



# TECHNOLOGIE REPORT

04 | Trochoides Fräsen | Mit hohem Vorschub zu tiefen Schnitten



# Trochoides Fräsen

## Einleitung

Das trochoide Fräsen, auch bekannt unter den Bezeichnungen Wirbelfräsen oder Taumelfräsen, ermöglicht der zerspanenden Industrie in vielen Anwendungsbereichen deutliche Rationalisierungspotentiale hinsichtlich Werkzeugkosten und Bearbeitungszeiten sowie einer Verminderung der Werkzeugmaschinenbelastung. Hervorzuheben ist hierbei zum einen die Herstellung von Triebwerksbauteilen aus der Luft- und Raumfahrt und Abgasturbinen aus dem Kraftfahrzeugsektor. Zum anderen bietet sich die Implementierung dieser Frästechnologie für die Fertigung von Struktur- und sonstigen Kleinserienbauteilen aus dem Werkzeug- und Formenbau (Hartbearbeitung) sowie dem allgemeinen Maschinenbau an. Die Zerspanung von hochlegierten und gehärteten Materialien wie Einsatzstählen oder auch hochwarmfesten Nickelbasislegierungen kann durch den Einsatz des trochoiden Fräsens signifikant produktiver, kostengünstiger und ressourceneffizienter gestaltet werden.

Generell betrachtet ist der Einsatz der trochoiden Frästechnologie bei der Fertigung von Nuten mit hohem Aspektverhältnis und unterschiedlichen Nutbreiten sinnvoll. So lassen sich mit nur einem Werkzeug sehr unterschiedliche Nutbreiten oder Taschenrößen erzeugen. Ebenso besteht eine bessere Ausnutzung der zur Verfügung stehenden Schneidenlänge des Fräasers durch erhöhte Schnitttiefen. Des Weiteren reduzieren sich, aufgrund der im Vergleich zum konventionellen Fräsen im Vollschnitt (Werkzeugumschlingungswinkel 180°) deutlich optimierten Eingriffsverhältnisse,

die resultierenden Zerspankräfte. Besonders durch die Reduktion der wirkenden Radialkraft lassen sich dünnwandige Bauteile mit höchster Präzision bei gleichzeitiger Schonung der Werkzeugmaschine prozesssicher herstellen. Hinsichtlich des zu zerspanenden Werkstoffs bieten sich beim trochoiden Fräsen deutliche Vorteile durch eine Reduktion der Spanlänge (abhängig von der radialen Zustellung), einem vergrößerten Spanabflussbereich und verringerter Spanlast (Nutbreite kleiner Werkzeugdurchmesser, kein Spänestau und mehrmaliges Schneiden der Späne) sowie einer hieraus folgenden geringeren thermomechanischen Werkzeugbelastung. Höhere Schnittdaten bei gleichzeitig gesteigerten Werkzeugstandzeiten im Vergleich zum konventionellen Vollschnitt sind so realisierbar. Für einen effektiven Einsatz der trochoiden Frästechnologie gilt es jedoch neben dem Einsatz angepasster Werkzeugkonzepte auch die Programmierzyklen der CNC-Steuerungen abzustimmen.

## Index

## INDEX

Einleitung	2
Motivation	3
Grundlagen des trochoiden Fräsens	5
Werkzeuge und Beschichtungen	6
Einsparpotentiale und Anwendungen	8
Zusammenfassung	10

## Motivation

Der Drang nach erhöhter Mobilität bei steigenden Leistungs- und Komfortansprüchen ist ungebrochen und besteht heute stärker denn je. Gleichzeitig ist die Mobilität ein Motor für Beschäftigung und Wachstum in Deutschland. Gegensätzliche Anforderungen wie verschärfte Emissionsrichtlinien und steigende Qualitätsansprüche bei zeitgleicher Kostenreduktion sind dabei die primären Treiber für immer effizientere Antriebslösungen und deren Produktionsstrategien, sowohl in der Luftfahrt als auch im Kraftfahrzeugsektor. Insbesondere die Luftfahrtbranche verzeichnete in den vergangenen Jahren ein konstantes Wachstum. Laut Bundesverband der Deutschen Luft- und Raumfahrtindustrie betrug im Jahr 2013 das Umsatzwachstum der Gesamtbranche 7,8 %. Die Zahl der Beschäftigten verzeichnete ebenfalls ein Plus von 4,8 % und stieg auf 105.500 direkt in der Luft- und Raumfahrt Beschäftigte. Gleichzeitig steigen die Anforderungen an die Triebwerkstechnologie im Hinblick auf Treibstoffverbrauch, Schadstoff- und Schallemissionen. Die beispielsweise zur Effizienzsteigerung notwendigen höheren Verbrennungsdrücke und -temperaturen bedingen steigende Materialbeanspruchungen. Die Hersteller sehen sich hierbei gezwungen, die zumeist eingesetzte klassische Titanlegierung vom Typ TiAl6V4 durch Werkstoffe mit erhöhten Warmfestigkeiten wie z. B. Ti6242, Titanaluminide (TiAl) oder Nickelbasislegierungen zu substituieren. Diese Werkstofflegierungen zeichnen sich jedoch neben ihren herausragenden Materialeigenschaften durch ihre gegenüber TiAl6V4 weiter erschwerte Zerspanbarkeit aus. Eine deutliche Steigerung von Produktivität und Wirtschaftlichkeit bei der spanenden Bearbeitung dieser Hochleistungswerkstoffe für zukünftige Turbinenbauteile ist daher eine Grundvoraussetzung zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit der produzierenden Unternehmen.

Titan- oder Nickelbasislegierungen zeichnen sich durch eine hohe Warmfestigkeit bei gleichzeitig geringer Wärmeleitfähigkeit aus und eröffnen hierdurch für die Gestaltung von Flugzeugtriebwerken neue Designmöglichkeiten. Die aus Sicht der Konstruktion herausragenden Temperatureigenschaften stellen jedoch die Zerspanung vor immer neue Herausforderungen [1, 2].

Insbesondere die geringe Wärmeleitfähigkeit verursacht hohe Temperaturen am Schneidkeil ( $T > 1.000 \text{ °C}$ ). Im Fall der Aluminiumzerspanung werden etwa 75 % der entstehenden Prozesswärme von den Spänen abgeführt, während bei der Bearbeitung von Titanlegierungen der Großteil durch das Werkzeug aufgenommen wird. Die hohen Temperaturen an der Schneide forcieren Diffusions- und Adhäsionsprozesse. Zusätzlich erzeugt der große Temperaturgradient innerhalb des Werkzeugs thermisch induzierte Spannungen, die ebenfalls zum Versagen des Werkzeugs beitragen. Der geringe Elastizitätsmodul des Materials begünstigt Schwingungen im Bearbeitungsprozess, was die Werkzeugstandzeit und die Prozessstabilität negativ beeinflusst [3]. Im Fall der Zerspanung von Nickelbasislegierungen bedingt die hohe Kaltverfestigung einen Anstieg der Materialhärte während des Bearbeitungsprozesses. Dies führt zu erhöhtem Werkzeugverschleiß im Bereich des Übergangs der Nut zur Werkstückoberfläche [4]. In Anlehnung an EZUGWU lassen sich die folgenden sieben Charakteristika bei der Bearbeitung von schwer zerspanbaren Werkstoffen wie beispielsweise Titan- und Nickelbasislegierungen definieren:

- Eine hohe Warmfestigkeit in Kombination mit einer hohen Werkstoffhärte verursacht eine Verformung des Werkzeugs während der Bearbeitung.
- Hohe dynamische Scherfestigkeiten führen zu großen Schubspannungen an der Schneide, wodurch die Kerbwirkung an der Schneidkante gefördert wird.
- Eine niedrige Wärmeleitfähigkeit des Werkstoffs führt zu Zerspantemperaturen von mehr als  $1.000 \text{ °C}$  im Schneideneingriffsbereich und großen Temperaturgradienten innerhalb des Schneidstoffs.
- Aufschweißungen an der Schneide führen zur Bildung von Aufbauschneiden und einer damit einhergehenden Verschlechterung der Oberflächengüte.
- Die austenitische Matrix von Nickelbasislegierungen verursacht eine starke Kaltverfestigung.
- Karbide in der Mikrostruktur von Nickelbasislegierungen bedingen starken abrasiven Werkzeugverschleiß.
- Titanlegierungen besitzen eine hohe chemische Reaktivität, wodurch tribo-chemische Reaktionen, wie beispielsweise die Bildung von Kerbverschleiß beschleunigt werden.

Motivation

## Motivation

Neben der Wahl des richtigen Werkzeugkonzepts nimmt die Maschinenstruktur Einfluss auf das Bearbeitungsergebnis. Die bei der Bearbeitung von schwer zerspanbaren Werkstoffen auftretenden hohen Prozesskräfte führen zu einer statischen Abdrängung zwischen Werkzeug und Werkstück. Um diesem Problem zu begegnen, gilt es die Maschinenstrukturen an die Bearbeitungsaufgaben anzupassen. Hierfür werden häufig hochsteife, spielfreie Führungssysteme eingesetzt, die zusätzlich geklemmt werden können. Neben der Steifigkeit der Werkzeugmaschine sind weiterhin die Eigenschaften des Werkzeughalters von hoher Bedeutung (siehe Abbildung 1). Verfügt das Gesamtsystem über zu geringe Steifigkeiten und niedrige Dämpfungseigenschaften, können selbsterregte Schwingungen auftreten, die sich unter anderem negativ auf den Werkzeugverschleiß auswirken.

Die aufgeführten Randbedingungen bewirken einen stark ansteigenden Werkzeugverschleiß und führen damit zu hohen Werkzeugkosten. Zudem konkurriert die Zerspanung in diesem Segment mit anderen Verfahren wie dem funkenerosiven Abtragen (EDM) oder in der jüngeren Vergangenheit mit dem selektiven Laserschmelzen [4, 5, 6]. Verschiedene einfache Geometrien und Kavitäten werden bereits mit Hilfe des EDM-Verfahrens hergestellt. Die Besonderheit des Verfahrens liegt in dem berührungslosen Werkstoffabtrag durch das Anlegen einer elektrischen Spannung, die beim Überschreiten der Durchschlagfestigkeit zur Bildung eines energiereichen Plasmakanals führt. Auch der Einsatz des selektiven Laserschmelzens, welches die Herstellung endkonturnaher Bauteile durch einen schichtweisen Aufbau aus Pulvermaterial ermöglicht, ist immer weiter verbreitet.

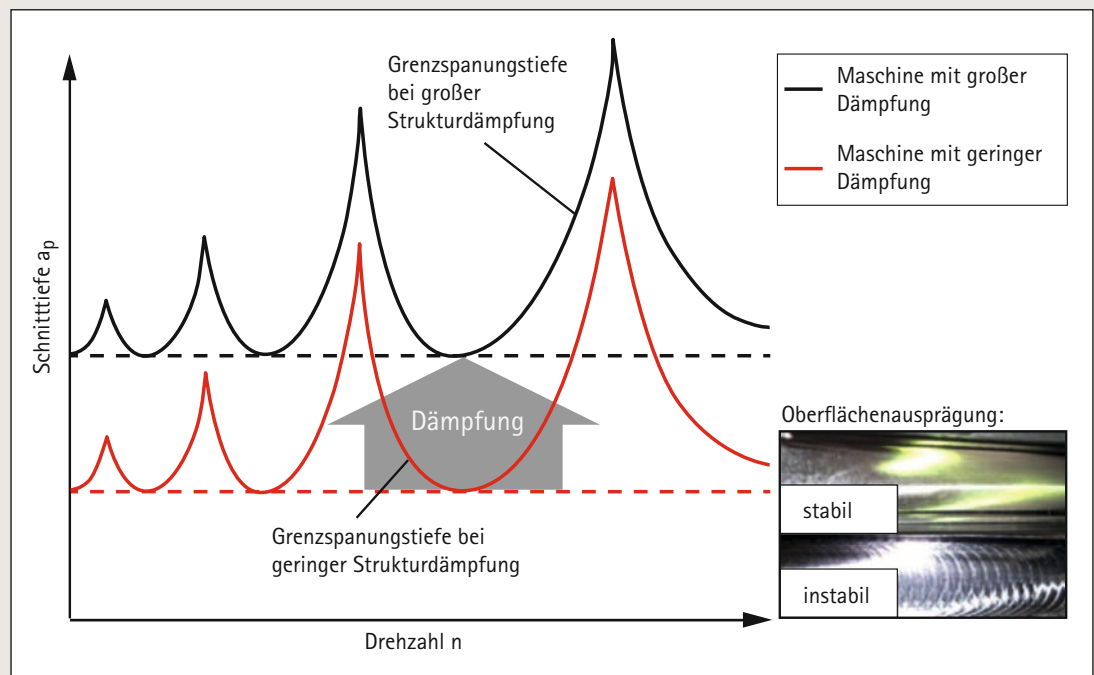


Abbildung 1: Einfluss der Maschinenstruktur auf die Prozessstabilität beim Fräsen; in Anlehnung an [3]

Untersuchungen zur Herstellung von Triebwerksteilen aus Titan- und Nickelbasislegierungen wurden bereits durchgeführt [7]. Mit einer weiteren Vergrößerung des Anwendungsspektrums dieser Verfahren ist zu rechnen. Die dargestellten Gründe machen es zwingend erforderlich, die Produktivität in der spanenden Bearbeitung kontinuierlich zu steigern, um hochwertige Produkte bei konkurrenzfähigen Kosten fertigen zu können. Eine Erhöhung der Schnittwerte wird oftmals durch die in der Praxis eingesetzten Bearbeitungsmaschinen und deren Leistungsmerkmale begrenzt, was eine Umsetzung der geforderten Produktivitätserhöhung in der Serie erschwert. Das trochoide Fräsen, auch bezeichnet als Wirbelfräsen oder Taumelfräsen, besitzt dagegen das Potential, eine Steigerung des Zeitspannvolumens ohne eine deutliche Erhöhung des Leistungsbedarfs der Maschine zu realisieren.

## Grundlagen des trochoiden FräSENS

In der Vergangenheit wurde die Schruppbearbeitung üblicherweise konventionell im Vollschnitt durchgeführt. Dabei sind die Eingriffsbedingungen des Fräasers auf einen Umschlingungswinkel von  $180^\circ$  festgelegt. Dieser führt neben der Erzeugung langer Späne aufgrund des langen Zahneingriffs zu einer vergleichsweise hohen thermischen Belastung des Werkzeugs. Der daraus resultierende große Spanungsquerschnitt hat wiederum hohe Zerspankräfte zur Folge, wodurch prozessstabile Zustelltiefen, Vorschübe und Schnittgeschwindigkeiten limitiert sind.

Die spezifische Kinematik des trochoiden FräSENS ermöglicht es dagegen, aufgrund einer Überlagerung der Vorschubbewegung mit einer Kreisbewegung des Werkzeugs, die genannten Eingriffsbedingungen positiv zu beeinflussen, siehe Abbildung 2. Es stellt sich ein zyklischer Materialabtrag mit veränderlichen Eingriffsbedingungen und variablen Spanungsbreiten entlang der Kreisbahn des Werkzeugs ein. Dieser Technologieansatz hat zur Folge, dass eine verringerte Spanungsbreite und Schnittlänge zu deutlich reduzierten Prozesskräften führen. Hierdurch ist es wiederum möglich, größere Schnitttiefen zu realisieren. Während beim konventionellen FräSENS Schnitttiefen von bis zu  $1 \times D$  möglich sind, können mit Hilfe des trochoiden FräSENS Schnitttiefen über  $2,5 \times D$  realisiert werden [8]. Eine verbesserte Ausnutzung der zur Verfügung stehenden Schneidenlänge ist

somit umsetzbar. Die Reduktion der wirkenden Radialkraft ist weiterhin essentiell zur prozesssicheren Fertigung von dünnwandigen Bauteilen mit höchsten Präzisionsansprüchen und einer simultanen Minimierung der Werkzeugmaschinenbelastung. Im Gegensatz zum Vollschnitt ist darüber hinaus die Nutbreite nicht durch den Werkzeugdurchmesser ( $D$ ) begrenzt. Unterschiedliche Nutbreiten lassen sich entsprechend mit nur einem Werkzeug erzeugen, wodurch die Anzahl der benötigten Werkzeuge signifikant reduziert werden kann.

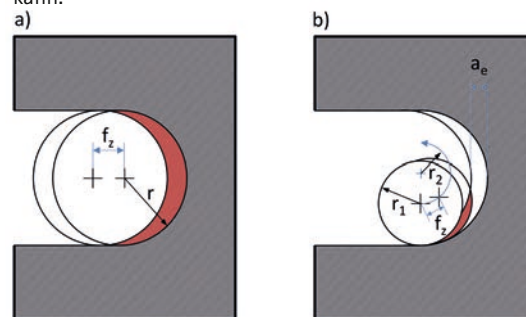


Abbildung 2: Schematische Bahnbewegung  
a) Vollschnitt, b) Trochoides FräSEN; in Anlehnung an [9]

Deutliche Produktivitätssteigerungen in Form eines erhöhten Zeitspannvolumens sind die Folge. Ein weiteres Optimierungspotential besteht in einer spezifischen Anpassung der Verfahrbewegung des Werkzeugs an die jeweilige Bearbeitungsaufgabe. Für den Fall einer Kreisbahn mit konstantem Radius variieren die Umschlingungswinkel an der eingreifenden Werkzeugschneide je nach absoluter radialer Zustellung innerhalb einer Umdrehung. Durch eine angepasste Bahnbewegung des Werkzeugs, die von der idealisierten Kreisbahn abweicht, ist es möglich, die resultierenden Umschlingungswinkel zu beeinflussen. Durch diese Veränderung der Vorschubbewegung kann der Eingriffswinkel des Fräasers über dem gesamten Eingriff hinweg annähernd konstant gehalten werden. Ein Werkzeugeinsatz im Bereich des spezifischen Optimums wird hierbei ermöglicht.

Für eine ganzheitliche Prozessoptimierung müssen neben der Werkzeugbahn während des Eingriffs auch die Verfahrbewegungen im Luftschnitt betrachtet werden. Ziel muss es sein, nach dem Austritt des Fräasers aus dem Material eine möglichst rasche Bewegung zum nächsten Eintrittspunkt zu realisieren. Da die Ausführung einer Kreisbahn an dieser Stelle nicht von Vorteil ist, wird in Abhängigkeit der Dynamik der Maschine ein möglichst direkter Anfahrweg gewählt.

Motivation

Grundlagen

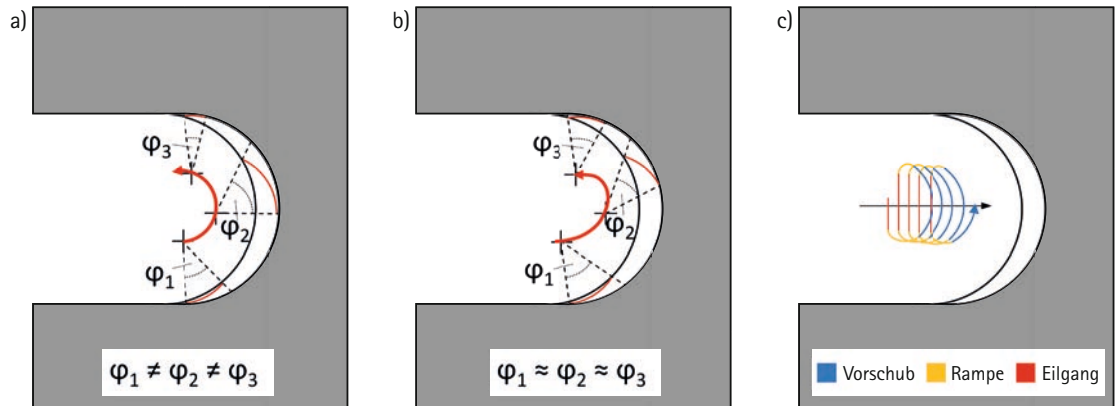


Abbildung 3: Vorschubbewegung a) Kreisbahn, b) Optimierte Bahnkurve, c) Optimierter Luftschnitt; in Anlehnung an [9]

## Werkzeuge und Beschichtungen

Zudem wird die Anfahrbewegung im Eilgang ausgeführt. Die sich ergebenden Verfahrensbewegungen zeigt Abbildung 3. Erste Maschinensteuerungen werden bereits an diese neuen Anforderungen angepasst. Programmierzyklen generieren dabei selbstständig die Taumelbewegung des Werkzeugs für eine gegebene Nut. In Kombination mit einer an den Bearbeitungspunkt angepassten dynamischen Geschwindigkeitsregelung sind so deutliche Produktivitätssteigerungen möglich, siehe Abbildung 4. Hierbei kann die Spindelleistung durch den Bediener in einem Lernschritt festgelegt werden. Neben einer sicheren Werkzeugbruchererkennung ist es weiterhin möglich, den programmierten Sollwert bei übermäßigem Werkzeugverschleiß anzupassen.

## Werkzeuge und Beschichtungen

Um die Potentiale des trochoiden Fräsens bestmöglich zu nutzen, muss das Werkzeugkonzept an dessen spezifische Gegebenheiten angepasst werden. Dazu gehören neben der Wahl des richtigen Schneidstoffs auch eine leistungsfähige Beschichtung und eine angepasste Geometrie. In Bezug auf den Schneidstoff sind insbesondere Biegebruch- und Schneidkantenfestigkeit von entscheidender Bedeutung, während Schlagzähigkeit und Thermoschockfestigkeit eine untergeordnete Rolle spielen. Um diesen speziellen Anforderungen gerecht zu werden, setzt MAPAL Feinst- und Ultrafeinstkornhartmetalle ein.

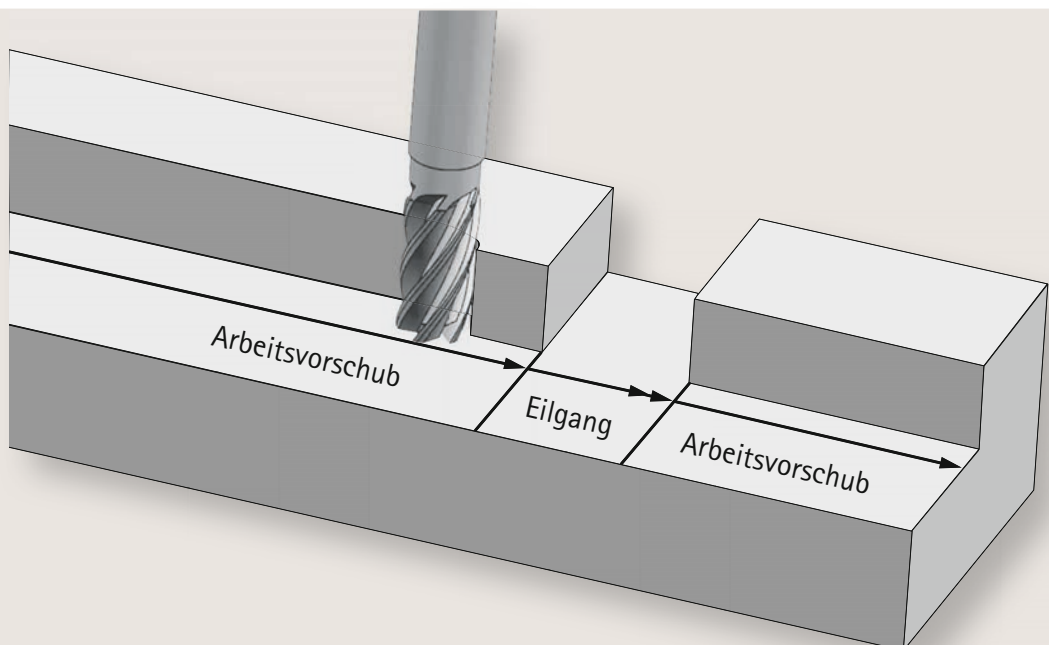


Abbildung 4: Vorschubanpassung bei angepasstem Programmierzyklus

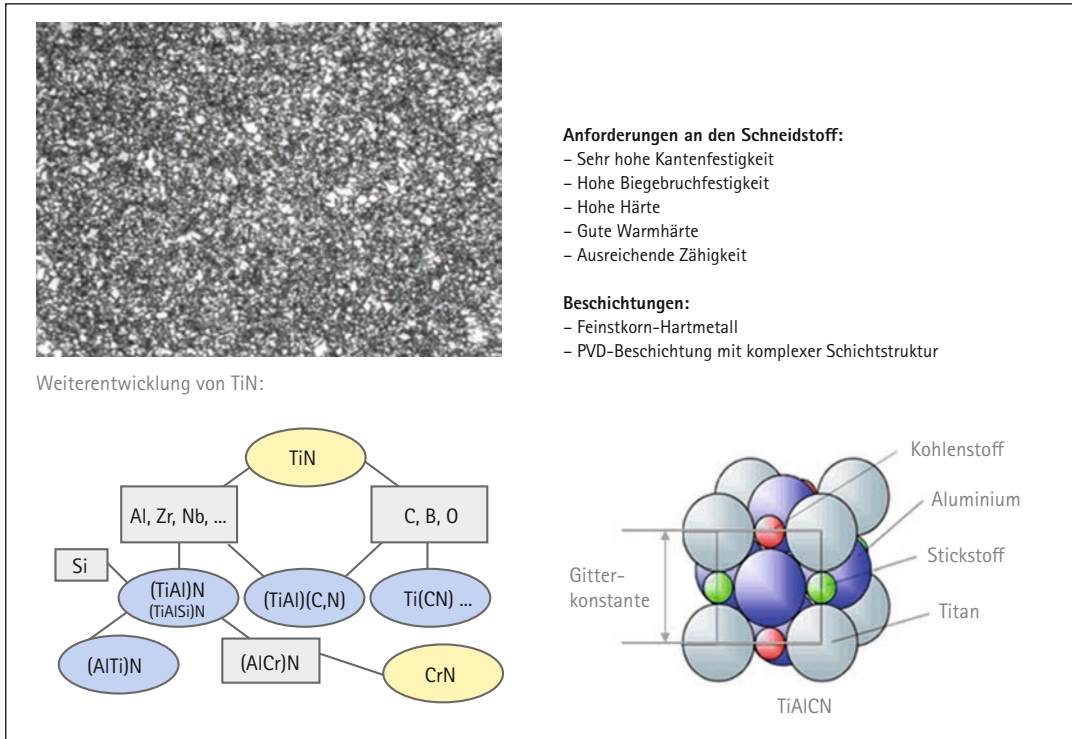


Abbildung 5: Anforderungen an Werkzeugsysteme in Hinblick auf trochoides Fräsen; Quelle: MAPAL, Oerlikon Balzers

In Abhängigkeit des Bauteilwerkstoffs werden Sorten mit 8-10 % Kobalt verwendet. Diese werden in Verbindung mit komplexen hochharten Schichten eingesetzt, welche je nach zu bearbeitendem Werkstoff im Hinblick auf höchste Härte oder in Richtung minimierter Reibung optimiert sind. Abbildung 5 fasst die Anforderungen an das Werkzeugsystem noch einmal zusammen. Zudem haben sich ungleichgeteilte Werkzeuge aufgrund ihrer geringeren Ratterneigung als vorteilhaft erwiesen. In Verbindung mit den im Prozess eingesetzten hohen Drehzahlen wirkt sich die Unwucht eines ungleichgeteilten Werkzeugs

jedoch negativ aus. In ersten Ansätzen wurde diesem Problem damit begegnet, ausgewuchtete Spannfutter einzusetzen. Dadurch kann neben der Verbesserung der Oberflächengüte und Bauteilqualität trotz erhöhter Schnittgeschwindigkeit eine Verschleißreduktion realisiert werden. Weiterführende Ansätze beziehen die Unwuchtvermeidung bereits in die Werkzeugentwicklung ein. Mit Hilfe eines simulationsgestützten Ansatzes wird der Werkzeugquerschnitt über die Werkzeuglänge hinweg so angepasst, dass die Unwucht minimiert wird. Dies erfolgt unter Verwendung eines Algorithmus, der die Geometrie über mehrere Iterationsschleifen optimiert.

Werkzeuge und Beschichtungen

## Werkzeuge und Beschichtungen

Ungleichgeteilte Werkzeuge mit minimierter Unwucht kommen häufig bei der Herstellung von speziellen Turbinenschaufeln, sogenannten BLISKS zum Einsatz. Dabei handelt es sich um Konstruktionen, die Schaufel und Scheibe in einem Bauteil vereinen. Der Bedarf an BLISKS wird sich laut Expertenbefragung bis ins Jahr 2020 mindestens verdoppeln. Im Gegensatz zu klassischerweise eingesetzten gesteckten Verbindungen von Schaufel und Rotor lässt sich hierbei eine deutlich höhere Verdichtungsleistung bei vermindertem Bauteilgewicht erzielen. Nachteilig wirkt sich jedoch die sehr komplexe und kostenintensive Herstellung bei hohem Ausschussrisiko aus. Für die effiziente

und erfolgreiche Bearbeitung dieser dünnwandigen Strukturen muss der Prozess entsprechend möglichst vibrationsarm durchgeführt werden. Das Spannfutterkonzept HighTorque Chuck (HTC) trägt dieser Forderung Rechnung und kombiniert die Fixierung des Werkzeugs mit einer Vibrationsdämpfung. Das Einsatzverhalten des Spannfutterkonzepts zeigt sich beispielsweise beim Nutenfräsen. Im Vergleich zu anderen Spannfutterkonzepten bleibt der Prozess bis in eine deutlich erhöhte Nuttiefe stabil, siehe Abbildung 6. Die sich daraus ergebenden Vorteile sind gesteigerte Schnittwerte, kürzere Bearbeitungszeiten und eine geringere Neigung zu Schneidkantenausbrüchen.

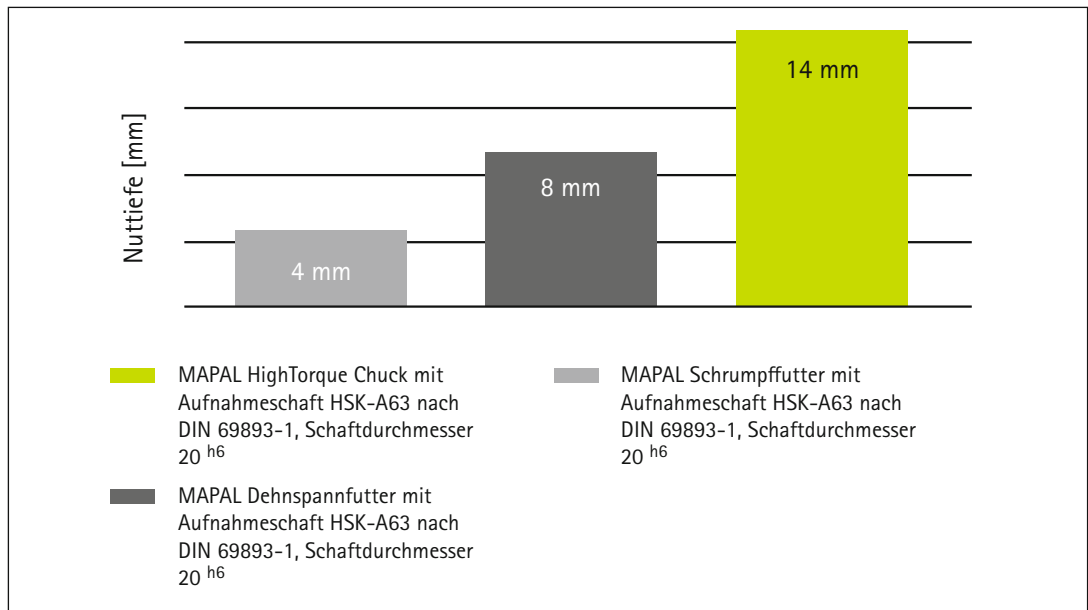


Abbildung 6: Erreichbare prozessstabile Nuttiefe in Abhängigkeit des Werkzeug-Spannfutterkonzepts; Quelle: MAPAL

## Einsparpotentiale und Anwendungen

### Einsparpotentiale und Anwendungen

Einen Eindruck über die Rationalisierungspotentiale des trochoiden Fräsen geben Untersuchungen aus dem Hause MAPAL [8]. Als Vergleichsanwendung wurde ein dünnwandiges Strukturbauteil aus dem Einsatzstahl 16MnCr5 und dem Edelstahl (1.4301) verwendet, siehe Abbildung 7.

Im Vergleich mit dem konventionellen Trockenfräsen lässt sich bei Bearbeitung des Einsatzstahls die Schnittgeschwindigkeit von  $v_c = 140 - 240$  m/min durch den Einsatz des trochoiden Fräsen annähernd

verdreifachen. Gleichzeitig ist eine Verdoppelung des Zahnvorschubs auf  $f_z = 0,1$  mm realisierbar. Mit Blick auf die Technologieparameter ist weiterhin die Besonderheit hervorzuheben, dass bei Einsatz der MAPAL Werkzeuge Schnitttiefen von  $3 \times D$  realisiert werden können. Dies führt insgesamt zu reduzierten Bearbeitungszeiten bei gleichzeitiger Abnahme der Werkzeugbelastung und damit zu verringertem Werkzeugverschleiß. Die Auswirkungen des Verfahrens spiegeln sich entsprechend in dreifach positiver Weise wider. Neben verkürzten Bearbeitungszeiten und einer



verbesserten Werkzeugstandzeit können kleinere und damit kostengünstigere Werkzeuge eingesetzt werden. Eine Voraussetzung dafür ist die optimierte Generierung der Werkzeugbahn. Die in SolidCam integrierte Fertigungslösung „iMachining“ errechnet aus zu zerspanendem Material, Werkstück- und Werkzeuggeometrie sowie der zur Verfügung stehenden Bearbeitungsmaschine die optimalen Technologieparameter. So können auch bestehende Anlagen effizienter genutzt werden. Andere Modellanwendungen zeigen beim Einbringen einer Nut der Breite 32 mm und einer Tiefe von 8 mm mit Hilfe eines 16 mm Vollhartmetall-Schaftfräasers eine Steigerung des Zeit-spanvolumens von 65 % [10].

Die deutlichen Produktivitätssteigerungen lassen sich nicht nur bei den dargestellten Modellanwendungen realisieren, sondern sind auch in der Serienproduktion erreichbar. Bei einer Anwendung im Bereich der

Triebwerksfertigung konnten beispielsweise die Werkzeugkosten pro abgetragenem Volumen bei Bearbeitung der Titanlegierung Ti6242 um etwa 50 % reduziert werden [9]. Noch größere Potentiale bieten sich bei Zerspanung der Nickelbasislegierung Inconel 718. Für den Bearbeitungsfall des Schlitzfräsens wurde die Bearbeitungszeit um 63 % gesenkt, während gleichzeitig die Anzahl der benötigten Werkzeuge um 72 % und die Werkzeugkosten um 61 % verringert wurden. Andere Anwendungen bestehen bei der Fertigung von Strukturbauteilen im Bereich der Messtechnik. Die Bearbeitung ist hierbei geprägt durch ein großes Zerspanvolumen, eine feste Aufspannsituation und ein massives Bauteil aus dem Werkstoff X17CrNi16-2.

Einsparpotentiale und Anwendungen

**Werkzeug:**

- 5-Schneider
- Schneidenlänge 3 x D mit Spanbrechergeometrie
- Gespannt in HighTorque Chuck Spannfutter

Material	Schnittwerte	Konventionelles Fräsen	Trochoides Fräsen
16MnCr5	$v_c$ [m/min]	140 – 240	465
	$f_z$ [mm]	0,05	0,10
1.4301 (V2A)	$v_c$ [m/min]	60 – 100	250
	$f_z$ [mm]	0,05	0,05

**VORTEILE**

- Geringere Bearbeitungskräfte
- Höhere Schnittgeschwindigkeit
- Höhere Zustelltiefen
- Umschlingung des Fräasers variabel
- Reduzierte Thermische Belastung

Abbildung 7: Vergleichsbauteile MAPAL



## Einsparpotentiale und Anwendungen

In diesem Fall wurde die Bearbeitungszeit bei der Vorbearbeitung durch den Einsatz des trochoiden Fräsens um rund 70 % reduziert. Aufgrund der positiven Erfahrungen wird die Bearbeitungsstrategie in diesem Haus auch in weiteren Bereichen, beispielsweise der Mikrobearbeitung, zukünftig eingesetzt.

## Zusammenfassung

### Zusammenfassung

Vor dem Hintergrund steigender Anforderungen an technische Bauteile in zahlreichen Branchen wie der Luft- und Raumfahrt oder der Automobilindustrie kommen vermehrt hochwarmfeste Materialien wie Titan- oder Nickelbasislegierungen zum Einsatz. Diese stellen immer neue Herausforderungen für Werkzeug- und Maschinenkonzepte dar. Um die geforderte Produktivität zu erreichen, müssen Werkzeug, Maschine und Bearbeitungsstrategie optimal an die Zerspanungsaufgabe angepasst sein. Die Bearbeitung im Vollschnitt führte in der Vergangenheit jedoch häufig zu großen Prozesskräften und starkem Werkzeugverschleiß. Eine Strategie, Prozesskräfte zu senken und gleichzeitig Zeitspanvolumina zu steigern, stellt das trochoide Fräsen dar.

Durch eine Überlagerung der Vorschubbewegung mit einer Kreisbewegung des Werkzeugs können die Eingriffsbedingungen positiv beeinflusst werden. Es kommt zu einem zyklischen Materialabtrag mit veränderlichen und auf den Werkzeugeinsatz abstimmbaren Eingriffsbedingungen sowie variablen Spannungsbreiten entlang der Kreisbahn des Werkzeugs. Dieser Ansatz hat eine verringerte Spannungsbreite und Schnittlänge zur Folge, was zu deutlich reduzierten Prozesskräften und vermindertem Werkzeugverschleiß führt. Dadurch sind wiederum größere Schnitttiefen von über  $2,5 \times D$  möglich, während im Vollschnitt

die Schnitttiefe auf etwa  $1 \times D$  begrenzt ist. Weitere Vorteile bestehen darin, dass einerseits deutlich höhere Schnittgeschwindigkeiten eingesetzt werden können. Andererseits wird eine bessere Ausnutzung der Werkzeugschneidlänge ermöglicht und die Nutbreiten sind nicht durch den Werkzeugdurchmesser begrenzt. Auch lässt sich hierdurch ein großes Spektrum an unterschiedlichen Nutbreiten mit lediglich einem einzigen Werkzeug fertigen, wodurch die Ressourceneffizienz in der Produktion erhöht werden kann. Dieses Optimierungspotential kann nochmals gesteigert werden, indem speziell auf die Bearbeitungsstrategie ausgelegte Werkzeug-, Spannfutter- und Bahngenerierungskonzepte angewandt werden. Aufgrund der zuvor genannten Charakteristika des trochoiden Fräsens ist das Rationalisierungspotential bei tiefen Nuten und Bauteilen mit großem Materialabtrag besonders hoch. Das Verfahren überzeugt sowohl in Modellversuchen als auch in der industriellen Praxis. In zahlreichen Anwendungsfällen konnten Bearbeitungszeiten, Werkzeugkosten und Anzahl der benötigten Werkzeuge deutlich reduziert werden, woraus sich das Bestreben ableitet, das trochoide Fräsen auf weitere Branchen und Bearbeitungsaufgaben auszuweiten.

## Quellen

- [1] T. Kitagawa, A. Kubo, K. Maekawa: Temperature and wear of cutting tools in high-speed machining of Inconel 718 and Ti-6Al-6V-2Sn. In: *Wear* 202/02 (1996), pp. 142-148.
- [2] P.-J. Arrazola, A. Garay, L.-M. Iriarte, M. Armendia, S. Marya, F. Le Maître: Machinability of titanium alloys (Ti6Al4V and Ti555.3). In: *Journal of Materials Processing Technology* 209/05 (2009), pp. 2223-2230.
- [3] E. Abele, R. Hölscher, D. Korff, R. Rost: Titanzerspanung produktiver machen. In: *Werkstatt+Betrieb* WB 1-2/2011, S. 34-38.
- [4] E. O. Ezugwu, J. Bonney, Y. Yamane: An overview of the machinability of aeroengine alloys. In: *Journal of Materials Processing Technology* 134/02 (2003), pp. 233-253.
- [5] E. O. Ezugwu: Key improvements in the machining of difficult-to-cut aerospace superalloys. In: *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 45/12-13 (2005), pp. 1353-1367.
- [6] D. D. Gu, W. Meiners, K. Wissenbach, R. Poprawe: Laser additive manufacturing of metallic components: materials, processes and mechanisms. In: *International Materials Reviews* 57/03 (2012), pp. 133-164.
- [7] I. Kelbassa, A. Weisheit, K. Wissenbach, V. Hermes: Laser metal deposition of TiAl alloys. In: 2nd Pacific International Conference on Applications of Lasers and Optics (PICALO), 3rd-5th of April 2006, Melbourne, Australia.
- [8] Trochoides Fräsen – auch für Bearbeitungszentren. In: *Fräsen + Bohren* 4/2013.
- [9] A. Gläßer: Entwicklung des trochoidalen TaumelfräSENS bei der MTU Aero Engines und Integration in die bestehende CAD/CAM Prozesskette. In: TFPI, 17. November 2010, Aachen, Deutschland.
- [10] D. Freiburg, M. Hayler, W. Kirsten, M. Brunner, U. Schleinkofer: Entwicklung von stabilen Hochleistungsprozessen. In: „Schwer zerspanbare Werkstoffe in der industriellen Praxis“, 25.-26. März 2014, Nürtingen, Deutschland.

### Prof. Dr.-Ing. Eberhard Abele

ist Geschäftsführender Leiter des Instituts für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen, PTW der TU Darmstadt  
info@ptw.tu-darmstadt.de

### Dipl.-Ing. Ulrich Krenzer

ist technischer Geschäftsführer des Kompetenzzentrums VHM-Werkzeuge der MAPAL Gruppe, Altenstadt.  
ulrich.krenzer@miller-tools.de

## Impressum

### Herausgeber:

MAPAL Präzisionswerkzeuge Dr. Kress KG  
Postfach 1520 | 73405 Aalen  
Telefon 07361 585-0 | Telefax 07361 585-1029  
info@de.mapal.com | www.mapal.com

Verantwortlich für den Inhalt: Andreas Enzenbach  
© MAPAL Präzisionswerkzeuge Dr. Kress KG  
Nachdruck, auch auszugsweise, nur nach Genehmigung des Herausgebers.

Quellen

Impressum



Bisher erschienen:

## TECHNOLOGIE REPORT

- 01 | Interpolationsdrehen
- 02 | Energieeffizienz
- 03 | Minimalmengenschmierung
- 04 | Trochoides Fräsen