

Alesa AG

Kräfte und Gegenmassnahmen beim Zerspanen
vom exotischen Werkstoffen



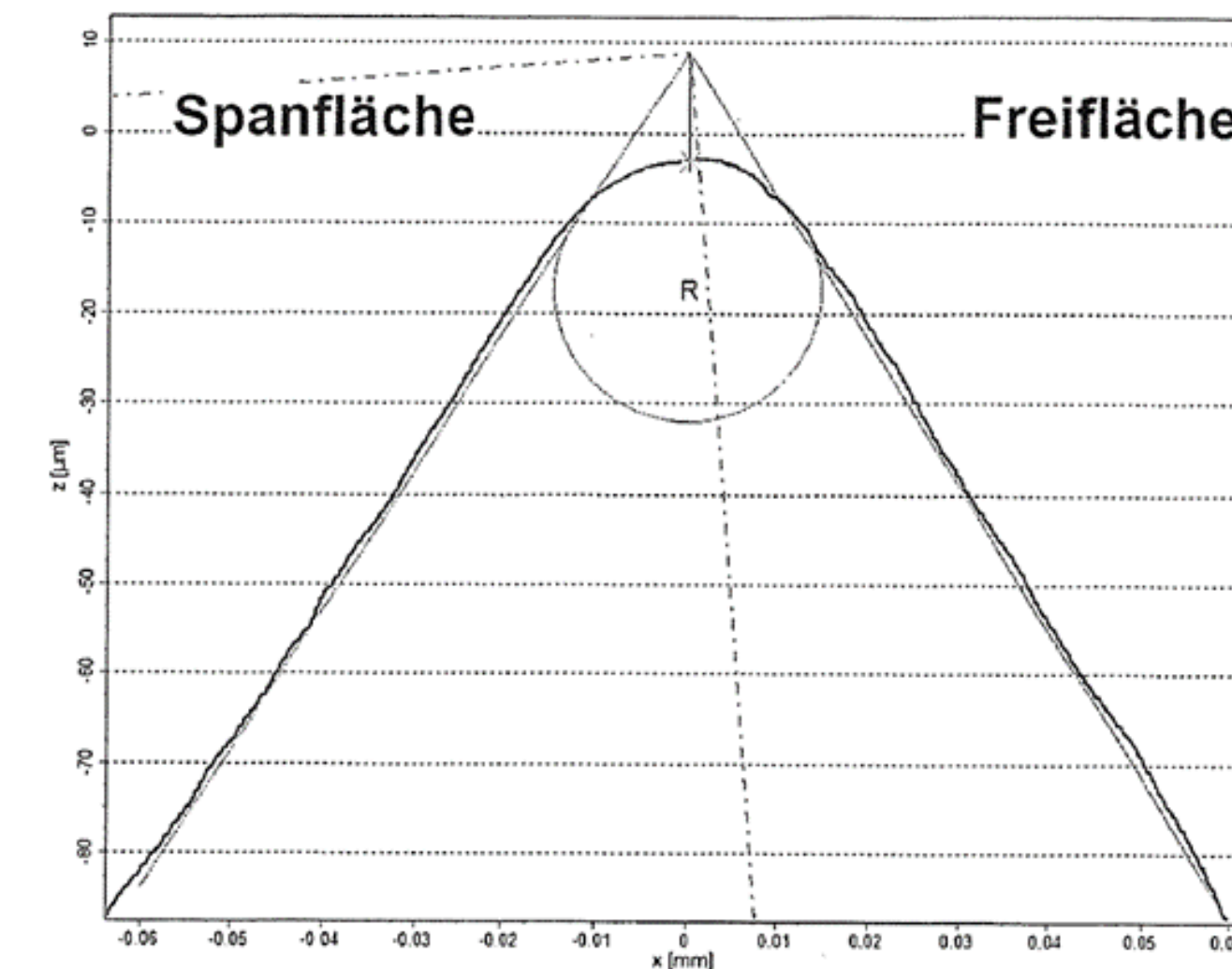
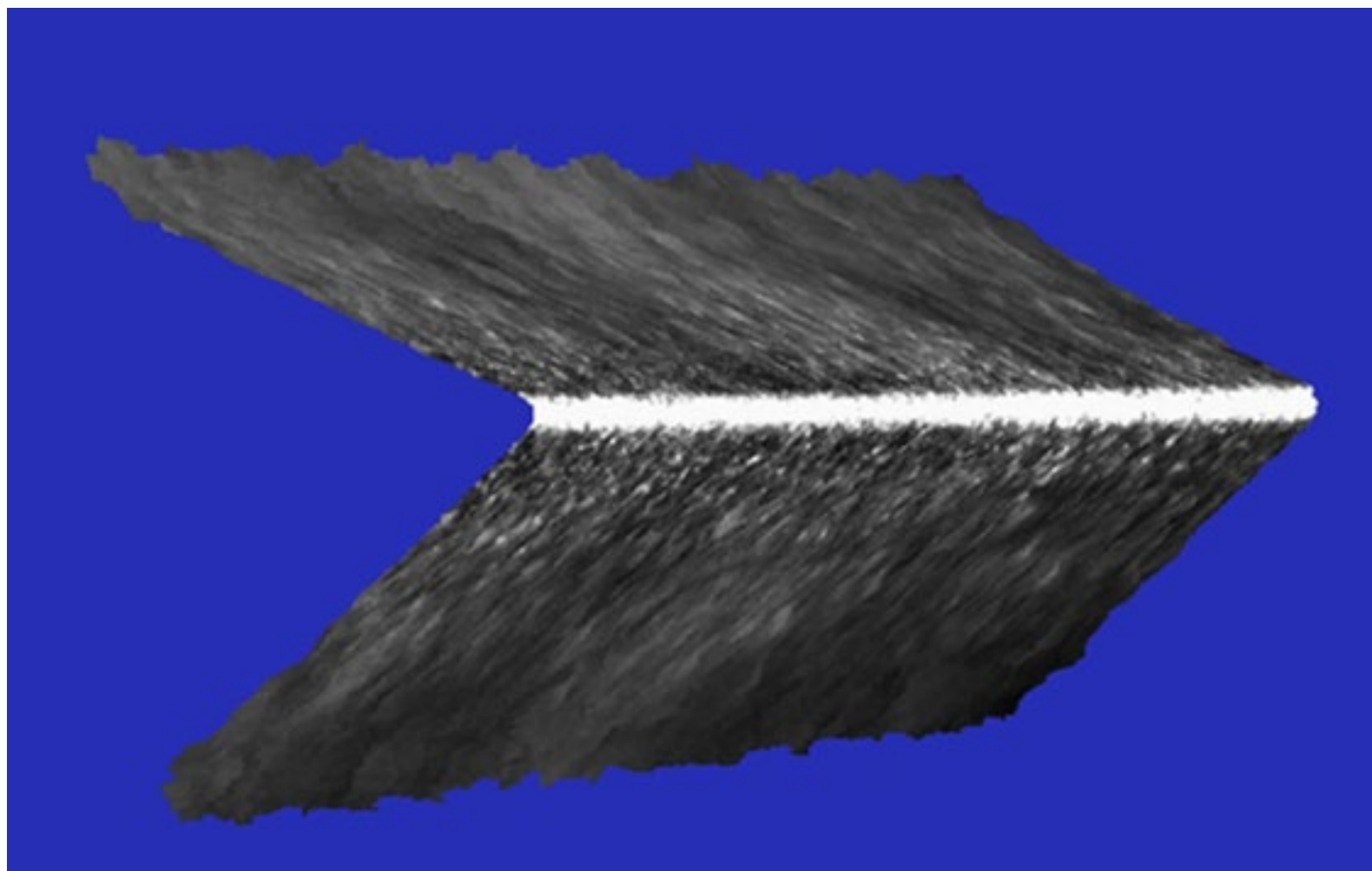






Ziele dieser Präsentation

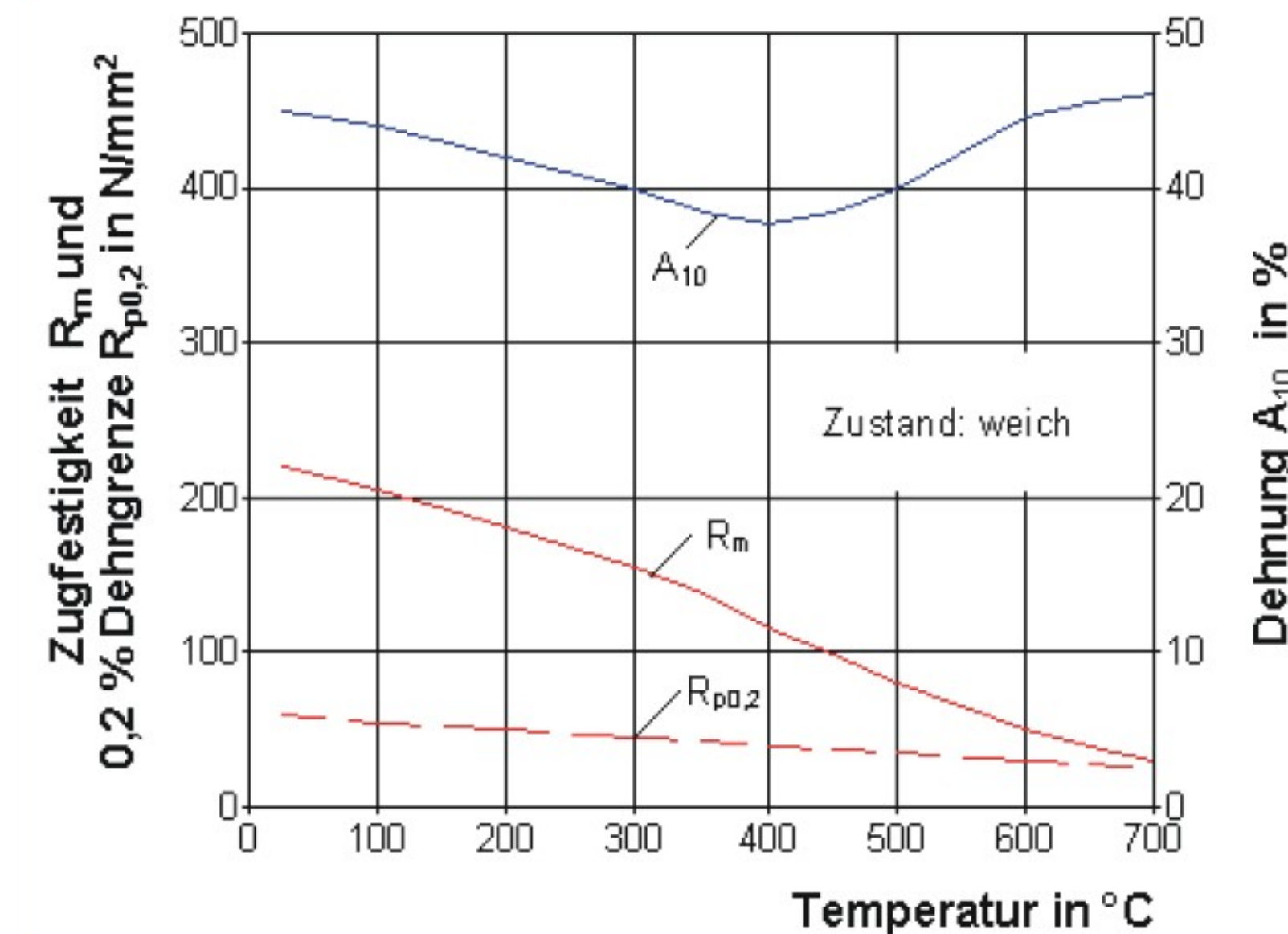
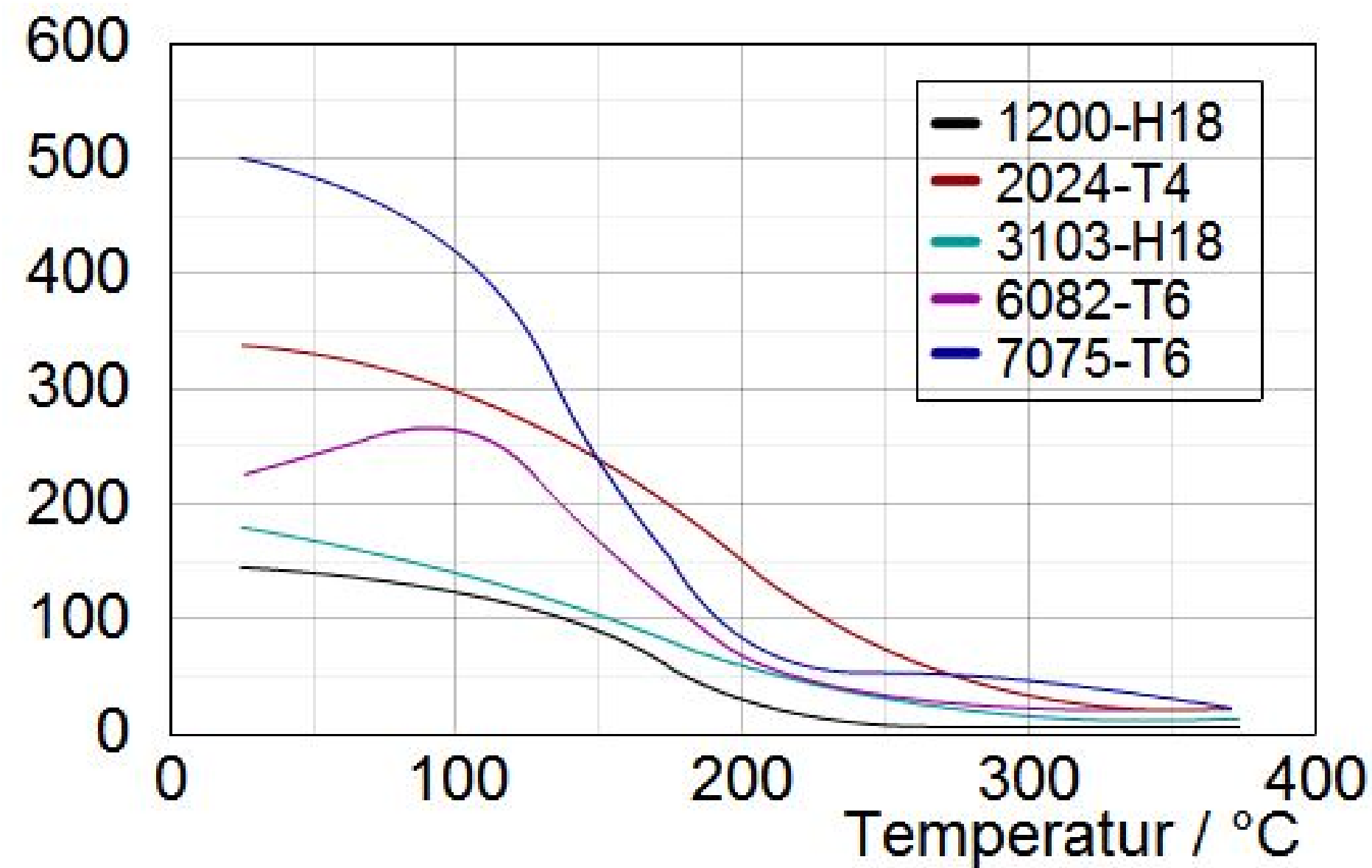
1. Was verstehen wir unter exotischen Werkstoffen ?
2. Welche Gegenmassnahmen haben einen positiven Effekt auf die Kräfte und Wärme beim Zerspanen ?



Inhalt:

- 1) Exotische Werkstoffe
- 2) Spanbildung & Scherung
- 3) Messen von Kantenverrundung und Bearbeitungskräfte
- 4) Kräfte – Kurven am Beispiel 1: Duplex 1.4462
- 5) Kräfte – Kurven am Beispiel 2: Ti6Al4V
- 6) Schlussfolgerungen & Erkenntnisse

1) Werkstoffe: Aluminium & Kupfer



Zerspanungstechnisch problemlose Werkstoffen

Aluminium Wärmeleitfähigkeit $> 200 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$,

Kupfer Wärmeleitfähigkeit $250\text{-}400 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$

Zugfestigkeit bei 350°C $< 10\%$ als bei 20°C

Zugfestigkeit bei 700°C $< 15\%$ als bei 20°C

Die meisten Legierungen enthalten wenig harte & abrasive Bestandteile wie Si, Cu_2O

1) Werkstoffe: Eisen -> Nichteisen & Legierungen

Element oder Legierung	Wärmeleitfähigkeit W/(m*K)	Schmelzpunkt (°C)	Zugfestigkeit bei 20°C N/mm2	Zerspanungs-Festigkeit bei 500 - 600°C	
Wolfram	197	3422°C	550 - 620	>95%	Unlegierte <u>Elemente</u> mit hohen Schmelzpunkten
Chrom	86	1907°C	685	>95%	
Eisen (rein)	80	1538°C	200	<40%	
Nickel	52	1455°C	300-450	>90%	
Stahl 0,6%C	46	ca. 1350°C	750 - 950	>50%	Niedrig legierte Stähle
Stahl 8% Ni	21	1400-1450°C	500 - 750	>50%	
Titan	16	1606-1660°C	900 - 1200	>70%	
1.4404 V4A	15	1385-1445°C	500 - 700	>55%	Hoch legiert DUPLEX mit Stickstoff & Mangan
1.4462 Duplex	14	1400-1470°C	650 - 950	>60%	
1.4539 Super Duplex	12	1360-1420°C	530 - 730	>65%	
Inconel 718	11.2	1260 -1340°C	1000 - 1200	90% bei 550°C 65% bei 760°C	NICHT Eisen Legierungen

1) Werkstoffe: Eisen -> Nichteisen & Legierungen

Element oder Legierung	Wärmeleitfähigkeit W/(m*K)	Schmelzpunkt (°C)	Zugfestigkeit bei 20°C N/mm2	Zerspanungs-Festigkeit bei 500 - 600°C	
Wolfram	197	3422°C	550 - 620	>95%	Unlegierte Elemente mit hohen Schmelzpunkten
Chrom	86	1907°C	685	>95%	
Eisen (rein)	80	1538°C	200	<40%	
Nickel	52	1455°C	300-450	>90%	
Stahl 0,6%C	46	ca. 1350°C	750 - 950	>50%	Niedrig legierte Stähle
Stahl 8% Ni	21	1400-1450°C	500 - 750	>50%	
Titan	16	1606-1660°C	900 - 1200	>70%	Hoch legiert DUPLEX mit Stickstoff & Mangan
1.4404 V4A	15	1385-1445°C	500 - 700	>55%	
1.4462 Duplex	14	1400-1470°C	650 - 950	>60%	
1.4539 Super Duplex	12	1360-1420°C	530 - 730	>65%	
Inconel 718	11.2	1260 -1340°C	1000 - 1200	90% bei 550°C 65% bei 760°C	NICHT Eisen Legierungen

1) Werkstoffe: Eisen -> Nichteisen & Legierungen

Element oder Legierung	Wärmeleitfähigkeit W/(m*K)	Schmelzpunkt (°C)	Zugfestigkeit bei 20°C N/mm2	Zerspanungs-Festigkeit bei 500 - 600°C	
Wolfram	197	3422°C	550 - 620	>95%	Unlegierte Elemente mit hohen Schmelzpunkten
Chrom	86	1907°C	685	>95%	
Eisen (rein)	80	1538°C	200	<40%	
Nickel	52	1455°C	300-450	>90%	
Stahl 0,6%C	46	ca. 1350°C	750 - 950	>50%	Niedrig legierte Stähle
Stahl 8% Ni	21	1400-1450°C	500 - 750	>50%	
Titan	16	1606-1660°C	900 - 1200	>70%	
1.4404 V4A	15	1385-1445°C	500 - 700	>55%	Hoch legiert DUPLEX mit Stickstoff & Mangan
1.4462 Duplex	14	1400-1470°C	650 - 950	>60%	
1.4539 Super Duplex	12	1360-1420°C	530 - 730	>65%	
Inconel 718	11.2	1260 -1340°C	1000 - 1200	90% bei 550°C 65% bei 760°C	NICHT Eisen Legierungen

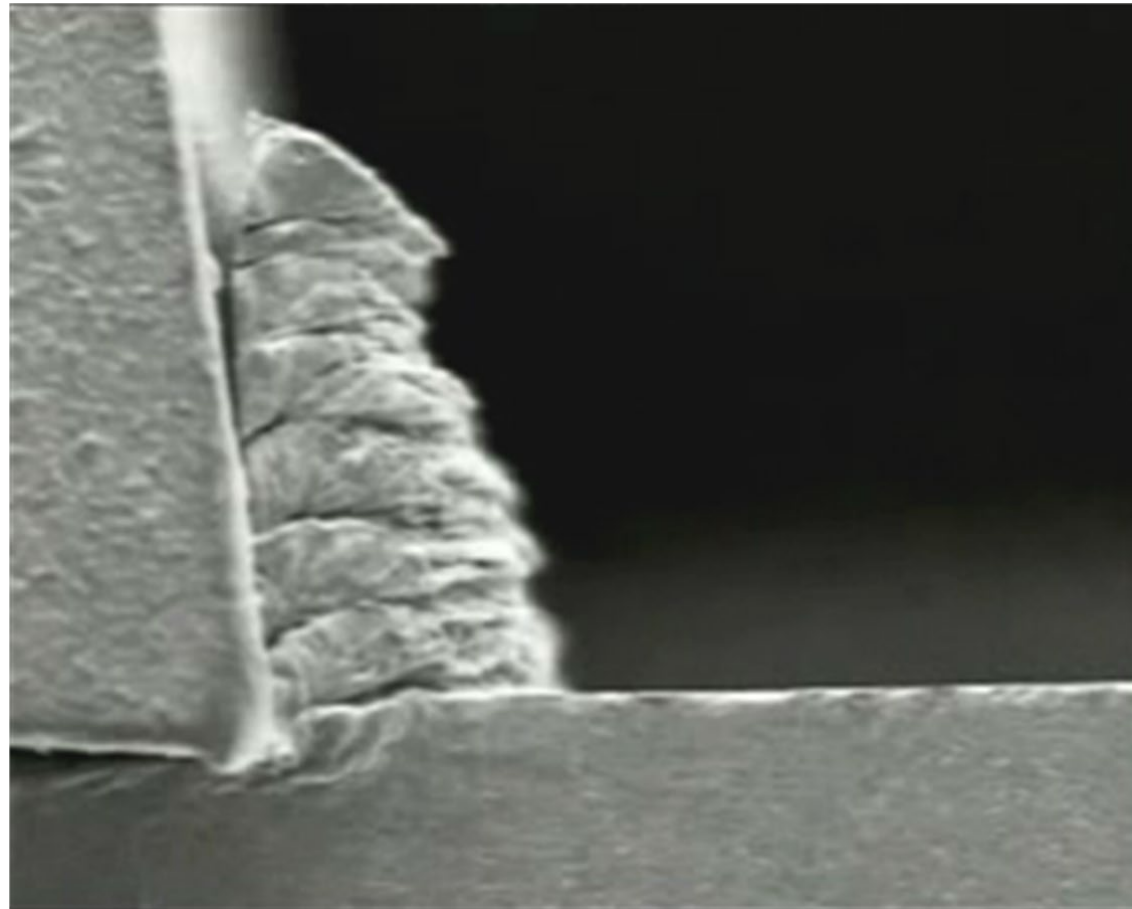
1) Werkstoffe: Eisen -> Nichteisen & Legierungen

Element oder Legierung	Wärmeleitfähigkeit W/(m*K)	Schmelzpunkt (°C)	Zugfestigkeit bei 20°C N/mm2	Zerspanungs-Festigkeit bei 500 - 600°C	
Wolfram	197	3422°C	550 - 620	>95%	Unlegierte Elemente mit hohen Schmelzpunkten
Chrom	86	1907°C	685	>95%	
Eisen (rein)	80	1538°C	200	<40%	
Nickel	52	1455°C	300-450	>90%	
Stahl 0,6%C	46	ca. 1350°C	750 - 950	>50%	Niedrig legierte Stähle
Stahl 8% Ni	21	1400-1450°C	500 - 750	>50%	
Titan	16	1606-1660°C	900 - 1200	>70%	
1.4404 V4A	15	1385-1445°C	500 - 700	>55%	Hoch legiert DUPLEX mit Stickstoff & Mangan
1.4462 Duplex	14	1400-1470°C	650 - 950	>60%	
1.4539 Super Duplex	12	1360-1420°C	530 - 730	>65%	
Inconel 718	11.2	1260 -1340°C	1000 - 1200	90% bei 550°C 65% bei 760°C	NICHT Eisen Legierungen

1) Werkstoffe: Eisen -> Nichteisen & Legierungen

Element oder Legierung	Wärmeleitfähigkeit W/(m*K)	Schmelzpunkt (°C)	Zugfestigkeit bei 20°C N/mm2	Zerspanungs-Festigkeit bei 500 - 600°C	
Wolfram	197	3422°C	550 - 620	>95%	Unlegierte Elemente mit hohen Schmelzpunkten
Chrom	86	1907°C	685	>95%	
Eisen (rein)	80	1538°C	200	<40%	
Nickel	52	1455°C	300-450	>90%	
Stahl 0,6%C	46	ca. 1350°C	750 - 950	>50%	Niedrig legierte Stähle
Stahl 8% Ni	21	1400-1450°C	500 - 750	>50%	
Titan	16	1606-1660°C	900 - 1200	>70%	
1.4404 V4A	15	1385-1445°C	500 - 700	>55%	Hoch legiert DUPLEX mit Stickstoff & Mangan
1.4462 Duplex	14	1400-1470°C	650 - 950	>60%	
1.4539 Super Duplex	12	1360-1420°C	530 - 730	>65%	
Inconel 718	11.2	1260 - 1340°C	1000 - 1200	90% bei 550°C 65% bei 760°C	NICHT Eisen Legierungen

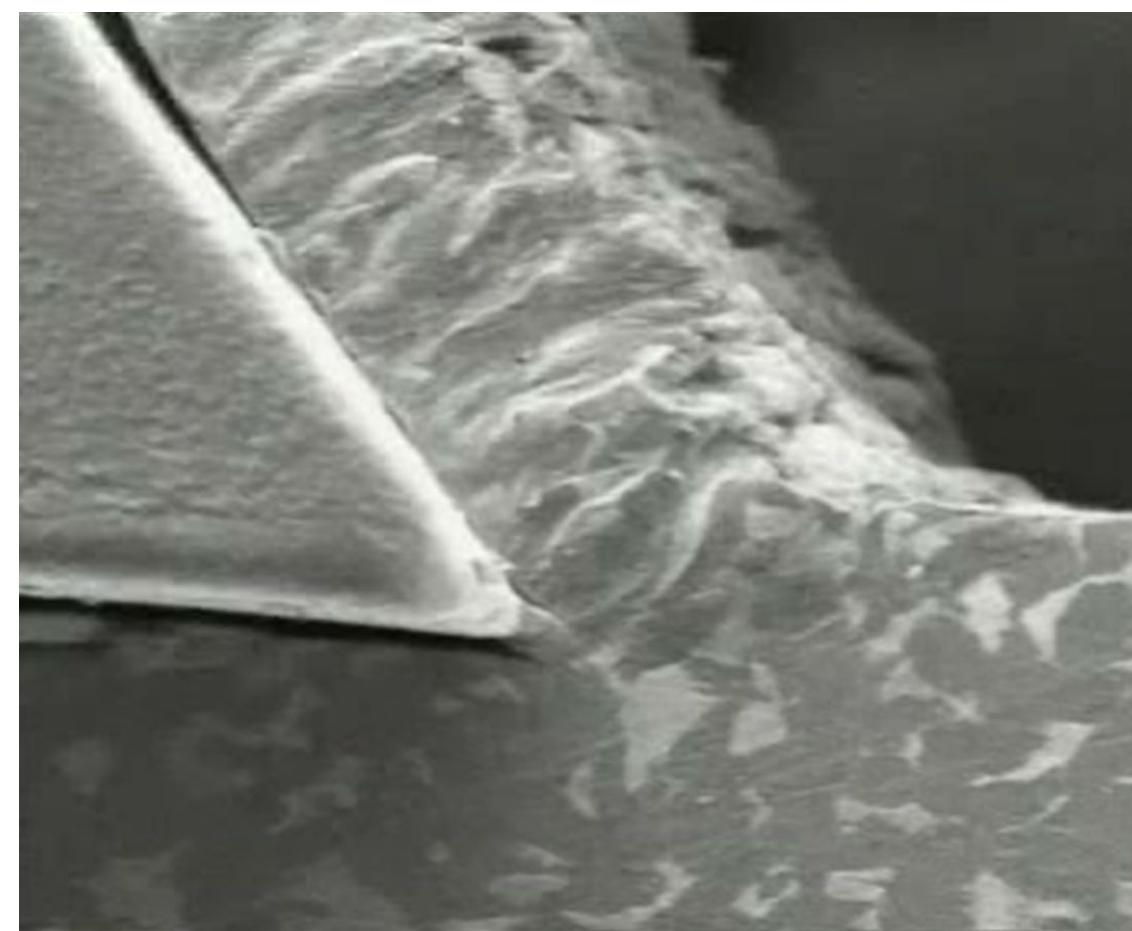
2) Spanbildung & Scherung beim Fräsen



Variante kleiner Spanwinkel $< 5^\circ$ (Gussbearbeitung)

Starke Scherung -> viel Druck, viel Wärme, Kaltverfestigung
Sehr starke thermisch und mechanisch Wechselbelastung

Nachteile: Verformung der Schneidkante und Materialermüdung
Oft Ausbrüche, WSP – Bruch, schlechte Prozesssicherheit



Variante grosser Spanwinkel $> 30^\circ$ (Alu 99.5%, Thermoplaste)

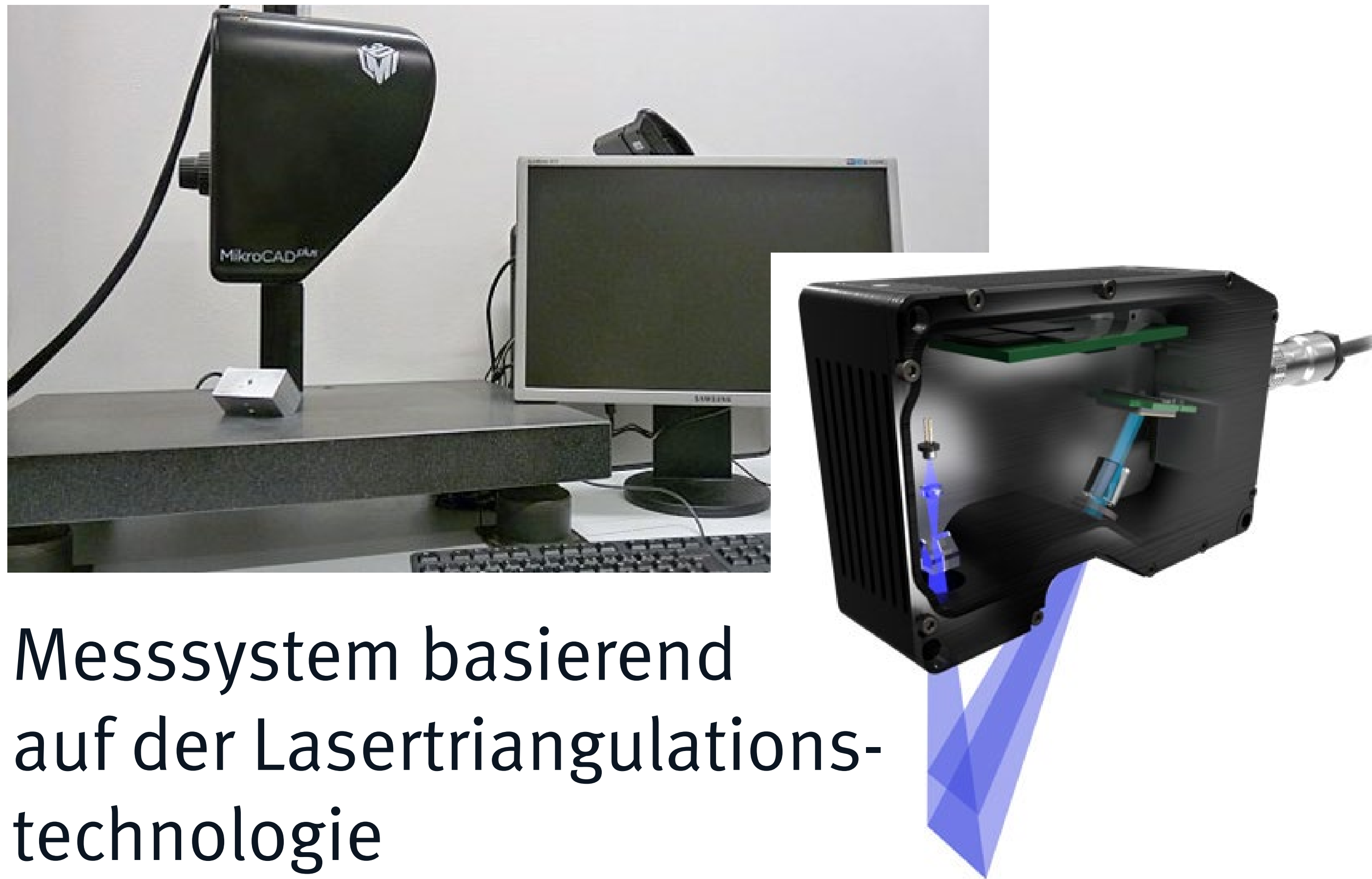
Zerschneiden des Werkstoffes, relativ kleine Schnittkräfte
Wenig Scherung, -> Auch auf schwachen Maschinen einsetzbar

Nachteil: Bruchgefahr bei Überbelastung,
Schneiden-Keil hat weniger Wärmekapazität

Welche Methoden verwendet ALESA AG bei der Entwicklung von
optimalen Schneidengeometrie für exotischen Legierungen ?

3) Messsysteme: Kantenverrundung & Kräfte

3D Kanten-Messgerät LMI MikroCAD



Messsystem basierend
auf der Lasertriangulations-
technologie

Kräfte-Messgerät Pro-micron Spike

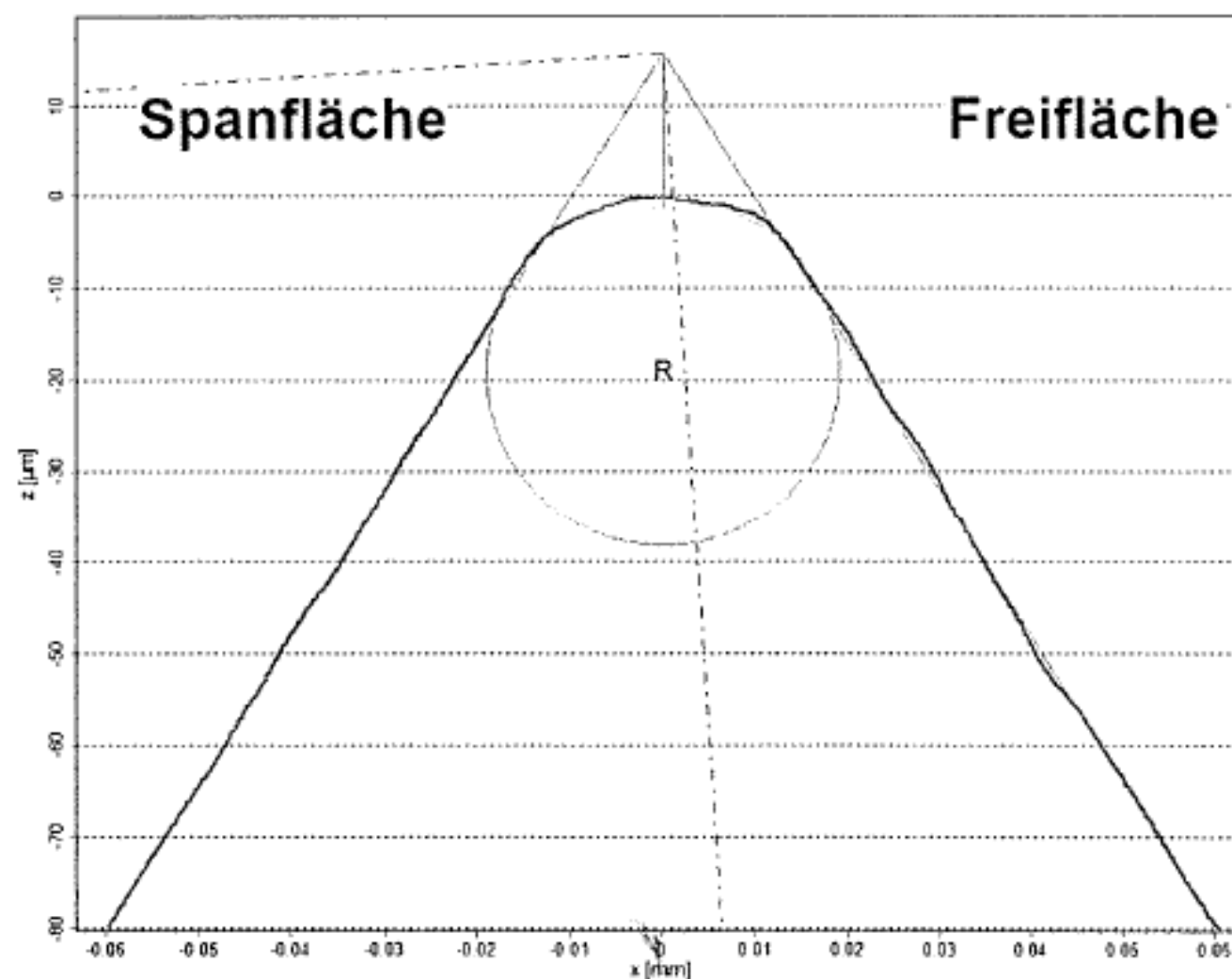


3) Messsysteme: Geometrie & Verrundung von Schneidkanten

Geometrie 1:

Beschichtung AlCrN
Verrundung $< 20\mu\text{m}$
Spanwinkel $> 20^\circ$

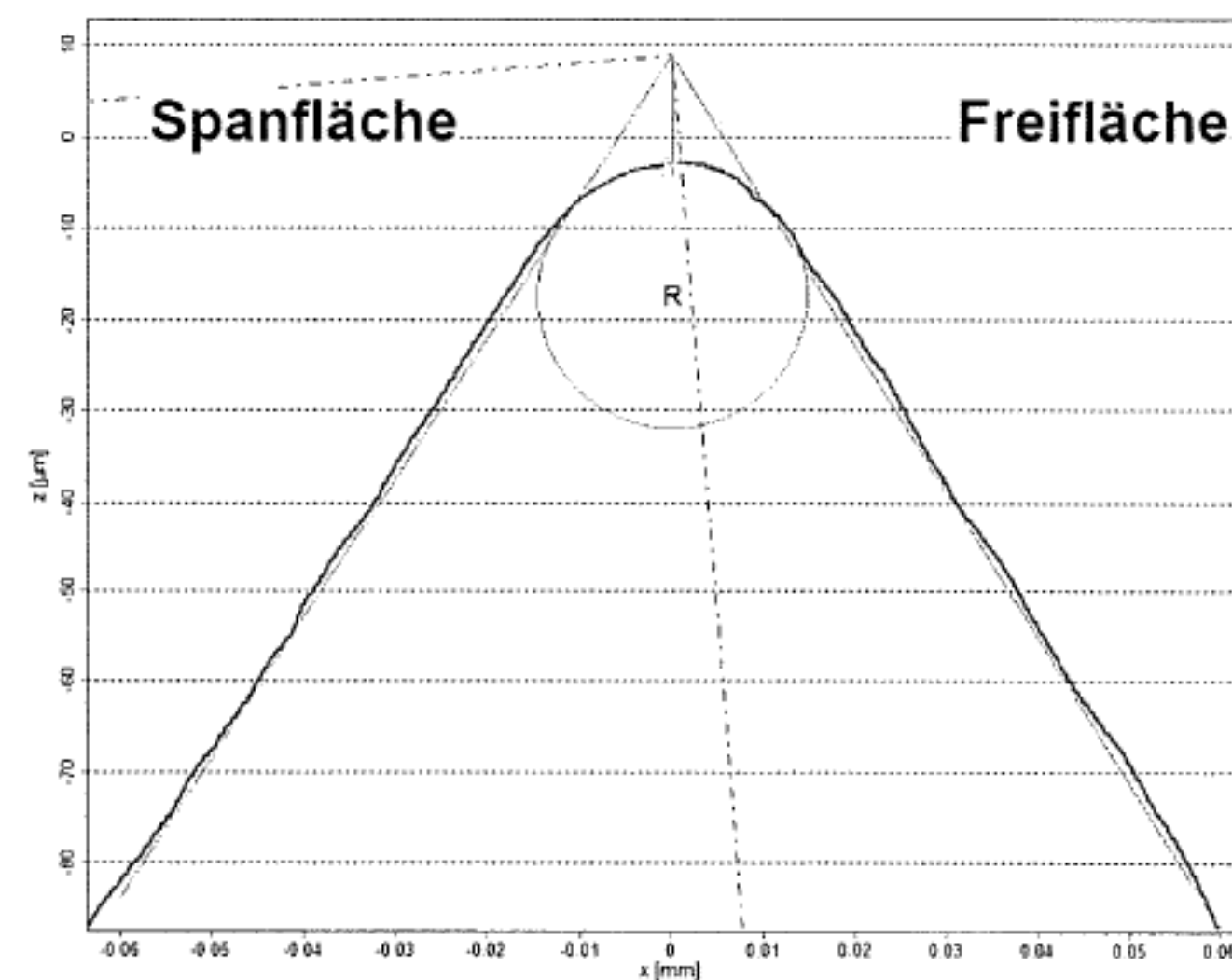
Geschliffene hoch-
positive Schneide



Geometrie 2:

Beschichtung TiNox
Verrundung $< 20\mu\text{m}$
Spanwinkel $< 15^\circ$

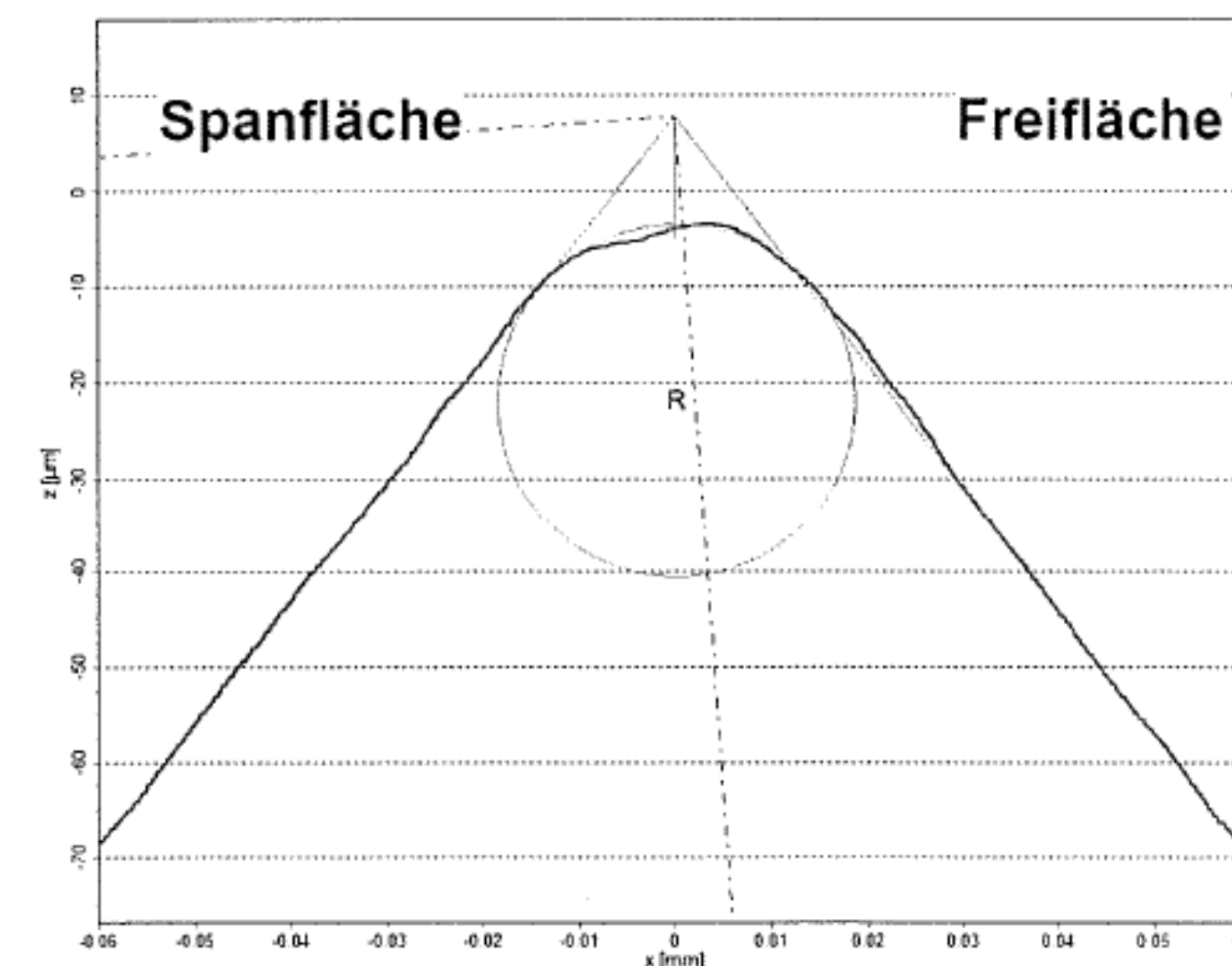
Geschliffene hoch-
positive Schneide



Geometrie 3:

Beschichtung TiNox
Verrundung $< 20\mu\text{m}$
Spanwinkel $< 10^\circ$

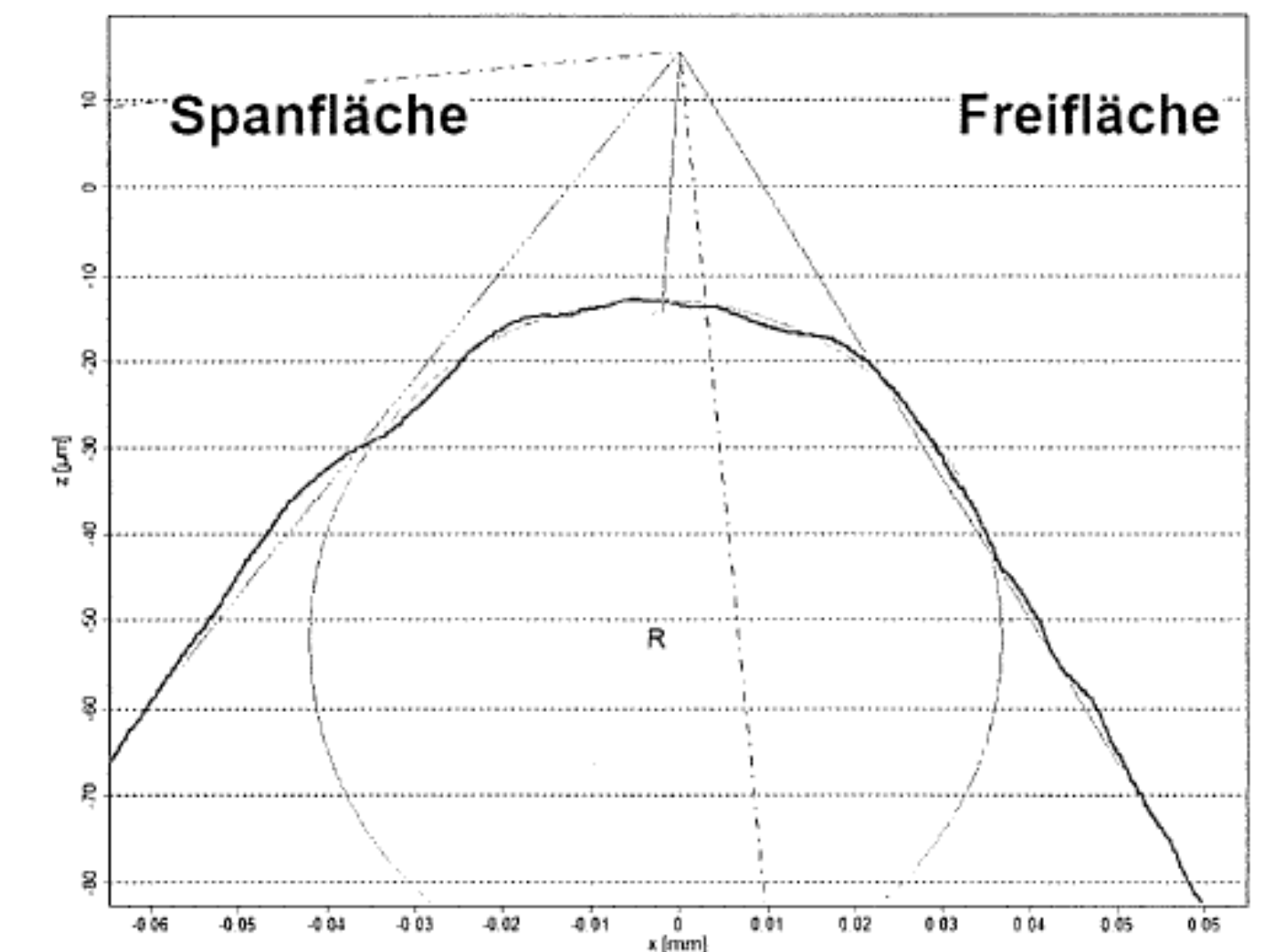
Geschliffene hoch-
positive Schneide



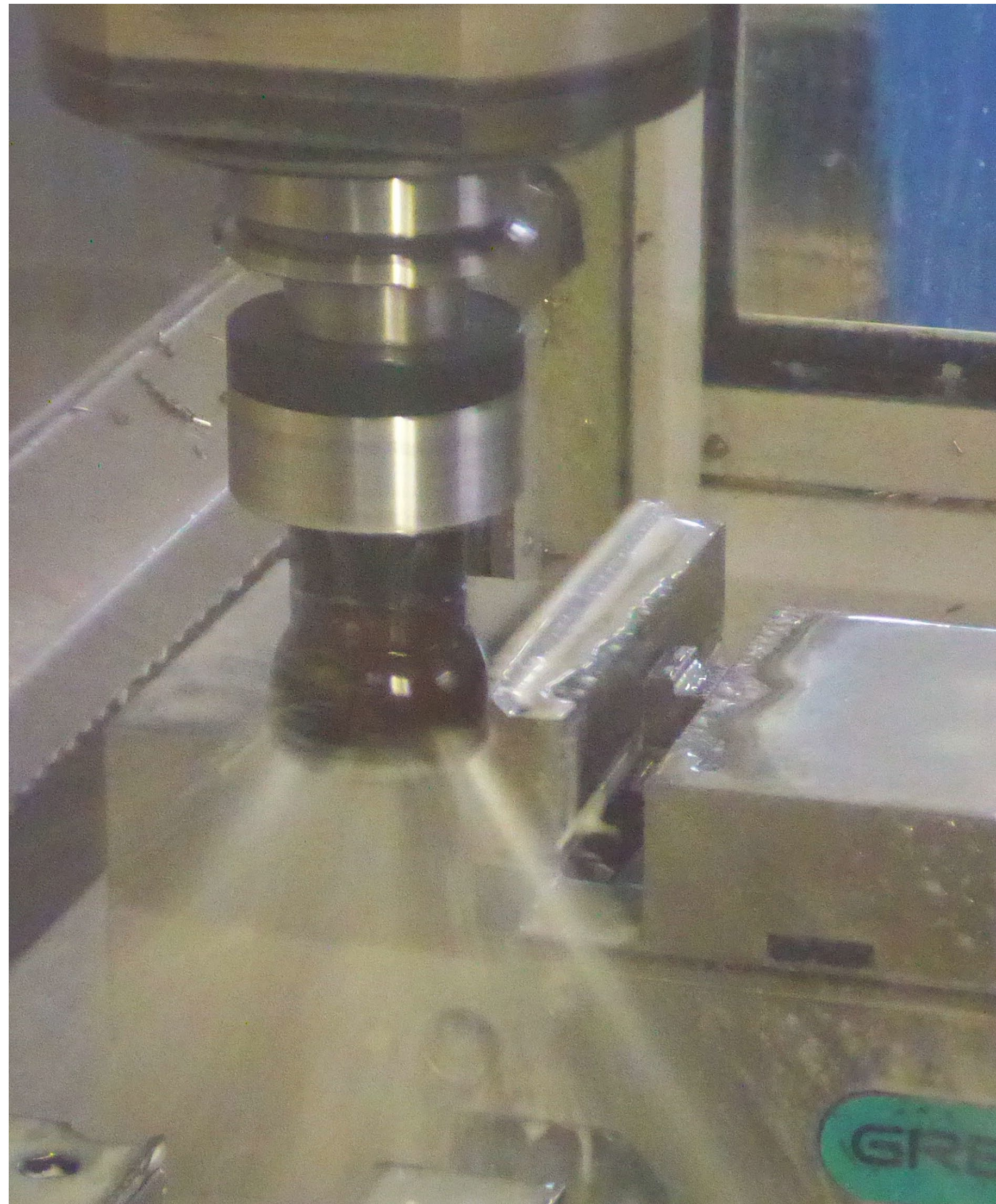
Geometrie X:

Beschichtung CVD
Verrundung $40-50\mu\text{m}$
Spanwinkel $< 15^\circ$

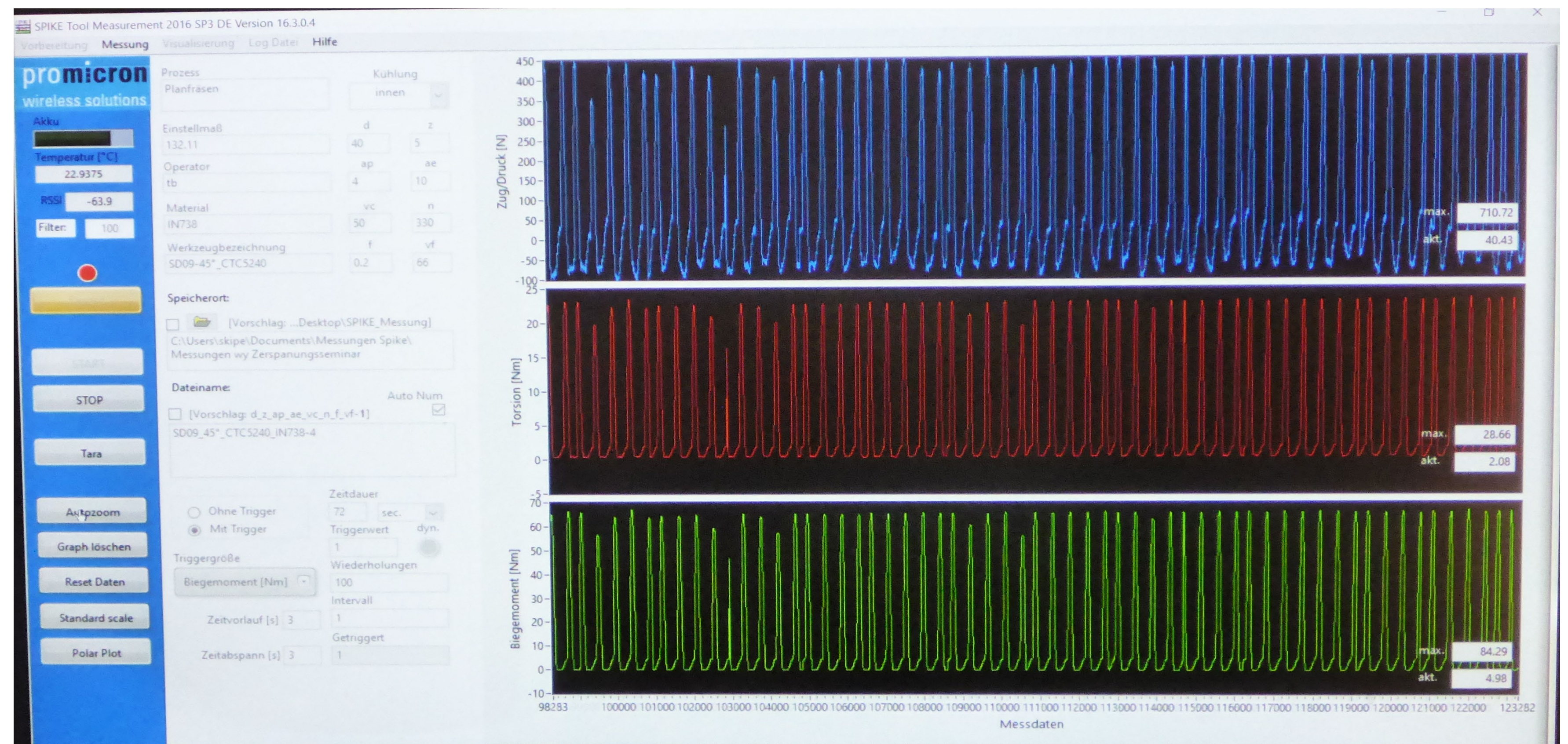
Gesinterte WSP mit
grosser Verrundung
und schartiger Kante



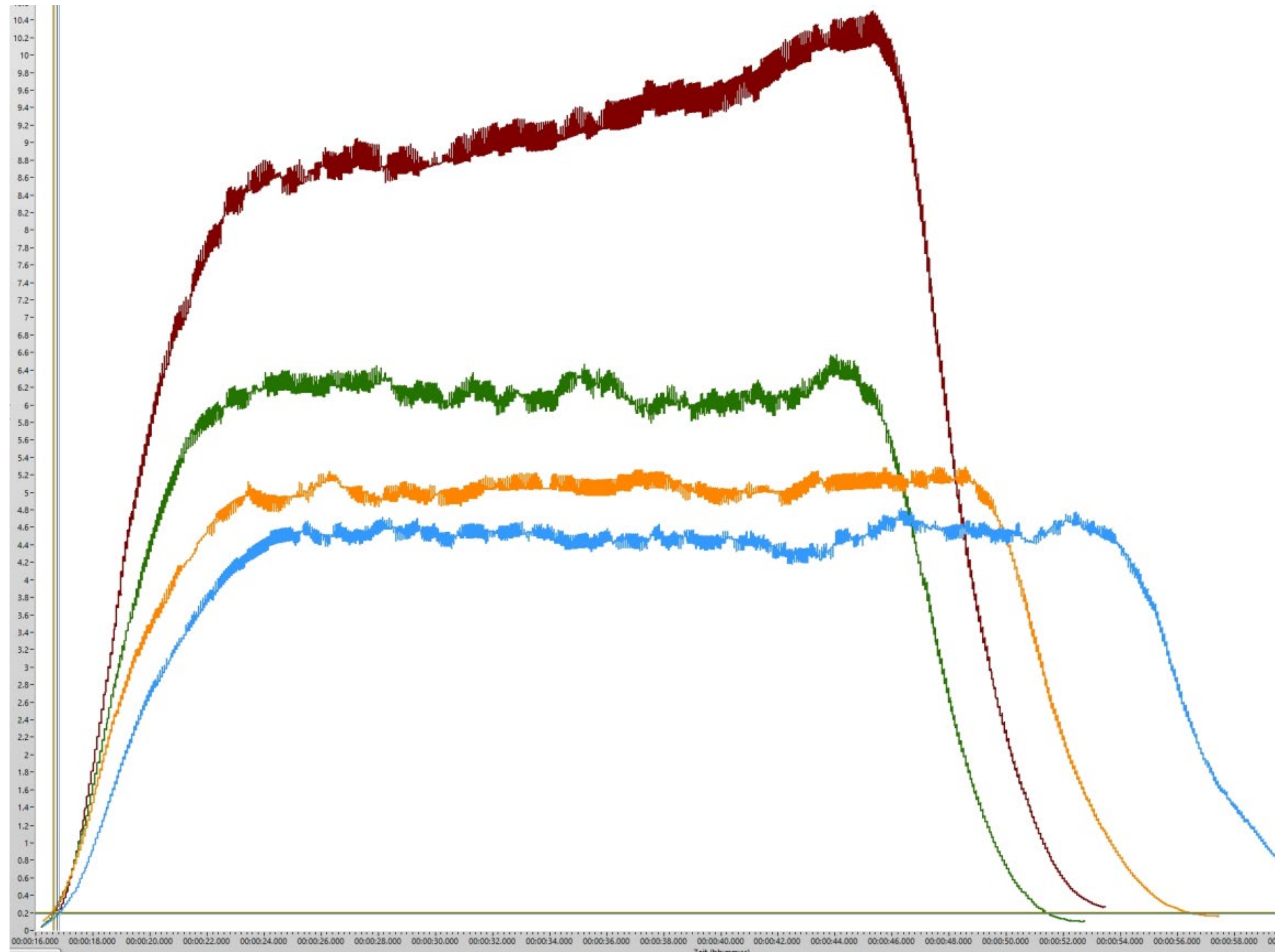
3) Messsystem: Pro-micron Spike



Messung unter effektiven Bedingungen mit Temp.-Kompensation
Aufzeichnen der Vektorkräfte, Zug/Druck, Torsion, Biegemoment
Drahtlos mit sehr hoher Abtastfrequenz



4) Kräfte – Kurven bei Rostfrei, Duplex



Vc 60m/min, ae=25%

Blau Geometrie 1 kleinste Kräfte
Gelb Geometrie 2 prozesssicher
Grün Geometrie 3 bester Kompromis
Rot Geometrie X Kräfte sind ca. 2x grösser
als bei Geometrie 2, Schneidkanten-Ausbrüche
nach 80% der Bearbeitung, abfallende Kurve

Haupterkenntnis:

- Eine grosse Kantenverrundung führt zu hohen Schnittkräften und Überbelastung
- Geometrie 3 hat ca. 40% kleinere Kräfte als X, obwohl der Keilwinkel ca. 5° grösser ist

4) Anwendungsbeispiel 1: 1.4462 Super Duplex



Material: 1.4462 Super Duplex, X 2 CrNiMoN 22 5 3

Festigkeit 800 – 850N/mm²

Grösse: ca. 60mm x 50mm x 50mm

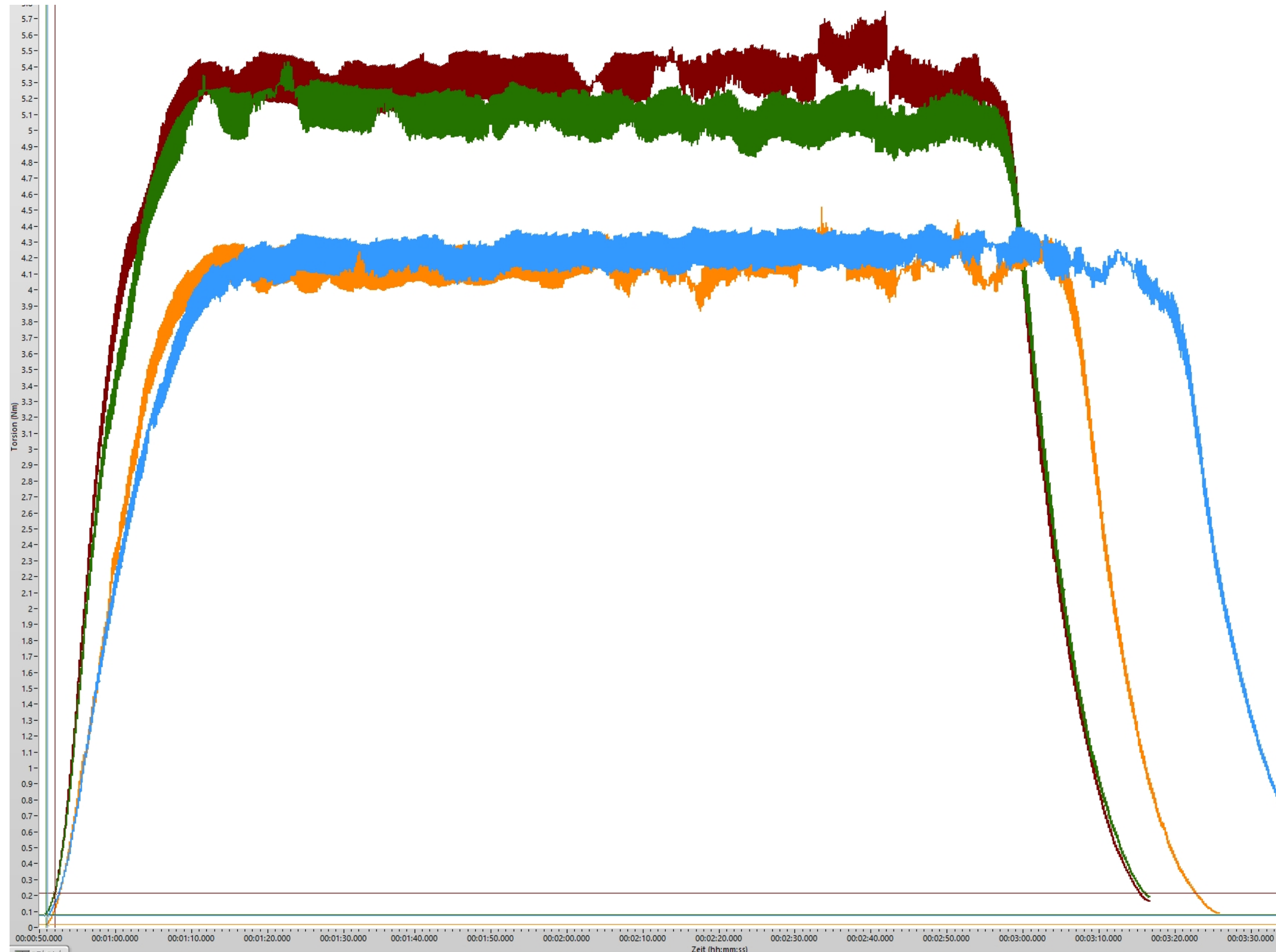
Herausforderung: Schrappen & Vorschlichten auf SK40 Maschine
bei guter Prozesssicherheit & Standzeit

Werkzeug: ALESA Delta TN11, WSP TNFU11-931, CTM-TiNox
Ø32mm Z=5, Einschraubfräser M16, Emulsion 10%
Schnittdaten: $V_c=50\text{m/min}$, $n=500\text{U/min}$
 $a_p=5.5\text{mm}$, $a_e=10\text{mm}$, $V_f=205\text{mm/min}$, $f_z=0.082$
 $a_p=5.5\text{mm}$, $a_e=2\text{mm}$, $V_f=440\text{mm/min}$, $f_z=0.176$
 $h_m=0.041\text{--}0.043$

Standzeit: 4 Std. pro Schneidkante
24 Std. pro Bestückung



5) Kräfte – Kurven bei Ti6Al4V Grade 5



Vc 50m/min, ae=25%

Blau Geometrie 1

Gelb Geometrie 2

Grün Geometrie 3

Rot Geometrie X Kräfte bei Geometrie 3 & X
ca. 25% grösser als bei Geometrie 1 & 2

Haupterkennntniss:

- Die Titanzerspannung unterscheidet sich von der Zerspannung von rostfreien Cr-Ni-Mo Stählen
- Rot-Grün sind ca. 25% höher als Blau-Gelb
- Die Kräfte werden durch den Spanwinkel und grosse Verrundung stark Beeinflusst
- Besser Geometrie 2, zähe Substrate, TiNox

5) Anwendungsbeispiel 2: Titan Planfräsen

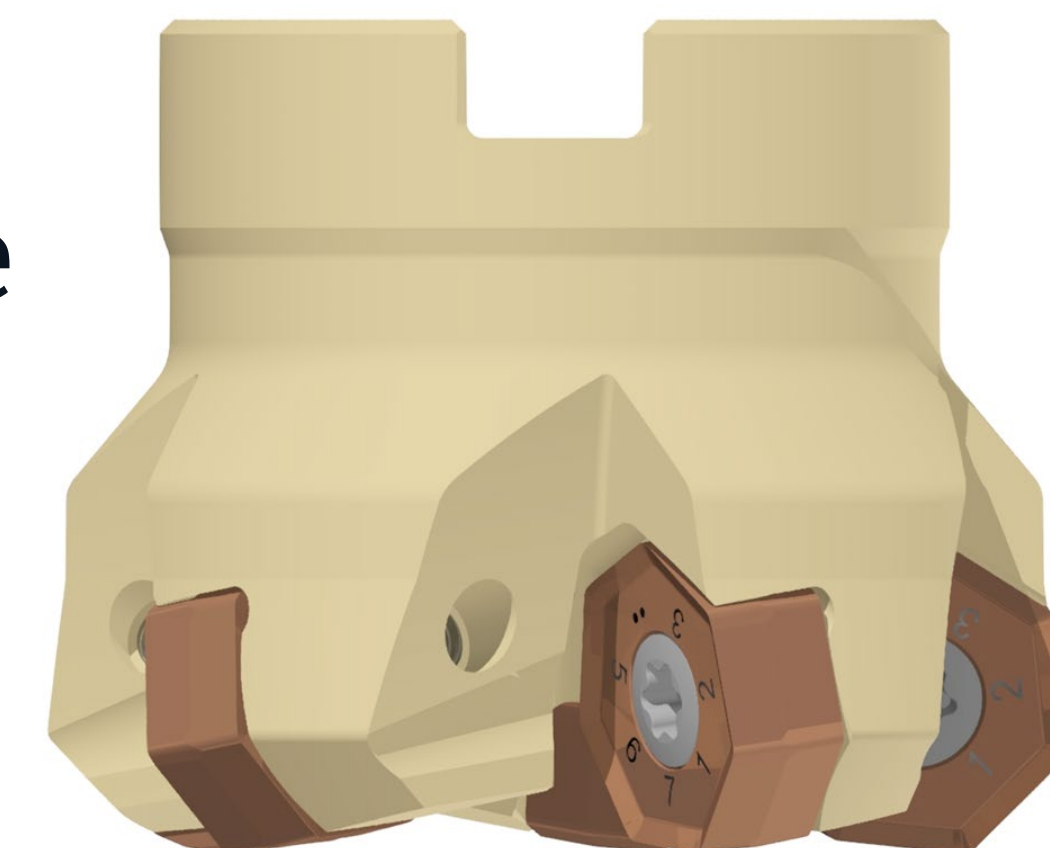


Material: Titan 3.7164, Ti6Al4V, Grade 5
Festigkeit 1090 – 1110N/mm²

Herausforderung: Planfräsen 45° bei guter Prozesssicherheit &
Standzeit

Werkzeug: ALESA HEPTA X006, WSP XOFU06-732, CTS-X-TiNox
Ø50mm Z=6, Fräskopf 45°, Emulsion >10%
Schnittdaten: $V_c=50\text{m/min}$, $n=285\text{U/min}$
 $a_p=3\text{mm}$, $a_e=15\text{mm}$, $V_f=375\text{mm/min}$, $f_z=0.22$
 $a_p=3\text{mm}$, $a_e=20\text{mm}$, $V_f=325\text{mm/min}$, $f_z=0.19$
 $hm=0.0785 - 0.08$

Standzeit: 1 Std. pro Schneidkante
14Std. pro Bestückung



6) Schlussfolgerungen & Erkenntnisse:

- **Rostfreie- und Duplex-** Legierungen sollten mit **positiven Geometrien** mit **kleiner Schneidenverrundung** bearbeitet werden
-> Die Mikrogeometrie hat einen grossen Einfluss
- Bei **Titan** entstehen **hohe Schnittkräfte** durch kleine Spanwinkel und starke Schneidkantenverrundungen
- **Titan-Legierungen** sollten durch **positive Schneiden** mit **optimierten Schneidkantenverrundungen** bearbeitet werden

6) Schlussfolgerungen & Erkenntnisse:

- Die Schichtsysteme wurden nicht getrennt betrachtet
Immer aktuelle PVD – Schichten gemäss Hersteller einsetzen
- „DIE“ optimale Schneidengeometrie für alle exotische Legierungen gibt es nicht.
Hartmetallsubstrate, Schneidengeometrie, Kantenverrundung und Beschichtung sollten entsprechend für die Material & Legierungs-Gruppe angepasst werden

