

1 Einleitung

Introduction

Mit der Entwicklung des polykristallinen kubischen Bornitrids (PCBN) Mitte der 70er Jahre und seiner anschließenden Identifizierung als Schneidstoff für das Zerspanen gehärteter Stahlwerkstoffe begann die Entwicklung der Technologie des Hartdrehens. Zunächst wurde das Hartdrehen nur als Vorbearbeitung von Rohteilen für nachfolgende Schleifoperationen eingesetzt. Im Laufe der Jahre wurde die Technologie kontinuierlich weiterentwickelt und zunehmend für die Fertigbearbeitung qualifiziert.

Heutzutage werden unter dem Oberbegriff »Hartdrehen« drei Einsatzfälle zusammengefasst: Schrupphartdrehen, Präzisionshartdrehen und Hochpräzisionshartdrehen. Während beim Schrupphartdrehen die Zerspanung großer Aufmaße im Vordergrund steht, ist das Ziel der Präzisions- und Hochpräzisionsdrehbearbeitung die Herstellung einsatzfertiger Bauteile, wobei sich beide Verfahren in erster Linie durch die erreichbaren Genauigkeitsklassen gegeneinander abgrenzen. Kerneinsatzgebiete des Hochpräzisionshartdrehens sind die Wälzlager- und Hydraulikindustrie sowie Anwendungen im Werkzeugbau [JOCH01].

Die Technologie des Hochpräzisionshartdrehens ist bisher in vielen Forschungsarbeiten untersucht und betrachtet worden. Aus technologischer Sicht wurden vornehmlich Möglichkeiten der Werkzeug- und Prozessauslegungen thematisiert, die zum Ziel hatten, die bestehenden Qualitätsgrenzen hinsichtlich Form, Maß und Rauheit zu verschieben. In Verbindung mit Weiterentwicklungen der Werkzeugmaschinen hin zu höherer Präzision können mittlerweile Genauigkeitsklassen erreicht werden, die hinsichtlich der erzielbaren Bauteilqualitäten mit Ergebnissen von Feinschleifverfahren vergleichbar sind. Die Verschiebung der erreichbaren Qualitätsgrenzen ist weiterhin das Ziel der ständigen Weiterentwicklungen und Forschungsarbeiten.

Die Notwendigkeit der stetigen Weiterentwicklungen der Fertigungstechnologien liegt in der zunehmenden Miniaturisierung der Bauteile und der damit im direkten Zusammenhang stehenden steigenden Anforderungen an die Bauteilqualität und -genauigkeit der letzten Jahre begründet. Für eine Erhebung des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung ISI im Jahre 2003 (veröffentlicht im Jahre 2005) zum Thema »Innovationen in der Produktion« wurden Fragebögen von insgesamt 1 450 Betrieben der Metall- und Elektro- sowie der Chemischen und Kunststoffverarbeitenden Industrie ausgewertet. Die Betriebe stellten einen repräsentativen Querschnitt aus Kernbereichen des verarbeitenden Gewerbes dar. Die Ergebnisse belegen, dass über ein Viertel der befragten Industriebetriebe (Metall- und Elektroindustrie insgesamt) »stark gestiegene« Anforderungen an die Bauteilqualität feststellten. Weitere 44 Prozent berichteten über »etwas gestiegene« Anforderungen. Gesunkene Anforderungen wurden jedoch von keinem der befragten Betriebe angeführt (**Bild 1.1**) [KINK05].

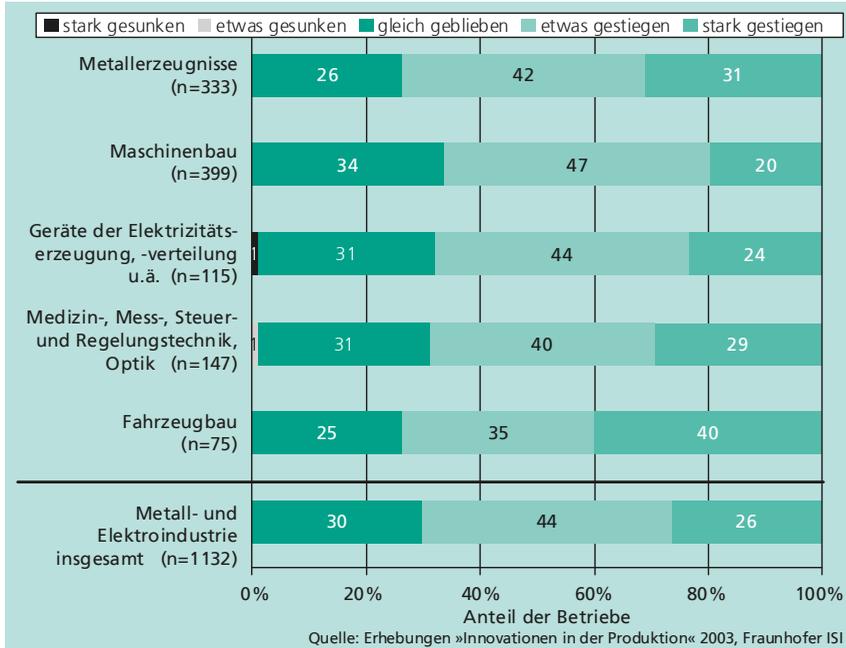


Bild 1.1: Entwicklung der Genauigkeitsanforderungen in der deutschen Metall- und Elektroindustrie [KINK05]
Development of accuracy demands in the german metalworking and electrical industry [KINK05]

Bedingt durch die ständig steigenden Anforderungen an die zu erreichende Bauteilqualität, werden vermehrt Genauigkeitsklassen angestrebt, die weder durch Schleif- noch durch Hartdrehprozesse alleine erreichbar sind. Hierdurch werden im Anschluss an die herkömmlichen Fertigungsverfahren Endbearbeitungsprozesse erforderlich, um den Qualitätsansprüchen gerecht zu werden. Solche Endbearbeitungsprozesse sind meist Polier- oder Honoperationen, abhängig von der zu erreichenden Oberflächengüte. Die Notwendigkeit, einen nachfolgenden Endbearbeitungsprozess in die Fertigungskette zu integrieren, erfordert den Einsatz einer weiteren Fertigungsmaschine und verursacht zusätzliche Investitions- und Fertigungskosten sowie zusätzlichen logistischen Aufwand. Im Rahmen der zunehmenden Globalisierung und aufgrund des damit entstehenden Kostendrucks suchen produzierende Unternehmen daher nach zeit- und kostengünstigen Prozessen und Prozessketten zur Herstellung hochgenauer und eng tolerierter Bauteile.

Die herkömmliche Prozesskette zur Herstellung solcher Bauteile besteht aus Schleifen und anschließendem Honen. Begründet durch die Identifikation des Hartdrehens als günstige Alternative zu Schleifprozessen wurden verschiedene Untersuchungen durchgeführt, die auf Möglichkeiten zur Oberflächenverbesserung nach dem Hartdrehen fokussierten. Liermann [LIER97] beleuchtete hierbei das Hartglattwalzen als abschließendes Verfahren für die in der Wälzlagertechnik hochbelasteten Funktionsflächen. Borbe [BORB01] untersuchte das Bauteilverhalten hartgedrehter Oberflächen und zudem die Möglichkeiten der Band- bzw. Steinbearbeitung (Honen) als nachfolgendes Verfahren. Für die Bandendbearbeitung wurde ein entsprechendes Gerät in eine Drehmaschine integriert. Die Steinendbearbeitung wurde manuell durchgeführt, wodurch die Repräsentativität der Bearbeitungsparameter in Frage gestellt werden kann. Für die Untersuchungen stand jedoch nur die Feststellung der Eignung des Hartdrehens als Vorbearbeitungsverfahren für eine nachfolgende Honoperation im Vordergrund, was durch die Ergebnisse hinsichtlich der erzielbaren Oberflächenverbesserung belegt werden konnte. Es wurde dabei auf eine mögliche Substitution von Schleifprozessen durch das Hartdrehen fokussiert. Eine Abstimmung der beiden Verfahren Hartdrehen und Honen fand nicht statt.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, diese Lücke zu schließen und eine kombinierte Hartdreh- und Honbearbeitung integriert in einer Hochpräzisionshartdrehmaschine auszulegen. Das dafür verwendete Maschinensystem wurde im Rahmen eines öffentlich geförderten Projekts aufgebaut: eine Honeinheit mit einem Linearmotorantrieb wurde entwickelt und in die oben erwähnte Fertigungsmaschine integriert. Hierdurch wird die kombinierte Bearbeitung in einer Aufspannung realisiert. Der Fokus der Untersuchungen dieser Arbeit wird auf den Einfluss der hartgedrehten Oberfläche auf den nachfolgenden Honprozess gelegt. Hierfür werden theoretische Modellansätze entwickelt, die eine Charakterisierung einer hartgedrehten Oberfläche hinsichtlich einer nachfolgenden Honbearbeitung ermöglichen. Diese theoretischen Überlegungen werden durch Bearbeitungsversuche verifiziert. Des Weiteren werden, bezogen auf die zu erfüllenden Bauteilanforderungen, die günstigsten Bearbeitungsparameter für beide Prozesse in Abstimmung zueinander ermittelt, um einen zeit- und ergebnisoptimalen kombinierten Prozess zu erhalten.

Introduction

The development of the hard turning technology started with the development of PCBN in the middle of the 70s and its following identification as cutting material for the machining of hardened steels. At the beginning hard turning was only used as pre-machining process of raw parts for subsequent grinding processes. Throughout the years the technology was continuously further developed and increasingly used for finish machining.

Today there are three cases of operation described by the generic term of hard turning: rough hard turning, precision hard turning and high-precision hard turning. While in case of rough hard turning the focus is laid on the removal of big stock allowances, the aim of precision and high-precision hard turning operation is the manufacturing of ready-to-use parts. Both processes differ mainly in the attainable tolerance grades. Main applications of high-precision hard turning are components of the bearing and hydraulic industry as well as tool making [JOCH01].

Much research work regarding the technology of high-precision hard turning has been carried out so far. From the technological point of view in particular the possibilities of tool and process layout were considered, aiming at widening the existing quality boundaries regarding form, geometry and roughness. Through the continuous further development of machine tools regarding the higher attainable precision, nowadays part qualities can be reached which are comparable to the ones achieved by means of fine grinding processes.

The necessity of continuous further developments of production technologies is based on the growing part miniaturisation in direct conjunction with the increasing requirements on part quality and accuracy in the last few years. In the scope of a survey of the Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research ISI in the year 2003 concerning »Innovation in production« a questionnaire of 1,450 companies of the metal working, electrical, chemical and plastics processing industry has been evaluated. The companies built a representative sample of basic areas of the manufacturing industry. The results show that more than a fourth of the companies (Metal and electrical industry overall) detected »heavy increased« demands of part quality. Further 44 percent reported »slightly increased« demands. Reduced demands were listed by no company (**Figure 1.1**) [KINK05].

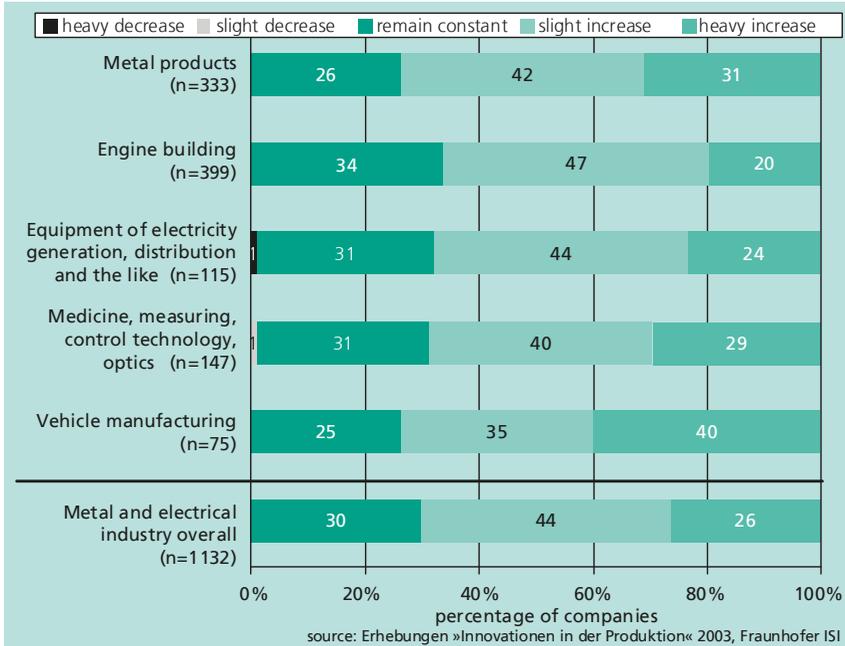


Figure 1.1: Development of accuracy demands in the German metalworking and electrical industry
Entwicklung der Genauigkeitsanforderungen in der deutschen Metall- und Elektroindustrie

Because of the continuously growing demands of the attainable part quality, especially regarding the required surface roughness accuracy grades are requested which are reachable neither by means of grinding nor hard turning processes. Thus, subsequent to the conventional processes finishing processes are necessary to fulfil the quality requirements. Such finishing processes are mostly polishing or honing operations, depending on the surface quality to be attained. The necessity of integrating a subsequent finishing process into the existing process chain demands the use of an additional production machine and generates additional logistic effort as well as capital expenditure and machining costs. Within the growing globalisation and the therewith emerging cost pressure production companies are looking for time- and cost-efficient processes/process chains for the production of high-precision and close-tolerance parts.

Hitherto such parts were ground and honed afterwards. Based on the identification of hard turning as advantageous alternative to grinding processes, research works were carried out focussing on several possibilities to enhance hard turned surfaces. Liermann [LIER97] concentrated for this on hard finish rolling as concluding process for the highly-stressed technical surfaces in the bearing industry. Borbe [BORB01] investigated the part comportment of hard turned surfaces as well as the possibilities of band- and stone-finishing (honing) as subsequent process. For the band-finishing process an appropriate device was mounted onto a turning lathe. The stone-finishing process was executed manually. Thus, the representativeness of the production parameters can considerably be questioned. Regarding the research, only the ascertainment of the suitability of hard turning as pre-machining process for a subsequent honing operation was of interest and could be proven by means of the improvement of surface quality. The focus of both researches was laid on a possible substitution of grinding processes by hard turning. An adjustment of both processes hard turning and honing was not carried out.

The aim of this work is to fill this gap and to develop and to layout a combined hard turning and honing process in a high-precision hard turning lathe. The machining system used for this was built within the scope of an European funded project: a honing device driven by a linear motor was developed and integrated into a high-precision hard turning lathe. Hereby the combined machining in one clamping is realised. The focus of the investigations is laid on the influence of the hard turned surface on a subsequent honing process. For this theoretical models are developed. With these a characterisation of a hard turned surface concerning a subsequent honing process will be possible. The theoretical models will be verified by means of machining tests. Furthermore, depending on the part requirements to be met, process parameters for both processes in adjustment to each other will be identified.