

Vergleich gängiger Werkzeugaufnahmen für Schaftwerkzeuge

Dynamisches Verhalten von Werkzeugaufnahmen

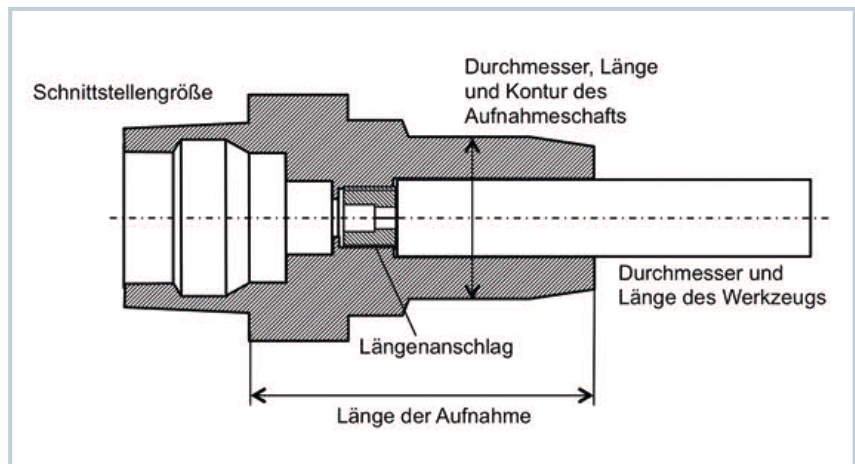
Die Hochschule Reutlingen hat eine vergleichende Untersuchung an Spannfuttern für Schaftfräser vorgenommen. Fazit: Die Steifigkeit einer Aufnahme hat einen stärkeren Einfluss auf das Schwingverhalten als das Dämpfungsvermögen.

VON PAUL HELMUT NEBELING

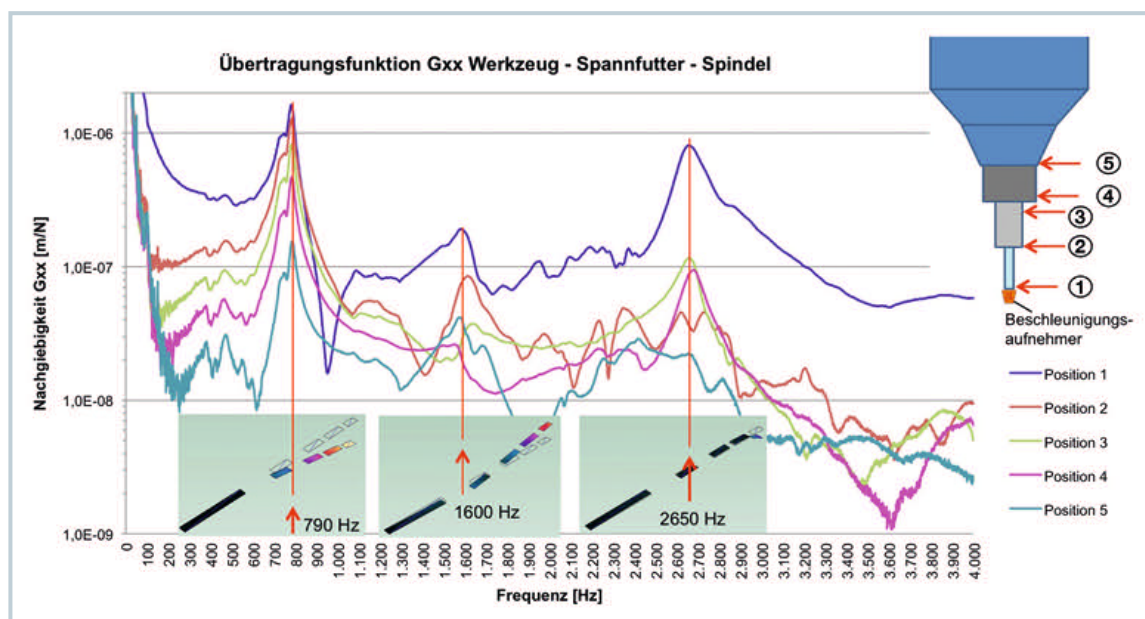
→ Das dynamische Verhalten von Werkzeugmaschinen besitzt entscheidenden Einfluss auf die Bearbeitungsergebnisse. Zusammen mit dem Eigenverhalten der Maschine und dem Werkstück ergibt dies die für die Bearbeitungsgenauigkeit entscheidende statische Steifigkeit und die dynamische Nachgiebigkeit. Im Folgenden wird das Zusammenspiel dieser Komponenten im System näher dargestellt.

Zerspanung mit Schaftfräsern

Bei der Bearbeitung von Werkstücken kommen häufig Schaftfräser mit unter-



1 Schnitzzeichnung mit den entscheidenden Maßen einer Werkzeugaufnahme



2 Die Schwingformen des Spindel-Aufnahme-Werkzeug-Gesamtsystems belegen den Einfluss der unterschiedlichen Anregungspositionen

schiedlicher Stirngeometrie zum Einsatz. Zylindrische Werkzeuge in scharfkantiger, gefaster oder mit einem kleinen Radius versehene Werkzeuge werden beispielsweise für die Bearbeitung von Flächen, Nuten und Kanten eingesetzt. Vollradiuswerkzeuge kommen dagegen häufig bei der Bearbeitung von Formen zum Einsatz.

Auf die Werkzeuge wirken überwiegend tangentiale und radiale Kräfte. Axiale Kraftanteile werden durch den Drallwinkel der Spirale und die Stirnschneiden verursacht. Die Schnittkräfte variieren in Betrag und Richtung in Abhängigkeit der Winkelposition des Eingriffsbereichs des Werkzeugs. Die bei der Bearbeitung auftretenden axialen Kräfte müssen von der Werkzeughalterung sicher aufgenommen werden. Für deren Absicherung wird teilweise eine mechanische, formschlüssige Absicherung verwendet.

Derartige Schaftwerkzeuge werden häufig auf ein- oder mehrspindligen Bearbeitungszentren (BAZ) eingesetzt. Insbesondere bei mehrspindligen BAZ ist die Einstellung der auskragenden Länge der parallel eingesetzten Werkzeuge ein wichtiges Kriterium, um eine gleichbleibend hohe Genauigkeit an den Werkstücken sicherzustellen.

Verfügbare Werkzeugaufnahmen

Werkzeuge werden mit unterschiedlichen konstruktiven Prinzipien in der Maschine aufgenommen. Einheitlich ist dabei die genormte Schnittstelle zur Maschinenspindel. Diese wird häufig als Steilkegel oder Hohlchaftkegel ausgeführt. Insbesondere die Hochschaftkegel-Schnittstelle ermöglicht eine hohe Steifigkeit und Genauigkeit.

Bild 1 zeigt schematisch den Querschnitt einer Werkzeugaufnahme für Schaftfräserwerkzeuge. Für das statische und dynamische Verhalten entscheidend sind die Schnittstelle, die Länge und die Außenkontur der Aufnahme. Die Schnittstelle ist durch die Spindel der Bearbeitungsmaschine vorgegeben. Der Innendurchmesser wird durch das Werkzeug selber bestimmt. Länge und Außendurchmesser sind in gewisser Weise variabel.

Die Hartmetall-Werkzeugrohlinge werden typischerweise mit einer Toleranz der IT-Klasse 5 und Rundheiten von $\leq 5 \mu\text{m}$ gefertigt. Diese Toleranz entspricht bei

typischen Schaftdurchmessern von bis zu 30 mm einem Wert von $\leq 9 \mu\text{m}$. Die Aufnahmen werden mit ähnlichen Toleranzen hergestellt, sodass bei hohen Traganteilen (geringen Rauheiten) der Oberflächen eine enge Passung zwischen Werkzeug und Aufnahme vorhanden ist.

Die Werkzeugaufnahme selber muss verschiedenen Kriterien genügen, die teilweise durch die Werkstücke und die Aufspannung der Werkstücke bedingt sind. Grundsätzlich sollten diese so kurz und steif wie möglich gewählt werden. Jedoch kann die Bearbeitungsaufgabe fallweise das Erzeugen tiefer Kavitäten oder innenliegender Konturteile beinhalten. Dies gelingt nur mit länger auskragenden und – im Sinne möglichst kleiner Störkonturen – schlankeren Werkzeugausführungen, was wiederum die statische und dynamische Nachgiebigkeit des Systems erhöht.

Dynamisches Systemverhalten

Bild 2 zeigt die Übertragungsfunktionen mit Anregung an unterschiedlichen Positionen an Spindel, Aufnahme und Werkzeug. Dabei war der Sensor immer an der Spitze des Werkzeugs befestigt, sodass dessen Resonanzen stets enthalten sind. Bei der Untersuchung wurde der Frequenzbereich bis 4000 Hz verwendet, da die Eigenfrequenz des Werkzeugs selbst und der Aufnahme dadurch abgedeckt werden. Die Eigenfrequenzen des Maschinengestells (bestehend aus Schlitten, Ständer, Bett et cetera) liegen typischerweise im Bereich unterhalb von 300 Hz. In den Übertragungsfunktionen ist dieser Frequenzbereich nicht ausgewertet, da er für die vergleichende Betrachtung nur durch die Veränderung der statischen Nachgiebigkeit relevant ist. Die durch die Maschinengestellkomponenten verursachte Nachgiebigkeit verändert sich bei der Betrachtung der Werkzeug- und Aufnahmennachgiebigkeit in den Untersuchungen nicht. >>>



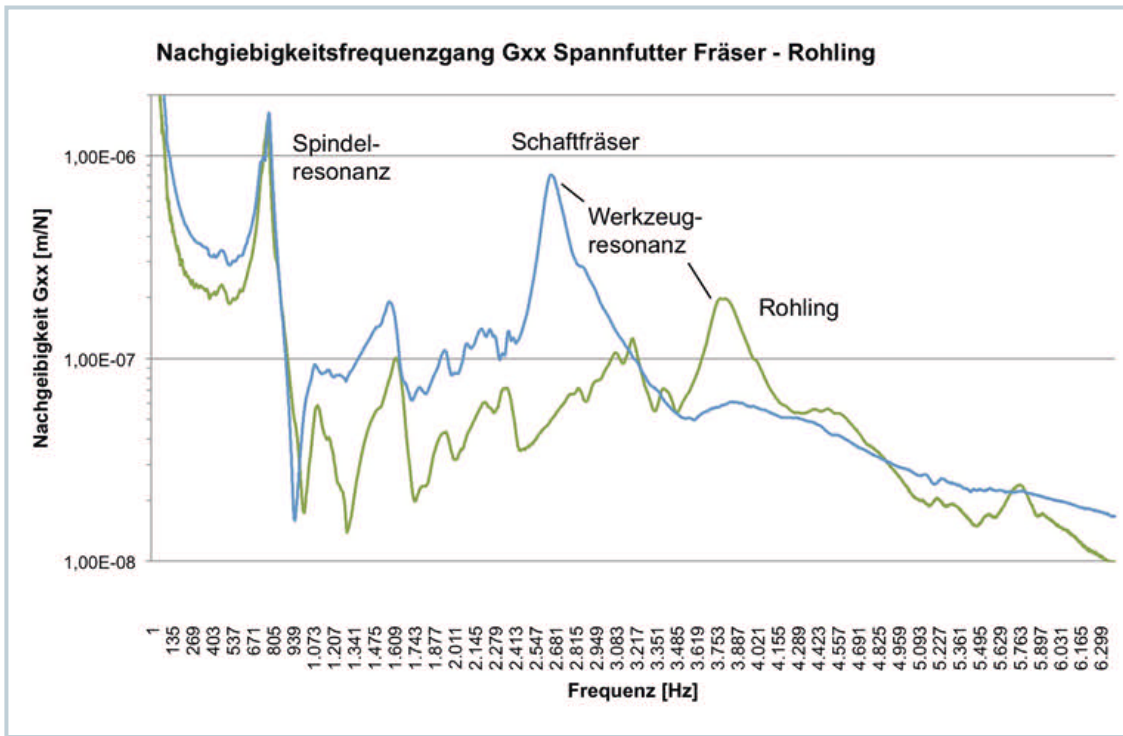
EXTREM STABIL - TANGENTIALER ECKFRÄSER SQUARE T4

Entdecken Sie die neuesten Zerspanungslösungen von Seco: die neue erste Wahl im Konturfräsen **SQUARE T4** - und die Menschen, die dahinter stehen. Herzlich Willkommen auf der AMB, 16. bis 20.9.2014 in Stuttgart!

KOMMEN & ENTDECKEN.

i INSTITUT

Hochschule Reutlingen
Fachgebiet Werkzeugmaschinen,
Fertigungssysteme, Steuerungstechnik
und Rapid Prototyping
72762 Reutlingen
Tel. +49 7121 271-7051
www.tec.reutlingen-university.de



3 Vergleich der Nachgiebigkeit zwischen einem Hartmetall-Werkzeugrohling und einem einsatzbereiten, genuteten Schaftfräser

Die Übertragungsfunktionen zeigen, dass die statische Nachgiebigkeit an der Werkzeugspitze ungefähr um einen Faktor 30 höher liegt als an der Spindel. Die durch das Maschinengestell verursachten Resonanzfrequenzen lassen sich in der Übertragungsfunktion an der Werkzeugspitze aufgrund der hohen Unterschiede der Nachgiebigkeit kaum erkennen.

In den Übertragungsfunktionen ist bei knapp unter 800 Hz eine Resonanzfrequenz zu beobachten, die auf eine Biegeschwingung der Frässpindel zurückzuführen ist. Durch die größere Auskrümmung der Aufnahme und des Werkzeugs steigt die Nachgiebigkeit bei Messpositionen weiter zum Werkzeug hin, was die Steigerung bei der Spindelresonanz erklärt. Die bei

1600 Hz erkennbare Schwingungsform resultiert aus dem Abknicken der Aufnahme. Die oberste Eigenfrequenz bei 2650 Hz ist die Biegeeigenfrequenz des Werkzeugs mit Schaft im vorderen Teil der Aufnahme.

Bei den Untersuchungen wurde ein Hydrodehnspannfutter verwendet, bei dem sich die Biegung des Werkzeugs stärker und bei niedrigeren Frequenzen ausbilden kann als zum Beispiel bei einem Schrumpffutter. Dies resultiert aus der Spannmembran des Hydrodehnspannfutters, die nicht so steif ist wie bei einer glatten Aufnahme.

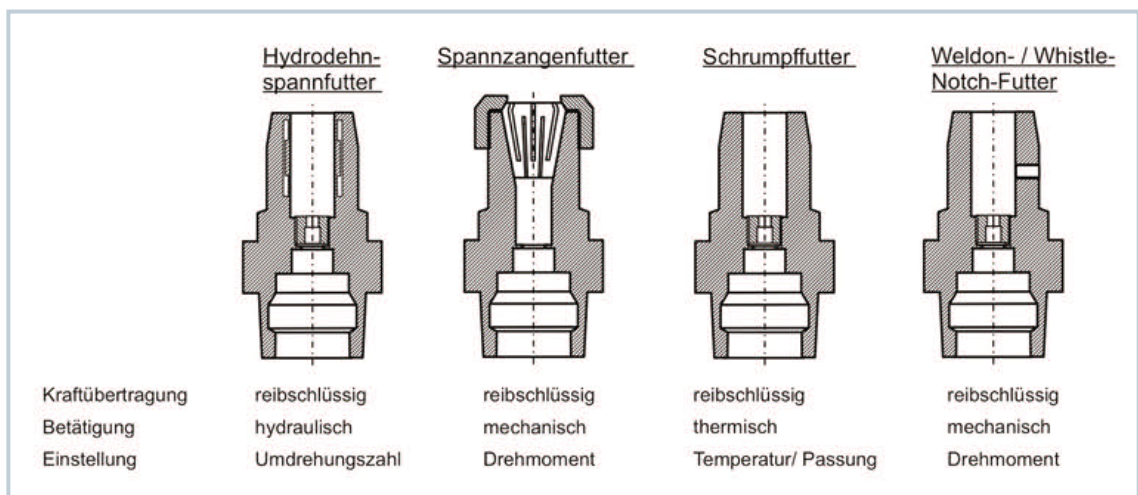
Der Einfluss der Werkzeugnachgiebigkeit wurde mit einem unbearbeiteten Werkzeug-Hartmetallrohling und mit einem genuteten Fräser vergleichend unter-

sucht. Dabei sind durch die Einbringung der Nuten ungefähr eine Halbierung der statischen Nachgiebigkeit des Gesamtsystems und eine deutliche Beeinflussung der dynamischen Nachgiebigkeit und Werkzeugeigenfrequenz erkennbar. Auch die Resonanzfrequenz des Werkzeugs wird signifikant verschoben (Bild 3). Ähnliche Effekte ergeben sich durch die Veränderung der Werkzeughöhe.

Untersuchung unterschiedlicher Werkzeugaufnahmen

Hinsichtlich des dynamischen Verhaltens spielt auch die Dämpfung unterschiedlicher Aufnahmen eine Rolle. Bei allen Werkzeugaufnahmen steht jedoch die geometrisch exakte und steife Aufnahme im

4 Am Markt verfügbare, unterschiedliche Werkzeugaufnahmeprinzipien für Schaftwerkzeuge



Vordergrund, um qualitativ hohe Werkstücke zu realisieren. Zur Aufnahme der Werkzeuge ist die geometrisch bestimmte und eng tolerierte Passung erforderlich. Als Aufnahmeprinzipien für die Werkzeuge kommen

- Spannzangenfutter
- Schrumpffutter
- Hydrodehnspannfutter
- Whistle-Notch-/Weldon-Aufnahmen zum Einsatz (Bild 4, schematisch).

Starre Schrumpfaufnahmen spannen das Werkzeug in einer engen Passung beziehungsweise ohne Toleranz. Zur Montage der Schaftwerkzeuge wird die Schrumpfaufnahme erwärmt, wodurch das Übermaß des Werkzeugs überwunden und der Werkzeugschaft nach dem Abkühlen ohne Passungsspiel vollflächig gespannt wird. Bei den Klemmfuttern (Whistle-Notch/Weldon) sind ebenso wie bei Hydrodehnspannfuttern zwischen der

wird gegenüber Klemmfuttern nicht rein mechanisch, sondern durch das allseitige Anlegen einer Membran mit einem Hydraulikmedium realisiert. Bei Hydrodehnspannfuttern ist es jedoch zur steifen Aufnahme erforderlich, dass sich die Werkzeugschäfte vor und hinter der Membran-Spannzone an der massiven Futterwand abstützen, um die erforderliche Steifigkeit und die Dauerhaltbarkeit zu gewährleisten. Eine Spannung des Schaftendes im Bereich der Membranzone kann zu einer Beschädigung der Werkzeugaufnahme führen.

Dynamische Eigenschaften der unterschiedlichen Aufnahmen

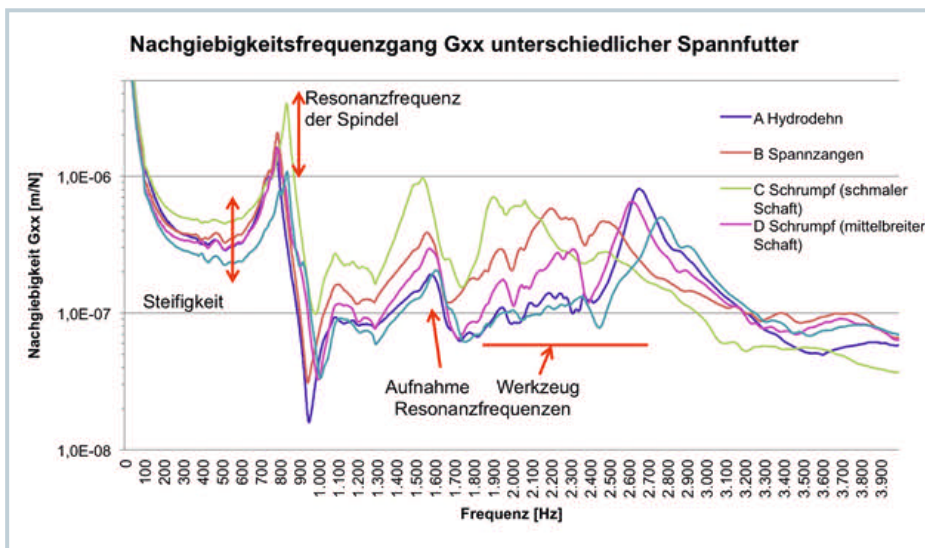
Neben der statischen und dynamischen Nachgiebigkeit ist bei der Betrachtung der Stabilitätseigenschaften während der Bearbeitung auch die Dämpfung des Gesamtsystems relevant (Bild 5). Bei der



VIBRATIONEN MINIMIEREN BIS 10 X D - STEADYLINE™

Seco präsentiert Ihnen die neueste Werkzeug-Innovation: schwingungsgedämpfte Aufnahmen **STEADYLINE** - und die Spezialisten, die Sie vor Ort unterstützen.

Besuchen Sie uns auf der AMB, 16. bis 20.9.2014 in Stuttgart!



5 Einfluss unterschiedlicher Spannfutter-Bauarten auf den Nachgiebigkeitsfrequenzgang

Aufnahme und dem Werkzeugschaft im Bereich der Zentrierung einige Mikrometer Luft. Spannzangenfutter hingegen weisen durch die Aufnahme mit einer zusätzlichen Schnittstelle (Schnittstellen S: Werkzeug, S1: Spannzange, S2: Aufnahme) eine starre flächige Passung auf. Bei gleicher Außenkontur weisen Spannzangenfutter aufgrund der zusätzlichen Komponente ›Spannzange‹ eine geringere Außenwandstärke und damit eine geringere Steifigkeit als die anderen Futter auf.

Die Spannung bei Hydrodehnfuttern

Stabilität während der Bearbeitung ist vor allem die dominante Resonanzfrequenz ausschlaggebend, sofern diese auch mit einer Phasendrehung der gerichteten Nachgiebigkeit verbunden ist. Unter diesen Voraussetzungen tritt dann in der gerichteten Nachgiebigkeitsortskurve (Anregung der Struktur in Hauptschnittkraftrichtung und Verlagerung in Spandickenänderungsrichtung) ein negativer Realteil auf.

Bei den Untersuchungen der verschiedenen Werkzeugaufnahmen ließen sich Unterschiede der statischen und dy- >>>

KOMMEN & ERLEBEN.



»» namischen Nachgiebigkeit ermitteln. Der Einfluss der Steifigkeit ist an der Zerspanstelle deutlich erkennbar. Bei den beiden Eigenfrequenzen der Maschinenspindel und der Aufnahme unterscheidet sich die Nachgiebigkeit entsprechend der statischen Steifigkeit, wobei die Dämpfung dieser Resonanz nur unwesentlich durch die Werkzeugaufnahme beeinflusst wird.

Bei den Resonanzfrequenzen der Werkzeuge in den Aufnahmen wirkt sich vor allem die unterschiedliche Steifigkeit der verschiedenen Futter auf die Lage der Resonanzfrequenzen und die Höhe der Nachgiebigkeit aus. Die größten Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Spannfütern ist beim schlanken und mittleren Schrumpffutter zu beobachten. Deren Steifigkeit ist geringer als beim breiten Schrumpffutter. Die Hydrodehn- und Spannzangenfutter weisen eine ähnliche statische Steifigkeit auf wie das mittlere Schrumpffutter. Durch die unterschiedliche Gestaltung und Form liegt deren Eigenfrequenz ähnlich wie beim breiten Schrumpffutter.

Zusammenfassung

Aus den aufgenommenen Übertragungsfunktionen sind für die Resonanzfrequenzen, bei denen das Werkzeug und der vor-

derere Teil der Aufnahme abknicken, keine signifikanten Unterschiede der Dämpfungseigenschaften der unterschiedlichen Aufnahmen erkennbar. Aufgrund der Symmetrie der Spindel und Aufnahme ist kein deutlicher Richtungseinfluss in radialer Richtung wahrzunehmen.

Deutliche Unterschiede lassen sich jedoch aufgrund der unterschiedlichen Steifigkeit der einzelnen Aufnahmen erkennen. Eine Verbesserung der Werkstückqualität und Stabilität der Bearbeitung wird in erster Linie durch die Steifigkeit der Aufnahme erzielt und nur untergeordnet durch deren Dämpfungsvermögen.

Eine Verschlechterung der Steifigkeit durch Erhöhung der Dämpfung führt zu schlechteren dynamischen Eigenschaften. Auch wenn die Werkzeugaufnahmen und Werkzeuge bedingt durch die spezifische Arbeitsaufgabe fallweise eine hohe Nachgiebigkeit besitzen, gilt es stets, die Resonanzfrequenzen der jeweiligen Werkzeugmaschine zu berücksichtigen. ■

→ **WB111021**

Prof. Dr.-Ing. Paul Helmut Nebeling leitet das Fachgebiet Werkzeugmaschinen, Fertigungssysteme, Steuerungstechnik und Rapid Prototyping an der Hochschule Reutlingen helmut.nebeling@reutlingen-university.de

Hochvorschubfräser

Schneller und ruhiger



→ Kyocera Unimerco Tooling stellt einen neuen MFH-Hochvorschubfräser vor. Er ist vibrationsdämpfend und soll eine höhere Produktivität beim Rampen- und Zirkularfräsen bei hohen Geschwindigkeiten ermöglichen. Drei unterschiedliche Spanleitstufen für allgemeine Fräsarbeiten, für Schrubbearbeitung bis 5 mm Spantiefe und für Wiper-Schrubb- und -Schlichtbearbeitung wurden entwickelt.

Der MFH eignet sich für ein breites Anwendungsspektrum einschließlich Plan-

fräsen und Eckfräsen, Nutfräsen, Rampen- und Zirkularfräsen. Die Wendeschneidplatten sind verfügbar in Schneidstoffen für schwer zerspanbare Materialien, verbunden mit hoher Stabilität und Bruchsicherheit. Die MFH-Plan- und -Schafffräser sind jeweils mit Kühlmittelbohrungen ausgestattet. ■

→ **WB310792**

Kyocera Fineceramics GmbH
41460 Neuss, Tel. +49 2131 1637-0
www.kyocera.de



STABIL, LANGLEBIG - LÖSUNGEN ZUM EIN- UND ABSTECHEN

Die Neuheiten von Seco werden Sie überzeugen: effizient Stechen X4, stabil Stechdrehen MDT, präzise Abstechen 150.10 - und die Experten, die mit ihrem Know-how dahinter stehen. Erleben Sie Seco auf der AMB, 16. bis 20.9.2014 in Stuttgart!

KOMMEN & STAUNEN.