

基于 EMD 的挤压铸造压射运动参数分析

伊晓浏¹ 宋 雷² 李浩欣³

(1.广州市交通技师学院;2.广东技术师范大学机电学院;3.华南农业大学工程学院)

摘 要 压射过程是挤压铸造工艺的核心工艺环节,对压射运动参数的分析是实现压射过程精确控制的前提。以支承阶梯板为对象进行压射运动参数数据采集,提出了一种基于经验模态分解(EMD)的挤压铸造压射运动参数分析方法,通过对加速度曲线的分解,有效区分了压射过程不同的运动特性。通过对各阶 IMF 分析发现,冲头的运动特性可以分为 3 种类别,分别是 IMF1 表述的启停特性、IMF2~IMF7 表述的谐波特性和 IMF8~IMF9 表述的趋势特性。

关键词 挤压铸造;EMD;运动参数;运动特性

中图分类号 TG249.2 **文献标志码** A

DOI:10.15980/j.tzzz.2023.012.024

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Analysis of Injection Motion Parameters in Squeeze Casting Based on EMD

Yi Xiaoliu¹, Song Lei², Li Haoxin³

(1. Guangzhou Communications Technician Institute; 2. School of Mechanical and Electrical Engineering, Guangdong Polytechnic Normal University; 3. College of Engineering, South China Agricultural University)

Abstract: The injection is the key point in squeeze casting process, and the premise for achieving precise control of the injection process is the analysis of the injection motion parameters. An approach to analyze the injection motion parameters of squeeze casting based on EMD was proposed by taking the supporting step plate as object to collect data of injection motion. By decomposing the acceleration curve, the various motion characteristics of the injection process were identified. By analyzing each stages of IMF, it was found that the motion characteristics of punch could be divided into three categories, namely the start-stop qualities expressed by IMF1, the harmonic qualities expressed by IMF2~IMF7, and the trend qualities expressed by IMF8~IMF9.

Key Words: Squeeze Casting, EMD, Motion Parameters, Motion Characteristics

挤压铸造技术有效结合了铸造和模锻的工艺优势^[1],与传统压力铸造相比,可以获得更好力学特性的铸件,被广泛用于航天、汽车、高铁以及电器等领域的高性能零部件的铸造^[2-5]。在智能制造的大背景下,通过现代检测和信息处理技术对挤压铸造工艺进行分析将是装备改进与参数优化的重要途径之一。朱阳辉等^[6]针对压射机构的配合间隙展开了研究,提出了一种基于Krging的压射机构铸造工艺参数优化办法,结果表明优化后压室和冲头的配合得到较大改进。姬庆玲等^[7]将BP神经网络和遗传算法进行结合,构建了一种挤压铸造工艺参数和铸件力学性能之间的数学模型,通过模型进行训练获取最优的挤压速度等工艺参数。PATELM G C等^[8]利用BP神经网络和循环神经网络对挤压铸造工艺参数和铸件磨损率之间的关系展开了研究,发现循环

神经网络能够更好地捕捉压射过程的非线性动力学参数,从而在铸件磨损率的预测方面表现更加优异。此外,挤压铸造压射运动过程的稳定性对优化工艺参数具有重要意义,而上述研究更多关注如何获取最优的工艺参数,较少考虑对关键的压射过程进行监测与分析。传统的工艺过程只能设定压射过程的基本运动参数,而压射过程存在明显的干扰与波动,也是导致铸造缺陷产生的主要因素之一,有必要采用更加强有力的工具提取出压射过程的特征,为精确控制压射过程提供参考^[9]。

挤压铸造机在工作过程中,压射机构存在强烈的摩擦^[10],造成运动参数的振荡,并且传感器收集数据过程中受到噪声的影响,增加了特征提取的难度。HUANG N E等^[11]提出,经验模态分解(Empirical mode decomposition,EMD)是一种针对非线性、非平稳

收稿日期:2023-04-15;修改稿收到日期:2023-05-23
基金项目:国家自然科学基金资助项目(51875209);广东省自然科学基金资助项目(2018A030313509);广东省高等学校科研特色创新项目(2019KTSCX086)
第一作者简介:伊晓浏,女,1979 年出生,高级讲师,广州(510540),E-mail:271271@qq.com
通信作者:宋雷,男,1979 年出生,副教授,广州(510640),E-mail:s_forrest@126.com
引用格式:伊晓浏,宋雷,李浩欣. 基于 EMD 的挤压铸造压射运动参数分析[J]. 特种铸造及有色合金,2023,43(12):1 714-1 717.
YI X L, SONG L, LI H X. Analysis of injection motion parameters in squeeze casting based on EMD[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2023, 43(12):1 714-1 717.

信号的高效处理办法。LEI Z 等^[12]采用 EMD 对模具液位信号产生的非线性信号进行分解。本研究以 KDJ-250T 挤压铸造机为对象,采用 EMD 对压射机构的运动参数进行分析,为压射运动控制以及压射机构优化等提供参考。

1 挤压铸造压射运动参数采集

以 KDJ-250T 挤压铸造机作为试验装备,见图 1,可承受 2 500 kN 的锁模力和 112 MPa 的挤压压力,用于 1.5~3.0 kg 的铸件制造。对支承阶梯板进行挤压铸造试验,见图 2。压射机构是挤压铸造工艺过程的核心机构,其工作状态将直接决定铸件的品质,压室和冲头之间的强烈摩擦是影响铸件品质和压射机构可靠性的关键因素之一。根据前期经验,将 4Cr9Si2 和 QT600 分别作为压室和冲头的材料,根据挤压铸造机的生产要求,压室内径和冲头直径的公称尺寸为 63 mm,其平均配合间隙为 0.15 mm,压室和冲头之间采用石墨润滑。

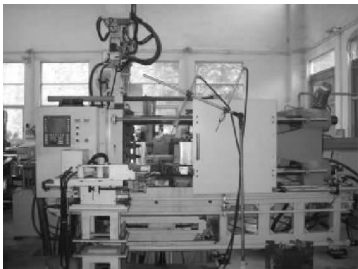


图 1 KDJ-250T 挤压铸造机

Fig.1 KDJ-250T extrusion casting machine

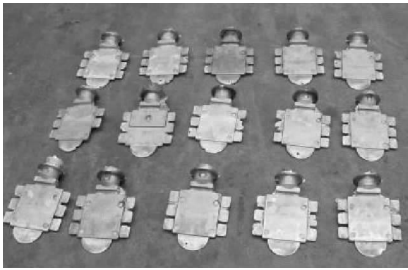


图 2 铸件照片

Fig.2 Image of castings



图 3 位移传感器安装示意图

Fig.3 Schematic diagram of displacement sensor installation

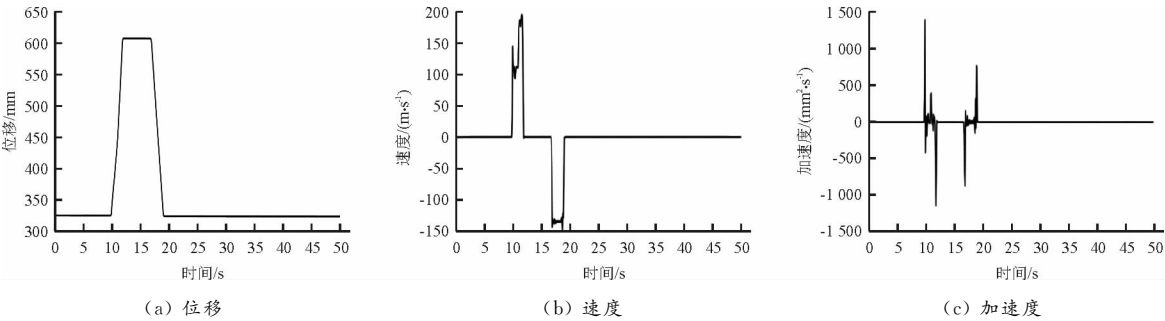


图 4 压射运动参数曲线

Fig.4 Movement parameter curves of injection

2 基于 EMD 的压射运动参数分析

2.1 EMD 分解方法

EMD 作为一种不需要指定基函数,以自适应的方式进行信号分解的方法,对非线性振动信号处理具有显著的优势。EMD 分解原理是基于自身尺度特征将原始信号分解为多个固有模态函数(Intrinsic Mode Function, IMF),其步骤如下。

压射机构具有结构设计紧凑的特点,且在工作过程中出于高温高压,难以安装多个传感器。由于位移、速度和加速度之间存在微分关系,可直接测量冲头位移数据,通过数据处理获取速度与加速度数据。在试验中,位移测量采用拉线式位移传感器,其安装位置见图 3。位移传感器采集一个压射过程的曲线见图 4。

(1)对原始信号 $x(t)$ 进行包络 上包络线 $a(t)$ 和下包络线 $b(t)$ 分别由极大值点和极小值点确定,并对两条包络线的平均值 $u(t)$ 进行求解。

$$u(t) = \frac{a(t) + b(t)}{2} \tag{1}$$

(2)求解新的信号 $v(t)$

$$v(t) = x(t) - u(t) \tag{2}$$

(3)判断 IMF,并求解剩余信号分量 $r(t)$ 如果 $v(t)$ 的零点数和极值点数最多相差一个,且关于时间

轴对称,则 $v(t)$ 做作为第一个 IMF,其剩余信号分量如下。

$$r(t) = x(t) - v(t) \quad (3)$$

(4)将 $r(t)$ 作为最新信号,并重复上诉步骤,直至 $r(t)$ 成为一种单调信号 因此,若将最后的剩余信号视为 IMF,可将 EMD 的原理简述为:

$$x(t) = \sum_{i=1}^L I_{MF_i}(t) + r(t) = \sum_{i=1}^{L+1} I_{MF_i}(t) \quad (4)$$

2.2 基于 EMD 的压射运动参数分解

由于压射过程时间短、参数变化剧烈,冲击特性明显。对图 4 运动参数数据进行分析,加速度曲线具有二阶微分特性,其波动可以更加明显地表示冲头运动过程的变化情况。同时,压射过程受到多种非线性因素的影响,其上升阶段和下降阶段表现也会不同。

采用极值点构建的上、下包络线是 EMD 分解的重要步骤,但信号的端点往往并不一定是极值点,导致分解结果失真,这种现象被称为端点效应^[13]。因此,为提高 EMD 对加速度曲线的分解精度,应抑制端点效应的产生。镜像延拓是一种有效抑制端点效应的办法,将上升过程和下降过程的加速度信号分别进行镜像延拓,有效的提高 EMD 分解结果的准确性,分解结果见图 5 和图 6。

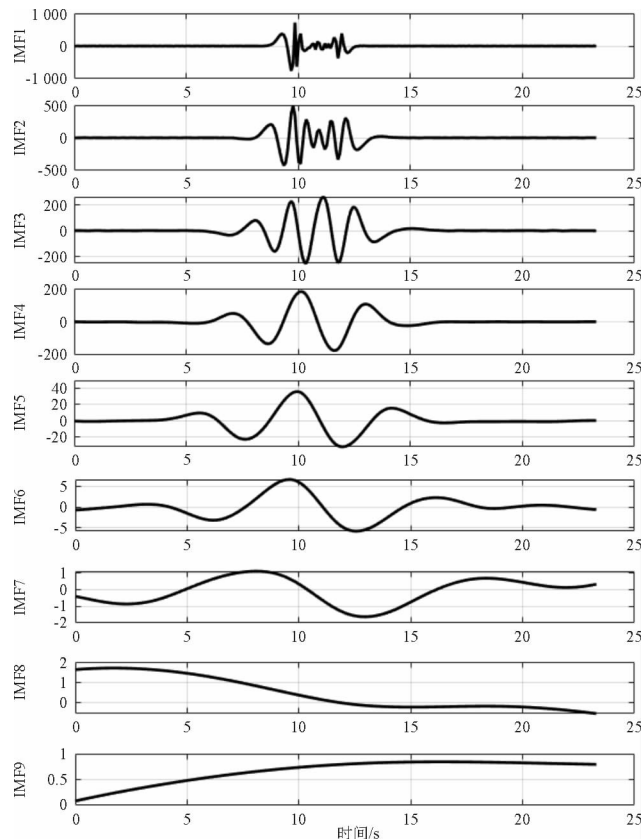


图 5 上升过程加速度曲线分解结果

Fig.5 The decomposition results of acceleration curves in ascending process

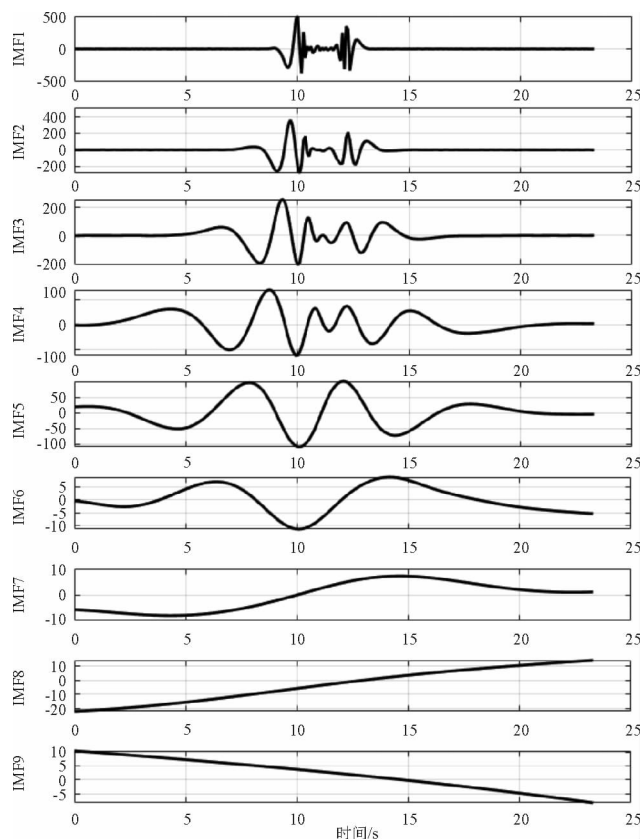


图 6 下降过程加速度曲线分解结果

Fig.6 The decomposition results of acceleration curves in descending process

2.3 试验结果分析

2.3.1 冲头上升过程分析

在图 5 中,上升过程的加速度曲线被分解为 9 阶 IMF,根据其曲线特征可以分为 IMF1、IMF2 ~ IMF7 和 IMF8~IMF9 等 3 个类别。

IMF1 前端和末端波动比较明显,表示冲头上升过程的加速启动和减速停止的过程,而在中间段的加速度接近 0,这比较准确地表示了冲头中间运行的阶段。启动阶段和停止阶段冲头的加速度变化十分剧烈,这对铸件的品质极为不利,因此提高铸件品质应着重改善 IMF1 的平稳性。IMF1 的波动主要集中在冲头启动阶段和停止阶段,这与压射机构的驱动系统有着直接的关系,因此改善驱动系统动态特性成为抑制 IMF1 波动幅度的关键。

IMF2~IMF7 具有明显的谐波特性,显示了冲头在运行过程中的脉冲特性。从信号的特性上看,IMF2~IMF7 具有相对稳定的频率,可以认为这与压射机构的摩擦特性具有密切的关系。虽然 IMF2~IMF7 的变化剧烈程度小于 IMF1,但是这一阶段的信号波动较为稳定,这意味着 IMF2~IMF7 波动主要是由压射机构的摩擦特性造成,可以通过 IMF2~IMF7

表征冲头与压室之间的摩擦特性,通过改进冲头与压室之间的配合对改善 IMF2~IMF7 的波动特性将具有积极的意义。

IMF8~IMF9 具有明显的趋势特征,表示了冲头运动过程中主要变化趋势,由于 EMD 算法在进行分解过程中会将冲头静止阶段的信号一并进行处理,使得 IMF8 ~ IMF9 的趋势扩散到了静止阶段,这造成了较为明显的计算误差,但是通过 IMF8 ~ IMF9 可以准确判断压射过程冲头加速度的变化趋势。

2.3.2 冲头下降过程分析

在图 6 中,下降过程的加速度曲线被分解为 9 阶 IMF。通过对比图 5 和图 6 的曲线特征,发现下降过程与上升过程冲头的运动特征相似,但下降过程的波动幅度明显比上升过程的小,这与下降过程没有金属熔液的热作用有关,说明金属熔液的热作用对冲头的运动特性有着重要的影响,在工艺过程中应采用必要的冷却措施以降低金属熔液对冲头的热作用。IMF1 仍然可以清楚地表示冲头的起动、稳定运行和停止过程,虽然这一过程对铸件质量不产生直接影响,但剧烈的冲击将对压射机构的寿命不利,有必要降低这一阶段运动冲击。

下降过程的 IMF2~IMF7 与上升过程的 IMF2~IMF7 波动特性相类似,进一步表明这一阶段的波动仍然主要受冲头与压室之间的摩擦影响。改善冲头与压室之间的摩擦有利于提高压射机构的寿命。与上升过程相类似,IMF8~IMF9 可以表示加速度的变化趋势。

3 结 论

(1)通过对压射运动参数的采集,并通过数据处理获得加速度曲线,采用 EMD 分解对加速度曲线上升过程和下降过程分别进行分解,将压射运动的不同特征进行提取,获得不同阶 IMF 曲线。

(2)根据不同阶 IMF 曲线进行分析,表明了冲头上升过程和下降过程的运动特性基本相同,可分为 3 个类别。IMF1 表示了冲头在启动和停止阶段的运动特性,具有强烈的振动;IMF2~IMF7 表述了冲头的运动过程的谐波特性,主要由压射机构摩擦引起;IMF8~IMF9 表述了冲头的加速运动主要趋势。

参 考 文 献

[1] 李道忠,丁武学,孙宇,等. 汽车支架半固态挤压铸造工艺参数的优化[J]. 热加工工艺, 2022, 51(15): 54-58.

[2] 邢书明,闫光远,鲍培玮,等. 挤压铸造高品质大型结构件[J]. 特种铸造及有色合金, 2021, 41(2): 133-138.

[3] 黄毅,罗继相,郭称发,等. 挤压铸造技术在汽车结构件中的应用[J]. 特种铸造及有色合金, 2021, 41(8): 1 040-1 043.

[4] GOENKA M, NIHAL C, RAMANATHAN R, et al. Automobile

parts casting-methods and materials used: A review[J]. Materials Today: Proceedings, 2020, 22: 2 525-2 531.

[5] SRIVASTAVA N, ANAS M. An investigative review of squeeze casting: Processing effects & impact on properties[J]. Materials Today: Proceedings, 2020, 26: 1 914-1 920.

[6] 朱阳辉,游东东,朱权利. 基于 Krging 的压射机构铸造工艺参数多目标优化[J]. 特种铸造及有色合金, 2022, 42(5): 592-596.

[7] 姬庆玲,夏志林. 基于神经网络的 AZ31 镁合金热挤压成形参数的优化[J]. 热加工工艺, 2018, 47(21): 165-168.

[8] PATELM G C, SHETTIGAR A K, PARAPPAGOUDAR M B. A systematic approach to model and optimize wear behaviour of castings produced by squeeze casting process[J]. Journal of Manufacturing Processes, 2018, 32: 199-212.

[9] 宋雷,邵明. 基于小波的挤压铸造运动参数研究[J]. 铸造, 2014, 63(1): 26-29.

[10] 朱谦,游东东,朱权利. 基于摩擦模型的挤压铸造机压射机构动态配合[J]. 中国机械工程, 2021, 32(12): 1 405-1 413.

[11] HUANG N E, SHEN Z, LONG S R, et al. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis[J]. Proceedings of the Royal Society of London, 1998, A454: 903-995.

[12] LEI Z, SU W, HU Q. Multimode decomposition and wavelet threshold denoising of mold level based on mutual information entropy[J]. Entropy, 2019, 21(2): 202.

[13] 郝如江,李非. EMD 端点效应抑制方法[J]. 振动测试与诊断, 2018, 38(2): 341-345.

(编辑:张正贺)

宝武镁业持续投资镁合金产业， 镁压铸产品订单饱和

近日,宝武镁业科技股份有限公司(简称:宝武镁业)在接待调研机构时表示,公司目前镁合金压铸产品在手订单饱和。其中,公司给一汽供应副仪表板支架,方向盘骨架,座椅扶手支架等部件;为长安深蓝供应镁合金仪表盘支架等部件;为理想提供镁合金座椅支架类产品;为问界 M7 的后座提供座椅支架横梁,为问界 M9 供应仪表盘支架等部件。公司与大部分车企有直接或间接的供应关系。

在镁合金建筑模板方面,宝武镁业表示,公司在 2021 年开始投资镁建筑模板项目并已经在建筑工程上中批试用,2022 年已批量供货并形成规模,2023 年公司进一步完善了镁合金建筑模板的表面处理工艺,以及利用镁水直供压铸镁合金建筑模板,从而显著降低镁合金建筑模板的生产和后加工成本,为镁合金建筑模板在模板领域的替代奠定了坚实的基础。公司将持续加大与相关企业的合作,推动镁合金建筑模板的示范化应用。

为确保镁金属的供给,更好地满足市场的需求,宝武镁业持续加大矿产的投资。目前,公司子公司巢湖云海、五台云海以及合资公司安徽宝镁的白云石是自给的。其中,巢湖云海拥有 8 864.25 万 t 白云石的采矿权,五台云海拥有 57 895 万 t 白云石矿,安徽宝镁拥有 131 978.13 万 t 白云石的采矿权。

(摘自压铸周刊)