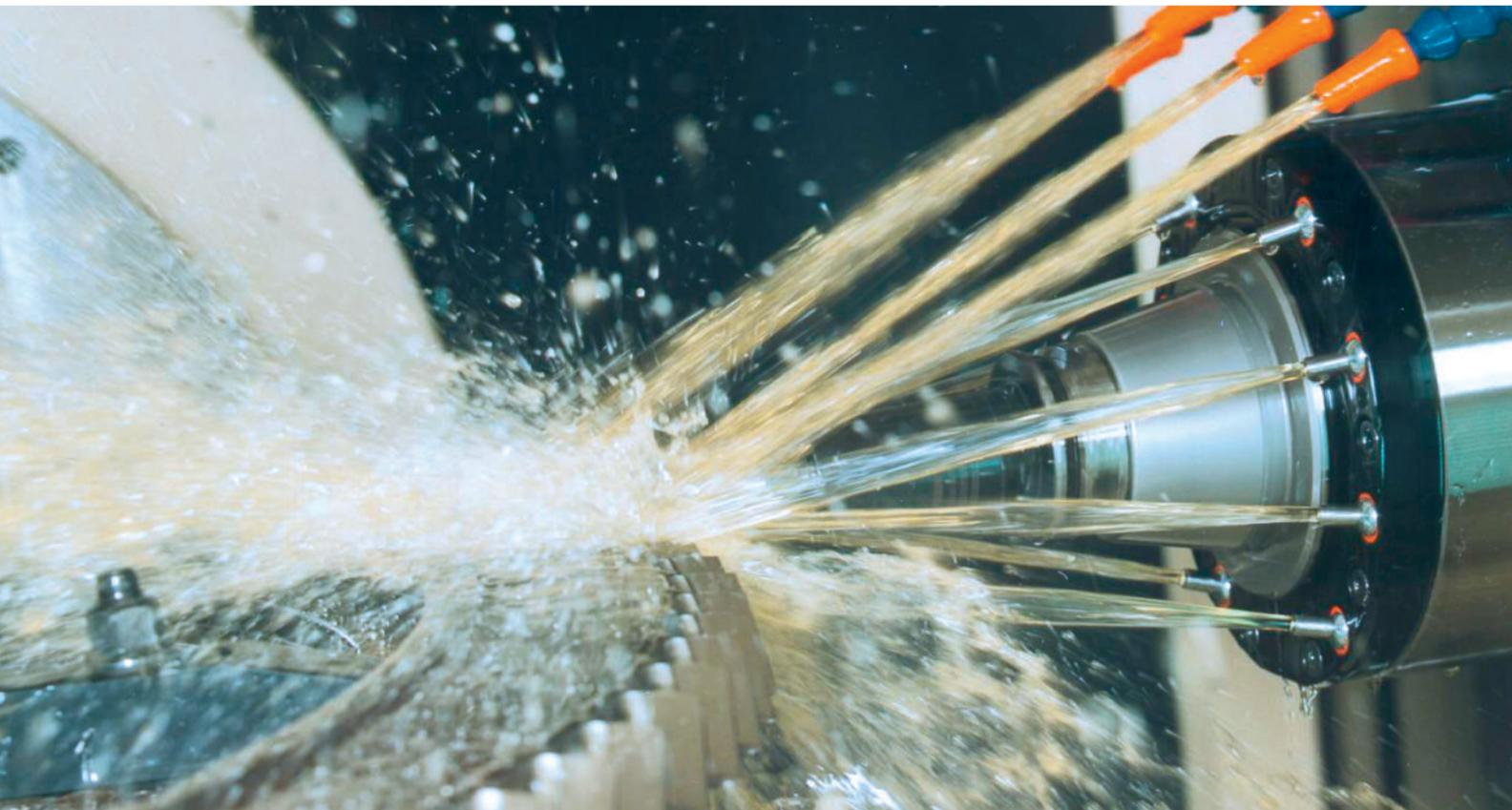


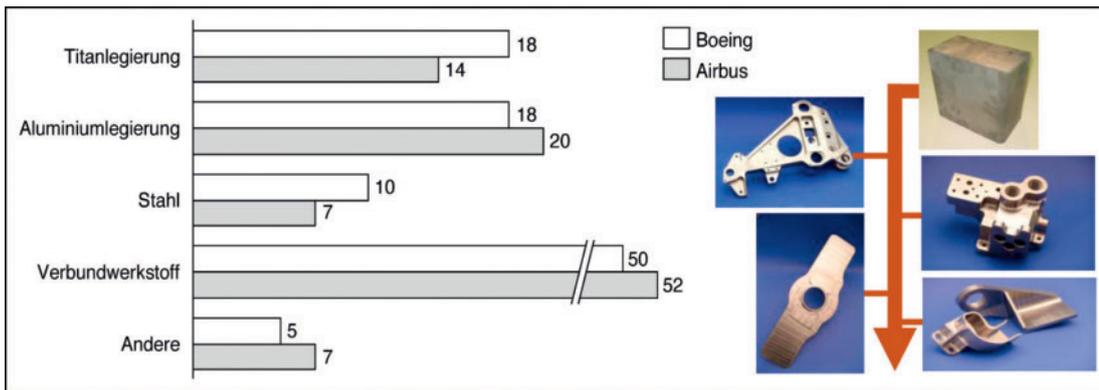
Trendbericht: Titanbauteile setzen Fertiger unter Produktivitätsoptimierungsdruck

Ein Leichtmetall macht's den Zerspanern schwer



Titanlegierungen mit Festigkeitseigenschaften von Stahl, bei halbem Gewicht, bieten für den Konstrukteur einen idealen Werkstoff. Für die Zerspaner stellen jedoch die negativen Eigenschaften, wie geringe Wärmeleitfähigkeit und hohe Zähigkeit, eine große Herausforderung dar. Kernproblem ist die ausreichende Abführung der Prozesshitze, die nur zu einem kleinen Teil über den Span erfolgen kann.

VON EBERHARD ABELE UND ROLAND HÖLSCHER



1 Vergleich von Werkstoffanteilen bei Flugzeugherstellern in Prozent und Titanbauteile von Airbus

2 Titan: Herausforderung und Nutzen in der Luftfahrtindustrie

Herausforderung Titanerspannung in der Luftfahrtindustrie	Vorteile von Titanbauteilen in der Luftfahrtindustrie
 <ul style="list-style-type: none"> • Materialmix zukünftiger Flugzeuge beinhalten 3x mehr Titanbauteile • Fehlen an kurzfristigen Zerspankapazitäten für Titanbauteile • Hohe Prozessanforderungen • Hohe Werkzeug-, Bearbeitungs- und Werkstoffkosten • Zerspanraten von bis zu 90 % 	 <ul style="list-style-type: none"> • Festigkeit ähnlich wie Stahl • Halbe Dichte von Stahl • Hohe Elastizität und Festigkeit • Niedrige Wärmeleitfähigkeit • Keine Versprödungen bei niedrigen Temperaturen • Kaum Wärmedehnungen • Äußerst reaktionsarmer Werkstoff

→ Das chemische Element Titan mit der Nummer 22 im Periodensystem besitzt außergewöhnliche Eigenschaften und ist aus diesem Grund weit verbreitet. Einsatzgebiete sind die Luft- und Raumfahrtindustrie, Automobilindustrie, Biomedizin, chemische Industrie und Ölindustrie, wobei die Luftfahrtbranche den größten Einzelmarkt für Titanprodukte, beispielsweise für Strukturbauteile, Fahrwerksteile, Turbinenbauteile et cetera ausmacht.

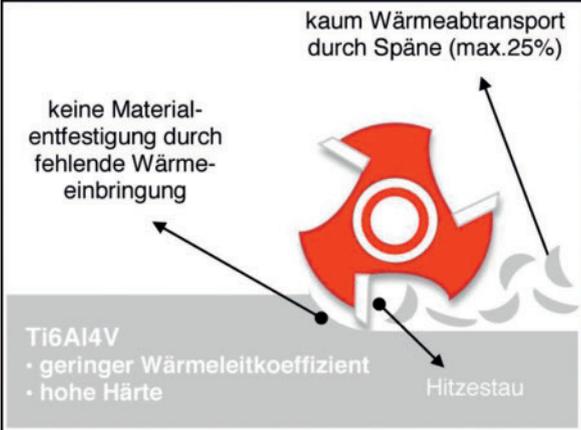
In kaum einer anderen Branche spiegeln sich knapper und teurer werdende Ressourcen wider wie in der Luft- und Raumfahrt. Weniger Gewicht bedeutet einerseits weniger Energieverbrauch, andererseits mehr Kapazität für Passagiere oder Frachtgut. Wenn eine ›Boeing 747‹ zehn Prozent weniger Treibstoff am Start mitführen müsste, wäre stattdessen eine Zuladung von zehn Tonnen Frachtgut möglich. Somit wird das Nutzlastverhältnis bei gleichem Abfluggewicht entscheidend verbessert, berichtet Wolfgang Pieczeit, Manufacturing Engineering & Technology bei Rolls-Royce in Oberursel. Zusätzliche sekundäre Einsparungen, wie Treibstoffbedarfsreduzierung und Wartungs- und Instandhaltungsaufwand, würden weitergehend zu einer Gesamtreduzierung der Kosten führen.

Um diese Kostenreduktion im Flugzeugbau zu erreichen, nimmt der Einsatz leichterer Materialien wie kohlefaserverstärkter Kunststoffe (CFK) und Titanlegierungen zu. Dem Konstrukteur wurde mit Titan ein Werkstoff an die Hand gegeben,

der leichter als Aluminium ist, aber ähnliche Festigkeitseigenschaften wie Stahl besitzt. Mehr CFK führt, abgesehen von Gewichtseinsparungen, zusätzlich zum vermehrten Einsatz von Titan. Grund hierfür ist der hohe elektrochemische Potenzialunterschied zwischen CFK und Aluminiumlegierungen, der zu Korrosionen führen würde. Die Verbindung zwischen CFK und Titanlegierungen reduziert hingegen diese Potenzialdifferenz um 80 Prozent. Demnach führt der Einsatz von CFK zu einer zunehmenden Verdrängung der Aluminiumbauteile aus der Luftfahrtindustrie. Dies bestätigt auch Thomas Lauscher, Inhaber der Firma Modell + Formenbau Hein-Dieter Lauscher in Aachen. Die Aufträge bei Aluminiumstrukturbauteilen haben deutlich abgenommen. Im Gegenzug können die Anfragen nach Titanbauteilen im Moment kaum bedient werden. Weniger Metall und mehr Verbundwerkstoffe bedeuten weniger Metallzerspanung. Bild 1 zeigt den neuen Materialmix der ›Boeing 787 Dreamliner‹ und des ›Airbus A350 WXB‹. Der Anteil von Titanlegierungen >>>

i INSTITUT

PTW – Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen, 64287 Darmstadt
Tel. 06151 16-2156, Fax 06151 16-3356
→ www.ptw.tu-darmstadt.de

	Werkstoffeigenschaften	TiAl6V4
	Dichte (g/cm ³)	4,43
	E-Modul (GPa)	110
	Zugfestigkeit R _m (MPa)	900-1180
	Dehngrenze R _{p0,2} (MPa)	830-1030
	Bruchdehnung A5 (%)	8-15
	Härte (HB)	320
	Wärmekapazität c _p (J/kgK)	520
	Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK)	7,5

3 Kein HSC-Effekt bei der Titanzerspanung, Werkstoffeigenschaften TiAl6V4

4 Drehen und Stechen mit 400 bar Ultradruckkühlung durch die Schneide



» ist hier im Vergleich zu vorhergehenden Typen um das Dreifache angestiegen.

Selbst wenn im Flugzeugbau das Zerspanvolumen von Metall insgesamt abgenommen hat, nimmt trotzdem die Zerspanzeit zu. Grund hierfür sind die geringen realisierbaren Zeitspanvolumina im Titan. Das Zeitspanvolumen konnte bei Aluminiumteilen in den letzten zehn Jahren annähernd verfünffacht werden. Dem steht nur eine Verdopplung des Zerspanvolumens im Titanbereich gegenüber. Werden heute in Aluminium Zerspanraten von bis zu 10 l/min erreicht, so kommen im Bereich der Titanzerspannung gerade einmal 0,15 l/min zustande, berichtet Alfred Schlemmer, Produktionsleiter bei der Asco Deutschland. Vor dem Hintergrund der gesteigerten Nachfrage nach Titanbauteilen und der bis heute niedrigen Zerspanvolumina erhöht sich der Druck nach Produktivitätssteigerung.

Herausforderungen für eine wirtschaftliche Titanzerspannung

Die Eigenschaften von Titanlegierungen bringen nicht nur Vorteile – vorwiegend für die Konstrukteure – mit sich, sondern stellen insbesondere die Zerspanindustrie vor eine schwierige Aufgabe (Bild 2). Der niedrige E-Modul, die hohen Schnittkräfte und der sehr geringe Wärmeleitfaktor gestalten den Zerspanern das Leben schwer. Die Titanlegierungsbauteile sind in der Flugzeugindustrie häufig Strukturbauteile. Es kommt zu Zerspanraten von bis zu 90 Prozent, da die Formgebung über zerspannende Pro-

zesse hergestellt wird. Bei der Boeing 787 Dreamliner werden aus der Titanlegierungsmenge von über 90 Tonnen Bauteile im Gesamtgewicht von knapp 11 Tonnen gefertigt.

Die geringe Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 7,5 \text{ W/mK}$ bei Ti-Al6V4, der meistverbreiteten Legierung im Flugzeugbau, führt dazu, dass sich abhängig von Schnittgeschwindigkeit, Vorschub, Zustellung und KSS-System extreme Temperaturen an der Werkzeugschneide entwickeln. Werden bei der Aluminiumzerspannung, wo die Wärmeleitfähigkeit das 15-Fache gegenüber Titan beträgt, über 75 Prozent der Prozesswärme über den Span abgeführt, sind es bei der Titanzerspannung maximal 25 Prozent, die mit dem Span den Schnittprozess verlassen. Für das Werkzeug bedeutet dies eine enorme Temperaturbelastung. Durch die hohen Temperaturen an der Schneide werden zudem Diffusionsprozesse und Adhäsion gefördert. Der entstehende große Temperaturgradient führt zusätzlich zu Wärmespannungen im Werkzeug und letztendlich zum Werkzeugversagen. An der Werkzeugschneide entstehen Temperaturen bis 1000°C (Bild 3).

Wird zusätzlich der geringe E-Modul betrachtet, zeigt sich, dass der Titanwerkstoff dem Druck des Schneidwerkstoffes nachgibt und sich die Gefahr zur Schwingungsneigung bei labilen Bauteilen erhöht. Dies wird durch das hohe Streckgrenzenverhältnis weiter verstärkt und lässt plastische Verformungen nur bedingt zu. Durch den nachgiebigen Werkstoff federt dieser unter Schnittkraft stärker zurück und führt im Bereich der Freifläche zu einer effektiven Verkleinerung des Freiwinkels. Die geringen Schnittgeschwin-

Zentraler Ansatz Temperaturmanagement	Ester-Öle bieten im Gegensatz zu KSS Vorteile bei der Titanbearbeitung
	<ul style="list-style-type: none"> • Wartungsarm und länger einsetzbar • Schneidprozess wird besser geschmiert • Reduzierung der Prozesswärme durch Herabsetzung der Reibung • Öl bewirkt eine zusätzliche dämpfende Wirkung und eine verbesserte Oberflächenqualität • Höhere Viskosität des Öls erhöht die Förderleistung der Kühlschmierpumpe • Bietet die Möglichkeit zur Realisierung von höheren Prozessparametern

5 Walzenstirnfräser mit einstellbaren Düsen, Vorteile von Ester-Ölen bei der Zerspanung von Titan

digkeiten und die hohen Kräfte, gepaart mit der niedrigen Anregungsfrequenz, führen weitergehend zur Ratterneigung.

Aktuelle Trends und Lösungsansätze für die Titanzerspanung

Der extrem niedrige Wärmeleitkoeffizient bewirkt, dass der HSC-Effekt bei der Titanzerspanung nicht zum Tragen kommt. Die Verfestigung des Materials bei höheren Schnittgeschwindigkeiten und die fehlende Möglichkeit zur Einbringung der Schnittwärme und somit eine Herbeiführung einer Materialentfestigung (HSC-Effekt) bringen nicht den erwünschten Schnitkraftabfall. Der Titanwerkstoff kann die Prozesshitze nicht mit den Spänen abführen, und es kommt zu einem Hitzestau mit thermischer Überlastung der Schneide, berichtet Dr.-Ing. Markus Groppe, Produktmanager Fräswerkzeuge bei Sandvik Tooling Deutschland.

Die Standzeiten der Werkzeuge bewegen sich dadurch im Bereich von einigen Minuten bis zu maximal zwei Stunden. Bei diesen Zahlen ist es nicht verwunderlich, dass Rolls-Royce in Oberursel einen hohen siebenstelligen Euro-Betrag alleine für Schneidstoffe und Werkzeuge im Jahr ausgibt. Die realisierbaren Schnittgeschwindigkeiten beim Fräsen lassen sich zwischen 40

und 80 m/min beziffern. Der Vorschub pro Zahn beträgt 0,05 bis 0,3 mm, wobei die radiale und axiale Zustellung sehr stark vom Werkzeug abhängt und demnach in großer Bandbreite eingesetzt wird. Bei Igelfräsern kann die axiale Zustellung leicht 100 mm oder mehr betragen.

Zum Einsatz kommen größtenteils Werkzeuge aus Hartmetall (HM) beziehungsweise Wendeschneidplattenwerkzeuge mit HM-Schneiden, welche die jahrelang im Einsatz befindlichen HSS-Werkzeuge abgelöst haben. Idealerweise sind sie zusätzlich mit einem Hartstoff beschichtet. Es gibt jedoch Anwendungen, wo Beschichtungen nicht zugelassen sind. So dürfen die Triebwerkselemente bei Rolls-Royce nur bis zu 0,5 mm an die endgültigen Abmaße mit Beschichtungen gefahren werden. Grund hierfür sind eventuelle Diffusionen der Beschichtungselemente in die Oberfläche der Bauteile. Die Herausforderung bei der Auswahl einer geeigneten Beschichtung ist es, Zähigkeit, Härte, Oxidationsbeständigkeit und thermische Stabilität, Reibwerte, Schichtdicke und Eigenspannungszustand der Titanbearbeitung anzupassen. Die wichtigste Eigenschaft dieser Verschleißschichten ist ihre Härte, berichtet Oliver Braun, Global Key Account Manager bei Ceratizit Austria. Sie entscheide letzt- >>>

5-Achs-Bearbeitungszentrum für die Titanerspannung	Anforderungen an die BAZ gerade in Hinblick auf Ti-Strukturbauteile
 <p style="text-align: center;">handtmann UBZ Titanium</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Verfügbarkeit von Hochdruckvolumenpumpe KSS > 200 l und > 100 bar • großer Bearbeitungstisch 2,5 x 12 m • hohe Drehmomente > 3.000 Nm • Drehzahlspektrum bis 6.000 U/min • Hohe Maschinensteifigkeit und hohe Schwingungsdämpfung – ideal mit hydrostatischen Führungen • Klemmung des Bearbeitungskopfes mit hohen Haltemomenten > 15.000 Nm

6 5-Achs-Konzept und Anforderungen für ein Titan-Bearbeitungszentrum

» endlich über die Abrasionsfestigkeit. Die zum Einsatz kommenden Beschichtungen können sehr unterschiedlich sein. Einige Firmen setzen auf die chemische Gasphasenabscheidung CVD (Chemical Vapor Deposition) und verwenden eine Titanborit-Beschichtung (TiB₂). Gerhard Bonfert, Team Leader Industry Spezialist bei Iscar Germany, gibt hierbei den Vorzug der Titanaluminiumnitridschicht (TiAlNi). Seinen Erfahrungen nach lässt diese Beschichtung höhere Schnittgeschwindigkeiten zu und punktet durch eine höhere Produktivität.

Im Turbinenbau werden viele Titanbauteile rotationssymmetrisch hergestellt. Hier ist gerade das Drehen ein wichtiger Fertigungsprozess. Mit Schnittgeschwindigkeiten weit unter denen von Stahl und Standzeiten unter 30 Minuten bildet das Drehen von Titanlegierungen eine besondere Herausforderung, da die Problematik mit der Wärmeabfuhr im kontinuierlichen Schnitt noch mal zunimmt. Die Kühlung beziehungsweise die Hochdruckzufuhr von KSS spielt hierbei eine noch wichtigere Rolle. Gerhard Bonfert spricht in diesem Zusammenhang von Ultrahochdruckschmierkühlung. Der KSS-Strahl trifft mit bis zu 400 bar auf die Schneide, kühlt und schmiert den Schneidprozess und sorgt zusätzlich für einen Spanbruch. Dieser Spanbruch ist ebenso wichtig für den Prozess wie die Kühlung, weil Titan zu Fließspänen neigt. Bonfert gibt zu bedenken, dass in vielen Fällen der rotationssymmetrischen Bearbeitung eine Stechbearbeitung der Drehbearbeitung in Titan überlegen ist. Sein Fazit: Im Stechen lassen sich höhere Prozessparameter und längere Standwege und somit deutliche Produktivitätssteigerungen und Kosteneinsparungen gegenüber dem Drehen erzielen (Bild 4).

Das Kühlschmiermittel steht bei jeder Titanbearbeitung im Vordergrund. Stichversuche mit CO₂-Kühlung am PTW der TU Darmstadt zeigen das Potenzial in der Anwendung höherer Zerspanparameter. Ein wirtschaftlicher Einsatz einer CO₂-Kühlung durch Reduktion des CO₂-Verbrauchs ist derzeit Ziel der Forschungsarbeiten am PTW. Standardmäßig wird für die Titanbearbeitung eine 8- bis 12-Prozent-Emulsion auf Wasserbasis angewendet. Die hohe Wärmeaufnahmekapazität des Wassers gewährleistet die Kühlleistung und der Emulsionsanteil die

Schmierung. Bild 5 zeigt schematisch die möglichen Kühlschmierausgänge eines Igelfräasers der Firma Sandvik. Jeder Plattensitz besitzt eine Kühlschmierstoffbohrung mit Gewinde und Düsen, die sich individuell anpassen lassen. Nicht besetzte Plattensitze können durch Verschließen der Bohrungen von der Kühlschmierung ausgenommen werden. Somit werden ein optimales Temperaturmanagement und der Abtransport der Späne gewährleistet. Alternativ bieten sich als Kühlschmiermedium reine Ester-Öle an, berichtet Heinz Gerhard Theis, Leiter F&E bei der Firma Fuchs Europe Schmierstoffe aus Mannheim.

Diese Öle haben trotz höherer Anschaffungskosten eine Vielzahl von Vorteilen. Öle sind deutlich wartungsärmer und können länger verwendet werden im Vergleich zu Emulsionen. Das Kühlpotenzial ist zwar geringer, aber dafür wird der Schneid-

i INDUSTRIEUNTERNEHMEN

Fuchs Europe Schmierstoffe GmbH

68169 Mannheim
Heinz Gerhard Theis
→ info@fuchs-europe.de

Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG

61440 Oberursel
Wolfgang Pieczeit
info@rolls-royce.com

Iscar Germany GmbH

76275 Ettlingen
Gerhard Bonfert
→ info@iscar.de

Sandvik Tooling Deutschland GmbH

40549 Düsseldorf
Dr.-Ing. Markus Groppe
→ info@sandvik.com

Handtmann A-Punkt Automation GmbH

88255 Baienfurt
Christian Podiebrad
→ info@handtmann.de

Ceratizit Austria GmbH

A-6600 Reutte
Oliver Braun
→ info@ceratizit.com

Asco Deutschland GmbH

63688 Gedern
Alfred Schlemmer
→ info@ascodeutschland.de

Modell + Formenbau

Hein-Dieter Lauscher
52072 Aachen
Thomas Lauscher
→ info@lauscher.de

prozess besser geschmiert, sodass die Reibung herabgesetzt wird und erst weniger Wärme entsteht. Außerdem hat die Öl-Kühlschmierung eine dämpfende Wirkung auf den Bearbeitungsprozess, wodurch sich die Oberflächenqualität verbessert (Titelbild). Zusätzlich wird durch die höhere Viskosität des Öls die Leistung der Kühlschmiermittelförderpumpe erhöht, und ein größerer Druck und somit auch ein höherer Volumenstrom kann aufgebaut werden. Untersuchungen am PTW zeigen in der Anwendung von Ester-Öl eine Realisierung höherer Prozessparameter und damit verbunden eine Produktivitätssteigerung. Eine Wirtschaftlichkeitsrechnung belegt darüber hinaus eine kurze Amortisationszeit für das teurere Ester-Öl.

Handlungsbedarf bei den Maschinenkonzepten

Die steigende Nachfrage nach Bearbeitungszentren für die Titanbearbeitung bewegt die Maschinenhersteller zum Handeln. So entschied sich Handtmann aus Baintal dazu, ein neues Maschinenkonzept speziell für die wirtschaftliche Bearbeitung von Titan zu entwickeln. Anfang 2010 wird das neue Universalbearbeitungszentrum ›UBZ Titanium‹ vorgestellt (Bild 6), berichtet Christian Podiebrad, Technischer Leiter bei Handtmann. Als erster Hersteller wird Handtmann eine Maschine anbieten, auf der im Schrumpprozess die simultane 5-Achs-Bearbeitung von Titan möglich ist.

Die Maschinenkomponenten eines Bearbeitungszentrums müssen exakt auf die anspruchsvollen Anforderungen der Titanbearbeitung abgestimmt sein. Für die hochgenaue Bearbeitung des extrem festen Werkstoffs ist ein Maschinenaufbau mit hoher Steifigkeit vorteilhaft. Zusätzlich können hydrostatische Führungen unerwünschte Schwingungen dämpfen, wodurch eine hohe Oberflächenqualität erzielt werden soll. Große Schwallwassermengen im Falle der Handtmann-Maschine von bis zu 300 l/min, die mit hohem Druck von bis zu 100 bar die Werkzeugschnittfläche und das Werkzeug kühlen, begegnen der extremen Wärmeentwicklung und sorgen für optimales Temperaturmanagement.

Zusammenfassung und Ausblick

Die Produktivität bei der Titanzerspannung lässt sich durch eine moderate Erhöhung der Schnittgeschwindigkeit und durch deutliche Steigerung des Vorschubs erhöhen. Dabei ist insbesondere der optimierte Einsatz einer Hochdruckvolumenkühlschmierung von Bedeutung. Leistungsstarke Hartmetallwerkzeuge und Beschichtungen gehören mittlerweile zum Stand der Technik, dennoch arbeiten die Werkzeughersteller weiterhin an noch produktiveren Lösungen. Mit Hochdruck werden neue Schneidmaterialien, Hartstoffschichten und Schneidgeometrien entwickelt, sodass wir gespannt in die Zukunft blicken können. ■

Artikel als PDF unter www.metall-infocenter.de

Suchbegriff → **WB110093**

Prof. Dr.-Ing. Eberhard Abele ist Fachgebietsleiter

am PTW der TU Darmstadt

→ info@ptw.tu-darmstadt.de

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Roland Hölscher ist wissenschaftlicher

Mitarbeiter am PTW, Gruppe Technologie

→ hoelscher@ptw.tu-darmstadt.de

WB 7-8/2009