

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2016.10.031

CAD/CAE/CAM 技术在塑料薄壁制品成型中应用^{*}

苏燕, 梁武

(北海职业学院电子信息工程系, 广西北海 536000)

摘要: 塑料薄壁制件结构复杂且制件的尺寸精度要求较高, 通常对加工原料、生产工艺及模具结构要求较为苛刻。其中 ABS 树脂、聚烯烃材料等具有较好的流动性及较低的尺寸收缩率, 可用于薄壁制品的加工。在传统加工过程中, 仅依赖生产经验会造成生产成本低、生产效率低。计算机辅助设计 (CAD)/ 计算机辅助工程 (CAE)/ 计算机辅助制造 (CAM) 新兴的数控加工技术, 建立在计算机科学基础上, 同时融合了高分子学科中的流体力学、结构力学、量子力学等知识, 通过计算机仿真可以实现材料的筛选、工艺和模具结构的优化。与传统加工技术相比, 可以大幅降低生产成本、缩短生产周期、提高塑料制件的精度、减小塑料制件的缺陷。

关键词: CAD 技术; CAE 技术; CAM 技术; 高分子材料成型

中图分类号: TQ32 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2016)10-0143-04

Research Progress of CAD/CAE/CAM Technology in the Process of Plastic Thin-Walled Products

Su Yan, Liang Wu

(Electronic Information Engineering of Beihai Vocational College, Beihai 536000, China)

Abstract: The structures of the thin-walled plastic products are complicated, and the materials and processing requirements of these products are more demanding, and the dimensions of the products require higher accuracy. The polymers as ABS and polyolefin possess excellent fluidity and low mold shrinkage, are suitable for processing of thin-walled products. During the traditional processing, experiences play dominant roles on the production, and cause low production effectiveness and high costs. Computer aided design (CAD)/ computer aided engineering (CAE)/ computer aided manufacturing (CAM) technology is a novel digital control machining technique, and demand the knowledge of fluid mechanics, structural mechanics and quantum mechanics. Through computer simulation, this technology can be used in combination for the design, structure performance prediction as well as the monitoring of machining process of the polymer material molding process and mold design and manufacture. The improved technology is promoted to decrease the cost and time of the production, increase the dimensional accuracy and reduce defects of the production.

Keywords: CAD technology ; CAE technology ; CAM technology ; process of polymer materials

随着化工和高分子科学的发展, 聚合物材料在军用、民用等各个领域都发挥了不可或缺的作用。聚合物材料一般具有优异的化学稳定性、耐候性、尺寸稳定等性能, 可在较为苛刻的环境下使用。另外, 聚合物材料 also 具有良好的加工性能和力学性能, 可以制备成各种类型的零件和模型。但在聚合物加工过程中, 尤其是在薄壁型塑料制件的加工时, 聚合物熔体冷却后容易产生尺寸收缩和翘曲变形, 抑或产生裂纹、气泡等缺陷, 从而降低了塑料件的质量和性能。

计算机辅助技术是融合了分子力学、结构力学、量子力学等学科知识, 在分子设计和材料加工领域都有广泛的应用。计算机辅助设计 (CAD), 计算机辅助工程 (CAE) 和计算机辅助制造 (CAM)^[1-4] 均属于计算机辅助技术, 这 3 种计算机辅助的功能各不相同, 应用领域囊括了由微观分子结构设计到宏观加工成型等各个方面, 其功能涉及了新材料的开

发、分子设计和模拟、材料加工成型时产品的模型设计、材料加工过程中产品结构和性能优化、材料加工的整个过程辅助控制等^[5-8]。CAD, CAE 和 CAM 通常进行联用, 也可单独使用, 笔者主要综述了这 3 种计算机辅助技术在塑料薄壁制品中的应用研究进展。

1 塑料薄壁制品

塑料薄壁制品是一种壁厚为 1.2~2.0 mm 左右, 甚至更薄的塑料制品, 常见的塑料薄壁制品有电话机壳、数控面板、薄板饰品等等。在加工过程中主要采用注塑工艺, 但是由于材料由熔融态冷却至高弹态或玻璃态后尺寸发生收缩, 制件形状偏离模具, 发生翘曲变形。为了避免塑料薄壁制品加工

^{*} 2015 年度广西职业教育教学改革项目

联系人: 苏燕, 研究生, 讲师, 主要研究计算机教学与实际应用

收稿日期: 2016-07-28

过程中的缺陷发生,选择合适的原材料、加工工艺参数、模具结构是较为有效的途径。可是如果只依靠传统的加工经验来解决上述问题,会在很大程度上提高生产成本、降低生产效率,因此利用计算机辅助技术是目前塑料薄壁制件成型加工领域的一大发展趋势。在现代塑料加工产业中,CAD是利用计算机技术对塑料产品的模型进行设计,CAE是通过数值分析和计算机模拟对塑料产品的结构和性能进行评估,CAM则是在产品经过CAE预估后对整个加工过程进行辅助调控。通常在实际生产过程中,这3种计算机辅助技术是同时启用的。利用CAD/CAE/CAM联用计算机辅助技术,同时结合3D技术,可以在三维条件下对材料的结构和性能进行仿真,可以准确直观地进行评估和预测^[9-12],在塑料薄壁制品加工中应用较为广泛^[13-15]。

2 在ABS薄壁制品中的应用

丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料(ABS)是一种应用十分广泛的热塑性工程塑料,具有较高的尺寸稳定性、化学稳定性、阻燃性、介电性能、优异的耐冲击性能等,可以用于扇叶、机器外壳等薄壁部件和机械零件的制造。另外,ABS具有流动性优异、成型收缩率低、凝固速率快等优点,较为适合于薄壁制品的加工。张友宏^[16]在制备手机外壳时利用CAE技术对其原材料进行了筛选,最终确定用热导率为 $0.18\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$,比热容为 $2.4\text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ 的ABS;通过对注塑工艺的仿真确定了注塑温度为 230°C ,模具温度为 50°C ,最大剪切应力为 0.3 MPa ,最大剪切速率为 5000 s^{-1} ;他也利用CAE技术对ABS物料填充过程进行了模拟,通过对浇口数目、尺寸、形状、位置等优化,发现对称分布的潜伏式浇口可以将制件的翘曲变形量降低至 0.2967 mm ;在保压过程的模拟中,他将保压过程分为恒压和衰减两个步骤,当物料温度降低至流动温度以下后压力开始衰减,制件的翘曲变形量可降低至 0.2845 mm ;另外,通过模拟沿厚和沿宽分布的冷却系统对制件的影响,发现不同的冷却系统对翘曲变形量影响不大。王巍^[17]以ABS为原料制造了厚度为 0.5 mm 的叶片,并利用CAD/CAE/CAM技术进行了加工过程的仿真和模拟。与传统的加工工艺相比,运用CAD/CAE/CAM技术的加工周期大大缩短,并且加工误差减小,制件质量得到提高。尹小定^[18]在制造塑料控制面板时也选用了ABS材料,利用CAD/CAE/CAM技术对结构复杂的塑料控制面板的结构和分型面进行分析,设计了合理的模具结构以及浇注系统和冷却系统,制备出了尺寸为 $170.00\text{ mm}\times 90.60\text{ mm}\times 46.64\text{ mm}$,壁厚为 2.20 mm 塑料件,并成功将收缩率控制在 0.5% 以内。王蕾等^[19]也同样以ABS为生产原料制备了电话机的外壳,这是一种结构复杂的薄壁型制件,对精度要求较高。通过利用CAD/CAE/CAM技术,他们对模

具结构、模具制造工艺、制件结构和制件成型工艺的优化和仿真,成功制备出了表面粗糙度为 $Ra0.8\text{ }\mu\text{m}$,壁厚为 2 mm 的塑料件,并且将精度等级控制在了4级。

3 在聚烯烃薄壁制品中的应用

除了ABS以外,还有很多其它的塑料可用于薄壁制品的制备,如尺寸稳定性、化学稳定性、耐候性和力学性能均较为优异的聚烯烃材料,由于其熔点较低,流动性能好,以及较好的结晶性又赋予其较低的收缩率,是一种理想的薄壁制品生产用塑料。C. Maruccio等^[20]利用这种技术生产了一种结构和形状比较复杂的复合材料制件,通过蠕变、弯曲等对材料的力学性能进行分析和非线性仿真以及生产加工过程的预测,成功制备出了表面光滑、质量符合要求的制件。潘秀石等^[21]以聚丙烯(PP)为加工原料,制备壁厚为 2 mm 的电机罩盖板,他们利用CAD/CAE/CAM联用技术进行了塑料薄壁制件的加工研究,通过对模具的浇注系统、冷却系统,以及制件的加工工艺和制件结构进行分析,成功地制备出了符合生产要求的PP薄壁发动机盖板,制件尺寸收缩率控制在 $1\%\sim 2.5\%$ 。与传统的生产工艺相比,CAD/CAE/CAM技术简化了生产流程、降低了生产成本,减少了制件缺陷、提高了生产效率。另外,CAD/CAE/CAM技术由于其高精度的特性,更适用于高精度制件的加工。汽车后视镜盖也是一种结构复杂的薄壁塑料制件,沈晓伟^[22]通过对该塑料薄壁制件的尺寸进行分析,利用CAD/CAE/CAM技术对塑料制件的工艺性、体积、质量、成型方案、分型面及零部件结构进行了分析,设计出结构和装配合理的模具,并对制件进行加工成型。其研究结果也表明,CAD/CAE/CAM技术可以有效提高塑料制品加工效率,提高了模具和制件的加工精度。不同的塑料制品对高分子材料类型的要求不同,而全塑车身所用的材料一般为聚乙烯和超轻纤维发泡材料。秦柳等^[23]采用CAD/CAE/CAM联用计算机辅助技术对聚乙烯/超轻纤维复合发泡材料的结构进行了仿真,并且通过对模型结构设计以及成型方法的选择,最后确定加工方法为旋塑成型工艺,通过对温度场的控制和加工过程的简化制备出了尺寸稳定性和力学性能均较为优异的聚乙烯基车身制件。除了CAD/CAE/CAM联用技术在高分子材料成型中有较为广泛的应用,CAE技术也经常作为一种单独的计算机辅助技术用于高分子材料的成型加工模拟领域。汽车内饰板一般用高分子复合材料或发泡塑料来制备,属于一种塑料薄壁制品。在加工过程中容易发生翘曲变形。范亚博^[24]利用CAE技术建立了塑料汽车内饰板的加工工艺参数、翘曲变形量以及缩痕指数之间的映射模型,对注射温度、注射速率、模具温度、保压时间等因素进行优化从而成功降低了该产品的翘曲变形量以及缩痕指数。洗衣机面板也是一种

薄壁类塑料制件,并且结构更为复杂,不同部位薄厚不均,常用材料为聚乙烯、PP或聚酯类高分子材料。沈洪雷等^[25]利用CAE技术对洗衣机面板的加工参数进行仿真,结果表明采用针阀式喷嘴可以满足不同部位对保压时间和保压压力的不同要求,并且可以降低制件的翘曲变形程度以及熔接痕数量,进而提高塑料制件的质量。另外,CAE对其加工工艺进行仿真的过程中可以对各个工艺进行优化,从而对实际生产起到指导性作用。

4 在其它薄壁制品及模具结构设计中的应用

CAD/CAE/CAM联用计算机辅助技术除了可以应用于上述高分子材料的加工研究中,还可以应用于很多类型的高分子材料加工。例如,长玻璃纤维增强尼龙6复合材料耐候性、化学稳定性和力学性能都较为优异,并且在加工过程中更易于一次成型。王凤等^[26]拟利用这种材料制造齿轮箱,通过CAD/CAE/CAM技术对模型设计和制造进行模拟和仿真,对模具和加工工艺进行优化,在实际加工过程中应予以物料补偿,有效减小了浇口处的翘曲变形。另外,通过对齿轮箱各部位振动强度的仿真,准确确定了齿轮箱各部位的壁厚,在实际生产中具有重大的指导作用。CAD/CAE/CAM联用计算机辅助技术从产品的设计、结构和性能的预估,加工过程的仿真和监控都能较为详细和准确地进行模拟,不仅能够对产品的结构和性能进行预测,还能仿真出产品加工过程中可能出现的缺陷,从而在实际生产中采取补偿措施来避免。这种联用的计算机辅助技术对高分子材料加工产业具有十分重大的指导意义,并且可以在很大程度上缩短产品开发和生产的周期,减小成本,规避风险。

塑料薄壁制件的质量在很大程度上也受到模具结构的影响,设计结构合理的模具可以在很大程度上降低塑料制件的缺陷。CAD/CAE/CAM技术在模具设计与制造中的应用也极为广泛。例如,CAD技术可以对模具外形进行设计和优化,CAE技术则可以利用数值关系对模具进行评估和分析,CAM技术则是在通过设计计算机代码对模具具体生产过程进行仿真和模拟^[27]。张琦^[28]利用CAD/CAE/CAM联用计算机辅助技术对手机壳的凹模和凸模的设计和制造进行了仿真,通过结合温度场和流体力学特性分析,利用有限元计算对模架、浇注系统、冷却系统等进行了仿真,得到了最佳的浇口位置,并通过注塑工艺的优化得到了有利于降低塑料制品翘曲变形的注塑、冷却、脱模等工艺参数。

5 技术的新进展

在塑料加工过程中,利用CAD/CAE/CAM联用技术虽然可以大大提高制件质量和降低生产成本,但目前的生产效率依然较低,其中计算机辅助设计和计算机辅助系统之间数据交换过程便是限制该技术生产效率提高的主要问题之

一。为了进一步提高CAD/CAE/CAM联用技术的生产效率,在建模时进行模型建档、选择合理模架、对加工过程流道及材料的流动特性进行详细分析,研究新的算法等均能够在很大程度上提高生产效率^[29]。Zhou Huiqun等^[30]建立了一个新的STL模型,并将这种新的模型应用于塑料制件的应用中,研究结果发现制件的常规矢量错误、裂纹、图层重叠等制件缺陷大大降低,可以大幅提高其生产效率和进一步提高制件的精度。杨怀刚等^[31]为了设计出高质量的内燃机缸盖,利用CAE方法从流体力学、温度场、高周疲劳分析、低周疲劳分析、振动特定等方面进行了详细而系统的仿真工作,从而制备出了具有合理的刚度、热流道和冷流道设计的产品。但是,利用基于塑料成型的离线工艺参数的CAE方法进行仿真的误差较大,谢鹏程等^[32]利用数据库中离线数据对塑料制品的注塑加工进行仿真,仿真结果中最终产品的收缩率为2.183%,而实际生产中则为5.304%;但是当采用在线工艺参数进行CAE仿真时,仿真结果的产品收缩率4.557%,与实际收缩率仅相差不到0.75%左右。但总体来说,无论是CAD/CAE/CAM联用计算机辅助技术,还是CAE单独作为计算机辅助技术应用于高分子材料的成型或模具的设计和制造中,都能够较为准确地对设计、结构、性能及生产过程进行仿真。尤其是利用在线工艺参数,可以大幅提高仿真结果的准确性,对实际生产过程具有较高的指导意义^[33-35]。

6 结论

塑料薄壁制品对所用的材料及加工工艺要求较为苛刻,其中ABS、聚烯烃以及尼龙等高分子材料可用于塑料薄壁制品的加工。利用CAE技术以及CAD/CAE/CAM联用技术,结合3D技术可以对塑料加工过程进行仿真,筛选出合适的原料、工艺以及模具结构等,从而制造出翘曲变形量较低的塑料薄壁制品。与传统生产工艺相比,CAD/CAE/CAM联用技术可以大幅提高生产效率、降低生产成本。另外,为了进一步满足塑料制品对数控加工技术的要求,通过优化算法,建立在线数据库,紧密结合材料流体力学、振动特性特征等方法,可以进一步提高CAD/CAE/CAM联用技术仿真的准确性,从而提高其对实际生产指导的可靠性和准确性。

参考文献

- [1] 李佩贞. 计算机辅助酶抑制剂的分子设计与分子模拟研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2014.
Li Peizhen. Molecular design and molecular simulation of a computer aided enzyme inhibitor[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2014.
- [2] 陈晖, 等. 铸造技术, 2010, 31(11): 1454-1456.
Chen Hui, et al. Foundry Technology, 2010, 31(11): 1454-1456.

- [3] 陈晖,等. 机械设计与制造,2011(6):238-240.
Chen Hui, et al. Machinery Design & Manufacture, 2011(6):238-240.
- [4] 张晔,等. 现代制造,2011(15):195-196.
Zhang Ye, et al. Mechanical and Electrical Information, 2011(15):195-196.
- [5] 王宏亮. 中国科技纵横,2016(2):79.
Wang Hongliang. China Science & Technology Overview, 2016(2):79.
- [6] 周波. 科技展望, 2016, 25(12):153.
Zhou Bo. Technology Outlook, 2016, 25(12):153.
- [7] 张晓陆. 模具工程,2011(3):74-79.
Zhang Xiaolu. Mould & Die Project, 2011(3):74-79.
- [8] 关炳奇. 金属加工:冷加工,2013(10):18-19.
Guan Bingqi. Metal Working: Cold Working, 2013(10):18-19.
- [9] 袁清珂. CAD/CAE/CAM 技术[M]. 北京:电子工业出版社, 2010.
Yuan Qingke. CAD/CAE/CAM technology[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2010.
- [10] Dai Minghe, et al. Advanced Materials Research, 2011, 399-401, 2271-2275.
- [11] 李华雷,等. 机械工程与自动化,2013(2):38-39.
Li Hualei, et al. Mechanical Engineering & Automation, 2013(2):38-39.
- [12] 包显龙. 中国机械,2014(7):168-170.
Bao Xianlong. Machine China, 2014(7):168-170.
- [13] 余俐. 笔记本电池盖注塑模具 CAD/CAE/CAM 的应用[D]. 苏州:苏州大学,2012.
Yu Li. Application of CAD/CAE/CAM for the lid injection mold of notebook computer batteries[D]. Suzhou: Suzhou University, 2012.
- [14] 周慧兰,等. 中国塑料,2012(2):63-67.
Zhou Huilan, et al. China Plastics, 2012(2):63-67.
- [15] 葛茂忠,等. 塑料,2014,43(6):87-90.
Ge Maozhong, et al. Plastics, 2014, 43(6):87-90.
- [16] 张友宏. 中国制造业信息化,2007,36(21):64-66,70.
Zhang Youhong. Manufacturing Information Engineering of China, 2007, 36(21):64-66, 70.
- [17] 王巍. 科技与创新,2016(3):153.
Wang Wei. Science and Technology & Innovation, 2016(3):153.
- [18] 尹小定. 塑料科技, 2016(6):61-65.
Yin Xiaoding. Plastic Science and Technology, 2016(6):61-65.
- [19] 王蕾,等. 新技术新工艺,2014(2):86-89.
Wang Lei, et al. New Technology & New Process, 2014(2):86-89.
- [20] Maruccio C, et al. Journal of the European Ceramic Society, 2016, 36(9):2263-2275.
- [21] 潘秀石,等. 工程塑料应用,2015,43(1):80-84.
Pan Xiushi, et al. Engineering Plastics Application, 2015, 43(1):80-84.
- [22] 沈晓伟. 模具制造,2015,15(3):60-65.
Shen Xiaowei. Die & Mould Manufacture, 2015, 15(3):60-65.
- [23] 秦柳,等. 中国塑料,2014(12):99-103.
Qin Liu, et al. China Plastics, 2014(12):99-103.
- [24] 范亚博. 基于 CAE 技术的汽车内饰板翘曲与缩痕的优化研究[D]. 广州:广东工业大学,2015.
Fan Yabo. Study on the optimization of warping and shrinkage of automotive trim panel based on CAE technology[D]. Guangzhou: Guangdong University of Technology, 2015.
- [25] 沈洪雷,等. 高分子材料科学与工程,2013(10):175-178.
Shen Honglei, et al. Polymer Materials Science and Engineering, 2013(10):175-178.
- [26] 王凤,等. 计算机辅助工程,2014,23(5):33-38.
Wang Feng, et al. Computer Aided Engineering, 2014, 23(5):33-38.
- [27] 刘方辉,等. 模具工业,2010,36(1):1-6.
Liu Fanghui, et al. Die & Mould Industry, 2010, 36(1):1-6.
- [28] 张琦. 基于实例的注塑模具 CAD/CAE/CAM 集成技术研究[D]. 保定:华北电力大学,2012.
Zhang Qi. Research on CAD/CAE/CAM integration technology of injection mold based on example[D]. Baoding: North China Electric Power University, 2012.
- [29] 覃家金. 科技创新与应用,2015(13):35.
Tan Jiajin. Technology Innovation and Application, 2015(13):35.
- [30] Zhou Huiqun, et al. Springer Berlin Heidelberg, 2016(367):1201-1207.
- [31] 杨怀刚,等. 内燃机工程,2015(3):140-146.
Yang Huaigang, et al. Chinese Internal Combustion Engine Engineering, 2015(3):140-146.
- [32] 谢鹏程,等. 计算机辅助工程,2012,21(1):8-11.
Xie Pengcheng, et al. Computer Aided Engineering, 2012, 21(1):8-11.
- [33] 高雨茁,等. 山东化工,2015,44(2):116-117.
Gao Yuzhuo, et al. Shandong Chemical Industry, 2015, 44(2):116-117.
- [34] 张玉华,等. 精密制造与自动化,2015(3):43-46.
Zhang Yuhua, et al. Precision Manufacturing and Automation, 2015(3):43-46.
- [35] 何政军. 基于实例的注塑模具 CAD/CAE/CAM 技术研究与应用[D]. 保定:华北电力大学,2014.
He Zhengjun. Technology research and application on CAD/CAE/CAM based on an actual example of injection mold[D]. Baoding: North China Electric Power University, 2014.