

Unrundbearbeitung von Zylinderbohrungen durch Formhonen

Autor: René Schneider, wissenschaftlicher Mitarbeiter der Abteilung Zerspanungstechnologie des Fraunhofer IWU

Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU
Reichenhainer Straße 88
09126 Chemnitz
Telefon +49 371 5397-1850
rene.schneider@iwu.fraunhofer.de

Die Anforderungen an die Fertigbearbeitung von Zylinderlaufbahnen sind durch die Qualitätsmerkmale Rundheit und Zylinderform sowie die Ausprägung des Oberflächenprofils definiert. Am Beispiel der Hubkolbenverbrennungsmaschine stellen sich jedoch sowohl montage- als auch betriebsbedingte Verzüge der Zylinderform ein. Da das Vermögen der Kolbenringe, den Brennraum stets zuverlässig abzudichten beschränkt ist, verschlechtert sich der Wirkungsgrad und der Ölverbrauch steigt. Einen fertigungstechnischen Ansatz zum Erzeugen einer freien Form in der Zylinderbohrung stellt das Formhonen mit adaptronischem Werkzeug dar¹. Ziel ist, inverse Verzugsgeometrien als Makroformen vorzuhalten, die dann im gewünschten motorischen Betriebsbereich wieder ideale Zylinderformen darstellen. Die Werkzeug- und Verfahrensentwicklung sowie die Auswertung von Bearbeitungsergebnissen hinsichtlich Produktivität, Formgenauigkeit und Oberflächentopografie werden nachstehend dargestellt.

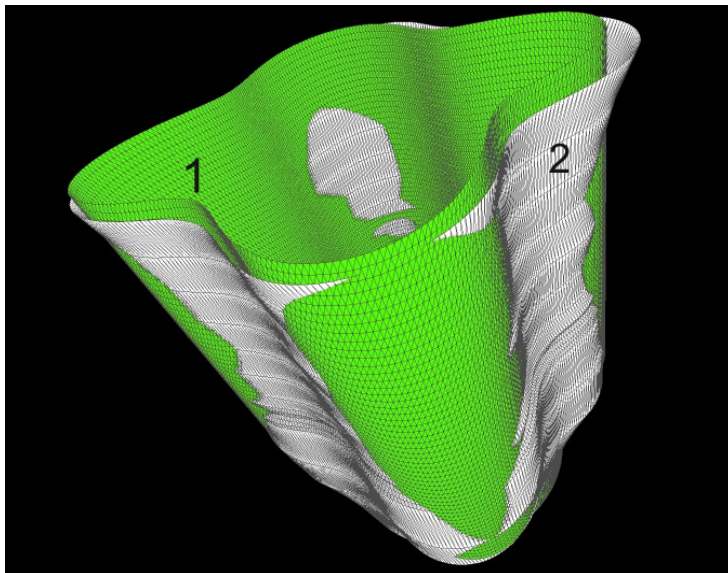


Bild 1: Soll- (1) und Istkontur (2) der Testgeometrie für das adaptronische Formhonen (1000-fach überhöht)



Bild 2: Adaptronisches Formhonwerkzeug

Bei der konstruktiven Auslegung von Zylinderkurbelgehäusen ist man Zielkonflikten ausgesetzt. Anforderungen bezüglich Leichtbau, Thermodynamik und Bauraum führen dazu, dass die Steifigkeit konstruktiv zwar beeinflusst aber montage- und betriebsbedingte Zylinderverzüge generell nicht verhindert werden können. Es entstehen »statische Verzüge« durch die Fertigung und Montage, »quasistatische Verzüge« durch thermische Belastungen und »dynamische Verzüge« verursacht durch Gaskräfte und vom Kolben übertragene Normal- und Führungskräfte im Motorbetrieb.[1]

Die Ermittlung der Realkontur kann beispielweise durch die Vermessung eines mit dem Zylinderkopf verschraubten Zylinderkurbelgehäuses auf einer 3D-Messmaschine erfolgen. Es gibt aber auch Messungen im befeuerten Motor, wobei Längenänderungen mit im Kolben verbauten Sensoren erfasst werden.[2]

Die Zylinderformabweichungen können sich im Bereich von wenigen Mikrometer bis zu Zehntelmillimetern bewegen. Sie sind mithilfe einer Fourieranalyse in Verzugskomponenten zerlegbar. Damit werden die Formabweichungen in radialer Richtung mit einem Ordnungswert und einer Amplitude beschrieben. Die Auswertung erfolgt ebenfalls vertikal in mehreren Höhenschichten. Daraus lassen sich Anforderungen an das Werkzeug hinsichtlich Honleistungsgemietrie und Zustellweg ableiten. Um eine dem Serienprozess entsprechende Produktivität erreichen zu können, ist für die werkzeug- und verfahrensseitige Entwicklung zudem die notwendige Zerspanleistung zu berücksichtigen.

Werkzeug und Verfahren

Das realisierte und in Bild 2 dargestellte adaptronische Formhonwerkzeug besteht aus einem Werkzeuggrundkörper sowie drei radial und axial versetzten schwimmend gelagerten Schneidgruppen, die sich über den Werkzeugdurchmesser aus Stützleiste, Aktorpaket und Honleiste zusammensetzen. Eine Überlagerung von aktorischer und konventioneller Aufweitung ist möglich - ein Schleifringssystem an der Gelenkstange gewährleistet die Energieübertragung für die Aktoransteuerung.

Anders als bei dem konventionellen Honprozess, kann beim Formhonen keine Maßabschaltung über eine pneumatische Messung des Durchmessers während der Bearbeitung erfolgen. Eine Abschaltung ist demnach nur bearbeitungsgesteuert über eine Beschreibung der Form und der Abtragsverhältnisse pro Honleistenüberlauf möglich. Diese muss dem Honprozess vorangestellt sein. Der für das Formhonverfahren entwickelte Prozessablauf ist in Bild 3 dargestellt.

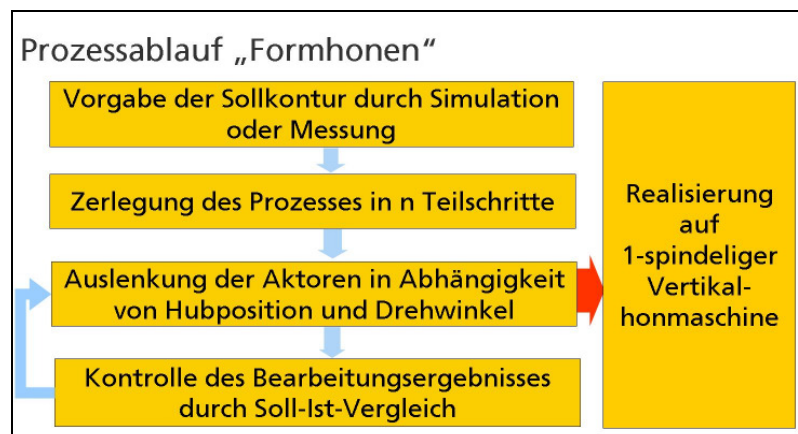


Bild 3: Prozessablauf »Formhonen«

Die Sollkontur kann durch Simulation oder Messung vorgegeben werden. Bei der Verarbeitung von Soll- und Istkontur in einem Technologiemodul erfolgt die Generierung von Bearbeitungsmatrizen. Diese werden über eine Schnittstelle zur Honmaschinensteuerung derart verarbeitet, dass daraus gebildete Spannungswerte für die Piezoaktoren mit den analogen Steuerungsausgängen verknüpft werden. Spannungsverstärker ermöglichen die Nutzung des vollen Aktorpotenzials. Das Auslesen, der für die Aktorauslenkung notwendigen Informationen über Drehwinkel und Hubposition, erfolgt ebenfalls aus der Maschinensteuerung. So wird pro Hub eine Matrize abgearbeitet und der Prozess nach der generierten Anzahl von Matrizen gestoppt.

Die Kontrolle des Bearbeitungsergebnisses durch eine Formmessung dient sowohl der Erfassung der Abweichungen zwischen Soll- und gefertigter Istkontur als auch der Ausgabe einer Korrekturmatrix, die in der Honmaschinensteuerung verarbeitet wird und damit regelnd in den Prozess eingreift.

Formhonnbearbeitung und Ergebnisse

Die Honversuche wurden auf einer 1-spindeligen Vertikalhonmaschine mit einer Spindelkastenverschiebung und einem programmierbaren NC-Niederhalter durchgeführt. Die in Bild 1 dargestellte Testkontur für das adaptronische Formhonn weist Formabweichungen 4. Ordnung (Kleeblatt) mit einer Amplitude von 20 Mikrometern auf und wurde bis zu einer begrenzten Tiefe in die Bohrung eines Zylinderkurbelgehäuses aus Grauguss eingebracht.

Die Entwicklung unterschiedlicher Bearbeitungsstrategien (vgl. Bild 4) erfolgte für die Strategie 1 in Anlehnung an den konventionellen Honprozess, bei dem der Anpressdruck über einen weiten Bereich konstant gehalten wird. Für Strategie 2 stand die Nutzung des maximalen Aktorikpotenzials mit dem Ziel einer hohen Produktivität im Fokus. Der dargestellte Verlauf des bezogenen Zeitspannungsvolumens $Q'w$ über der Honzeit ergibt sich aus der Kraft-Weg-Kennlinie der Piezoaktoren, welche einen linearen Abfall von der Blockierkraft ohne Aktorauslenkung zum kraftlosen Leerhub beschreibt.

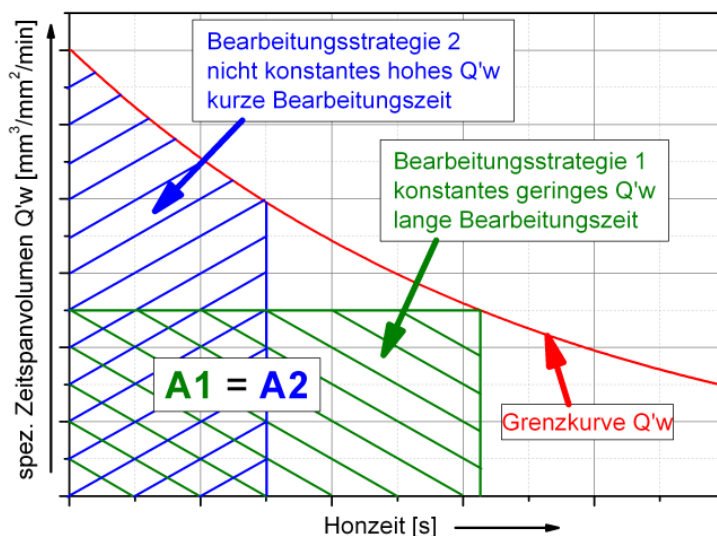


Bild 4. $Q'w$ - Verlauf und Bearbeitungsstrategien

Bezüglich der Versuchsauswertung können Aussagen zu den Kennwerten Produktivität, Formgenauigkeit und Oberflächentopografie getroffen werden. Hinsichtlich der Produktivität ergibt sich für die Anwendung der Strategie 2 gegenüber der Strategie 1 eine nahezu halbierte Bearbeitungszeit. Im Bereich gleicher Bearbeitungsbedingungen wurden in radialer und axialer Richtung Formgenauigkeiten von $\leq \pm 2 \mu\text{m}$ erreicht. Ziel ist, die Genauigkeiten in allen Bereichen der erzeugten Makroform durch modellhafte Beschreibung im Technologiemodul und die Korrekturmöglichkeit über Soll-Ist-Vergleich zu gewährleisten.

Die bei der konventionellen Bearbeitung geforderte Oberflächentopografie ist durch das Formhonn mit adaptronischen Werkzeug grundsätzlich darstellbar.

Zusammenfassung und Ausblick

Die Funktion des adaptronischen Formhönwerkzeuges und Formhönverfahrens konnte in zahlreichen Versuchen nachgewiesen werden. Das Werkzeug bietet die notwendigen Freiheitsgrade zum Erzeugen von Formen, die den Inverskonturen montage- und betriebsbedingter Verzugsformen entsprechen. Mit dem entwickelten Honverfahren ist der Honprozess darstellbar. Der erforderliche Materialabtrag wird durch eine winkel- und hubabhängige Zustellung der Honleisten mittels Piezoaktoren gewährleistet.

Die Ermittlung und Bewertung von Produktivität, Formgenauigkeit und Oberflächentopografie lässt den Schluss zu, dass sich eine Honstufe im konventionellen Prozess durch das adaptronische Formhön substituiert lässt.

Mit den erzeugbaren Makroformen ist eine betriebsbereichsabhängige Verbesserung der Zylinderform erreichbar. Somit stellt das adaptronische Formhön ein hohes Optimierungspotenzial für das tribologische System Kolben, Kolbenring, Zylinderlaufbahn dar.

Literatur

- [1] Bräu, D.: Ableitung von Fertigungskonzepten zur effektiven Unrundbearbeitung von Zylinderbohrungen. Duisburg, Universität Duisburg – Essen, Diplomarbeit, 2007
- [2] Busse, T.; Schultheiß, H.: Verfahren zur Auswertung von Messdaten, Patentschrift Nr. DE102004057462A1, 01.06.2006

¹ Teilthema „Verfahrensentwicklung Formhön“ aus dem Verbundvorhaben „Entwicklung neuer Fertigungskonzepte für ein formhaltiges Zylinderrohr für Zylinderkurbelgehäuse aus Grauguss“. Das Vorhaben (Projektnummer 12449/2041) wurde im Rahmen des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) und mit Mitteln des Freistaates Sachsen gefördert.