

文章编号: 1001-3806(2016)01-0073-05

多轴激光强化机床精度分析及后处理应用

郭正才^{1,2}, 王义强^{2*}, 叶国云³, 袁修华⁴, 刘立君², 任衍涛^{1,2}

(1. 太原科技大学 机械工程学院, 太原 030024; 2. 浙江大学 宁波理工学院 机电与能源工程学院, 宁波 315100; 3. 宁波如意股份有限公司, 宁波 315600; 4. 聊城大学 机械与汽车工程学院, 聊城 252000)

摘要: 为满足模具行业对激光强化设备的需求, 研制了一台多轴激光强化机床。在普通三轴数控机床基体的基础上, 对原机床主轴部位进行改进, 加入两个旋转轴、激光器及 CCD 观察系统。采用激光干涉仪对机床运动轴的定位精度和重复定位精度进行测量和补偿, 分析机床各运动轴的运动和激光加工的特点, 结合 UG NX 后处理编辑工具对多轴激光强化机床的后处理进行了理论分析和实验验证。结果表明, 补偿后机床的定位精度不大于 0.05mm, 重复定位精度为 $\pm 0.02\text{mm}$ 。根据现有模具, 运用研制的 UG NX 后处理进行编程, 导入到机床中, 实现了激光表面强化处理。这一结果证明了试验激光加工机床及后处理的可行性, 对普通机床升级到激光加工设备是有帮助的。

关键词: 激光技术; 激光强化机床; UG NX 后处理编辑工具; 激光干涉仪; 模具

中图分类号: TN249; TG659

文献标志码: A

doi:10.7510/jgjs. issn. 1001-3806. 2016. 01. 016

Precision analysis and post-processing application of a multi-axis laser strengthened machine

GUO Zhengcai^{1,2}, WANG Yiqiang², YE Guoyun³, YUAN Xiuhua⁴, LIU Lijun², REN Yantao^{1,2}

(1. College of Mechanical Engineering, Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan 030024, China; 2. College of Mechanical and Energy Engineering, Ningbo Institute of Technology, Zhejiang University, Ningbo 315100, China; 3. Ningbo Ruyi Joint Stock Co. Ltd., Ningbo 315600, China; 4. College of Mechanical and Vehicular Engineering, Liaocheng University, Liaocheng 252000, China)

Abstract: To meet requirements of laser strengthened machines for mould industry, a multi-axis laser machine was constructed. On the basis of ordinary three-axis computer numerical control machine tools, spindle part of the ordinary machine was improved by adding two rotary axes, a laser and a CCD observation system. Positioning accuracy and repeatable positioning accuracy of the machine motion axis was measured and compensated by a laser interferometer. Motion features of the machine and characteristics of laser processing were analyzed. Post-processing of the multi-axis laser strength machine was analyzed theoretically and verified experimentally by using UG NX post-processing editing tool. The results show that positioning accuracy of the machine is less than 0.05mm after compensation, repetition positioning accuracy is $\pm 0.02\text{mm}$. Laser strengthening treatment achieves successfully by using UG NX post-processing editor on machine tool. Experimental results show the feasibility and versatility of a multi-axis laser machine and post-processing. It is helpful for the upgrade from ordinary machine tool to laser processing equipment.

Key words: laser technique; laser strengthened machine; UG NX post-processing editing tool; laser interferometer; mould

引言

模具在使用过程中由于不同部位所处的工作条件有所不同, 会产生不同程度的开裂、热蚀、变形、热磨损

基金项目: 国家科技重大专项基金资助项目(2012ZX04011021); 宁波市自然科学基金资助项目(2013A610152)

作者简介: 郭正才(1990-), 男, 硕士研究生, 主要从事机床可靠性、仿生强化的研究。

* 通讯联系人。E-mail: jluwang@gmail.com

收稿日期: 2014-10-09; 收到修改稿日期: 2015-04-07

以及热疲劳龟裂等^[1]。为提高模具的整体使用寿命, 会对模具的表面采取化学热处理、堆焊、电火花表面强化、物理气相沉淀、化学气相沉淀、激光强化等强化措施^[2-6], 其中激光强化是一种新型的强化方法, 且强化后的表面具有很好的使用性能。由此, 目前市场上对多轴激光加工机床的需求越来越高, 在模具行业受到了广泛的重视。

随着现代制造业的不断发展, 对数控机床的加工精度提出了越来越高的要求。影响机床加工精度的因素很多, 如几何误差、力变形误差、热变形误差、动态误差等, 其中几何误差对机床加工精度影响最大^[7-8]。中

科院长春光学精密机械与物理研究所的 LI^[9] 将普通三轴数控机床 (computer numerical control, CNC) 改造成五轴数控加工中心，并利用激光跟踪仪对加工中心的主轴进行标定。近年来激光器^[10-11] 技术发展很快，也逐渐走向成熟，但激光加工机床研究的论文颇少。后处理是实现产业化的难点问题，国内外学者都对其进行了一定程度的研究^[12-15]，主要集中在针对某一特有结构进行后处理的算法以及后处理软件应用，如 UG NX, Master CAM 等，后处理主要应用于切削加工中，对于激光加工后处理的研究不是很多。作者在普通三轴数控机床的基础上改进了原机床主轴的结构，并加入了两个旋转轴、激光器和 CCD 观察系统，研制了 1 台多轴激光加工机床，利用激光干涉仪对机床的定位精度和重复定位精度进行测量和补偿，并重点讨论了基于 UG NX 后处理编辑工具的机床后处理的分析。通过对现有模具进行强化试验，证明了机床及后处理的可行性、通用性及经济性。

1 机床的结构设计

普通的三轴数控机床通过工作台的平行移动实现 x, y 轴方向的移动，刀具和主轴通过滑台沿着 z 轴方向进行上下移动，四轴加工机床增加了一个旋转轴以实现复杂零件曲面的加工。在激光加工中，通过激光器发射激光对零件表面进行表面激光强化，代替了刀具的切削运动。

为满足模具复杂曲面的激光加工，同时降低机床的生产制造成本，对多轴激光加工机床进行结构设计。本台数控机床是在普通三轴数控机床主体的基础之上进行设计，采用普通数控机床的工作平台实现 x, y 轴的平行移动，将机床主轴部件处的结构改进成一个类似箱体的机构，去掉了原来的主轴结构，箱体沿 z 轴导轨进行上下移动，并在箱体相互垂直方向上面加入了两个伺服电机，竖直的伺服电机可以带动水平的伺服电机，激光加工机床的结构示意图如图 1 所示。

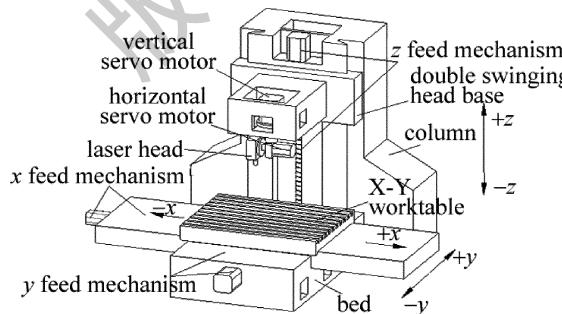


Fig. 1 Structure of a laser machine

机床的数控系统采用的是 Beijing-FANUC 0i-MD 五轴控制系统，数控系统通过控制箱体上伺服电机旋

转以实现绕 x 轴旋转或 y 轴旋转或满足其它工位的要求。绕 x 轴旋转即为 A 轴， $C = 0$ ；绕 y 轴旋转类似 B 轴， $C = \frac{n\pi}{2}$ ($n = \pm 1$)；绕指定角度旋转满足多工位要求， C 为其它。其中， C 为绕 z 轴旋转即 C 轴， n 为常数。类似 B 轴是由于伺服电机与数控系统中的 A 轴相连，故编程后需要将后处理文件中的 B 全部替换成 A 。

激光器选用华工激光 LWY300Ci 激光器，并配有 CCD 观察系统。激光加工机床系统软件包含手动控制模块、自动控制模块、多文件接口 (multiple document interface, MDI) 模块、手动编辑模块、激光参数设定、系统诊断模块以及其他模块。激光加工机床的组成框图如图 2 所示。

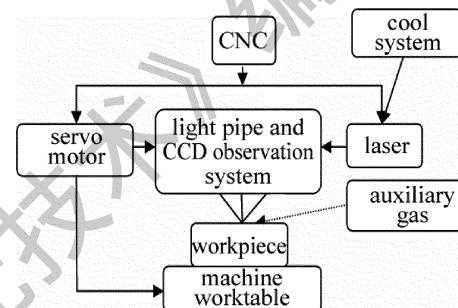


Fig. 2 Diagram of a laser machine

2 激光强化设备的精度控制

2.1 激光强化设备的几何误差的评定

多轴激光强化机床运动轴的精度检测采用英国雷尼绍公司 (RENISHAW) 的激光干涉仪测量系统 (包含 XR20-W 无线型回转轴校准装置)；机床三坐标轴 x, y, z 的长度分别是 800mm, 300mm 和 500mm； A 轴、 C 轴旋转角度为 $\pm 90^\circ$ 。测量过程按照 GB17421.2-2000 数控轴线的定位精度和重复定位精度的确定通则执行。需要特别注意的是，测量应在机床预热以后，即大约开机运行 0.5h 使机床达到热平衡以后进行，以保证测量数据的可靠性。

为了能较精确地得到本试验机床的坐标轴 x, y, z 以及 A 轴和 C 轴上的定位误差，直线轴每隔 50mm 检测一次数据，旋转轴每隔 10° 检测一次，每轴测量 5 个循环。选取机床坐标原点为测量的起点，分别选取机床各轴的不同点作为目标位置，设计测量路径。机床从零点出发运动的方向表示正向，返回零点为负向^[16]。

2.2 激光强化设备的误差补偿

由于激光加工机床在使用过程中激光会在零件表面形成小熔池，具有一定的宽度，故对机床本身的精度

要求并不是很高。机床的定位精度要求各运动轴均不大于 0.05mm , 重复定位精度为 $\pm 0.02\text{mm}$, 在进行检测之前需要将系统内部有关参量清零, 系统中参量模块 3605#0 置 1, 保证可以使用双向螺距误差补偿。将激光干涉仪安装好, 分别对各运动轴进行测量并进行螺距补偿, 将激光干涉仪的检测结果进行分析, 可以得到各运动轴的螺距误差补偿值, 根据机床的精度要求, 检测结果表明 x 轴的精度可以满足, A 轴、 C 轴的误差相近, 在 y 轴、 z 轴上超过误差较大, 由图 3 也可知。根据分析结果对数控系统中的参量模块 3624 来分别设置各运动轴的补偿点间隔, y 轴、 z 轴、 A 轴和 C 轴分别为 90mm 、 40mm 、 60mm ; 参量模块 3623 补偿倍率分别设置为 $20, 1, 2$; 同时通过参量模块 3621 和模块 3622

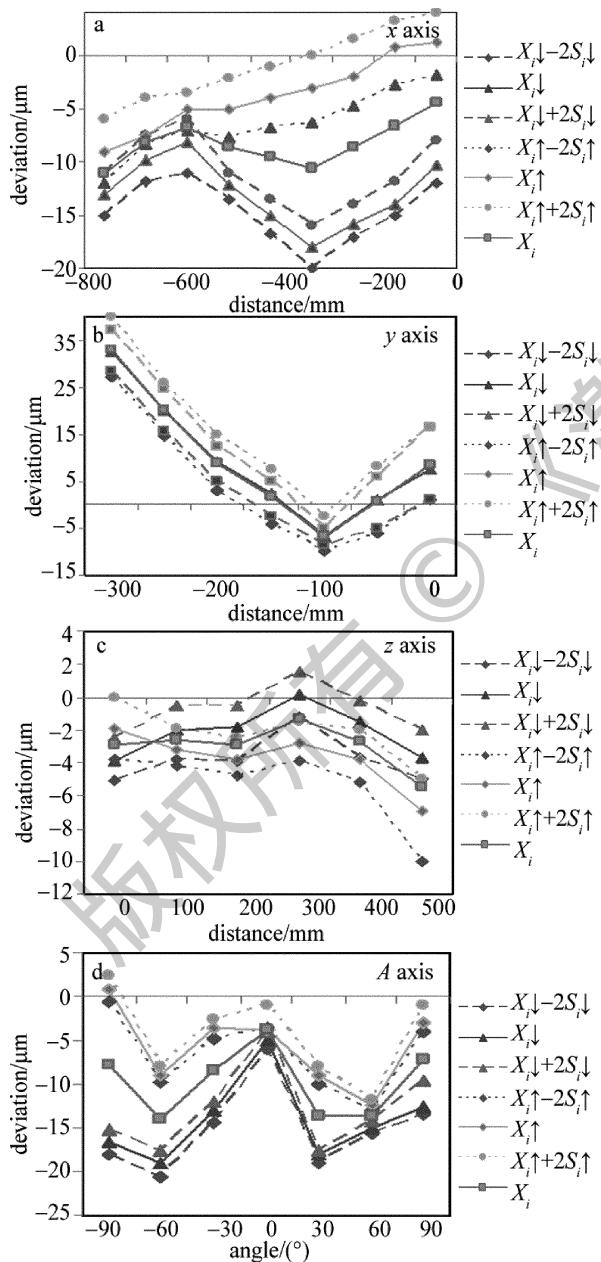


Fig. 3 Positioning accuracy and repetition positioning accuracy after compensation

来分别设置各运动轴的负向及正向补偿号码。将分析所得的补偿值分别输入到相应的补偿号码处, 多次测量及补偿后达到满足的精度要求。图 3 是补偿后各运动轴定位精度和重复定位精度, 表 1 为补偿后各运动轴的精度值, 其中 C 轴与 A 轴的误差基本一致未标。图 3 中, X_i 为某一位置的双向平均位置偏差; $X_i \uparrow$ 或 $X_i \downarrow$ 表示某一位置的单向平均位置偏差; $S_i \uparrow$ 或 $S_i \downarrow$ 表示在某一位置的单向定位标准不确定度的估算值。表 1 中, E 为轴线双向定位系统偏差; $R \uparrow$ 或 $R \downarrow$ 为轴线单向重复定位精度; B_0 为轴线反向差值; A_0 为轴线双向定位精度; $A_0 \uparrow$ 或 $A_0 \downarrow$ 为轴线单向定位精度; M_0 为轴线双向平均位置偏差。

Table 1 Machine precision after compensation/ μm

	E	$R \uparrow$	$R \downarrow$	B_0	$A_0 \uparrow$	$A_0 \downarrow$	A_0	M_0
x	19.6	4.4	6.1	15.1	13.5	16.2	23.5	6.8
y	39.8	17.6	17.6	0.5	49.7	45.9	49.7	39.5
z	7.7	3.9	3.9	3.7	9.5	7.1	11.0	4.6
A	24.1	3.3	4.2	17.9	21.9	16.8	26.4	16.9

3 激光加工机床后处理的研究

3.1 机床的后置处理分析

后置处理就是将计算机辅助设计 (computer aided design, CAD)/计算机辅助制造 (computer aided manufacturing, CAM) 软件生成的刀位文件转换成具有一定规则的可被数控机床系统识别和执行的加工代码。对于复杂的曲面无法用手工进行编程, 必须借助于 CAM 软件进行编程。机床箱体处两伺服电机是通过支架将其相连, 激光器导光管与机床 z 轴有一定的偏移距离即激光头偏距, 激光头与水平伺服电机相连实现绕坐标轴的旋转。由于机床的坐标系由 O 偏移到 O_1 位置, 通过工件坐标系的设定并不影响现有的编程后处理软件的编程。机床的进给结构图如图 4 所示。

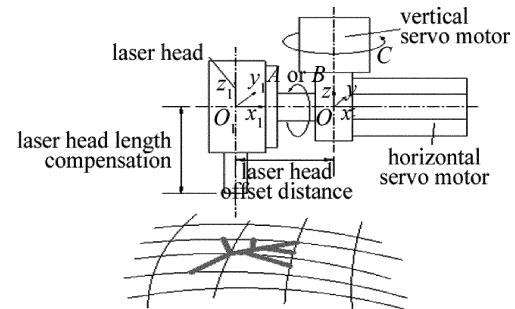


Fig. 4 Feed structure of a laser machine

数控系统通过指令信息 G 代码和 M 代码实现与激光器的通信, 代码的加工程序为 $G65 P9010 W_I_F_T_K_$, 通过调用宏程序, 将激光加工参量的波形号、电流、频率、脉宽、百分比等参量分别赋值给变量 $W, I, F,$

T, K 后通过可编程机床控制器 (programmable machine controller, PMC) 程序进行处理。通过数控 (numerical control, NC) 代码控制坐标轴的移动来实现对离焦量和扫描速度的控制。控制流程图如图 5 所示。

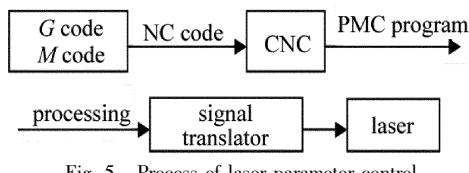


Fig. 5 Process of laser parameter control

激光加工不同于刀具的切削加工,当需要更换切削区域的过程时,要保证关闭激光,同时当进入下一段加工时,需要将激光打开。通过辅助气体的开关指令与激光器的开关指令相连,再通过 *M08* 和 *M09* 指令控制激光和辅助气体的同时开与闭。由于激光加工有一定的离焦量,不会产生干涉,故可以减少一些不必要的抬刀,提高加工效率。为实现不同区域激光强化,对激光及辅助气体开与关进行准确控制,在后处理的逼近移动处加入 *M08* 指令,在退刀移动处加入了 *M09* 指令。图 6 为激光器与辅助气体的开关状态。

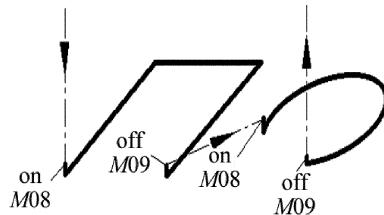


Fig. 6 State of laser and auxiliary gas

为增加其通用性便于程序的编制,将机床竖直和水平伺服电机分别与数控系统的 *A* 轴、*C* 轴相连。后处理的流程图如图 7 所示。

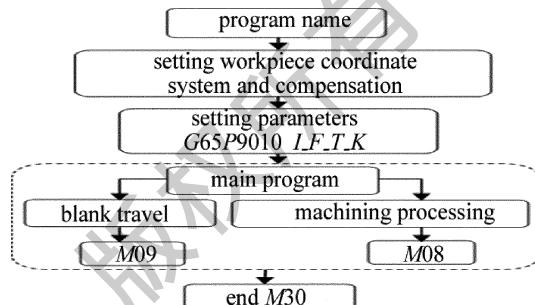


Fig. 7 Flowchart of machine post-processing

3.2 后处理在 UG NX 中的实现

UG NX 软件提供了后置处理工具,刀位源文件数据通过后置处理器转换成适应机床控制系统的 NC 程序,其转换过程包括事件处理文件 (.tcl)、事件定义文件 (.def) 和后处理用户界面文件 (.pui),利用加工输出管理器应用程序启动后处理输出数控代码。

作者利用 UG NX 软件的后处理构造器^[16],研制本台数控激光加工机床的后处理,具体关键步骤如下:

在程序开始加入了激光加工的控制程序,通过对实验模具的实验调试出一个合理的激光参数,参数设置为 *G65 P9010 W2 I120 F10 T5 K100*,要满足不同材料的加工需求可以对相应的参数进行修改。UG NX 中相应的后处理的设置如图 8 所示。

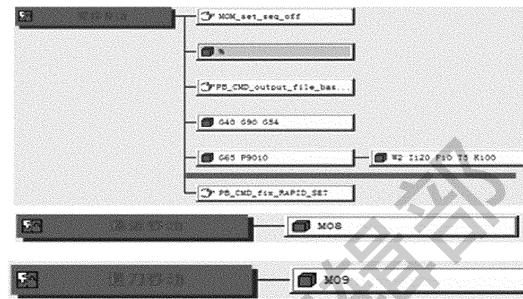


Fig. 8 UG NX post-processing settings

4 激光强化设备的实际应用

根据现有模具形状用 UG NX 编程导入到激光加工机床中,进行激光表面强化处理,如图 9 所示。图 9a 为激光加工机床加工状态,图 9b 为熔凝区的实时监控画面,图 9c 和图 9d 为模具激光强化后模具状态。

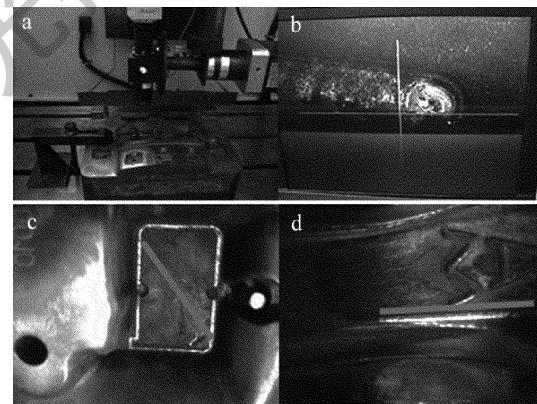


Fig. 9 Process of mould strengthening

5 结论

通过实际的模具激光强化过程,证明了新型激光加工机床对模具进行表面激光强化的可行性。由于机床的主体采用的是普通的三轴机床的主体,故制造成本低,具有重要的工业推广价值。激光加工机床的程序是由预先设定的 UGNX 后处理生成的,验证了后处理的可行性。通过激光干涉仪进行螺距误差的补偿将机床的定位精度保证在 0.05mm 以内,而重复定位精度保证在 ±0.02mm,且激光加工过程中不存在切削力的影响,故机床能保证一定的加工精度。

参考文献

- [1] SHI H L, LI J Q, JIA Zh X, et al. Microstructure and properties of SKD61 die steel strengthened by biomimetic laser-remelting [J]. Ma-

- terial for Mechanical Engineering, 2014, 38 (8) :39-43 (in Chinese).
- [2] SALAS O, KEAMS K, CARRERA S, *et al.* Tribological behavior of candidate coatings for Al die casting dies [J]. Surface & Coatings Technology, 2003, 172(2/3) :117-127.
- [3] ZHANG Ch H, LI Ch Y, ZHANG S, *et al.* Microstructure and property of laser surface melt-solidifying for H13 die steel [J]. Heat Treatment of Metals, 2004, 29(10) :14-17 (in Chinese).
- [4] LIANG H, MA F R, ZHANG T H, *et al.* Surface structure and corrosion properties of binary Ti-C and Mo-C coatings Co-deposited by filtered vacuum arc plasma deposition system [J]. Surface & Coatings Technology, 2000, 131(1/3) :58-61.
- [5] DENG M, WANG Y Q, GU Y, *et al.* Microstructure and wear behavior of laser hardened gray cast Iron guideway [J]. Chinese Journal of Lasers, 2014, 41(4) :0403009 (in Chinese).
- [6] LIU L J, JIANG Y Q, DI T N, *et al.* HHT analysis of acoustic signal characteristics caused by defocusing amount fluctuation on laser strengthened mould surface [J]. Transactions of the China Welding Institution, 2013, 34(9) :51-54 (in Chinese).
- [7] ZHANG M. The geometric error detection and distinguishing of laser interferometer based NC machine tool [J]. Mechanical Engineer, 2006(9) :76-78 (in Chinese).
- [8] ZHU J, LI X F, TAN W B, *et al.* Method of geometric error detection for measuring machine based on laser interferometer [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2010, 46(10) :25-30 (in Chinese).
- [9] LI R G. Calibration of tool spindle for 5-axis CNC machine using laser tracker [J]. Optics and Precision Engineering, 2012, 20(3) :477-483 (in Chinese).
- [10] LIU Y Q, CAO Y H, PAN F, *et al.* Beam transformation of diode lasers used in laser processing [J]. Optics and Precision Engineering, 2012, 20(3) :455-461 (in Chinese).
- [11] GAO P D, ZHANG F Q. Design and implementation of high precision temperature control system for semiconductor lasers [J]. Laser Technology, 2014, 38(2) :270-273 (in Chinese).
- [12] SONG W X, ZHANG J Q, LIU X L. Development of post processing for five-axis CNC machine tools based on UG NX [J]. Manufacturing Technology & Machine Tool, 2013(12) :147-150 (in Chinese).
- [13] SHEN N Y, YU Zh X, LI J. Realization of the postprocessor of intelligent turning-milling combined machining cell based on UG NX [C]// 4th International Conference on Manufacturing Science and Engineering. Geneva, Swiss: Advanced Material Research Society, 2013 :2303-2307.
- [14] TANG Q Ch, HE J, GAO L L, *et al.* The research of nonlinearity error control on five-axis machining post processor [C]// International Conference on Advance Design and Manufacturing Engineering. Geneva, Swiss: Advanced Material Research Society, 2011 :2353-2357.
- [15] GAO J, CHEN Y P, DENG H X, *et al.* In-situ inspection error compensation for machining accuracy improvement of complex components [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2013, 49 (19) :133-142 (in Chinese).
- [16] LIU Y, XIE F, LIU J, *et al.* The NC machining post-processing technology based on UG [C]// 3rd International Conference on Advance Engineering Material and Technology. Geneva, Swiss: Advanced Material Research Society, 2013 :1254-1257.