ENTWICKLUNGSTRENDS IN DER HARTZERSPANUNG – FRÄSEN VON HARTMETALL UND HARTLEGIERUNGEN

Danny Hösel, Carsten Hochmuth

Fraunhofer IWU

© Fraunhofer IWU

AGENDA

- Verschleißschutz im Produktlebenszyklus
- Ziele und Anforderungen der Hartbearbeitung
- Herstellung und Zerspanung von thermisch gespritzen Hartmetallschichten mit PKD-Werkzeugen
- Zerspanung von Hartmetall mit Werkzeugen aus beschichtetem Hartmetall
- Zusammenfassung

© Fraunhofer IWU

AGENDA

- **Verschleißschutz im Produktlebenszyklus**
- Ziele und Anforderungen der Hartbearbeitung
- Herstellung und Zerspanung von thermisch gespritzen Hartmetallschichten mit PKD-Werkzeugen
- Zerspanung von Hartmetall mit Werkzeugen aus beschichtetem Hartmetall
- Zusammenfassung

© Fraunhofer IWU

Ausgangssituation

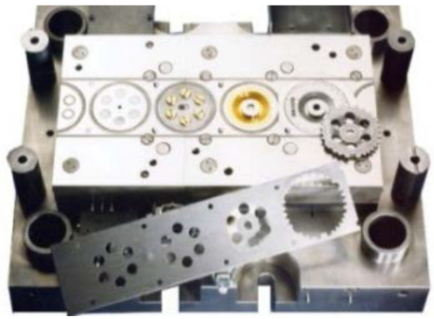
Anforderungen an die Produkte des Maschinen-, Werkzeug- und Formenbaus

- geringe Toleranzen bzgl. Maß, Form und Lage
- hohe Ansprüche an die Oberflächenqualität - Erzeugnisqualität
- komplexe Geometrien – Freiformen nach Polynomen höherer Ordnung
- hohe Festigkeit gegenüber Verschleiß, Temperatur, stat. und dynam. Belastung

Aktuell verwendete Werkstoffe:
Vergütete Stähle , Warm-/ Kaltarbeitsstähle, PM-Stähle

Ziel: - Erhöhung der Werkzeuglebensdauer
- Steigerung der Reproduzierbarkeit
- Erhöhung der Ausbringungsrate
- Reduzierung der Anlagenstillstand

Zukünftige Werkstoffe:
Hartmetalle (>1100HV), Keramiken



Stanz-Biege-Operationen
Quelle:Siebenwurst

Massiv-umformung

© Fraunhofer IWU

Verschleißschutz im Produktlebenszyklus

Anforderungen an die Funktionsflächen

- hohe Verschleißbeständigkeit
- geringe Toleranzen bzgl. Maß, Form und Lage
- hohe Ansprüche an die Oberflächenqualität
- komplexe Geometrien – Freiformen nach Polynomen höherer Ordnung
- hohe Festigkeit gegenüber Verschleiß, Temperatur, stat. und dynam. Belastung
- Fähigkeit zur Instandsetzung der Funktionsflächen

bei

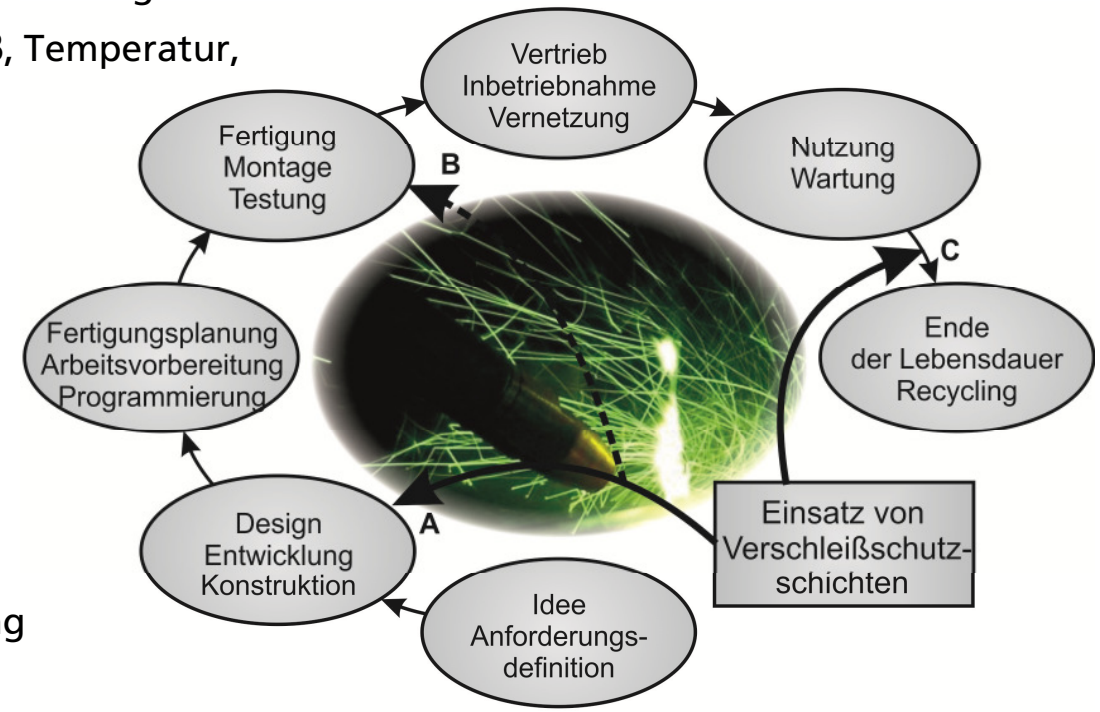
- guter Bearbeitbarkeit – Verfahren mit geometr. bestimmter Schneide
- energie- und ressourceneffizienter Herstellung bspw. Trockenbearbeitung

Wirkung von Beschichtungen

A) Entwicklungsphase

B) integriert in den Produktionsprozess

C) Am Ende des Lebenszyklus/ Wartung



© Fraunhofer IWU

Fraunhofer IWU

AGENDA

- Verschleißschutz im Produktlebenszyklus
- **Ziele und Anforderungen der Hartbearbeitung**
- Herstellung und Zerspanung von thermisch gespritzen Hartmetallschichten mit PKD-Werkzeugen
- Zerspanung von Hartmetall mit Werkzeugen aus beschichtetem Hartmetall
- Zusammenfassung

© Fraunhofer IWU

Ziele der Hartbearbeitung

Bearbeitung von Verschleißschutzwerkstoffen bisher nur möglich mittels

- Schleifen
- Funkenerosion
- (Drehen)

➔ Schleifen und Funkenerosion sind kostenintensiv und weisen ökologische, technologische und physikalische Nachteile auf

Zielsetzung / Erweiterung der Bearbeitungsmöglichkeiten

- Ziel: wirtschaftliche Prozesskettengestaltung für die Erzeugung hochverschleißfester Erzeugnisse
- Lösung: mechanische Bearbeitung von Verschleißschutzwerkstoffen mittels Fräsen – geometrische Komplexität der Erzeugnisse
- Weg:
  1. Entwicklung anforderungsgerechter Werkzeuge
  2. Ableiten geeigneter Bearbeitungsstrategien für die anhand vereinfachter Versuchsproben
  3. Überführung auf die praxisbezogene 3D-Konturbearbeitung

© Fraunhofer IWU

Anforderungen an die Zerspanung

Zerspanung von Verschleißschutzwerkstoffen

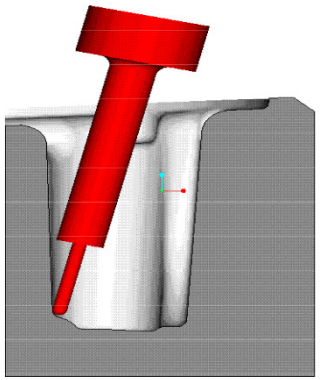
Maschine

- Maschinenkonzept
- Steifigkeit
- Dynamik
- Spindeldimensionierung
- Antriebsleistung
- Adaptierbarkeit für hybride Prozesse

Quelle:DMG Mori Seiki

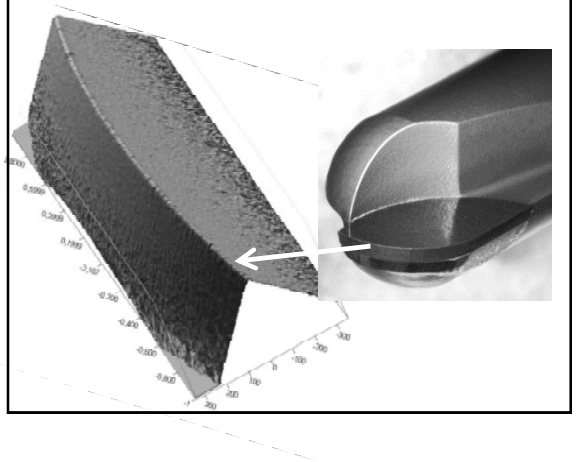
Technologie

- Aufmaßoptimierung
- HSC-taugliche Strategien
- optimierte Rohteilbearbeitung
- 5-Achs-Simultanbearbeitung
- Hybride Prozesse
- Vorschuboptimierung



Werkzeug

- Substrat / Beschichtung
- Werkzeugaufnahme
- Werkzeugverlängerung
- Genauigkeit und Rundlauf
- Schneidenmakrogeometrie/ Mikrogestaltung (Fasen, Verrundungen)



© Fraunhofer IWU

Fraunhofer IWU

AGENDA

- Verschleißschutz im Produktlebenszyklus
- Ziele und Anforderungen der Hartbearbeitung
- **Herstellung und Zerspanung von thermisch gespritzen Hartmetallschichten mit PKD-Werkzeugen**
- Zerspanung von Hartmetall mit Werkzeugen aus beschichtetem Hartmetall
- Zusammenfassung

© Fraunhofer IWU

Herstellen von Hartmetallbeschichtungen

<u>Thermisches Spritzen:</u>

HVOF – Spritzen (High Velocity Oxy Fuel)

- An- bzw. Aufschmelzen des Beschichtungsmaterials, nicht aber des Grundwerkstoffs
- Kein Stoffschluss zwischen Beschichtung und Grundwerkstoff
  ➔ Schichthaftung durch Adhäsion und Kohäsion
- sehr geringe Porosität (< 1%)
- Schichtdicken bis max. 1 mm
- Hartmetallschicht mit WC und Co-Binder (Hartstoffanteil bis 93 Mass.%)
- Werkstoffeigenschaften nahezu identisch mit gesintertem Hartmetall (bis ca. 1250HV)

© Fraunhofer IWU

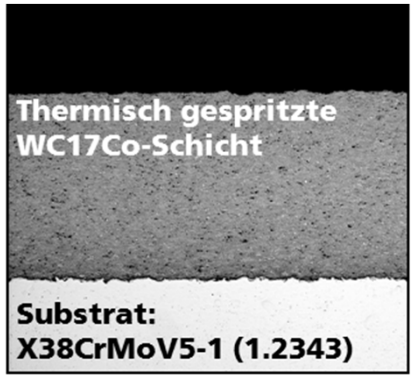
Fraunhofer IWU

Hartmetallzerspanung

Zerspanung thermisch gespritzter Hartmetallschicht

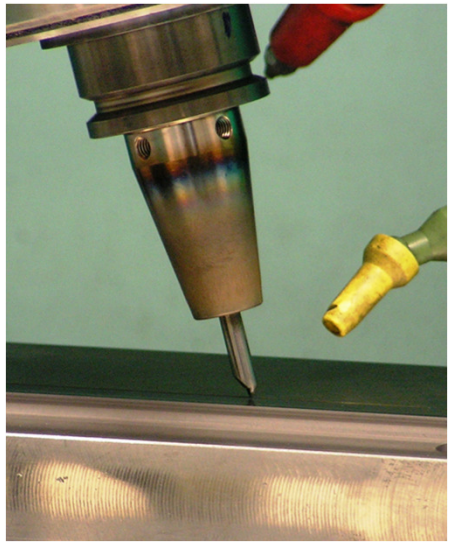
Beschichtung: WC17Co

- Auftragsverfahren: HVOF
- Substrat X38CrMoV5.1 (1.2343)
- Schichtdicke ca. 1 mm
- Feinkörnig (Korngröße<5µm)
- Härte ca. 1100 HV2
- Porosität < 1%



Bearbeitungsparameter

Schnitttiefe a_p:	0,1 – 0,2 mm
Eingriffsbreite a_e:	0,2 – 0,4 mm
Schnittgeschwindigkeit v_c:	50 – 200 m/min
Zahnvorschub f_z:	0,05 – 0,1 mm
Anstellwinkel β':	15°
Kühlung:	Luft
Auskraglänge:	25 mm
Rundlaufgenauigkeit:	≤ 5 µm



© Fraunhofer IWU

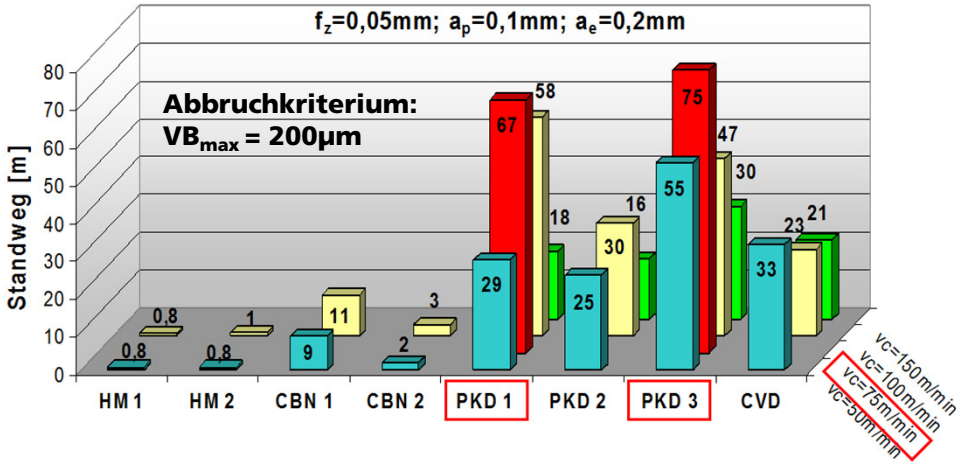
Fraunhofer IWU

Hartmetallzerspanung

Standweguntersuchungen
Schichtsystem: **WC17Co**

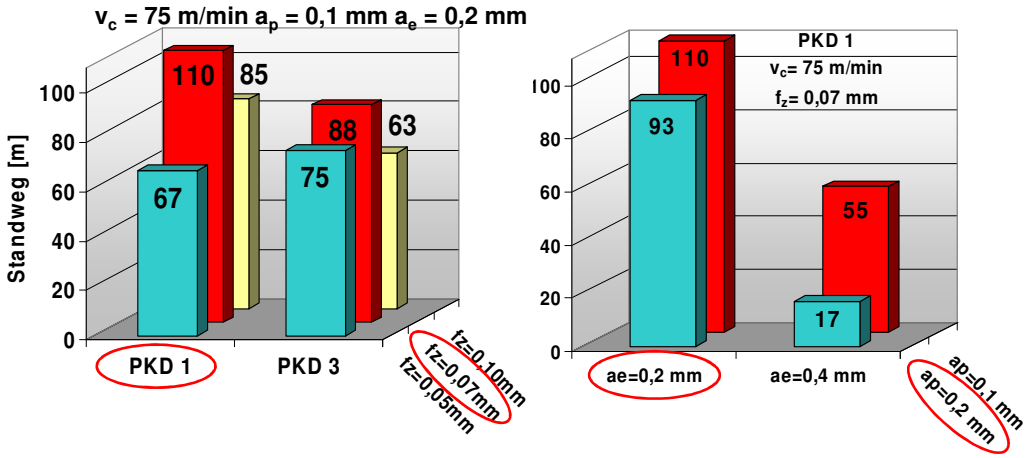
Standweg als Funktion von Schneidstoff und Schnittgeschwindigkeit

Ergebnis:
Schneidstoff: **PKD 1 / PKD 3**
Schnittgeschwindigkeit: **75 m/min**



Standweg als Funktion des ausgewählten PKD und Vorschub/Zahn

Ergebnis:
Schneidstoff: **PKD 1**
Vorschub/Zahn: **0,07 mm**
Schnitttiefe **0,2 mm**
Schnittbreite **0,2 mm**



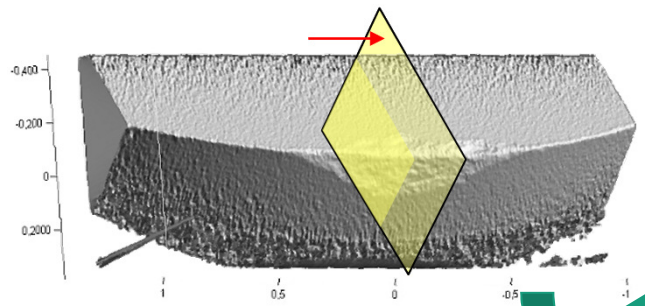
© Fraunhofer IWU

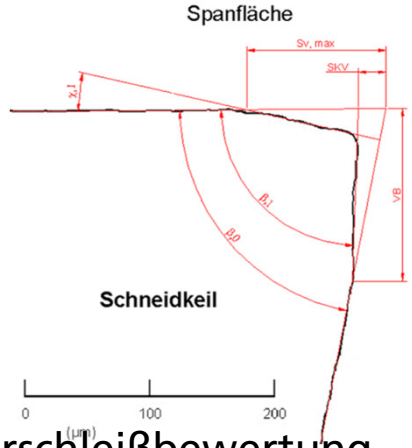
Fraunhofer IWU

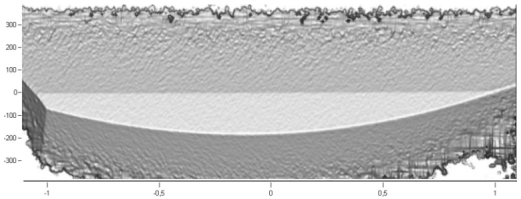
Hartmetallzerspanung

Werkzeuggestaltung

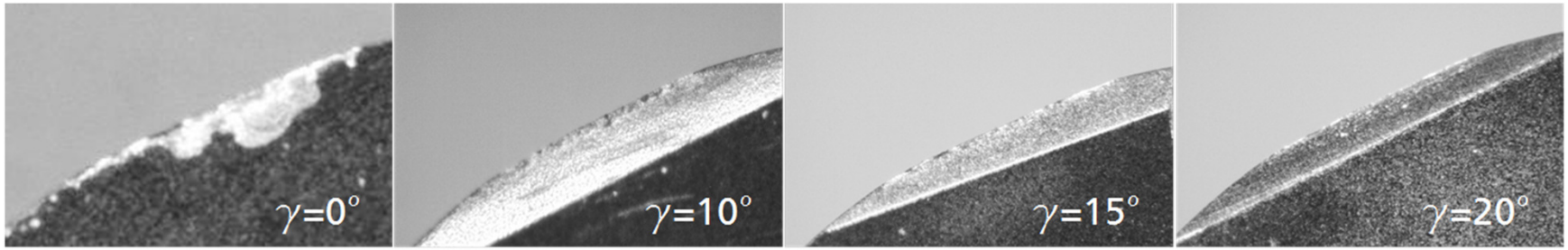
- Optische Messung der Werkzeuge vor und nach der Bearbeitung, um die Veränderung der Schneidkante zu erfassen
- **Ziel:** Schneidkante gezielt stabilisieren, um Kantenausbrüche vermeiden







1. Ist-Zustand erfassen
2. Verschleißbewertung
3. Werkzeuganpassung

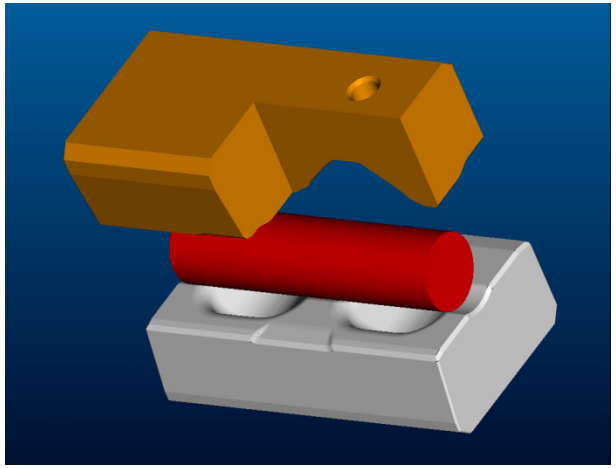


© Fraunhofer IWU

Fraunhofer IWU

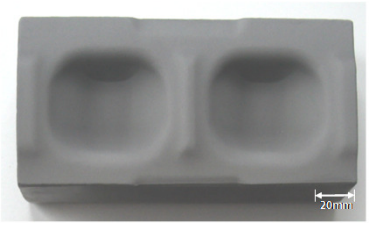
Hartmetallzerspanung

Beispiel: Schmiedegesenk

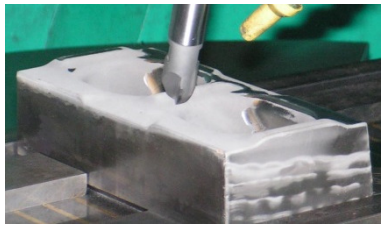


- Kurze Druckberührzeit
- Hohe, aber variierende, thermische und mechanische Belastung
- Beschichtung
  - Schichtwerkstoff: $WC(W,Cr)_2C$-7Ni
  - Schichtdicke: ca. 800µm
  - Schichthärte: ca. 1230 HV
- Werkzeug: PKD-Kugelfräser D=16mm, z=2
- Spanungsvolumen: ca. 1400 mm³
- Bearbeitungsdauer: ca. 2,5 h
- Ergebnis: R_z = 5,74 µm, R_a = 0,98 µm

1. Rohteil



2. Beschichtung



3. Fräsbearbeitung

4. Fertigteil

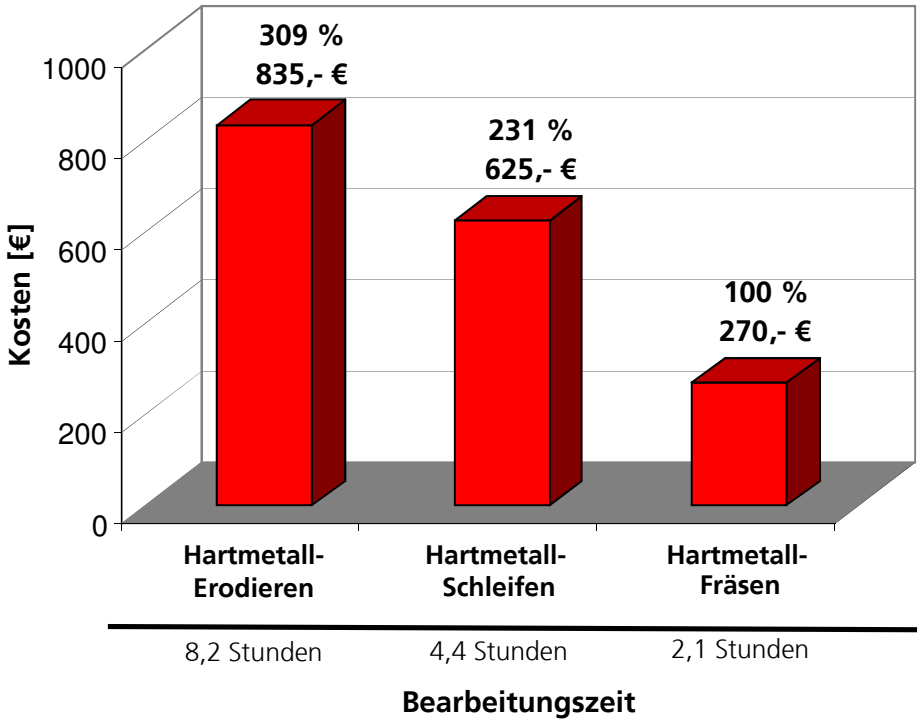
© Fraunhofer IWU

Fraunhofer IWU

Hartmetallzerspanung

Bearbeitungskosten /-zeit für die Hartmetall-Konturbearbeitung

- **Randbedingungen:**
  Berücksichtigung von Haupt- und Nebenzeiten, Maschinen-, Personal- und Werkzeugkosten
- **Bearbeitete Fläche:**
  A ≈ 8500 mm² - (200 x 42,5 mm)
- **Abzutragende Materialdicke**:
  h ≈ 0,1 mm
- **Abgetrages Volumen:**
  V ≈ 850 mm³



Nachweis von Kosteneinsparungen

aber:
- kleines Prozessfenster
- geringe Werkzeugauswahl
- begrenzte Flexibilität

Ziel:
- Kostenreduzierung
- Steigerung der Prozesssicherheit
- Erhöhung der Flexibilität

© Fraunhofer IWU

Fraunhofer IWU

AGENDA

- Verschleißschutz im Produktlebenszyklus
- Ziele und Anforderungen der Hartbearbeitung
- Herstellung und Zerspanung von thermisch gespritzen Hartmetallschichten mit PKD-Werkzeugen
- **Zerspanung von Hartmetall mit Werkzeugen aus beschichtetem Hartmetall**
- Zusammenfassung

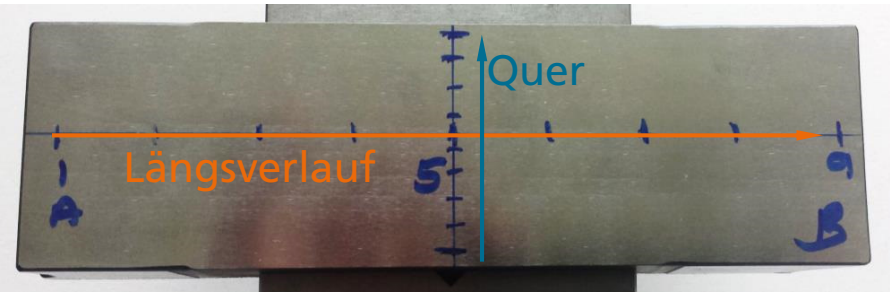
© Fraunhofer IWU

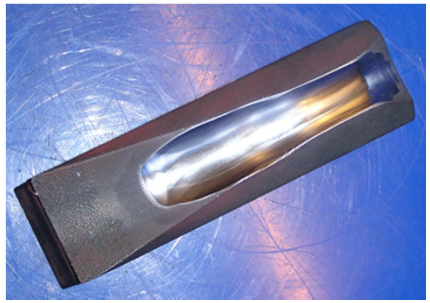
Aktuelle Herusforderung

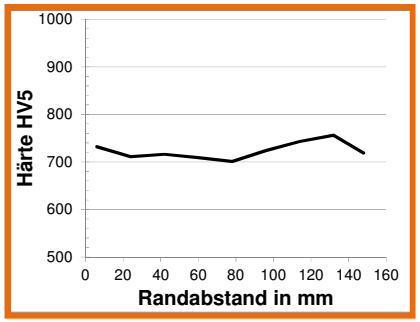
Entwicklung innovativer Frässtrategien für Hartmetalle, Keramiken und Spritzschichten unter Einsatz hybrider Prozesse (Ultraschall, kryogene Kühlung)

Versuchswerkstück – Rundknethammer

- Aktuell hergestellt durch Erodieren und Schleifen
  ➔ Substitution durch Fräsen
- Abzeilen der ebenen Rückseite der Rundknethammers

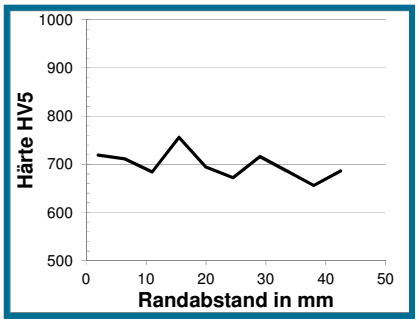






Längs

Mittelwert
723 HV5



Quer

Mittelwert
698 HV5

© Fraunhofer IWU

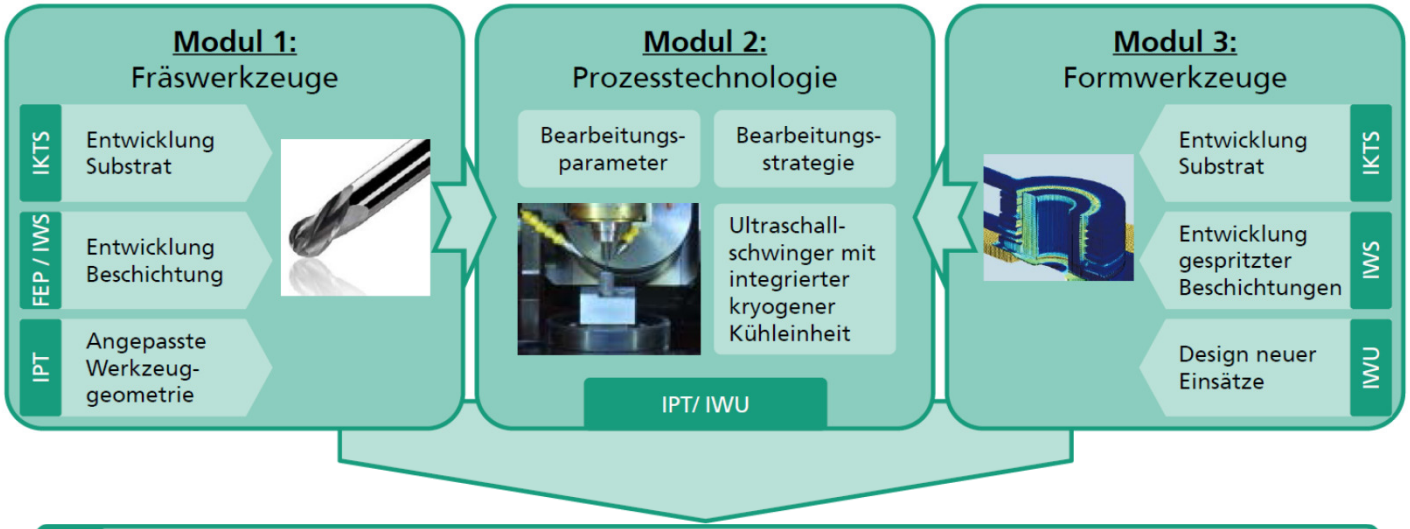
HaKeMill

Fraunhofer IWU

HaKeMill

MaVo - Marktorientierte Vorlaufforschung

Entwicklung innovativer Frästechnologien für Hartmetalle und Keramiken zur Erschließung neuer Märkte im Werkzeug- und Formenbau



Ziel 1

Verkürzung der Durchlaufzeit und Reduzierung der Kosten um 30%
im Vergleich zur bestehenden Prozesskette (Erodieren)

Ziel 2

Reduzierung der Stückkosten und Lebenszykluskosten um 50%
durch Substitution von Formwerkzeugen aus vergütetem Stahl durch Hartmetall und Keramik

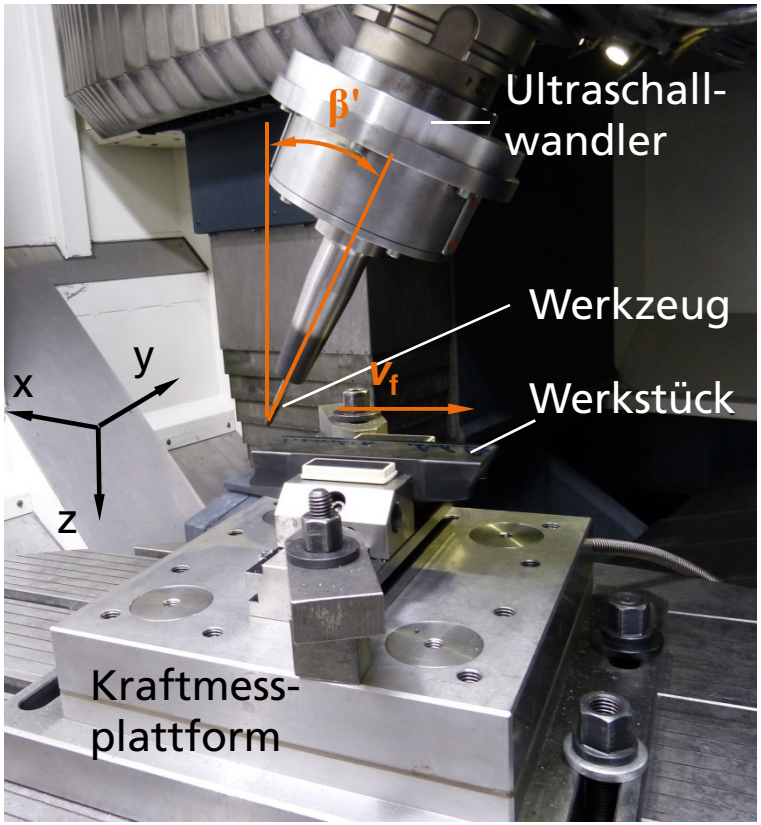
© Fraunhofer IWU

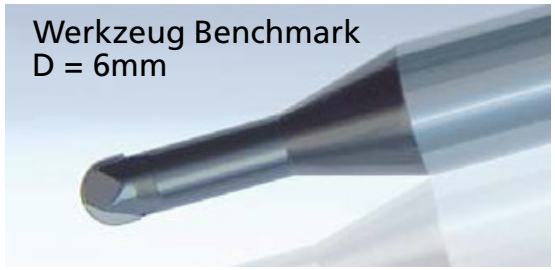
Fraunhofer IWU

HaKeMill

Analyse des Einflusses der Prozessparameter auf die Hartmetallzerspanung

Versuchsaufbau und -werkzeug





Schneidkantenradius:	15…17 µm
Nanokristall. Diamantschicht:	12 µm
Spanwinkel:	0°
Freiwinkel:	16°

Bewertungsgrößen:

- Werkzeugverschleißverhalten
- Oberflächenbeschaffenheit Werkstück
- Prozesskräfte
- Spanbildung

→ **Ermittlung eines stabilen Prozessfensters**

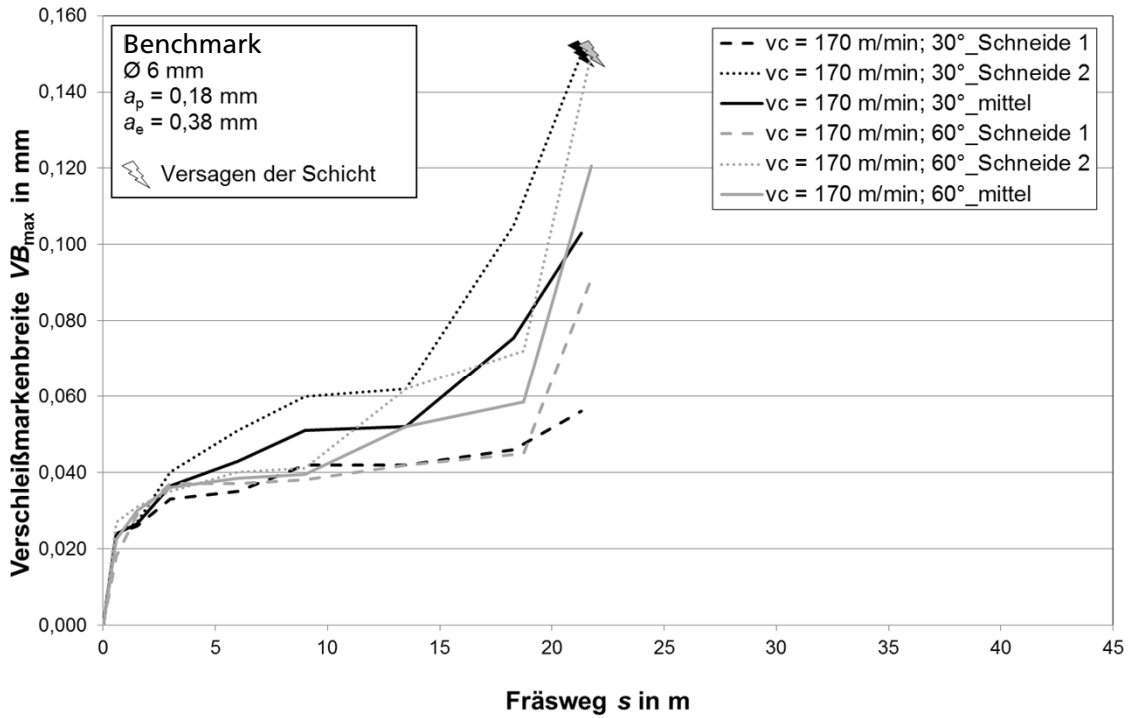
© Fraunhofer IWU

Fraunhofer IWU

HaKeMill

Analyse des Einflusses der Prozessparameter auf die Hartmetallzerspanung

Ergebnisse Verschleiß – Einfluss des Voreilwinkels



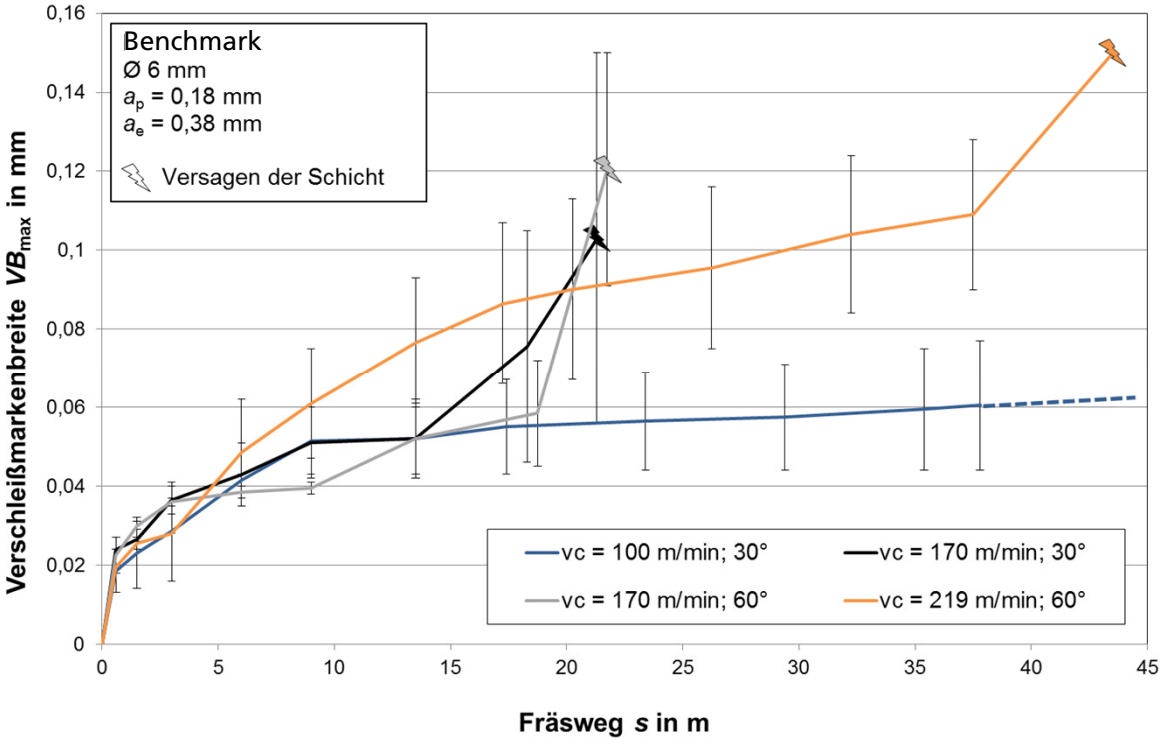
- **Voreilwinkel** β‘ besitzt **keinen signifikanten Einfluss** auf Standweg

© Fraunhofer IWU

HaKeMill

Analyse des Einflusses der Prozessparameter auf die Hartmetallzerspanung

Ergebnisse Verschleiß – Einfluss der Schnittgeschwindigkeit



- **Erhöhung der Schnittgeschwindigkeit** führt zu stärkerem **abrasiven Verschleiß** auf der Freifläche

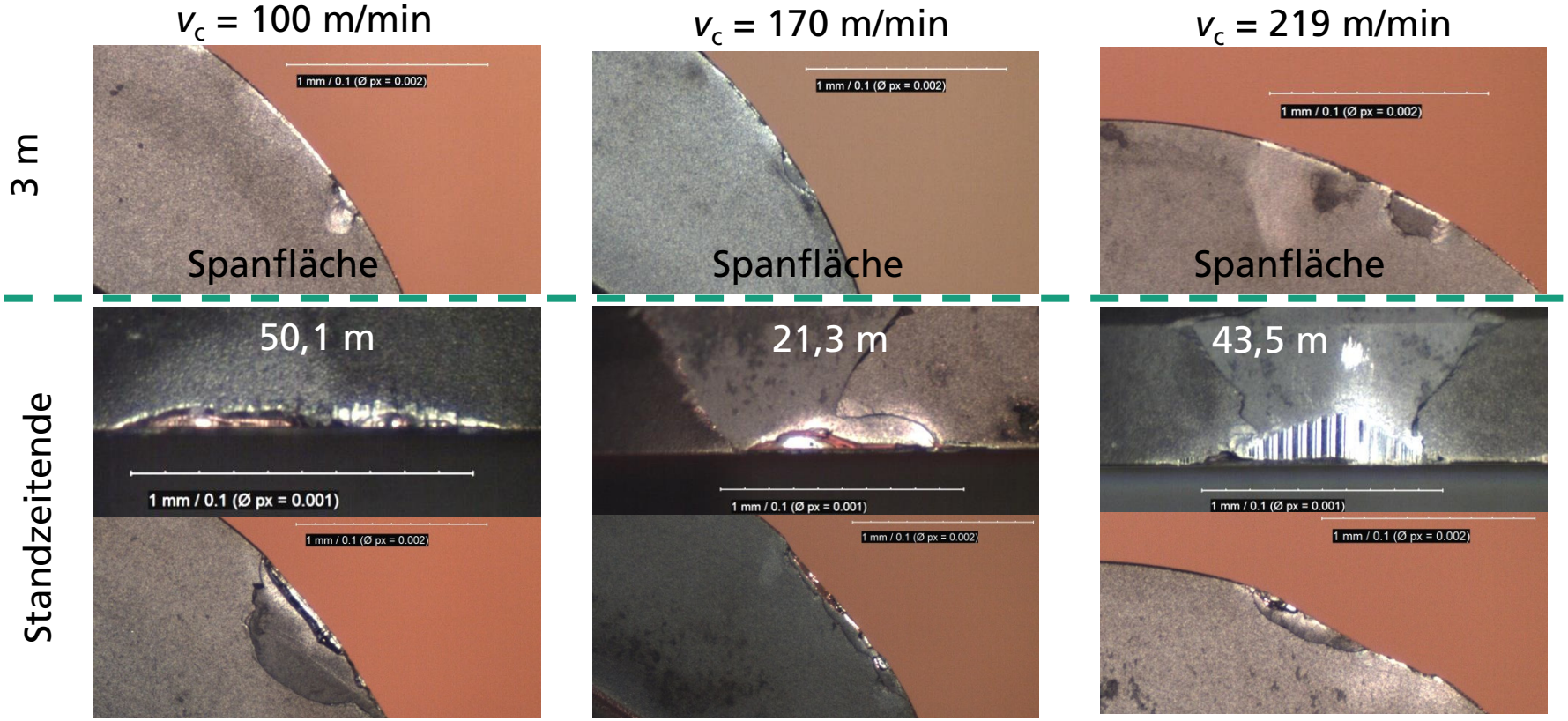
© Fraunhofer IWU

Fraunhofer IWU

HaKeMill

Analyse des Einflusses der Prozessparameter auf die Hartmetallzerspanung

Ergebnisse Verschleiß – Einfluss der Schnittgeschwindigkeit



- **Beginnende Schwächung** der Schneide durch **Schichtabplatzungen an der Spanfläche** bereits nach wenigen Metern
- Unabhängig von Schnittgeschwindigkeit **spontanes Versagen der Beschichtung**

© Fraunhofer IWU

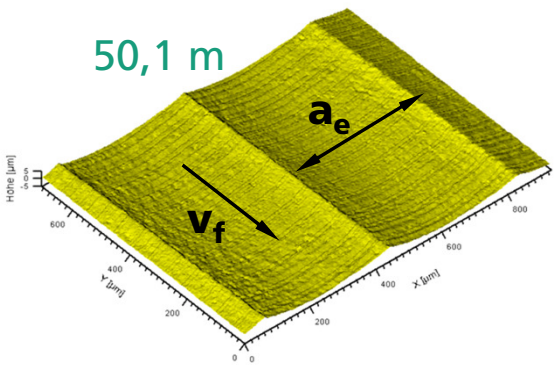
Fraunhofer IWU

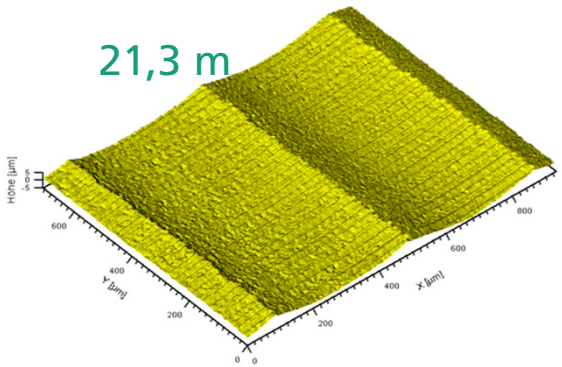
HaKeMill

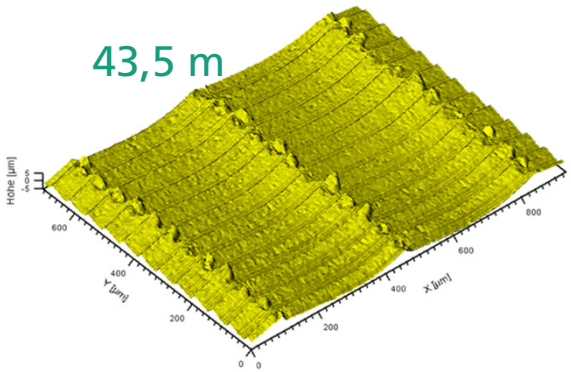
Analyse des Einflusses der Prozessparameter auf die Hartmetallzerspanung

Ergebnisse Oberfläche – Einfluss der Schnittgeschwindigkeit

	v_c = 100 m/min	v_c = 170 m/min	v_c = 219 m/min
	50,1 m	21,3 m	43,5 m







arb.scharfes Werkzeug	**Sa = 1,7 µm** **Sz = 9,12 µm**	**Sa = 1,67 µm** **Sz = 8,12 µm**	**Sa = 1,55 µm** **Sz = 7,93 µm**
Versuchs-ende	**Sa = 1,54 µm** **Sz = 7,96 µm**	**Sa = 1,15 µm** **Sz = 6,16 µm**	**Sa = 1,71 µm** **Sz = 10,39 µm**

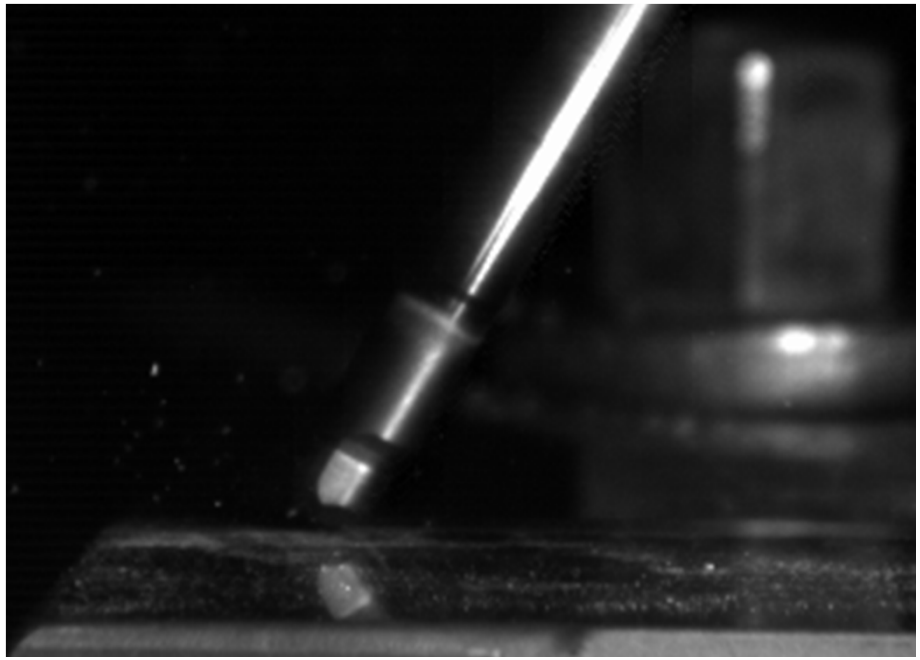
- Oberflächenprofil wird durch Eingriffsbreite a_e bestimmt
- Werkzeugverschleiß führt zu Materialaufwerfungen an der Oberfläche

© Fraunhofer IWU

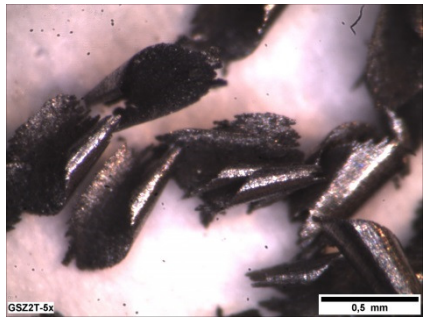
Fraunhofer IWU

HaKeMill

Zwischenergebnisse – Spanbildungsprozess

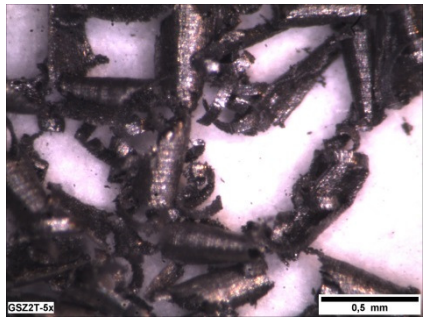


Highspeed-Aufnahme des Zerspanungsprozesses



v_c = 170 m/min
f_z = 0,03 mm
a_p = 0,18 mm
a_e = 0,38 mm
β' = 30°

s = 1,5 m



s = 59,4 m
Standweg-
ende

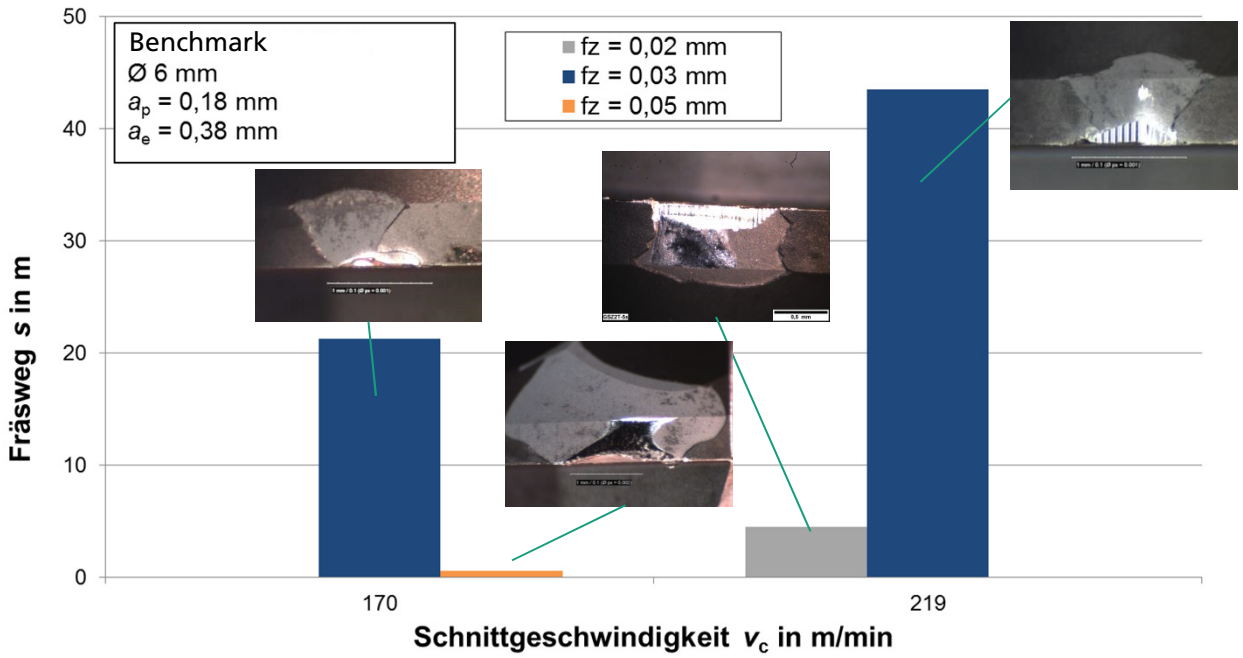
- mit zunehmenden Verschleiß negative Beeinflussung des Spanbildungsprozesses
  → Material wird nicht mehr sauber geschnitten

© Fraunhofer IWU

HaKeMill

Analyse des Einflusses der Prozessparameter auf die Hartmetallzerspanung

Ergebnisse Verschleiß – Einfluss des Zahnvorschubs



Max. Spanungsdicke

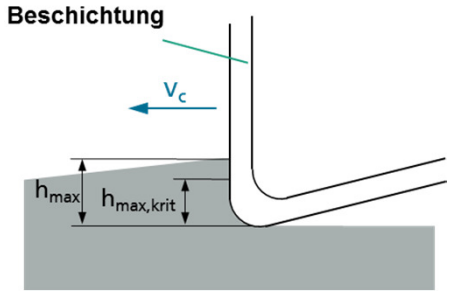
$$h_{max} = f_z \cdot sin\varphi_s$$

Eingriffswinkel

$$cos\varphi_s = 1 - \frac{2 \cdot a_e}{D_{xy}}$$

Wirkdurchmesser

$$D_{xy} = 2 \cdot \sqrt{a_p \cdot (d - a_p)}$$



- Reduzierung des Zahnvorschubs auf f_z = 0,02 mm ergibt maximale Spanungsdicke h_{max} = 0,015 mm ←→ Schneidkantenradius 12-15 µm
  → hohe Schubspannungen führen zum frühzeitigen Schichtversagen
- **Erhöhung** auf f_z = 0,05 mm führt zu **hoher Schneidenbelastung**

© Fraunhofer IWU

Fraunhofer IWU

AGENDA

- Verschleißschutz im Produktlebenszyklus
- Ziele und Anforderungen der Hartbearbeitung
- Herstellung und Zerspanung von thermisch gespritzen Hartmetallschichten mit PKD-Werkzeugen
- Zerspanung von Hartmetall mit Werkzeugen aus beschichtetem Hartmetall
- **Zusammenfassung**

© Fraunhofer IWU

Zusammenfassung

Bearbeitung von Hartmetallschichten mit PKD-Werkzeugen

- Fräsbearbeitung von thermisch gespritzen Hartmetallschichten ist mittels Diamantwerkzeugen realisierbar
- Reduzierung der Kosten für die Hartmetallbearbeitung um 60 % im Vergleich zu konventionellen Möglichkeiten (Konturschleifen, Senkerodieren) nachgewiesen
- Fräsbearbeitung ist nahezu frei von Randzonenschädigung und ermöglicht sehr gute Oberflächenqualitäten

Bearbeitung von Hartmetall mit beschichteten Hartmetall-Werkzeugen

- Spanende Endbearbeitung mit beschichteten Hartmetallwerkzeugen ist möglich
- aktuell zeigt sich spontanes Werkzeugversagen durch großvolumiges Abplatzen der Beschichtung
- Entwicklung neuer
  - Werkzeuge (Substrat, Beschichtung, Interface zwischen Substrat und Beschichtung, Makro- und Mirkogeometrie)
  - Bearbeitungsprozesse (Schnittgeschwindigkeit, Vorschub/Zahn, Schnitttiefe, Eingriffsbreite, Anstellwinkel)
  - hybrider Prozesse (kryogene Bearbeitung, Ultraschallunterstützung)

© Fraunhofer IWU

Fraunhofer IWU - Ansprechpartner

Bedarfsgerechte Auslegung
Grundwerkstoff / Beschichtung

Werkzeugentwicklung

Fraunhofer IWU

Prozesskettenentwicklung

Technologieentwicklung

FEM-Simulation

Carsten Hochmuth

Abteilungsleiter Zerspanungstechnologie
Reichenhainer Straße 88
09126 Chemnitz
Tel.: 0371- 5397 1811
carsten.hochmuth@iwu.fraunhofer.de

Danny Hösel

Wissenschaftl. MA Zerspanungstechnologie
Reichenhainer Straße 88
09126 Chemnitz
Tel.: 0371- 5397 1169
danny.hoesel@iwu.fraunhofer.de

© Fraunhofer IWU

Fraunhofer IWU

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

© Fraunhofer IWU

Fraunhofer IWU

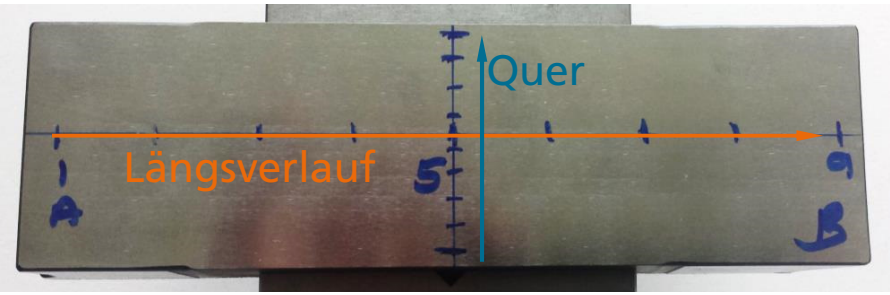
Aktueller Forschungsbedarf

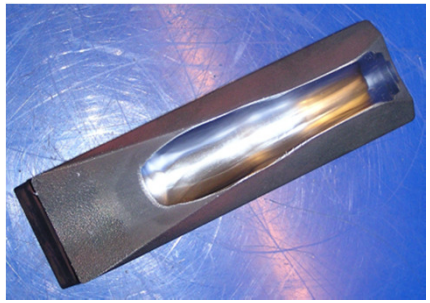
Fraunhofer IWU

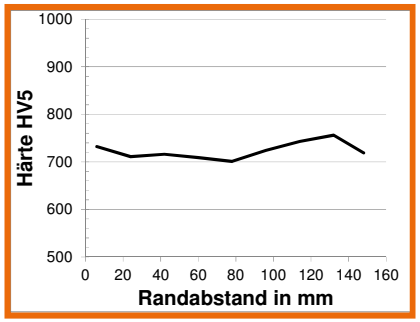
Entwicklung innovativer Frässtrategien für Hartmetalle, Keramiken und Spritzschichten unter Einsatz hybrider Prozesse (Ultraschall, kryogene Kühlung)

Versuchswerkstück – Rundknethammer

- Aktuell hergestellt durch Erodieren und Schleifen
  ➔ Substitution durch Fräsen
- Abzeilen der ebenen Rückseite der Rundknethammers

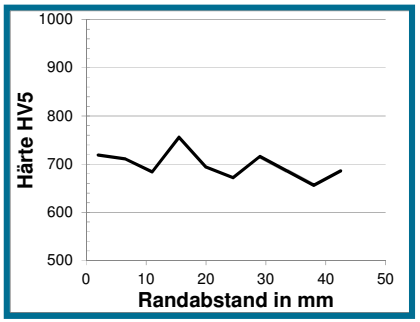






Längs

Mittelwert
723 HV5



Quer

Mittelwert
698 HV5

© Fraunhofer IWU

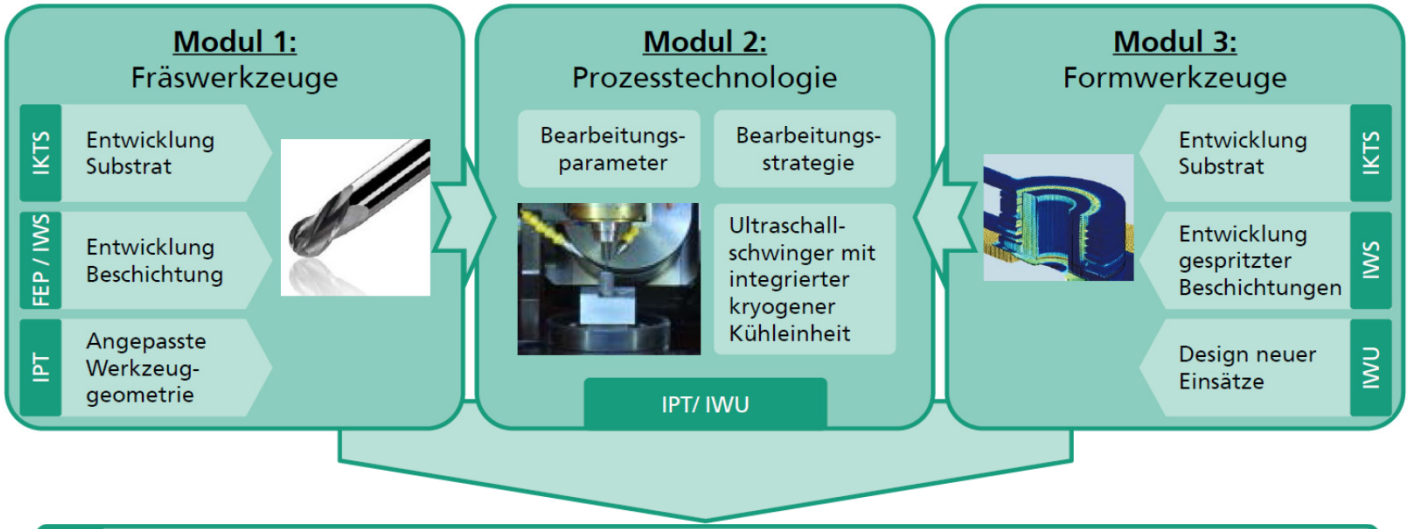
HaKeMill

Fraunhofer IWU

HaKeMill

MaVo - Marktorientierte Vorlaufforschung

Entwicklung innovativer Frästechnologien für Hartmetalle und Keramiken zur Erschließung neuer Märkte im Werkzeug- und Formenbau



Ziel 1

Verkürzung der Durchlaufzeit und Reduzierung der Kosten um 30%
im Vergleich zur bestehenden Prozesskette (Erodieren)

Ziel 2

Reduzierung der Stückkosten und Lebenszykluskosten um 50%
durch Substitution von Formwerkzeugen aus vergütetem Stahl durch Hartmetall und Keramik

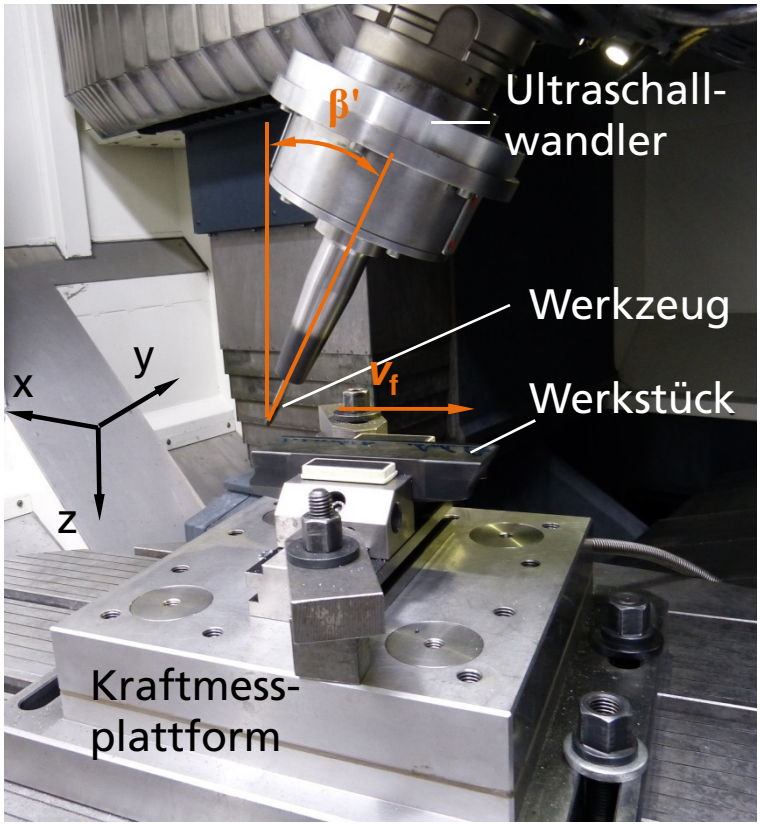
© Fraunhofer IWU

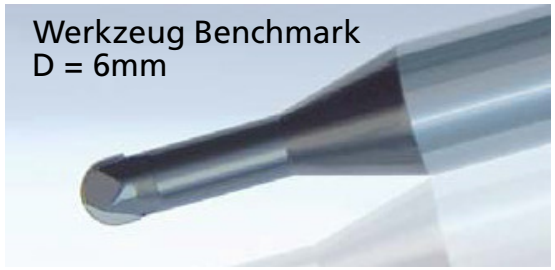
Fraunhofer IWU

HaKeMill

Analyse des Einflusses der Prozessparameter auf die Hartmetallzerspanung

Versuchsaufbau und -werkzeug





Schneidkantenradius:	15…17 µm
Nanokristall. Diamantschicht:	12 µm
Spanwinkel:	0°
Freiwinkel:	16°

Bewertungsgrößen:

- Werkzeugverschleißverhalten
- Oberflächenbeschaffenheit Werkstück
- Prozesskräfte
- Spanbildung

→ **Ermittlung eines stabilen Prozessfensters**

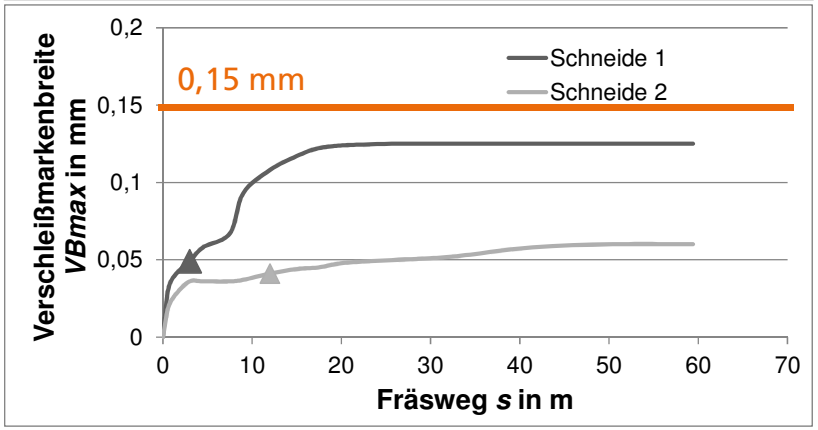
© Fraunhofer IWU

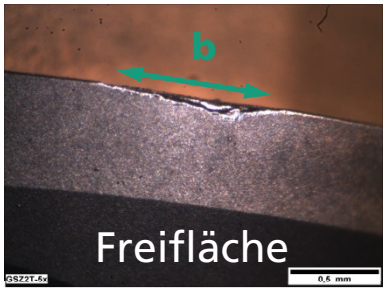
Fraunhofer IWU

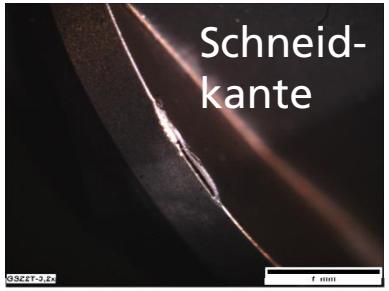
HaKeMill

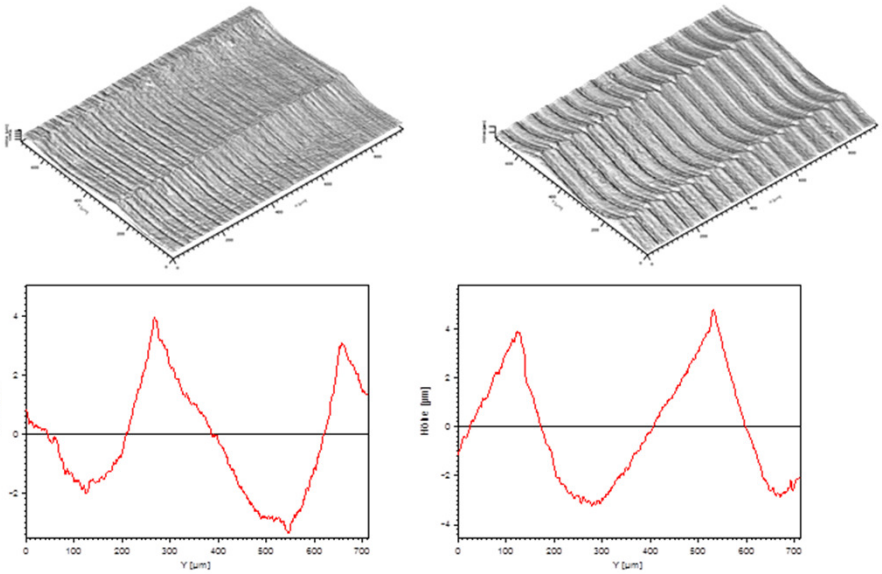
Zwischenergebnisse – Werkzeugverschleiß

v_c = 170 m/min f_z = 0,03 mm
a_p = 0,18 mm a_e = 0,38 mm β' = 30°









s = 1,5 m s = 59,4 m

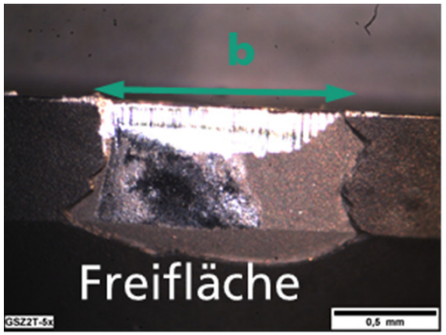
- Kleinere plateauförmige Ausbrüche an der Schneidkante schon nach geringem Fräsweg
- Gleichbleibende Oberflächenqualität über den Fräsweg von ca. 60 m

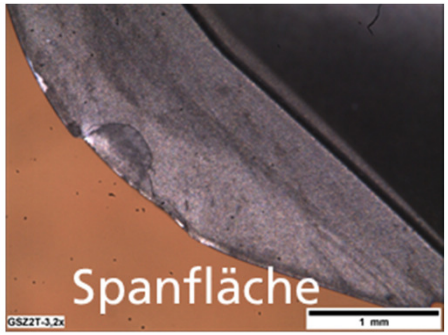
© Fraunhofer IWU

HaKeMill

Zwischenergebnisse – Werkzeugverschleiß

- **spontanes Versagen des Werkzeuges durch großflächiges Abplatzen der Beschichtung**
  ➔ hohe Werkzeugbelastung aufgrund der Reibung zwischen Hartmetallfräswerkzeug und Werkstück





- Systematische Entwicklung
  - neuer Substratwerkstoffe für Fräswerkzeuge,
  - neuer Beschichtungssysteme
  - einer anforderungsgerecht ausgelegten Beschaffenheit Interface zwischen Substrat und Beschichtung
- Erprobung unterschiedlicher Schneidkantenpräparationen
- Optimierung der Schnittparameter

© Fraunhofer IWU