

Rubrik: Werkzeug-/Formenbau
Titel: Fräsen thermisch gespritzter Hartmetalle
Untertitel: -
Autoren: R. Neugebauer, C. Hochmuth, R. Georgi

Autorenangaben:

Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E.h. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. Reimund Neugebauer,
Dipl.-Ing. Carsten Hochmuth, Dipl.-Ing. (FH) René Georgi
Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik (IWU)
Reichenhainer Str. 88, D-09126 Chemnitz
Tel. +49 (0)371 / 5397-1811 oder -1818
Fax +49 (0)371 / 5397-1732
E-Mail: carsten.hochmuth@iwu.fraunhofer.de
oder rene.georgi@iwu.fraunhofer.de
Internet: <http://www.iwu.fraunhofer.de>

Inhalt: Im Rahmen eines Verbundprojektes der Fraunhofer-Gesellschaft wird für den Bereich Umformwerkzeuge die Möglichkeit einer effizienten Verschleißreduzierung untersucht. Thermisch gespritzte Hartmetallschichten besitzen das Potenzial das Verschleißverhalten positiv zu beeinflussen, erfordern jedoch eine zusätzliche Nacharbeit. Untersuchungen zeigten, dass die Bearbeitung dieser Schichten mittels Fräsen eine effektive und wirtschaftliche Alternative zum Schleifen und Erodieren darstellt.

Titel (Eng): Milling of thermal sprayed carbide

Abstract: On the basis of a cooperative project the Fraunhofer-Gesellschaft is investigating the possibilities of an efficient wear reduction for forming dies. A coating composed of thermal sprayed carbide on 3D forming dies allows high strength and wear resistance but needs a refinishing operation. Latest researches have shown that milling of these coatings is an economic alternative to grinding and eroding.

1 Einleitung

Die Entwicklung und Applikation neuer Beschichtungslösungen für hochbelastete Bauteile sind Ziele eines Verbundprojektes (WISA LoadCoat) der Fraunhofer-Gesellschaft. Durch Kooperation mehrerer Institute steht die gesamte Prozesskette Beschichtungswerkstoff, Beschichtung, Finishbearbeitung sowie Simulation und Betriebsverhalten im Fokus der Untersuchung.

Wesentliche Entwicklungsziele der Industrie sind die stetige Steigerung von Produktivität und Leistung technischer Anlagen und Maschinen. Speziell an Umformwerkzeugen werden sehr hohe Anforderungen gestellt, um einen prozesssicheren Fertigungsablauf sowie hohe Standmengen sicherzustellen.

Kennzeichnend für die Umformverfahren sind erhebliche Belastungen infolge hoher Reibung, Flächenpressungen und Prozesstemperaturen. Hauptsächlich an Übergangsradien und für hohe Umformgrade verantwortliche Konturen kommt es verstärkt zu abrasiven und adhäsiven Verschleißerscheinungen [1].

Um den steigenden Anforderungen gerecht zu werden und den Verschleißursachen entgegenzuwirken, erscheint die Beschichtung hoch beanspruchter Werkzeugbereiche mit thermisch gespritzten Hartmetallschichten als ein geeignetes Mittel. Da sich Hartmetalle vor allem durch Eigenschaften wie hohe Härte, hohe Festigkeit und auch einer gewissen Zähigkeit auszeichnen, bilden sie die Grundlage für einen Werkstoff für extreme Beanspruchungen. Enge Grenzen hingegen zeichnen sich durch dessen pulvermetallurgische Herstellung, die beträchtliche Dichte des Hartstoffes WC (Wolfram-Carbid) und dem hohen Preis der Komponenten ab. Ein Kompromiss kann dabei der Ansatz sein, das Hartmetall nicht als massiven Körper, sondern nur im tribologischen Funktionsbereich eines Werkzeuges bzw. Bauteiles als Beschichtung zu platzieren.

Einen besonderen Stellenwert nehmen hierbei die thermischen Spritzverfahren ein, da durch die gezielte Ablagerung von Spritzschichten auf den Funktionsflächen von Bauteilen gewünschte tribologische Effekte eingebracht werden können. Das Ergebnis sind wesentlich verbesserte werkstofftechnische Eigenschaften der Komponenten und höhere Prozessgeschwindigkeiten an Produktionseinrichtungen. Die Beschichtung von Umformwerkzeugen erfordert aber auch die Weiterentwicklung von wirtschaftlichen und flexiblen Bearbeitungsstrategien. Derzeit ist es nur möglich Hartmetall mittels Schleifen oder Funkenerosion zu bearbeiten. Beide Prozesse sind jedoch kostenintensiv und weisen ökologische, technologische und physikalische Nachteile auf.

Ein bislang ungelöstes Problem stellt die Fräsbearbeitung dieses Materials dar. Das Verfahren erlaubt nach dem bisherigen Stand der Technik nur die Bearbeitung von gehärtetem Stahl, nicht aber von Hartmetall.

2 Werkzeuge für die Hartmetallzerspanung

Die bei der Hartmetallzerspanung im unterbrochenen Schnitt zum Einsatz kommenden Werkzeuge sind extremen Belastungen ausgesetzt. Es werden Schneidstoffe benötigt, die den enormen Wechselbeanspruchungen hinsichtlich auftretender thermischer und dynamischer Belastungen gewachsen sind. Infolge der werkstoffbedingten hohen Härte, die die Grenze der konventionellen Hartbearbeitung deutlich überschreitet, resultieren zum Teil widersprüchliche Forderungen nach Druckfestigkeit und Zähigkeit. Die Werkzeuge können daher, abgestimmt auf die geforderte Bearbeitungsaufgabe, nur über eine Kombination technologisch vereinbarer Eigenschaften verfügen. Diese sind so zu wählen, dass sich ein wirtschaftliches Verschleißverhalten einstellt.

Für die durchgeführten Grundlagenuntersuchungen wurde somit das Hauptaugenmerk auf vorzugsweise superharte Schneidstoffe wie CBN, PKD und CVD-Dickschichtdiamant gelegt. Die Ausführung der Werkzeuge erfolgte bereits im Hinblick auf eine folgende Konturbearbeitung. Zum Einsatz sind folglich ausschließlich Kugelfräser mit einem Durchmesser von $D=6$ mm gekommen. Um die gewonnenen Ergebnisse repräsentativ miteinander vergleichen zu können, fiel die Wahl auf einheitlich einschneidige Werkzeuge [Bild 1].

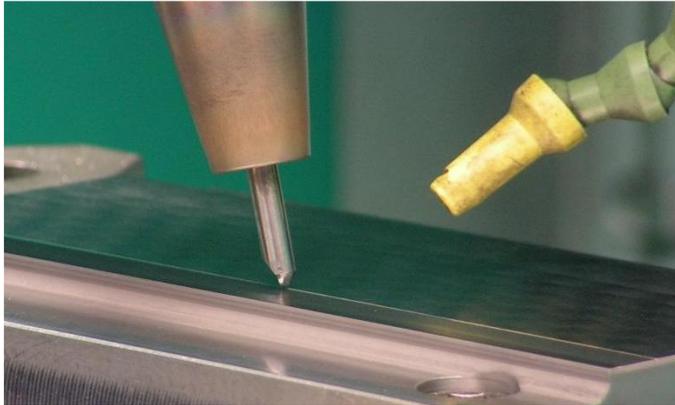


Bild 1. Fräsen von thermisch gespritztem Hartmetall

3 Versuchsgrundlagen und -durchführung

Die Hauptziele der durchgeführten Forschungsarbeit bestehen darin, einen geeigneten Schneidstoff für die spanende Bearbeitung von thermisch gespritzten Hartmetallen zu verifizieren und entsprechend wirtschaftliche Prozessparameter zu ermitteln. Untersucht wurden hierbei unter anderem die wirkenden Prozesskräfte, der Werkzeugverschleiß und die erzeugten Oberflächenqualitäten.

Bei dem zu zerspanenden Hartmetallen wurde zunächst der Focus auf das Substrat WC-17Co gelegt. Dieses Material ist mittels Hochgeschwindigkeitsflammspritzen (HVOF) auf einen für Umformwerkzeuge typischen Werkstoff (X38CrMoV5.1) aufgetragen worden [Bild 2]. Das Auftragsverfahren HVOF zeichnet sich durch eine überdurchschnittliche Haftverbindung bei gleichzeitig sehr hoher Maßgenauigkeit und einer realisierbaren Porosität von unter 1% aus [2]. Für das Substrat WC-17Co konnte die Härte mit einem Wert von 1075 HV2 bestimmt werden.



Bild 2. Hochgeschwindigkeitsflammspritzen (HVOF)

Aufgrund der geringen Formabweichung der aufgespritzten Hartmetallschicht ergibt sich für die direkt an den Beschichtungsprozess anschließende Finischbearbeitung mittels Fräsen lediglich eine erforderliche Schnitttiefe a_p von 0,1 bis maximal 0,2mm. Die Werkzeuge wurden im Versuchsprogramm systematisch auf den Einfluss der Schnittgeschwindigkeit, Zahnvorschub, Schnitttiefe und Eingriffsbreite untersucht. Als einheitliches Kriterium für die Beurteilung der untersuchten Werkzeugkonzepte galt eine Obergrenze der zulässigen Verschleißmarkenbreite von $VB_{\max}=0,2\text{mm}$.

4 Versuchsergebnisse

4.1 Erreichbare Standwege und Spanvolumen

Als maßgebenden Einflussfaktor wurde zunächst die Schnittgeschwindigkeit näher betrachtet [Bild 3]. Hierfür wurde ein Voreilwinkel von $\beta=15^\circ$, eine Schnitttiefe von $a_p=0,1\text{mm}$, die Eingriffsbreite mit $a_e=0,2\text{mm}$ und der Zahnvorschub auf $f_z=0,05\text{mm}$ festgelegt. Im Ergebnis zeigte sich, dass PKD für die Zerspanung von Hartmetall die Forderungen nach notwendiger Härte und Zähigkeit für diese Bearbeitungsaufgabe im günstigsten Verhältnis in sich vereint.

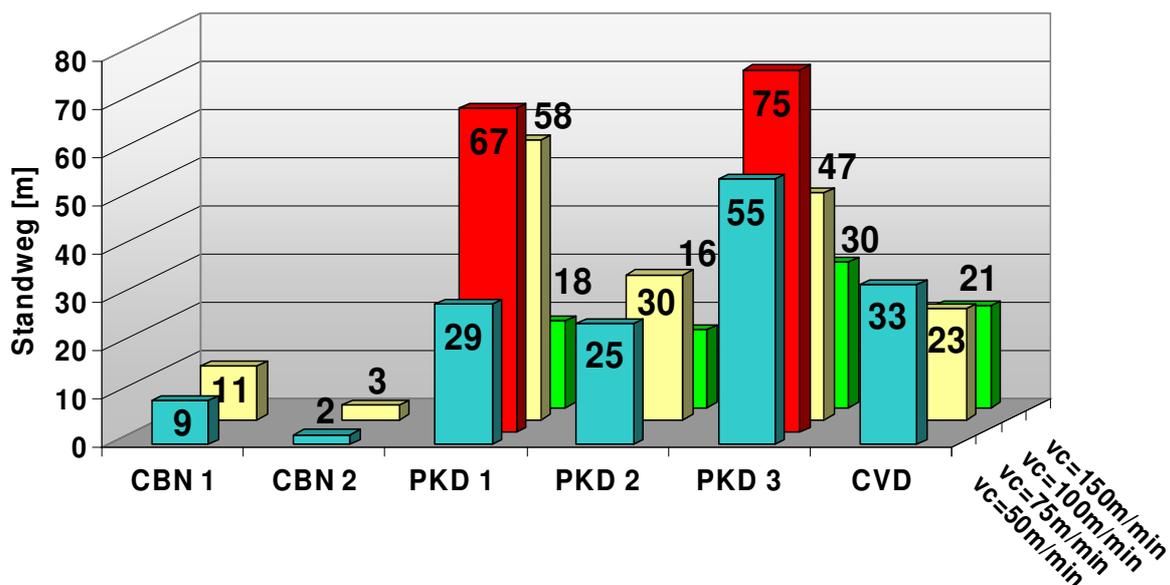


Bild 3. Standwege bei Variation der Schnittgeschwindigkeit

Die ersten Untersuchungen ergaben, dass CBN aufgrund der vergleichsweise geringeren Härte und Zähigkeit verstärkte Verschleißerscheinungen zur Folge hat und somit nicht für diese Aufgabe als geeignet erscheint. Der CVD-Diamant steht dem PKD mit einer deutlich höheren Härte entgegen. Nach anfänglich guten Ergebnissen kann die Schneidkante ab einem gewissen Grad der Schädigung der schlagartigen Belastung im unterbrochenen Schnitt jedoch nicht ausreichend entgegenwirken und neigt verstärkt zum Ausbrechen. Besonders zwei PKD-Sorten (PKD 1 und PKD 3) konnten mit einer optimalen Schnittgeschwindigkeit von $v_c=75\text{m/min}$ im Ergebnis überzeugen und bildeten die Grundlage weiterführender Untersuchungen.

Durch die Variation des Zahnvorschubes auf $f_z=0,07\text{mm}$ gelang es, den Standweg für PKD auf 110 Meter zu erhöhen [Bild 4].

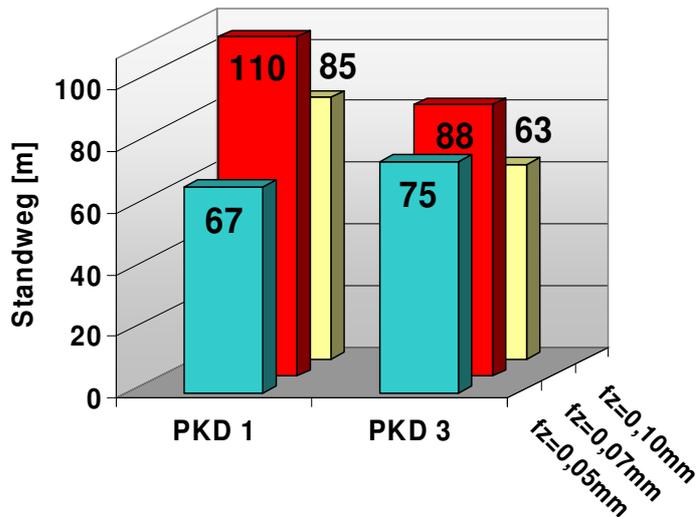


Bild 4. Standwege bei Variation der Zahnvorschübe

Dies entspricht bei einer Gesamtbearbeitungszeit von 197 Minuten einem abgetragenen Spanvolumen von 2200 mm³. Die effektive Standzeit der sich im Werkstoff befindlichen Schneide beträgt in diesem Fall 23 Minuten, bis das Verschleißkriterium erreicht wurde. Die Kühlung der Werkzeuge erfolgte in diesem Versuchsstadium ausschließlich unter Anwendung von Druckluft.

4.2 Werkzeugverschleiß und Bearbeitungskräfte

Der Werkzeugverschleiß stellt sich bei den Diamantwerkzeugen überwiegend in Form von Ausbrüchen dar, welche von der Schneidkante ausgehend in erster Linie eine Schädigung der Spanflächen hervorrufen. Die Größe dieser Ausbrüche ist im Zusammenhang mit der Werkzeugbelastung zu sehen. Für den ermittelten Bereich der optimierten Schnittbedingungen hingegen ist die Ausbruchneigung als minimal anzusehen und kann einem durch mechanischen Abrieb erzeugten Freiflächenverschleiß gleichgesetzt werden [Bild 5].

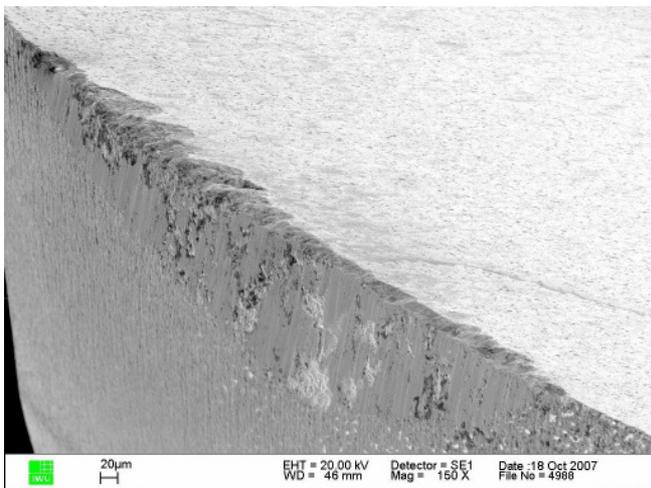


Bild 5. REM-Aufnahme einer PKD-Schneidkante nach 93 m Bearbeitungsweg

Die Schnittkraft ist die wichtigste Komponente der Zerspankraft. In den Versuchen zeigte sich, dass der Wert dieser Kraft maßgeblich durch die gewählten Schnittparameter, Schneidstoff und Schneidengeometrie beeinflusst wird. Der

Kraftverlauf korreliert hierbei mit dem Verschleißverhalten, welcher nach einem progressiven Anfangsverschleiß durch eine lineare Zunahme gekennzeichnet ist [Bild 6].

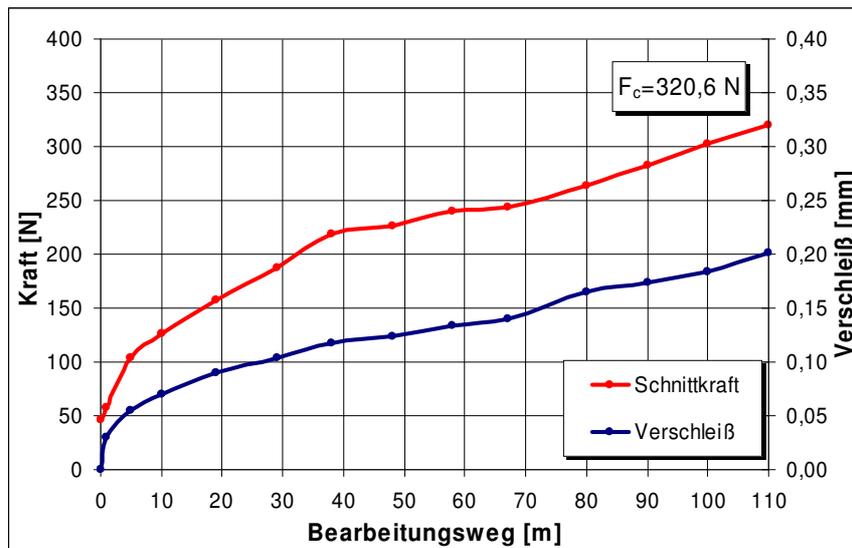


Bild 6. Schnittkraft und Werkzeugverschleiß in Abhängigkeit von Bearbeitungsweg

4.3 Spanbildung

Kennzeichnend für die Hartmetallbearbeitung ist ein besonderer Spanbildungsmechanismus. Ein sich zu Beginn der Werkstofftrennung vor der Spanfläche bildender Riss setzt sich entlang der Binderphase des Hartmetalls in Richtung der Werkstückoberfläche fort und verursacht den Werkstoffabtrag durch ein gerichtetes Herauslösen von Hartmetallsegmenten. Es kann somit nicht von einer Spanbildung im herkömmlichen Sinn gesprochen werden, wobei die abgetragenen Partikel noch am ehestem mit einem Bröckelspan verglichen werden können [Bild 7].

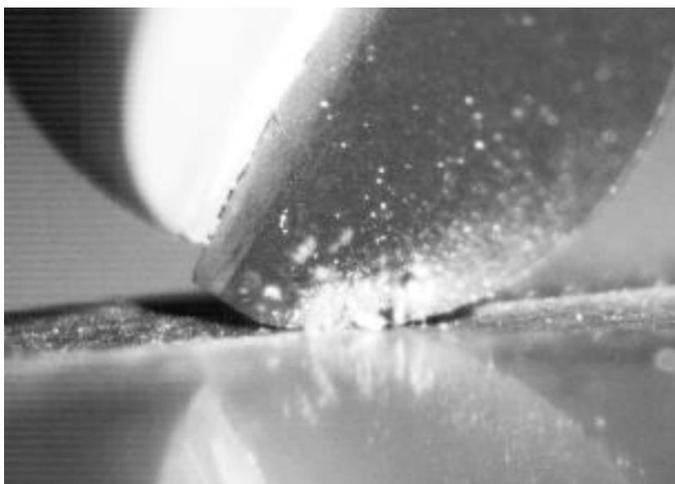


Bild 7. Spanbruch bei der Bearbeitung von Hartmetall

4.4 Erreichbare Oberflächenqualitäten

Ein entscheidendes Kriterium für die Qualität der bearbeiteten Flächen stellt die erreichbare Oberflächenrauheit dar. In Anbetracht der geringen Eingriffsbreiten wurde diese Messung mittels konfokaler Mikroskopie durchgeführt. Das berührungslose Messverfahren visualisiert Rauheitsprofile in 3-dimensionaler Darstellung [Bild 8].

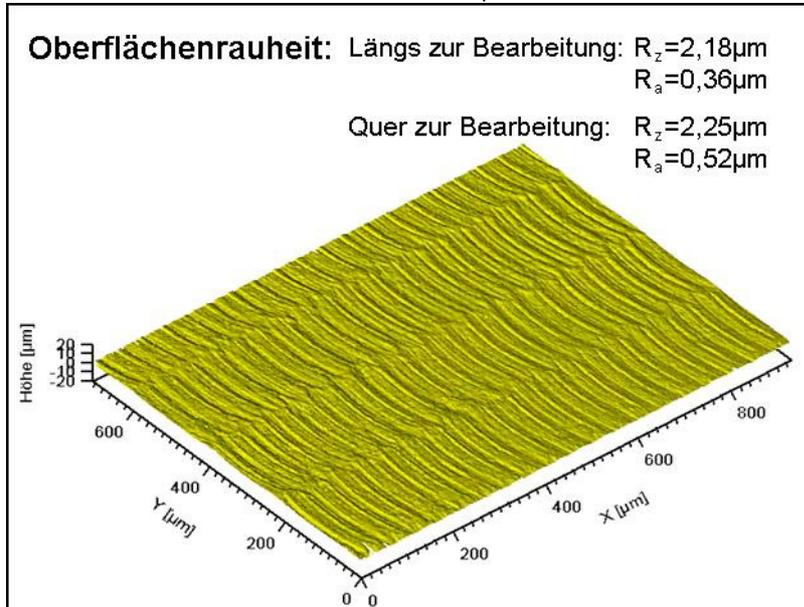


Bild 8. Oberflächenrauheiten bei der Bearbeitung von Hartmetall mit PKD-Werkzeug

Aus dem Bereich des Werkzeug- und Formenbaus bestand die Forderung eine maximale Rauheit von $R_z=5\mu\text{m}$ nicht zu überschreiten. Die Ergebnisse von durchschnittlich $R_z=3\mu\text{m}$ und $R_a=0,5\mu\text{m}$ konnten hierbei in jeder Hinsicht überzeugen. Im Allgemeinen ergab sich über den gesamten Bearbeitungsweg des Werkzeuges eine Erhöhung der gemittelten Rautiefen in der Größenordnung von $1\mu\text{m}$. Den gestellten Qualitätszielen wird somit die Fräsbearbeitung von thermisch gespritztem Hartmetall in vollem Umfang gerecht.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Im Bereich des Werkzeug- und Formenbaus bietet die gezielte Hartmetallbeschichtung das Potenzial eines erhöhten Verschleißschutzes, geringere Instandsetzungskosten und eine steigende Produktivität. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Bearbeitung dieser Schichten mittels geometrisch bestimmter Schneide im unterbrochenen Schnitt realisierbar ist und die technologischen Grenzen der Hartbearbeitung deutlich verschoben wurden. Eine wirtschaftlichere sowie flexibler einsetzbare Alternative zum konventionellen Schleifen und Erodieren von Hartmetall konnte somit geschaffen werden.

Die Möglichkeiten einer noch effizienteren Hartmetallbearbeitung sind zum gegenwärtigen Zeitpunkt jedoch noch nicht restlos ausgeschöpft und benötigen noch weiterer Forschungsarbeit. So werden beispielsweise die Mikro- und Makrogestaltung der Schneide und die Möglichkeiten einer effektiveren Kühlstrategie Bestandteil näherer Untersuchungen sein. Ziel ist es ebenso, die Forschungsarbeit auf weitere thermisch gespritzte Hartmetalle zu erweitern und auch auf gesinterte Werkstoffe zu übertragen.

Literatur

[1] Kolbe, M.; Kunath, F.: Practical Operation of Coated Hot Forging Dies. 6th International Tooling Conference "The Use of Steels", Report and in Proceedings (2002), S. 129-135, Karlstad University, Sweden

[2] Stehr, G.: Neue Beschichtungslösungen für hochbelastete Bauteile. WISA-Antrag FhG (2006), Dresden

Bilder

Bild 1. Fräsen von thermisch gespritztem Hartmetall

Bild 2. Hochgeschwindigkeitsflammspritzen (HVOF)

Bild 3. Standwege bei Variation der Schnittgeschwindigkeit

Bild 4. Standwege bei Variation des Zahnvorschubes

Bild 5. REM-Aufnahme einer PKD-Schneidkante nach 93 m Bearbeitungsweg

Bild 6. Schnittkraft und Werkzeugverschleiß in Abhängigkeit des Bearbeitungsweges

Bild 7. Spanbruch bei der Bearbeitung von Hartmetall

Bild 8. Oberflächenrauheiten bei der Bearbeitung von Hartmetall mit PKD-Werkzeug