Grundlagen der Zerspanung von Titan- und Nickelbasislegierungen

Vortrag anläßlich des Sandvik Workshops “Zerspanung von Aerospace Komponenten” bei DECKEL MAHO am 19.04.2012 in Pfronten

Dr.-Ing. Klaus Gerschwiler

Lehrstuhl für Technologie der Fertigungsverfahren
Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Dr. h. c. Dr. h. c. Fritz Klocke

© WZL/Fraunhofer IPT

Fraunhofer IPT

WZL RWTH AACHEN

Agenda

1 **Spanende Bearbeitung von Titanlegierungen**

2 **Spanende Bearbeitung von Nickelbasislegierungen**

3 **Zusammenfassung**

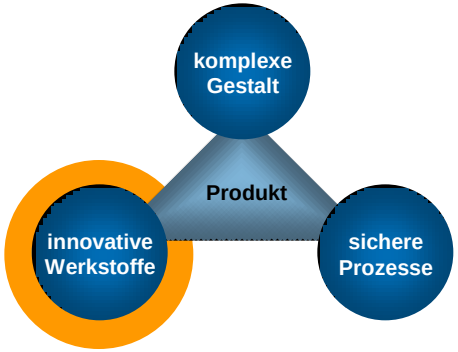
© WZL/Fraunhofer IPT

Fraunhofer IPT

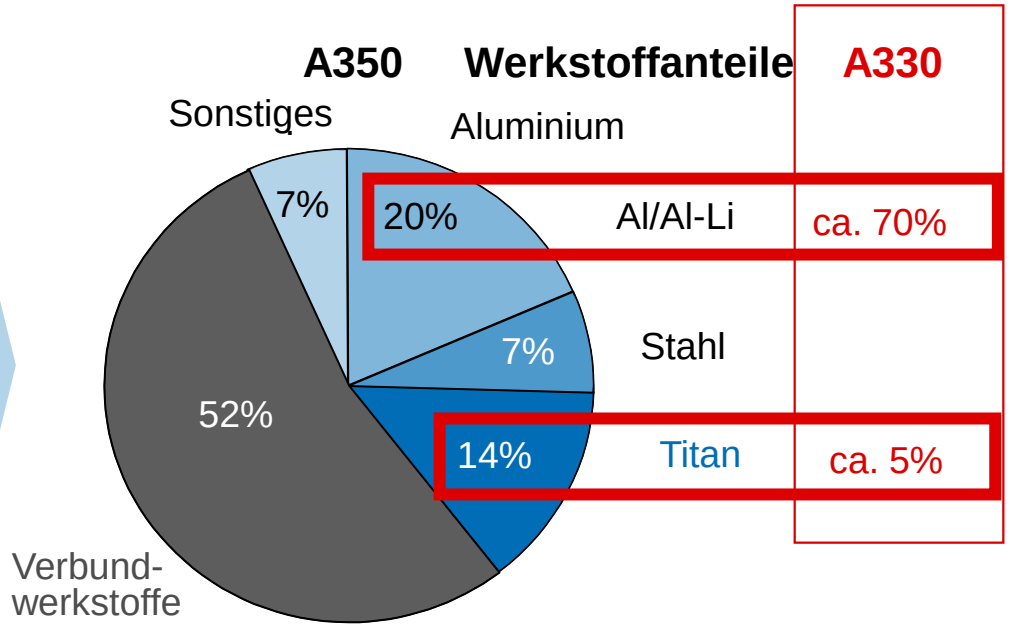
WZL RWTH AACHEN

Innovative Werkstoffe:
Verstärkter Einsatz von Titanwerkstoffen im Flugzeugbau





Verwendung von Titanbauteilen in CFK-Umgebung aufgrund chemischer und mechanischer Kompatibilität



(Gewichts-%, einschließlich Fahrwerk)

Quelle: Premium Aerotech

© WZL/Fraunhofer IPT

Fraunhofer IPT

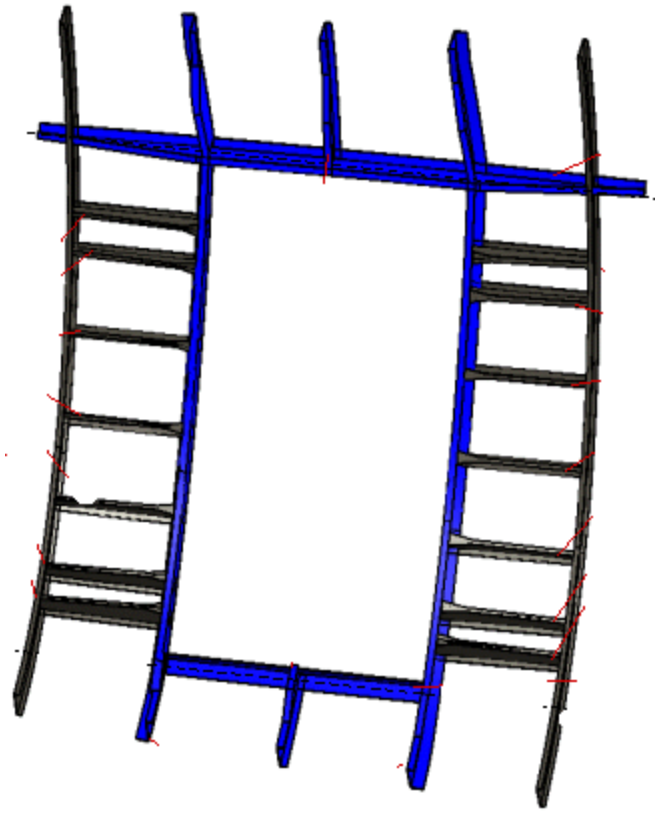
WZL RWTH AACHEN

Steigender Anteil von Titanbauteilen durch die Zunahme von Verbundwerkstoffen am Beispiel A350

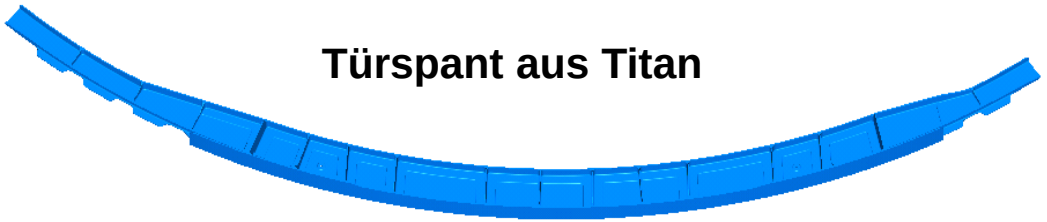


Türsegment

blau: Titanbauteile
grau: CFK



Verwendung von Titanbauteilen in CFK-Umgebung aufgrund chemischer und mechanischer Kompatibilität



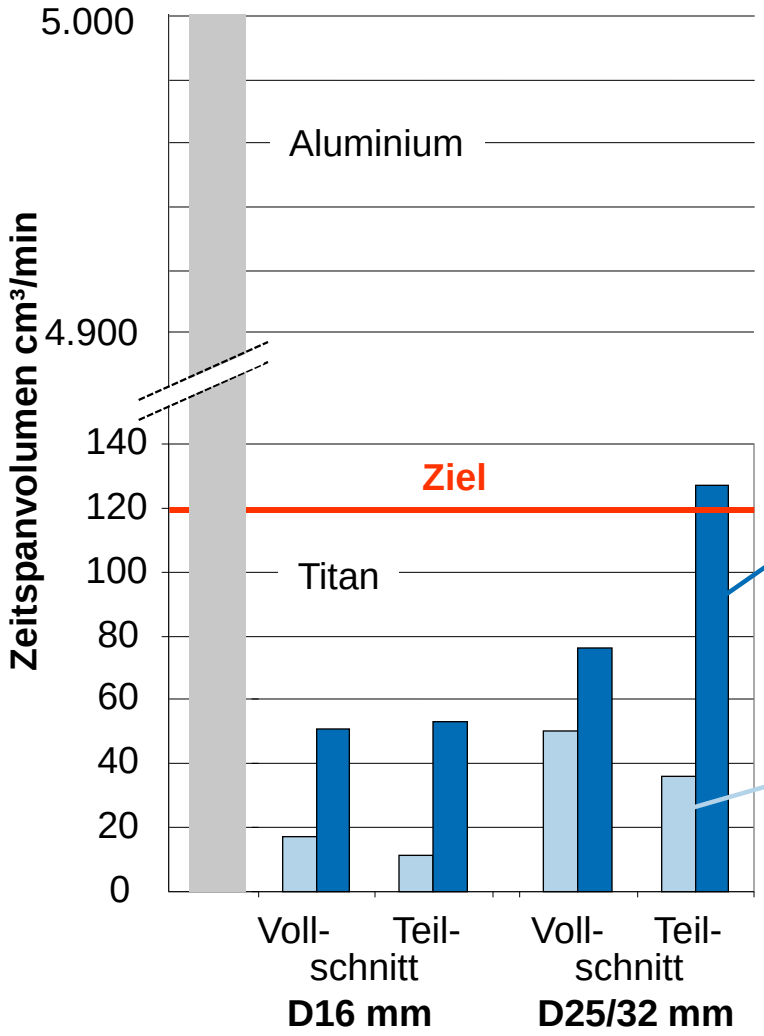
Quelle: Premium Aerotech

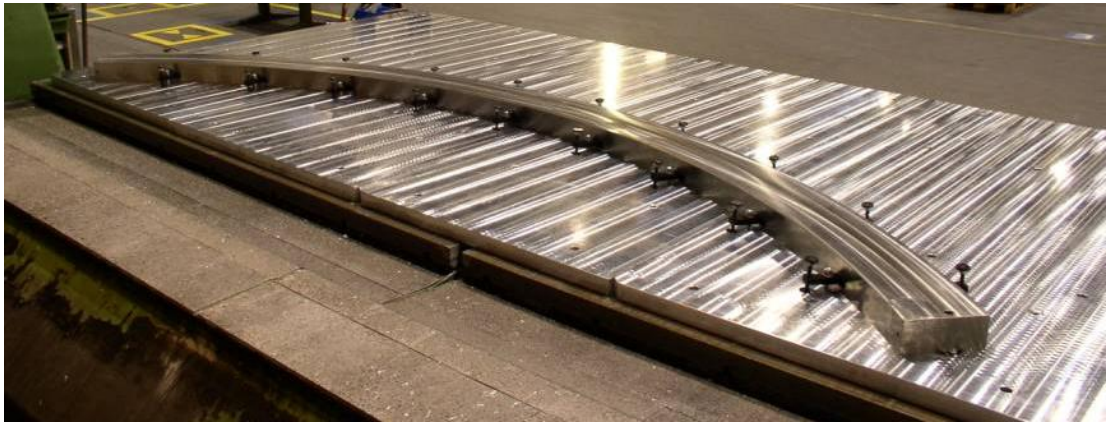
© WZL/Fraunhofer IPT

Fraunhofer IPT

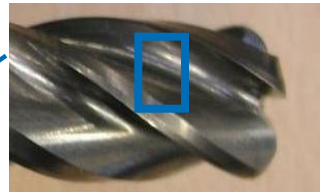
WZL RWTH AACHEN

Innovative Werkzeuge für die Titanbearbeitung

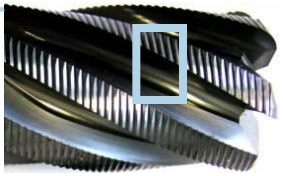


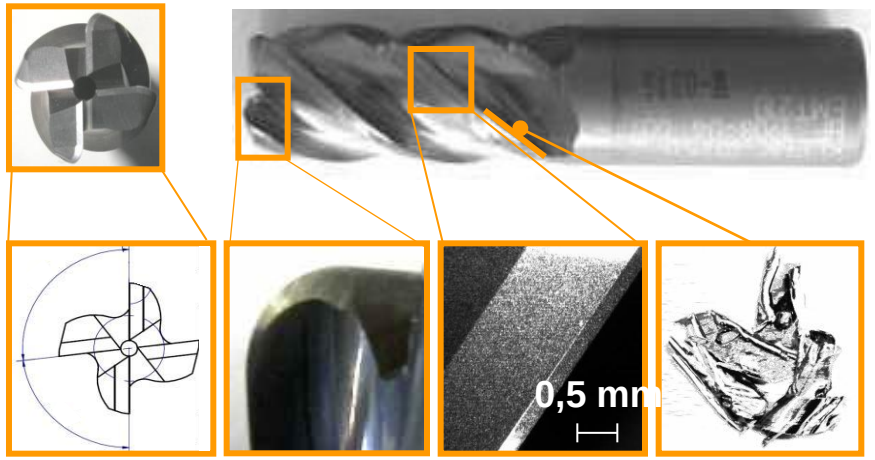


neuer Fräser



bisheriger Fräser





Ungleich-teilung | Stabilisierte Schneide | Mikro-goemetrie | Günstige Spanform

Quelle: Premium Aerotech

© WZL/Fraunhofer IPT

Fraunhofer IPT

WZL RWTH AACHEN

Titanlegierungen für Fluganwendungen







Mechanische Eigenschaften

Werkstoff	Streck-grenze	Zugfestig-keit	Bruch-dehnung
Ti-6Al-4V			
(α+β)-Legierung	830 MPa	895 MPa	10 %
Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo			
(α+β)-Legierung	1030 MPa	1100 MPa	8 %
Ti-5Al-5V-5Mo-3Cr			
Metastabile β-Leg.	1050 MPa	1160 MPa	9 %

Quellen: Thyssen-Krupp, Rolls-Royce, www.exprobase.com

Anwendung

- Hochbelastete Bauteile

Eigenschaften

- Dichte ρ = 4,4 g/cm³
- Hohe statische und dynamische Festigkeit
- Korrosionsbeständig, warmfest und zäh
- Geringe Wärmeleitfähigkeit

Zerspanbarkeit

- Hohe thermische Belastung des Werkzeugs
- Abrasiver Verschleißangriff durch Karbide

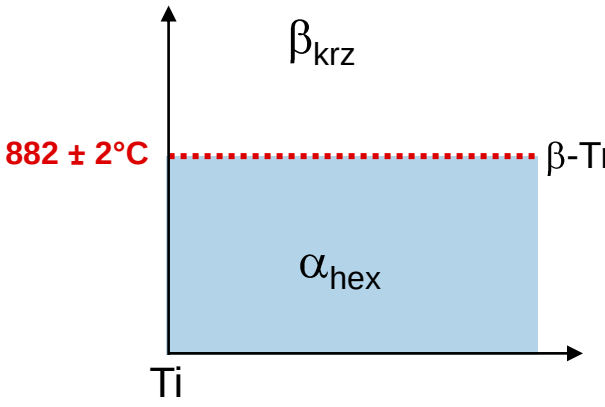
© WZL/Fraunhofer IPT

Fraunhofer IPT

WZL RWTH AACHEN

Kristallstruktur

- Titan tritt in verschiedenen Gittermodifikationen auf.
- Jede Modifikation ist nur innerhalb eines bestimmten Temperaturintervalls stabil.
- Der Übergang von einer in die andere Modifikation wird als allotrope Umwandlung, die entsprechende Temperatur als Transustemperatur bezeichnet.



Hochtemperaturphase:
β-Titan: kubisch raumzentrierte Kristallstruktur

α-Titan: hexagonal dichtest gepackte Kristallstruktur

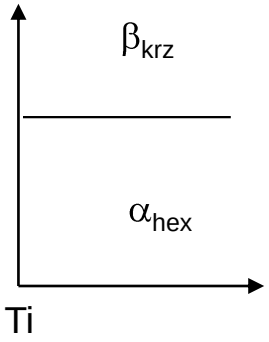
Quelle: Peters, Leyens: Titan und Titanlegierungen

© WZL/Fraunhofer IPT

Zustandsdiagramme der Titan-Legierungen

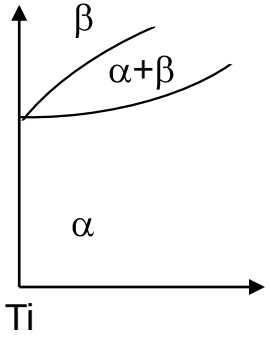
- Je nach Einfluss auf die β-Transustemperatur werden die Legierungselemente des Titans in
  - neutrale: Sn, Zr
  - α-stabilisierende: Al, O, N, C und
  - β-stabilisierende: Mo, V, Ta, Nb (β-isomorphe) und Fe, Mn, Cr, Co, Ni, Cu, Si, H (β-eutektoide)

  Elemente unterteilt.



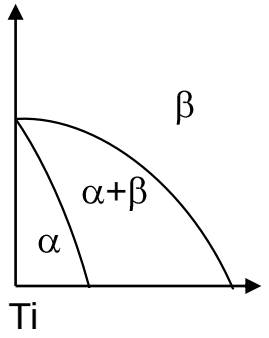
neutral

Sn, Zr



α-stabilisierend

Al, O, N, C



β-stabilisierend

Mo, V, Ta, Nb, Fe, Mn, Cr, Co, Ni, Cu, Si, H

- Die α-stabilisierenden Elemente erweitern das α-Phasengebiet hin zu höheren, die β-stabilisierenden das β-Phasengebiet hin zu tieferen Temperaturen. Zusätzlich bildet sich ein zweiphasiges (α+β)-Gebiet aus.

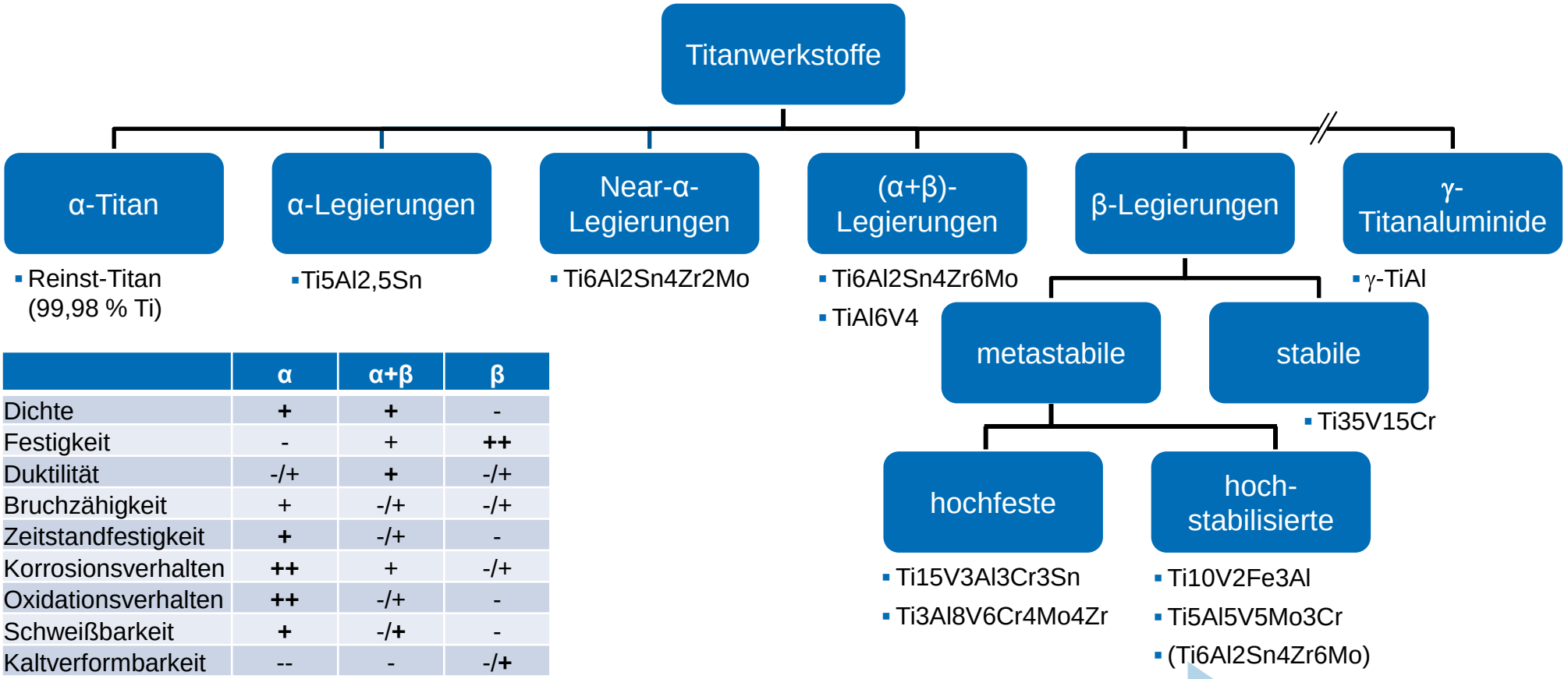
Quelle: Peters, Leyens: Titan und Titanlegierungen

© WZL/Fraunhofer IPT

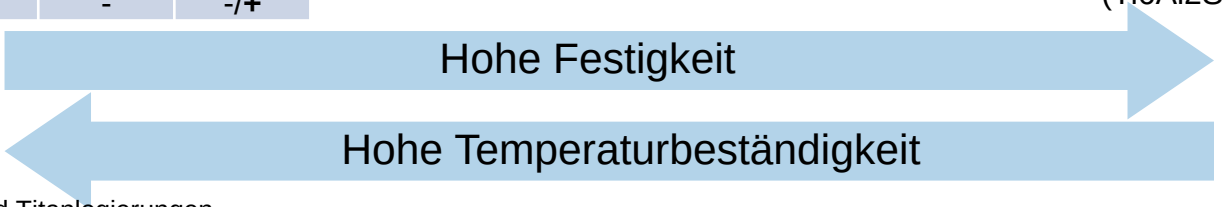
Fraunhofer IPT

WZL RWTH AACHEN

Einteilung und Eigenschaften von Titanwerkstoffe



	α	α+β	β
Dichte	+	+	-
Festigkeit	-	+	++
Duktilität	-/+	+	-/+
Bruchzähigkeit	+	-/+	-/+
Zeitstandfestigkeit	+	-/+	-
Korrosionsverhalten	++	+	-/+
Oxidationsverhalten	++	-/+	-
Schweißbarkeit	+	-/+	-
Kaltverformbarkeit	--	-	-/+



Quelle: Peters, Leyens: Titan und Titanlegierungen

© WZL/Fraunhofer IPT

Fraunhofer IPT

WZL RWTH AACHEN

Grundlegende Eigenschaften der Titanwerkstoffe

- **Reintitan**
  - Geringe Festigkeit
  - Gute Verformbarkeit
  - Gute Korrosionsbeständigkeit
- **α-Legierungen**
  - Gute Kriechbeständigkeit bis zu 540 °C
  - Typische Legierung: Ti5Al2,5Sn
- Near-α-Legierungen (Ti6Al2Sn4Zr2Mo)
  - Vereinen die gute Kriechbeständigkeit der α-Legierungen mit der hohen Festigkeit der (α+β)-Legierungen.
  - Günstige Kombination aus mechanischen Eigenschaften und Oxidationsbeständigkeit auf.
  - Einsatztemperaturen > 600 °C
- **(α+β)-Legierungen**
  - Ausgewogenes Verhältnis der mechanischen Eigenschaften
  - Typische Legierung: TiAl6V4
- **β-Legierungen**
  - Höhere Festigkeiten als (α+β)-Legierungen
  - Relativ einfach verformbar
  - Hohe Festigkeit durch Wärmebehandlung erreichbar
  - Typische Legierung: Ti5Al5V5Mo3Cr

α+β-Legierung



Quelle: Otto Fuchs



Quelle: MTU Aero Engines

near-α-Legierung



Quelle: Otto Fuchs

β-Legierung



Quelle: Liebherr Aerospace

β-Legierung, metast.



Quelle: Otto Fuchs

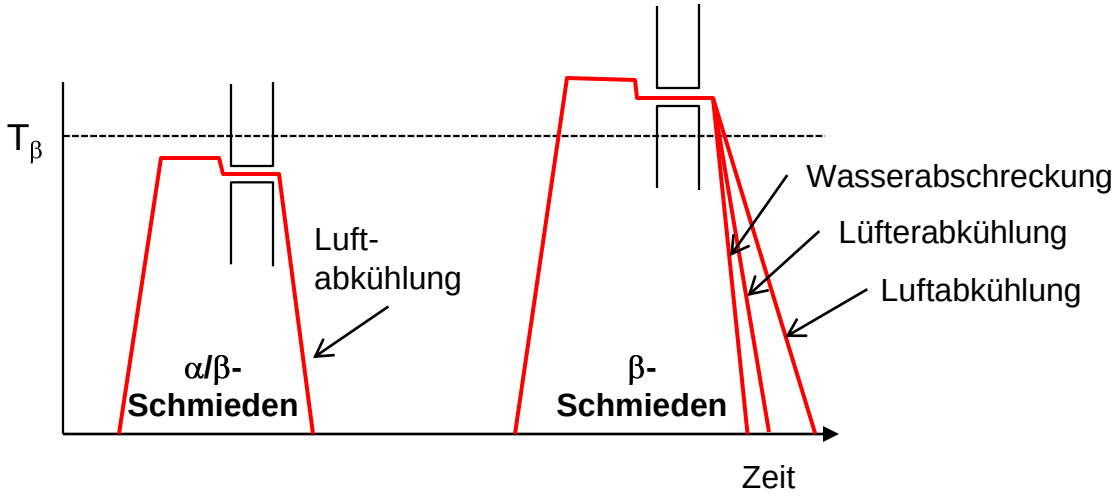
© WZL/Fraunhofer IPT

Fraunhofer IPT

WZL RWTH AACHEN

Schmieden von Titanlegierungen

- Die Weiterverarbeitung des Vormaterials kann in ein α/β-Schmieden und in ein β-Schmieden unterteilt werden.



- α/β-Schmieden:
  - Temperatur 30 – 100 °C unterhalb T_β.
  - Umformgrad und –temperatur so wählen, dass z. B. Rekristallisation als globulare Ausprägung der a-Phase erfolgt.
- β-Schmieden
  - Umformtemperatur > Tβ, Umformung muß vor α/β-Umwandlung abgeschlossen sein
  - Zur Vermeidung unerwünschter Gefügeausbildung:
    - Near-a-Legierungen: Abkühlung im Wasser
    - Umwandlungsträgere b-Legierungen: Luftabkühlung

Quelle: Peters, Leyens: Titan und Titanlegierungen

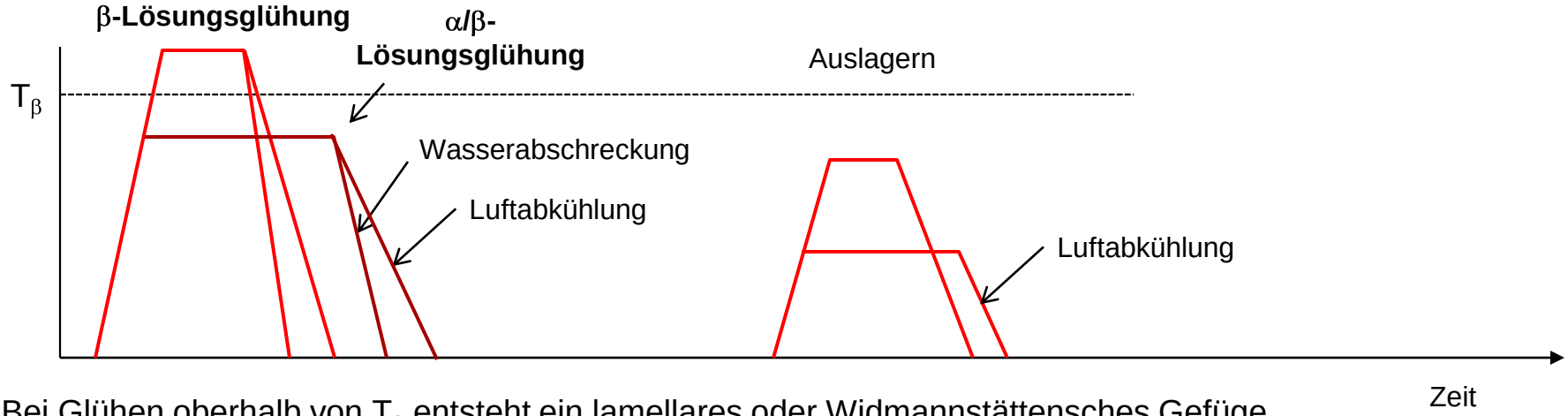
© WZL/Fraunhofer IPT

Fraunhofer IPT

WZL RWTH AACHEN

Wärmebehandlung von Titanlegierungen

- Wie beim Schmieden unterscheidet man bei der Wärmebehandlung zwischen einer ß-Lösungsglühung und einer α/β-Lösungsglühung



- Bei Glühen oberhalb von T_β entsteht ein lamellares oder Widmannstättensches Gefüge
  - Hohe Bruchzähigkeit, reduzierte Duktilität
- Bei Glühung unterhalb von T_β entsteht ein
  - bimodales Gefüge aus globularer α-Phase (Anteil wird durch Temperaturfestgelegt) und ein
  - Umwandlungsgefüge (von der Abschreckgeschwindigkeit beeinflusst)
- Auslagern
  - Spannungsarmglühen oder
  - Ausscheidungen zur Festigkeitserhöhung

Quelle: Peters, Leyens: Titan und Titanlegierungen

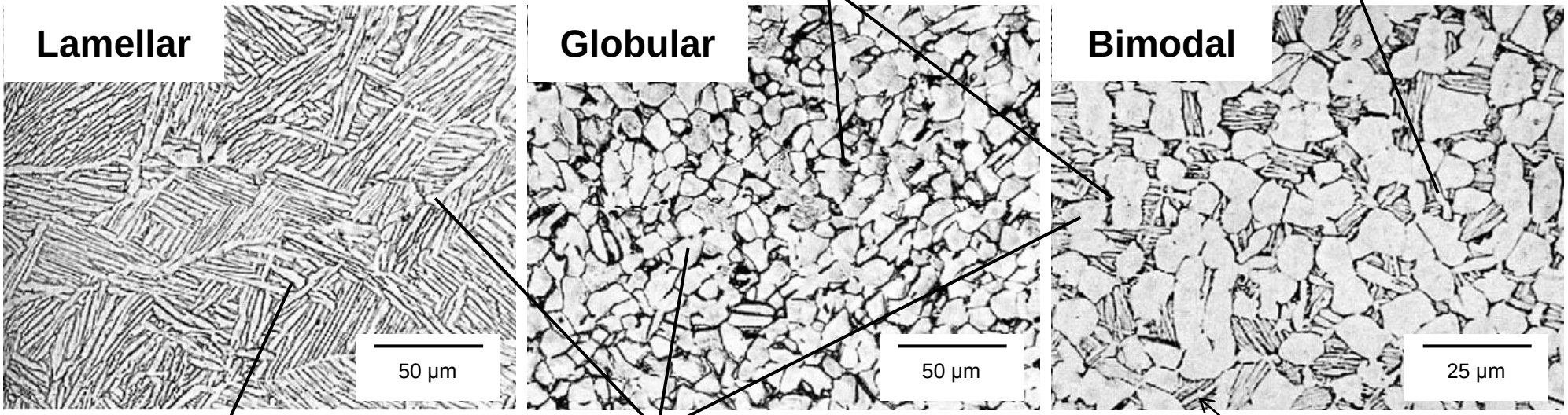
© WZL/Fraunhofer IPT

Fraunhofer IPT

WZL RWTH AACHEN

Gefügeausbildung von Titanlegierungen

- Neben der chemischen Zusammensetzung haben die Gefüge einen maßgeblichen Einfluss auf die Eigenschaften.
- So kann z. B. die α+β-Legierung Ti64 in Abhängigkeit von der Wärmebehandlung ein lamellares, globulares oder bimodales Gefüge aufweisen



Quelle: Peters, Leyens: Titan und Titanlegierungen

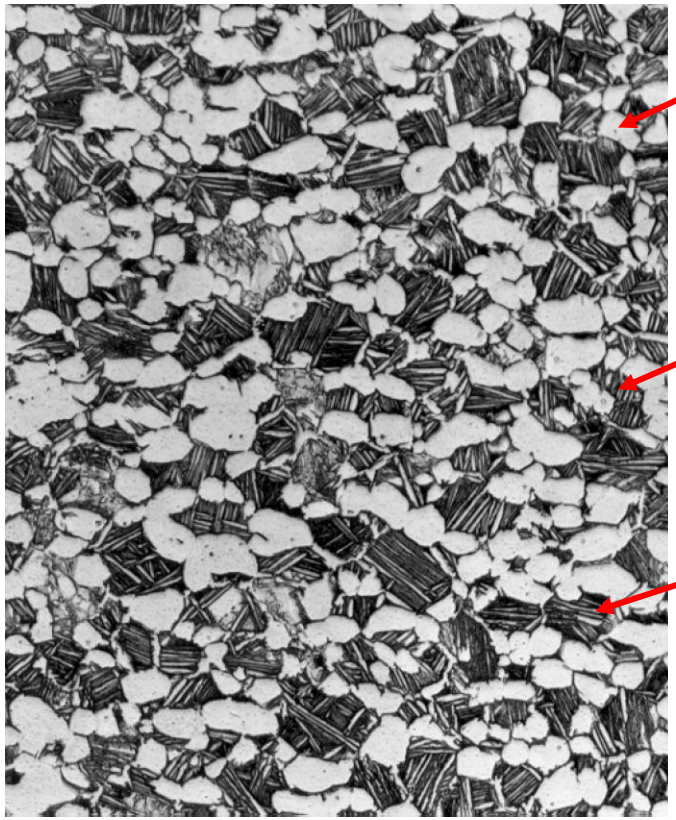
© WZL/Fraunhofer IPT

Fraunhofer IPT

WZL RWTH AACHEN

Gefügeausbildung von (α+β)-Titanlegierungen

bimodales Gefüge



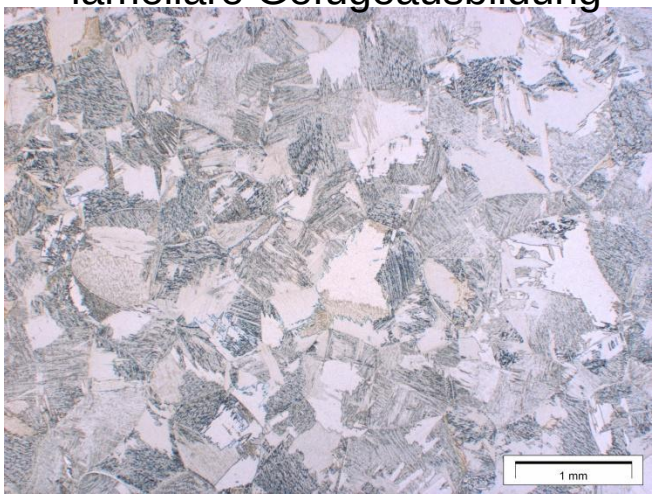
100 µm

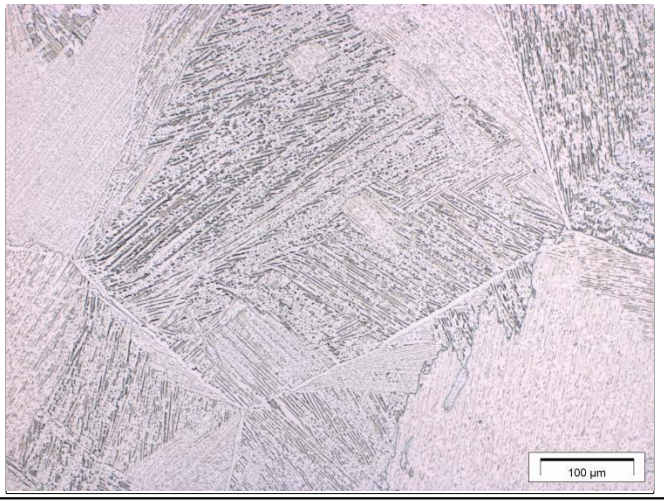
primäre α-Phase,
hexagonal, spröde,
schlecht verformbar
neigt zur Kaltverfestigung

β-Phase, krz
gut verformbar,
ausgeprägte
Klebeneigung

weiße Nadeln:
sekundäre α-Phase

TiAl6V4: β-geglüht
lamellare Gefügeausbildung





© WZL/Fraunhofer IPT

Fraunhofer IPT

WZL RWTH AACHEN

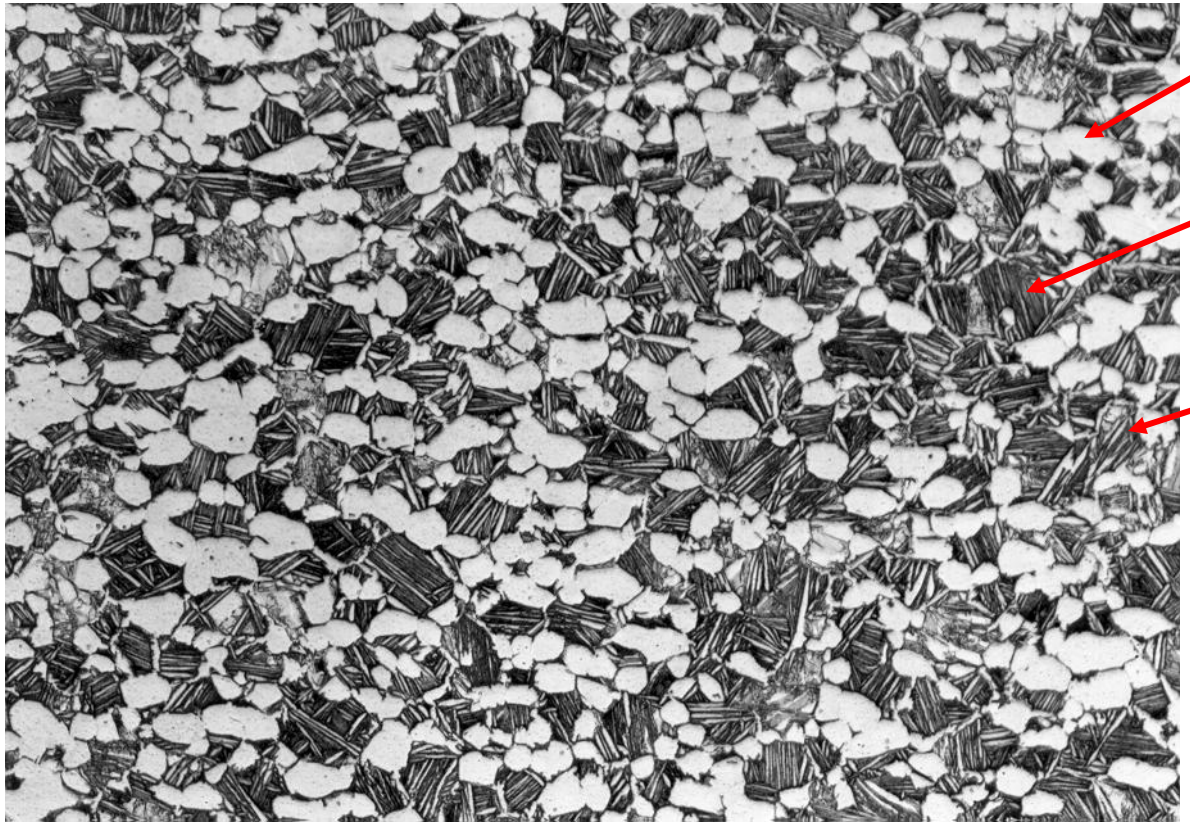
Gefügeausbildung von Titanlegierungen

- **Lamellare Gefüge**: langsame Abkühlung aus dem β-Gebiet.
  - Abnehmende Abkühlgeschwindigkeit führt zur Vergröberung der Lamellen
  - Schnelles Abkühlen führt zu einer martensitischen Umwandlung der β-Phase mit einem feinspießigen Gefüge. Da die Gitterverspannung nur gering ist, ist im Vergleich zu Stählen der Härtungseinfluss eher gering.
- **Globulare Gefüge**: sind Folge eines Rekristallisationsprozesses
  - Legierung muss im α/β-Gebiet entsprechend hoch verformt werden, um genügend Kaltverformung einzubringen, damit bei der nachfolgenden
  - Lösungsglühbehandlung im α/β-Gebiet ein rekristallisiertes, globulares Gefüge entsteht.
  - Zunehmende Glühzeit vergröbert das globulare Gefüge
  - Die Lösungsglühtemperatur bestimmt den Volumenanteil an primärer α-Phase
  - Lösungsglühtemperaturen dicht unterhalb von T_β führen zu **bimodalen Gefügestrukturen**, d. h. das Gefüge besteht aus globularem (primärem) α in einer Matrix aus lamellar angeordnetem α und β.

Quelle: Peters, Leyens: Titan und Titanlegierungen

Gefügeausbildung der Near-α-Legierung Ti-6-2-4-2

(α+β)-Mischgefüge: Heterogenes zweiphasiges Gefüge



100 µm

primäre α-Phase, hexagonal
spröde, schlecht verformbar
neigt zur Kaltverfestigung

β-Phase, krz
gut verformbar, ausgeprägte Klebeneigung

weiße Nadeln:
sekundäre α-Phase

Schmelzpunkt: 1677°C

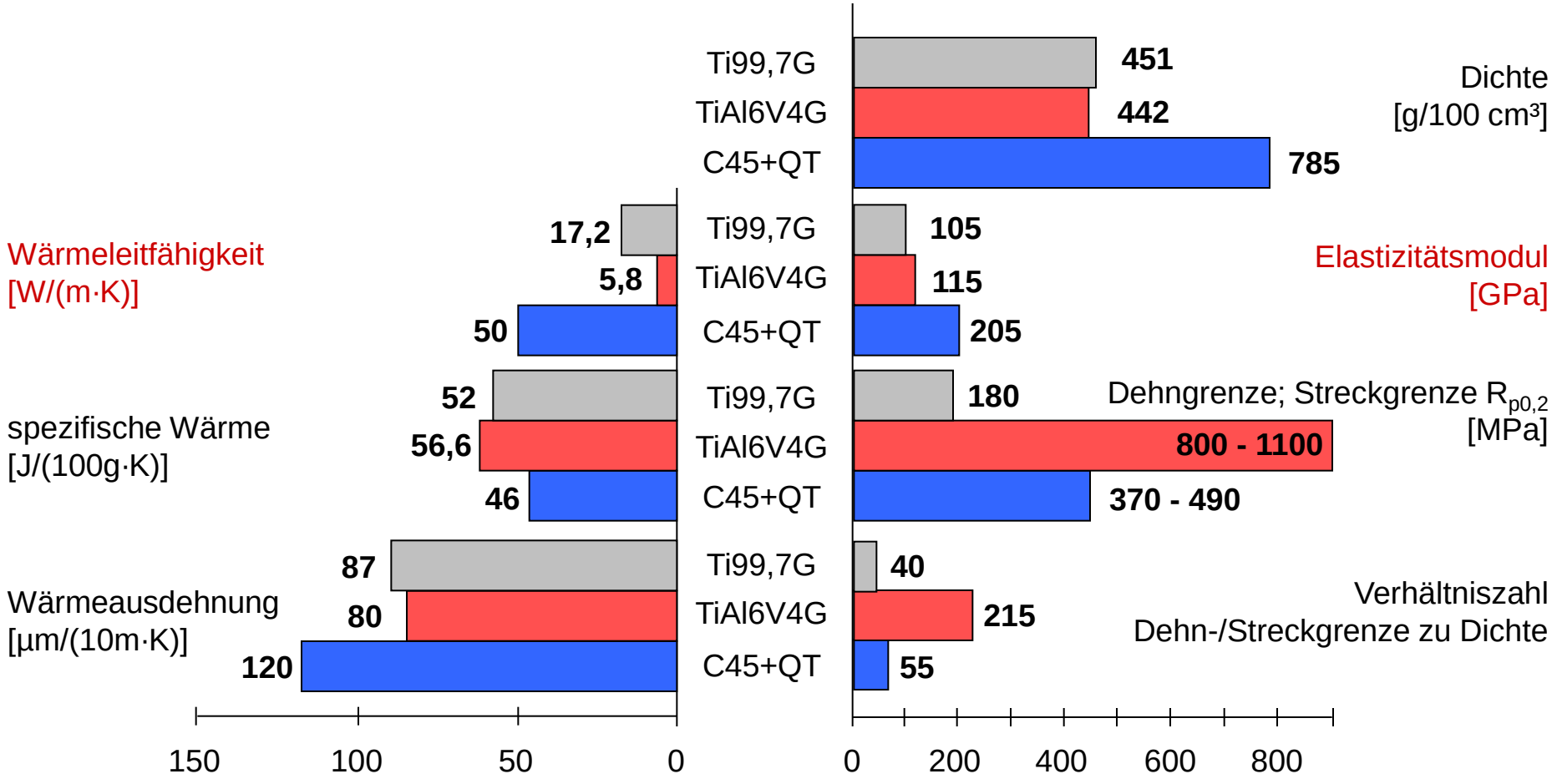
Quelle: Adam

© WZL/Fraunhofer IPT

Fraunhofer IPT

WZL RWTH AACHEN

Wärmephysikalische und mechanische Eigenschaften im Vergleich



Quelle: Kreis, Erinski

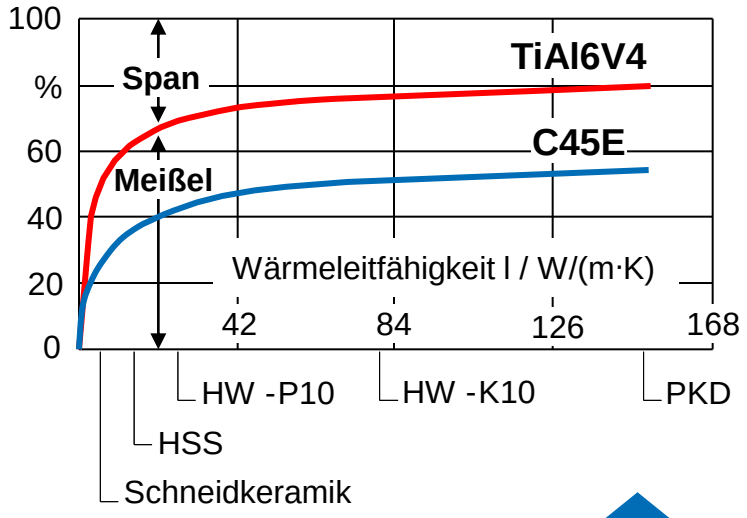
© WZL/Fraunhofer IPT

Fraunhofer IPT

WZL RWTH AACHEN

Verschleißrelevante Eigenschaften von TiAl6V4

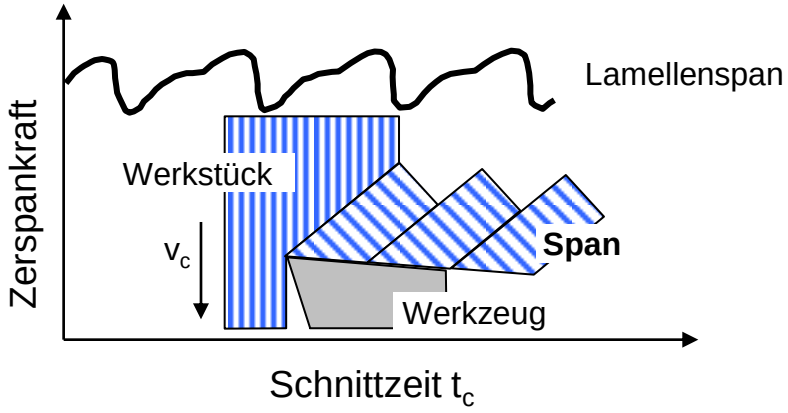
Verteilungskoeffizient des Wärmestromes α_w



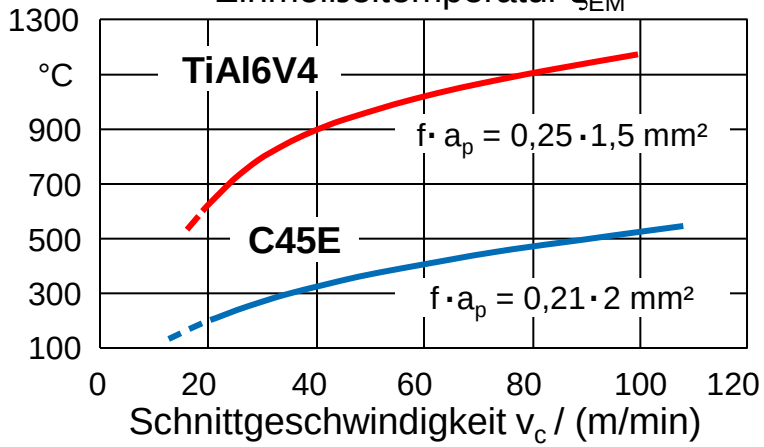
Vergleich der Wärmeverteilung auf Werkzeug und Span beim Drehen von Stahl und TiAl6V4

Vergleich der Werkzeugtemperatur beim Drehen von Stahl und TiAl6V4

Mechanisch-thermische Wechselbelastung durch Lamellenspanbildung



Einmeißeltemperatur ζ_{EM}



© WZL/Fraunhofer IPT

Fraunhofer IPT

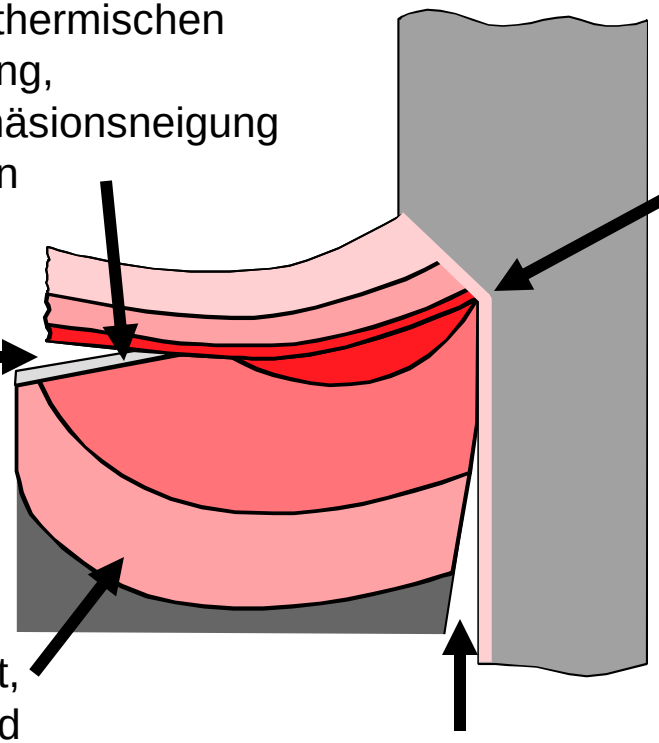
WZL RWTH AACHEN

Anforderungen an das Werkzeug

Beschichtung zur Reduzierung der thermischen Werkzeugbelastung, sollte geringe Adhäsionsneigung zu Titan aufweisen

kleine Kantenverrundung zur Stabilisierung der Schneidkante

positiver Spanwinkel zur Reduzierung der Zerspankraft und Erhöhung der „Schnittigkeit“



Substrat mit guter Wärmeleitfähigkeit, hoher Warmhärte, hohem Widerstand gegen Abrasionsverschleiß und geringer Adhäsionsneigung

großer Freiwinkel wegen großer elastischer Verformungsfähigkeit aufgrund des niedrigen E-Moduls

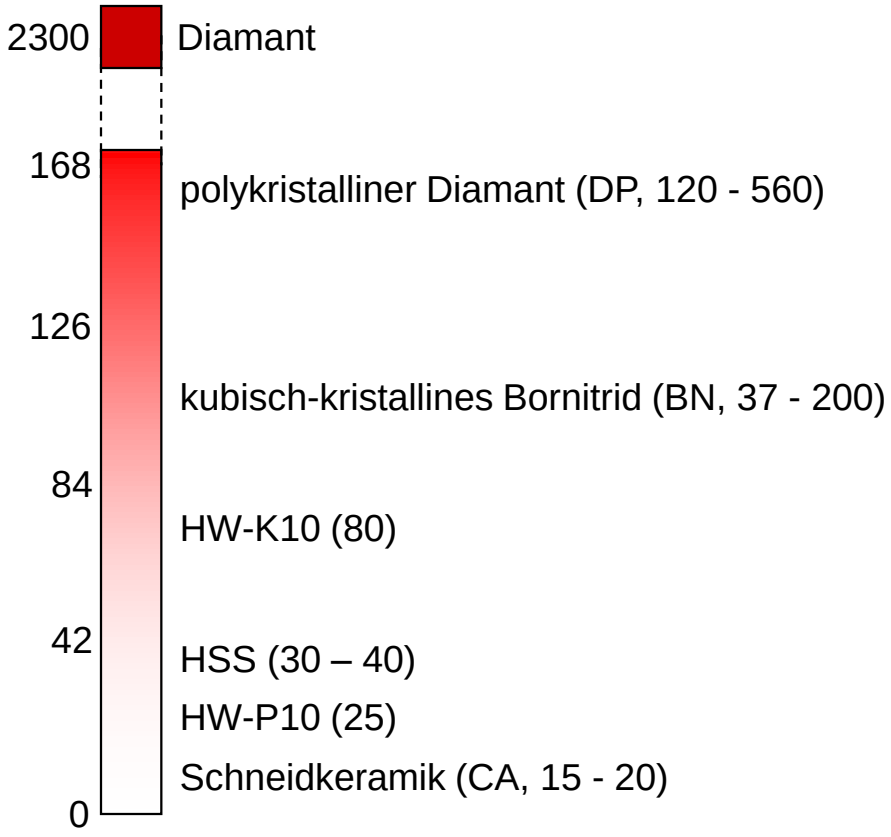
© WZL/Fraunhofer IPT

Fraunhofer IPT

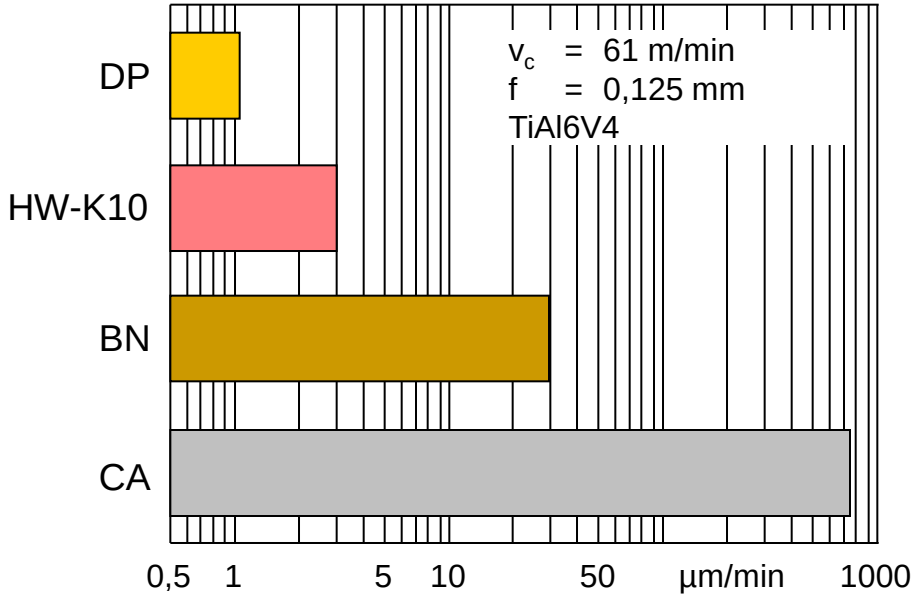
WZL RWTH AACHEN

Wärmephysikalische Eigenschaften von Schneidstoffen

Wärmeleitfähigkeit l / (W/m ·K)



mittlere Kolkverschleißrate

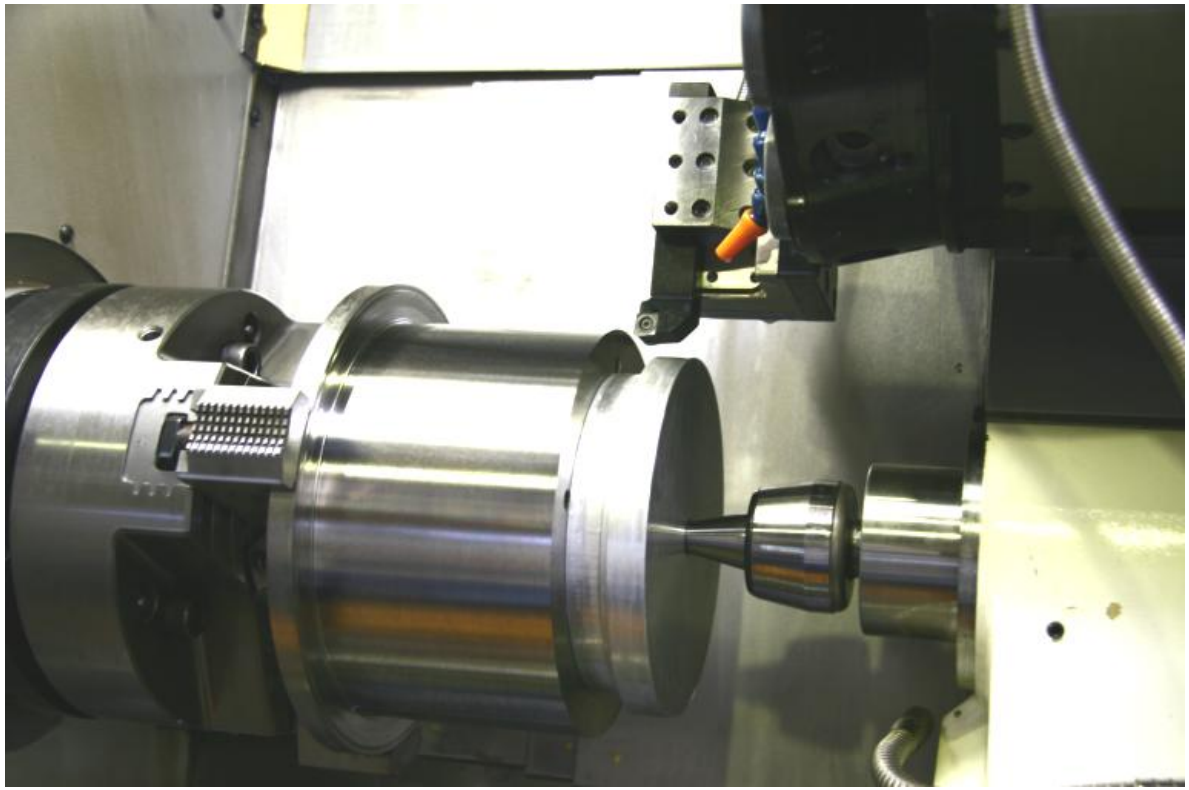


© WZL/Fraunhofer IPT

Fraunhofer IPT

WZL RWTH AACHEN

Stand der Technik beim Schrupp- und Schlichtdrehen von Titanlegierungen



- unbeschichtete Hartmetalle auf der Basis von WC-Co
- Schruppdrehen:
  v_c = 50 – 70 m/min
- Schlichtdrehen:
  v_c = 60 – 90 m/min
- beschichtete Werkzeuge bringen beim Drehen von Titanlegierungen noch keine signifikanten Leistungs-steigerungen.

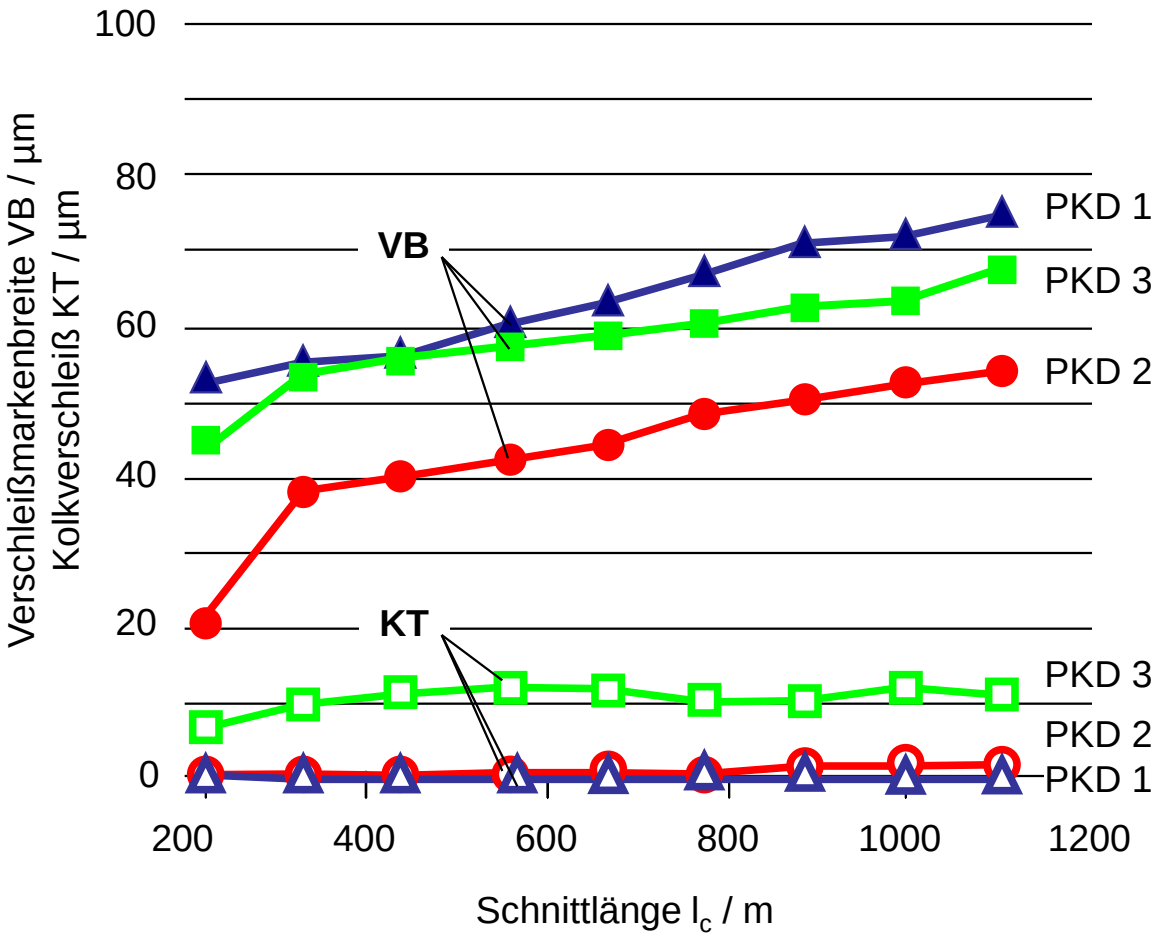
Quelle:

© WZL/Fraunhofer IPT

Fraunhofer IPT

WZL RWTH AACHEN

Diamant als Schneidstoff beim Schlichtdrehen von TiAl6V4



Zusammen-setzung	PKD 1 △▲	PKD 2 ○●	PKD 3 □■
Diamant *	92 %	92 %	80 %
Binder *	8 %	8 %	20 %
Korngröße	6-10 µm	2-6 µm	0,5-1 µm

Binderphase: WC-Co
* Volumenanteil

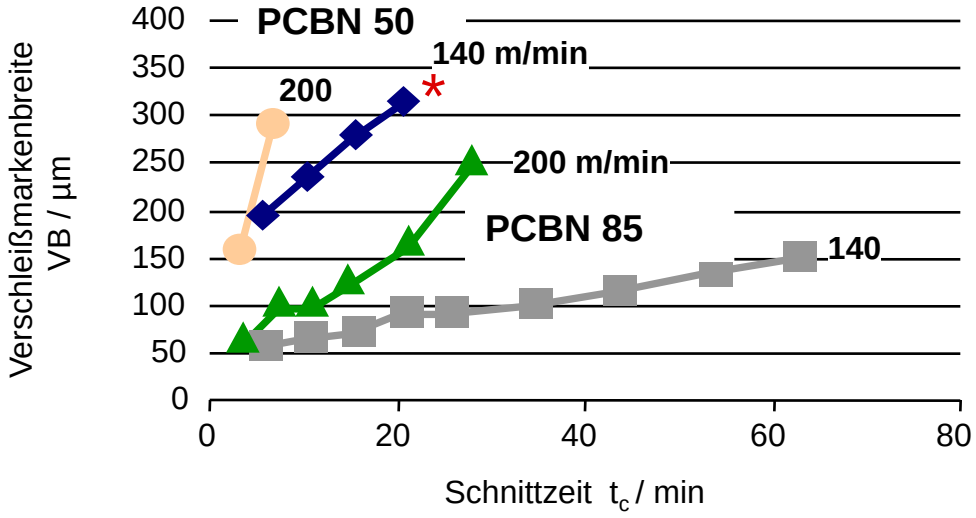
Verfahren: Plandrehen
Werkstoff: TiAl6V4
Werkzeug: △ ○ SCGW 120408
□ SPGN 120308
Schnittgeschwindigkeit:
v_c = 110 m/min
Schnitttiefe: a_p = 2,0 mm
Vorschub: f = 0,1 mm
Kühlschmierstoff: Emulsion

© WZL/Fraunhofer IPT

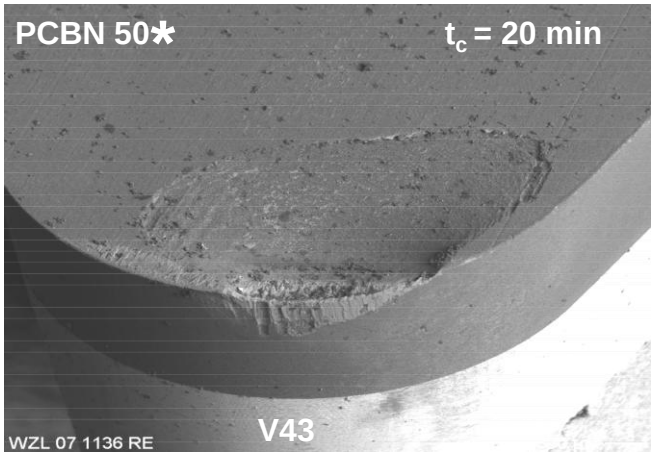
Fraunhofer IPT

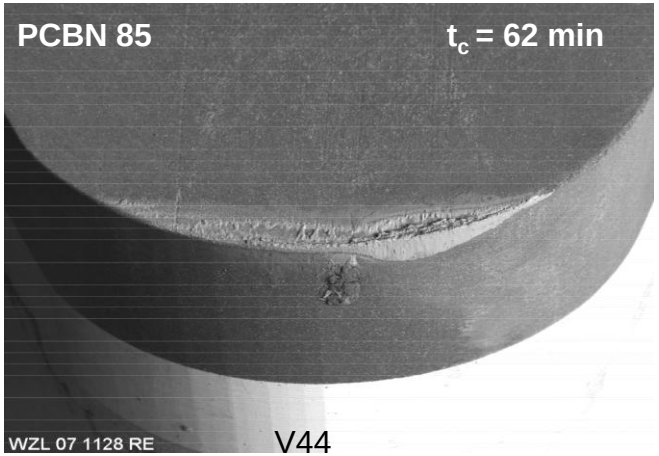
WZL RWTH AACHEN

Schlichtdrehen mit Schneidplatten aus PCBN



v_c = 140 m/min





Verfahren:	Außenlängsdrehen	Schnittgeschwindigkeit:	
Werkstoff:	TiAl6V4	■ ◆ v_c = 140 m/min	
Plattenform:	VBMW 160412	● ▲ v_c = 200 m/min	
Schneidstoff:	DBC50 / DBW085	Vorschub:	f = 0,12 mm
Kühlschmiertsoff:	Emulsion	Schnitttiefe:	a_p = 0,20 mm

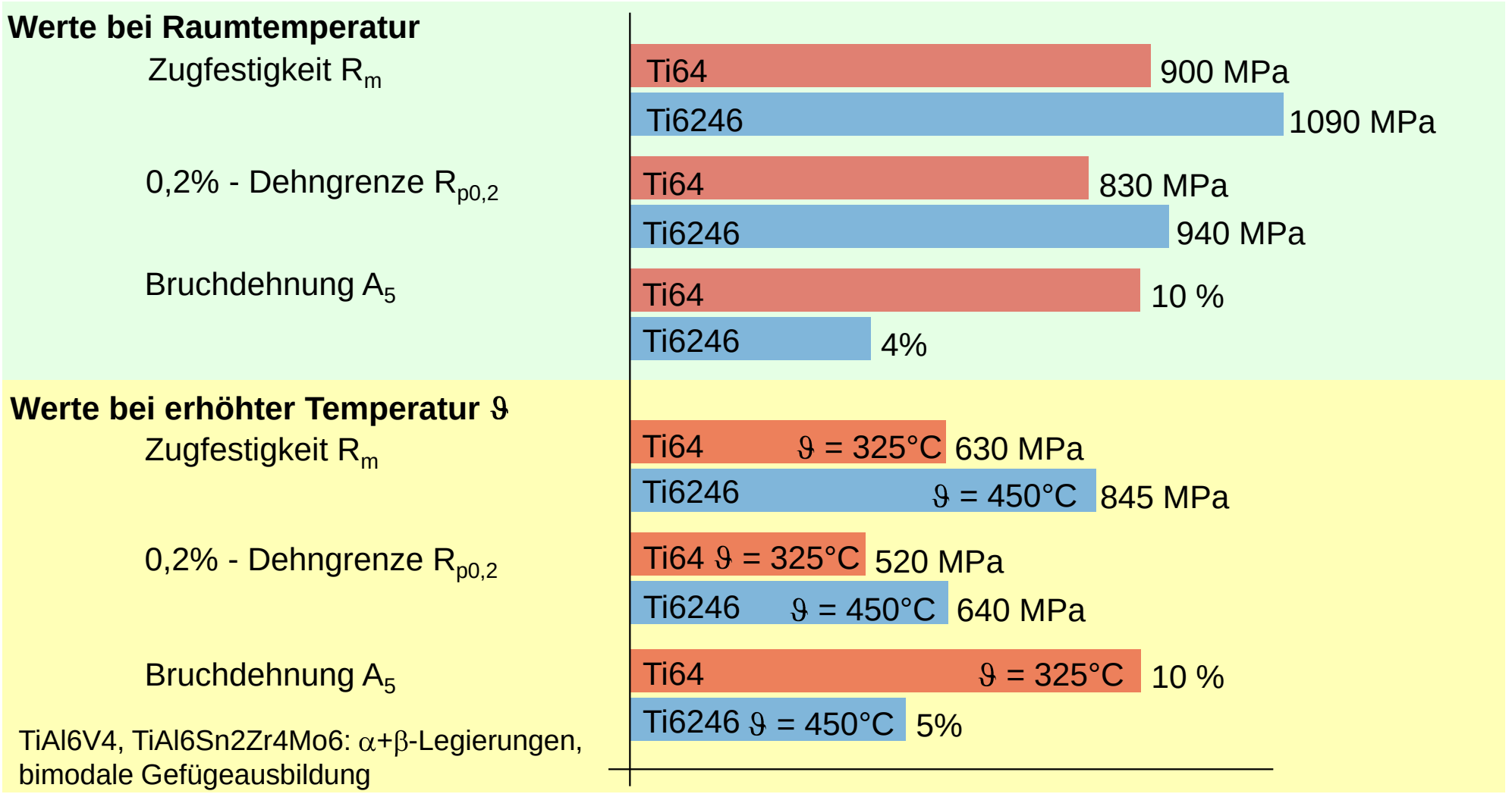
* Schneidstoffausbruch auf der Spanfläche

© WZL/Fraunhofer IPT

Fraunhofer IPT

WZL RWTH AACHEN

Vergleich ausgewählter Werkstoffeigenschaften von Ti64 und Ti6246



© WZL/Fraunhofer IPT

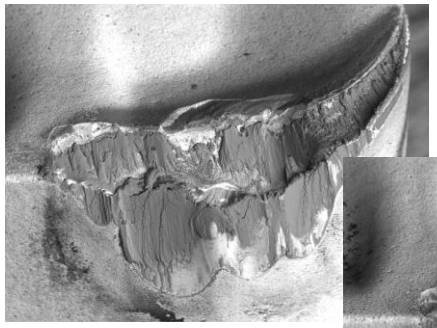
Fraunhofer IPT

WZL RWTH AACHEN

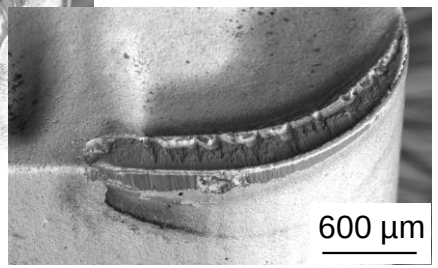
Hochdruck-Kühlschmierstoffzufuhr bei der Drehbearbeitung

Werkzeugverschleiß mit HD-KSS-Zufuhr

p = 80 bar, Q = 29 l/min



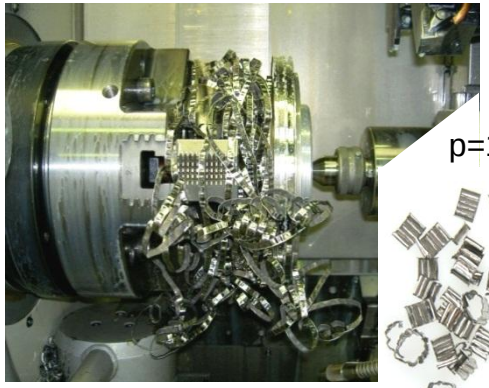
p=150 bar, Q=23 l/min



Außenlängsdrehen von Ti6246

Spanbildung

bei konv. Überflutungskühlung



mit HD-KSS-Zufuhr
p=150 bar, Q=22 l/min



Radiales Einstech-drehen in Inconel 718

Hochdruck-Kühlschmierstoffzufuhr

- **Gezielte** Zuführung des KSS zur Zerspanstelle
- Einer oder mehrere **fokussierte, hochenergetische** KSS-Freistrahlen
- Freistrahlerzeugung durch hohen (statischen) Druck (> 70 bar)

Leistungspotenzial der Hochdruck-KSS-Zufuhr im Zerspanprozess

- Effektive Kühlung und Schmierung der Schnittzone und des Werkzeugs
- Steigerung der **Produktivität**
  - Höhere Schnittwerte durch Reduzierung der thermischen WZ-Belastung und des WZ-Verschleißes
- Steigerung der **Prozesssicherheit**
  - Definierter Spanbruch
  - Sicherer Spanabtransport
  - Reproduzierbare und längere WZ-Standzeiten

© WZL/Fraunhofer IPT

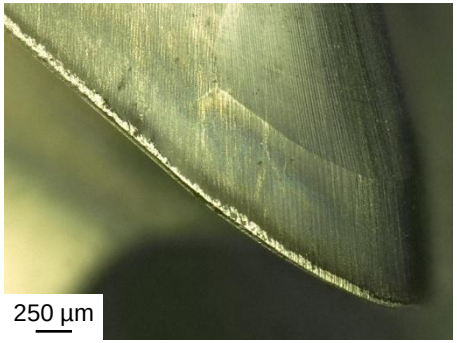
Fraunhofer IPT

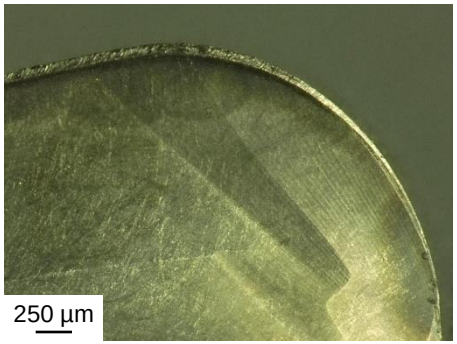
WZL RWTH AACHEN

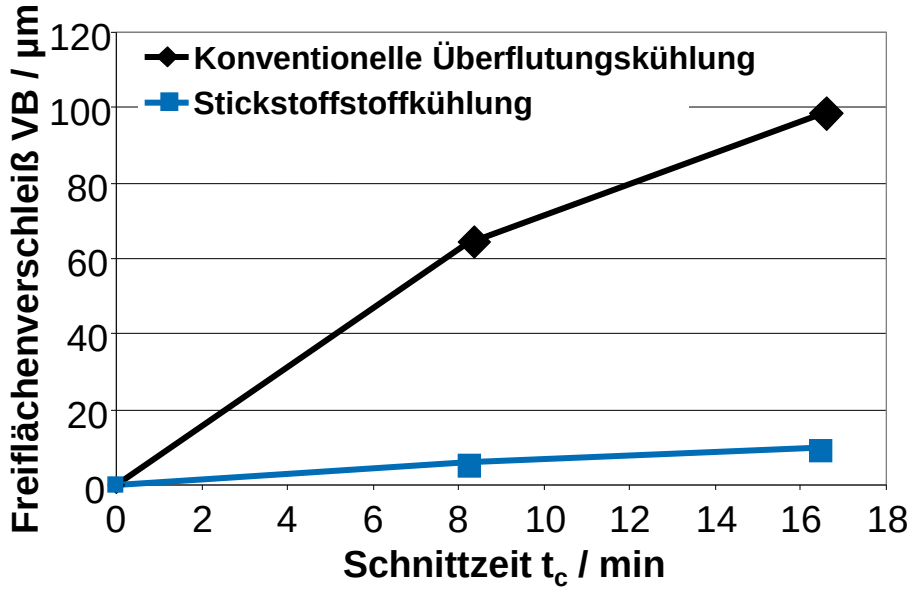
Emulsions- vs. Stickstoffkühlung beim Schaftfräsen von TiAl6V4

Konv. Überflutungskühlung

t_c = 16,4 min; l_f = 5,22 m; VB = 98 µm

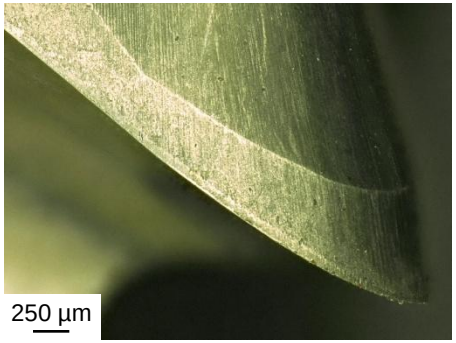


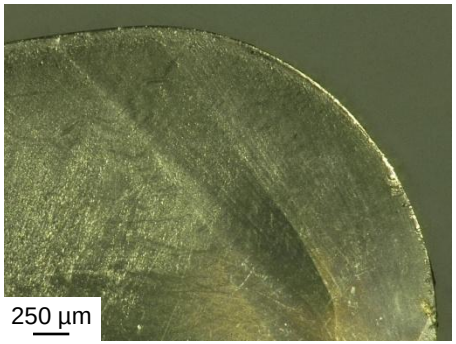




Stickstoffkühlung, Q = 3,2 l/min

t_c = 16,4 min; l_f = 5,22 m; VB = 10 µm





Prozess:	Schaftfräsen (Schruppen)	Schneidstoff:	HC (Al-Cr-N / PVD-Beschichtung)
Werkstoff:	Ti64	Schnittgeschw.:	v_c = 100 m/min
Werkzeug:	Schaftfräser	Schnitttiefe:	a_p = 5 mm
Durchmesser:	D = 12 mm	Schnittbreite:	a_e = 8 mm
Zähnezahl:	z = 4	Vorschub:	f_z = 0,03 mm

© WZL/Fraunhofer IPT

Fraunhofer IPT

WZL RWTH AACHEN

Zwischenfazit

- Titanlegierungen zählen zu den schwerzerspanbaren Werkstoffen
- Ihre physikalisch-mechanischen Eigenschaften wie
  - hohe Festigkeit,
  - niedrige Wärmeleitfähigkeit und
  - niedriger Elastizitätsmodul

  führen zu einer außerordentlich hohen mechanischen und thermischen Belastung der Werkzeuge.
- Geeignete Werkzeuge sollten
  - eine hohe Wärmeleitfähigkeit,
  - hohe Warmverschleißfestigkeit,
  - hohen Widerstand gegen Abrasionsverschleiß
  - eine geringe Adhäsionsneigung und
  - eine auf die Belastung angepaßte Werkzeugmikro- und –makrogeometrie

  aufweisen
- Schnittbedingungen, Schnittstrategien und Kühlkonzepte sollte auf die besonderen Bedingungen der Titanzerspanung abgestimmt sein.

Quelle:

© WZL/Fraunhofer IPT

.

Agenda

1 Spanende Bearbeitung von Titanlegierungen

2 Spanende Bearbeitung von Nickelbasislegierungen

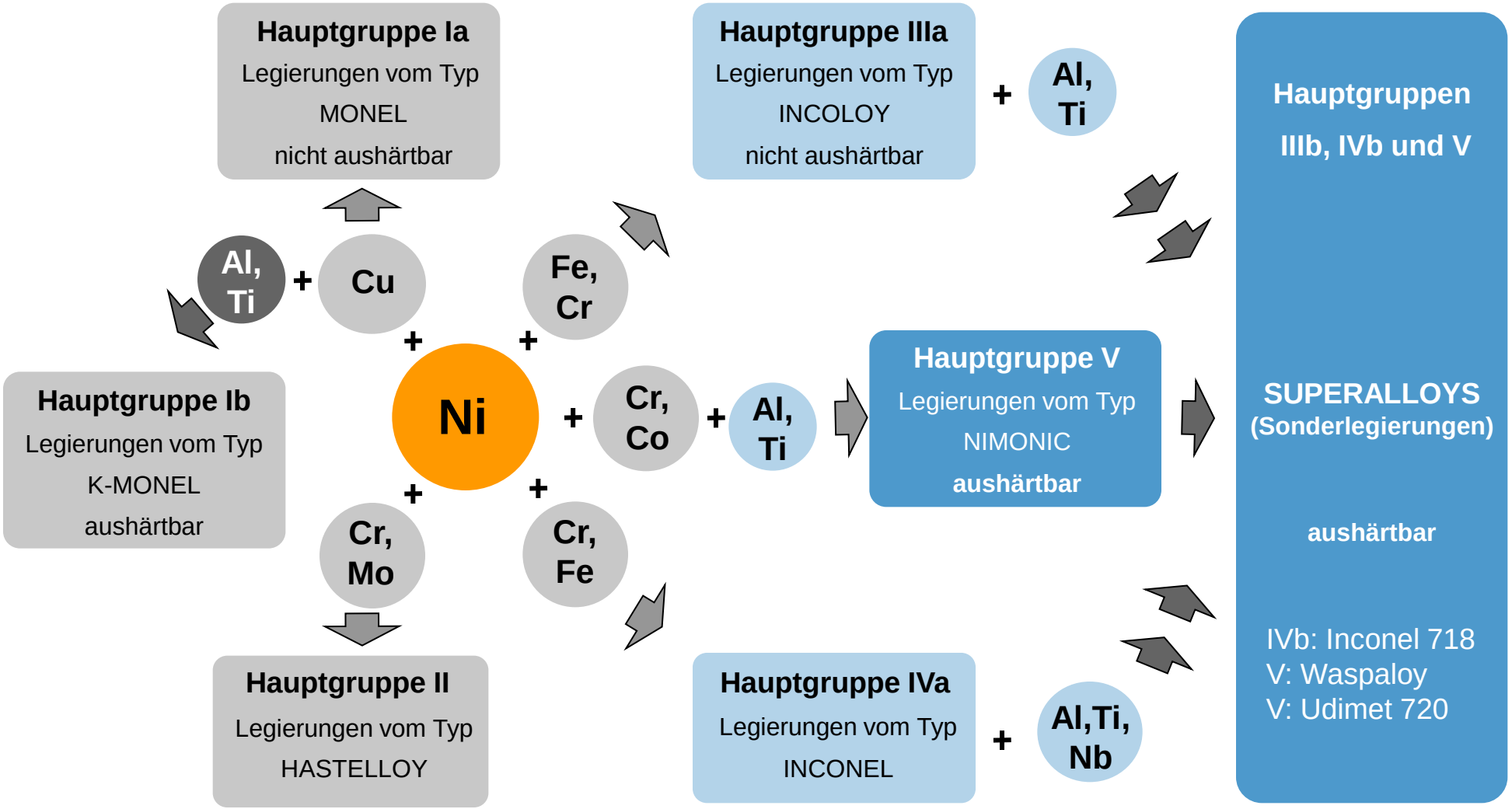
3 Zusammenfassung

© WZL/Fraunhofer IPT

Fraunhofer IPT

WZL RWTH AACHEN

Einteilung der Nickelbasislegierungen in Hauptgruppen



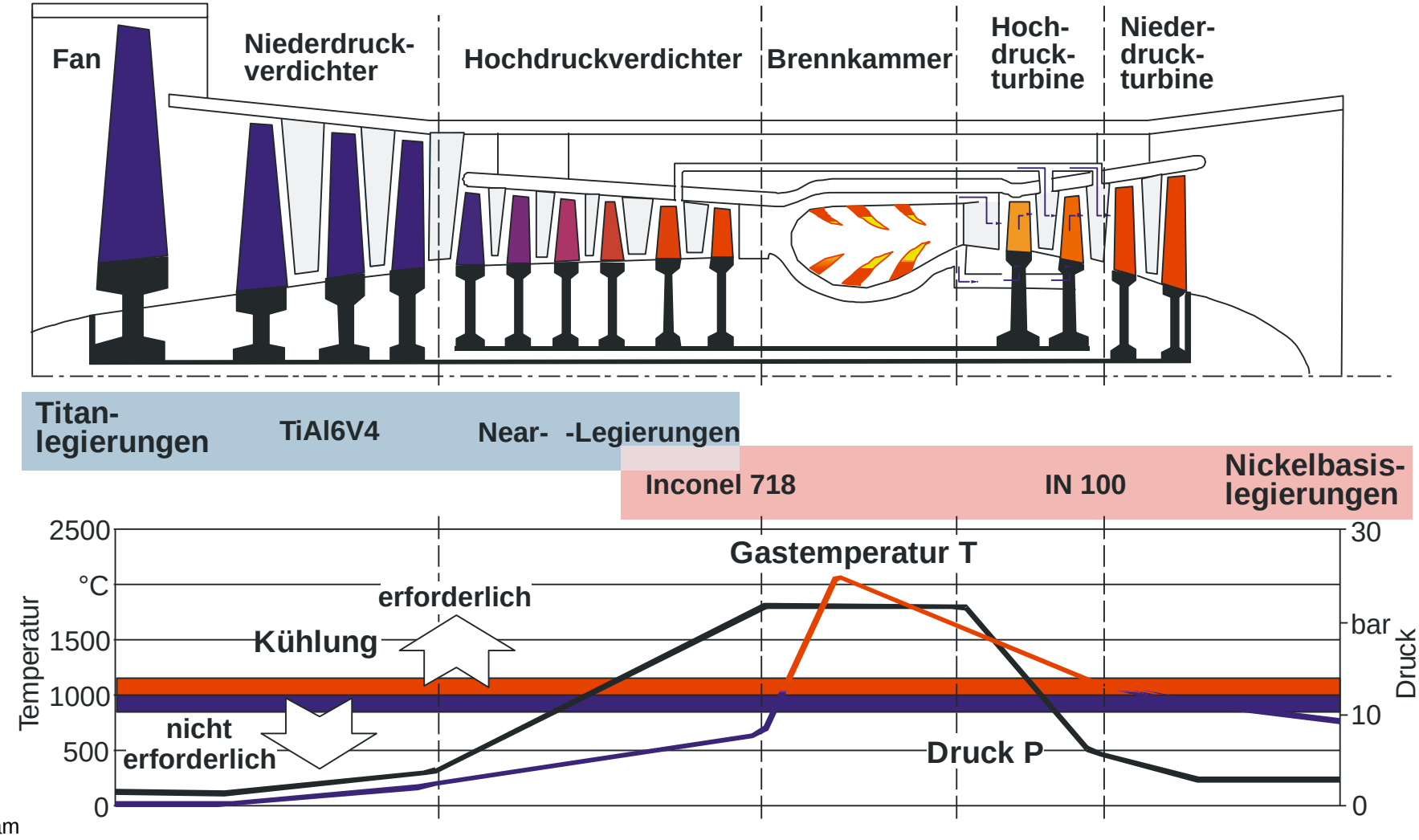
(Quellen: Wiggin Alloys, Huntington Alloys)

© WZL/Fraunhofer IPT

Fraunhofer IPT

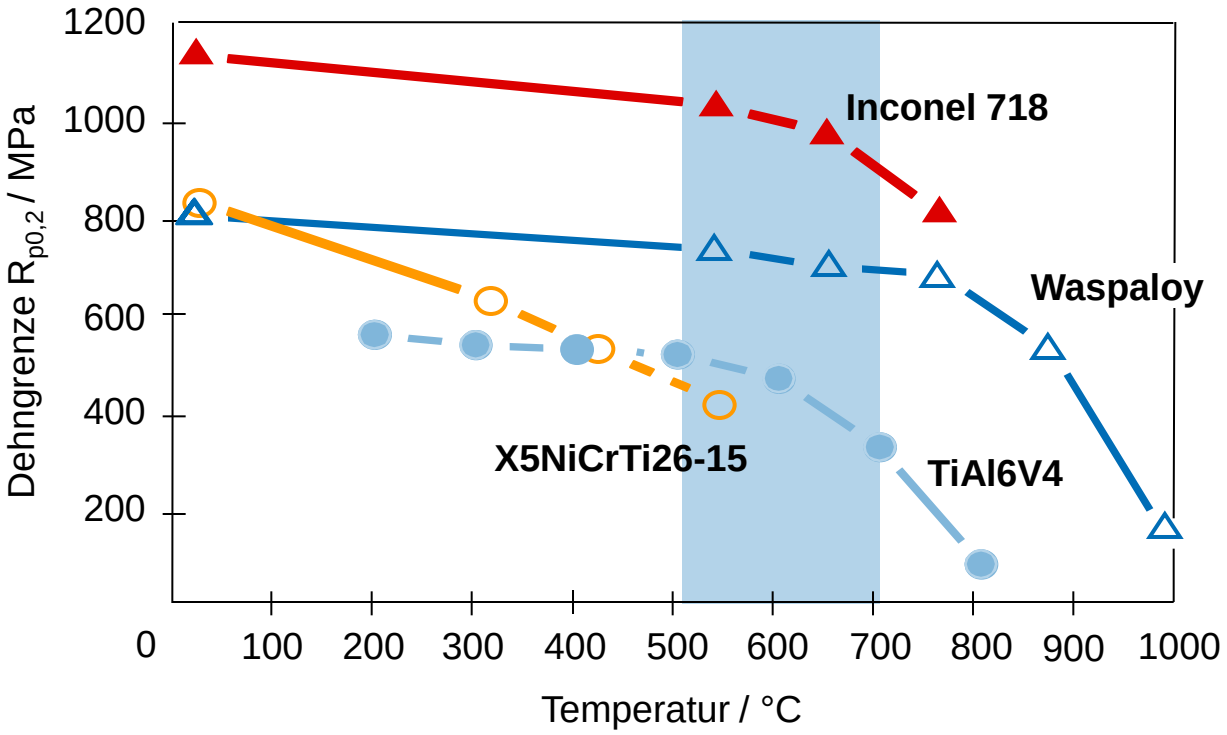
WZL RWTH AACHEN

Die Temperatur bestimmt den Schaufelwerkstoff



Quelle: Adam

Chemische Zusammensetzung und mechanische Eigenschaften von Nickelbasislegierungen



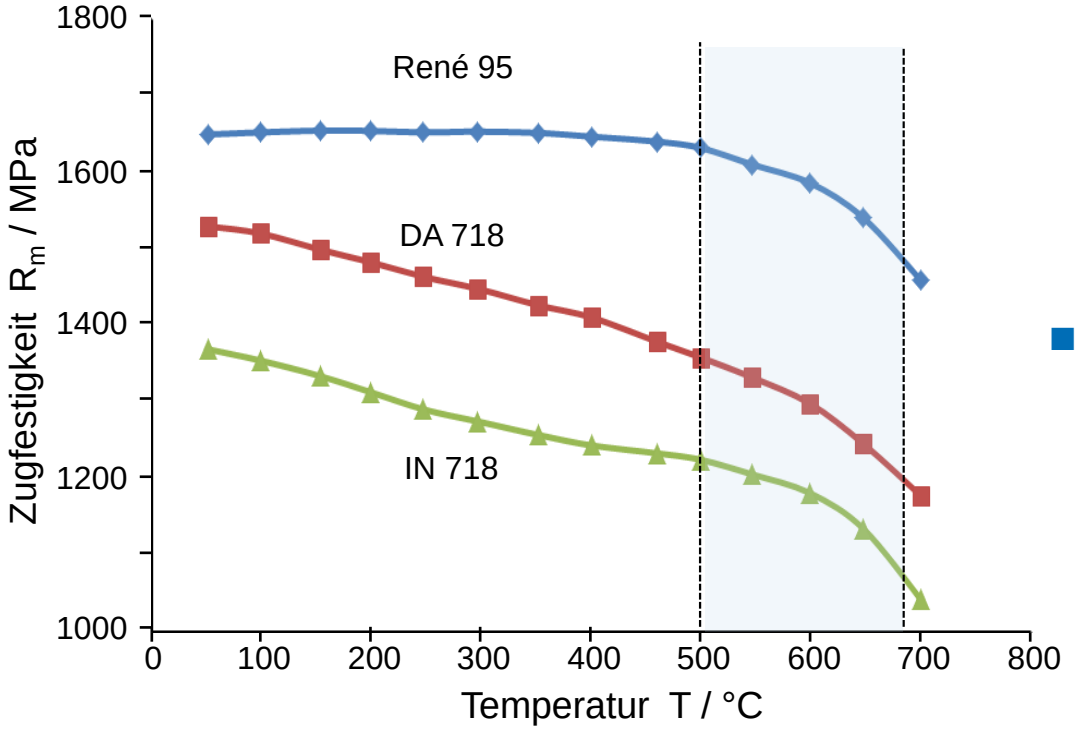
Elemente	Inconel 718	Waspaloy
Ni	> 50 %	55 %
Cr	20 %	20 %
Fe	19 %	-
Co	-	13,5 %
Mo	3 %	4,5 %
Nb	5 %	-
Ta		-
Al	0,9 %	1,4 %
Ti		3 %

© WZL/Fraunhofer IPT

Fraunhofer IPT

WZL RWTH AACHEN

„Neue“ höherfeste Nickelbasislegierungen im Triebwerksbau



- Inconel 718: Schmieden + Lösungsglühen mit Warmaushärten
  - Aushärtung neben γ‘-Phase $Ni_3(Al,Ti)$ über die γ‘‘-Phase Ni_3Nb (liefert hohen Härtungsbeitrag bei ausreichender Duktilität)
  - γ‘‘-Phase (Ni_3Nb): ist kohärent zur kfz γ –Phase, sie ist metastabil, transformiert in die δ-Phase (inkohärent, orthorhombisch)
- DA 718: Schmieden mit Warmaushärten
  - 8 Stunden bei 718°C gehalten, um 55°C pro Stunde bis 621°C abgekühlt und für 8 Stunden auf dieser Temperatur gehalten. Anschließend wird luftgekühlt.
  - Stabilisierung der γ‘‘-Phase. Vermeidung der Ausscheidung weitere Phasen: Laves-Phasen (Fe,Cr,Mn,Si)2(Mo,W,Nb,Ti), σ-Phase (Fe, $Ni,Co)_x(Cr,Mo,W)_Y$, µ-Phase $(Co,Fe)_7(Mo,W)_6$
  - Feinkörniges Gefüge
  - Höhere Zugfestigkeit, verbessertes zyklisches Ermüdungsverhalten

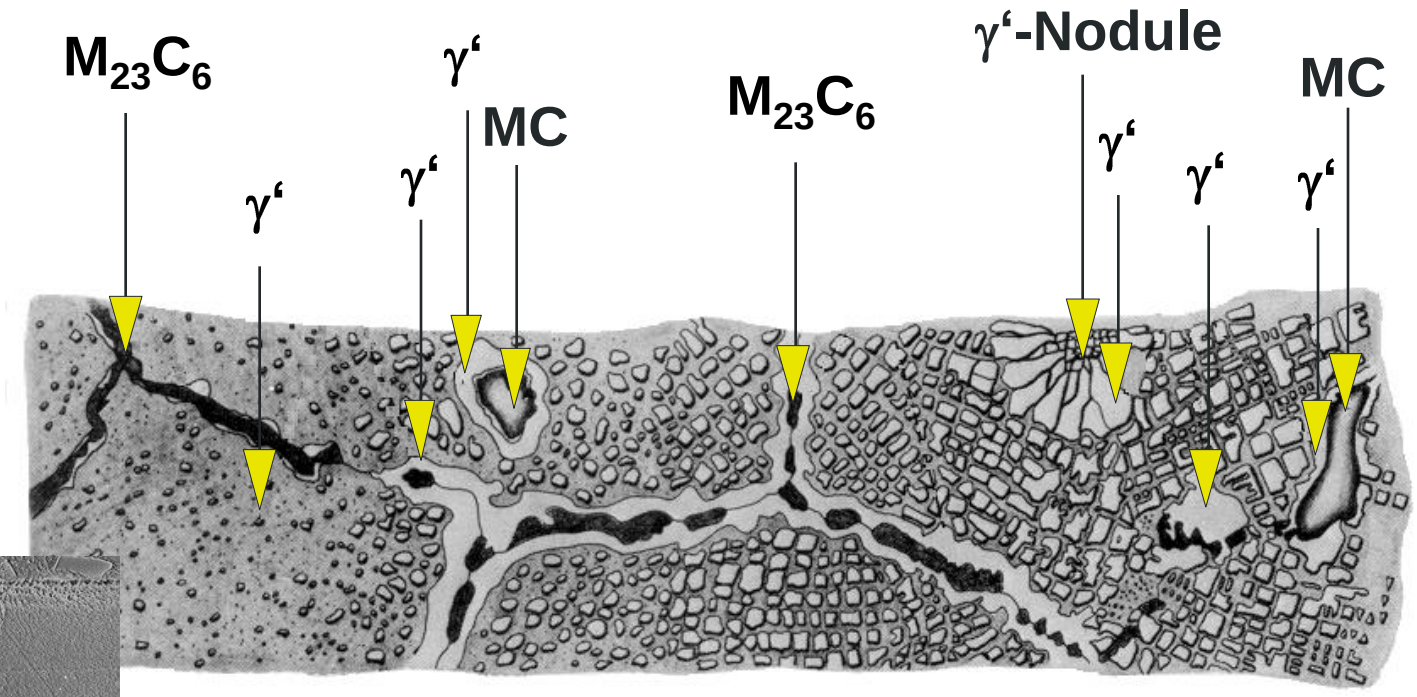
Quelle:

© WZL/Fraunhofer IPT

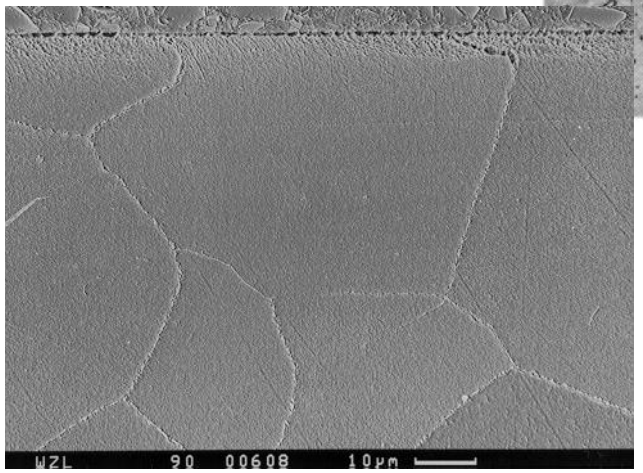
Fraunhofer IPT

WZL RWTH AACHEN

Gefügestrukturen von Nickelbasislegierungen



Waspaloy



γ‘-Phase: $Ni_3(Ti,Al)$

γ“-Phase: $Ni_3(Nb,Ti,Al)$

MC: WC, TiC

$M_{23}C_6$: $Cr_{23}C_6$

Quelle: Sims und Hagel

© WZL/Fraunhofer IPT

Fraunhofer IPT

WZL RWTH AACHEN

Zwischenfazit: Eigenschaften und Zerspanbarkeit von Nickelbasislegierungen

Inconel 718 (NiCr19Fe18Nb5Mo)
- Dichte: 8,2 kg/dm^3
- Festigkeit: 1407 MPa bei 93 °C,
  1158 MPa bei 650 °C
  758 MPa bei 760 °C
- Einsatztemperatur: 704 °C

Gefügeausbildung
- Matrix: kfz-zentriert (γ-Phase)
- Ausscheidungsphasen
  - Carbide vom Typ MC und $M_{23}C_6$
  - intermetallische γ‘‘-Phase vom Typ $Ni_3(Nb,Al,Ti)$

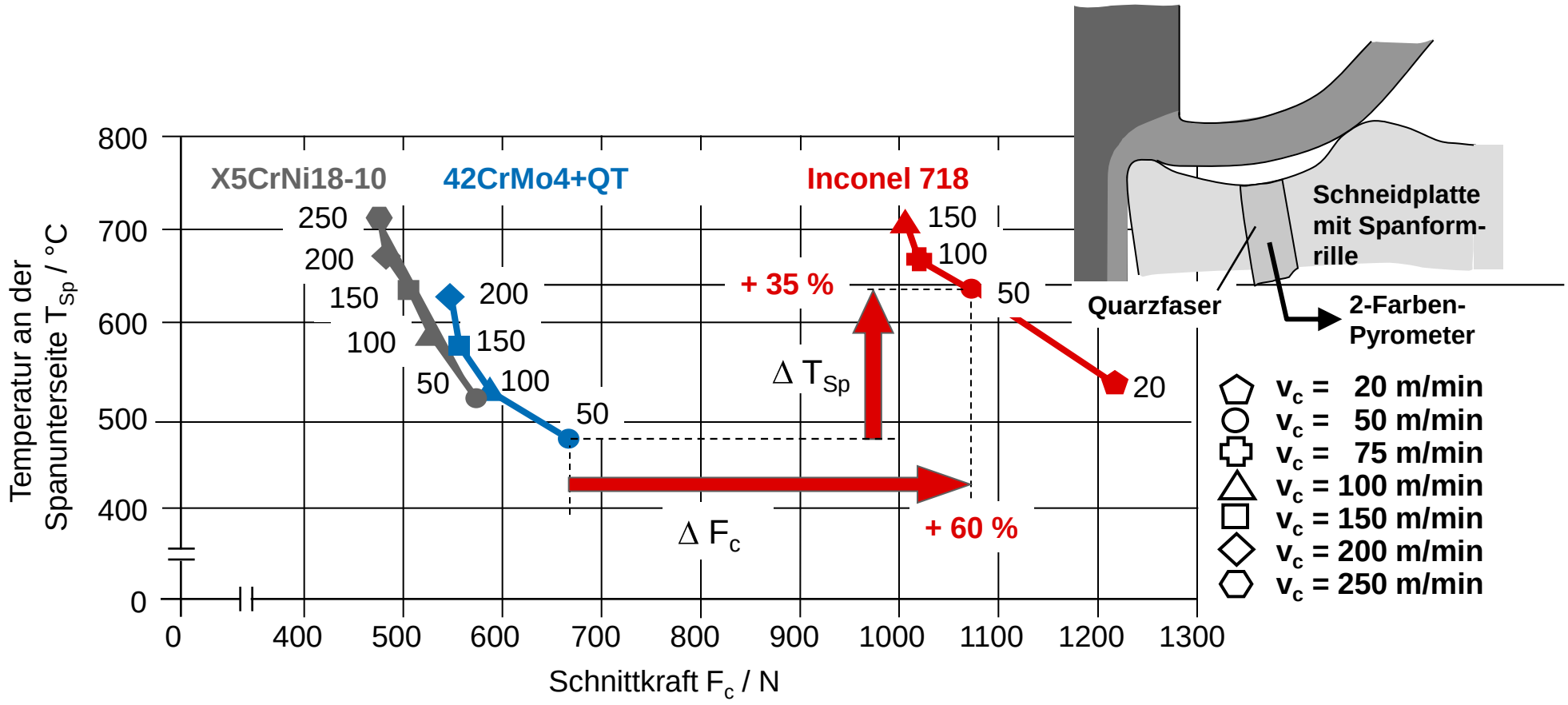
Nickelbasislegierungen besitzen eine
hohe Warmfestigkeit und Zähigkeit und eine geringe Wärmeleitfähigkeit

Hieraus resultieren
- eine hohe mechanische und thermische Belastung der Werkzeugschneide
- eine starke Neigung des Werkstoffes zur Adhäsion mit dem Schneidstoff und zur Aufbauschneidenbildung
- ein starker Abrasionsverschleiß durch Carbide und intermetallische Phasen
- die Bildung ungünstige Spanformen (Band- und Wirrspäne) und
- die Kaltverfestigung der bearbeiteten Werkstückrandzone

Nickelbasislegierungen zählen zu den schwerzerspanbaren Werkstoffen

© WZL/Fraunhofer IPT

Spanunterseitentemperatur beim Trockendrehen



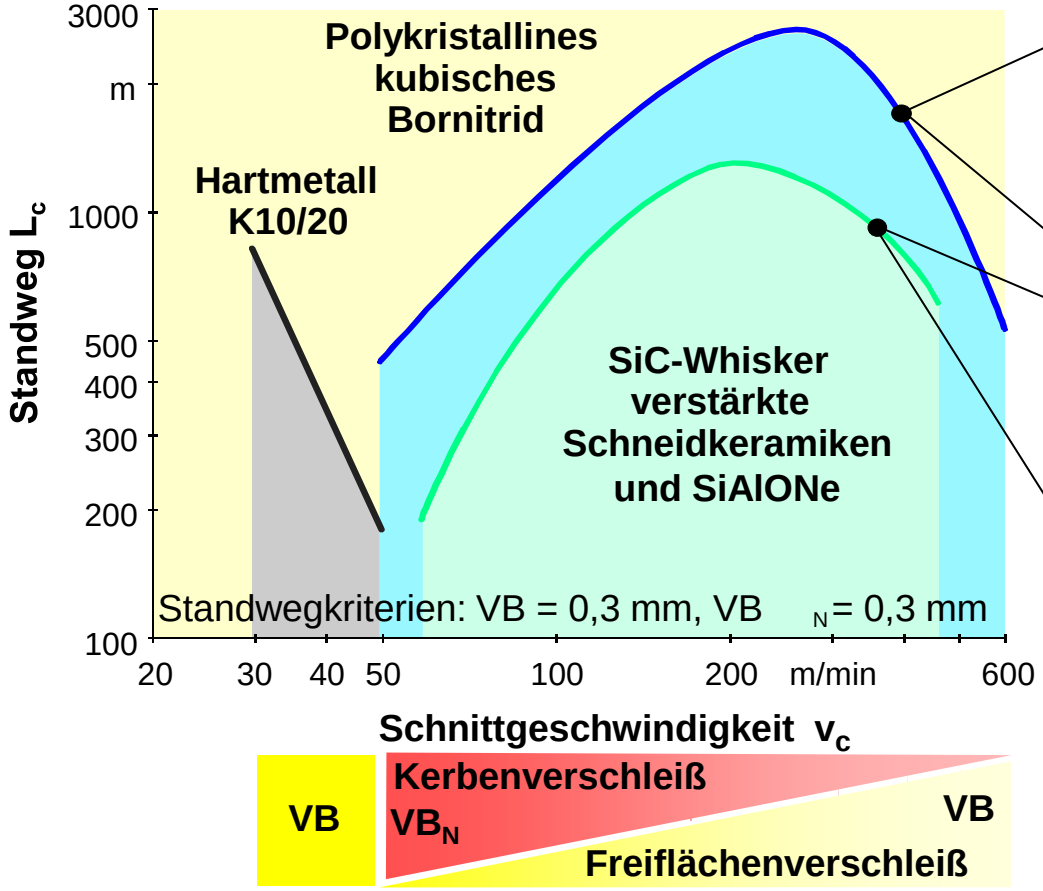
a_p = 2 mm, f = 0,1 mm, t_c = 10 s, Plattenform: CNMG120412, beschichtetes Hartmetall, Trockenschnitt

© WZL/Fraunhofer IPT

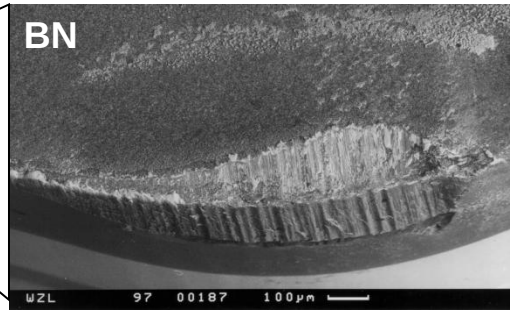
Fraunhofer IPT

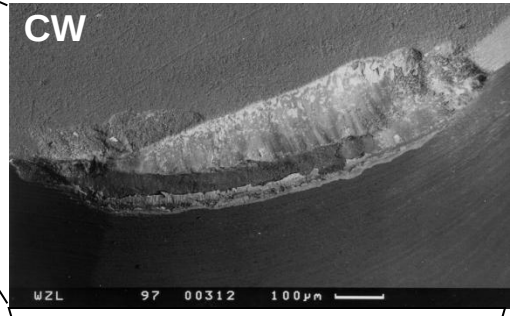
WZL RWTH AACHEN

Standwegbereiche beim Schlichtdrehen von Inconel 718



Standzeitbestimmende Verschleißkriterien





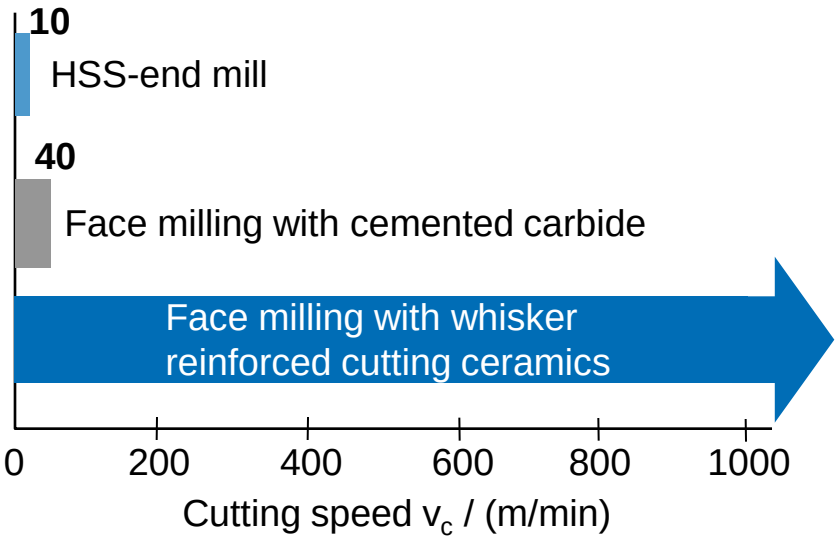
v_c = 400 m/min
f = 0,12 mm
a_p = 0,30 mm
t_c = 144 s
Inconel 718
Naßschnitt

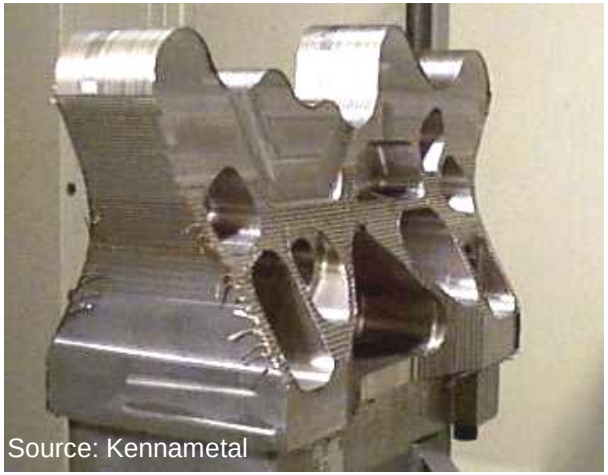
© WZL/Fraunhofer IPT

Fraunhofer IPT

WZL RWTH AACHEN

High-performance milling of Inconel 718 with whisker reinforced cutting ceramics



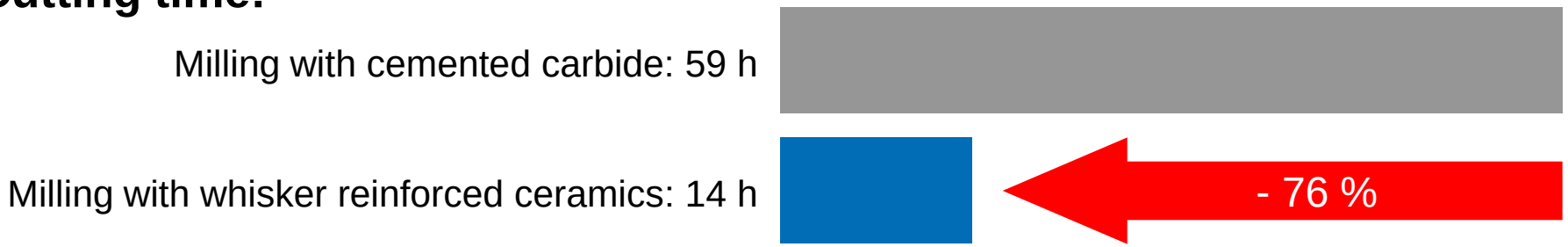


Engine mount made of Inconel 718, 28 HRC



Face mill with cutting inserts made of whisker reinforced cutting ceramics

Cutting time:



Cutting parameter: v_c = 1310 m/min, f_z = 0,076 - 0,10 mm, v_f = 1,8 - 2,0 m/min, dry

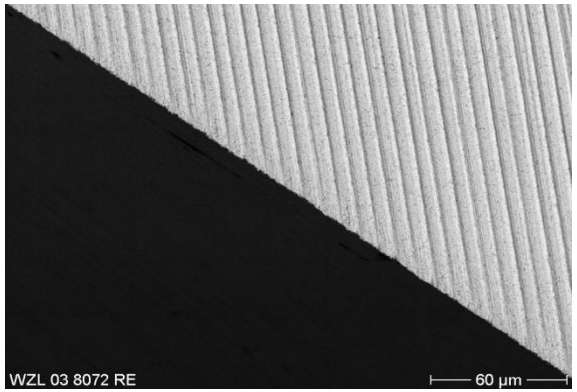
© WZL/Fraunhofer IPT

Fraunhofer IPT

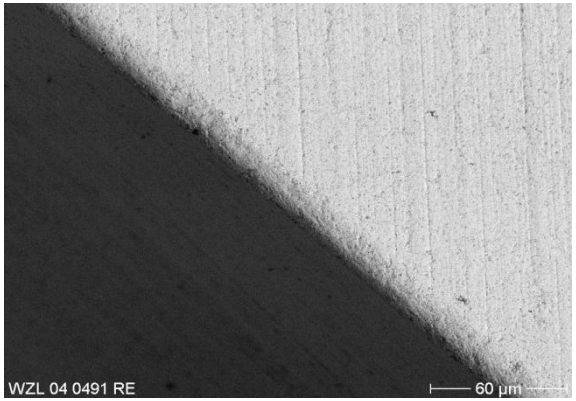
WZL RWTH AACHEN

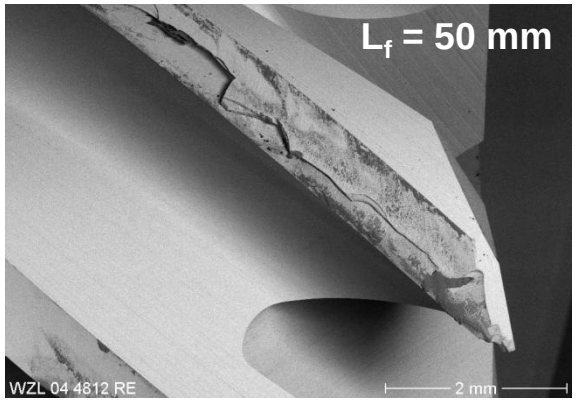
Einfluss einer Schneidkantenverrundung auf den Werkzeugverschleiß beim Schaftfräsen

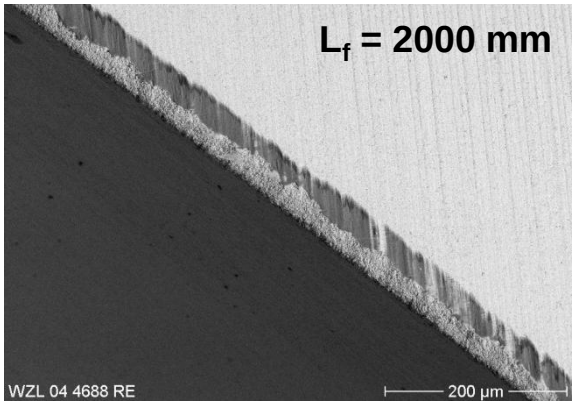
ohne SKV (scharfkantig)

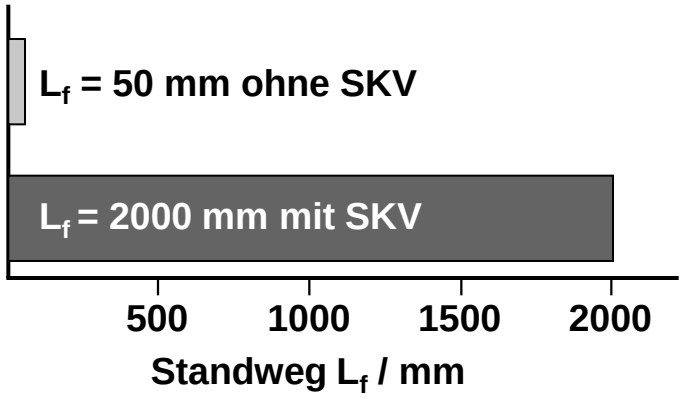


mit SKV (20 µm)









Werkstoff: IN100PM
Verfahren: Schaftfräsen
Schaftfräser: D = 10 mm, Z = 4, L = 105 mm
Auskraglänge: L/D = 7
Schnittbedingungen: v_c = 40 m/min
f_z = 0,035 mm
a_p = 6 mm
a_e = 0,5 mm
Kühlschmierstoff: Emulsion
Schneidkantenverrundung: SKV
SKV-Verfahren: Schleppschleifen

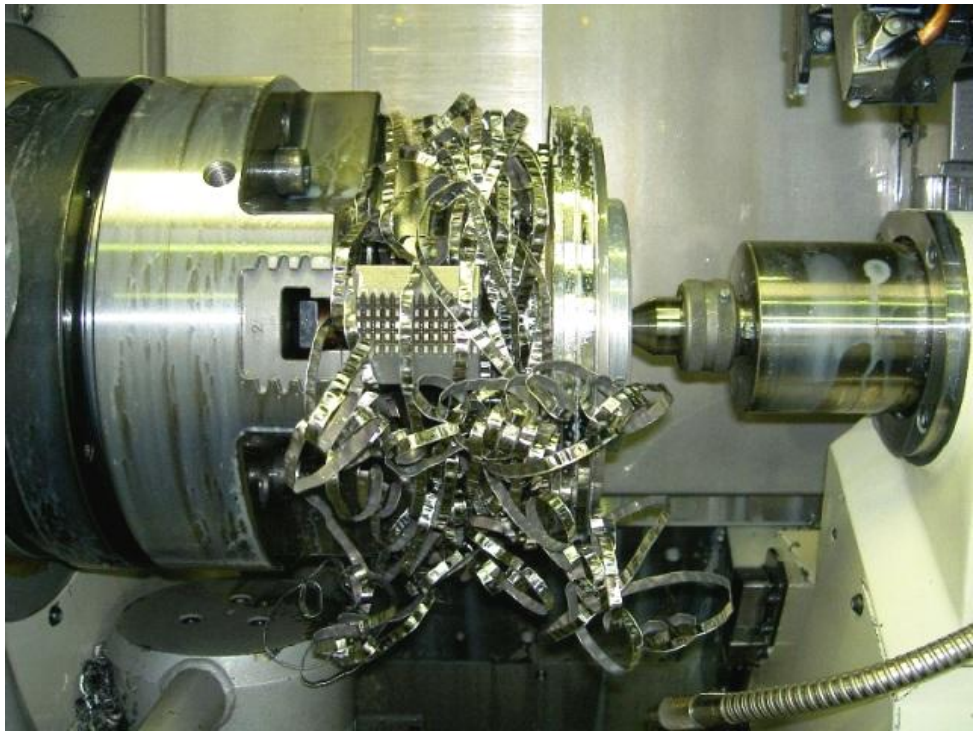
Verfahren: Schleppschleifen

© WZL/Fraunhofer IPT

Fraunhofer IPT

WZL RWTH AACHEN

Stechdrehen von hochwarmfesten Werkstoffen mit konventioneller Überflutungskühlung



Werkstoff:	Inconel 718
Schneidstoff:	CBN
KSS:	Emulsion 10 % (konv. Kühlung)
Schnittgeschw.:	v_c = 250 m/min
Vorschub:	f = 0,1 mm
Nutbreite:	b = 6 mm
Nuttiefe:	t = 5 mm

- Ungünstige Spanformen (Bandspäne)
- Schlechte Kühlschmierbedingungen
- Vornehmlich Hartmetall als Schneidstoff
  - Hohe thermische Werkzeugbelastung
    → niedrige Schnittgeschwindigkeiten (20-40 m/min)
    → lange Bearbeitungszeiten
  - Hoher Werkzeugverschleiß
- Einsatz von CBN-Einstechwerkzeugen ermöglicht drastische Steigerung der Schnittgeschwindigkeit

Aber: Gefahr von Bandspanbildung, Verklemmen von Spänen → WZ-Versagen

Lösung:
Einsatz der Hochdruck-KSS-Zufuhr

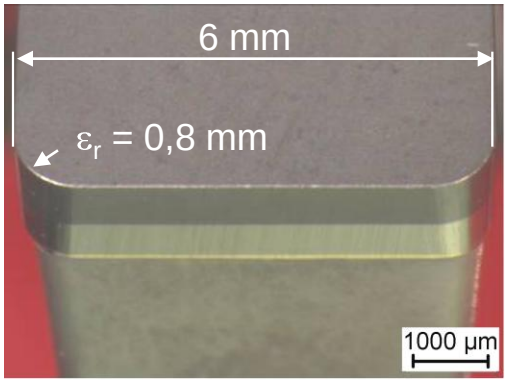
© WZL/Fraunhofer IPT

Fraunhofer IPT

WZL RWTH AACHEN

Definierter Spanbruch und sicherer Spanabtransport aus der Nut durch Hochdruck-KSS-Zufuhr

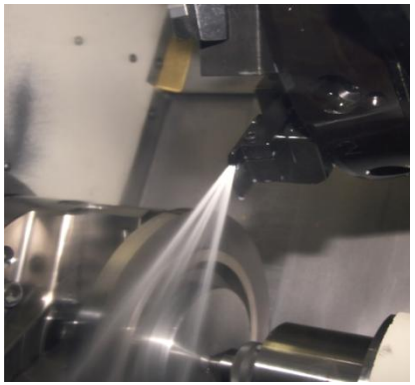
CBN (55%), IB55

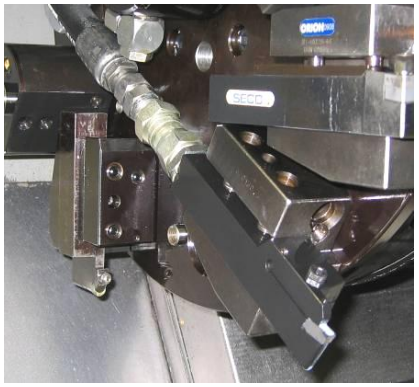


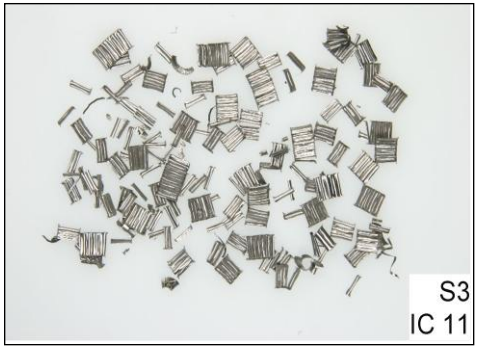
Spanwinkel: 0°
Schneidkantenradius: 20-30 µm

KSS-Zufuhr







KSS-Druck (Volumenstrom)	**70 bar** (18 l/min)	**150 bar** (25 l/min)	**300 bar** (34 l/min)
Werkstoff: Inconel 718 Schnittbedingungen: v_c = 250 m/min f = 0,1 mm Nuttiefe 2 mm Kühlschmierstoff: Emulsion 10 %	 S7 IC 36	 S6 IC 27	 S3 IC 11

© WZL/Fraunhofer IPT

Fraunhofer IPT

WZL RWTH AACHEN

Chemische Zusammensetzung

Elemente	Massenanteile in %		
	Inconel 718 Guss	MAR-M247	
Kohlenstoff C	0,02 bis 0,10	0,13 bis 0,17	
Aluminium Al	0,40 bis 0,80	5,30 bis 5,70	$Ni_3(Al,Ti)$; γ'-Phase
Chrom Cr	17,0 bis 21,0	8,00 bis 8,80	$M_{23}C_6$
Cobalt Co	0 bis 1,00	9,00 bis 11,00	$(Ni,Co)_3(Al,Ti)$; γ'-Phase
Hafnium Hf		1,20 bis 1,60	
Molybdän Mo	2,80 bis 3,30	0,50 bis 0,80	Mo_2C
Tantal Ta		2,80 bis 3,30	Ni_3Ta (η-Phase)
Niob Nb	4,80 bis 5,50		$Ni_3(Nb,Al,Ti)$; γ''-Phase
Wolfram		9,50 bis 10,50	WC
Titan Ti	0,70 bis 1,15	0,90 bis 1,20	$Ni_3(Al,Ti)$; γ'-Phase
Eisen	18,0 bis 20,0		

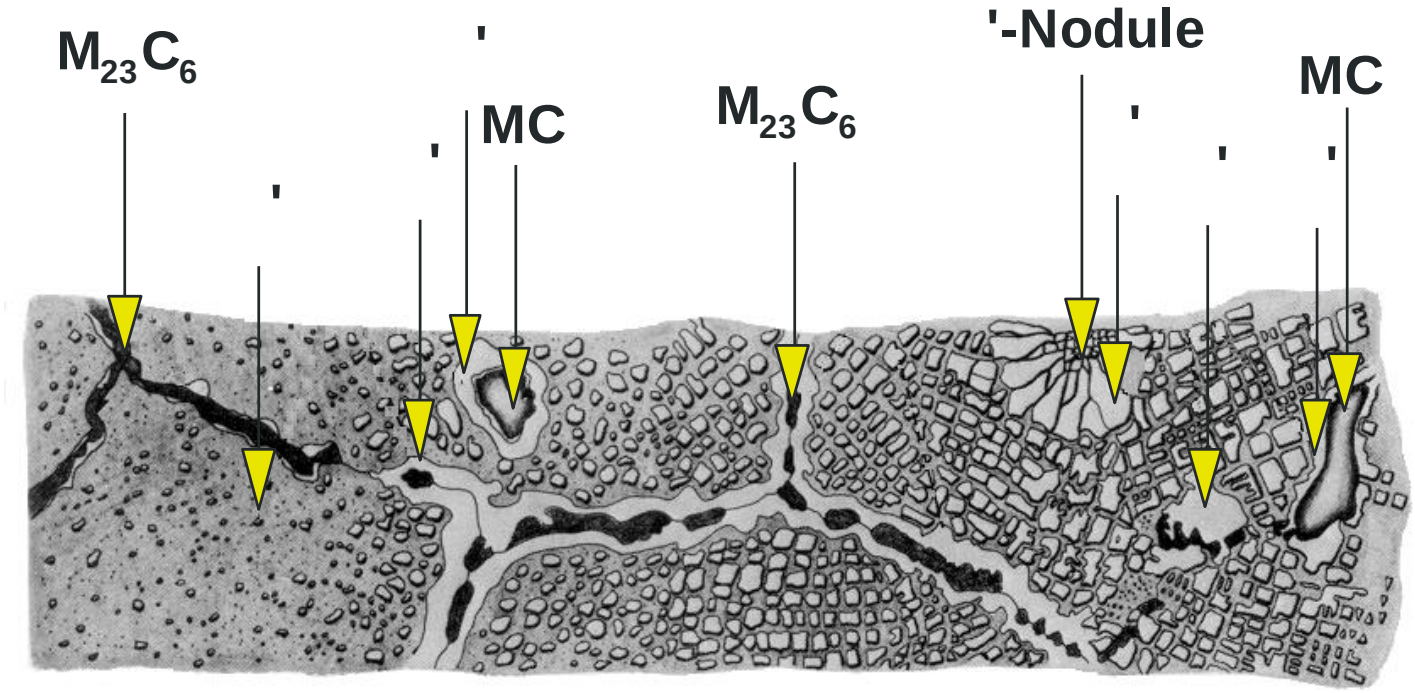
Quelle:

© WZL/Fraunhofer IPT

Fraunhofer IPT

WZL RWTH AACHEN

Gefügestrukturen von Nickelbasislegierungen



'-Phase: Ni_3Al **MC: WC, TiC** **$M_{23}C_6$: $Cr_{23}C_6$**

Quelle: Sims und Hagel

© WZL/Fraunhofer IPT

Fraunhofer IPT

WZL RWTH AACHEN

Bauteile aus Nickelbasisgusslegierungen

Leitkranz aus Inconel 713C



Gehäuseteil aus Inconel 718C



Leitkranz aus MAR-M-247



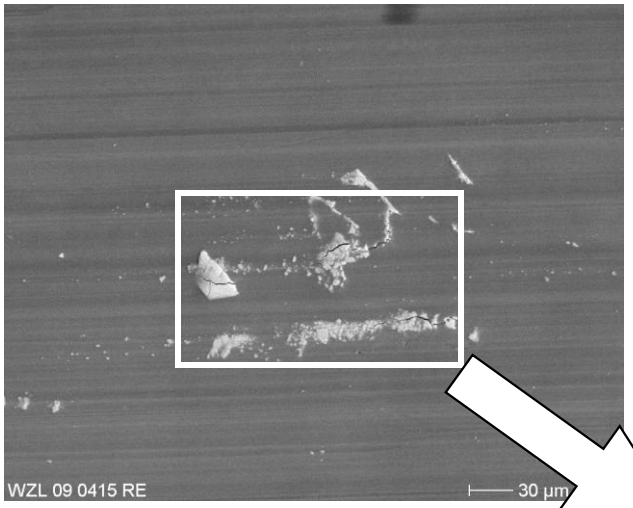
Quelle:

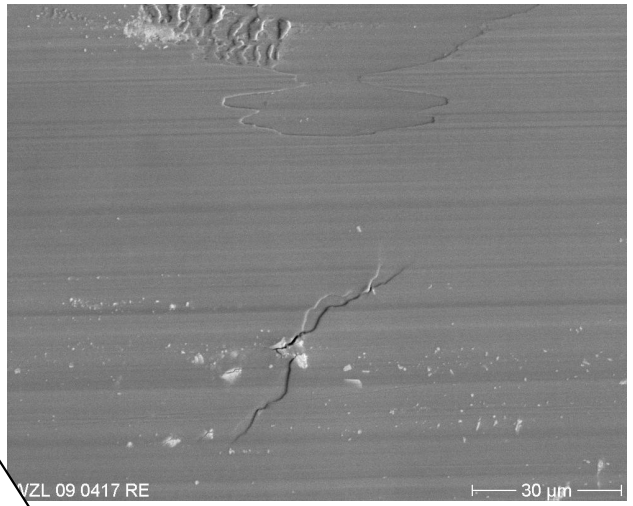
© WZL/Fraunhofer IPT

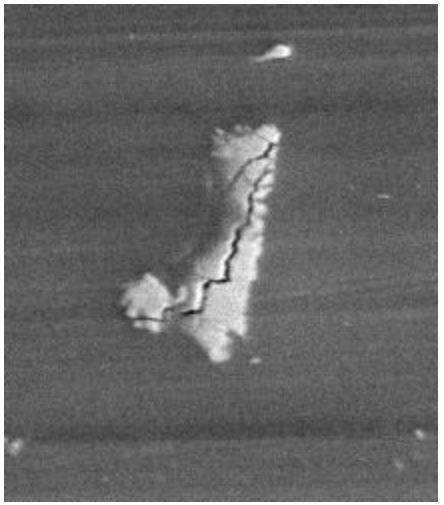
Fraunhofer IPT

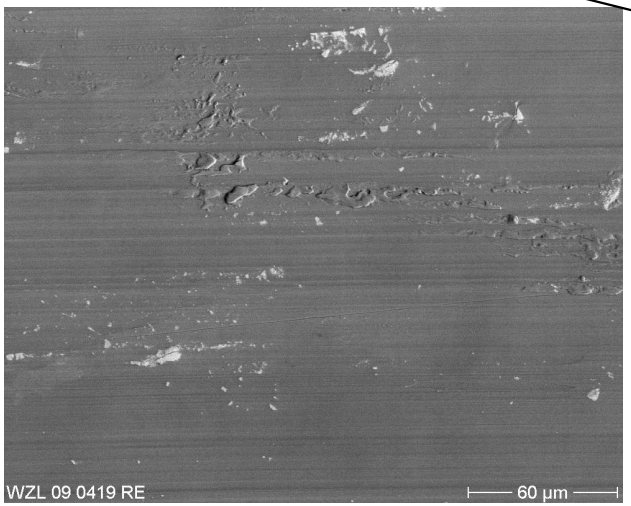
WZL RWTH AACHEN

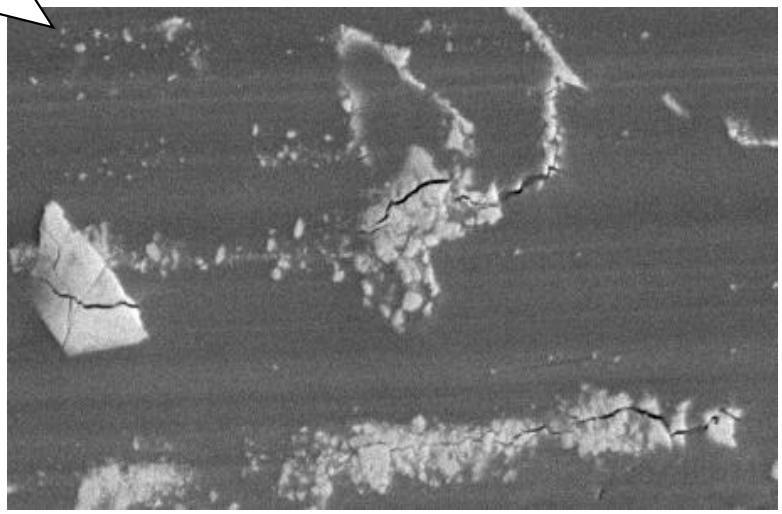
Oberflächenausbildung beim Schlichtdrehen von MAR-M247 mit verschlissener Schneide aus PCBN











Werkstoff: MAR-M247
Schneidstoff: PCBN
Schnittgeschwindigkeit:
v_c = 250 m/min
Vorschub: f = 0,14 mm
Schnitttiefe: a_p = 0,1 mm
Schnittzeit: t_c = 150 s

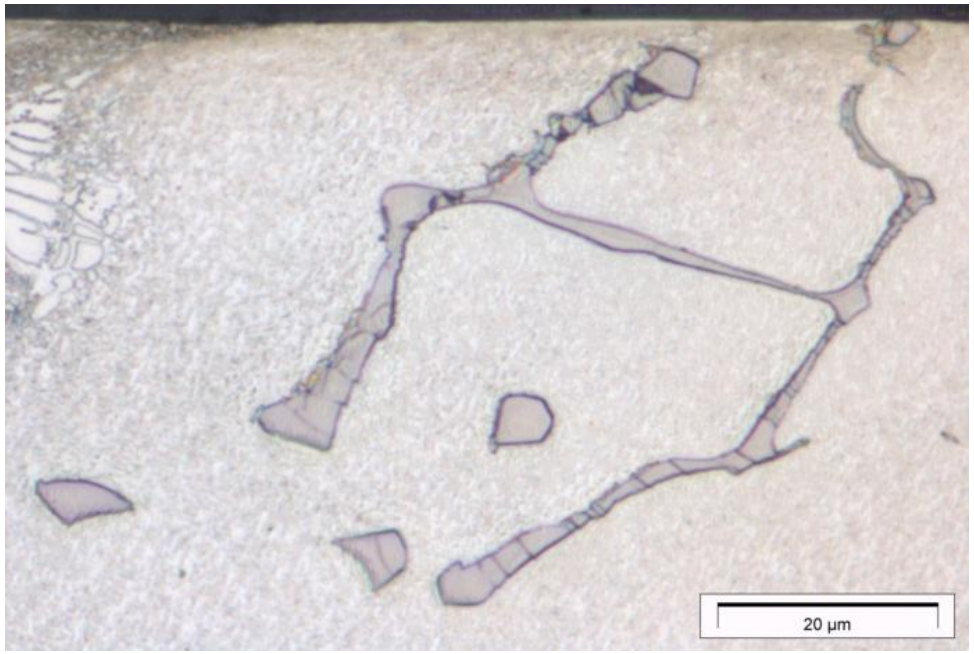
Quelle:

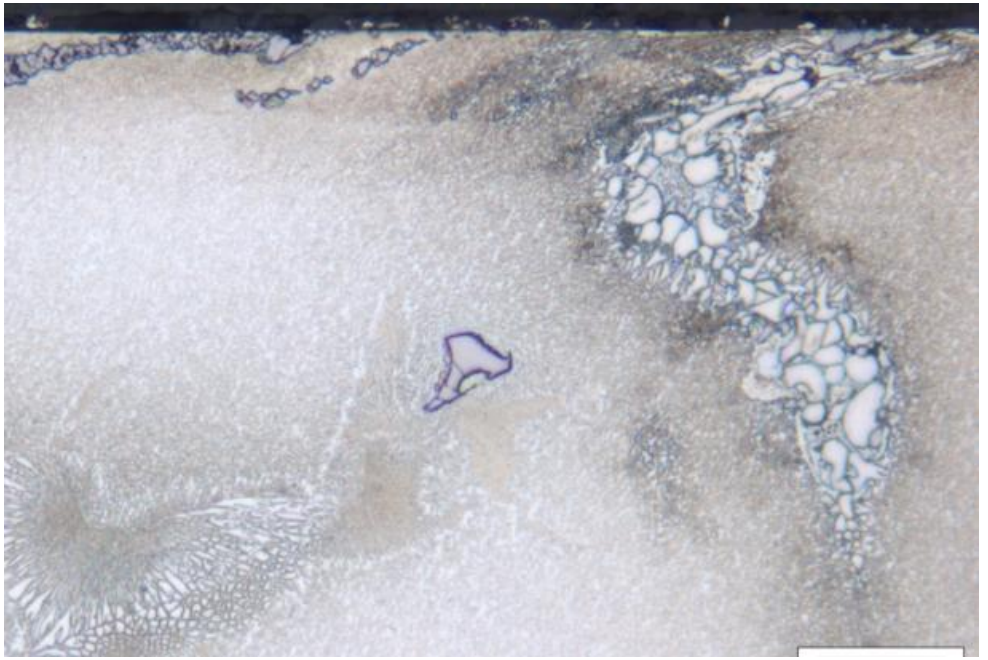
© WZL/Fraunhofer IPT

Fraunhofer IPT

WZL RWTH AACHEN

Randzonenausbildung beim Schlichtdrehen von MAR-M247 mit verschlissener Schneide aus der PCBN-Sorte DCC500





Werkstoff: MAR-M247
Schneidstoff: PCBN
Schnittgeschwindigkeit: v_c = 250 m/min

Vorschub: f = 0,14 mm
Schnitttiefe: a_p = 0,1 mm

Quelle:

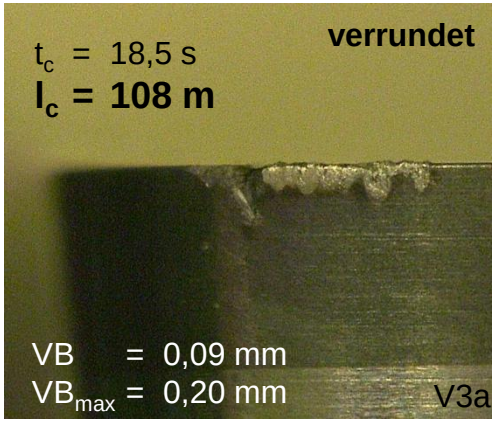
© WZL/Fraunhofer IPT

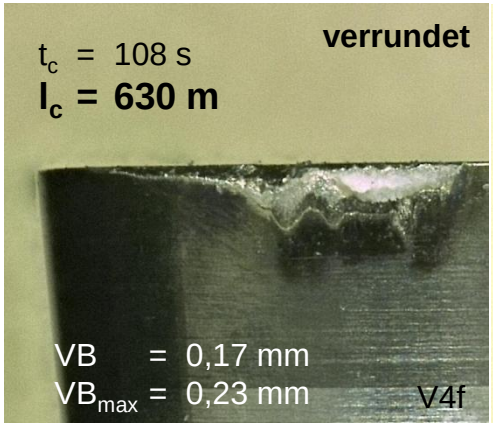
Fraunhofer IPT

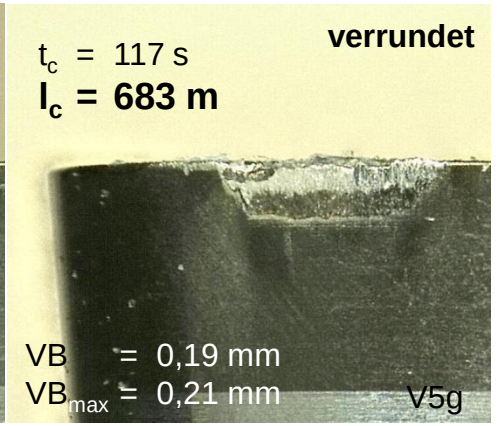
WZL RWTH AACHEN

Verschleißausbildung beim Drehen von Inconel 718 Guss

50 % cBN, TiC-Binder **50 % cBN, TiC-Binder** **65 % cBN, TiCN-Binder**

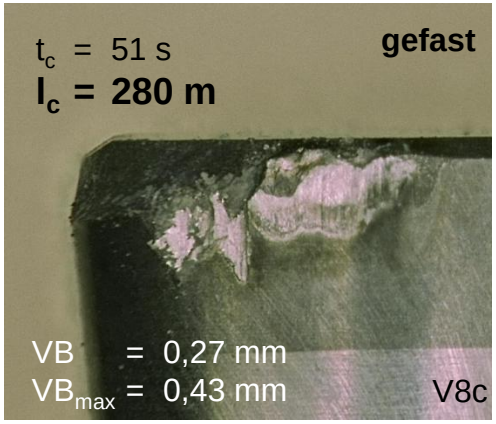


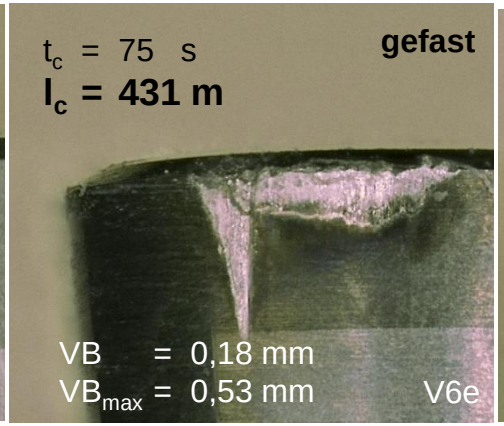


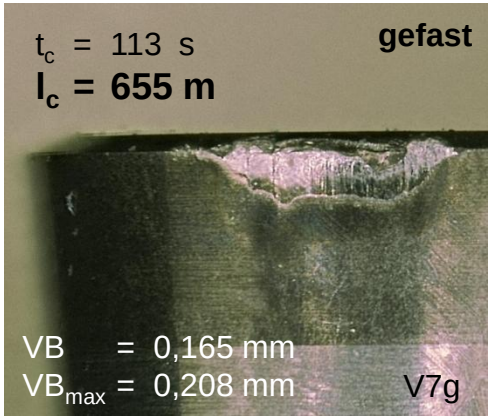


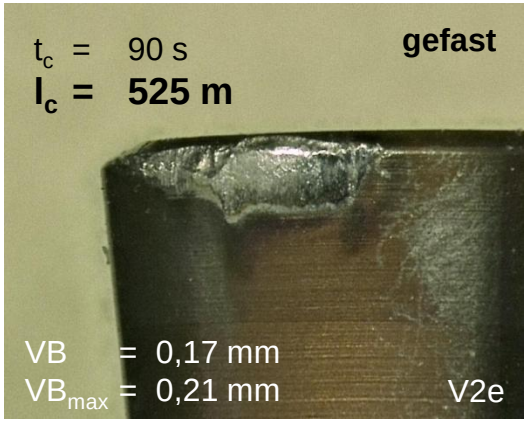
Schnittgeschwindigkeit:
v_c = 350 m/min
Vorschub: f = 0,14 mm
Schnitttiefe: a_p = 0,1 mm

65 % cBN, TiCN, (Ti,Si)N-beschichtet









© WZL/Fraunhofer IPT

Fraunhofer IPT

WZL RWTH AACHEN

Zusammenfassung

- Nickelbasislegierung zählen aufgrund ihrer mechanischen und thermischen Eigenschaften zu den schwerzerspanbaren Werkstoffen.
- Schneidstoffe aus HSS und Hartmetall können nur bei vergleichsweise niedrigen Schnittgeschwindigkeiten eingesetzt werden.
- Leistungsfähige Alternativen sind Schneidstoffe aus Schneidkeramik und CBN, die eine hohe Härte und Verschleißfestigkeit besitzen.
- Im Vergleich zu Hartmetall ermöglichen sie die Anwendung deutlich höherer Schnittgeschwindigkeiten (v_c = 100 - 500 m/min) und damit eine drastische Reduzierung der Bearbeitungszeiten und –kosten.
- Messerkopfstirnfräser mit Wendeschneidplatten aus Schneidkeramiken auf der Basis von Siliziumnitrid und whiskerverstärktem Aluminiumoxid eröffnen bei Fräsen von Inconel 718 eine neue Dimension.
- Der Einsatz dieser Werkzeuge muss unter Schnittbedingungen erfolgen, die sehr sorgfältig auf die spezifischen Eigenschaften dieser Schneidstoffe und Werkstoffe abgestimmt sind.
- Eine Hochdruckkühlung kann zu einer deutlichen Steigerung der Werkzeugstandzeit und zu einer Verbesserung von Spanbildung und Spanabfuhr beitragen. Eine Alternative kann auch Öl anstelle von Emulsion sein.
- Unter optimierten Bedingungen hinsichtlich Schnittbedingungen, Schnittstrategie und Kühlschmierstoffkonzept eingesetzt, bieten diese Hochleistungswerkzeuge ein hohes Potential zur Reduzierung von Fertigungszeiten und Fertigungskosten bei der Bearbeitung dieser schwerzerspanbaren Werkstoffe.

Quelle:

Agenda

1 Spanende Bearbeitung von Titanlegierungen

2 Spanende Bearbeitung von Nickelbasislegierungen

3 Zusammenfassung

© WZL/Fraunhofer IPT

Fraunhofer IPT

WZL RWTH AACHEN

Zusammenfassung

- Titan- und Nickelbasislegierung zählen zu den schwerzerspanbaren Werkstoffen.
- Die Steigerung der Produktivität bei ihrer spanenden Bearbeitung erfordert innovative Lösungsansätze in Form von
  - Hochleistungsschneidstoffen (Diamant, Schneidkeramik, CBN, …)
  - angepassten Werkzeugkonzepten (Makro-, Mikrogeometrie,…)
  - innovativen Bearbeitungsverfahren (Tauchfräsen, Scheibenfräsen, trochoides Fräsen, Zirkularfräsen,…)
  - innovativen Kühlschmierstoffkonzepten (Hochdruckkühlung, Kryo-Kühlung,…)
  - ….
  - …
- „Neue“ Werkstoffe mit verbesserten Hochtemperatureigenschaften oder höheren Festigkeiten stellen die spanende Fertigungstechnik immer wieder vor neue Herausforderungen.
- Wir freuen uns darauf, mit Ihnen diese Herausforderungen anzunehmen.

Quelle:

© WZL/Fraunhofer IPT

Fraunhofer IPT

WZL RWTH AACHEN

Ansprechpartner

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Dr. h. c. Dr. h. c. F. Klocke
f.klocke@wzl.rwth-aachen.de
+49/241/80-27401

Dipl.-Ing. D. Lung
d.lung@wzl.rwth-aachen.de
+49/241/80-27401

Dr.-Ing. K. Gerschwiler
k.gerschwiler@wzl.rwth-aachen.de
+49/241/80-27363

Anschrift:

Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre (WZL)
der RWTH Aachen
Lehrstuhl für Technologie der Fertigungsverfahren
Steinbachstraße 19
52074 Aachen
Fax: +49/241/80-22293
www.wzl.rwth-aachen.de

© WZL/Fraunhofer IPT