泄漏情况下, 辊-靴型腔入口温度恒定, 为浇注温度 t_0 , 即

$$t(x, y, z, t) = t_0 \tag{1}$$

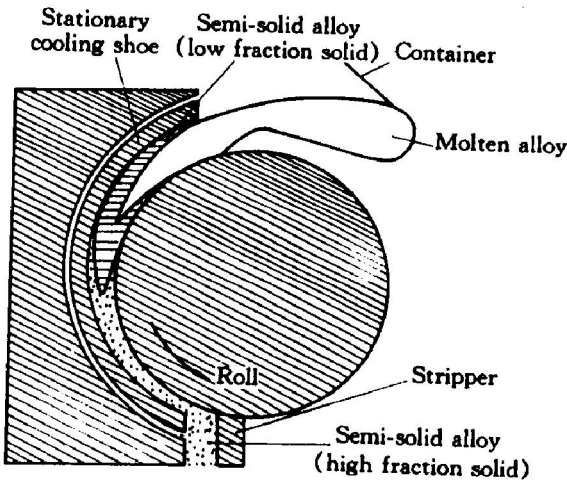


图 1 单辊搅拌技术基本原理示意图

Fig. 1 Principle diagram of single-roll stirring process

1 有限元分析模型

1.1 几何模型与材料热物性参数

① [基金项目] 国家重点基础研究发展规划资助项目(G2000067208- 4)
[作者简介] 管仁国(1975-), 男, 博士研究生。

[收稿日期] 2001- 10- 17; [修订日期] 2001- 11- 30

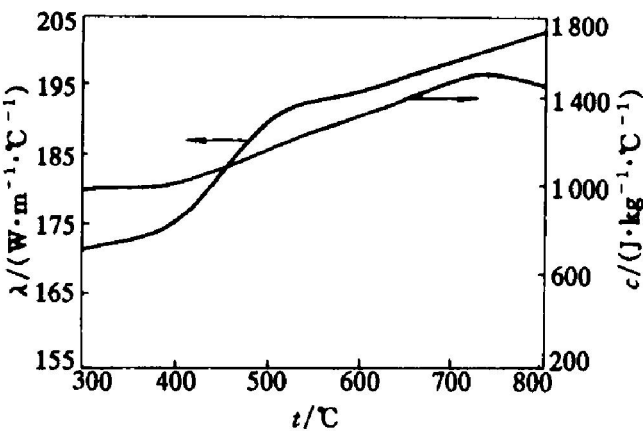


图 2 合金热物性参数随温度的变化

由于凝固时放出的大量潜热填补了合金向环境散热的热量损失, 随合金固相分数的增高, 凝固潜热减少, 因此后期合金温度发生快速降低。

离轧辊越远, 合金速度越小, 靠近轧辊侧速度最大, 合金与靴接触边界合金的速度为 0。这是因为粘性合金液在层流运动的情况下, 各液体层间存在摩擦阻力, 即所谓的内摩擦。内摩擦使合金液不同部位具有不同的速度。离轧辊越远, 合金受到的轧辊剪切力越小, 合金运动速度越小。

2.1 浇注温度对合金温度场/速度场的影响

浇注温度 t_0 对合金温度场的分布有明显影响, 而对合金速度场的分布无明显影响。图 3 所示是在 $v_R = 0.2 \text{ m/s}$, 辊-靴型腔宽度 $B = 4 \text{ mm}$, 浇注温度 $t_0 = 750 \text{ }^\circ\text{C}$ 时合金速度场。图 4 所示是在轧辊转速 $v_R = 0.2 \text{ m/s}$, 辊-靴型腔宽度 $B = 4 \text{ mm}$, 在不同浇注温度条件下计算得到的温度场分布。不同浇注温

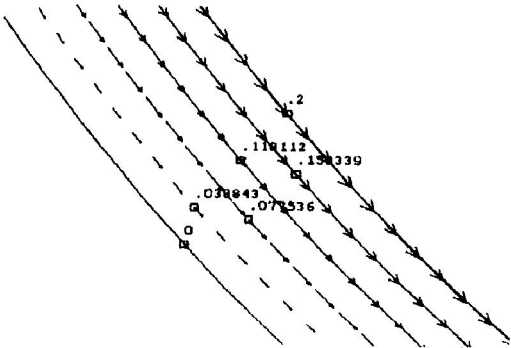


图 3 合金速度场分布

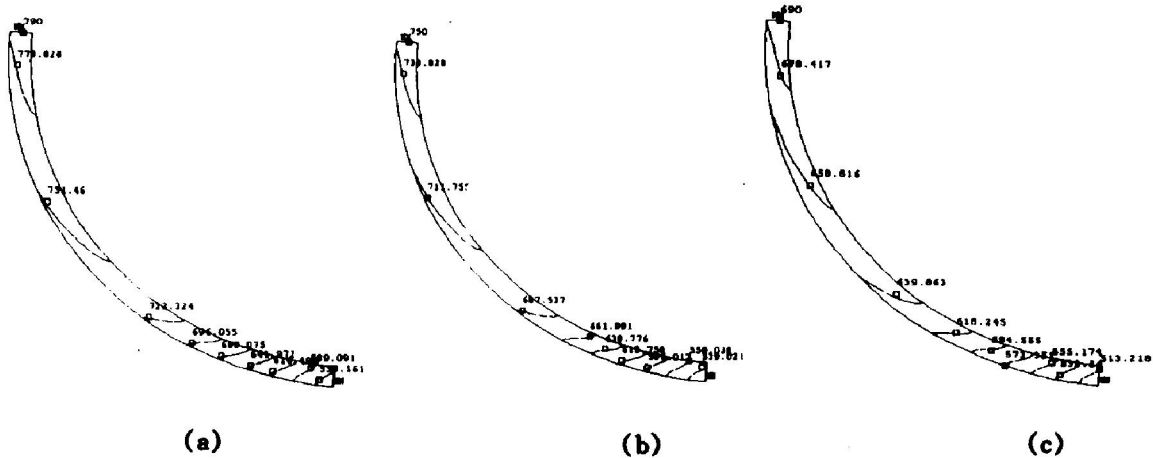
Fig. 3 Velocity distribution of alloy
($v_R = 0.2 \text{ m/s}$, $B = 4 \text{ mm}$; $t_0 = 750 \text{ }^\circ\text{C}$)

Fig. 2 Thermal properties of alloy vs temperature

- 2) 合金与轧辊、靴接触表面
- 合金与工具接触表面主要以热传导的方式换热, 由接触传热分析得到该边界热流密度值:
- $$q_{i,j} = K_{i,j} \Delta t_{i,j} \tag{2}$$
- 式中 $K_{i,j}$ 为热传导系数, $\Delta t_{i,j}$ 为温差。
- 3) 速度已知表面
- 在合金与靴接触表面, 合金运动速度恒定为 0, 在合金与轧辊接触表面, 合金运动速度即为轧辊的圆周速度 v_R , 即:
- $$v_{xi,j} = v_R \cos \theta_{i,j}, \quad v_{yi,j} = v_R \sin \theta_{i,j}, \quad v_{zi,j} = 0 \tag{3}$$

2 计算结果与分析

随着合金不断向下运动, 合金温度先是缓慢减小, 接着发生快速降低。这是因为合金在凝固初期虽然与工具间的温度梯度较大, 热量散失较快, 但



度条件下,由浇注口到出口,沿合金中心线合金温度的变化曲线如图 5 所示。浇注温度越低,合金越早发生凝固,合金出口温度越低,合金半固态区(513~641℃)越大,但是当浇注温度 t_0 低于 690℃时,合金在出口发生完全凝固,模拟结果与实际结果相符合。浇注温度 t_0 高于 790℃,合金的半固态区较小,轧辊的剪切作用变小,不利于球状晶的形成,比较合理的浇注温度范围为 $t_0=690\sim 790\text{℃}$ 。

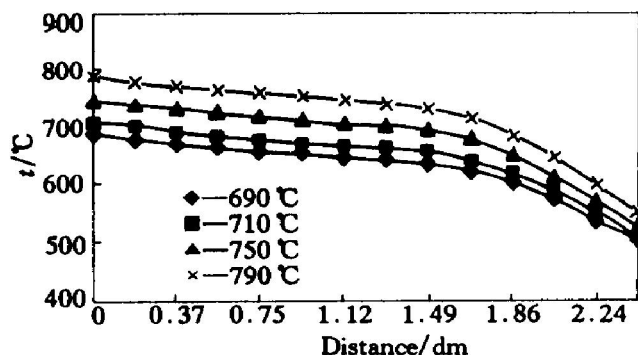


图 5 沿合金中心线的温度变化

Fig. 5 Temperature changing along center line of alloy

2.2 辊-靴型腔宽度对温度场/速度场的影响

辊-靴型腔宽度 B 对合金速度场和温度场都有明显的影响。图 6 所示是 $t_0=750\text{℃}$, $v_R=0.2\text{ m/s}$ 时合金温度场。当合金液与辊-靴接触时,热量以较大的热流密度从合金液前沿传向辊-靴,短时间内使液体合金与辊-靴接触的界面前沿存在着较大的过冷度。辊-靴型腔越宽,外层合金受到轧辊的剪切作用越小,因此合金越不容易发生运动,使得靠近轧辊的合金液最先被向下拖动。近轧辊合金液

尚未冷却到同高度位置的近靴合金液温度时,就已经发生了位置移动。使得等温曲线发生偏移,但由于辊-靴型腔宽度较大,因此靠近辊-靴的合金层与内层液体温差较大,出现明显液穴,如图 6(b) 所示。

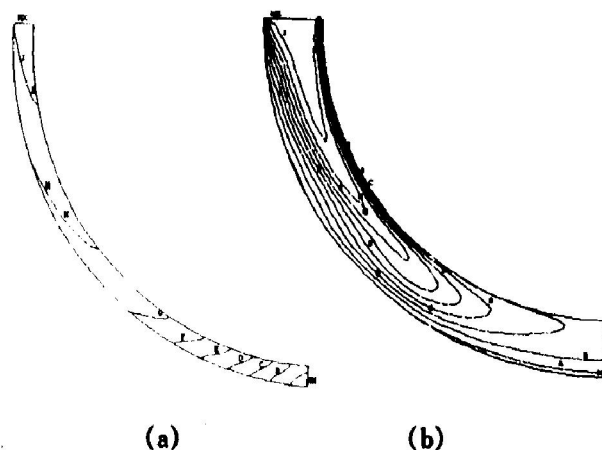


图 6 辊-靴型腔宽度对合金温度场的影响

Fig. 6 Effect of roll-shoe gap width on temperature distribution of alloy
($t_0=750\text{℃}$, $v_R=0.2\text{ m/s}$)
(a) $B=4\text{ mm}$; (b) $B=8\text{ mm}$

2.3 轧辊转速对温度场的影响

在辊-靴型腔宽度 $B=4\text{ mm}$ 时轧辊转速 v_R 对合金速度场分布无明显影响。图 7 所示是 $t_0=750\text{℃}$, v_R 分别为 0.15, 0.20, 0.25 m/s 时合金温度

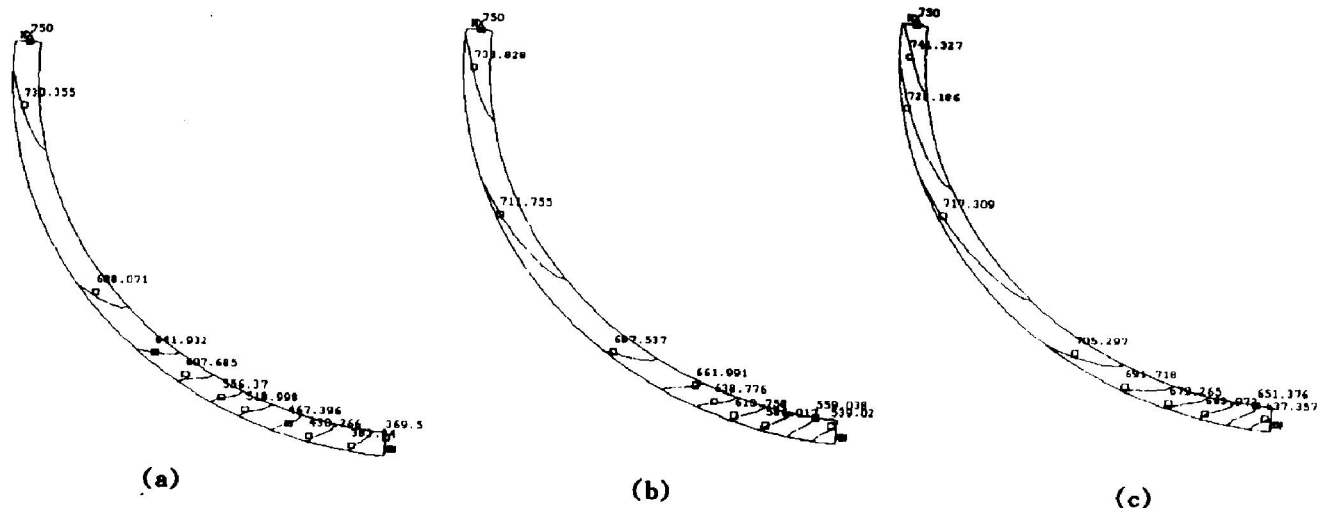


图 7 不同轧辊转速条件下合金温度场

Fig. 7 Temperature distribution of alloy at different roll rotating velocities
(a) $v_0=0.15\text{ m/s}$; (b) $v_0=0.2\text{ m/s}$; (c) $v_0=0.25\text{ m/s}$

场。由此可见轧辊转速越高, 合金越容易被向下拖动, 合金等温线向下偏移。当轧辊转速 $v_R = 0.15$ m/s 时合金的出口温度值为 $369\text{ }^{\circ}\text{C}$, 已发生完全凝固, 而当轧辊转速为 0.25 m/s 时合金出口温度值为 $637\text{ }^{\circ}\text{C}$, 几乎未开始凝固。因此在浇注温度、辊-靴型腔宽度一定的条件下, 轧辊转速不能太高或太低, 当 $t_0 = 750\text{ }^{\circ}\text{C}$, 辊-靴型腔宽度 $B = 4\text{ mm}$ 时, 较合理的轧辊转速为 $v_R = 0.2$ m/s。

[REFERENCES]

- [1] Flemming M C. Behavior of metal and alloys in the semi-solid state [J]. Metall Trans A, 1991, 22: 957- 981.
- [2] Nohn B, Morjan U, Hartmann D. Thixoforming of steel [A]. Proc 6th Conf on Semi-solid processing of alloys and composites [C]. Turin, Italy: 2000. 265- 272.
- [3] 罗守靖, 田文彤, 谢水生. 半固态加工技术及应用 [J]. 中国有色金属学报, 2000, 10(6): 765- 773.
LUO Shou-jing, TIAN Wen-tong, XIE Shu-sheng. Technology and application of semisolid forming [J]. Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2000, 10(6): 765 - 773.
- [4] Vives Charles. Elaboration of semisolid alloys by means of new electromagnetic rheocasting process [J]. Metal Trans, 1992, 21B(4): 189- 206.
- [5] Nakada Masayuki, Shiohara Yuh, Flemmings M C. Semi-solid processing of copper alloys for electric motor component [J]. ISIJ International, 1990, 30(1): 27- 33.
- [6] 崔成林, 毛卫民, 赵爱民. 感应加热对半固态 AlSi7Mg 合金连铸坯温度场和组织的影响 [J]. 中国有色金属学报, 2000, 10(6): 809- 814.
CUI Cheng-lin, MAO Wei-min, ZHAO Ai-min. Effect of induction heating on temperature field and microstructures in semisolid AlSi7Mg alloy billets cast continuously [J]. Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2000, 10(6): 809- 814.
- [7] Kiuchi M, Sugiyama S. A new process to manufacture semi-solid alloys [J]. ISIJ International, 1995, 35(6): 790- 797.
- [8] 张 豪, 陈振华, 康智涛, 等. 6066 铝合金多层喷射沉积半固态挤压 [J]. 中国有色金属学报, 1998, 8(2): 191- 196.
ZHANG Hao, CHEN Zhen-hua, KANG Zhi-tao, et al. Semi-solid extrusion technology of 6066 alloy prepared by multi-layer spray deposition [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 1998, 8(2): 191- 196.
- [9] 管仁国, 陈彦博, 温景林. 单辊搅拌工艺对 A2017 半固态合金组织的影响 [J]. 中国有色金属学报, 2001, 11(s1): 5- 8.
GUAN Ren-guo, CHEN Yan-bo, WEN Jing-lin. Effects of processing factors on microstructure of semisolid A2017 alloy during single-roll shearing process [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2001, 11(s1): 5- 8.
- [10] ZHAO Hong-liang, GUAN Ren-guo, WEN Jing-lin. FEM analysis of physical field in level rolling process of inversion casting by ANSYS program [J]. J of Iron and Steel Research, 2000, 7(1): 37- 40.

FEM analysis of single-roll stirring process conditions' effects on thermal/ fluid multiple field of A2017 alloy

GUAN Ren-guo, WEN Jing-lin, LIU Xiang-hua

(School of Materials and Metallurgy, Northeastern University, Shenyang 110004, China)

[Abstract] According to the principle of single-roll stirring process, FEM analysis by ANSYS program was adapted to calculate thermal/ fluid field under different pouring temperatures, roll velocities and roll-shoe widths during manufacturing A2017 semisolid alloy by single-roll stirring process. The effects of process conditions on thermal/ fluid field were analyzed. Process parameters of manufacturing semisolid A2017 alloy were optimized. Proper pouring temperature is $690\sim 790\text{ }^{\circ}\text{C}$, the roll-shoe gap width is 4 mm and roll rotating velocity is 0.2 m/s .

[Key words] process conditions; FEM; semisolid

(编辑 杨 兵)