

Die spanenden Fertigungsverfahren Honen und Schleifen im Vergleich

Hohe Anforderungen an Funktionsteile hinsichtlich Maß-, Form- und Lagegenauigkeit, Randzonen- und Oberflächenqualität sowie tribologischen Eigenschaften machen immer leistungsfähigere Fein- und Feinstbearbeitungsverfahren unverzichtbar. Die Fertigungsverfahren Honen und Schleifen sind prädestiniert, den genannten Anforderungen mit hoher Reproduzierbarkeit zu begegnen. Ob Honen oder Schleifen oder gar ein kombinierter Prozess als Endbearbeitung sinnvoll ist, das hängt im Wesentlichen von der Bauteilgestalt an sich und von dem Anforderungsprofil ab. Die vorliegende Ausarbeitung soll dabei ohne Vollständigkeitsanspruch bei der Verfahrensfestlegung eine Entscheidungshilfe sein. Dieser Bericht bezieht sich auf die Endbearbeitung von kleinen bis mittleren Bohrungsgrößen. Dabei sind die Vor- und Nachteile beim Langhubhonen und Rundschleifen ausgearbeitet und werden in Anwendungsbeispielen aufgezeigt.

_____ von Ulrich Klink und Martin Dellin

FERTIGUNGSVERFAHREN HONEN UND SCHLEIFEN

Das Honen ist nach DIN 8589-14 unter dem Haupttitel „Fertigungsverfahren Spanen“ im Teil 14 unter der Ordnungsnummer (ON) 3.3.4 wie folgt begrifflich definiert: Spanen mit geometrisch unbestimmten Schneiden, wobei die vielschneidigen Werkzeuge eine aus zwei Komponenten bestehende Schnittbewegung ausführen, von denen mindestens eine Komponente hin- und hergehend ist, so dass die bearbeitete Oberfläche auch definiert überkreuzende Spuren aufweist. [7] (Abb. 1) Das Schleifen ist nach DIN 8589-11 unter dem Haupttitel „Fertigungsverfahren Spanen“ im Teil 11 „Schleifen mit rotierendem Werkzeug“ unter der Ordnungsnummer (ON) 3.3.1 wie folgt begrifflich definiert: Ein spanendes Fertigungsverfahren mit vielschneidigen Werkzeugen, deren geometrisch unbestimmte Schneiden von einer Vielzahl gebundener Schleifkörper aus natürlichen oder synthetischen Schleifmitteln

gebildet werden und mit hoher Geschwindigkeit, meist unter nichtständiger Berührung zwischen Werkstück und Schleifkorn den Werkstoff abtrennen. [6]

VERFAHRENSMERKMALE BEIM LANGHUB-INNEN-RUNDHONEN

Die kennzeichnenden Verfahrensmerkmale sind im Wesentlichen wie folgt:

– das bohrungsfüllende Werkzeug (im Primärsegment beim Langhubinnenhonen)

– großflächige Anlage der Schneidbeläge mit gebundenen Abrasivstoffen

– das selbstregelnde System zur gleichachsigen Bearbeitung

– die Kinematik zum daraus resultierenden Kreuzschliff

– „Kühler“ Schnitt

– niedrige Geschwindigkeit

– Honleisten Selbstschärfung und Abrichtung

– meist ständige Berührung zwischen Werkstück und Schneidkorn. [1]

KINEMATIK

Beim Langhubhonen führt das bohrungsfüllende Werkzeug als Trägerelement für die Honleisten die drei verfahrensspezifischen Hauptbewegungen, die Dreh-, Hub- und Honleisten-Zustellbewegung aus. (Abb. 3) Dabei wird mit feinkörnigen Schneidleisten, in der Großserienfertigung meist mit Diamant- oder Bornitridleisten, Werkstoff von der Werkstückoberfläche abgetrennt. Die Bewegungen werden durch den Hub- und Drehantrieb über die Hauptspindel und das Verbindungselement auf das Honwerkzeug übertragen. Über das Hon-

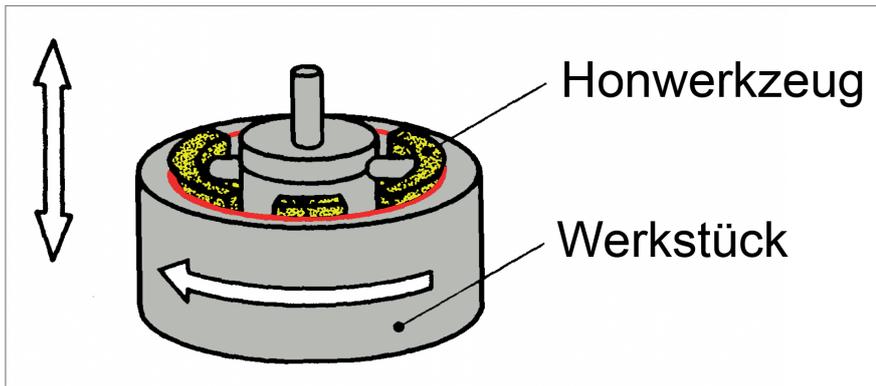


Abb. 1: Langhub-Innen-Rundhonen (ON 3.3.4.2.2)

leisten- Zustellsystem, das auf den Spreizmechanismus im Honwerkzeug wirkt, werden die Honleisten gegen die Bohrungswand geführt und der Abtragsprozess eingeleitet. Aus der im Honzyklus stetigen Überlagerung der Schnittspuren durch den Hubwechsel entsteht der verfahrenseigene Honeffekt, die Kreuzstruktur auf der Oberfläche. [1]

VERFAHRENSMERKMALE BEIM LÄNGS-UMFANGS-INNEN-RUNDSCHLEIFEN

Die kennzeichnenden Verfahrensmerkmale sind im Wesentlichen wie folgt:

- Kleinflächige Schneidbelag-Wirkfläche der gebundenen Abrasivstoffe (Segmentanlage, „Linienberührung“)
- hohe Geschwindigkeit
- Randzonenbeeinflussung
- nicht ständige Berührung zwischen Werkstück und Schleifkorn
- Querkräfte wirken auf Schleifspindel
- Achtsamkeit bei großer Spindel- und Scheibenausladung und zu geringen Schaftdurchmessern

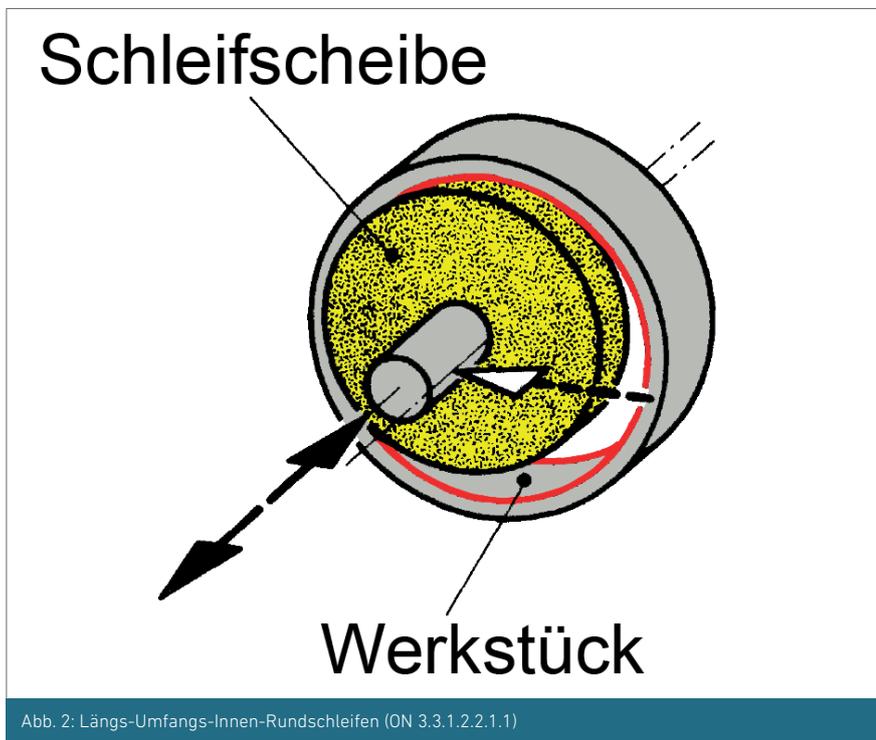


Abb. 2: Längs-Umfangs-Innen-Rundschleifen (ON 3.3.1.2.2.1.1)

KINEMATIK

Beim Längs-Umfangs-Innen-Rundschleifen ist die Prozesskinematik im Allgemeinen schleifscheibenseitig bestimmt durch die Umfangsgeschwindigkeit v_c [m/s], dem Verfah- und Hubweg der Scheibe mit der Seitenvorschubgeschwindigkeit v_{fa} [mm/min] und werkstückseitig meist mit der Gegenlaufbewegung der Werkstückgeschwindigkeit v_{fw} [mm/min]. Exemplarisch ist der Arbeitsablauf gemäß Abbildung 4 wie folgt: Die Zustellung a_e [mm/Hub, mm/U] der Scheibe erfolgt auf der rechten Seite, außerhalb des Werkstücks. Dann erfolgt die Vorschubbewegung nach links mit der Ge-

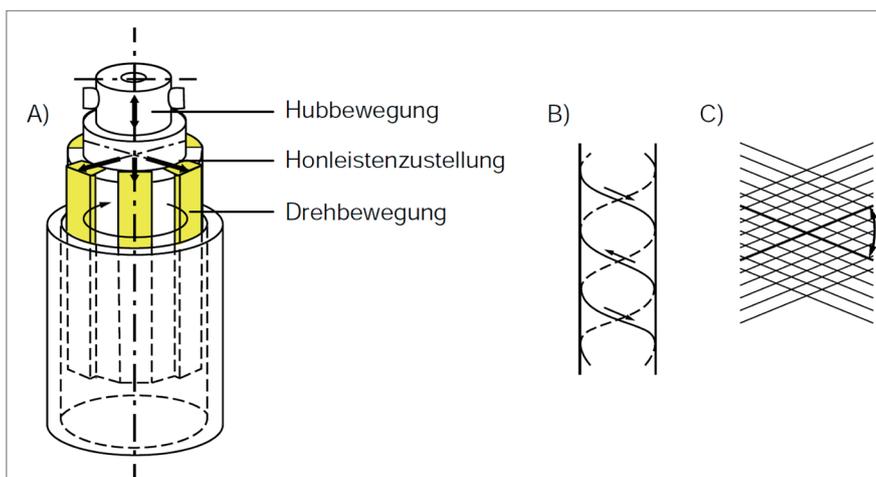


Abb. 3: Honspezifische Kinematik: [1] A) Arbeitsprinzip des Honwerkzeugs, B) Resultierende Schnittlinien aus Dreh- und Hubbewegung über Bohrungslänge, C) Charakteristische Oberflächenstruktur mit Überschneidungswinkel α

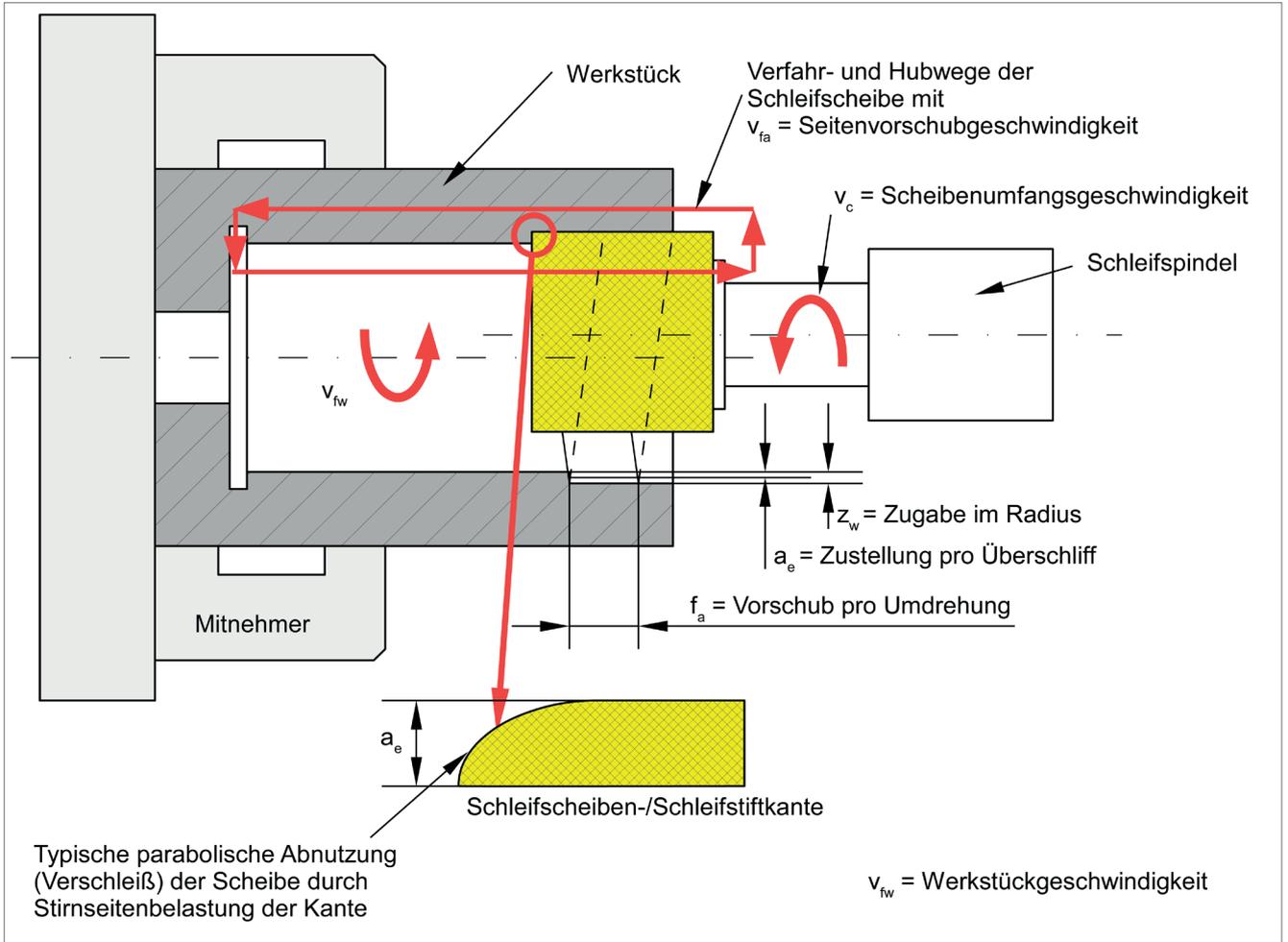
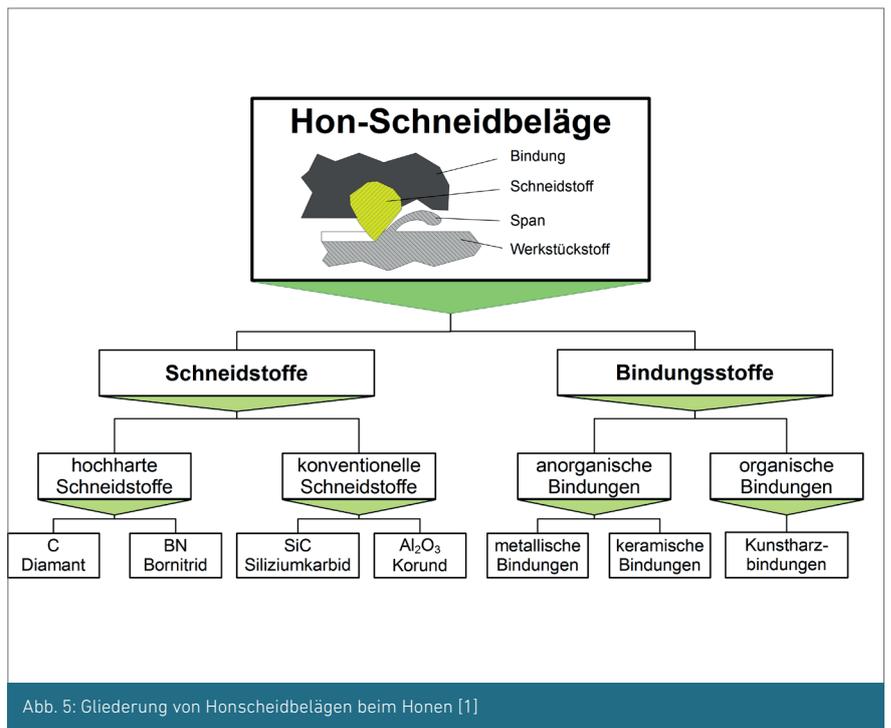


Abb. 4: Längs-Umfangs-Innen-Rundschleifen

schwindigkeit v_{fa} [mm/min] bzw. dem Seitenvorschub f_a [mm/Hub, mm/U] mit der Zustellung a_e . Nach Erreichen des äußersten linken Punktes muss die Scheibe zurückgestellt werden. Ohne Berührung der Bohrungsfläche wird sie in die ursprüngliche Ausgangsposition zurückverfahren. Dann kann der nächste Zustellhub erfolgen und das so oft bis das vorgegebene Fertigmaß erreicht ist. [2]

LANGHUB-INNEN-RUNDHONEN UND LÄNGS-UMFANGS-INNEN-RUNDSCHLEIFEN IM ANWENDUNGSVERGLEICH

Neben Erfüllung der Qualitätsanforderungen sind wirtschaftliche Werkzeugstandmengen, auch bei kleinsten Schneidmittelvolumina und die



notwendige Ausbringung im stabilen Prozess die wesentlichen Forderungen der Serienfertigung. Mit diesen Endbearbeitungsverfahren werden auch kleinere Bohrungen in den Bereichen der Kraftstoffeinspritzung, Kommunikationstechnik, Mechatronik, Mikropneumatik, Kleinpumpen und der allgemeinen Feinwerktechnik bearbeitet. Betriebsbedingte hohe fluid-mechanische Beanspruchungen machen ein besonderes Augenmerk auf die Verfahrensauswahl notwendig. Neben hohen geometrischen Genauigkeiten werden auch funktionsgerechte Randzonen von bearbeiteten Oberflächen mit hoher Dauerfestigkeit und geringer Neigung zur Rissbildung benötigt. Weiche und gehärtete Stähle, beschichtete Bohrungen, verschiedene Keramiken und Hartmetalle können mit diesen Verfahren bearbeitet werden. Als Schneidstoff mit undefinierter Schneidengeometrie wird bei beiden Verfahren, je nach zu zerspanendem Werkstoff, Diamant oder CBN-Korn eingesetzt. Der Aufbau einer Honleiste mit den gebundenen Schneidkristallen ist ähnlich der Schleifscheibe. Abbildung 5 zeigt die Gliederung der Hon-Schneidbeläge beim Honverfahren. [5]

HONEN ODER SCHLEIFEN, DAS IST DIE FRAGE?

Welches Verfahren wann einzusetzen ist, hängt ab von zahlreichen Details, die im Einzelfall zu beurteilen sind. Jeder Prozess hat seine Anwendungsnischen auf Grund spezifischer Verfahrensmerkmale, die jeweils vorteilhaft genutzt werden können. Mit den Anwendungsprofilen der einzelnen Verfahren sind diese Anwendungsnischen in Abbildung 6 dargestellt. Es wird deutlich, dass Honen und Schleifen Prozesse sind, die weniger konkurrieren, sondern sich technologisch und wirtschaftlich sinnvoll ergänzen können, z.B. bei der Steigerung der Maßgenauigkeit. In anderen Fällen können sich beide Verfahren jedoch gegenseitig ausschließen. Hohe Druckeigenspannungen z.B. erfordern

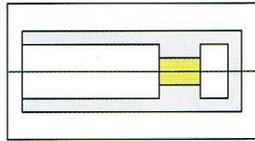
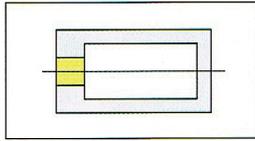
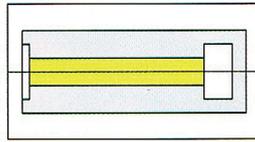
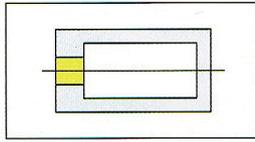
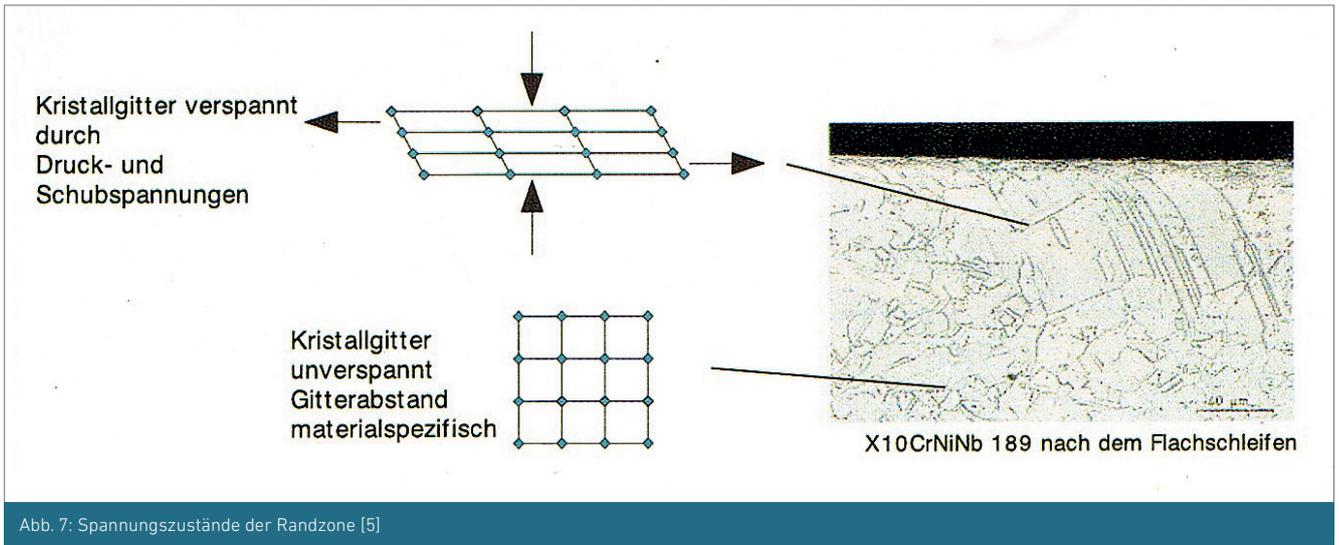
Merkmale	Honen	Innenrundscheifen
Durchmesser	$\geq 0,8 \text{ mm}$	$\geq 2,0 \text{ mm}$
Durchmessertoleranz	$\geq \pm 0,5 \mu\text{m}$	$\geq \pm 2,0 \mu\text{m}$
Geradheit der Mantellinie	$\geq 0,5 \mu\text{m}$ auf ca. 40 mm	$\geq 1,5 \mu\text{m}$ auf ca. 20 mm
Rundheit	$\geq 0,2 \mu\text{m}$	$\geq 0,4 \mu\text{m}$
axiale Bohrungslage	tief liegende Bohrung bearbeitbar 	zugängliche Bohrung bearbeitbar 
Bohrungslänge	lange Bohrungen möglich, Werkzeug in Bohrung geführt und zentriert 	kurze Bohrungen möglich, geringe Schleifdorn durchbiegung 
Veränderung der Lagegenauigkeit	keine Veränderung, Rechtwinkligkeit im Einzelfall möglich	Veränderung von Koaxialität, Position und Rechtwinkligkeit möglich
Einfluss der Bauform	bei rotations- und nicht rotations-symmetrischen Teilen anwendbar	nur bei rotations-symmetrischen Teilen anwendbar
Sacklochbohrungen	mit Freistich bearbeitbar, abhängig von Steinlänge	mit Freistich bearbeitbar, abhängig von Belaglänge
Oberflächenstruktur	Kreuzstruktur für vollflächige Ölverteilung (axial und tangential) 	konzentrische Riefen für Ölfilmverteilung in Umfangsrichtung 
Rauheit	$\geq 0,4 \mu\text{m} R_z$	$\geq 1,2 \mu\text{m} R_z$ wirtschaftlich
Zustand der Randzone (gehärteter Stahl)	Druckeigenspannungen $\geq -1200 \text{ MPa}$	Druckeigenspannungen $\leq 0 \text{ MPa}, \geq -400 \text{ MPa}$

Abb. 6: Anwendungsprofile für das Honen und Innenrundscheifen [5]

den Einsatz des Honverfahrens. Auf Grund der „Linienberührung“ und der Kinematik kann Innenrundscheifen hier den Forderungen nicht gerecht werden. Der honbare Durchmesserbereich beginnt bei ca. 0,8 mm. Der gesamte Durchmesser kann für das bohrungsfüllende, zustellbare Werk-

zeug genutzt werden. Die hohe Maßtoleranz von $\pm 0,5 \mu\text{m}$ wird bei definierter Messposition auf Maschinen mit kraftgesteuerter elektromechanischer Zustelleinrichtung (EMZ-F) und einer Feedback-Messeinrichtung erreicht. Der Durchmesser wird pneumatisch auf der Nachmessstation mit



einer Messunsicherheit von $0,1 \mu\text{m}$ bei einem Messbereich von $\leq 20 \mu\text{m}$ ermittelt. Die verbleibende Maßstreuung entsteht durch das örtlich und zeitlich ungleiche Verschleißverhalten der Honleiste. Die Verschleißrate des Schneidbelags je Bearbeitungszyklus schwankt und verursacht somit die genannte Maßstreuung. Die hohe Geradheit der Mantellinie von $0,5 \mu\text{m}$ wird mit einer Honleiste erreicht, die auf Grund ihrer möglichst großen Länge Formfehler mit kürzerer Wellenlänge überbrückt. Die Rundheit von bis zu $0,2 \mu\text{m}$ erzielt man durch die Achsgleichheit von Bohrungs- und Werkstückachse. Beim Zustellen führt und zentriert sich das Werkzeug in der Bohrung. Die Rundheit des Werkzeuges überträgt sich somit auf die Form der Bohrung. Die axiale Bohrungslage und die Bohrungslänge müssen durch eine entsprechende Baulänge und durch eine geeignete Honleistenlänge des Honwerkzeuges berücksichtigt werden. Konstruktive Grenzen, welche die Qualität beeinträchtigen, ergeben sich prinzipiell nicht. Da das Werkzeug in der vorgearbeiteten Bohrung ausgerichtet und geführt wird, bleibt die Lagegenauigkeit (Position und Richtung) der Bohrung unverändert erhalten. Bei Sonderanordnungen lässt sich die Richtung einer Bohrung mit entsprechenden Werkzeugführungen und schwimmenden Teilaufnahmen korrigieren. Die gleichzeitige Honbearbeitung

von mehreren Werkstücken (Mehrfachbearbeitung, Paketbearbeitung) ermöglicht wirtschaftliche Bearbeitungszeiten und eine Steigerung der Produktivität. Der Schleifprozess erlaubt stets nur eine Einzelbearbeitung. Erhebliche Unterschiede ergeben sich zwischen einer gehonten und geschliffenen Oberflächenstruktur. Das gehonte Relief besteht aus einem Netz kommunizierender Riefen, die eine gleichmäßige Schmierölverteilung in axialer und tangentialer Richtung über die gesamte Bohrungsmantelfläche ermöglichen. Beim Schleifen dagegen entstehen ausschließlich konzentrische Riefen, die eine axial gerichtete Ölverteilung nicht fördern. Die Rauheit des gehonten Oberflächenprofils kann durch Schneidmittelparmeter wie Bindungshärte, Korngröße und Konzentration bis zu $0,4 \mu\text{m}$ RZ beitragen. Neben den stets geforderten Qualitätsparametern Maß, Form und Oberfläche wurden Eigenspannungen im Bereich der Randzone gehonter Flächen bisher wenig beachtet. Die Veränderung des Spannungszustandes durch den Honprozess war bisher weitgehend unbekannt. Auf Grund der Flächenberührung zwischen Honstein und Werkstück wirkt jedoch ein Anpressdruck auf die Bohrungsfläche. Durch die Kinematik des Werkzeuges entsteht Reibung. Sie bewirkt eine Schub- und Druckbeanspruchung im Gefüge der Randzone. Die Honoperation ist ein Prozess mit vergleichswei-

se niedrigen Bearbeitungskräften und Temperaturen. Die Flächenberührung ist für den verbleibenden Gefügezustand der Randzone weniger schädlich als die einzelne Schneide eines Feinbohrwerkzeuges oder die „Linienberührung“ einer Schleifscheibe. Die Bedingungen für die Ausbildung einer dauerhaft hochbelastbaren Randzone sind daher beim Honen besonders vorteilhaft. Ziel ist es daher, Druckeigenspannungen zu generieren, die zu einer erhöhten Dauerfestigkeit führen. Zugeigenspannungen begünstigen die Rissbildung und reduzieren die Kerbfestigkeit. Die unter üblichen Prozessbedingungen festgestellten Druckeigenspannungen erreichen nahezu den Druckspannungsverlauf, wie er bei umformenden Verfahren, wie z.B. Festwalzen, gefordert wird [3].

ZUSAMMENFASSUNG

Die Bohrungs- und Bauteilgestalt sind übergeordnet entscheidend für die Verfahrensauswahl zur Endbearbeitung. Weiterhin liegen die Entscheidungskriterien bei den definierten Qualitätsmerkmalen der Bohrung, wie Maß-, Form-, Lage-, Oberflächentoleranz und Gestalt sowie der Randzonenbildung. Bei Anforderungsprofilen mit Bohrungslagenkorrektur kann auch eine Verfahrenskombination mit Schleifen und Honen notwendig sein.

- [1] Klink, U.: Honen, Umweltbewusst und kostengünstig Fertigen; Carl Hanser Verlag München Wien 2016, ISBN 978-3-446-44192-7
- [2] Meister, M.: Vademecum des Schleifens; Carl Hanser Verlag München 2011, ISBN 978-3-446-42618-4
- [3] Ostertag, A.: Glatt- und Festwalzen von Bohrungen; Tagungsband „Präzisionsbearbeitungen von Bohrungen“, TU Dresden, Juni 2000.
- [4] Klink, U.; Flores, G.: Getrieberadhonen – Laufruhe durch Lagekorrektur; 59. Jahrbuch Schleifen, Honen, Läppen und Polieren, ISBN 3-8027-2919-6
- [5] Klink, U.; Flores, G.: Honen von Kleinbohrungen; IDR 37 (2003) Nr.1
- [6] DIN 8589-11, Fertigungsverfahren Spanen – Teil 11: Schleifen mit rotierendem Werkzeug Einordnung, Unterteilung, Begriffe
- [7] DIN 8589-14, Fertigungsverfahren Spanen – Teil 14: Honen Einordnung, Unterteilung, Begriffe

INFO

Ulrich Klink, Dipl.-Ing. Jahrgang 1945 studierte Maschinenbau an der Hochschule Reutlingen. Über 30 Jahre Erfahrung als Leiter des Technologiezentrums und Mitglied der Geschäftsleitung der Maschinenfabrik Gehring GmbH & Co. KG. Seit 2009 Geschäftsführer des Dienstleistungsunternehmens iht-Klink Innovative Hon-Technologie.

Martin Dellin B.Sc. Jahrgang 1990 studiert an der Universität Stuttgart Maschinenbau mit Abschlussziel Master of Science in den Spezialisierungsfächern Werkzeugmaschinen und Feinwerktechnik. Seit 2014 freier Mitarbeiter des Dienstleistungsunternehmens iht-Klink Innovative Hon-Technologie.

Ulrich Klink

iht – Innovative Hon-Technologie

Paulusstraße 37

72639 Neuffen

Tel. +49(0)7025 2271

Mobil +49(0)172 7227894

Fax: +49(0)7025 8142

E-Mail: info@iht-klink.de

Internet: www.iht-klink.de

Anzeige Brot für die Welt