

用灰关联分析法探讨金属材料性能参数对注塑模寿命的影响

梁 雄,伍晓宇,刘 戈

(深圳大学 机电与控制工程学院,广东 深圳 518060)

摘要:分析了影响注塑模寿命的几个原因,选取热处理后金属材料的相关性能参数作灰关联分析。以金属材料性能参数为相关因素变量,选取影响模具寿命的输出参数作为系统特征变量,应用灰关联分析法,分别生成各变量的处理数据序列,建立绝对灰关联度矩阵,利用优势分析原则确定金属材料性能参数对其注塑模寿命的影响程度。

关键词:注塑模寿命;金属材料;性能参数;灰关联分析

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1672 - 1616(2007)07 - 0069 - 04

注塑模的寿命是用模具的注塑次数来衡量的。注塑模的寿命受多种因素的影响,如模具用金属材料的硬度、抗拉强度、塑性、韧性、导热性和泊松比等性能参数,热处理方法,生产中的操作,维护保养,模具结构设计等。对注塑模寿命综合评判常常需要确定以上各性能参数的权重分配。由于权重的选取没有统一的标准,通常采用经验法或人为给定,缺乏科学依据,为了克服上述缺点,本文应用灰关联分析方法探讨 S45C、NA K80、硬铝合金 Alur mold 1 - 500 和 Fortal 7000(注:Alur mold 1 - 500 和 Fortal 7000 为法国 Pechiney 公司的硬铝合金产品)4 种金属材料性能参数对注塑模寿命影响程度的顺序,并通过实例说明灰关联分析方法的可行性。

1 影响注塑模寿命的原因

相关的文献[1]~[3]认为,影响注塑模寿命的原因可概括为内在原因和外在原因。内在原因主要是注塑模材料的选择、注塑模结构的设计和模具加工工艺对其寿命的影响,外在原因主要是指注塑模的安装、调试和生产使用是否合理,定期维护保养是否到位等因素对其寿命的影响。概括总结提高注塑模寿命主要需从以下 5 个方面来考虑。

a. 不同寿命的注塑模,应该正确合理地选择模具材料。

b. 针对所选取的模具材料,制订合理的热处理工艺,最大限度地提升模具的热处理质量。

c. 合理地设计模具结构。模具的结构设计包括模具几何形状的设计和模具结构形式的设计。影响模具寿命的几何形状因素主要是模具的圆角半径的大小、凸模的端面形状、凹模锥角和凹模截面变化的大小等,大多数情况下这些部位会有较大的应力集中。另外,在模具结构设计中,模具装配部位的结构、模具导向结构的设计和镶块之间工作间隙的选择是否合理等都是影响模具寿命的重要因素。

d. 在保证加工质量的前提下,采用新的加工方法,尤其是使用高速 CNC 加工模具,可大大提高注塑模的精度,并能快速加工出形状和结构更为复杂的型芯、型腔,有些时候甚至可以代替某些电加工,大大缩短模具加工时间。

e. 正确合理使用注塑模,及时维修和保养。

虽然影响注塑模寿命的原因很多,但模具材料的选择和热处理工艺的制订对注塑模寿命的影响程度是最大的。本文仅以热处理后的 S45C、NA K80、硬铝合金 Alur mold 1 - 500 和 Fortal 7000 4 种金属材料性能参数为例作灰关联分析。

2 灰关联分析方法

灰色关联分析是以分析系统中反映系统行为

收稿日期:2007 - 01 - 08

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50245025);广东省科技计划项目(粤科计字[2003]292 号)

作者简介:梁 雄(1982 -),男,湖北黄冈人,深圳大学硕士研究生,主要研究方向为网络协同制造技术。

的特征数据序列与影响系统行为的有效因素数据序列的关系密切程度,根据可以得到的部分信息,通过相关的数据处理,计算其关联度,从而确定出影响系统行为的主要因素、次要因素以及各因素对系统行为影响差异的大小^[4~6]。灰关联度按照不同的分析目的可以分为:灰色绝对关联度、灰色相对关联度和灰色综合关联度^[5~6]。对于以确定影响注塑模寿命的主要因素为目的的灰关联分析,不需要考虑变量数据序列中各实验数据相对始点的变化速率,以及避免关联度计算中因分辨系数的选取而出现的计算问题,采用灰色绝对关联度分析方法。其分析步骤如下。

2.1 确定数据序列

金属材料本身的性能是影响注塑模寿命的内因,输出参数是注塑模寿命的表现形式。设反映金属材料热处理和表面强化性能的输出参数为系统特征变量,记为 $y_i (i = 1, 2, 3, \dots, s)$;金属材料本身的性能参数定义为相关因素变量,记为 $x_j (j = 1, 2, 3, \dots, m)$ 。若有 n 种模具用金属材料的实验数据,那么每一个系统特征变量和相关因素变量在各种金属材料中所测得的数据值,就构成相应的系统特征数据序列 $Y_i = (y_i(1), y_i(2), \dots, y_i(k), \dots, y_i(n))$ 和相关因素数据序列 $X_j = (x_j(1), x_j(2), \dots, x_j(k), \dots, x_j(n))$ 。应用灰关联分析方法确定各种因素对注塑模寿命的影响程度,就是通过计算系统特征变量数据序列和相关因素变量数据序列之间的灰关联度,建立灰关联矩阵,利用优势分析原则,得出各种影响因素的排序,最终确定出各性能参数对注塑模寿命的影响程度。

2.2 生成处理数据序列

a. 将数据序列样本值正相关化^[4~6]。如果给定数据序列样本值的相对关联呈负相关关系,通过倒数化算子 P_1 的作用,将生成的处理数据序列 Y_i^1 和 X_j^1 转化为正相关关系,即

$$Y_i^1 = Y_i P_1 = (y_i^1(1), y_i^1(2), \dots, y_i^1(k), \dots, y_i^1(n)) \quad (1)$$

$$X_j^1 = X_j P_1 = (x_j^1(1), x_j^1(2), \dots, x_j^1(k), \dots, x_j^1(n)) \quad (2)$$

式中, $y_i^1(k) = 1/y_i(k)$, $x_j^1(k) = 1/x_j(k)$, $y_i(k)$ 和 $x_j(k)$ 分别表示第 i 个系统特征变量和第 j 个相关因素变量在第 k 种金属材料实验时测量的数据(样本值)。

b. 将数据序列样本值无量纲化^[4~6]。如果数

据序列的样本值单位不统一,通过均值化算子 P_2 的作用生成处理数据序列 Y_i^2 和 X_j^2 ,使得序列样本值无量纲化,即

$$Y_i^2 = Y_i^1 P_2 = (y_i^2(1), y_i^2(2), \dots, y_i^2(k), \dots, y_i^2(n)) \quad (3)$$

$$X_j^2 = X_j^1 P_2 = (x_j^2(1), x_j^2(2), \dots, x_j^2(k), \dots, x_j^2(n)) \quad (4)$$

式中: $y_i^2(k) = y_i^1(k) / (\frac{1}{n} \cdot \sum_{k=1}^n y_i^1(k))$, $x_j^2(k) = x_j^1(k) / (\frac{1}{n} \cdot \sum_{k=1}^n x_j^1(k))$ 。

c. 将数据序列样本值始点零化。对经过和均值化算子作用而得到的系统数据序列 Y_i^2 和相关因素数据序列 X_j^2 ,分别经过始点零化算子 P_0 作用得到其相应的零化数据序列 Y_i^0 , X_j^0 , 即

$$Y_i^0 = Y_i^2 P_0 = (y_i^0(1), y_i^0(2), \dots, y_i^0(k), \dots, y_i^0(n)) \quad (5)$$

$$X_j^0 = X_j^2 P_0 = (x_j^0(1), x_j^0(2), \dots, x_j^0(k), \dots, x_j^0(n)) \quad (6)$$

式中, $y_i^0(k) = y_i^2(k) - y_i^2(1)$, $x_j^0(k) = x_j^2(k) - x_j^2(1)$, $k = 1, 2, 3, \dots, n$ 。

2.3 计算灰色绝对关联度矩阵

第 j 个因素变量对第 i 个系统特征变量的灰色绝对关联度 $\varepsilon_{i,j}$ 可由下式算出^[4~6]。

$$\varepsilon_{i,j} = \frac{1 + |y_{s_i}| + |x_{s_j}|}{1 + |y_{s_i}| + |x_{s_j}| + |x_{s_j} - y_{s_i}|} \quad (7)$$

式中, $|y_{s_i}| = |\sum_{k=1}^{n-1} y_i^0(k) + \frac{1}{2} y_i^0(n)|$, $i = 1, 2, 3, \dots, s$; $|x_{s_j}| = |\sum_{k=1}^{n-1} x_j^0(k) + \frac{1}{2} x_j^0(n)|$, $j = 1, 2, 3, \dots, m$; $|x_{s_j} - y_{s_i}| = |\sum_{k=1}^{n-1} [x_j^0(k) - y_i^0(k)] + \frac{1}{2} [x_j^0(n) - y_i^0(n)]|$

通过式(7)计算出每一个相关因素变量(性能参数)对每个系统特征变量(输出参数)的灰色绝对关联度 $\varepsilon_{i,j}$, 便得到灰色绝对关联度矩阵为 $A_{s \times m}$, 即

$$A_{s \times m} = \begin{bmatrix} \varepsilon_{11} & \varepsilon_{12} & \dots & \varepsilon_{1m} \\ \varepsilon_{21} & \varepsilon_{22} & \dots & \varepsilon_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \varepsilon_{s1} & \varepsilon_{s2} & \dots & \varepsilon_{sm} \end{bmatrix}$$

2.4 优势分析

对于灰色绝对关联度矩阵 $A_{s \times m}$, 若存在 l ,

$j \in \{1, 2, 3, \dots, m\}$ 满足

$$\varepsilon_{i,l} \geq \varepsilon_{i,j} \quad i = 1, 2, 3, \dots, s \quad (8)$$

则称因素 x_l 优于 x_j , 记为 $x_l \phi x_j$, 即性能参数 x_l 对注塑模寿命的影响程度大于性能参数 x_j 。

若 $\forall j = 1, 2, 3, \dots, m, j \neq l$ 恒有 $x_l \phi x_j$, 则称 x_l 为最优因素, 即在所有考虑的性能参数中, 参数 x_l 对注塑模寿命的影响程度最大。若存在 $l, j \in \{1, 2, 3, \dots, m\}$, 满足

$$\sum_{i=1}^m \varepsilon_{i,l} \geq \sum_{i=1}^m \varepsilon_{i,j} \quad (9)$$

则称性能参数 x_l 准优于性能参数 x_j , 即对注塑模寿命的评价中, 性能参数 x_l 对注塑模寿命的影响程度准大于性能参数 x_j 。

表 1 4 种金属材料的典型性能和输出参数

系统特征变量与相关因素变量		$k = 1$	$k = 2$	$k = 3$	$k = 4$
		S45C	NAK80	Alumold 1 - 500	Fortal 7000
y_1	热处理后的硬度/ HB	246	382	500	332
y_2	热处理后的屈服强度 σ_s / MPa	450	1 009.4	530	525
x_1	抗拉强度 σ_b / MPa	598	1 254	580	590
x_2	延伸率 δ / %	16	16	9	9
x_3	泊松比系数 μ	0.24	0.26	0.33	0.33
x_4	导热系数 λ / (W · (m · K) ⁻¹)	50.2	62.4	153.0	140.0

由表 1 中各参数的具体值, 形成系统特征数据序列 $Y_i = (y_i(1), y_i(2), y_i(3), y_i(4)) (i = 1, 2)$ 和相关因素数据序列 $X_j = (x_j(1), x_j(2), x_j(3), x_j(4)) (j = 1, 2, 3, 4)$ 。在各序列中, 热处理后的金属材料的硬度、屈服强度、抗拉强度和导热系数指标值越大, 说明此指标值对注塑模寿命越有利; 而延伸率、泊松比系数指标值越大, 则此指标值对注塑模寿命越不利。所以热处理后金属材料的硬度、屈服强度、抗拉强度和导热系数与延伸率、泊松比系数呈负相关关系。应对系统特征数据序列 Y_1, Y_2 和相关因素序列 X_1, X_4 分别利用式(1)和(2)中的倒数化算子 P_1 , 生成与其他数据序列为正相关的数据序列 Y_1^0, Y_2^0, X_1^0 和 X_4^0 。

由于各序列指标值的单位不统一, 对 Y_1^0 和 Y_2^0 利用式(3)的均值化算子 P_2 生成 Y_1^1 和 Y_2^1 , 对 X_1^0, X_2^0, X_3^0 和 X_4^0 应用式(4)均值化算子 P_2 的作用, 生成处理数据列 X_1^1, X_2^1, X_3^1 和 X_4^1 , 使序列样本值无量纲化。根据式(5)和(6)将经过以上两步处理的数据序列样本值始点零化, 生成的零化数据序列分别为:

通过式(8)、(9)的比较, 即可确定出各性能参数对注塑模寿命的影响程度, 可对各影响因素进行排序。

3 实例评价

选取 4 种模具用金属材料热处理和表面强化后的硬度(HB)和屈服强度(σ_s)作为系统特征变量, 记为 y_1 和 y_2 。选择材料的抗拉强度(σ_b)、延伸率(δ)、泊松比系数(μ)和导热系数(λ) 4 个性能参数为相关因素变量, 记为 x_1, x_2, x_3, x_4 。选择 S45C(正火)、NAK80、硬铝合金 Alumold 1 - 500 与 Fortal 7000 4 种金属材料作为分析依据, 4 种材料的相关参数见表 1^[7,8]。

$$Y_1^0 = (y_1^0(1), y_1^0(2), y_1^0(3), y_1^0(4)) = (0, -0.5128, -0.7179, -0.3761)$$

$$Y_2^0 = (y_2^0(1), y_2^0(2), y_2^0(3), y_2^0(4)) = (0, -0.6887, -0.1716, -0.1774)$$

$$X_1^0 = (x_1^0(1), x_1^0(2), x_1^0(3), x_1^0(4)) = (0, -0.5938, -0.0342, -0.0137)$$

$$X_2^0 = (x_2^0(1), x_2^0(2), x_2^0(3), x_2^0(4)) = (0, -0.0322, -0.5645, -0.5645)$$

$$X_3^0 = (x_3^0(1), x_3^0(2), x_3^0(3), x_3^0(4)) = (0, -0.0690, -0.3103, -0.3103)$$

$$X_4^0 = (x_4^0(1), x_4^0(2), x_4^0(3), x_4^0(4)) = (0, -0.3152, -1.0828, -0.0344)$$

以计算灰色绝对关联度 ε_{11} 为例, 则式(7)中的 $i = 1, j = 1, n = 4$, 因此 $|y_{s_1}| = 1.4186$; $|x_{s_j}| = 0.5528$; $|x_{s_j} - y_{s_j}| = 0.8660$, 可以算出 $\varepsilon_{11} = 0.7743$ 。同理, 可以计算出其他的 $\varepsilon_{i,j} (i = 1, 2; j = 1, 2, 3, 4)$, 构成灰色绝对关联度矩阵 $A_{2 \times 4}$ 如下所示:

$$A_{2 \times 4} = \begin{bmatrix} 0.7743 & 0.8593 & 0.6019 & 0.8972 \\ 0.8347 & 0.9758 & 0.6260 & 0.8000 \end{bmatrix}$$

因为 $\sum_{i=1}^2 \varepsilon_{i1} = 1.609\ 0$, $\sum_{i=1}^2 \varepsilon_{i2} = 1.835\ 1$,
 $\sum_{i=1}^2 \varepsilon_{i3} = 1.227\ 9$, $\sum_{i=1}^2 \varepsilon_{i4} = 1.697\ 2$, 故可以比较出
 $\sum_{i=1}^2 \varepsilon_{i2} > \sum_{i=1}^2 \varepsilon_{i4} \geq \sum_{i=1}^2 \varepsilon_{i1} > \sum_{i=1}^2 \varepsilon_{i3}$ 。根据式(9), 说
 明性能参数 x_2 优于性能参数 x_4 和 x_1 , 而性能参数
 x_4 和 x_1 准优于性能参数 x_3 。

综上所述, 所选金属材料的 4 种性能参数对注
 塑模寿命的影响程度为: 延伸率, 导热系数和抗拉
 强度是影响注塑模寿命的主要因素, 影响程度最小
 的是泊松比系数。上述分析结果可为注塑模寿命
 的权重分配提供一定的理论参考依据。

4 结束语

通过文中所提供的实例说明, 选取影响模具寿
 命的输出参数作为系统特征变量, 以金属材料性能
 参数为相关因素变量, 应用灰关联分析法, 可以确
 定热处理后金属性能参数对注塑模寿命的影响程

度。应用灰关联分析方法能够比较客观地确定出
 金属材料各种性能参数对注塑模寿命影响的主次
 关系, 为各因素权重的确定提供理论依据, 同时也
 为提高注塑模寿命的实用方法提供参考。

参考文献:

- [1] 张 蓉, 扶祝华. 提高模具使用寿命的实用方法[J]. 工具技
 术, 2004(8): 69 - 71.
- [2] 赵东江. 提高模具寿命的方法[J]. 水利电力机械, 2006, 28
 (4): 39 - 41.
- [3] 符双学. 模具设计中的使用寿命及新技术应用初探[J]. 长沙
 航空职业技术学院学报, 2005, 5(1): 29 - 31.
- [4] 邓聚龙. 灰理论基础[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002.
- [5] 邓聚龙. 灰色系统(社会、经济)[M]. 北京: 国防工业出版社,
 1985.
- [6] 刘思峰, 郭天榜, 党耀国, 等. 灰色系统理论及其应用(第 2
 版)[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [7] 陈再枝, 兰德年. 模具钢手册[M]. 北京: 冶金工业出版社,
 2002.
- [8] 徐 进, 姜先睿, 陈再枝, 等. 模具钢[M]. 北京: 冶金工业出
 版社, 1998.

The Influence of Metal Performance Parameters to Life of Injection Molding Based on Analytical Grey Incidence

LIANG Xiong, WU Xiao - yu, LIU Ge

(Shenzhen University, Guangdong Shenzhen, 518060, China)

Abstract: It analyzes the factors of life influence to injection molding. Using the grey relation analysis, it describes the way of choosing the relative parameters such as heat treatment. It takes the reference performance parameters of the metal as the relative variable, and the output parameters as the variable of system characteristics, employs the grey relation analysis to form correspondingly the serial data list for each variable, establishes a absolute grey incidence degree matrix, finally uses the superior analytical principle to define the influence degree of metal's performance parameters for the life of injection molding.

Key words: Injection Molding's Life; Metal; Performance Parameters; Analytical Grey Incidence

(上接第 68 页)

- [2] 李伯虎, 柴旭东, 朱文海, 等. 复杂产品协同制造支撑环境技
 术的研究[J]. 计算机集成制造系统, 2003, 9(8): 691 - 697.

- [3] 吴乃柏. 论 Microsoft Project98 中文版对促进我国项目管理现
 代化的重要作用[J]. 工业工程与管理, 1998, 1(4): 59 - 64.
- [4] 曹 健, 张申生, 牟玉洁, 等. 项目管理与执行集成技术研究
 [J]. 计算机集成制造系统, 2004, 10(1): 37 - 43.

Research on Project Management Monitoring and Representation

DING Yu - xia, DENG Jia - ti

(Beijing University of Aeronautics & Astronautics, Beijing, 100083, China)

Abstract: System theory based project management and importance of project management are briefly described. And progress, resource, quality, cost and risk are defined as the primary elements of complex product development project monitoring, and the elements' monitoring are then presented. At last the design and implementation of the project management monitoring and presentation module are introduced.

Key words: Project; Project Management; Project Planning; Project Management Monitoring