

## 6. Fertigungstechnik

### 6.1 High-Performance Zerspanung mit Schneidkeramik

- Dr. Ilka Lenke und Dr. Michael Fripan  
CeramTec AG  
Plochingen und Ebersbach

*Die Folien finden Sie ab Seite 450.*

#### 6.1.1. Einleitung

Die enge Wechselbeziehung auf den Gebieten der Werkzeugmaschinen, der Werkzeuge und Schneidstoffe einerseits, die Erarbeitung neuer oder alternativer Fertigungsstrategien und eine stetig fortschreitende Entwicklungstätigkeit auf jedem dieser einzelnen Sektoren steigert die Produktivität des gesamten Fertigungsprozesses

Werkzeuge und Schneidstoffe für die Hochleistungszerspanung stellen ein wichtiges Glied in dieser Kette dar. Ihre Entwicklungsgeschichte war mit dafür ausschlaggebend, dass die anwendbaren Schnitt- und Bearbeitungsgeschwindigkeiten erheblich gesteigert und die Fertigungszeiten proportional gesenkt werden konnten.

Steigerung der Produktivität und Senkung der Fertigungskosten sind klassische Zielsetzungen in der spanenden Fertigung. Daneben treten heute neue, erweiterte Anforderungen nach einer ökologischen und humanverträglichen Fertigung. Damit werden Fragestellungen wie nach einer „Trockenbearbeitung“, also dem Verzicht auf den Einsatz von Kühlschmiermitteln oder zumindest nach einer Minimierung der eingesetzten Mengen, sowie die nach neuen oder alternativen Bearbeitungsverfahren mit besserer Human- und Umweltverträglichkeit bei gleichzeitig verbesserter Wirtschaftlichkeit in den Vordergrund – zum Beispiel „Harddrehen statt Schleifen“.



**Bild 1:** Trends in der Fertigungstechnologie

### 6.1.2. Schneidkeramik für die Hochleistungszerspanung

Schneidkeramiken zeichnen sich insgesamt durch eine hohe Härte, Temperaturbeständigkeit und Warmhärte, Verschleißfestigkeit und chemische Beständigkeit aus. Mit diesen werkstofflichen Eigenschaften erlauben sie die Anwendung hoher Schnitt- und Bearbeitungsgeschwindigkeiten und die Realisierung der Trockenbearbeitung, da eine Herabsetzung der Temperaturbelastung der Schneide im Eingriff wegen Ihrer hohen Warmhärte nicht notwendig ist.

Diesen zum Einsatz in der Zerspanung günstigen Eigenschaften steht leider ein physikalisch bedingtes sprödhartes Werkstoffverhalten gegenüber. Diesem Nachteil kann durch geeignete Maßnahmen abgeholfen werden. Für die Keramik bedeutet dies, dass ihr Einsatz innerhalb ganzheitlicher Systemlösungen angestrebt werden muss, bei denen die werkstofflichen Eigenschaften und die Einsatzbedingungen aufeinander abgestimmt sind. Beim Einsatz in der spanenden Fertigung wird die Wahl der geeigneten Schneidkeramiksorte, der

Wendeschnidplatten und Werkzeugtypen vom Werkstoff, der Bearbeitungsaufgabe und dem Fertigungsverfahren bestimmt.

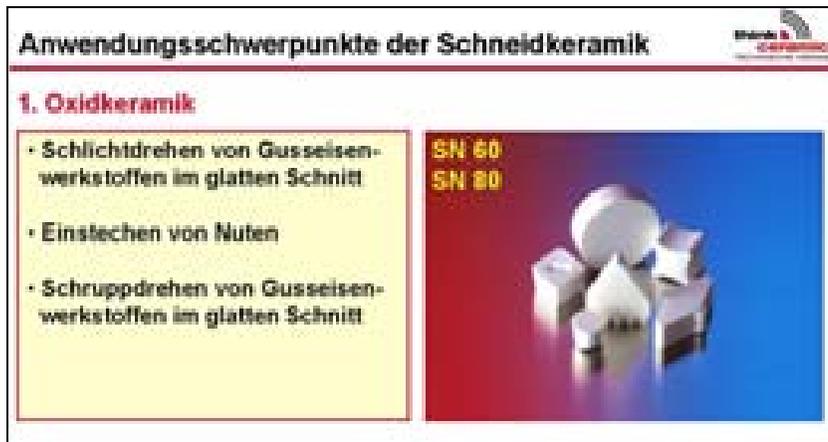
Unter Berücksichtigung der keramikspezifischen Anwendungstechnik werden dann die Bearbeitungsfolge, die Schnittaufteilung und die Schnittbedingungen festgelegt.

In der spanenden Fertigungstechnik haben sich heute die auf  $\text{Al}_2\text{O}_3$  basierenden Sorten (Oxidkeramik, Mischkeramik) und die  $\text{Si}_3\text{N}_4$ -Keramiken (Siliciumnitridkeramik) ihre typischen Einsatzgebiete erschlossen.

Die Beschichtungstechnologie in Verbindung mit der Schneidkeramik hat inzwischen auch eine gewisse Bedeutung erreicht. Dies gilt besonders für Siliciumnitridkeramiken.

### 6.1.2.1. Oxidkeramiken

Oxidkeramiken basieren auf einer Aluminiumoxid-Matrix als Härte-träger, der in feiner Verteilung Zirkonoxid beigemischt ist (SPK-Sorten SN60 und SN80). Das Zirkonoxid bewirkt dabei Verstärkungsmechanismen, welche die Bruchzähigkeit dieser Oxidkeramiken im Vergleich zu den „Reinkeramiken“ nahezu verdoppelt. Damit war der Durchbruch der Schneidkeramik in der praktischen Anwendung endgültig erzielt worden.



**Bild 2:** Anwendungsschwerpunkte für Oxidkeramik in der spanenden Bearbeitung

Hauptsächliche Einsatzgebiete für Oxidkeramiken sind heute das Schrupp- und Schlichtdrehen sowie das Einstechdrehen von Gusseisenwerkstoffen (GG; GGG und Schleuderguss) im glatten Schnitt bei hohen Schnittgeschwindigkeiten und unter Verzicht auf Kühlmittel.

### 6.1.2.2. Mischkeramiken

Mischkeramiken enthalten neben Aluminiumoxid  $Al_2O_3$  weitere Hartstoffe wie Titankarbid TiC und/oder Titanitrid TiN (SPK-Sorte SH2). Im Vergleich zu den Oxidkeramiken steigen damit die Härte, Warmhärte und Verschleißfestigkeit nochmals an und die Theroschockbeständigkeit und Kantenfestigkeit wird deutlich erhöht.

Einsatzfelder für Mischkeramiken sind das Schlichten und Feinschlichten von Gusseisenwerkstoffen (Drehen und Feinstfräsen) bei hohen Schnittgeschwindigkeiten, das Hartdrehen von Walzen aus gehärtetem Stahl oder Hartguss bis ca. 75 Shore C sowie das Hartfeindrehen von gehärtetem Stahl, vorzugsweise im glatten Schnitt bis 64 HRC („Drehen statt Schleifen“).



**Bild 3:** Anwendungsschwerpunkte für Mischkeramik in der spanenden Bearbeitung

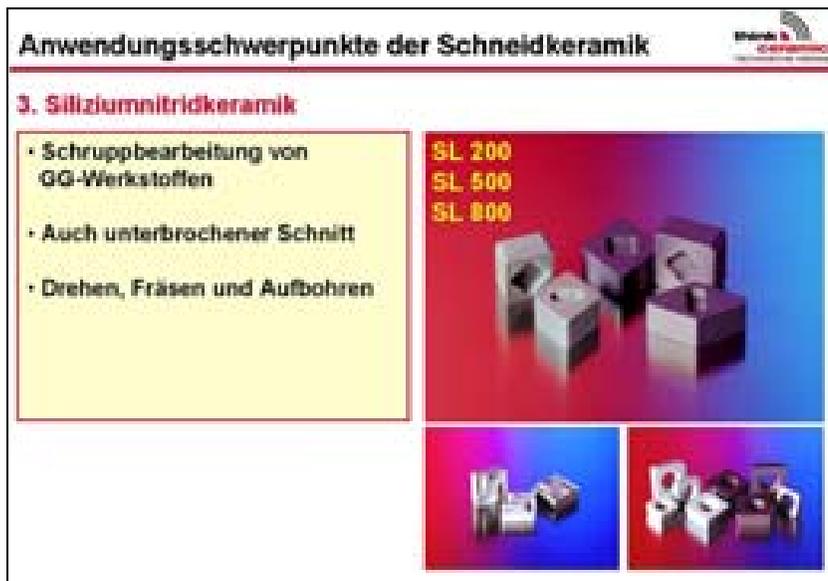
### 6.1.2.3. Siliciumnitridkeramiken

Das typische nadelförmige Gefüge von Siliciumnitridkeramiken sorgt für eine gesteigerte Bruchzähigkeit mit gleichzeitig hoher Verschleißfestigkeit.

Aufgrund dieser Merkmale weisen die Siliciumnitridkeramiken (SPK-Sorten SL200; SL500; SL800) die größten Bruchzähigkeiten unter den zur Zerspanung eingesetzten Keramiken auf.

Wegen ihrer Eigenschaften haben sich Siliciumnitridkeramiken besonders zum Schrumpfen von Gusseisenwerkstoffen, auch unter ungünstigen Schnittbedingungen wie stark unterbrochener Schnitt und schwankendem Aufmaß, bewährt.

Neben dem Drehen wird dieser Schneidstoff ebenfalls sehr erfolgreich zum Fräsen von Gusseisenwerkstoffen eingesetzt, selbst mit positiven Werkzeuggeometrien.



**Bild 4:** Anwendungsschwerpunkte für Siliciumnitridkeramik in der spanenden Bearbeitung

#### **6.1.2.4. Beschichtete Siliciumnitridkeramiken**

Mit einer Beschichtung wird vorrangig die Verschleißfestigkeit des Schneidstoffes erhöht.

Klassische Schichtwerkstoffe sind  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , TiC und TiN in verschiedenen Kombinationen, Schichtdicken und Beschichtungsverfahren aufgebracht.

Auf Siliciumnitridkeramik bietet eine Beschichtung Einsatzvorteile vor allem dann, wenn Aluminiumoxid in der Beschichtungsfolge beinhaltet ist, wie zum Beispiel innerhalb einer mehrlagigen Aluminiumoxid/ Titanitrid-Beschichtung (SPK-Sorte SL550C).

Der Beschichtungsaufbau wird dabei so gestaltet, dass sich Beschichtung und Substrat in ihrem thermischen Ausdehnungsverhalten ähneln und so einerseits eine gute Schichthaftung und andererseits eine gute Wirksamkeit der Schicht erzielt wird.

Diese Beschichtung erhöht nicht nur die Verschleißfestigkeit der Siliciumnitridkeramik im Vergleich zum unbeschichteten Substrat, sondern erweitert vor allem ihr Einsatzgebiet um das Drehen von ferrithaltigen GGG-Werkstoffen.

#### **6.1.3. Polykristallines Bornitrid - CBN**

Die polykristallinen Bornitride zeichnen sich durch eine hohe Härte auch bei hohen Temperaturen und Druckfestigkeit aus. Die CBN-Körnungen des Ausgangsmaterials werden durch ein Hochdruck / Hochtemperaturverfahren ( $p = 5-7 \text{ GPa}$ ;  $T = 1500 - 2100 \text{ °C}$ ) erzeugt.

Die Zusammensetzung, Gefüge und Binder bestimmen die Eigenschaften der verschiedenen CBN-Sorten und damit ihre Einsatzgebiete. CBN-Sorten mit CBN-Gehalten zwischen 50 - 65 % besitzen eine hohe Druckfestigkeit und chemische Stabilität. Sie werden vorzugsweise für die Hartbearbeitung, vor allem zum „Drehen statt Schleifen“ verwendet (SPK-Sorten WBN500, WBN550, WBN600 und WBN650).

Mit steigendem CBN-Gehalt steigt die Bruchfestigkeit und der Widerstand gegenüber abrasivem Verschleiß. Solche Sorten (SPK-Sorten WBN100, WBN700 und WBN 750) werden vorrangig für die spanende Bearbeitung von Hartguss, Sintermetallen, Hartstoffbeschichtungen und von perlitischen Gusseisenwerkstoffen eingesetzt.

### 6.1.4. Hochleistungszerspanung

Für den Begriff „Hochleistungszerspanung (HPC) oder Hochgeschwindigkeitszerspanung (HSC)“ gibt es keine allgemeingültige Definition. Vielmehr muss hierzu der bearbeitete Werkstoff und das angewendete Fertigungsverfahren näher betrachtet werden. Für die Schnittgeschwindigkeit ergibt sich daraus ein sehr weiter Bereich, dem der Begriff HSC-Bearbeitung zugeordnet werden kann

Beim Drehen von Grauguss kann allgemein eine Schnittgeschwindigkeit  $v_c \geq 1.000$  m/min als HSC-Bearbeitung gelten, während beim Bohren von Grauguss bereits  $v_c \geq 400$  m/min als HSC-Bearbeitung definiert werden kann. Beim Drehen von Stahlwerkstoffen kann man dagegen bereits  $v_c \geq 500$  m/min, beim Drehen von Nickel-Basis-Legierungen schon  $v_c \geq 80$  m/min als Hochgeschwindigkeit bezeichnen.

Da die Wirtschaftlichkeit der Bearbeitung zu einem großen Teil von der Bearbeitungsdauer abhängt, sollte neben der Schnittgeschwindigkeit eigentlich die Bearbeitungsgeschwindigkeit als ausschlaggebende Größe näher betrachtet werden.

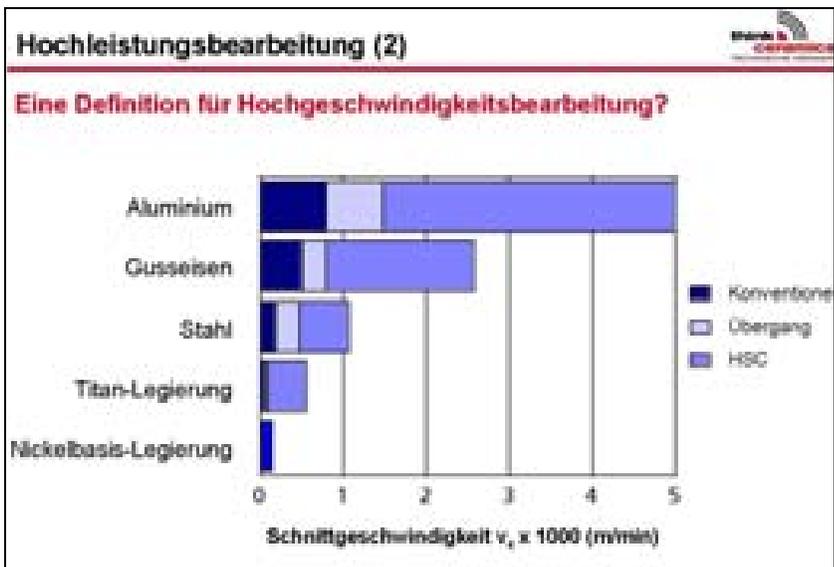
Vorteile, die sich in jedem Fall durch eine Bearbeitung mit hoher Geschwindigkeit ergeben sind:

- ein gesteigertes Zeitspanvolumen durch die höhere Schnitt- und Vorschubgeschwindigkeit,
- eine höhere Ausbringung pro Zeiteinheit,
- eine kürzere Fertigungszeit pro Werkstück,
- verringerte Fertigungskosten bei gesteigerter Produktivität und
- eine größere Flexibilität in der Fertigung (bearbeitbare Werkstücke, Losgrößen) durch neue, schnelle Maschinengenerationen, insbesondere bei Bearbeitungszentren.

In der Zerspanung bestimmen eine Vielzahl von gleichzeitig einwirkenden Faktoren die Fertigungsqualität, Fertigungskosten und Fertigungszeit. Ein optimales Arbeitsergebnis wird erzielt, wenn Bearbeitungsaufgabe, Einsatzbedingungen; Werkzeug, Maschine und Spannmittel aufeinander abgestimmt werden.

Die Umsetzung einer Hochleistungszerspanung erfordert natürlich auch einen deutlich größeren Aufwand bei den Maschinen, Werk-

zeugen und Schneidstoffen als eine konventionellen Zerspaltung. Bei den Maschinen stehen hier Antriebe, Dynamik und Geschwindigkeiten sowie die Steuerungen im Mittelpunkt, während bei den Werkzeugen deren konstruktive Auslegung und das Einsatzverhalten der Schneidstoffe diesen Hochleistungsbedingungen entsprechen muss. Sicherheitsaspekte und die Problematik „Spanentsorgung“ sind ebenfalls zu betrachten.



**Bild 6:** Schnittgeschwindigkeitsbereiche in der HSC-/HPC-Bearbeitung

### 6.1.5. „Trocken“ bearbeiten – umweltfreundlich und wirtschaftlich

Wirtschaftliche und ökologische Gründe haben eine intensive Diskussion zum Thema „Trockenbearbeitung“ ausgelöst, die zunehmend auch unter dem Aspekt der Humanverträglichkeit des Kühlschmiermitteleinsatzes geführt wird. Es muss für die Zukunft mit noch schärferen gesetzlichen Vorgaben hinsichtlich Umwelt- und Arbeitsvorschriften und noch höheren Entsorgungskosten gerechnet werden (Bild 7).

Dabei ist ein genereller Verzicht auf den Einsatz von Kühlschmiermittel in der spanenden Fertigung weder anzustreben noch realisierbar. Allerdings müssen Belastungen, die vom Einsatz der Kühlschmiermittel ausgehen soweit wie möglich verringert werden. Neben dem Einsatz der Minimalmengenschmierung steht hier auch eine reine Trockenbearbeitung zur Diskussion, zumindest dort, wo weder das Fertigungsverfahren selbst (z.B. beim Tiefbohren) noch die weiteren Funktionen des Kühlschmiermitteleinsatzes wie „Kühlen des Werkstückes“, „Temperieren der Umgebung in der Werkzeugmaschine“ oder „Freispülen von Spänen“ gefordert sind.

Eine differenzierte Betrachtung der einzelnen Bearbeitungsoperationen ist in jedem Fall anzustreben. Schon allein daraus ergeben sich häufig Ansatzpunkte, wo ein Verzicht auf Kühlschmiermittel problemlos möglich ist.



**Bild 7:** Einflüsse von Kühlschmiermitteln auf die Umwelt.

Der durch eine Trockenbearbeitung erreichte Kostenvorteil kann ebenfalls erheblich sein: Neben den Entsorgungskosten entfallen auch die Kosten für Beschaffung, Pflege und Aufbereitung des Kühlschmiermittels.

Schneidkeramiken und CBN bieten wegen ihrer hohen Warmhärte und ihrer geringen Adhäsion und Diffusionsneigung schneidstoffseitig die besten Voraussetzung zur Einführung einer Trockenbearbeitung. Unter dem Gesichtspunkt der Hochgeschwindigkeitsbearbeitung ist zudem aufzuführen, dass bei schnell rotierenden Werkzeugen (Fräsen, Aufbohren) ein Verbringen des Kühlmittels an die Wirkstelle aus kinematischen Gründen kaum möglich ist. Beim Fräsen wird durch den Kühlschmiermitteleinsatz zusätzlich die thermische Wechselbelastung der Schneide verstärkt. Daher sollte eine Hochgeschwindigkeitsbearbeitung mit rotierenden Werkzeugen möglichst trocken erfolgen.

Das Hartfeindreihen erfolgt in der Regel ebenfalls „trocken“.

#### **6.1.6. „Hartdrehen statt Schleifen“ – Bearbeitung harter Werkstoffe**

In der heutigen Zeit ist wohl die Aussage zulässig, dass die konventionelle Schleifbearbeitung nahezu an den Grenzen ihrer Optimierungsmöglichkeiten ist. Modernere Verfahren wie das Hartdrehen sind dabei, in vielen Bereichen (beispielsweise bei der Futterteilmbearbeitung) die bisher getätigten Schleifoperationen mehr und mehr zu substituieren. Nicht zuletzt die immer weiter ansteigenden Forderungen der Großserienhersteller nach Reduzierung von Herstellkosten bei gleichzeitiger Produktivitätssteigerung, ließen das Thema "Drehen statt Schleifen" in den vergangenen Jahren immer stärker in den Vordergrund rücken.

Die entscheidenden Vorteile des Hartfeindreihens sind u.a.:

- Reduktion der Bearbeitungszeit, da der Drehprozess in der Regel schneller ist als der Schleifprozess
- Drehmaschinen erfordern geringere Investitionskosten als Schleifmaschinen
- die Bearbeitung komplexerer Werkstückgeometrien in einer Aufspannung kann derzeit nur durch Drehprozesse realisiert werden
- die Anzahl der erforderlichen Arbeitsschritte vom Rohteil bis zum Fertigteil wird reduziert

- Entsorgungskosten für Schleifschlamm und Kühlschmiermittel entfallen, da Hartdrehprozesse in der Regel "trocken" erfolgen

Als nachteilig wäre zu nennen, dass

- der Werkzeugverschleiß die Oberflächenrauheit und Randzonen beeinflusst,
- eine gegenüber dem Schleifen geringere Prozesssicherheit vorliegt,
- stark unterbrochene Schnitte nach wie vor problematisch sind und
- sich unter Umständen eine gewisse Drallausbildung negativ auswirken kann.

Die Hartbearbeitung stellt besondere Anforderungen an die Werkzeugmaschine, das Spannmittel, das Werkzeug und den Schneidstoff. Das Gesamtsystem muss die entsprechenden Genauigkeiten und Steifigkeiten besitzen, welche die Einhaltung der v.a. bei der Hartfeinbearbeitung geforderten engen Maß-, Lage- und Formtoleranzen ermöglicht.

Die hohen spezifischen Schnittkräfte bei der Hartbearbeitung erfordern einen Schneidstoff mit hoher Kantenfestigkeit. Da sehr hohe Zerspanntemperaturen auftreten, der Span läuft rotglühend ab, muss er außerdem eine sehr hohe Warmhärte und chemische Stabilität aufweisen. Seine Verschleißfestigkeit und Kantenstabilität bestimmt die Oberflächengüte und die Maßhaltigkeit des Werkstückes.

Mischkeramiken und CBN-Schneidstoffe erfüllen diese Anforderungen grundsätzlich sehr gut. Die Entscheidung, welcher der beiden Schneidstoffe für den speziellen Hartbearbeitungsfall eingesetzt werden soll, hängt von den Einsatzbedingungen, dem Fertigungsverfahren und wesentlich von den geforderten Bearbeitungsergebnissen (Oberflächengüten; Maß- und Formtoleranzen) ab. Eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung, in welche die Bearbeitungszeit, Nebenzeiten, Werkzeugkosten und Standzeiten gleichermaßen eingehen, liefert eine weitere wichtige Entscheidungsgrundlage.

Für glatte, nicht unterbrochene Schnitte und bei einem gleichmäßigen, definiertem Aufmaß sind die Mischkeramiken, nicht zuletzt auch wegen

ihres günstigen Kosten - Nutzenverhältnisses, den CBN-Schneidstoffen vorzuziehen. Bei unterbrochenem Schnitt oder stark schwankendem Aufmaß wird dagegen der Einsatz von CBN (SPK-Sortenbezeichnung WURBON) empfohlen.



**Bild 8:** Einsatzempfehlungen für das Hartfein-Drehen

Beim Hartfeindrehen werden einsatz- oder durchgehärtete Stähle bis zu einer Härte von 64 HRC bearbeitet. Dabei wird entweder eine Schleifbearbeitung komplett substituiert oder zumindest das Vorschleifen vor dem Fertigschleifen durch eine Drehbearbeitung ersetzt.

Typische Fertigungsaufgaben sind das Hartfeindrehen von Lagern, Schieberädern und Zahnrädern, aber auch die Bearbeitung von Wälzlagern größerer Abmessungen.

Abhängig vom Verschleißzustand des Werkzeuges und den Schnittparametern kann beim Hartdrehen eine Beeinflussung der oberflächennahen Randzone im  $\mu\text{m}$  - Bereich auftreten (die sog. „weiße Schicht“). An der weiteren Erforschung dieser Thematik wird intensiv gearbeitet. Diese Erscheinung wird für Bauteile, die keinen intensiven Überrollbeanspruchungen ausgesetzt sind, als unkritisch betrachtet. Bei wälzbeanspruchten Laufbahnen sind gegenwärtig Untersuchungen im

Gang, inwieweit sich das Hartfertigdrehen auf das Lebensdauerverhalten der Bauteile auswirkt. Zumindest wird bei Wälzlagern größerer Abmessungen bereits heute schon auch an sog. „Funktionsflächen“, wie z.B. Laufbahnen, das Schruppschleifen durch ein Hartdrehen ersetzt, dem ein Fertigschleifen als letzter Bearbeitungsgang folgt. „Nichtfunktionsflächen“, zum Beispiel die Außendurchmesser der Wälzlagerringe werden vielfach hart fertiggedreht.

Für den Einsatz von Mischkeramik und polykristallinem Bornitrid werden beim Hartdrehen dieselben Schnittdaten empfohlen. Die Schnittgeschwindigkeit  $v_c$  und die Spanungsdicke  $h$  werden in Abhängigkeit der Werkstoffhärte gewählt. Für eine Härte von 60 HRC liegen die Spanungsdicke  $h$  bei 0,10 bis 0,12 mm, die Schnittgeschwindigkeiten üblicherweise bei  $v_c = 80$  bis 180 m/min.

Die Schnitttiefen betragen üblicherweise  $a_p \leq 0,5$  mm.

Die Vorschübe werden ebenfalls abhängig von der Werkstückhärte, der Spanungsdicke  $h$  und dem Eckenradius  $r$  der Wendeschneidplatte gewählt.

Beim Hartfeindrehen können Oberflächengüten  $Ra \leq 0,6 \mu\text{m}$  erreicht werden.

### 6.1.7. Werkzeuge und Werkzeugsysteme

#### 6.1.7.1. Wendescheidplatten- und Fasengeometrie

Zur Auswahl der Wendeschneidplattengeometrie gilt für Schneidkeramik-Wendeschneidplatten allgemein, dass aus Stabilitätsgründen die größtmöglichen Eckenwinkel und Eckenradien eingesetzt werden sollen, welche die Werkstückgeometrie zulässt.

Keramische und WURBON-Wendeschneidplatten sind üblicherweise gefast (Typ T) oder gefast und verrundet (Typ S).

Die Fasen sind in ihrer Ausführung dem Einsatzzweck angepasst:

- T00520 = 0,05 mm x 20°: zum Feinschlichten und Schlichtdrehen
- T02020 = 0,20 mm x 20°: zum Schrupp- und Schlichtdrehen
- T20015 = 2.00 mm x 15°: zur Hartbearbeitung, insbesondere für Hartguss

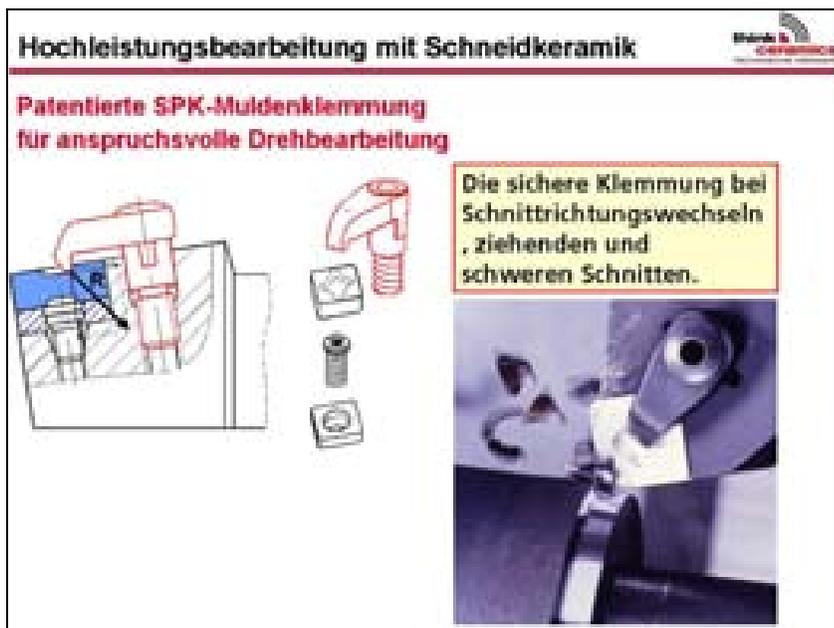
- T01020 = 0,10 mm x 20°: zum Fräsen
- S02020= 0,20 mm x 20°: zum Hartfeindrehen mit plus Verrundung Mischkeramik

Bei besonders hoher Beanspruchung werden beim Drehen auch Doppelfasen eingesetzt (Typ K):

- K86 = 1,00 mm x 15° plus 0,20 mm x 30°
- K88 = 2,00 mm x 15° plus 0,20 mm x 30°

Neben diesen Standardfasen werden für spezielle Einsatzbedingungen auch Sonderfasen verwendet

### 6.1.7.2. Muldenspannung für keramische Wendeschneidplatten



**Bild 9:** Patentierte SPK-Muldenklemmung für einen sicheren Drehvorgang

Bei der Spannung von keramischen Wendeschneidplatten gilt allgemein, dass die Schneidplatte derart im Halter befestigt sein muss, dass sich ihre Lage im Plattensitz auch unter Einwirkung der Zerspankräfte nicht verändert und die sichere Spannung auch unter ungünstigen Verhältnissen gewährleistet sein muss. Ein Aufsteigen im Plattensitz oder ein Herausziehen der Wendeschneidplatte bei wechselnden Schnittrichtungen, ziehenden Schnitten oder beim Drehen von Konturen muss unbedingt vermieden werden. Als beste Lösung dieser Problematik hat sich für Schneidkeramik die patentierte SPK-Muldenklemmung inzwischen in einer Vielzahl von Anwendungen weltweit hervorragend bewährt (Bild 9).

### 6.1.7.3. Modulare Werkzeugwechselsysteme

Modulare Werkzeugwechselsysteme bieten den Vorteil, hohe Produktivität mit großer Flexibilität zu verbinden. Hohe Wiederholgenauigkeit beim Wechsel, schneller Werkzeugwechsel, hohe Steifigkeit und Stabilität, die Möglichkeit, für den Einsatzzweck maßgeschneiderte Werkzeuge anwenden zu können und die größere Flexibilität, auch bei einer begrenzten Zahl von Werkzeugplätzen im Revolver eine Vielzahl verschiedener Werkzeuge einwechseln zu können, sind die wichtigsten Gründe dafür, dass sich die modularen Werkzeugwechselsysteme in der Großserienfertigung weitgehend durchgesetzt haben.

In Verbindung mit dem Einsatz von Schneidkeramik hat sich für das Drehen von scheibenförmigen Bauteilen, wie z.B. Bremsscheiben, das FTC- System sehr gut bewährt (Lizenz Sandvik-Coromant). Dieses System verbindet das integrierte SPK-Klemmsystem IKS mit der modularen Trennstelle des Block-Tool Systems.

Das CMS-System bietet eine einheitliche modulare Trennstelle für stehende und rotierende Werkzeuge. Hier ist die konische, polygonale Kupplung des Capto-Systems mit dem IKS-Klemmsystem kombiniert (Lizenz Sandvik-Coromant). Die außerordentlich hohe Torsions- und Biegesteifigkeit bietet eine hohe Wiederhol- und Wechselgenauigkeit sowie eine hohe Rundlaufgenauigkeit und die exakte Einhaltung der Werkzeugmittenhöhe. Beim Drehen wird es für die Außen- und Innenbearbeitung eingesetzt.

### 6.1.7.4. Fräswerkzeuge

Zum Einsatz von Schneidkeramik in Fräsworkzeugen dominierten ursprünglich Frässysteme mit austauschbaren Kassetten. Dabei wurden ausschließlich negative Wendeschneidplatten verwendet, die in Fräsern mit axial und radial negativen Spanwinkeln eingebaut wurden. Mit der fortschreitenden Stoffentwicklung konnten schließlich auch Keramik-Wendeschneidplatten mit positiven Freiwinkeln zum Fräsen verwendet werden. Durch diese Werkzeuggeometrie werden die Schnittkräfte und vor allem die Passivkräfte deutlich verringert. Diese Werkzeuge werden nicht nur bei der Bearbeitung von dünnwandigen Werkstücken, sondern auch zum Fräsen mit hohen Schnitt- und Vorschubgeschwindigkeiten vorteilhaft eingesetzt.

Die Fräser-Kassettensysteme umfassen Kassetten mit Einstellwinkeln  $\kappa = 45^\circ$ ;  $75^\circ$ ;  $88^\circ$  für quadratische Wendeschneidplatten sowie Kassetten für runde Wendeschneidplatten für Fräserdurchmesser  $D = 80$  bis  $300$  mm. Zum Schlichten kann anstelle einer Kassette mit  $\kappa = 75^\circ$  eine spezielle Schlichtkassette eingebaut werden, die im Planlauf  $0,03$  bis  $0,05$  mm übersteht, um eine besonders hohe Oberflächengüte zu erzielen.

## **6.1.8. Hochleistungszerspanen von GG- und GGG-Werkstoffen**

### **6.1.8.1. Drehen von GG mit Keramik**

Grundsätzlich kann festgestellt werden, dass die Bearbeitung mit hohen Geschwindigkeiten für das Drehen von Gusseisenwerkstoffen beherrscht wird und heute als Stand der Technik bezeichnet werden kann. Die anwendbaren Schnittgeschwindigkeitsbereiche liegen im Gebiet  $v_c = 600$  bis  $1.200$  m/min. Häufig kann aufgrund der vorliegenden Gegebenheiten die Leistungsfähigkeit der Schneidstoffe nicht voll ausgeschöpft werden. Werkzeugmaschine, Spannmittel, Werkstückgeometrie erweisen sich oft als limitierende Faktoren.

Zum Schruppen hat sich Siliciumnitridkeramik weitgehend durchgesetzt, das Einstechdrehen von Keilriemenprofilen, Nuten und Poly-V-Profilen erfolgt mit Oxidkeramik. Schlichten mit hohen Schnittgeschwindigkeiten ist das Einsatzgebiet von Mischkeramik.

### 6.1.8.2. Drehen von GG mit polykristallinem Bornitrid

Unter dem Aspekt der Hochgeschwindigkeitsbearbeitung wird zunehmend auch die Bearbeitung von Gusseisenwerkstoffen mit polykristallinem Bornitrid diskutiert. Mit dem Einsatz von hoch-CBN-haltigen Sorten (WBN100; WBN750) kann dies in einzelnen Fällen sinnvoll sein, wenn bestimmte Randbedingungen beachtet werden.

Zuerst gilt es hier zu nennen, dass nicht jeder mit Siliciumnitridkeramik zerspanbare Gusseisenwerkstoff mit polykristallinem Bornitrid bearbeitet werden kann. Das Zusammenwirken von CBN und Gusseisen muss noch detaillierter erforscht werden. Im Augenblick kann nur ein Versuch unter den spezifischen Bedingungen vor Ort eine sichere Aussage liefern.

Die Erwartungen, die Schnittgeschwindigkeit im Vergleich zum Einsatz von Siliciumnitridkeramik nochmals erhöhen bzw. die Bearbeitungszeit weiter reduzieren zu können, sind oftmals nicht erfüllbar. In erster Linie muss das gesamte Umfeld einschließlich der Werkzeugmaschine und dem Spannmittel auf diese Bedingungen abgestimmt sein. In der Regel kommen daher nur neue Anlagen in Betracht, wo hohe Leistungen bei hohen Drehzahlen zur Verfügung stehen. Auch neue Maschinen stoßen dabei häufig an ihre Leistungsgrenze, weshalb bei einer Erhöhung der Schnittgeschwindigkeit der Vorschub entsprechend verringert werden muss. Damit ist ein Zeitgewinn bei der Bearbeitung meistens nicht realisierbar. Vorteile können sich allerdings ergeben, wenn sich über eine größere Verschleißfestigkeit größere Standmenngen und damit weniger Werkzeugwechsel und Maschinenstillstandszeiten ergeben. Beachtet werden muss allerdings auch, dass der Einsatz von CBN-Schneidstoffen eine noch größere Sorgfalt im Umgang mit ihnen erfordert, wenn ein wirtschaftlicher Nutzen erzielt werden soll (Ausnutzungsgrad der Wendeschneidplatten beachten; Kosten der einzelnen Schneidecke im Vergleich zu  $\text{Si}_3\text{N}_4$  etwa um den Faktor 10 teurer).

### 6.1.8.3. Drehen von GGG mit Keramik

GGG-Werkstoffe weisen gegenüber GG eine höhere Festigkeit und Duktilität auf. Die gleiche Funktionalität des Bauteils wird in einer GGG-Ausführung bei einer geringeren Bauteilmasse erreicht. Aus diesen Gründen findet GGG als Konstruktionswerkstoff eine zunehmende Verbreitung.

Die Bearbeitung von globularen Gusseisenwerkstoffen (GGG40, GGG50, GGG60) wird wesentlich vom Gussgefüge, dem gewählten Fertigungsverfahren und – vor allem beim Einsatz von  $\text{Si}_3\text{N}_4$ -Keramik – durch die Eingriffszeit des Werkzeuges und die dabei entstehenden Zerspanntemperaturen bestimmt.

Das Schlichten und Stechdrehen erfolgt mit Oxidkeramik, das Feinschlichten mit Mischkeramik. Für das Schruppen sollte eine  $\text{TiN}/\text{Al}_2\text{O}_3$ -beschichtete Siliciumnitridkeramik eingesetzt werden, für das Drehen im stark unterbrochenen Schnitt (oder das Fräsen) kann eine unbeschichtete Siliciumnitridkeramik verwendet werden. Im Vergleich zu GG-Werkstücken liegen die Schnittgeschwindigkeiten bei der Bearbeitung von GGG-Werkstücken niedriger. Im glatten Schnitt sind hier  $v_c = 300\text{--}600\text{ m/min}$  üblich, im unterbrochenen Schnitt können durchaus  $v_c = 800\text{ m/min}$  erreicht werden.

Beim Schruppdrehen eines Differenzialgehäuses (Bild 10) wird durch den Einsatz beschichteter Siliciumnitridkeramik die Standzeit im Vergleich zur unbeschichteten Siliciumnitridkeramik deutlich gesteigert.

**Trockenbearbeitung mit Schneidkeramik**

Werkstoff & Carborundum

**Hochleistungszerspanen eines Differentialgehäuses aus GGG-60 mit beschichteter Siliziumnitridkeramik SL550C**



Schneidstoff	SL550C	CN-K30
Schneidplatte	CNMX 120716 T	
$v_c$ [m/min]	800	
$f$ [mm/U]	0,45	
$a_p$ [mm]	2	
Standzeit	193%	100%

**Bild 10:** Hochleistungszerspanen von GGG-Werkstoffen mit beschichteter Siliciumnitrid-keramik.

#### 6.1.8.4. Aufbohren

Das Schruppen von Bohrungen in Gussgehäusen ist auf leistungsstarken Sondermaschinen mit sehr hohen Schnitt- und Vorschubgeschwindigkeiten umsetzbar ( $v_c > 800$  m/min;  $f_z = 0,2 - 0,3$  mm). Damit wird eine extrem kurze Bearbeitungszeit pro Bohrung erzielt und die Möglichkeit eröffnet, einspindelige, hochflexible Maschinen anstatt mehrspindeliger „Einzweckmaschinen“ zum Einsatz bringen zu können, ohne einen Zeitverlust bei der Bearbeitung der Bauteile, wie z.B. Zylinderblöcken, hinnehmen zu müssen. Aber auch auf normalen Bearbeitungszentren wird diese Bearbeitungstechnologie umgesetzt. Wegen der geringeren installierten Leistung werden dort max. zweischneidige Werkzeuge eingesetzt, wodurch der Leistungsbedarf aber auch die Bearbeitungsgeschwindigkeit reduziert werden.

#### 6.1.8.4. Fräsen von GG und GGG

Beim Fräsen wirken hohe mechanische und thermische Wechselbelastungen auf die Schneide ein. Wegen seiner hohen Bruchzähigkeit und Thermoschockbeständigkeit erlaubt Siliciumnitridkeramik das

Fräsen auch mit größeren Spanungsquerschnitten und auch mit positiven Werkzeuggeometrien. Allein zur Verminderung der Thermochockbelastung ist es empfehlenswert, das Fräsen grundsätzlich trocken durchzuführen.

Die Schnittgeschwindigkeiten liegen für GG und GGG-Werkstoffe üblicherweise im Bereich  $v_c = 500 - 800$  m/min, bei entsprechenden maschinellen Voraussetzungen auch bei  $v_c > 1.000$  m/min. Der Vorschub pro Zahn wird im Bereich  $f_z = 0,10 - 0,30$  mm gewählt.

Erste Versuche auf linearangetriebenen Bearbeitungszentren konnten zwischenzeitlich ebenfalls für GG25 durchgeführt werden. Zum Einsatz kam dabei ein vierzahniger Fräser  $D = 50$  mm, axial positiv, ausgestattet mit Wendeschneidplatten SOCN120416 T01020 in SL500. Bei einer Drehzahl von  $n = 15.000$  min<sup>-1</sup>, einer Schnitttiefe  $a_p = 2,0$  mm und einem Vorschub pro Zahn  $f_z = 0,16$  mm konnte eine Schnittgeschwindigkeit  $v_c = 2.360$  m/min bei einer Vorschubgeschwindigkeit  $v_f = 9.600$  mm/min realisiert und ein Standweg von 120 m erreicht werden.

In der Praxis sind derartige Daten heute allerdings noch nicht Stand der Technik.

#### **6.1.9. Bearbeitungsbeispiele für Hartdrehen mit Mischkeramik und WBN**

Typische Anwendungsgebiete für das Hartfeindrehen sind Bearbeitungen von Lagersitzen auf Antriebskegelrädern, das Ausdrehen von Bohrungen in Tellerrädern und Ausgleichskegelrädern sowie von anderen Maschinenelementen aus der Antriebstechnik und dem allgemeinen Maschinenbau.

Eine typische Bearbeitung für eine sinnvolle Kombination von Mischkeramik und CBN zeigt Bild 11. Hier wird der äußere Durchmesser und die Planfläche eines Ritzels mit Mischkeramik hartfeingedreht. Die Bohrung, bei der unterbrochener Schnitt vorliegt, wird hingegen mit dem wesentlichen zäheren CBN bearbeitet. Dabei wird eine durchschnittliche Standmenge von 80 Teilen mit der Keramik und 160 Teilen mit CBN erreicht, wobei eine geforderte Toleranz von 15  $\mu$ m und eine Oberflächengüte  $R_z = 6,3$   $\mu$ m realisiert wird.

Hartfein-Drehen / Bearbeitungsbeispiel		
	<b>Werkstoff:</b> 20 MnCr 5 (1.7147)	<b>Härte:</b> 55–63 HRC
	<b>Maschine:</b> Weiser	<b>BSS:</b> ohne
<b>Anforderung:</b> Toleranz: 15 µm Rz 6,3		
<b>Schneidplatte:</b>	CNMA 130408 T	CCMW 09T308 T-A2
<b>Schneidstoff:</b>	SH 2	WBN 600
<b>Schnittwerte</b>	<b>Außen</b>	<b>Innen</b>
$v_c$ [m/min]	120	160
$f$ [mm/U]	0,08	0,10
$a_p$ [mm]	0,20	0,15
<b>Stückmenge</b>	80 Teile	160 Teile
<b>Bemerkungen:</b>		

**Bild 11:** Hartfein-Drehen eines Ritzels mit Mischkeramik und CBN.

## 6.1.10. Zusammenfassung

Schneidkeramiken und polykristallines Bornitrid weisen besondere Charakteristiken auf, die in ihren jeweiligen Einsatzgebieten große Potentiale zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit in der Fertigung bieten.

Unter Berücksichtigung der spezifischen Anwendungstechnik leisten sie einen hervorragenden Beitrag zu einer rationellen, sicheren und produktiven Fertigung.

So ist die Drehbearbeitung von Gusseisenwerkstoffen unter hohen Schnitt- und Bearbeitungsgeschwindigkeiten mit Schneidkeramik heute bereits Stand der Technik. Eine weitere Steigerung der angewendeten Schnittgeschwindigkeiten über den heutigen Bereich hinaus ist für das Drehen mittelfristig nicht zu erwarten.

Zum Fräsen und Aufbohren kann dagegen ein Ansteigen der Schnitt- und Vorschubgeschwindigkeiten prognostiziert werden. Dazu werden neue Werkzeugmaschinen mit erhöhten Drehzahlen, Antriebsleistungen und schnellen Vorschubantrieben zum Einsatz kommen, mit denen das Potential der Werkzeuge ausgenutzt werden kann.

Große Chancen bieten sich für alle hochwarmfesten Schneidstoffe - Schneidkeramik und polykristallines Bornitrid- im Rahmen der zunehmend an Bedeutung gewinnenden Trockenbearbeitung. Der Trend zur Near-Net-Shape Technologie und die wachsenden Aktivitäten zur Substitution des Schleifens durch das Hartdrehen eröffnen ihnen weitere potentielle Einsatzgebiete.

Die verwendeten Vortragsfolien (Nr. 1 bis 31) finden sich auf den folgenden Seiten.

# Fertigungstechnik

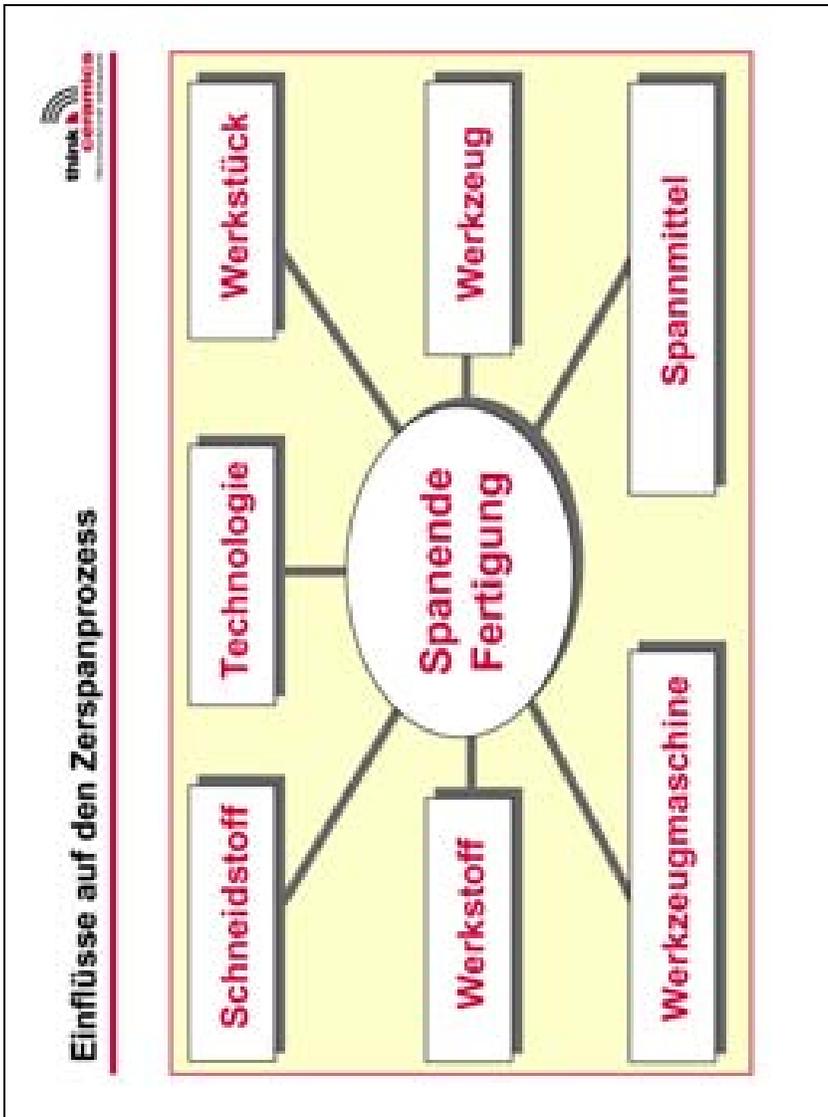
## High-Performance Zerspanung mit Schneidkeramik

Dr. Ilka Lenke und Dr. Michael Fripan  
CeramTec AG  
Plochingen und Ebersbach / Filz

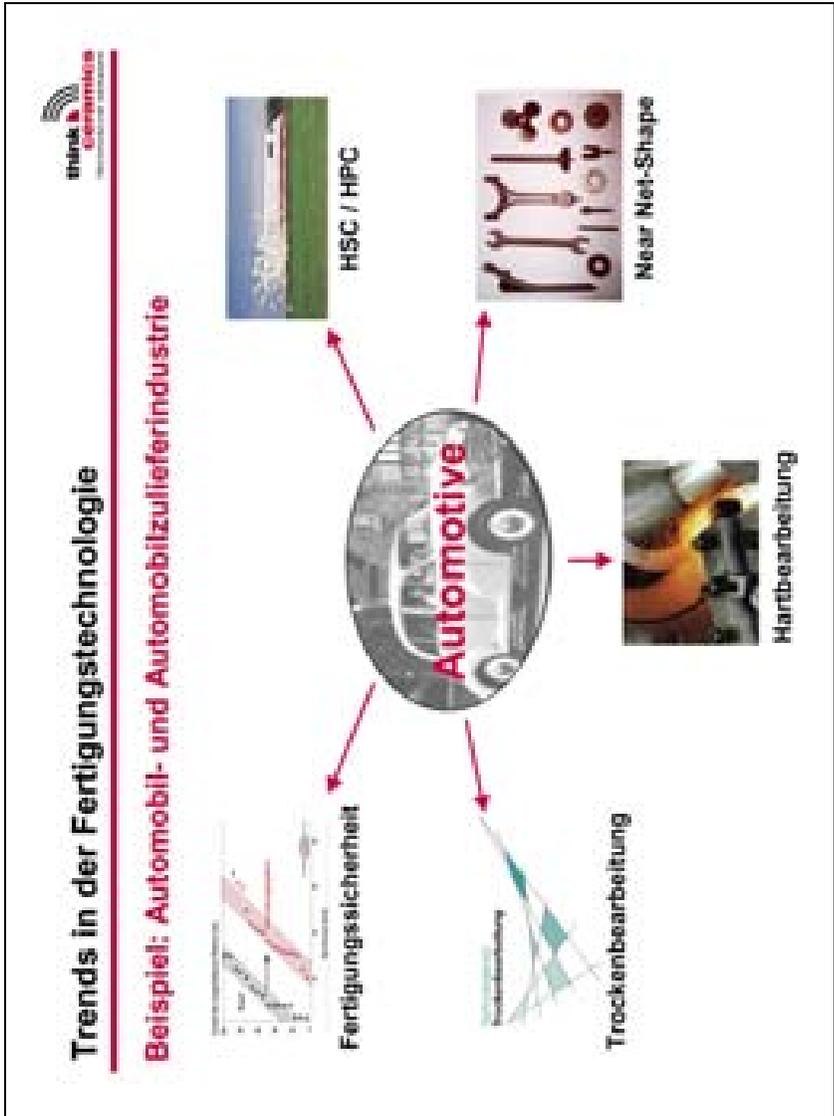


## Schneidkeramik - Überblick





6.1 Folie 3

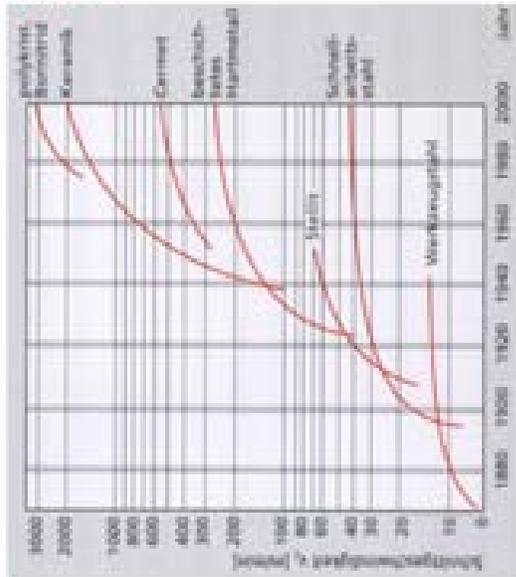


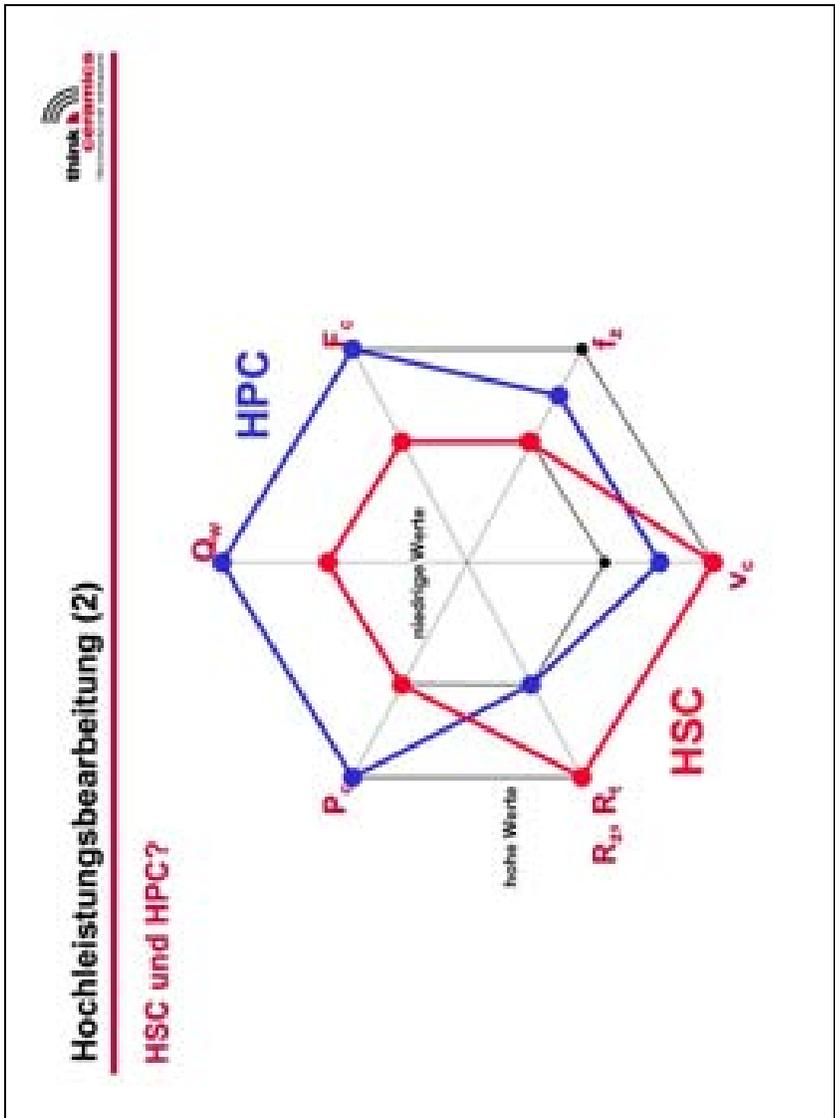
6.1 Folie 4

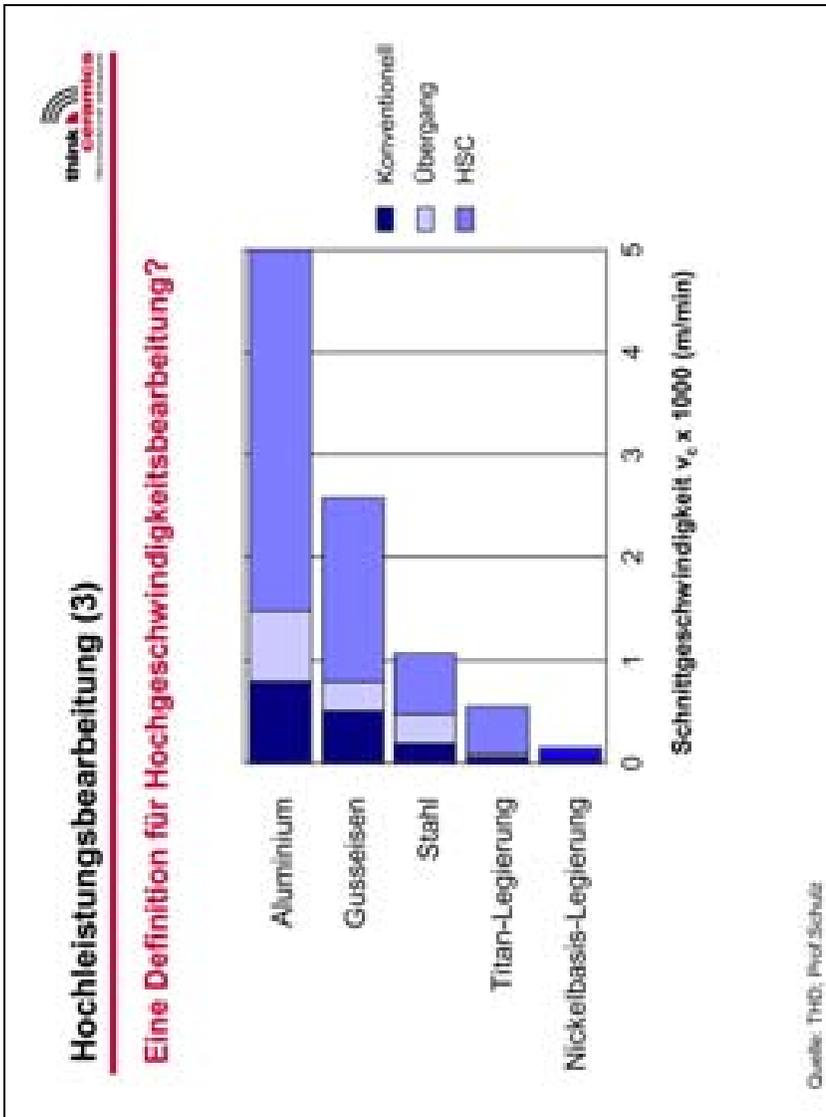
## Hochleistungsbearbeitung (1)



**Steigerung der  
Schnittgeschwindigkeiten  
im Laufe der Jahrzehnte**







## Hochleistungsbearbeitung (4)

### SPK-Schneidstoffe für die Hochleistungsbearbeitung

- Hohe Festigkeit
- Hohe Härte
- Hohe Zähigkeit
- Gute Thermowechselbeständigkeit



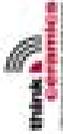
## Hochleistungsbearbeitung (5)



**SPK-Schneidkeramik:**  
der ideale Schneidstoff für  
die Hochleistungsbearbeitung  
von Gusseisenwerkstoffen



- Kürzere Bearbeitungszeiten
- Reduzierung der Fertigungskosten
- Steigerung des Zeitspanvolumens
- Produktivitätssteigerung



## Bezeichnung von Hartschneidstoffen

Nach ISO 513

Kennbuchstaben	Schneidkeramikgruppe
CA	Oxidkeramik, vorwiegend auf der Basis von Aluminiumoxid ( $Al_2O_3$ )
CM	Mischkeramik auf der Basis von Aluminiumoxid ( $Al_2O_3$ ), jedoch auch mit anderen oxidischen Bestandteilen
CN	Nitridkeramik, vorwiegend aus Siliziumnitrid ( $Si_3N_4$ )
CC	Schneidkeramik wie oben, jedoch beschichtet



## Anwendungsschwerpunkte der Schneidkeramik

### 1. Oxidkeramik

- Schlichtdrehen von Gusseisenwerkstoffen im glatten Schnitt
- Einstechen von Nuten
- Schruppdrehen von Gusseisenwerkstoffen im glatten Schnitt



## Anwendungsschwerpunkte der Schneidkeramik



### 2. Mischkeramik

- Hartbearbeitung von gehärtetem Stahl und Hartguss
- Feinschlichten und Schlichten von Gusseisenwerkstoffen



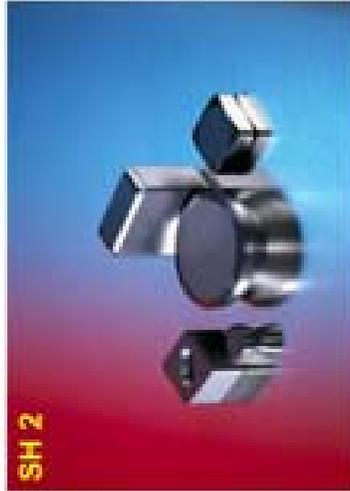
30 µm

Gefügestruktur einer konventionellen Mischkeramiksorte (1000 x)



Submikron-gefügestruktur der Mischkeramiksorte SH 2 (1000 x)

SH 2





## Anwendungsschwerpunkte der Schneidkeramik

### 3. Siliziumnitridkeramik

- Schnuppbearbeitung von GG-Werkstoffen
- Auch unterbrochener Schnitt
- Drehen, Fräsen und Aufbohren

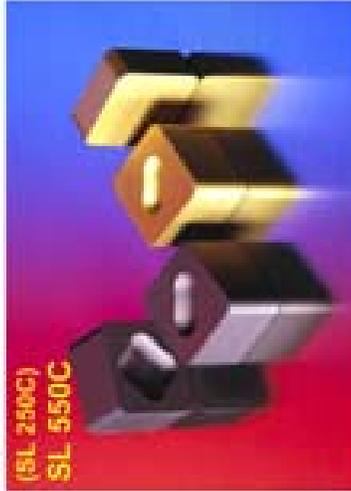


## Anwendungsschwerpunkte der Schneidkeramik

### 4. Beschichtete Siliziumnitridkeramik

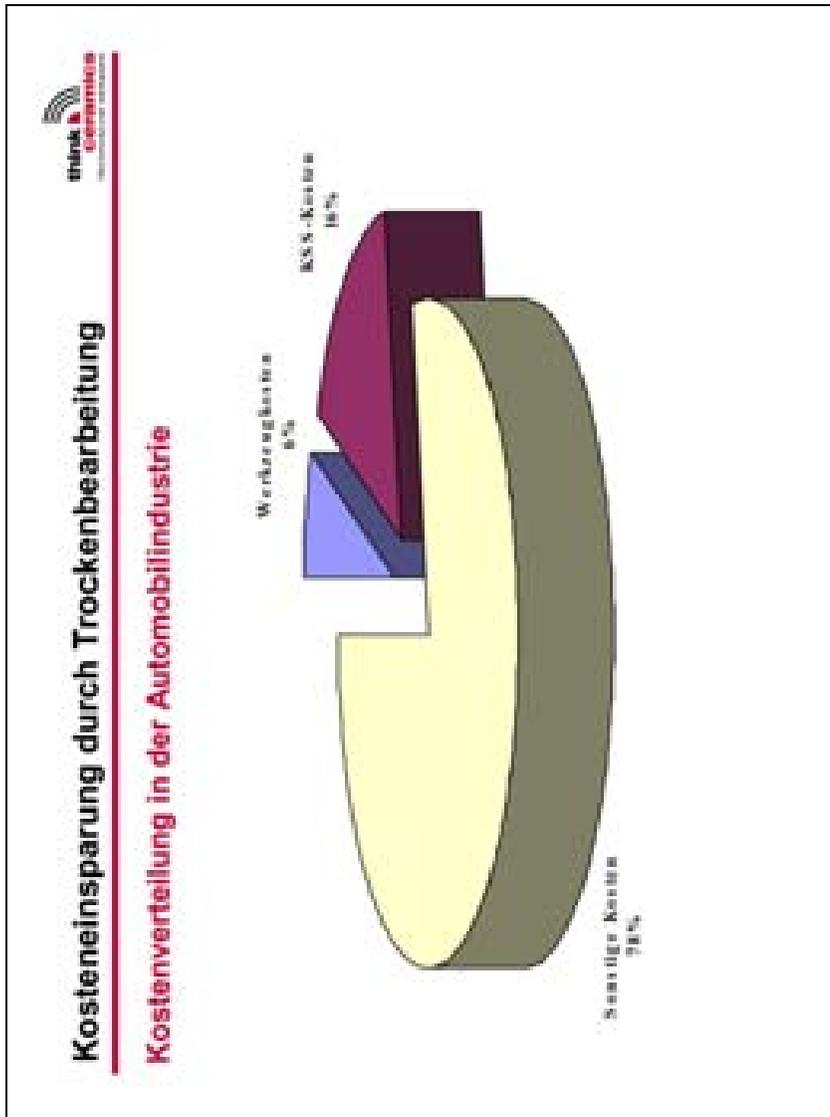
- Schnuppbearbeitung von GGG-Werkstoffen
- Auch unterbrochener Schnitt
- Drehen und Aufbohren

(SL 250C)  
SL 550C

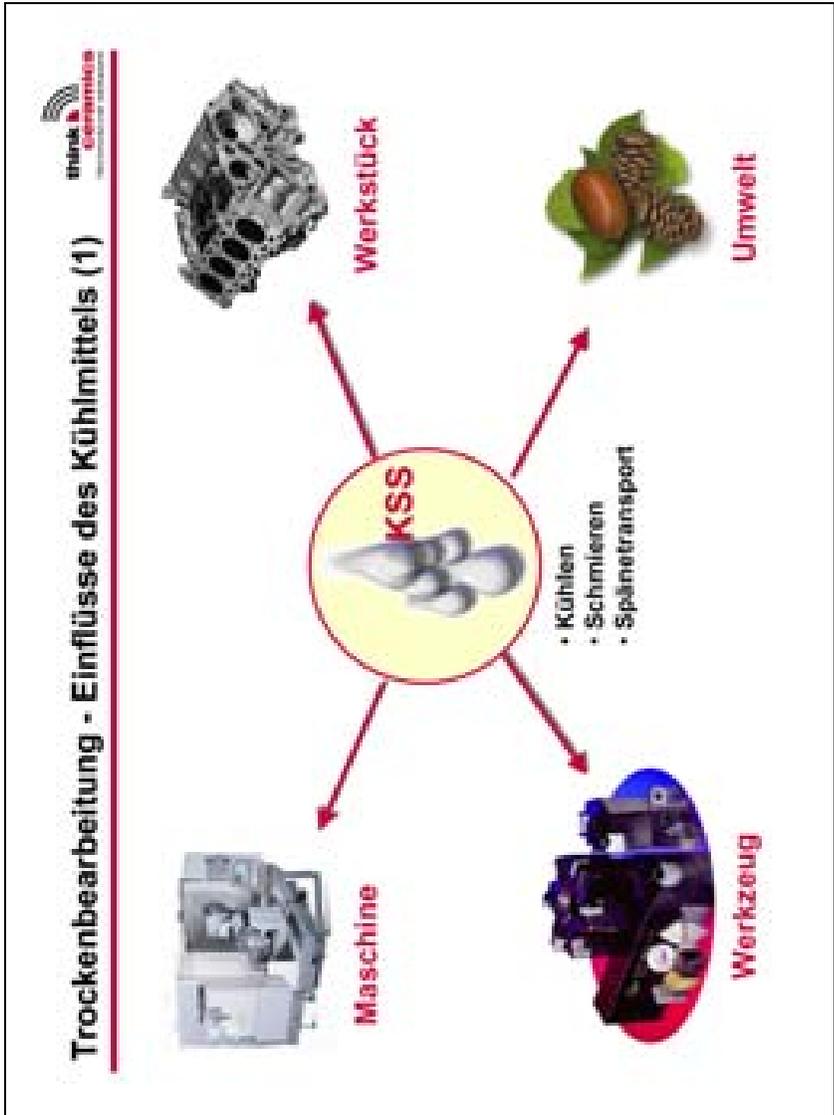


Dicke  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Schicht

auf Ti-basierter Primärschicht



6.1 Folie 15



**Trockenbearbeitung - Einflüsse des Kühlmittels (2)**

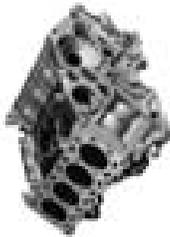


**Maschine**



- Thermische Stabilität
- Genauigkeit
- Freispülen von Spänen

## Trockenbearbeitung - Einflüsse des Kühlmittels (3)



**Werkstück**



- Maßgenauigkeit
- Formgenauigkeit
- Randzonenbeeinflussung
- Oberflächengüte
- Korrosionsschutz
- Freispülen von Spänen

**Trockenbearbeitung - Einflüsse des Kühlmittels (4)**



**Werkzeug**



- Thermische Belastung
- Standzeit
- Spänetransport

## Trockenbearbeitung - Einflüsse des Kühlmittels (5)



**Umwelt**



- Gesundheitsrisiko
- Geruchsbelästigung
- Belastung von Luft
- Verunreinigung von Wasser und Erdreich



## Hochleistungsbearbeitung mit Schneidkeramik

**Patentierete SPK-Muldenklemmung  
für anspruchsvolle Drehbearbeitung**



Die sichere Klemmung bei  
Schmittungswechseln,  
ziehenden und schweren  
Schneiden.





## Trockenbearbeitung mit Schneidkeramik

Hochleistungszerspanen eines Differentialgehäuses aus GGG-60 mit beschichteter Siliziumnitridkeramik SL550C



**Trockenbearbeitung mit Schneidkeramik**

**Hochleistungserspanen eines Differentialgehäuses aus GGG-60 mit beschichteter Siliziumnitridkeramik SL550C**



**(Film)**



6.1 Folie 23

## Hartfein-Drehen



**Hartfein-Drehen / Pro & Kontra**



- Kürzere Bearbeitungszeit
- Höhere Flexibilität
- Fertigbearbeitung in einer Spannung
- Geringere Fertigungskosten und Maschinenkosten
- Trockenbearbeitung

- Werkzeugverschleiß beeinflusst Oberfläche und Randzone
- Geringere Prozesssicherheit
- Unterbrochener Schnitt problematisch
- Draillausbildung möglicherweise negativ für Bauteil

## Hartfein-Drehen / Anforderungen Schneidstoff

- Hohe Härte und Warmhärte
- Hohe Druckfestigkeit
- Hohe Kantenfestigkeit
- Hohe Verschleißfestigkeit





## Hartfein-Drehen / Einsatzempfehlungen

### Mischkeramik

- Mittlere Schnittgeschwindigkeit
- Glatter bis leicht unterbrochener Schnitt
- Ungleichmäßiges Aufmaß
- Große Schnitttiefen
- Hart-Weichbearbeitung möglich

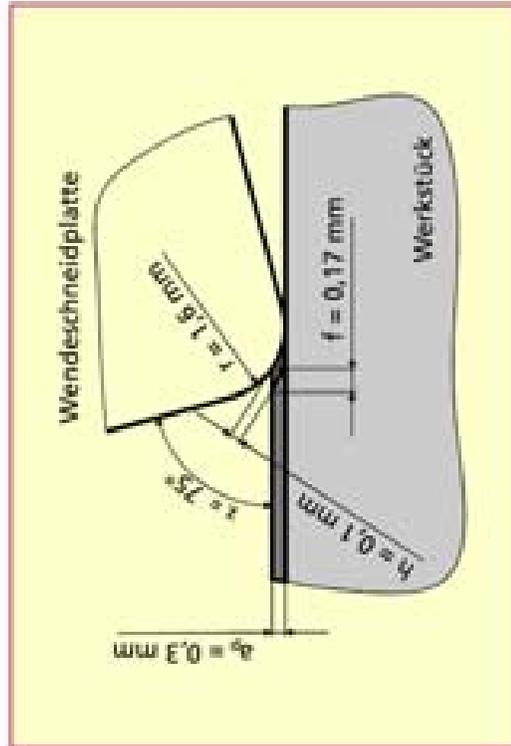


### CBN

- Hohe Schnittgeschwindigkeit
- Leichter bis stark unterbrochener Schnitt
- Gleichmäßiger Aufmaß
- Geringe Schnitttiefen

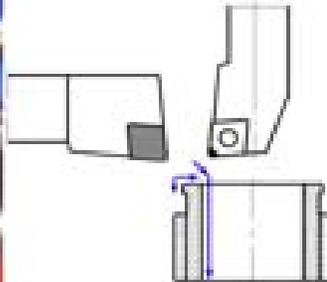


## Hartfein-Drehen / Typische Eingriffsverhältnisse





## Hartfein-Drehen / Bearbeitungsbeispiel (1)



<b>Werkstoff:</b> 20 MnCr 5 (1.7147) <b>Härte:</b> 59-63 HRc <b>KSS:</b> ohne <b>Maschine:</b> Weisser <b>Anforderung:</b> Toleranz 15µm Rz 6,3	<b>Schneidplatte:</b> CHMA 120408 T <b>Schneidstoff:</b> SH 2	<b>COMW 091308 T-A2</b> WBN 600
<b>Schnittwerte</b> v <sub>c</sub> [m/min] 120 f [mm/U] 0,08 a <sub>p</sub> [mm] 0,80 Stundmenge 80 Teile	<b>Schnitt</b> Außen 120 0,08 0,80 80 Teile	<b>Innen</b> 160 0,10 0,15 160 Teile
<b>Bemerkungen:</b>		



## Hartfein-Drehen / Bearbeitungsbeispiel (2)

Hartfein-Drehen eines Ritzels



**Hochleistungsbearbeitung mit Schneidkeramik**



**Fräsen**



**Hartfein**



**Drehen**



**Aufbohren**

