

Pengembangan Sistem Pemantauan Keausan Pahat Untuk Pemesinan Micro-Milling Berbasis Teknologi Digital Twin = The Development of Tool Wear Monitoring System for Micro-Milling Machining Based on Digital Twin Technology

Christiand, author

Deskripsi Lengkap: <https://lib.ui.ac.id/detail?id=9999920544924&lokasi=lokal>

Abstrak

Pemantauan keausan pahat pada proses pemesinan merupakan hal yang penting. Perambatan keausan pahat yang tidak normal maupun peristiwa rusaknya pahat sebelum masa pakai dapat mempengaruhi hasil pemesinan. Pada pemesinan micro-milling, keausan pahat terjadi jauh lebih cepat dibandingkan pada pemesinan macro-milling dikarenakan efek downsizing terhadap geometri pahat itu sendiri. Untuk hal tersebut, sebuah sistem pemantauan keausan pahat dapat memberikan informasi perambatan keausan pahat agar pengguna dapat mengantisipasi kejadian-kejadian yang destruktif serta dapat mengambil keputusan lebih lanjut atas proses pemesinan yang sedang berlangsung. Pada kerja penelitian ini telah dikembangkan sebuah sistem pemantauan keausan pahat untuk pemesinan micro-milling berbasis teknologi digital twin. Sistem yang dikembangkan mampu memberikan informasi estimasi keausan pahat serta informasi ketidakpastian estimasi itu sendiri dengan memanfaatkan simulasi real-time yang dijalankan dalam digital twin. Model virtual dikembangkan berdasarkan model mekanistik dari proses micro-milling yang merupakan bagian dari pendekatan berbasis hukum fisika (physics-based). Model virtual yang dikembangkan meliputi model motor spindle, model unit pengendali (controller) spindle, dan model torsi potong. Ketika simulasi digital twin berjalan, model virtual mensimulasikan variabel-variabel yang terkait proses pemesinan micro-milling serta berinteraksi dengan beberapa variabel lain yang diperbarui (di-update) berdasarkan data real-time sensor-sensor di mesin micro-milling. Variabel tersimulasi digital twin dijadikan informasi dasar untuk dibandingkan dengan variabel yang didapat secara real-time, khususnya variabel torsi motor spindle yang kemudian ditransformasi ke ruang keausan pahat. Extended Kalman filter (EKF) digunakan sebagai salah kerangka kerja untuk mengintegrasikan informasi tersimulasi dan informasi real-time untuk menghasilkan sebuah estimasi keausan pahat. Proses pemantauan keausan pahat dilakukan dengan menggunakan diagram kendali (control chart) dan kategorisasi tingkat keausan pahat untuk mengevaluasi nilai estimasi keausan pahat dan ketidakpastian estimasi itu sendiri. Eksperimen pemesinan slot micro-milling dilakukan untuk benda kerja yang terbuat dari stainless steel SUS304 dengan menggunakan pahat mikro berbahan karbida berukuran diameter 1000 μm . Dengan menggunakan empat dataset yang dihasilkan dari eksperimen, sistem pemantauan yang dikembangkan mampu menunjukkan proses perambatan keausan pahat dengan rata-rata error estimasi terbesar adalah 0.052 mm dan nilai ketidakpastian estimasi truth terbesar adalah ± 0.04 mm untuk dua mata pahat. Untuk implementasi menggunakan EKF, rata-rata error estimasi terbesar adalah 0.038 mm dengan standar deviasi terbesar adalah ± 0.031 mm untuk dua mata pahat. Kerja penelitian ini juga telah menghasilkan sebuah alat pengukur keausan pahat yang disebut MicroEye dengan metode observasi langsung (direct observation) menggunakan kamera mikroskop dan lengan robot aktif 6-DOF (degree of freedom). Dalam hal kemampuan pengambilan gambar, MicroEye mampu membawa kamera ke posisi yang ditargetkan sehingga seluruh area keausan pahat yang ingin dideteksi berada dalam ROI (region of interest) dengan tingkat keberhasilan sebesar 86.66%. Dalam hal kemampuan

mencapai posisi, MicroEye memiliki error posisi sudut maksimum sebesar 0.596 dan error posisi linear maksimum 0.0336 cm pada arah sumbu x dan 0.767 cm pada arah sumbu y.

.....Tool wear monitoring is an essential aspect of the machining process. The tool breakage and the abnormality of tool wear progression affect the machining result. Due to the downsized tool's geometry, the progression of tool wear in micro-milling is much faster than in macro-milling. A tool wear monitoring system helps to give information about the progression of tool wear so that the user can anticipate unwanted destructive events and make further decisions for the ongoing machining process. This dissertation presents the development of a tool wear monitoring system based on the digital twin technology for micro-milling applications. The developed system can provide the tool wear estimate and the estimation uncertainty altogether by running the real-time digital twin simulation. The virtual model was developed from the mechanistic model of the micro-milling process, which is part of a physics-based approach. The virtual model consists of the spindle motor, spindle controller, and cutting torque models. During the simulation, the virtual model simulates the variables of the micro-milling process and interacts with some of the real-time variables coming from the sensors in the micro-milling machine. The simulated variables (such as spindle motor torque) as the ground information are compared to the real-time variables in the wear space. Extended Kalman filter (EKF) is used as the framework to integrate the simulated and real-time information to estimate the wear growth. Then, the wear estimate and the estimation uncertainty are evaluated using a control chart and a categorization of wear level. The slot micro-milling experiment was conducted for SUS304 stainless steel workpiece with 1000 μm carbide micro-tool. The developed system can monitor the progression of tool wear with the largest mean of estimation error = 0.052 mm and the largest estimation uncertainty = ± 0.04 mm. The implementation of EKF framework has improved the estimation accuracy with largest estimation error 0.038 mm with largest standard deviation ± 0.031 mm for two cutting teeth. This dissertation also presents the result of a tool wear measurement device called MicroEye. The device uses a direct observation approach with a microscope camera as the primary sensor. The device has an active 6-DOF (degree of freedom) arm robot mechanism for motion flexibility. In terms of wear analysis, MicroEye can provide three metrics to analyze the difference between the fresh and the worn tools. In the aspect of image acquisition, MicroEye was able to bring the camera to the targeted position with the success rate 86.66% so that the ROI (region of interest) of the tool image is fully captured by the camera. In positioning, MicroEye achieved a maximum error of angular position 0.596, the maximum error of linear position 0.0336 cm in x-axis direction and 0.767 cm in y-axis direction.