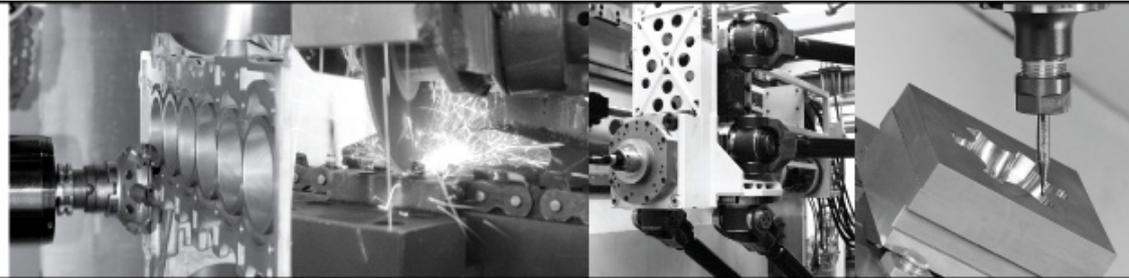


Ergebnisse der Drehversuche (Titanlegierung + Aluminium)



Ing. Christian Baumann, BSc
Dipl.-Ing. Gerhard Wiesinger

IFT - Institut für Fertigungstechnik und Hochleistungslasertechnik
Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Friedrich Bleicher

8. Projekt-Meeting, am 21.02.2017



1 ► Werkstoffe

2 ECAP

3 Zerspanung

4 Versuchsrahmen

5 Resultate

6 Zusammenfassung



Titanlegierung

Ti-6Al-4V

- hohe Festigkeit
- geringes spezifisches Gewicht
- gute Korrosionsbeständigkeit

Anwendungen

- Hochtechnologiebereich
 - Luftfahrt
 - Raumfahrt
 - Rüstungsindustrie
 - ...



Ti-6Al-4V Halbzeug

[Quelle: <http://3.imimg.com/data3/DP/HT/MY-2729905/titanium-alloy-ti6al4v-250x250.jpg>]



Aluminium

EN AW-6082

- gute Wärmeleitfähigkeit
- gute Korrosionsbeständigkeit
- sehr gute Schweißeignung

Anwendungen

- Schweißkonstruktionen
- Schiffsbau
- Kühltechnik
- ...



EN AW-6082 Halbzeug
[Quelle: <https://www.marks-gmbh.de>]



1

Werkstoffe

2



ECAP

3

Zerspanung

4

Versuchsrahmen

5

Resultate

6

Zusammenfassung



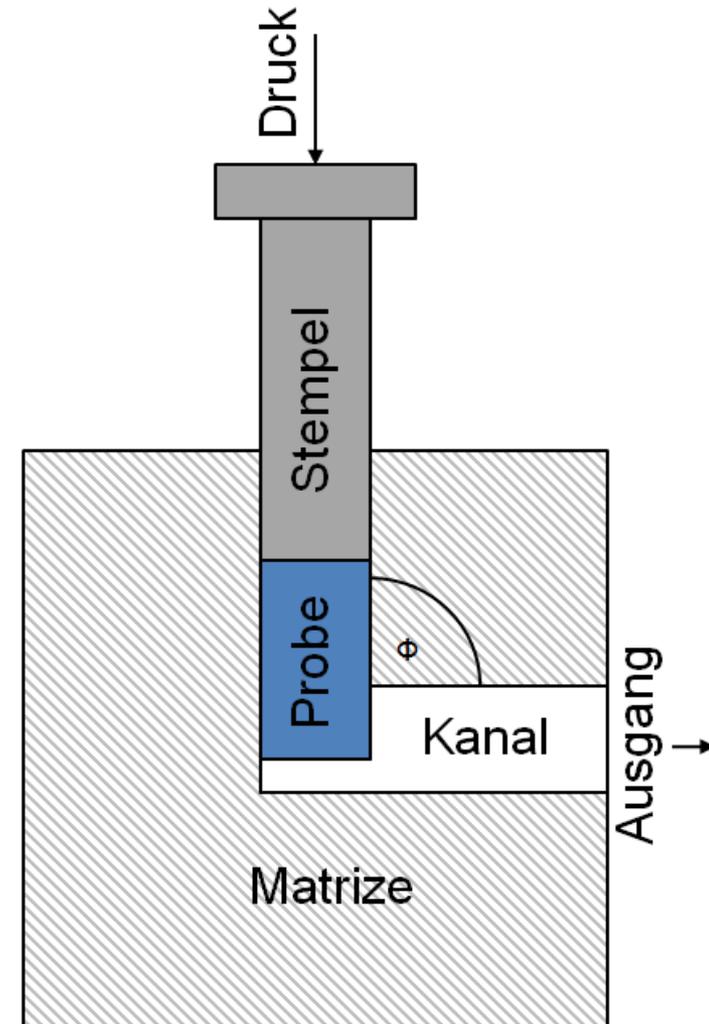
Equal Channel Angular Pressing

Hochgradig plastische Umformung

- Kornfeinung
- Festigkeitssteigerung
- Sinkende Duktilität

Prozessparameter

- Umlenkwinkel
- Prozesstemperatur
- Prozessroute

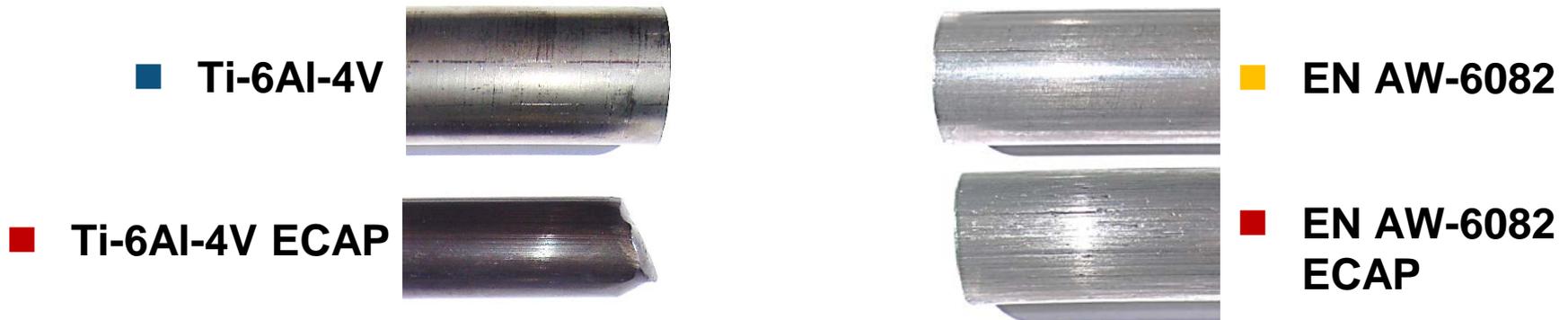


ECAP-Prinzipskizze



Auswirkungen des ECAP Prozesses auf die mechanischen Eigenschaften der Titanlegierung und Aluminium

	Bruchdehnung [%]	0,2%-Dehngrenze [N/mm ²]	Zugfestigkeit [N/mm ²]
Ti-6Al-4V ⁽⁴⁾	10	1030	1150
Ti-6Al-4V ECAP ⁽⁵⁾	11	1160	1200
rel. Änderung	+10,0%	+12,6%	+4,3%
EN AW-6082 ⁽⁶⁾	22	190	298
EN AW-6082 ECAP ⁽⁶⁾	20	365	384
rel. Änderung	-9,1%	+92,1%	+28,9%



(4) W. Weißbach, *Werkstoffkunde - Strukturen, Eigenschaften, Prüfung*, Wiesbaden: Vieweg, 2007

(5) I. Semenova, G. Raab, L. Saitova und R. Valiev, „The effect of equal-channel angular pressing on the structure and mechanical behaviour of Ti-6Al-4V alloy,“ *Materials Science and Engineering A*, pp. 805-808, 25 August 2003

(6) P. Lackova, M. Bursak, T. Kvackaj und M. Halama, *Mechanical and corrosion properties of aluminium alloy EN AW 6082 after severe plastic deformation (SPD)*, 2013



1

Werkstoffe

2

ECAP

3

▶ Zerspanung

4

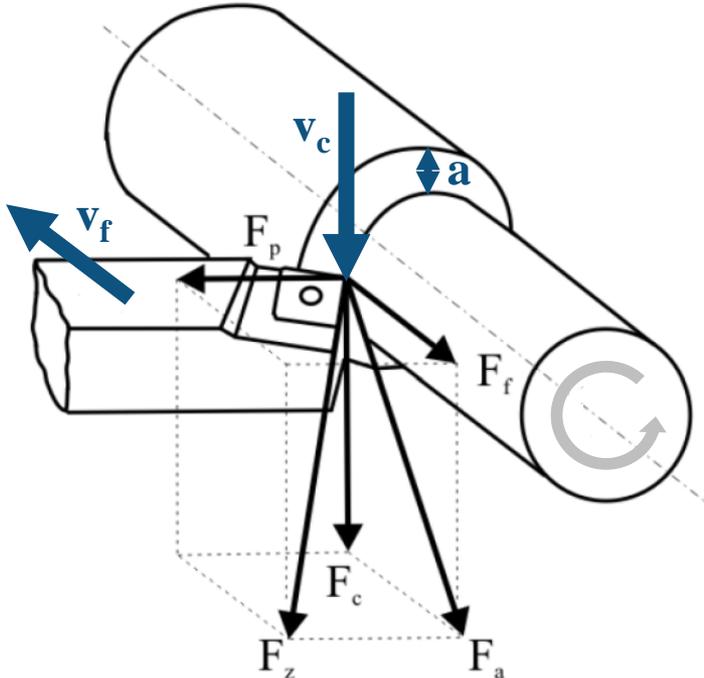
Versuchsrahmen

5

Resultate

6

Zusammenfassung



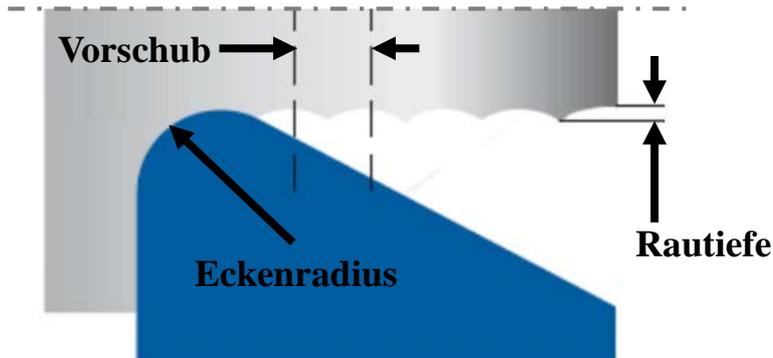
Quelle: Pantke, Klaus: Entwicklung und Einsatz eines temperatursensorischen Beschichtungssystems ..., 2011: TU Dortmund

Schnittparameter:

- v_c : Schnittgeschwindigkeit
- v_f : Vorschubgeschwindigkeit
- a : Schnitttiefe

Zerspankräfte

- F_c : Schnittkraft
- F_f : Vorschubkraft
- F_p : Passivkraft
- **Summe: Zerspankraft F_z**



Quelle: <http://www.beckerdiamant.de>

Oberflächengüte

- Rautiefe beim Längsdrehen theoretisch Funktion von Vorschub (pro Umdrehung) und Eckenradius



1

Werkstoffe

2

ECAP

3

Zerspanung

4

▶ Versuchsrahmen

5

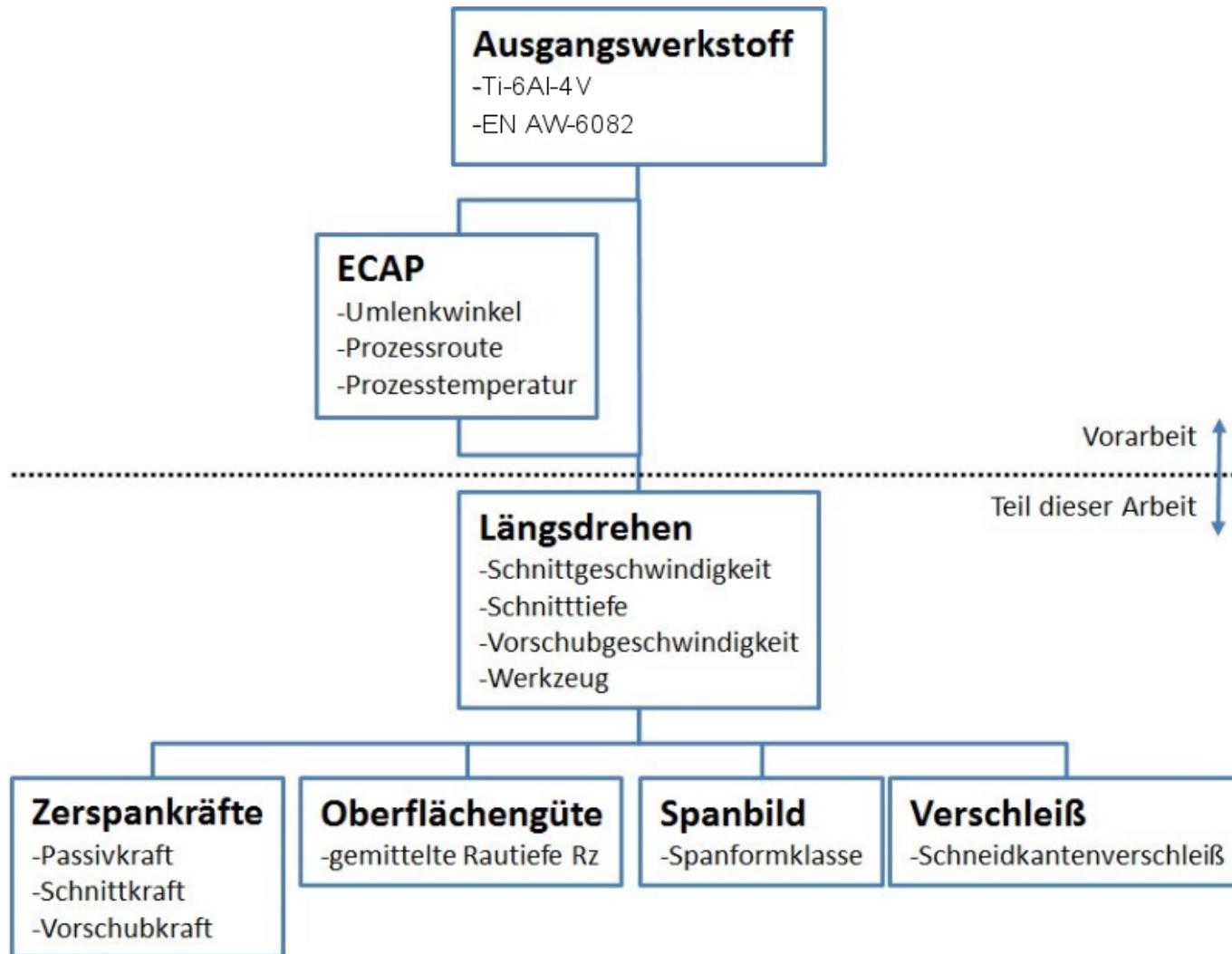
Resultate

6

Zusammenfassung



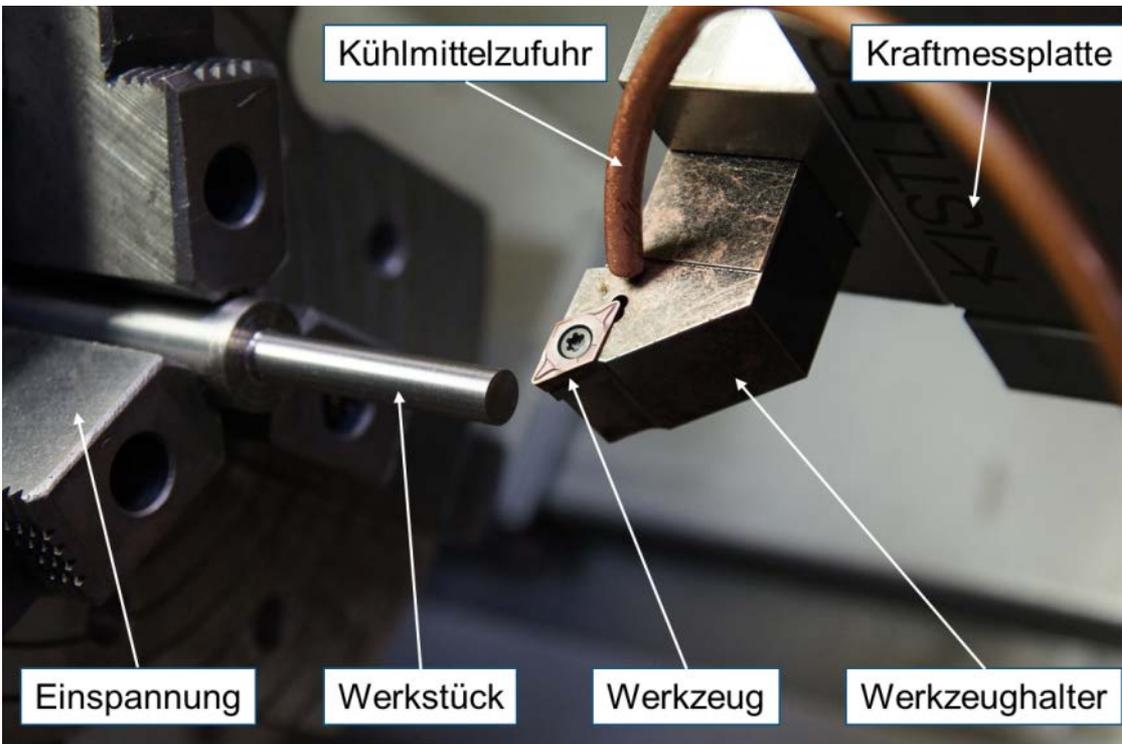
Aufgabe: Analyse der Zerspanbarkeit von Titanlegierung und Aluminium





CNC Drehmaschine Heid FS 300

- Maximaldrehzahl: 4000 U/min
- Antriebsleistung: 53 kW
- Längsweg: 995 mm
- Planweg: 300 mm



Kraftmesseinheit Kistler 9129 AA

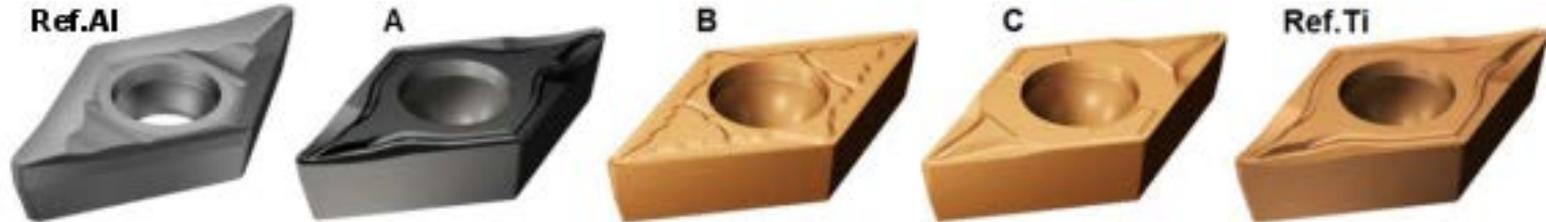
- Abtastrate: 1/25000 s

Kühlschmierstoff

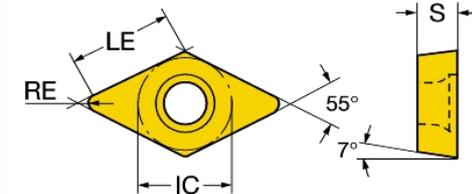
- Astro-Cut A von Monroe Fluid Technology
- Mineralölbasis
- 4% Lösung



Werkzeuge



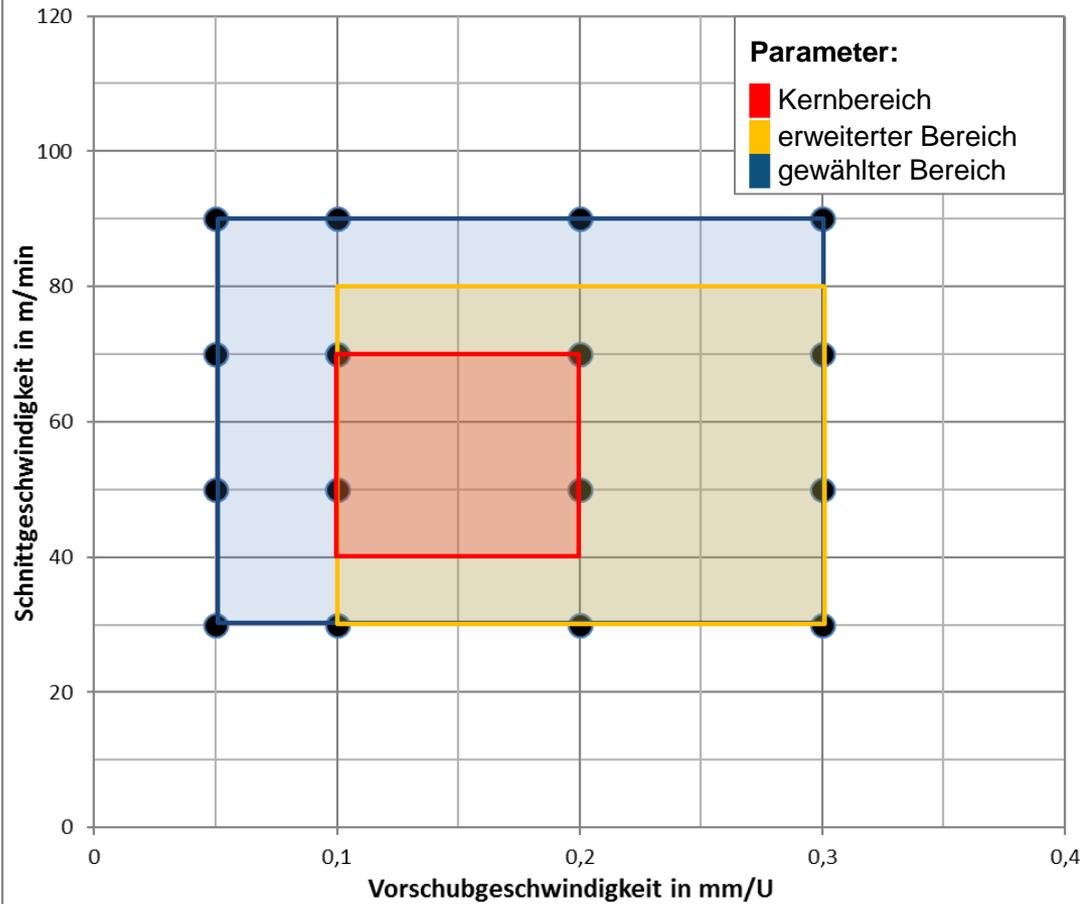
Abmessung (Auslieferungszustand)	Kürzel	Einheit	Wendeschneidplatte nach DIN ISO 1832:2014-01				
			DCGX 11 T3 08-AL H10	DCGT 11 T3 08-UM 1105	DCMT 11 T3 08-XM GC15	DCMT 11 T3 08-XF GC15	DCMT 11 T3 08-UM 1115
Schneidkantenlänge	L	mm	10,828				
Schneidkantenhöhe	S		3,969				
Eingeschriebener Kreis	IC		9,525				
Eckenradius	RE		0,794				
Befestigungsloch- durchmesser	D1		4,4				
Normfreiwinkel	α		7				
Keilwinkel	β	Grad	60	65	65	80	65
Eckenwinkel	ϵ		55				
Schneidkantenradius (gemessen)	-	μm	9,57	6,23	33,62	28,33	40,21
Beschichtung	-	-	keine	PVD	PVD	PVD	PVD
Abkürzung	-	-	Ref.Al	A	B	C	Ref.Ti



Werkzeugeigenschaften [Quelle: <http://www.sandvik.coromant.com/en-us>]



Zerspanungsparameter Ti-6Al-4V



Zerspanungsparameter Titanlegierung

gewählter Bereich:

jede Kombination aus Schnitt- und Vorschubgeschwindigkeit wird mit 2 unterschiedlichen Schnitttiefen kombiniert:

0,5 mm
1 mm

Werkzeug:

DCMT 11 T3 08-UM 1115

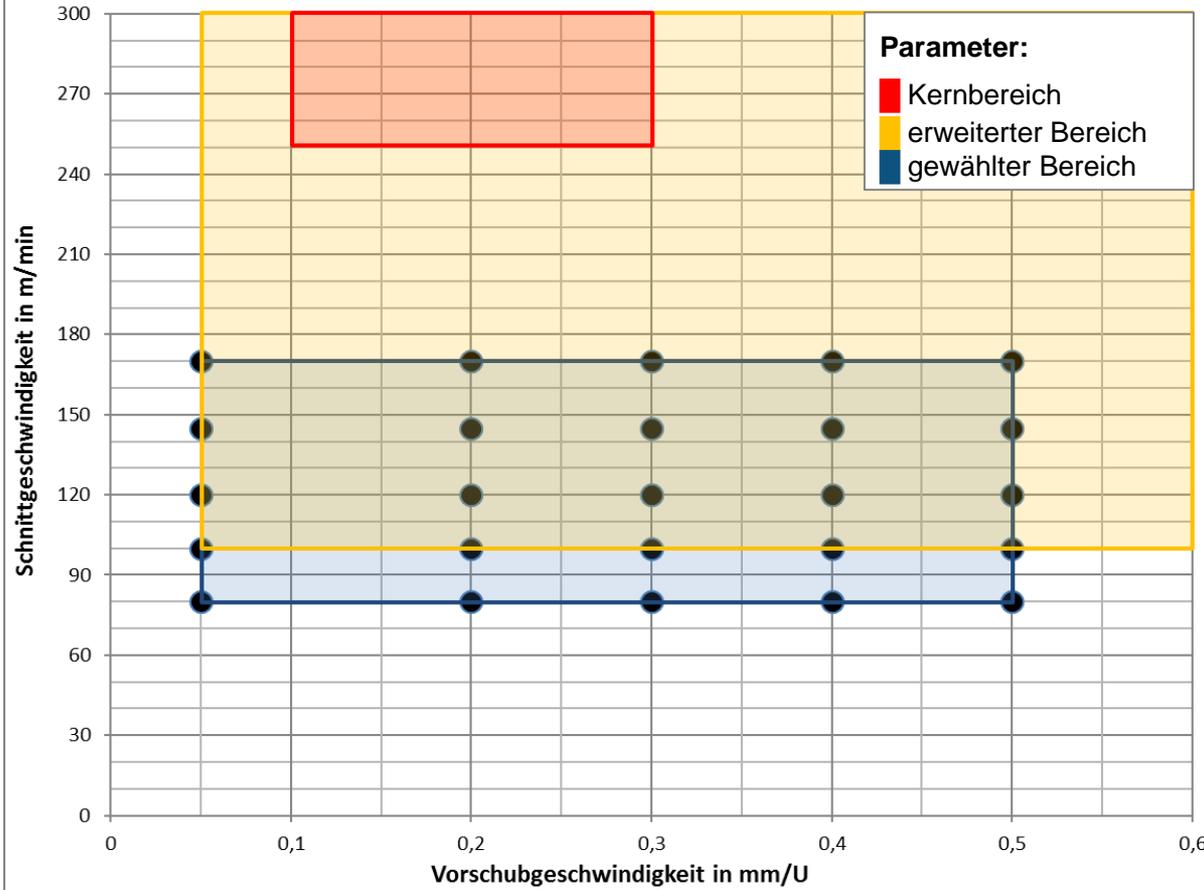
Ref.Ti



in Summe je 32 Versuche



Zerspanungsparameter EN AW-6082



Zerspanungsparameter Aluminium

gewählter Bereich:

jede Kombination aus Schnitt- und Vorschubgeschwindigkeit wird mit 4 unterschiedlichen Schnitttiefen kombiniert:

0,5 mm

1 mm

1,5 mm

2 mm

Werkzeug:

DCGX 11 T3 08-AL H10



in Summe **je 100 Versuche**



1

Werkstoffe

2

ECAP

3

Zerspanung

4

Versuchsrahmen

5

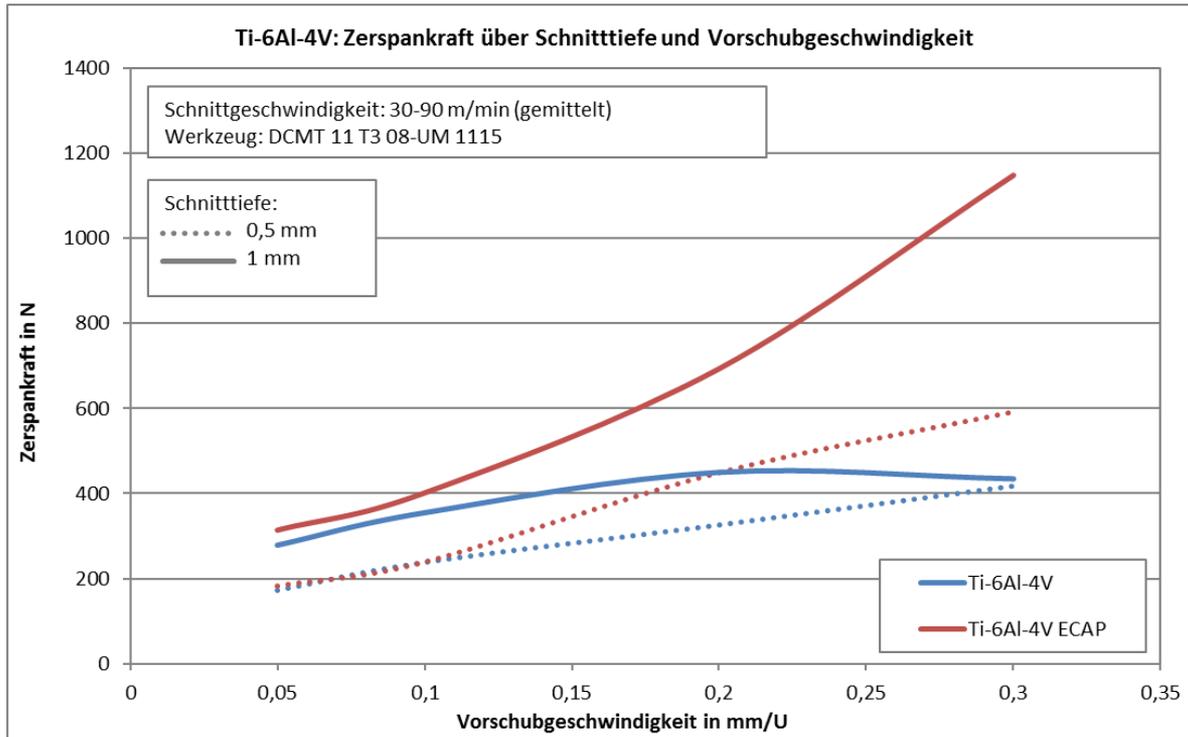


Resultate

6

Zusammenfassung

Titanlegierung: Zerspankraft



Zerspankraft
(ab 0,2 mm/U Werkzeugbruch)

für Ti-6Al-4V ECAP bei jeder Kombination höher als bei der unbehandelten Titanlegierung

Durchschnitt:

Ti-6Al-4V: 334 N

Ti-6Al-4V ECAP: 502 N



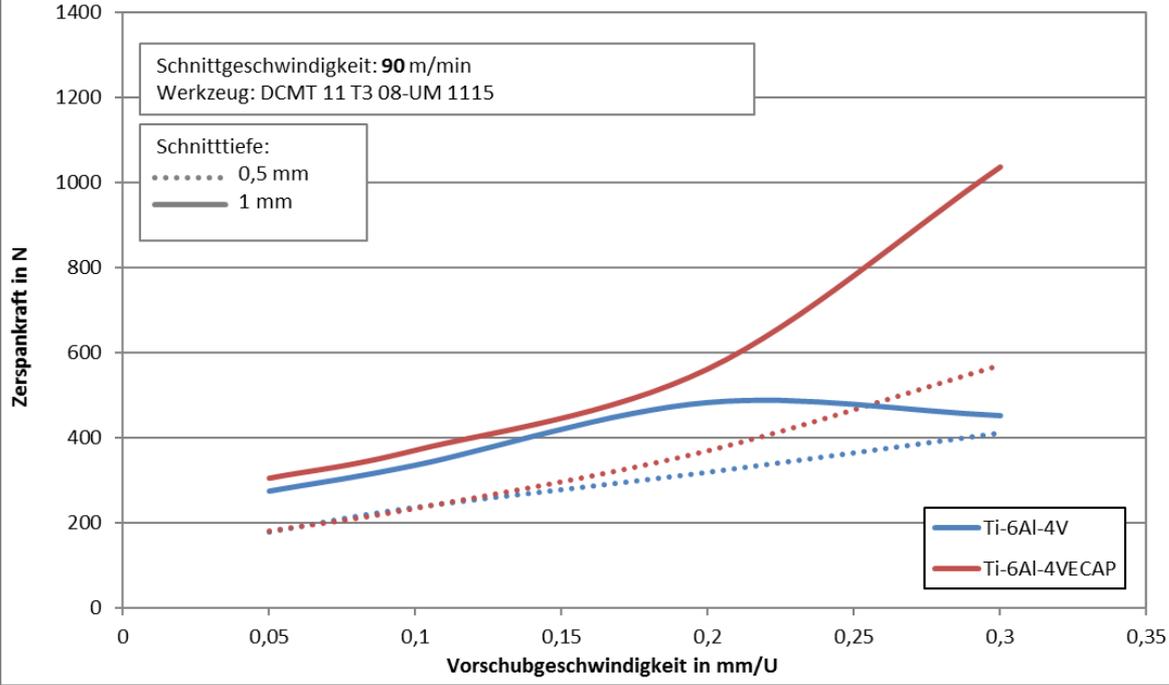
Aufgrund des Werkzeugbruchs nicht plausibel

		ZERPANKRAFT	PASSIVKRAFT	SCHNITTKRAFT	VORSCHUBKRAFT
Schnittgeschwindigkeit	m/min	30-90 (gemittelt)			
Schnitttiefe	mm	0,5 / 1 (gemittelt)			
Vorschubgeschwindigkeit	mm/U	0,05-0,2 (gemittelt)			
Ti-6Al-4V	N	334	150	186	160
Ti-6Al-4V ECAP	N	502	166	195	202
rel. Änderung durch ECAP		50,3%	10,9%	4,8%	25,7%

Titanlegierung: Zerspankraft



Ti-6Al-4V: Zerspankraft über Schnitttiefe und Vorschubgeschwindigkeit



Zerspankraft (für 90 m/min)

Bei einer Schnitttiefe von 1mm ist bis 0,2 mm/U ein paralleler Verlauf von Ti-6Al-4V ECAP zu beobachten.

Bei der Schnitttiefe von 0,5 mm ist erst ab 0,2 mm/U ein Unterschied zu bemerken.

Durchschnitt:

Ti-6Al-4V: 334 N

Ti-6Al-4V ECAP: 502 N

durchschnittl. Änderung:
+18,7% bei $a_p=0,5$ mm

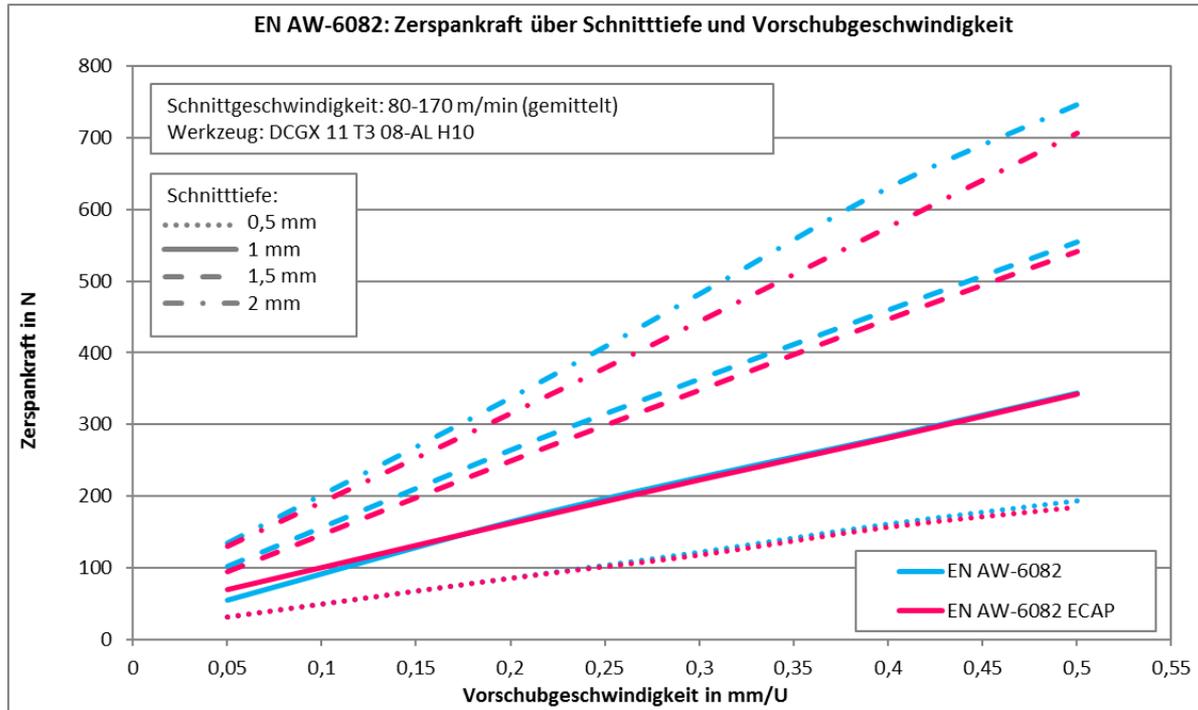


Plausibel wären durchschnittl.
ca. 10 %

ZERPANKRAFT

Schnittgeschwindigkeit	m/min	90			
Schnitttiefe	mm	0,5			
Vorschubgeschwindigkeit	mm/U	0,05	0,1	0,2	0,3
Ti-6Al-4V	N	178	236	319	411
Ti-6Al-4V ECAP	N	181	235	370	572
rel. Änderung durch ECAP		2,0%	-0,6%	16,1%	39,1%

Aluminium: Zerspankraft



Zerspankraft

Der ECAP-Werkstoff liegt bei jeder Kombination in den höheren Vorschubgeschwindigkeiten unterhalb des unbehandelten Werkstoffes.

durchschnittl. Änderung:

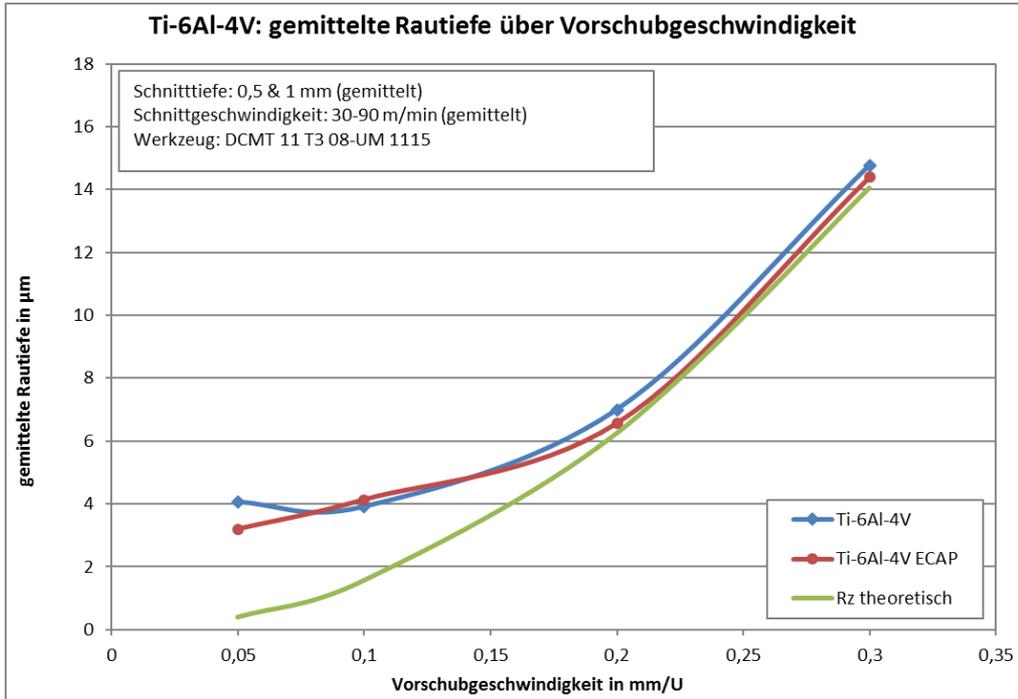
-4,1% bei ECAP-EN AW 6082
(trotz +29% Zugfestigkeit)

Durchschnitt:

EN AW-6082: 287 N
EN AW-6082ECAP: 275 N

		ZERPANKRAFT	PASSIVKRAFT	SCHNITTKRAFT	VORSCHUBKRAFT
Schnittgeschwindigkeit	m/min	80-170 (gemittelt)			
Schnitttiefe	mm	0,5-2 (gemittelt)			
Vorschubgeschwindigkeit	mm/U	0,05-0,5 (gemittelt)			
EN AW-6082	N	287	24	271	85
EN AW-6082 ECAP	N	275	21	263	74
rel. Änderung durch ECAP		-4,1%	-13,1%	-3,2%	-12,9%

Titanlegierung: gemittelte Rautiefe



Die **gemittelte Rautiefe R_z** für ECAP-Titanlegierung ist fast bei jeder Schnittgeschwindigkeit niedriger!

Durchschnitt:

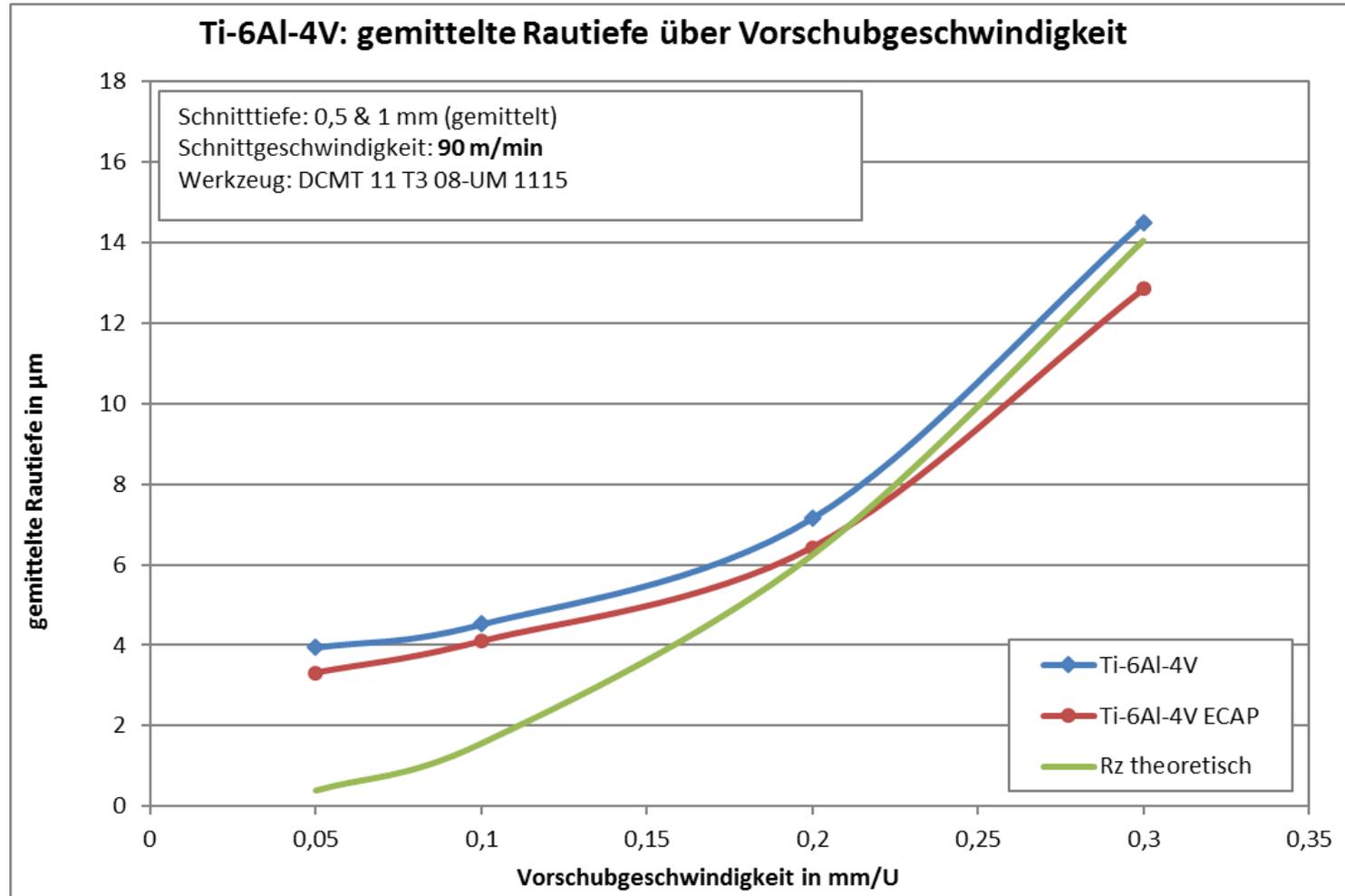
Ti-6Al-4V: 7,4 µm

Ti-6Al-4V ECAP: 7,1 µm

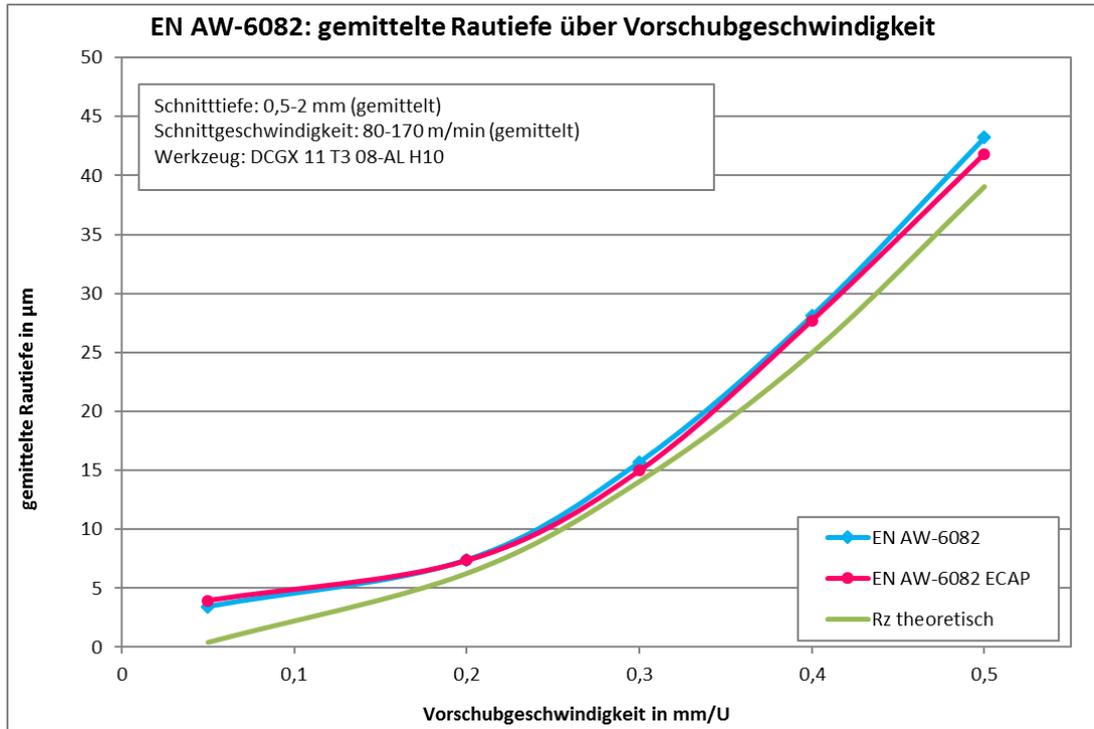


Es lässt sich eine geringfügige Verbesserung der **gemittelte Rautiefe R_z** feststellen!

GEMITTELTE RAUTIEFE					
Schnittgeschwindigkeit	m/min	30-90			
Schnitttiefe	mm	0,5 und 1			
Vorschubgeschwindigkeit	mm/U	0,05	0,1	0,2	0,3
Ti-6Al-4V	µm	4,1	3,9	7,0	14,8
Ti-6Al-4V ECAP	µm	3,2	4,1	6,6	14,4
rel. Änderung durch ECAP		-21,3%	5,6%	-6,2%	-2,5%
Rz theoretisch	µm	0,4	1,6	6,3	14,1



Aluminium: gemittelte Rautiefe



Die **gemittelte Rautiefe R_z** für ECAP-Aluminium ist fast bei jeder Schnittgeschwindigkeit niedriger!

Durchschnitt:

EN AW-6082: 19,6 µm

EN AW-6082 ECAP: 19,2 µm



Es lässt sich eine geringfügige Verbesserung der **gemittelten Rautiefe R_z** feststellen!

GEMITTELTE RAUTIEFE						
Schnittgeschwindigkeit	m/min	80-170				
Schnitttiefe	mm	0,5-2				
Vorschubgeschwindigkeit	mm/U	0,05	0,2	0,3	0,4	0,5
EN AW-6082	µm	3,5	7,4	15,7	28,1	43,2
EN AW-6082 ECAP	µm	4,0	7,4	15,0	27,7	41,9
rel. Änderung durch ECAP		14,7%	-0,8%	-4,6%	-1,4%	-3,2%
Rz theoretisch	µm	0,4	6,3	14,1	25,0	39,1



		Spanraumzahl RZ	Spanform- klasse	Beurteilung
Bandspäne		≥ 90	1	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">ungünstig</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">gut</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">brauchbar</div> </div>
Wirrspäne		≥ 90	2	
Flachwendel- späne		≥ 50	3	
lange, zylindr. Wendelspäne		≥ 50	4	
Wendelspan- stücke		≥ 25	5	
Spiralspäne		≥ 8	6	
Spiralspan- stücke		≥ 8	7	
Bröckelspäne		≥ 3	8	

Quelle: Verband Deutscher Ingenieure; VDI: Stahl-Eisen-Prüfblatt 1178-90 für die Klassifizierung von metallischen Spänen aus der mechanischen Bearbeitung

Klassen 1-4:

ungünstig weil kontinuierlich

Nachteile:

- Beschädigung von Maschine, Bediener, usw.
- hohes Volumen

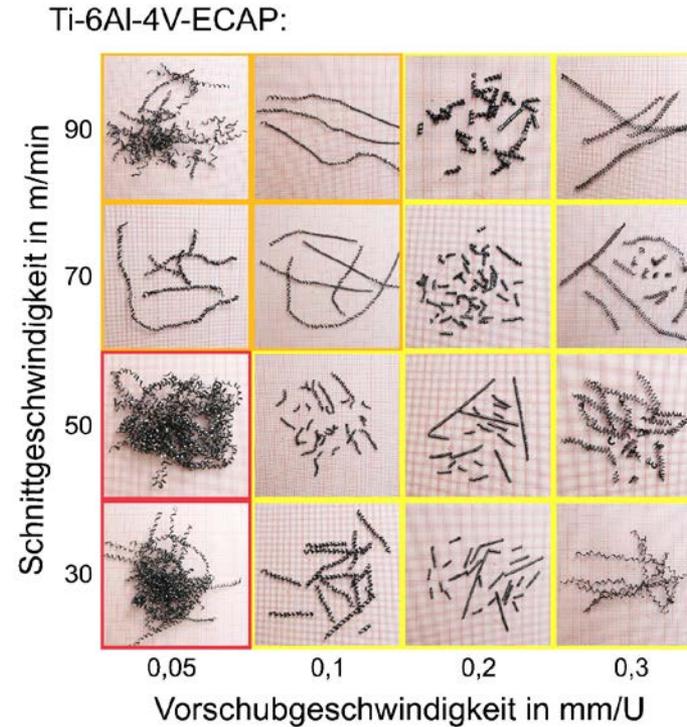
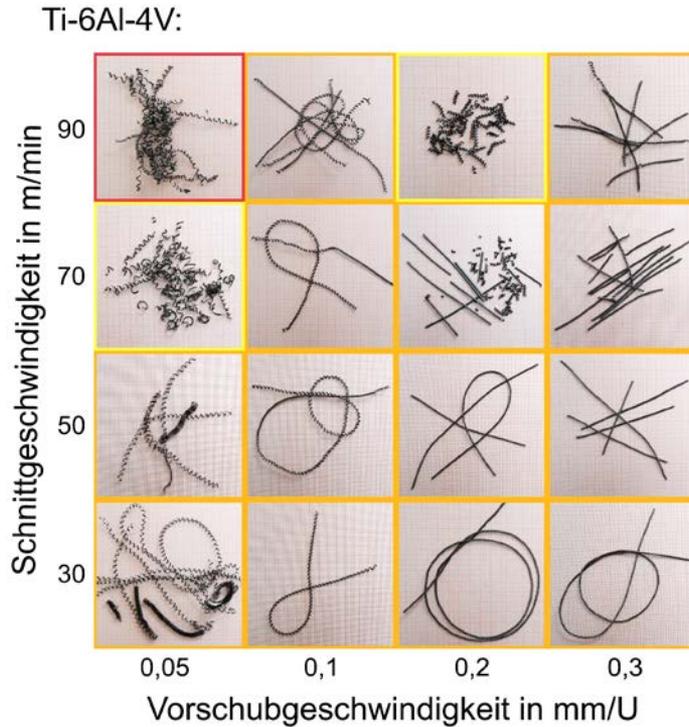
Klassen 5-8:

erwünscht aufgrund regelmäßigen Spanbruchs

Vorteil:

einfacher Abtransport, Sammlung

Titanlegierung: Spanbild für $a_p = 1 \text{ mm}$

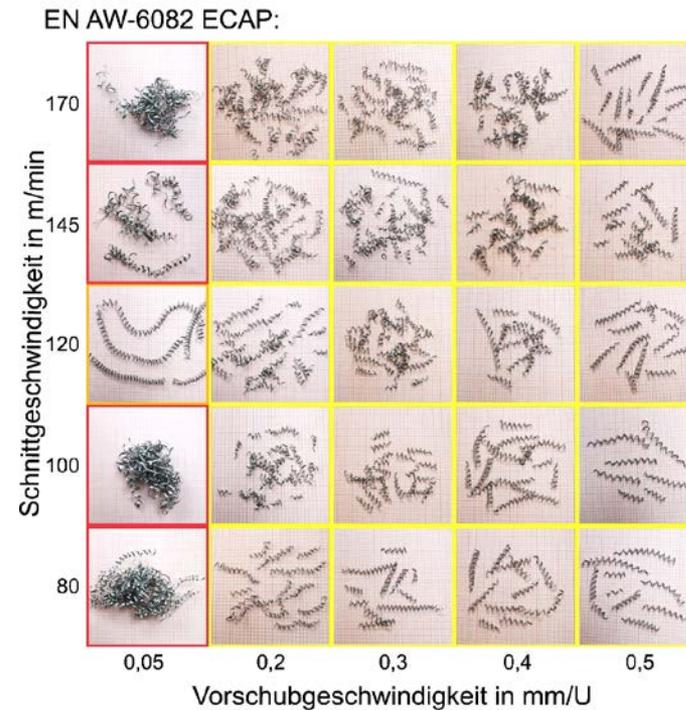
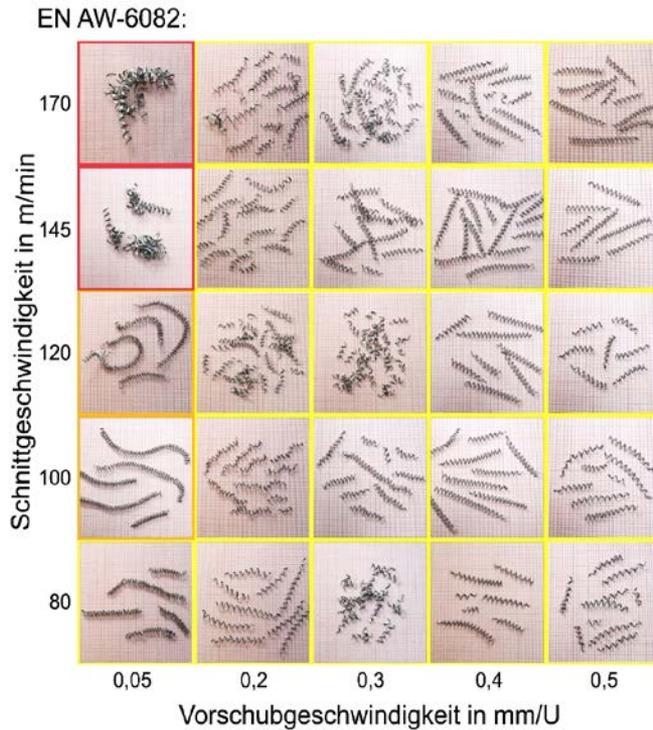


ANZAHL DER SPAENE NACH SPANFORMKLASSE

Spanformklasse	Bezeichnung	Eignung	Ti-6Al-4V	Ti-6Al-4V ECAP
1-2	Band- und Wirrspäne	ungünstig	1	2
3-4	lange Wendelspäne	ungünstig	13	4
5-6	Wendelspanstücke und Spiralspäne	gut	2	10
7-8	Spiralspanstücke und Bröckelspäne	brauchbar	0	0

ECAP-Werkstoff
neigt zur
Bildung kürzerer
Spanstücke

Aluminium: Spanbild für $a_p = 1,5 \text{ mm}$



ANZAHL DER SPAENE NACH SPANFORMKLASSE

Spanformklasse	Bezeichnung	Eignung	EN AW-6082	EN AW-6082 ECAP
1-2	Band- und Wirrspäne	ungünstig	2	4
3-4	lange Wendelspäne	ungünstig	2	1
5-6	Wendelspanstücke und Spiralspäne	gut	21	20
7-8	Spiralspanstücke und Bröckelspäne	brauchbar	0	0

ECAP-Werkstoff neigt dennoch zur Bildung kürzerer Spanstücke

Titanlegierung: Schneidkantenabnutzung

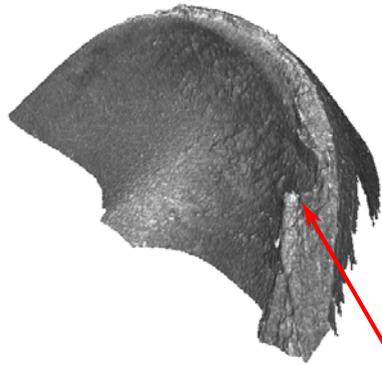


- Werkzeug: DCMT 11 T3 08-UM 115 (RefTi)

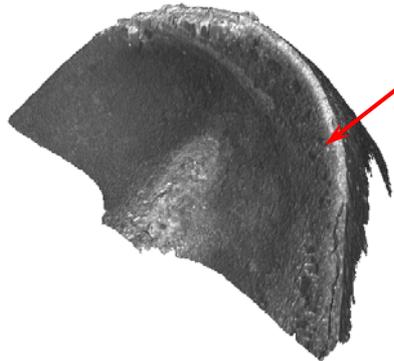
Neues Werkzeug

Ti-6Al-4V:

Nach 16 Versuchen

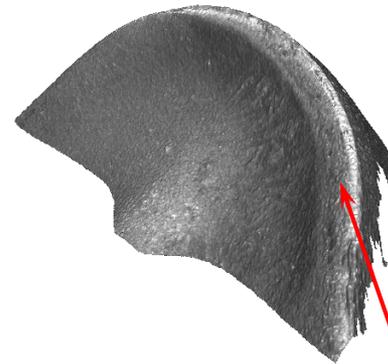


Nach allen Versuchen

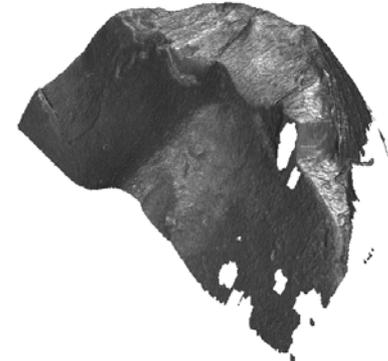


Ti-6Al-4V ECAP:

Nach 16 Versuchen



Nach allen Versuchen



Es ist ersichtlich, dass sich eine erhebliche Aufbauschneide bildet. Im Verlauf der Versuche nimmt diese wieder ab.

Eine geringere Aufbauschneide bildet sich. Im Verlauf der Versuche (ab ca. 0,2 mm/U) ist die Wendeschneidplatte gebrochen.

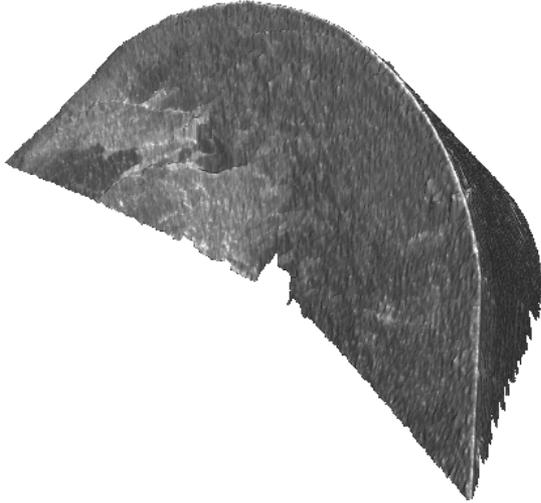
Aluminium: Schneidkantenabnutzung



- Werkzeug: DCGX 11 T3 08-AL H10 (RefAl)

Neues Werkzeug

EN AW-6082:
nach allen Versuchen



EN AW-6082 ECAP:
nach allen Versuchen



Geringe Änderungen an der Spanfläche bei beiden Werkstoffen
Bei der Wendeschneidplatte für den ECAP Werkstoff ist kein Unterschied zu erkennen



1

Werkstoffe

2

ECAP

3

Zerspanung

4

Versuchsrahmen

5

Resultate

6

▶ Zusammenfassung



Auswirkungen der ECAP-Umformung auf die Zerspanbarkeit der Titanlegierung:

- **Zerspankräfte**

Anstieg um durchschnittlich 10-20% (Zugfestigkeit nur um 4,3% höher)

- **Oberflächenqualität**

Verbesserung der Oberflächenqualität im Mittel von 7,4 μm auf 7,1 μm durch ECAP

- **Spanbild**

Neigung zu kürzeren Spänen durch ECAP

- **Werkzeugverschleiß**

Tendenz zur Aufbauschneidenbildung sinkt; durch den Werkzeugbruch lässt sich vermuten, dass ein erhöhter Verschleiß durchaus auftreten kann.



Die ECAP-Behandlung der Titanlegierung führt trotz der nur wenig gesteigerten Zugfestigkeit zu höheren Zerspankräften jedoch auch zur Verbesserung der Oberflächengüte.



Auswirkungen der ECAP-Umformung auf die Zerspanbarkeit von Aluminium:

- **Zerspankräfte**

Verringerung um durchschnittlich 4,1% (Zugfestigkeit um +28,9% höher)

- **Oberflächenqualität**

Verbesserung der Oberflächenqualität im Mittel von 19,6 μm auf 19,2 μm durch ECAP

- **Spanbild**

Neigung zu kürzeren Spänen durch ECAP

- **Werkzeugverschleiß**

Kein signifikanter Verschleiß messbar



Beim ECAP-Aluminium treten bei den Drehversuchen trotz stark gesteigerter Zugfestigkeit niedrigere Zerspankräfte und verbesserte Oberflächengüten auf. Somit ist eine ECAP-Behandlung empfehlenswert.



Institut für Fertigungstechnik und Hochleistungslasertechnik

Univ. Prof. DI Dr. Friedrich Bleicher

Getreidemarkt 9 / 311
BA Hochhaus, 8.Stock
A-1060 Wien

Dipl.-Ing. Gerhard Wiesinger

Tel.: 0/1-58801-311792

E-Mail: wiesinger@ift.at
Homepage: <http://www.ift.at>



inForm Projektpartner:



INDUKTIVE ERWÄRMUNGSANLAGEN



Institut für Fertigungstechnik und Hochleistungslasertechnik
Technische Universität Wien