

Diss. ETH Nr. 11864

# **Ein Beitrag zur Beobachtung von Schleifprozessen mittels Schallemission**

Abhandlung zur Erlangung des Titels  
DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN  
der  
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE  
ZÜRICH

vorgelegt von  
Wolfgang Hundt  
Dipl.-Ing. (TU Berlin)  
geboren am 4. Mai 1965  
von Berlin

angenommen auf Antrag von  
Prof. Dr. F. Rehsteiner, Referent  
Prof. Dr. J. Dual, Korreferent  
(Prüfung am 4. Oktober 1996)

Zürich 1996

## **Zusammenfassung**

Das Ziel der vorliegenden Arbeit bestand darin, eine Methode zur prozessbegleitenden Beobachtung des Schleifens im Hinblick auf die Spanbildung an der Einzelschneide zu entwickeln. Durch die modellgestützte Verarbeitung von prozessbegleitend aufgenommenen Schallemissionen sollten Aussagen über die Veränderung des Werkzeug- und Prozesszustands und deren Ursachen ermöglicht werden. Die Methode wurde am Beispiel des Aussenrund-Einstechschleifens von ungehärtetem Stahl erprobt.

Mittels einer kinematischen Modellierung der Spanbildung an der Einzelschneide wurde die Zerspankraft an der Einzelschneide in Abhängigkeit von den Prozessparametern und der Geometrie der Einzelschneide beschrieben. Auf Grund des kurzzeitigen Eingriffs der Einzelschneide und der Kinematik des Schleifprozesses verläuft die Zerspankraft während des Einzelschneideneingriffs pulsartig (Einzelschneiden-Eingriffspuls). Der Kraftpuls stellt über die Änderung des Spannungszustands an der Werkstückoberfläche die Quelle der Schallemissionen beim Schleifen dar.

Da dies ein sehr schneller Vorgang ist, wurde die breitbandige Messung von Schallemissionen zur Prozessbeobachtung eingesetzt. Der Sensor, der über eine berührungslose Signalübertragung verfügt, war auf dem (rotierenden) Werkstück befestigt. Er überträgt Signale im Frequenzbereich zwischen 70 kHz und etwa 3.5 MHz. Bei der Übertragung der Schallemissionen durch das Werkstück, bei der Wandlung im Sensor sowie in der dem Sensor nachgeschalteten Elektronik wird der Informationsgehalt der Signale verändert. Daher wurden die entsprechenden Übertragungseigenschaften identifiziert und berücksichtigt.

Für die Verarbeitung der beim Schleifen aufgenommenen Schallemissionssignale wurde eine Methode entwickelt, die auf der Zerlegung des Zeitsignals in kurze Abschnitte beruht. Die Länge dieser Zeitabschnitte wurde unter Berücksichtigung der Schneideneingriffshäufigkeit festgelegt, so dass in jedem Zeitabschnitt nur eine sehr kleine Anzahl von Schneideneingriffen stattfindet. Zum Vergleich der Messergebnisse mit dem kinematischen Modell wurde eine merkmalsbasierte Auswertung im Frequenzbereich entwickelt. Auf Grund der spezifischen Eigenschaften des Einzelschneiden-Eingriffspulses kann der Zusammenhang zwischen den (zwei)

Merkmale und den Pulseigenschaften im Modell eindeutig beschrieben werden.

Der Vergleich von Messergebnissen mit dem Modell erlaubt die Interpretation der Messergebnisse dergestalt, dass Aussagen über die Unterschiede zwischen zwei Prozess- oder Werkzeugzuständen gemacht werden können, wie z.B. Änderung der kinematischen Schneidenzahl. Eine quantitative Identifikation des Modells durch Anpassen der Modellparameter auf Basis der Messergebnisse ist möglich, wenn bestimmte Parameter der Schleifscheiben-Topographie als bekannt angenommen werden. Die dabei gefundenen Werte für die Modellparameter liegen etwa in dem Bereich, der auch in der entsprechenden Literatur angegeben wird. Vor allem durch Weiterentwicklung der Signalverarbeitung im Hinblick auf eine grössere Anzahl von extrahierten Merkmalen wird eine Identifikation des Modells mit der Messung durch Anpassen der Modellparameter auch ohne Vorwissen erreichbar sein. Dadurch können dann quantitative Aussagen über den Zustand des Werkzeugs, wie z.B. kinematische Schneidenzahl und Spanwinkel, gemacht werden.

## **Summary**

### **"An Approach to Monitoring of Grinding Process using Acoustic Emission"**

The principal aim of this work was the development of a method for monitoring of grinding. Tool and process state as well as their variation with time were identified by model based processing of the acoustic emissions (AE) sampled during grinding. The method was tested during plunge grinding of mild steel.

A kinematic model of the cutting force at the single cutting edge was developed which depends on the tool topography and the cutting process. Due to the short term action of the single cutting edge the force vs. time function has a typical pulse shape. While changing the local surface deformation of the workpiece this unloading pulse induces AE in the workpiece.

AE was measured using a broad band measurement equipment in order to record these fast pulse type events. An AE-sensor was mounted directly to the workpiece. It contains a contactless signal transmission from the rotating workpiece to the stationary signal analysis equipment. The frequency band of sensing and analysis starts at about 70 kHz and ends up at about 3.5 MHz.

The acoustic emission is distorted while propagating from the grinding process to the sensor. The transduction within the sensor and the signal conditioning (amplifiers and filters) distorts the signal, too. In order to compare measured and modelled data these transfer functions were determined and convoluted with the modelling results.

A special signal analysis strategy was developed. The basic step for signal analysis is cutting the signal into short time windows. The length of the time windows was fitted to the contact frequency of the single cutting edge with the aim of covering only a small number of cutting edge contacts by one of them. The signal of each time window is transformed to the frequency domain. From the power spectrum two features are extracted (total energy and center frequency). A clear relation exists between the shape of the single edge cutting pulse and these features.

Differences between tool states or process states are identified by comparison of measurements to modelling results. It was possible to relate the observations to parameters which describe the tool state (e.g. kinematic number of cutting edges). A quantitative iden-

tification of the model was carried out by approximation of the model parameters. Two parameter values were fixed in advance (chip angle  $\gamma$  and cutting edge width angle  $\zeta$ ), then the kinematic cutting edge number  $N_{kin}$  was identified. The values found match well with those presented in the literature. Further development of the signal analysis strategy is necessary for increasing the number of features extracted from the signal. With a larger number of features more than one or two model parameters may be identified simultaneously.