

车铣切削用量优化方法研究*

Application of Genetic Algorithms in the Optimization of Cutting Regimes for Turn-milling

沈阳理工大学研究生院 吴波
沈阳理工大学机械工程学院 金成哲

[摘要] 针对车铣复合加工的切削用量优化的问题,阐述了车铣复合加工技术的特点和应用情况,详细地描述了国内的研究现状,以及车铣复合加工切削用量优化的研究思路、方法和结论。采用以最大生产效率和最大利润率为双目标,根据已建立的车铣复合加工切削用量的数学模型和约束条件,详细分析了现代各个优化算法的特点,并结合车铣切削用量优化计算的特征,选用了遗传算法。

关键词: 车铣 切削用量 优化 遗传算法

[ABSTRACT] Aiming at the optimization of cutting regime for turn-milling, this paper expounds the characteristics and application situation of the cutting regime technology for turn-milling, and detailed descriptions of the current status of researching, along with the research thinking, methods and conclusions. Using the most production efficiency and maximum profit margin for double target, according to the optimization of cutting regime for turn-milling mathematical model and the constraint conditions, analyzes the characteristics of modern optimization algorithms, combining with the amount of turn-milling optimization features, selects genetic algorithms.

Keywords: Turn-milling Cutting regimes Optimization Genetic algorithm

车铣加工同其他的切削方式一样也存在切削用量优化的问题。切削用量优化是车铣加工工艺过程优化的基础。一般以最高生产率,最低加工成本和最大利润率为优化目标,以机床、刀具、工件诸因素为约束条件。在加工任务、机床、被加工零件和刀具等条件确定的情况下,切削用量对提高产品精度、产品生产率、降低生产成本有着直接的影响。长期以来,很多工厂在生产中凭经验或参考切削参数手册来选择切削参数,这往往达不到切削参数的最优选择,从而限制了机床效能的充分发

挥^[1-3]。

随着计算机技术和仪表技术的高速发展,以及机械制造领域零件的多样化、复杂化和新材料的不断出现等因素,向传统的切削用量选择方法提出了挑战,因此,为了实现高效低耗自动化生产的现代制造理念,以数学模型为主的先进优化方法得到科研工作者的关注。

1 车铣复合加工技术

车铣复合加工不是车削和铣削的简单结合,而是利用铣刀旋转和工件旋转的合成运动来实现对工件的切削加工,使工件在形状精度、位置精度、表面粗糙度及残余应力等多方面达到使用要求的一种先进切削加工技术。

车铣可分为正交车铣、轴向车铣、切向车铣和一般车铣。如图1(a)所示,正交车铣铣刀的回转轴线与工件的回转轴线相互垂直,是加工大型回转体和细长轴类零件的一种高效方法。如图1(b)所示,轴向车铣是铣刀旋转轴线与工件旋转轴线相互平行,依靠铣刀旋转运动与工件旋转运动的合成运动完成各类零件表面加工的一种先进金属切削加工方法。如图1(c)所示,切向车铣加工过程中铣刀轴线与工件轴线相互垂直,依靠铣刀旋转运动与工件旋转运动的复合运动完成各类零件表面加工的一种先进切削加工方法,且只有螺旋圆周刃参与切削,端面刃不参与切削。如图1(d)所示,一般车铣就是在加工过程中铣刀的回转轴线与工件的回转轴线既不平行也不垂直,而是成一介于二者之间的夹角。

轴向车铣和正交车铣,以及切向车铣运动这3类加工方法是最常用的车铣加工方法,其中切向车铣是最近几年发展起来的。但是随着加工零件的日趋复杂和机床数控系统性能的日益提高,对一般车铣加工的需求也在逐渐增多^[4-5]。

2 国内研究现状

目前,车铣技术研究主要集中在德国、美国、法国和日本等工业发达国家。国内,沈阳理工大学对车铣复合

* 辽宁省教育厅科学技术研究项目(LS2010138),辽宁省科技厅项目(2010220027)资助。

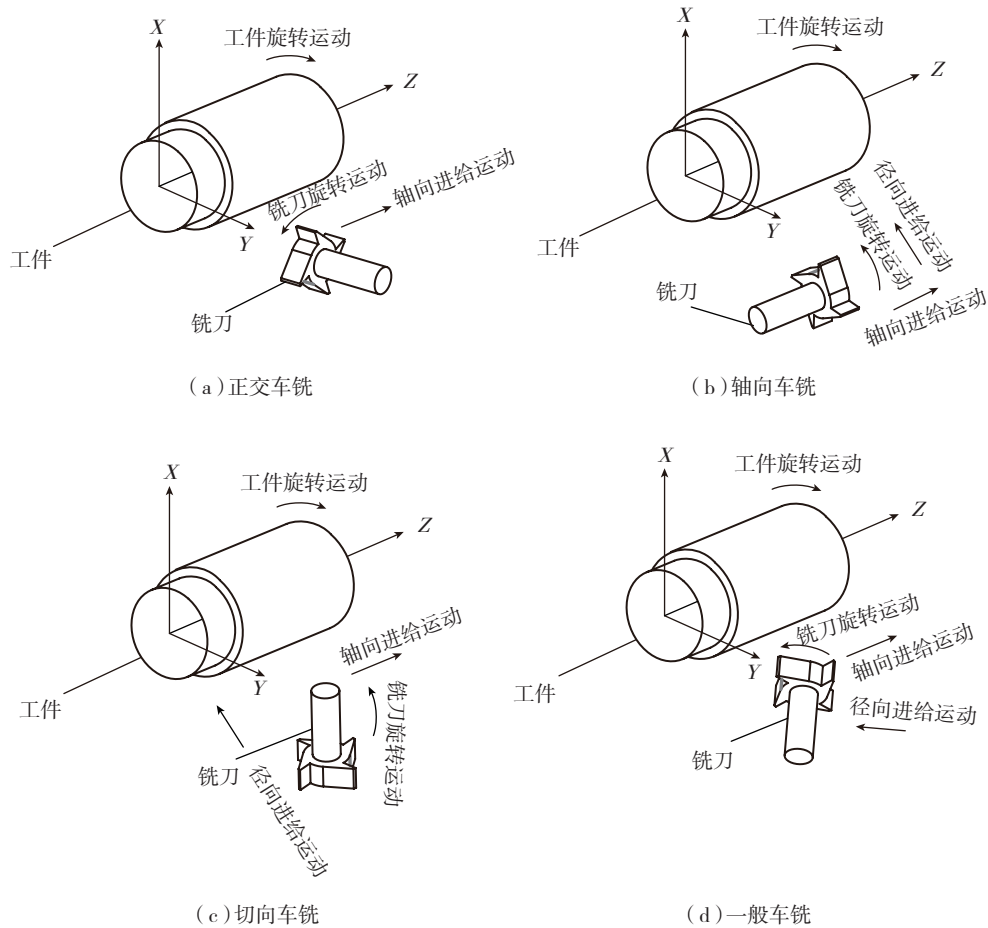


图1 各种车铣加工方式
Fig.1 Kinds of turn-milling

加工技术的研究处于国内领先水平在车铣技术的基础理论、车铣工艺、CNC 车铣加工中心的设计和制造等方向进行全面的研 究。贾春德、姜增辉出版的《车铣原理》对车铣技术的基础概念、车铣运动学原理、车铣工件的表面形成机理、切屑仿真、理论切削力等方面做了详细的介绍。

近年来,为了探讨车铣加工的切削用量问题,沈阳理工大学的一些学者已展开这方面的研究工作,并取得了一定的成果。

金成哲教授针对正交车铣的最大切削效率问题,建立了最高生产率的目标优化数学模型,为:

$$t_w = - \left(\frac{L}{f_a n_w} + \frac{t_G L}{G_T n_w} \cdot v_c^{1/m} \cdot f_a \frac{1}{n}^{-1} + t_a \right),$$

利用基于 K-T (Kuhn-Tucker) 方程解的序列二次规划法 (SQP) 优化求解,并且通过实例验证所建立模型的可行性^[6]。然后以正交车铣复合加工的生产效率和生产成本为目标,以切削速度、轴向进给量、工件转速为优化设计变量,从机床、工件、刀具的特性等多方面考虑建立了约束条件

方程,利用统一目标法进行了优化计算,得到了切削用量数学模型。通过一个实例计算,验证了优化模型^[7]。

石莉等^[8]通过试验分别研究了切削用量(包括切削速度、轴向进给量、周向进给量和切削深度)4 要素在切削铸铝时对外圆表面粗糙度的影响,得出结论:(1)随着轴向进给量的增加,已加工表面粗糙度值明显增大;(2)随着周向进给量的增加,已加工表面粗糙度有增大的趋势;(3)切削深度对加工表面粗糙度的影响不大;(4)逆铣时的表面粗糙度一般小于顺铣时的表面粗糙度。

3 现代优化算法比较

现代优化算法包括遗传算法(Genetic algorithms)、模拟退火(Simulated annealing)、禁忌搜索(Tabu search)、蚁群算法(ant colony algorithm)等^[9-11],各算法特点如下:

模拟退火算法是一种通用随即搜索算法,是局部搜索算法的扩充,用来在一个大的搜寻空间内找寻命题的最优解。它是针对组合优化提出的,其目的在于:

(1) 为具有 NP 复杂性的问题提供有效的近似求解算法;

(2) 克服优化过程陷入局部极小;

(3) 克服初值依耐性。

禁忌算法通过引入一个灵活的存储结构和相应的禁忌准则来避免迂回搜索,并通过藐视准则来赦免一些被禁忌的优良状态,进而保证多样化的有效探索以最终实现全局优化。

禁忌搜索算法是局部邻域搜索算法的推广,是人工智能在组合优化算法中的一个成功应用。禁忌搜索算法为了回避局部邻域搜索陷入局部最优的主要不足,算法用一个禁忌表记录下已经到达过的局部最优点,在下次搜索中,利用禁忌表中的信息不再(或有选择地)搜索这些点,以此来跳出局部最优点。

蚁群算法是由意大利学者 Dorigo 等人,于 20 世纪 90 年代初期通过模拟自然界中蚂蚁集体寻径的行为而提出的一种基于种群的启发式仿生进化系统。它包含两个基本阶段适应阶段和协作阶段。

蚁群算法中蚂蚁个体之间互不干扰,各自独立的搜索可行解,使得它具有分布式计算的特点,对于避免过早收敛有一定的效果。蚁群系统由于加强对局部最优解的利用,提高了收敛速度,充分利用局部最优解的启发信息,借以指导搜索方向,使得算法在搜索过程的早期就能发现较好的解,但这样计算信息素的增量可能导致错误的引导信息,使算法易陷入局部最优解,使系统出现停滞现象。

遗传算法是一种基于自然选择和遗传变异等生物机制的全局性概率搜索算法。与基于导数的解析方法和其他启发搜索方法一样,遗传算法在形式上也是一种迭代算法,它与传统的优化算法有许多不同之处,其最主要的特点体现在一下几个方面:

(1) 遗传算法直接以适应度作为搜索信息,求解问题时,搜索过程不受优化函数连续性的约束,无须导数或其他辅助信息;

(2) 遗传算法具有很高的并行性,可以同时搜索解空间的多个区域搜索信息,从而降低算法陷入局部最优解的可能性;

(3) 遗传算法具有很强的鲁棒性,在待求解问题为非连续、多峰及有噪声的情况下,它能够以很大的可能性收敛到最优解或近似最优解;

(4) 遗传算法具有很高的可扩充性,它易于与其他领域的知识或算法相结合来求解特定问题;

(5) 遗传算法的基本思想简单,具有良好的可操作性和简单性;

(6) 遗传算法具有较强的智能性,可以用来解决复

杂的非结构化问题。

考虑以上各算法特点,本文选用遗传算法,由于其对所求解的优化问题没有太多的数学要求,并且具有进化特性,搜索过程中不需要问题的内在性质,对于任意形式的目标函数和约束,无论是线性的还是非线性的,离散的还是连续的都可处理。进化算子的各态历经性使得遗传算法能够非常有效地进行概率意义的全局搜索。遗传算法对于各种特殊问题可以提供极大的灵活性来混合构造领域独立的启发式,从而保证算法的有效性。

4 结论

加工参数优化在机械工程领域是一个非常重要的研究课题,切削参数的最优化是实现整个切削加工过程的关键,其确定直接影响到生产率、生产成本和加工质量。车铣加工同其他切削方式一样也存在切削用量优化的问题。

在综合比较了 4 种现代优化算法后,分析了这禁忌算法、模拟退火算法、蚁群算法、遗传算法的特点及性质,并根据车铣切削用量优化计算时,存在较多线性约束和非线性约束方程,并且目标函数较复杂,在已经建立的车铣复合加工切削用量数学模型的基础上,最后采用遗传算法。

参考文献

- [1] 王军,张建明,魏小鹏. 一次走刀立铣加工优化与 CAM 软件开发. 机械工程学报, 2003, 39(10): 141-146.
- [2] 李益万,贾秋成. 效率最高和成本最低的双目标切削用量优化设计. 焦作工学院学报, 2000, 19(6): 454-457.
- [3] 武关萍,翟建军,廖文和. 数控加工切削参数优化研究. 中国机械工程, 2004, 15(3): 235-237.
- [4] 贾春德,姜增辉. 车铣原理. 北京: 国防工业出版社, 2003: 5-6.
- [5] 姜增辉,段宗玉,杨大卫. 切向车铣铝合金回转体工件表面形貌的试验研究. 制造技术与机床, 2010, 2: 35-37.
- [6] 金成哲,李智军,贾春德. 基于最大正交车铣切削效率的切削用量选择. 工具技术, 2006(1): 58-60.
- [7] 金成哲,隋连香,徐骥. 正交车铣复合加工的切削用量优化[J]. 沈阳理工大学学报, 2010, 27(6): 56-59.
- [8] 石莉,姜增辉. 切削用量对轴向车铣铸铝外圆表面粗糙度的影响. 沈阳理工大学学报, 2003, 22(4): 66-68.
- [9] 项宝卫,余雪芬,骆兆文. 模拟退火算法在优化中的研究进展. 台州学院学报, 2005, 26(3): 397-399.
- [10] 邓德,边耐政. 基于禁忌算法的长沙移动网络优化[D]. 湖南: 湖南科技大学, 2009.
- [11] 李明. 详解 MATLAB 优化在最优化计算中的应用. 北京: 电子工业出版社, 2011.

(责编 良辰)