

# Was bringt Mineralguss als Drehmaschinenbett?

Mit Verbundbetten aus Zementbeton, gehärtetem Guss und hydrodynamischen Gleitführungen können für Fertig- und Hartdrehoperationen sehr gut geeignete Maschinenkonzepte aufgebaut werden.

Mit Betten aus Mineralguss und Wälzführungen lassen sich unter Beachtung einiger konstruktiver Gesichtspunkte bei verringerten Kosten und Durchlaufzeiten ähnliche Eigenschaften erzielen.



MATTHIAS KOHLHASE, ADRIAN RIEGEL  
UND LEO SCHREIBER

Mineralguss auf Reaktionsharzbasis (Reaktionsharzbeton, RHB) erfreut sich in den letzten Jahren als alternativer Bettwerkstoff im Werkzeugmaschinenbau zunehmender Beliebtheit [1]. Dass Mineralgussbetten schon seit geraumer Zeit Verwendung finden, ist häufig nicht bekannt. So stellte Boehringer bereits 1944 die erste Drehmaschine mit einem Untergestell aus hydraulisch gebundenem Mineralguss (HGB, Zementbeton) her, damals in erster Linie wegen mangelnder Verfügbarkeit an Gusswerkstoffen. Die so aufgebauten Drehmaschinen liefen sehr ruhig; das Bettkonzept wurde daher aus technologischen Gründen, insbesondere wegen der hohen Dämpfung, weiterentwickelt und erfolgreich bis heute eingesetzt. Aufbauend auf diesen Erfahrungen wurde jetzt eine neue Maschinengeneration entwickelt, deren Bett komplett aus RHB besteht.

**Drehmaschinenkonzept muss Regenerativ-effekt vermeiden**

RHB-Betten werden bei Bearbeitungszentren bereits in großen Stückzahlen eingesetzt [2]. Im Gegensatz zum Fräsen ist aber beim Drehen, wegen des kontinuierlichen Schneideneingriffs, der Neigung zum Rattern (Regenerativ-effekt) besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Verein-

## GRÜNDE FÜR DEN EINSATZ EINES RHB-BETTS MIT WÄLZFÜHRUNGEN

### Verbesserung der Gebrauchseigenschaften

- Hohe Dämpfung
- Höhere Werkzeugstandzeiten
- Geringere Schallemission
- Höhere thermische Trägheit
- Geringere Positionierunsicherheit

### Reduzierung des Herstellungsaufwandes

- Geringere Modellkosten
- Geringere Lagerhaltung, kurzfristigeres Disponieren
- Geringere mechanische Bearbeitung
- Geringere Werkzeugkosten
- Geringerer Montageaufwand
- Kürzere Durchlaufzeit
- Kein Korrosionsschutz
- Günstigere Energiebilanz bei der Herstellung und Verwertung

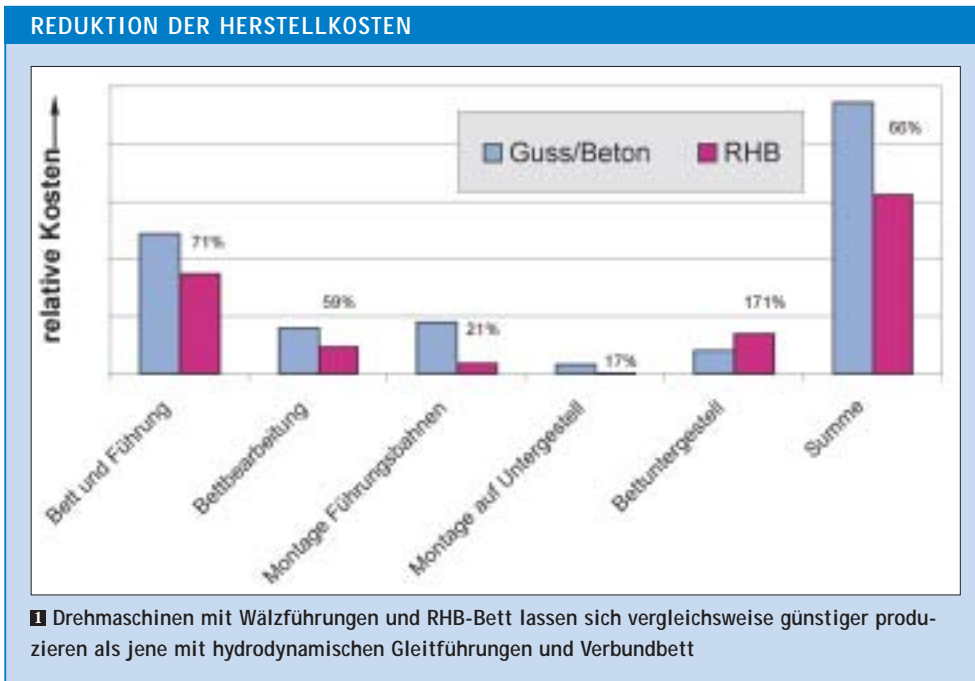
facht ausgedrückt: beim Regenerativ-effekt werden Maschinenteile in ihren energetisch niedrigsten Eigenschwingungsformen angeregt und verursachen eine Spannungsdickenmodulation. Diese erhält die zunächst aus dem Schnittkrafttrauschen mit einem breiten Frequenzspektrum angeregte Schwingung von selbst in der

Eigenfrequenz. Selbst erregte Schwingungen führen zu schlechten Oberflächen und unter Umständen auch zum Werkzeugbruch. Um derartige Phänomene zu beherrschen und den Drehprozess so sicher wie möglich zu machen, bedarf es neben einer möglichst hohen Systemdämpfung einer gezielten Beeinflussung der Eigenschwingsformen und -frequenzen.

Neben den Einbußen in Oberflächenqualität und Prozesssicherheit wird durch das oft kaum bemerkbare Rattern die Werkzeugstandzeit in erheblichem Maße reduziert. Anwender geben bei gleicher Bearbeitungsaufgabe auf unterschiedlichen Maschinen Standzeitunterschiede von bis zu 50 Prozent an. >>>

### **i** HERSTELLER

Boehringer Werkzeugmaschinen GmbH,  
73002 Göppingen,  
Tel. 0 71 61/20 601,  
Fax 0 71 61/20 13 53,  
[www.boehringer-werkzeugmaschinen.de](http://www.boehringer-werkzeugmaschinen.de)



►► Eine hervorragende Systemdämpfung wurde bislang im Verbundbett Guss/Beton durch den Einsatz des mit – im Vergleich zu metallischen Werkstoffen – deutlich besseren Dämpfungseigenschaften ausgestatteten Zementbetons im Untergestell und den breiten hydrodynamischen Gleitführungen des Gussoberteils erreicht [3]. Nachteile des Konzepts sind ein hoher Herstellungsaufwand, die Beschränkung der Verfahrgeschwindigkeit und die nicht konstanten Reibungsverhältnisse durch hydrodynamische Effekte.

Neben der hohen dynamischen Steifigkeit der Drehmaschine ist auch eine hohe statische Steifigkeit anzustreben. Der Trend zu engeren Toleranzen, zum Hartdrehen und Fertigdrehen verlangt verformungsärmere, steifere Maschinen. Weiterhin dürfen bei einer Fertigdrehbearbeitung aus Genauigkeitsgründen nur geringe Verlagerungen am Werkzeugpunkt durch Wärmeeinflüsse auftreten.

**RHB ermöglicht Nutzung von Wälzfürungen**

Bei der Neukonzeption einer NC-Drehmaschinenbaureihe wurde jetzt Mineralguss auf Epoxidbasis als Bettwerkstoff gewählt. Unter Berücksichtigung der Erfahrungen mit den Verbundbetten Guss/Beton waren hierbei die im Kasten dargestellten Faktoren maßgeblich

Durch höhere Verfahrgeschwindigkeiten sollten die Nebenzeiten reduziert und damit eine wesentlich höhere Produktivität erzielt werden. Da die Grenzen der Gleitführungen hier erreicht waren, konnte

nur durch den Systemwechsel zu Wälzfürungen der benötigte Leistungssprung erreicht werden. Zusätzlich entfällt bei Wälzfürungen der Stick-Slip-Effekt der hydrodynamischen Gleitführungen. Die daraus resultierende, geringere Positionsunsicherheit kommt den zunehmenden Präzisionsanforderungen entgegen. Die Kosten einer Grundmaschine mit montierten Linearführungen sind deutlich niedriger als die mit geschabten Gleitführungen.

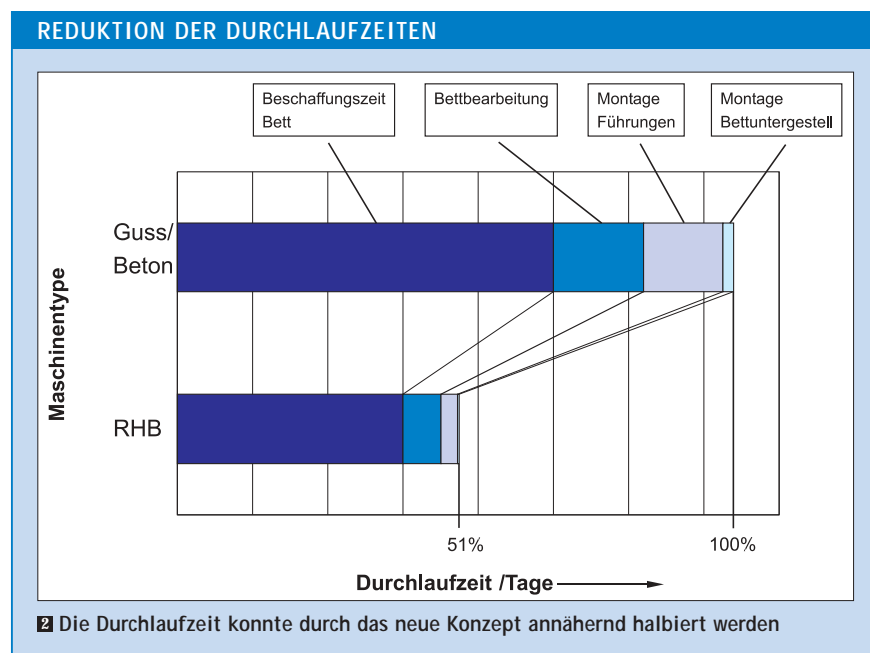
Ein Nachteil der Wälzfürungen ist jedoch ihre vergleichsweise geringe Dämpfung. Um gleiche oder verbesserte Drehergebnisse sowie gleiche oder höhere

Werkzeugstandzeiten (kein Rattern) zu erreichen, musste die dynamische Steifigkeit der alten Maschinenkonzepte unbedingt beibehalten werden. Hierzu wurden im Wesentlichen die drei folgenden Maßnahmen ergriffen:

1 Einsatz von Linearführungen mit vergleichsweise hoher Dämpfung: Die üblicherweise schwache Dämpfung der Linearführungen wurde durch die Wahl einer sechsreihigen, hoch vorgespannten Kugelführung maximiert.

2 Einsatz von hoch dämpfendem RHB als Bettwerkstoff mit Kraftfluss durch das Bett: Während die Gestellbauteile wie Spindelstock, Führungen, Reitstock und Supporte teils aus konstruktiven Gründen nur schwierig mit hoher Mate-

rialdämpfung auszustatten sind, kann das Bett durch Wahl eines geeigneten Werkstoffs einfacher mit den notwendigen Dämpfungseigenschaften ausgestattet werden. Vergleicht man die verschiedenen Werkstoffalternativen, zeigt RHB die besten Voraussetzungen in Form des höchsten logarithmischen Dekrements von 0,022. RHB ist somit hinsichtlich der Dämpfung noch günstiger als der bislang eingesetzte, hydraulisch gebundene Beton (< 0,02). Zudem entfällt beim Einsatz von RHB und den Linearführungen das Gussoberbett, und der Kraftfluss läuft direkt durch den RHB-Bettkörper. ►►

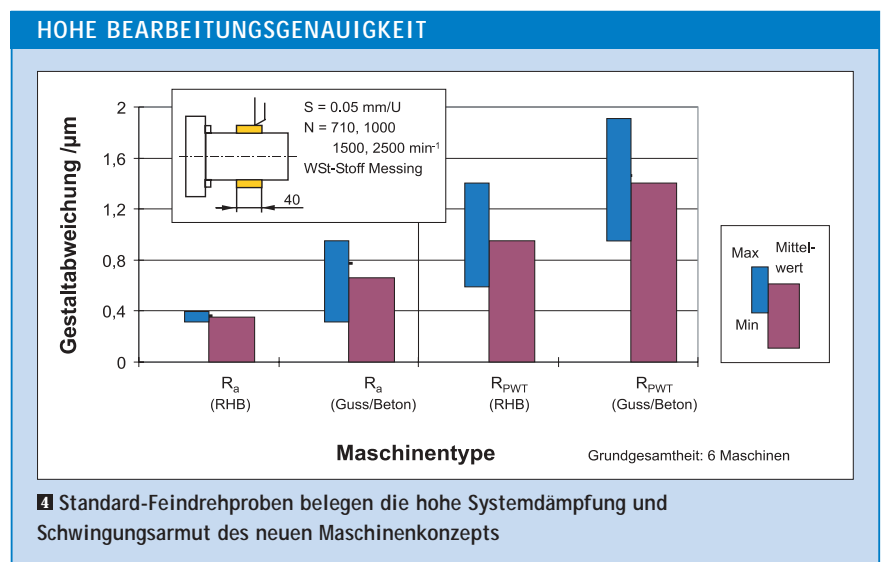


3 FEM-Schwingungssimulation und Abstimmung der statischen und dynamischen Nachgiebigkeiten der Bauteile in der Konstruktionsphase: Die Maschine wurde als Mehrmassenschwinger-Modell einer statischen und dynamischen FEM-Analyse unterzogen. Kritische Eigenformen konnten so durch das Abstimmen der Massen und Steifigkeiten von Bett und den weiteren Baugruppen ausgeräumt werden.

Zusätzlich brachte der alternative Bettwerkstoff folgende technische Vorteile mit sich: RHB reagiert aufgrund der geringen Wärmeleitfähigkeit deutlich langsamer als Guss auf Temperaturänderungen. Leider werden dadurch und wegen der geringeren Wärmekapazität in der Nähe von Wärmequellen höhere Temperaturen und damit höhere lokale Dehnungen verursacht. Ein Phänomen, das aber konstruktiv durch symmetrischen Aufbau und entsprechenden Wandstärken beherrschbar ist [4].

Gleichzeitig wurde durch Abdeckungen der direkte Wärmefluss in die Gestellbauteile weitgehend unterbunden. Im Gebrauch führte der derart minimierte und träge Restwärmegang zu größerer Prozessstabilität. Angesichts stärkerer thermischer Belastungen durch vermehrte Trockenbearbeitung und steigender Leistungsdichten von Antriebsmotoren und Spindeln ist RHB – unter Beachtung der konstruktiven Randbedingungen – auch in dieser Hinsicht eine zukunftsweisende Werkstoffalternative.

Die Körperschallabstrahlung wird durch RHB ebenfalls gedämpft. RHB liefert damit auch einen Beitrag zur Senkung der Geräuschemissionen. Das neue Bettkonzept weist weiterhin eine positivere Gesamtökobilanz bei Herstellung, Bear-



beitung und Weiter- beziehungsweise Wiederverwendung auf als ein Gussbett, das durch einen hohen Energieeinsatz gekennzeichnet ist [5]. Das Konzept Wälzführung und RHB-Senkrechtbett begünstigt auch die Trockenbearbeitung; die Schmiermittelmengen werden im Gegensatz zur Verlustschmierung hydrodynamischer Gleitführungen erheblich reduziert.

#### Kompakte Bettform berücksichtigt Werkstoffeigenschaften

Der Bettkörper ist gemäß der mechanischen Eigenschaften des RHB sehr kompakt gestaltet. Mit mineralischen Bettwerkstoffen kann die Anforderung nach geringer Verformung durch statische Lasten, aufgrund des deutlich geringeren E-Moduls, schwieriger als mit Guss erfüllt werden. Kompensierbar ist dies jedoch durch die geringere Dichte. RHB-Betten

weisen daher größere Querschnittsflächen auf, um den Anforderungen an Eigen- und statischer Steifigkeit gerecht zu werden. Dünn wandige Gestelle sind nur als aufwendige und teure Sandwichkonstruktionen mit Stahl möglich [6]; alle weiteren Gestellbauteile wurden daher aus Grauguss gefertigt.

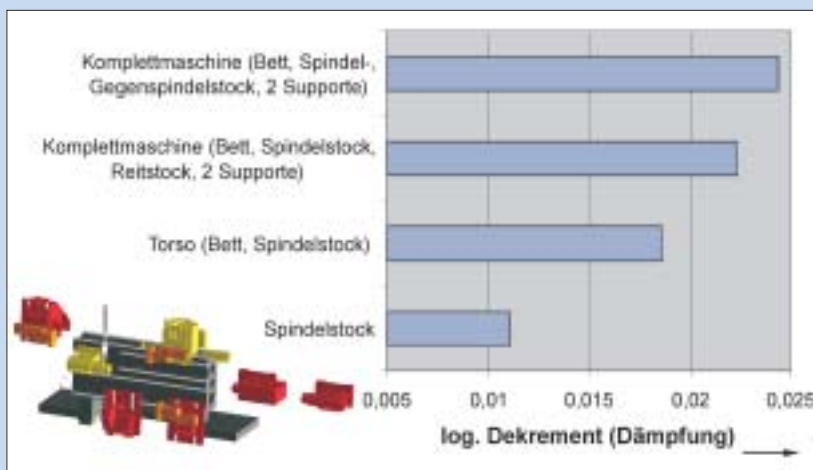
Der Bettkörper ruht auf einem Untergestell, das gleichzeitig als Tropfwanne für Kühlschmiermittel dient. Das Bett kann die Linearführungen auf drei, jeweils über die gesamte Länge durchlaufend geschliffenen Flächenpaaren tragen. Die Bahnen auf der Betoberseite können zwei Supporte aufnehmen, die oberen der Vorderseite entweder NC-Reitstock oder Gegen spindle. Die unteren Bahnen sind für einen Support und eine Lünette vorgesehen. Sämtliche Dübel / Inserts sind eingegossen, sodass der Montageaufwand minimiert werden kann. Die Maschine kann sehr einfach modular bestückt werden; ein zusätzlicher Aufwand für eine kundenspezifische Konfiguration ist nicht notwendig.

#### Systemwechsel spart Kosten und Durchlaufzeit

Die erzielten Kosteneinsparungen durch die Veränderung des Bettkonzepts können nur im Zusammenhang mit den Führungen gesehen werden; beim Verbundbett Guss/Beton sind die Führungsbahnen Bestandteil des Gussoberbetts und können folglich nicht separat bewertet werden (Bild 1).

Beim Bettkörper aus Mineralguss (RHB) liegen die Beschaffungskosten fast 50 Prozent unter denen des Verbundbetts, auch mit den Zukaufteilen Führungsbahnen ergibt sich immer noch ein wesentli-

#### VERBESSERTE SYSTEMDÄMPFUNG



**3** Das RHB-Bett hat einen erheblichen Einfluss auf die Systemdämpfung

►► cher Vorteil. Deutliche Einsparungen liegen bei der Bettbearbeitung und der Komplettierung bzw. der Montage des Betts vor: Im Fall des RHB-Betts müssen nur durchgehende Auflageflächen und Anschläge für die Linearführungen präzise geschliffen werden. Beim Gleitführungsbett aus Meehanite-Guss muss weich vorbearbeitet, gehärtet und schließlich geschliffen werden.

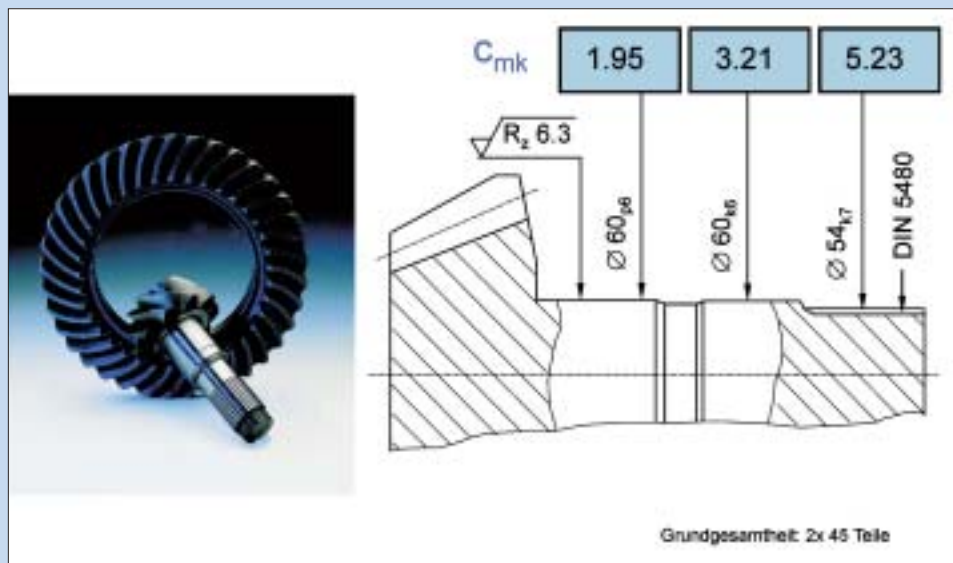
Da die Führungsbahnen nicht mehr wie bei den Gleitführungen aufwändig durch Schaben angepasst werden müssen, wird der Montageaufwand erheblich reduziert. Im Fall der Linearwälzführungen werden die Schienen mit Wagen und die Gestellbauteile lediglich montiert und ausgerichtet – sie bringen mindestens gleichwertige Positionierergebnisse. Die Montage von Bett und Untergestell besteht beim neuen Bettkonzept nur im Aufschrauben, wohingegen die zwei Teile des Guss/Beton-Betts mit deutlich höherem Aufwand geklebt werden. Höhere Kosten verursacht nur das geschweißte Untergestell des RHB-Betts gegenüber dem Betonsockel des Verbundbetts. Die Gesamteinsparung der genannten Kostenfaktoren beläuft sich auf 33 Prozent und trägt deutlich zur angestrebten Senkung der Herstellkosten bei gleicher Leistungsfähigkeit bei. Noch stärkere Effekte lassen sich seitens der Durchlaufzeitanteile (Bild 2) erzielen. Mit Ausnahme der kritischen Beschaffungszeit für den Bettkörper sind die Zeitanteile von Dritten unbeeinflusst. Die gesamte Durchlaufzeit für das RHB-Bett mit Wälzführungen ist derzeit um 51 Prozent niedriger als die der Vorläuferkonstruktion.

### Bett hat einen großen Einfluss auf die Systemdämpfung

Um den Einfluss des RHB-Betts auf die Systemdämpfung zu quantifizieren, wurden Schwingungsuntersuchungen an der Maschine mit Wälzführung/RHB-Konzept in verschiedenen Aufbaustadien vorgenommen. Hierzu wurde ein Test-Werkstück im Futter gespannt und impulsförmig angeregt. Das logarithmische Dekrement ließ sich aus der Abklingkurve bestimmen.

Es zeigte sich anhand des großen

### AUCH GUT FÜRS HARTDREHEN



■ Kritische Maschinenfähigkeitsindizes beim Hartdrehen eines Antriebskegelrads

Sprungs des Wertes vom Spindelstock zum Torso (Spindelstock am Bett) und dem vergleichsweise geringen Unterschied von Torso zu teil- beziehungsweise komplett montierten Maschinen, dass das Bett den größten Anteil zur Systemdämpfung beiträgt (Bild 3).

Das neue Bettkonzept musste sich letztendlich in Form der Qualität des Bearbeitungsergebnisses, der Drehleistung und der Prozesssicherheit in der Anwendung beweisen. Von besonderem Interesse war die Verifizierung der angestrebten Schwingungsarmut. Bei der Standard-Feindrehprobe wird ein Messingwerkstück unter jeweils identischen Bedingungen längsgedreht und  $R_a$  sowie  $R_{PWT}$  gemessen. Da die beiden Maschinentypen nahezu gleiche Motorspindeln (ähnliche Fremderregung), Spindelstöcke und Revolver haben, lässt sich das Ergebnis zur Bewertung der Systemdämpfung und Steifigkeit heranziehen. Das RHB-Wälzführungskonzept unterbietet die schon sehr guten Werte des Guss/Beton-Bett-Gleitführungskonzepts (Bild 4).

### Hohe Systemdämpfung garantiert beste Drehergebnisse

Auch alle Anwendererfahrungen zeigen, dass sich das Maschinenkonzept sowohl für Feindrehoperationen bei der Weichbearbeitung als auch insbesondere für die Hartbearbeitung sehr gut eignet. Die Maschine weist die dafür notwendigen und angestrebten Eigenschaften einer hohen Systemdämpfung, einer hohen statischen Steifigkeit sowie eines geringen

Wärmegangs auf. Bild 5 verdeutlicht beispielsweise die beim Hartdrehen eines Antriebskegelrads für eine LKW-Achse erreichten

kritischen Maschinenfähigkeitsindizes ( $cm_k$ -Werte) für die Durchmesser in Qualität IT6. Bei diesem Werkstück wurden Rundheiten von 1  $\mu$ m erreicht. Zu bemerken ist weiterhin, dass bei zwei der Passungen ein unterbrochener Schnitt vorlag.

Mit einer die spezifischen Werkstoffeigenschaften von RHB berücksichtigenden Bettkonstruktion und durch Wälzführungen mit einer vergleichsweise recht hohen Dämpfung sowie einer Konzeptoptimierung durch eine FEM-Simulation wurde der Umstieg von Verbundbetten aus hydraulisch gebundenem Beton mit Guss auf ein RHB-Bett-Konzept vollzogen. Die Drehergebnisse der im Vergleich bereits sehr gut für Fertig- und Hartdrehoperationen geeigneten Maschinentypen wird durch die neue Maschinengeneration zum Teil sogar noch übertroffen. ►►

## LITERATUR

- 1 E.-K. Prössler: Mineralguss im Maschinenbau. expert-Verlag, 1991.
- 2 D. Sahn: Reaktionsharzbeton für Gestellbauteile spanender Werkzeugmaschinen. Diss. RWTH Aachen, 1987.
- 3 M. Kohlhasse, L. Schreiber, M. König: Drehmaschinenkonzepte für die Hartbearbeitung – Einsatz alternativer Technologien Drehen statt Schleifen. VDI-Bericht 1399, VDI-Verlag, 1998.
- 4 H. Gerloff: Beitrag zum Einsatz von Reaktionsharzen in Werkzeugmaschinen. Diss. TU Braunschweig, 1988.
- 5 D. Fiedler: Recycling von Mineralguss im Maschinenbau. Diss. Universität Magdeburg, 1999.
- 6 J. Meschke: Verbesserung des dynamischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen durch Erhöhung der Systemdämpfung. Diss. TU Braunschweig, 1995.

## BENEFITS OF MINERAL CAST FOR LATHE FRAMES

Composite beds made of cement concrete and hardened castings as well as hydro-dynamic slideways can be used for making up highly appropriate machine concepts for finish and hard turning operations. With beds made of reaction resin concrete and combined with antifriction guideways, similar characteristics can be achieved at reduced costs and run times when certain design aspects are duly respected.

Dipl.-Ing. Matthias Kohlhasse ist Geschäftsführer Technik und Produktion bei Boehringer Werkzeugmaschinen;  
 m-kohlhasse@boehringer-werkzeugmaschinen.de

Dr.-Ing. Adrian Riegel ist Projektkonstrukteur im selben Unternehmen;  
 a-riegel@boehringer-werkzeugmaschinen.de

Dr.-Ing. Leo Schreiber ist Leiter der Prozesstechnik im selben Unternehmen;  
 l-schreiber@boehringer-werkzeugmaschinen.de