

Verfahrensin- tegration in der Hartbearbeitung



Mit
—BAHMÜLLER—
Schleiftechnologie

Die Verkürzung der Prozeßketten und Durchlaufzeiten bei erhöhter Flexibilität steht heute bei allen metallbearbeitenden Betrieben ganz oben auf der Tagesordnung. Dies geht meist mit einer Integration unterschiedlicher Verfahren in einer Mehr-Funktions-Werkzeugmaschine einher. Bei der Bearbeitung weicher Teile hat sich hier das Dreh-Fräszentrum durchgesetzt. Für die Hartbearbeitung zeichnet sich mit speziellen (Hart-) Dreh-Schleifzentren eine vergleichbare Entwicklung mit großen Rationalisierungspotentialen ab.

Die Erfordernisse der wettbewerbsorientierten Wirtschaft bewirken eine ständige Überprüfung und Optimierung der Fertigungsprozesse in der Produktion. Die Effizienz eines Produktionsprozesses wird dabei neben den rein technischen Eigenschaften der eingesetzten Produktionsmittel auch durch die Organisation und die Logistik maßgeblich mitbestimmt.

In den unterschiedlichen Ansätzen der Produktionsoptimierung lassen sich generell zwei unterschiedliche „Schulen“ ausmachen:

Die Prozeßketten-Verkürzung durch Verfahrensintegration:

Hier werden die betrieblichen Aufwendungen zur Steuerung des Materialflusses und die innerbetriebliche Durchlaufzeit minimiert, indem die notwendigen Bearbeitungsschritte auf einer geringeren Anzahl an Maschinen abgewickelt werden. Die technischen Anforderungen an die Maschinen steigen somit, was zwangsläufig eine höhere Komplexität zur Folge hat. Eine geringere Zahl an Aufspannungen bringt häufig auch Qualitätsvorteile. Dem Vorteil reduzierter Steuerungsaufwendungen, Durchlaufzeiten und Bestände, der erhöhten Qualität der Produkte und der hohen Flexibilität der Produktion steht somit der Nachteil komplexerer, möglicherweise wartungsintensiverer Produktionsmittel gegenüber, die qualifizierteres Bedienpersonal erfordern.

Die Effizienzsteigerung durch Spezialisierung:

Dieser Ansatz versucht, die Prozeßsicherheit und Effizienz zu maximieren, indem der einzelne Prozeßschritt auf einer teils speziell dafür angepaßten Maschine durchgeführt wird. Dem Vorteil einfacher und preiswerter Produktionsmittel stehen hier die oft recht langen Prozeßketten gegenüber. Damit wird die Steuerung des Materialflusses eine anspruchsvolle und arbeitsintensive Aufgabe, wobei die Durchlaufzeiten und Bestände durch die mit vielen Teilprozessen verbundenen hohen Liegezeiten entsprechend hoch sind und die Flexibilität der Produktion außerordentlich gering ist.

Kompromiß zwischen Verfahrensintegration und Spezialisierung

In der Praxis sucht man den gesunden Kompromiß zwischen diesen beiden Ansätzen. Allgemein gilt: Die Prozeßketten-Verkürzung findet in erster Linie bei Herstellern kleinerer Serien komplexer Produkte Einsatz, während die Spezialisierung in der Großserienfertigung Erfolge verbucht. Über dies beeinflussen einige unübersehbare Trends die Wahl der richtigen Fertigungsstrategie:

- Die Innovations- und Entwicklungszyklen verkürzen sich, was zu häufigeren Produktwechseln führt.
- Die Stückzahlen für absolut gleiche Teile nehmen ab. Um ihre Lager klein zu halten, verlangen die Kunden zunehmend eine termingenaue Lieferung mit Stückzahl „1“.
- Die Anforderungen an die Qualität der Teile werden weiter anwachsen.

Die Forderungen an eine Produktion werden sich also in Richtung auf hohe Flexibilität bei hoher Genauigkeit und auf schnelle Reaktions- und Durchlaufzeiten verändern. Entsprechende Maschinen müssen folgende Anforderungen erfüllen:

- Hohe Genauigkeit und Prozeßsicherheit.
- Flexibilität, sprich leichte Umrüstbarkeit der Produktionsmittel – gute Zugänglichkeit des Arbeitsraumes.
- Multifunktionelle Einsetzbarkeit, also kein fester Zuschnitt der Maschine auf ein bestimmtes Produkt oder Teil.
- Weitgehende Fähigkeit zur Komplettbearbeitung.

Doch Vorsicht: Der Wunsch nach einer Maschine mit der Fähigkeit zur Komplettbearbeitung kann schnell zur Forderung nach einer Maschine führen, die in der Praxis dann keine der an sie gestellten Forderungen wirklich zufriedenstellend erfüllen kann. Auch hier kommt es also auf den richtigen Mittelweg an.

Bei einer genaueren Analyse der Metallbearbeitung stellt man fest, daß die spanenden oder umformenden Produktionsabläufe oft durch eine Wärme- oder Oberflächenbehandlung unterbrochen werden. Dabei sind die technischen Unterschiede zwischen den verfahrenstechnischen oder chemischen Prozessen der Wärme- oder Oberflächenbehandlung und den spanenden Formgebungsverfahren recht groß (Kräfte, Temperaturen, Zeiten). So ist es nach dem derzeitigen Stand der Technik in vielen Fällen nicht sinnvoll, über eine Integration dieser Verfahren in den Arbeitsraum einer spanenden Maschine nachzudenken. Die Wärmebehandlung wird also als Einschnitt in die Abläufe zur spanenden Herstellung metallischer Teile erhalten bleiben.

Als nutzbares Potential für die Prozeßkettenverkürzung bleibt also die Komplettbearbeitung durch Verfahrensintegration vor und nach der Wärmebehandlung.

Verfahrensintegration in der Weichbearbeitung

Auf leistungsfähigen Dreh-Fräszentren lassen sich heute komplexe Geometrien unter Einsatz einer Vielzahl von Verfahren und Werkzeugen wirtschaftlich herstellen (Bild 1). Die Kundenanforderungen nach möglichst geringen Kosten und individuellen Maschinenausstattungen erfüllen Hersteller wie INDEX, durch Synergieeffekte eines durchgängigen Systembaukastens der horizontalen und vertikalen Dreh-Fräszentren. Diese Entwicklung ist sicherlich noch nicht abgeschlossen.



Bild 1: Beispiel für die Verfahrensintegration Drehen, Fräsen und Bohren in der Weichbearbeitung

Verfahrensintegration in der Hartbearbeitung

Die Verfahrensintegration zur Bearbeitung harter Werkstücke ist weit weniger fortgeschritten. Harte oder wärmebehandelte Teile laufen oft noch über verschiedene Nachbearbeitungsmaschinen, auf denen jeweils ein Spezialverfahren angewandt wird. Dies überrascht vor dem Hintergrund der starken Konkurrenz der Verfahren Hartdrehen und Schleifen. Durch Fortschritte auf dem Gebiet der Schneidstoffe konnte sich das Hartdrehen

in den letzten Jahren insbesondere bei Forderungen nach einer hohen Flexibilität der herzustellenden Geometrie bei Genauigkeitsanforderungen bis IT 5 durchsetzen (Tabelle 1).

So bieten die INDEX-Maschinen eine ausgezeichnete Basis für Hartdreh-Operationen, bei denen mit Serien-Maschinen ohne besondere Maßnahmen Rundheiten von 0,85 – 0,9 µm und Ebenheiten von 0,65 bis 1,0 µm erreichbar sind. Diese Ergebnisse lassen sich durch Maßnahmen zur Erhöhung der Maschinensteifigkeit und zur Verbesserung des Schwingungsverhaltens weiter verbessern.

Verfahrensvergleich Hartdrehen – Schleifen

	Hartdrehen	Schleifen
Schlicht-Zeitspanvolumen	1000 - 6000 mm ³ /min	100 – 250 mm ² /min
	abhängig vom Vorschub, d.h. von der geforderten Oberfläche	500 – 10000 mm ³ /min abhängig von Schleifscheibenbreite d.h. von der Werkstückgeometrie
Rundheiten	0,5 – 1 µm	0,2 – 0,5 µm
Rauigkeiten Ra	0,2 – 0,5 µm	0,1 – 0,4 µm
Rauigkeiten Rz	1,5 – 4 µm	1 – 3 µm
Genauigkeitsklasse	IT 5	IT 4 (Mit Werkstückmessung bis IT 2)

Tabelle 1

Während das Hartdrehen insbesondere bei der Innenbearbeitung, aber auch bei der Bearbeitung stark wechselnder Außenkonturen, Stückzeitvorteile verspricht, wirken sich die notwendige Mindestspandicke und die Abhängigkeit der Oberflächenrauigkeit vom Vorschub (also die Hauptzeit) nachteilig aus. Die Mindest-Spandicke bedingt: Toleranz-Feldbreiten im μm -Bereich, wie sie beispielsweise in der Werkzeugherstellung gefordert sind, lassen sich mit dem Hartdrehen nur schwer einhalten (Tabelle 2).

Einschränkungen der Verfahren Hartdrehen und Schleifen

Hartdrehen	Schleifen
<ul style="list-style-type: none"> • Durchmesser Genauigkeit: Begrenzte Mindest-Spandicke beim Drehen macht In-Process-Messung und -Korrektur im μm-Bereich unmöglich • Oberfläche: Höhere kinematische Rauigkeit beim Drehen. Produktivität hängt vom Vorschub ab, der von der geforderten Rauigkeit abhängt • Unterbrochene Schnitte: Schwingungsanregung der Maschine • Überhänge Weich-Hart: Schneideplattenverschleiß 	<ul style="list-style-type: none"> • Geometrieflexibilität gering • Einrichteaufwand bei komplexeren Teilen hoch • Stückzeiten hoch (Bohrungen)

Tabelle 2

Eine Spanabnahme im μm -Bereich ist nicht möglich. Folge: Eine Korrektur des im Schlichtschnitt gefertigten Durchmessers in diesem kleinen Bereich läßt sich nicht realisieren. Das Hartdrehen kann das Schleifen also nach

Stückzeitvergleich Ra innen = 0,2 μm Ra plan, außen = 0,35 μm

Schleifen (Schleifaufmaß an allen Flächen 0,2 mm)	210 sec.
Hartvordrehen (bis auf 0,03 mm Schleifaufmaß), Fertigschleifen	120 sec.

Tabelle 3

dem derzeitigen Stand der Technik insbesondere bei der Klein- und Mittelserien-Fertigung von Teilen mit hoher Genauigkeit ($< IT 5$) nicht ersetzen. Der Einrichteaufwand beim Hart-Fertigdrehen würde das Verhältnis von Ausschuß- zu Gutteilen bei geringen Stückzahlen ungünstig beeinflussen. Zudem sind Schleifbearbeitungen zur Vermeidung von Bearbeitungsriefen für viele Durchmesser, auf denen Dichtringe laufen, auf absehbare Zeit weiterhin notwendig.

Hartdrehen kann Schleifen nicht voll ersetzen

Während also das Hartdrehen das Schleifen nicht gänzlich ersetzen kann, bietet die Kombination beider Prozesse beträchtliche Vorteile: Durch eine Hart-Vordreh-Operation läßt sich das Schleifaufmaß reduzieren, was die Hauptzeit für das Schleifen – insbesondere das Innenschleifen - stark senkt (Bilder 2 und 3, Tabelle 3).

Zudem können weniger genau tolerierte Geometrien an einem Teil schnell hartgedreht werden. Es ist also zu erwarten, daß es, ähnlich wie bei der Weichbearbeitung, auch bei der Hartbe-

arbeitung zu einer Integration der vorherrschenden Hart-Bearbeitungsverfahren Drehen und Schleifen kommen wird. Vergleichbar mit der Entstehung der Dreh-Fräszentren als eigenständiger Maschinentyp, wird sich das Dreh-Schleifzentrum zur Hartbearbeitung in den nächsten Jahren zu einem Standard entwickeln.

Analog zum Drehen und Fräsen ist davon auszugehen, daß die Wünsche der Anwender in diesem Bereich nur dann umfassend erfüllt werden können, wenn in einem Systembaukasten moderne Schleifkomponenten vorhanden sind, die sich unabhängig vom Maschinentyp mit anderen Einheiten zum Drehen oder Fräsen kombinieren lassen. Die Kooperation der Firmen INDEX und Bahmüller dient der zielgerichteten Entwicklung solcher Einheiten.

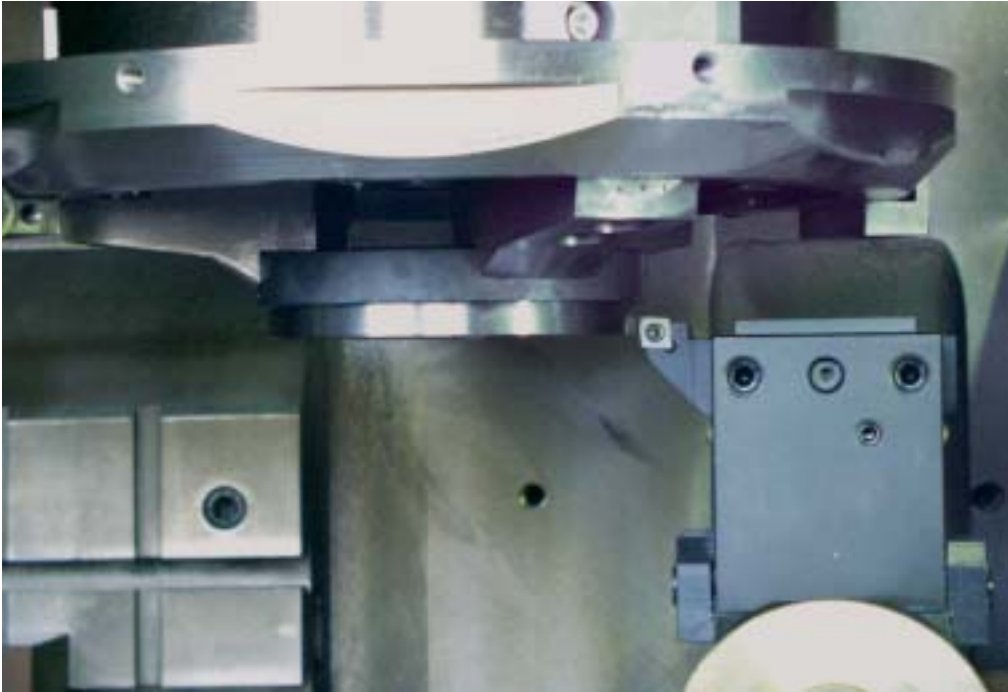


Bild 2: Stückzeitenreduzierung bis zu 40% durch Kombination Hartvordrehen und Fertigschleifen

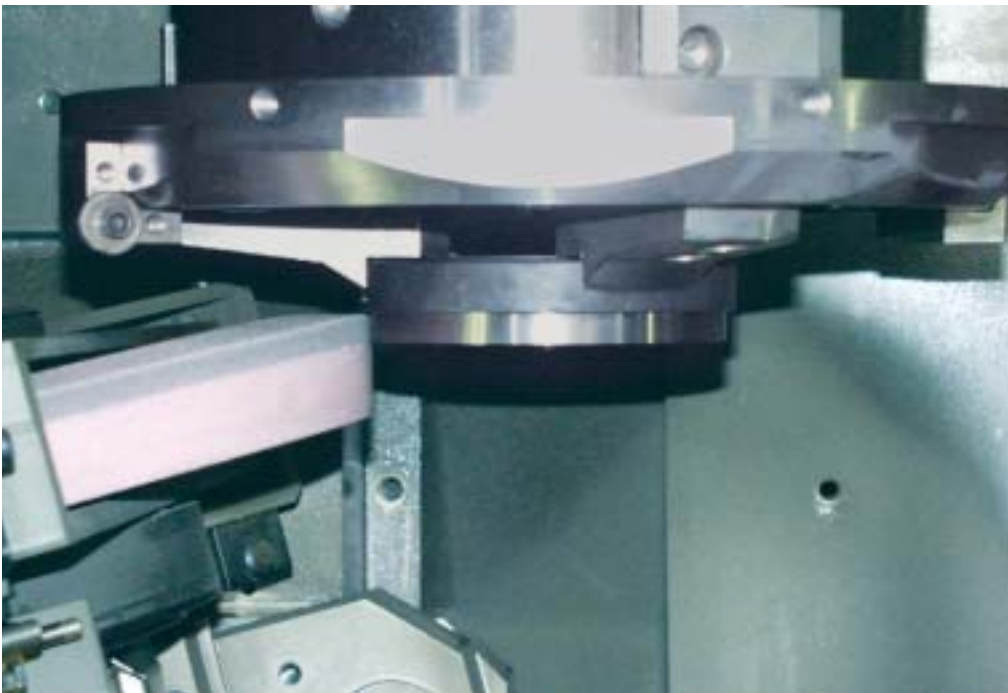


Bild 3

Schleif-Baukasten für Drehzentren

Der ab sofort zur Verfügung stehende Schleif-Baukasten (Bild 4) besteht aus folgenden Komponenten:

- Riemengetriebene und wälzgelagerte Außenschleifspindel mit 85 mm Vorderlagerdurchmesser zum Einsatz einer Schleifscheibe mit 400 mm Durchmesser und 40 mm Breite,
- Elektromechanische Auswuchteinheit zum automatischen In-Prozeß-Wuchten,
- Körperschallüberwachung zur Anschnitterkennung,
- Verschiedene Innenschleifspindeln namhafter Hersteller mit Drehzahlen zwischen 45.000 und 100.000 min⁻¹ und Leistungen zwischen 15 und 2 kW,
- Systeme zum Abrichten von Korund-Scheiben vom Futter der Maschinen aus. Das Abrichten vom Futter aus bringt maximale Genauigkeit (nahezu kein Wärmegang) und minimale Einschränkung der Zugänglichkeit für andere Anwendungen im Arbeitsraum.

- Systeme zum Abrichten von CBN-Scheiben mit rotierenden Formrollen von Futter aus oder mit Hilfe separater Abrichtspindeln.

Zur Verbindung dieser Schleifeinheiten mit den Schlitten und / oder Betten der INDEX-Maschinen stehen verschiedene Anschlußmodule zur Verfügung: Hierzu zählen eine manuelle Winkel-Verstellvorrichtung zur Schrägverstellung der Schleifscheibe sowie eine hochgenaue, elektrische Winkel-Verstellvorrichtung mit Verriegelung über eine hydraulisch betätigte Hirth-Verzahnung mit 5 oder 2,5° Teilung. Mit dieser Verriegelungsbaugruppe läßt sich die Schrägstellung der Schleifwerkzeuge im Teileprogramm verändern. Alternativ können im Sinne eines Schleif-Revolvers verschiedene Schleifspindeln in Eingriff gebracht werden. Neben diesen reinen Schleifkomponenten stehen auch Meßsysteme zum In- oder Post-Prozeß-Messen bereit.

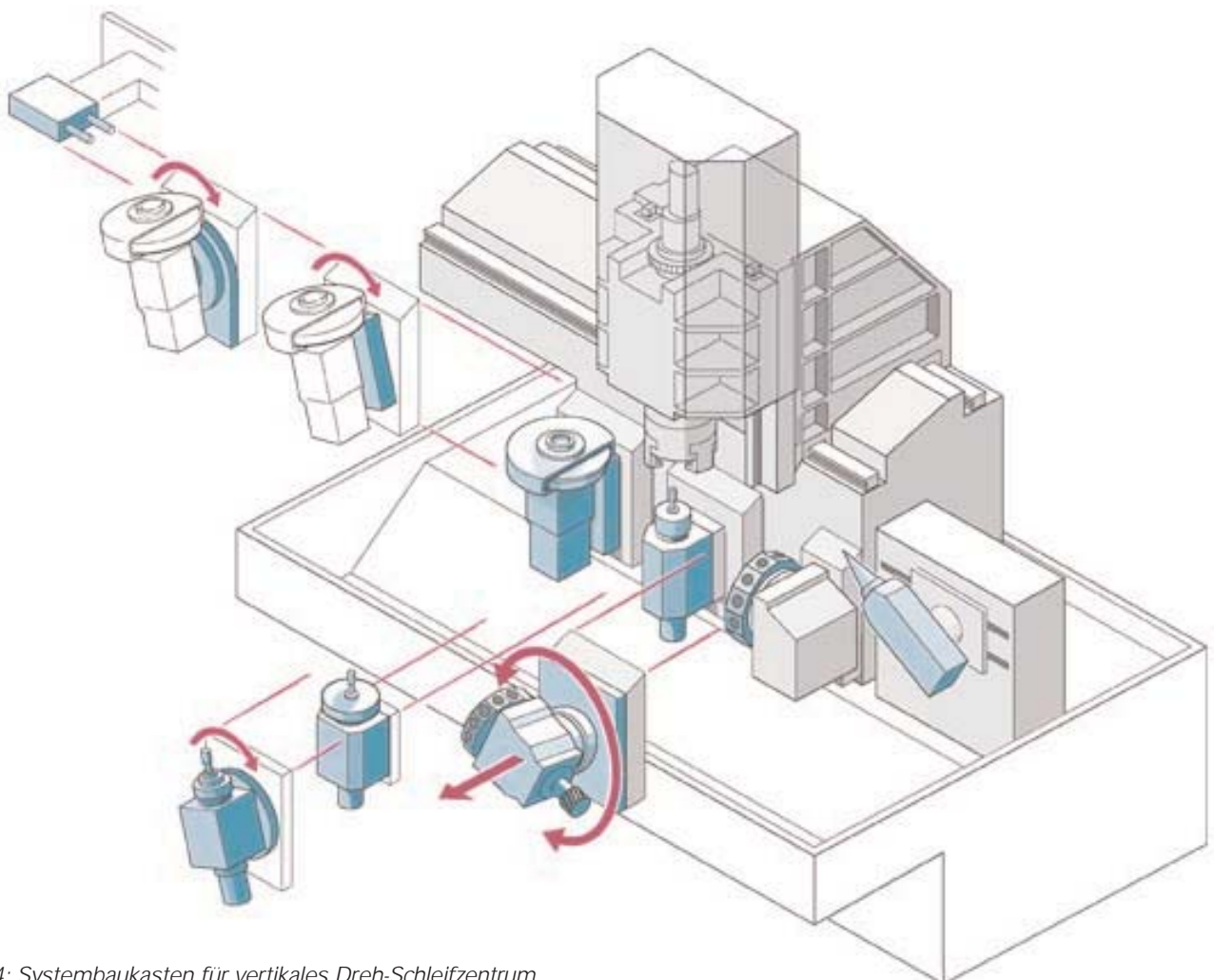


Bild 4: Systembaukasten für vertikales Dreh-Schleifzentrum

Für geringere Anforderungen an Genauigkeit und Steifigkeit werden angetriebene Werkzeughalter zum Schleifen angeboten, die auf den Revolvern der Maschinen ihren Dienst verrichten. Wegen des hier erforderlichen Kegelradgetriebes und des begrenzten Bauraumes eignen diese sich aber eher für die reine Endbearbeitung, beispielsweise zur Erzeugung drallfreier Oberflächen.

Dreh-Schleifzentrum zur Wellenbearbeitung

Hochgenaue Wellen lassen sich im horizontalen Dreh-Schleifzentrum vorteilhaft hart und komplett in einer Spannung bearbeiten. In der Praxis

bewährt hat sich hier beispielsweise die Bearbeitung von Rotorwellen schnelldrehender Elektromotoren auf einer INDEX G300, die mit einer Schleifspindel auf einer manuellen Verstelleinrichtung ausgerüstet ist. Durch Einsatz einer elektrisch rastenden Schwenkeinrichtung lassen sich wechselweise verschiedene Schleifspindeln in einem Zyklus einsetzen.

Komplettbearbeitung gehärteter HSK-Rohlinge

Ein weiterer Anwendungsschwerpunkt liegt in der Bearbeitung von Futterteilen mit Außen- oder Innenschleifoperationen auf vertikalen Drehzentren. Die Maschinen verfügen über je eine Innen- und Außenschleifspindel sowie über einen Werkzeugrevolver. Der großzügige Arbeitsraum der Maschine erlaubt auch die Aufnahme weiterer, kundenspezifischer Werkzeugträger. Der schnelle Wechsel der Innenschleifspindel zur Anpassung an stark unterschiedlich große Innenbohrungen sowie der Einsatz eines Revolvers mit Y-B-Achse und schwerer Frässpindel ist ebenfalls möglich.

In einer weiteren interessanten Anwendung nutzt man die hohe Genauigkeit und Steifigkeit der INDEX-Maschinen, um Werkzeugrohlinge nach der Wärmebehandlung komplett fertig zu bearbeiten. Die Kombination aus Hartdrehen und Schleifen erlaubt hier bei der HSK-Bearbeitung eine Qualitätsverbesserung, indem die Innenkontur mit Spannschräge und die Grei-



Bild 5

ferrille hart fertig gedreht werden können. Die extrem engen Toleranzen an der Außenkontur des Kegels und der Plananlage lassen sich bei kleinen Serien nur durch eine Endbearbeitung mit Messung und Korrektur im Schleifverfahren sicher einhalten. Das Vor-Hartdrehen des Kegels senkt wiederum die Schleifzeiten und damit auch die Abrichtzeiten pro Teil, da nicht mehr bei jedem Teil abgerichtet werden muß.

Die beschriebenen Arbeitsgänge laufen bei einem HSK A 63 in einer Zeit von 95 bis 120 s ab (Bild 5); dies bedeutet eine deutliche Verkürzung der Bearbeitungszeit gegenüber dem Stand der Technik. Durchgeführte Dauerversuche belegen die hohe Qualität der Schleifergebnisse und die Prozeßsicherheit. Eine optimierte Spanntechnik reduziert zusätzlich die Umrüstzeit auf wenige Minuten.

Das oben beschriebene Dreh-Schleifzentrum läßt sich auch mit einer 2. Spannung zur Komplettbearbeitung der HSK ausstatten. In dieser 2. Spannung wird der HSK am fertigen Kegel in der Gegenspindel gespannt und die Werkzeugseite durch eine kombinierte Hartdreh- und Schleifoperation fertig bearbeitet. Zu diesem Zweck sind am Spindelkasten der Maschine eine Innenschleifspindel und Bohrstangen angebracht. Der fertige HSK wird dann wieder durch das Futter der Hauptspindel aufgenommen und auf das Transportband abgelegt.

Fazit

In diesem Beitrag wird gezeigt, daß die Forderung nach verkürzten Prozeßketten zunehmen wird, da die Marktforderung nach geringer Lieferzeit bei kleiner Losgröße und geringen Kosten nur so erfüllt werden kann. Bei der spanenden Herstellung komplexer Teile, an denen eine große Anzahl verschiedener Werkzeuge und Verfahren eingesetzt werden müssen, zieht dies automatisch die Forderung nach der Integration mehrerer Bearbeitungsverfahren in einer Maschine nach sich. Aufgrund der besonderen Stellung der Wärmebehandlung in der spanenden Fertigung gilt dies insbesondere für die Prozeßschritte vor und nach der Wärmebehandlung. Im Bereich der Weichbearbeitung hat sich hier in den letzten Jahren ein neuer Maschinentyp – das Dreh-Fräszentrum – durchgesetzt, das dem Kunden die Möglichkeit bietet, weitgehend fertig bearbeitete Teile mit hoher Qualität, geringen Rüstzeiten und geringen Aufwendungen für die Logistik auf einer Maschine herzustellen. Um die mechanische Komplexität und die Kosten der Verfahrensintegration zu beschränken und auf den Kunden angepaßte Lösungen anbieten zu können, ist aber ein Baukasten von „Technologieträgern“ erforderlich.

Ausgehend von der beschriebenen Entwicklung in der Weichbearbeitung ist eine ähnliche Entwicklung auf dem Gebiet der wärme- oder oberflächenbehandelten Werkstücke zu erwarten. Diese Teile werden durch Hartdrehen und Schleifen fertig bearbeitet. Beide Verfahren stehen in einem harten Konkurrenzkampf, besitzen jedoch jeweils spezifische Vorteile, so daß viele Aufgaben mit nur einem der Verfahren nicht optimal gelöst werden können. Erst die Kombination beider Verfahren erschließt weitere Rationalisierungspotentiale.

INDEX-Werke GmbH & Co. KG

Hahn & Tessky

Plochinger Straße 92

73730 Esslingen

Tel. (0711) 3191-0

Fax (0711) 3191-587

www.index-werke.de