

增分熔融凝固加工工艺参数的探讨*

贾成厂 郭志猛 林涛 田宏波

(北京科技大学材料科学与工程学院, 北京 100083)

摘要 对增分熔融凝固加工技术中的最主要的参数——电源电力进行了探讨, 考察了电源电力与开始熔化时间、熔融区深度、熔融区温度、所得材料的微观组织之间的关系, 并运用所得参数制得了高性能的材料。

关键词 高频感应加热, 增分熔融凝固, 微观组织

中图分类号 TG249.5, TG143.7

文献标识码 A

文章编号 0412-1961(1999)02-0187-89

A RESEARCH ON THE PARAMETERS IN INCREMENTAL MELTING AND SOLIDIFICATION PROCESS

JIA Chengchang, GUO Zhimeng, LIN Tao, TIAN Hongbo

School of Materials Science and Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083

Correspondent: JIA Chengchang, associate professor, Tel: (010)62332474, Fax: (010)62332336

Manuscript received 1998-10-23

ABSTRACT This paper has researched the output of power which is an important parameter in the incremental melting and solidification process. The influences of this parameter on melting beginning time, depth and temperature of melting zone, as well as materials microstructure were studied. Materials with better properties have been obtained using determined parameters.

KEY WORDS induction heating, IMS process, microstructure

高频感应加热是材料领域常用的一种加热方法。它是利用电磁感应在导体内产生感应电流, 以焦耳热来进行加热。

该加热方法具有速度快、容易控制等特点, 用于熔融加工时可以利用其电磁搅拌作用^[1,2]。增分熔融凝固是基于感应加热熔融及定向凝固原理等开发的一种金属材料成形和加工的方法。通过感应加热, 使导电性原材料在非电磁屏蔽的模内熔融, 并通过成形模与加热源的相对移动使熔融和凝固过程自下而上逐步进行, 以达到成形和加工的目的^[3,4]。该加工方法可利用高频感应加热的特点来调整组织结构, 获得优异的性能。因此高频加热电源的选定与输出参数的控制对增分熔融凝固加工具有非常重要的意义。

增分熔融凝固加工工艺中的主要参数有电源电力、送料速度、成形模下降速度等。这些参数之间是相互联系和制约的, 其中又以加热电源的输出参数最为重要。它对于加工工艺和所得材料的性能都有至关重要的影响。

1 实验方法

1.1 实验设备与工艺

高频加热采用三相电源, 220 V, 50 Hz。成形模用莫来石管, 模升降机由无级变速马达驱动。

将成形模设置于工作台, 向模内装入 50 g 颗粒状原材料。开动高频电源并逐渐增大输出, 待模内的原材料熔化后将成形模以 5—15 mm/min 的速度下降, 同时从模的上部向模内补充原材料, 直至熔融和凝固从模的底部到上部全部完成为止。

1.2 数据的测量

1.2.1 原材料开始熔化时间 将一定质量的原材料装入成形模内, 高频电源开启后在固定的时间 (5 s) 内分别增大至相对最大输出的 20%, 30%, 40%, 50% 和 60%, 仔细观察模内材料的熔化情况, 用跑表记录以测出完全熔化所需要的时间。

1.2.2 熔融区的深度 利用感应加热熔化和成形模与加热源间相对移动的动态平衡使熔融区维持在一个较窄的范围是增分熔融凝固加工的一个特点。因此熔融区的深度是表征该加工工艺的重要参数之一。在上述工艺过程中, 分别固定电源相对输出 (以下简称电源输出) 为 50%, 60%, 70% 和 80%, 并调整送料速度和成形模下降速度, 使它们相互匹

* 国家 863 计划资助项目 715-009-0050

收稿日期: 1998-10-23

作者简介: 贾成厂, 男, 1949 年生, 副教授, 博士

配. 待工艺稳定时, 用细钨棒直接从上方插入熔融区, 测量其深度.

1.2.3 熔融区的温度 对于所有的熔融加工, 熔体温度都是一个非常重要的参数. 该温度过低, 可能使熔化不充分而引起成分和组织的不均匀; 而温度过高则可能发生各类不良反应. 与测量熔融区深度时的工艺相同, 从正上方用光学温度计测量熔融区温度. 在测量时需要注意避开由上所提供的原材料的影响.

1.2.4 材料的微观组织 对由不同电源输出所得试样进行了抛光, 观察了微观组织, 并用定量金相的方法测量了枝晶间距.

2 实验结果与讨论

2.1 工艺参数对原材料开始熔化时间及熔融区深度的影响

随电源输出的增大, 从开始加热到材料熔化的时间缩短如图 1 所示. 当输出低于某一值时 (例如在本实验中约 20%), 无论时间怎样延长, 材料也不熔化, 即存在一个临界值, 电源输出必须大于该临界值, 加工才能进行. 但是当电源增大过快或输出过大时, 可能会影响电源设备的安全和成形模的正常使用, 还有可能对材料的组织和性能带来不良影响 [5]. 所以应该根据需要选定适当的电源输出值.

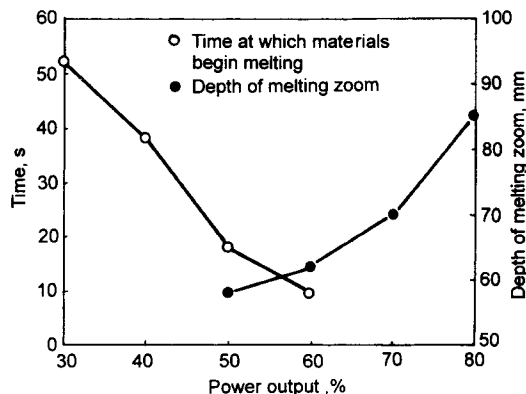


图 1 电源输出对材料开始熔化时间及熔融区深度的影响

Fig.1 The influence of power output on melting time and the depth of melting zone

增分熔融凝固加工工艺中, 材料处于熔融与凝固的动态平衡, 其主要参数之间应相互联系和制约. 电源电力的启动应在供料器与升降机的启动之前, 即在成形模内原材料完全熔化之后, 才能启动升降机使成形模相对于加热电源向下移动, 同时从上部向模内提供原材料. 所以确定电源启动后原材料开始熔化时间对设计和控制增分熔融凝固加工的工艺参数, 从而控制材料的组织和性能是十分重要的.

对于熔融凝固加工, 熔体的量是一个重要的参数, 对最终材料的性能有很大的影响 [5,6]. 而在增分熔融凝固加工工艺中, 熔融区深度即代表了熔体的量. 由图 1 还可以看出, 随输出的增大, 熔融区深度也增大. 增分熔融凝固加工的原理

是使熔融和凝固自下而上逐步进行, 利用高频加热的电磁搅拌和一定程度的定向凝固作用而获得均匀微细的组织 and 优异的性能. 只有控制熔融区为适当的深度才能达到这一目的. 熔融区过深, 则工艺会接近于普通铸造而失去该方法的特点. 熔融区过浅, 又会影响电磁搅拌和熔体的均匀性. 熔融区的深度主要取决于电源输出的大小和加热方式. 对此所采取的主要措施是设计适合于本加工工艺的感应加热线圈, 当然, 也必须对工艺参数进行严格控制.

2.2 工艺参数对熔体温度及对微观组织的影响

对于所有的熔融加工来说, 熔体温度对所得材料的组织和性能有至关重要的影响 [6,7]. 熔体的粘度随温度的上升而下降. 使熔体保持在材料熔点以上的适当温度, 有利于提高熔体的流动性和电磁搅拌作用, 使材料的成分、组织均匀. 同时与冷却条件相配合, 可以获得适当的温度梯度, 从而得到的组织微细、均匀. 但是如果熔体温度过高, 则不仅可能诱发诸如熔体与成形模、熔体与气氛等不良反应, 还可能会给冷却带来困难, 影响材料的组织和性能甚至还会对成形模的使用和安全操作产生不良影响. 考虑到光学高温温度计的测量误差和由上方供料的影响, 对每种条件下的熔体温度做了多次测量, 测量结果如图 2 所示. 可以看出, 虽然随电源输出的增大, 熔体温度有增大的趋势, 但并不十分明显. 这是因为增分熔融凝固加工中的主要参数如电源电力、供料速度、成形模下降速度等之间是相互配合的. 在改变电源输出的同时也调整了其它参数使之与电源输出相适应. 这说明在该加工工艺中, 适当选定相匹配的工艺参数, 是可以对熔体温度进行有效控制的.

材料的组织与加工工艺参数密切相关 [8,9]. 图 3 为不同参数下所得材料的微观组织照片. 增分熔融凝固加工具有电磁搅拌作用和可以控制的冷却速度, 一般能够得到较微细的组织 and 较小的枝晶间距. 由图 2 可以看出, 随着电源输出的增大, 晶粒有变小的倾向. 这主要在于:

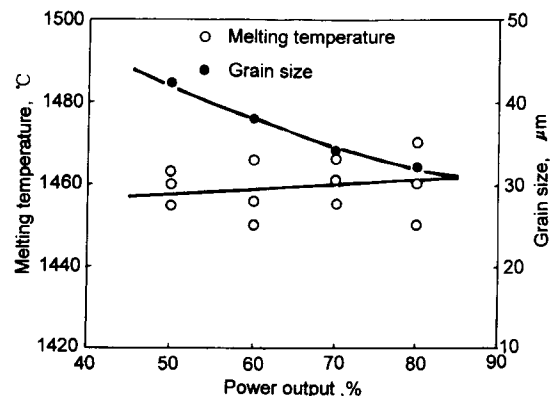


图 2 电源输出对熔体温度及微观组织的影响

Fig.3 The influence of power output on melting temperature and the microstructure

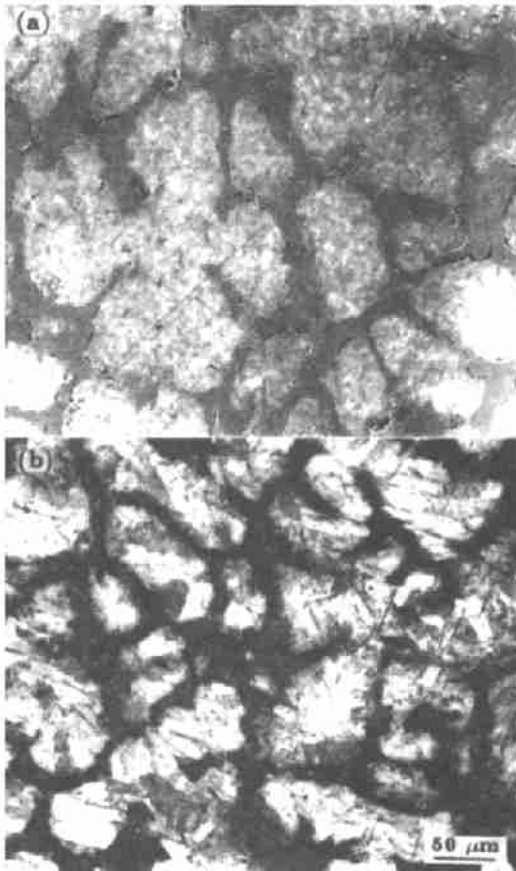


图3 不同电源输出时的材料微观组织

Fig.3 The microstructure of materials vs power output of 60% (a) and 80% (b)

(1) 电源输出增大时,电磁搅拌作用加强.电磁搅拌力对凝固过程中长大的晶核有冲击作用,可使之破碎.这些破碎的部分可能成为新的晶核,使得凝固过程中的形核率增加,从而使结晶体的晶粒度变细;

(2) 电源输出增大时熔体的温度有所增加.在同样冷却条件下,凝固时,固/液前沿的温度梯度会有所增加.该温

度梯度较大时易于形成枝晶组织,且温度梯度越大,枝晶间距越细.

2.5 应用实例

运用上述探讨所确定的工艺参数对不锈钢、铸铁、Cu合金等多种材质进行了实验,均获得成功.同时还制得了在钢中加WC的颗粒强化复合材料和Fe-Cr梯度材料.例如对于不锈钢304制品,获得了微细、均匀的组织,拉伸强度达600 MPa,延伸率达70%.都大幅度超过铸造加工件的标准,特别是延伸率,提高了1倍以上.

3 结论

电源输出是增分熔融凝固加工中重要的参数,它对加工过程和所得材料的组织性能都有很大的影响.选定合适的工艺参数,可以得到高性能的材料.通过对工艺参数的探讨和研究,为增分熔融凝固加工技术的应用打下了基础.

参考文献

- [1] Omori J, Kawasaki M, Nakae H. *Imono*, 1993; 65(5): 263 (大森次治, 川崎道夫, 中江秀雄. 铸物, 1993; 65(5): 263)
- [2] Singer A R E, Evans R V. *Met Tech*, 1983; 10: 61
- [3] Jia C C, Sasaki N. *J Univ Sci Technol Beijing*, 1996; 5: 436 (贾成厂, 佐佐木信义, 北京科技大学学报, 1996; 5: 436)
- [4] Jia C C. *Post Doctor Research Report*, USTB, 1996 (贾成厂. 北京科技大学博士后研究报告, 1996)
- [5] Cai K K. *Moulding and Solidification*. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1987: 55 (蔡开科. 浇注与凝固. 北京: 冶金工业出版社, 1987: 55)
- [6] Mao Y W. *Metallurgy Melting*. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1994: 52 (毛裕文. 冶金熔体. 北京: 冶金工业出版社, 1994: 52)
- [7] Beer S Z. *Liquid Metals Chemistry and Physics*. New York: Marcel Dekker, INC, 1972: 258
- [8] Yu Y N. *Physical Metallurgy*. Beijing: University of Science and Technology Beijing Press, 1997: 5 (余永宁. 金属学. 北京: 北京科技大学印刷厂, 1997: 5)
- [9] Minkoff I. *Solidification and Cast Structure*. John Wiley and Sons Ltd, 1986: 1