

FERTIGUNGSPROZESSE ALS SCHLÜSSELTECHNOLOGIE ZUR REALISIERUNG DES GEARED TURBO FAN

Dr. E. Bayer
MTU Aero Engines
Dachauer Straße 665
80995 München, Deutschland

Zusammenfassung

Geared Turbo Fan (GTF) Triebwerke mit weiter optimiertem (thermisch höher belastetem) Kreisprozess und schnell laufenden Niederdruckturbinen erscheinen mittelfristig der erfolgversprechendste Weg, um die ambitionierten ACARE-Ziele zur Reduktion aller Emissionen zu erreichen. Durch innovative Fertigungs- und Reparaturverfahren können weitergehende Anforderungen an Werkstoffe, Oberflächenintegrität und Toleranzen umgesetzt und somit ein wichtiger Beitrag zur Wirkungsgradverbesserung von ca. 15% gegenüber heutigen Antrieben geleistet werden.

Kernbauteile im Verdichter sind Blisken (Blisk = Bladed Disk). Diese hochintegrierte Bauweise ermöglicht eine deutliche Leistungsverdichtung in modernen Verdichtern, stellt aber auch eine Herausforderung an die Fertigungstechnik dar, wie z.B. aerodynamisch geforderte dünne Schaufelprofile. Bei reduzierten Fertigungszeiten soll die Prozessstabilität der Bliskfertigung weiter gesteigert werden. Durch den gezielten Einsatz der Randzonenverfestigung kann die Bauteil-Lebensdauer (z.B. Scheiben bei Verdichter oder Turbine) erhöht werden. Bei den schnelllaufenden Niederdruckturbinen kann die Leistungsdichte annähernd verdoppelt werden (Halbierung der Stufenzahl). Hierdurch ergeben sich jedoch erhöhte Anforderungen an die Bearbeitung von hochwarmfesten Werkstoffen und weitere Einengungen der Fertigungstoleranzen bis in den μm Bereich, speziell beim Räumen und der Kantenbearbeitung.

Zum Herstellen der Airfoils sind bei Bliskbauweisen unterschiedliche Fertigungsrouten vorteilhaft. Bei kleinen und mittleren Schaufelgrößen im HDV bieten sich Fräsverfahren an. Für Blisken mit größeren Schaufelblattlängen ermöglichen Fügeverfahren wie das Lineare Reibschweißen oder das Induktive Hochfrequenz Pressschweißen (IHFP) deutliche Rohmaterialersparnisse.

Festwalzen ist ein Verfestigungsverfahren mit dem tiefreichende Druckeigenspannungen (bis zu 1 mm) in ein Bauteil eingebracht werden können. Im Gegensatz zu dem klassischen Verfestigungsverfahren Kugelstrahlen ist das Festwalzen ein Prozess, der zu einer gleichmäßigen, deterministischen Verfestigung mit sehr glatten Oberflächen ($R_z \leq 1\mu\text{m}$) führt. Dieses Verfahren wird derzeit für hochkritische Bohrungen und hoch belastete Kontaktflächen entwickelt. Der Nachweis des Tiefenverlaufs der Verfestigung erfolgt zerstörungsfrei über ein Ultraschall-basiertes Prüfverfahren.

Die schnelllaufenden Niederdruckturbinenscheiben werden aus neuen hochwarmfesten Werkstoffen gefertigt, wie DA718. Diese Werkstoffe stellen besondere Anforderungen an die Räumwerkzeuge. Durch gezielte Änderungen am Werkzeug, wie z.B. Optimierung des Freiwinkels und den Wechsel von HSS- auf Hartmetall-Schneidstoffe kann das Zeitspanvolumen verbessert werden. Durch robotergestützte Verfahren sollen die Bauteilkanten (z.B. bei Räumprofilen) automatisch verrundet und damit die Konturtreue deutlich gegenüber einem manuellen Prozess verbessert werden.

Bei komplexen Strukturbauteilen müssen tiefe Nuten mit dünnen Restwandstärken geschliffen werden. Um hier die Wärme effektiv abführen zu können, werden neue innengekühlte Schleifscheiben entwickelt und erprobt.

Das neue GTF-Triebwerkskonzept wird bei mehreren aktuellen Flugzeugprogrammen, wie MRJ, C-Serie und der A320 NEO Familie zum Einsatz kommen. Von zentraler Bedeutung ist bei diesen Konzepten die Verdichter-Bliskbauweise. Die MTU Aero Engines ist weltweit einer der führenden Hersteller dieser Blade Integrated Disks. Pro Jahr werden heute etwa 600 Stück gefertigt; im Jahr 2020 sollen es, bedingt durch den Fertigungsanteil der MTU Aero Engines am HDV der GTF-Triebwerksfamilie, 3.000 Stück sein. Es werden dafür zusätzliche Fertigungskapazitäten aufgebaut und ein Bliskzentrum erstellt, welches ab 2012 in Betrieb gehen wird:

Wesentliche Ergebnisse wurden im F&E Vorhaben Geared Turbopan_Fertigung & Instandsetzung (GTF_Fit) im Rahmen des Luftfahrt Forschungsprogramms IV/2 erarbeitet, durchgeführt mit Unterstützung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie.

1. GEARED TURBO FAN

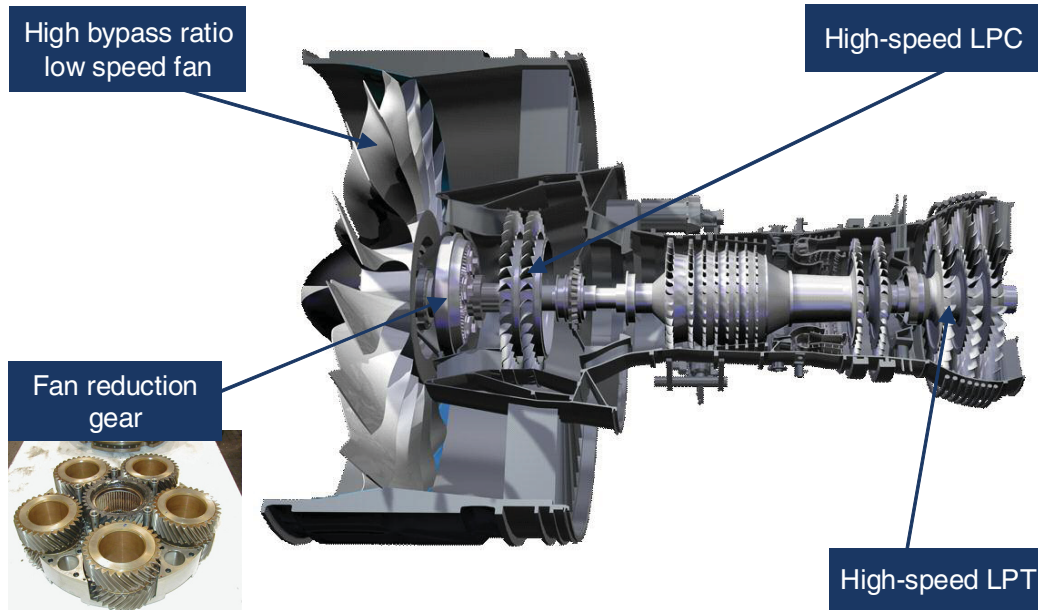


BILD 1. Konzept des Geared Turbo Fan (GTF) Triebwerks

Das Geared Turbo Fan-Konzept ermöglicht eine deutliche Reduzierung der Emissionen. Der Treibstoffverbrauch sinkt um ca. 15% und die Lärmemissionen um ca. 26 dB (kumuliert) verglichen mit dem Stand aus dem Jahr 2000.

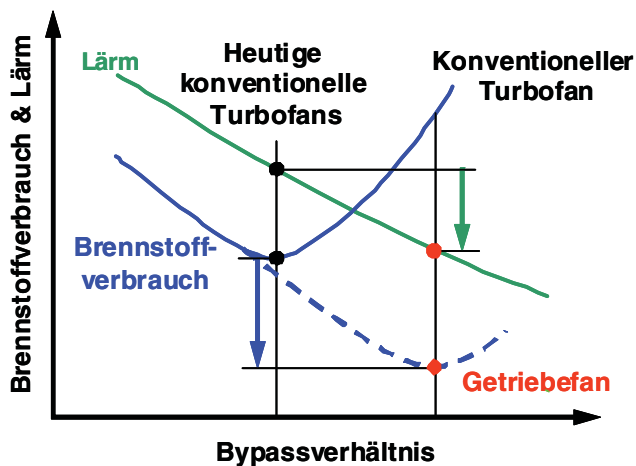


BILD 2. Reduktion Lärm und Verbrauch

Für die Reduzierung der Emissionen ist vor allem das große Bypassverhältnis, bei geringer Spitzengeschwindigkeit der Fan-Schaufeln, in Verbindung mit einer höchst effizienten, schnelllaufenden Niederdruckturbine verantwortlich.

Das Geared Turbo Fan Konzept wird bei folgenden Flugzeugtypen zum Einsatz kommen: Mitsubishi - MRJ; Bombardier - CSeries; Irkut - MC-21; Airbus - A320 NEO und wäre auch für die Nachfolgetypen der 737 und der A320 Familie geeignet.



Mitsubishi
MRJ



Bombardier
CSeries



Irkut
MC-21



Airbus
A320 NEO

BILD 3. Flugzeugtypen mit GTF Triebwerken

Das auf Leichtbau ausgerichtete Design mit einem Spannotorkonzept für den Hochdruckverdichter, das bis auf eine Stufe in Bliskbauweise gefertigt wird, und die schnelllaufende Niederdruckturbine mit sehr hoch belasteten Scheiben und Laufschaufeln, stellen die Fertigungstechnik der MTU Aero Engines vor neue Herausforderungen, besonders in den Bereichen Bliskfertigung,

Scheibenbearbeitung für die schnelllaufende Niederdruck-turbine und funktionsoptimierte Leichtbauteile. Beispielfall sollen aus dem Bereich der Blisk- und Scheibenfertigung ein induktives Fügeverfahren für Bliskschaufeln, die Möglichkeiten für eine Tiefenverfestigung hoch belasteter Bereiche und deren zerstörungsfreier Nachweis, für die schnelllaufenden Turbinenscheiben soll die Räumtechnologie und das maschinelle Verrunden der Räumnuten, sowie das Schleifen dünnwandiger Strukturbauteilen mit neu entwickelten innengekühlten Schleifscheiben vorgestellt werden.

2. IHFP BLISKFERTIGUNG UND REPAIR

Um Verdichterblicken mittlerer Größe wirtschaftlich herstellen und reparieren zu können, wird bei der MTU Aero Engines das IHFP-Verfahren entwickelt. IHFP steht hierbei für Induktives Hochfrequenz Pressschweißen.

2.1. IHFP - Verfahren

Verfahrensschritte:

- Zwei Fügepartner werden in einem definierten Abstand, dem sogenannten „Fügespalt“, voneinander befestigt
- Eine wassergekühlte Spule wird auf Höhe des Fügespalts positioniert
- Hochfrequenter Wechselstrom wird an die Spule angelegt und erzeugt dabei ein magnetisches Wechselfeld.
- Dieses Magnetfeld induziert in der Oberfläche der Fügepartner einen Strom, der zur schnellen Erwärmung - bis nahe an den Schmelzpunkt - führt.
- Mit dem Zusammenpressen der beiden Fügepartner werden diese warmverschmiedet.

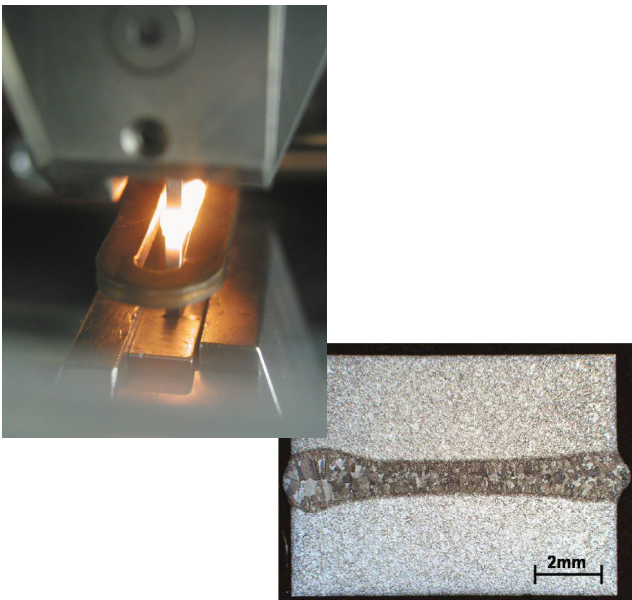


BILD 4. IHFP – Fügevorgang / Fügezone im Schliffbild (IN718)

Die Vorteile bei IHFP-gefügt Blissen sind:

- Geringe Fügekräfte im Vergleich zum linearen Reibschweißen
- Deutlich reduzierter Materialeinsatz gegenüber Fräsen aus dem Vollen
- Duale Blissen mit optimierten Materialeigenschaften für Schaufel und Scheibe möglich
- Schaufeltausch ist möglich
- nur eindimensionale Fügebewegung mit eingeschränkten Fertigungstoleranzen

2.2. IHFP – Stand der Entwicklung

Die Verfahrensentwicklung beim IHFP hat einen Stand erreicht, so dass Schweißquerschnitte bis zu 440 mm² bei dem Werkstoff Ti64 und 350 mm² bei dem Werkstoff IN718 sicher verschweißt werden können. Das nachfolgende Bild zeigt eine gefügte Titan-Blisk im partiell endbearbeiteten Zustand.



BILD 5. IHFP gefügte Blisk – im linken Bereich im Endbearbeitungszustand –Fügequerschnitt 440 mm²

Um die Qualität der Fügezone vollflächig prüfen zu können, wurden Proben mit vollem Fügequerschnitt von 440mm², aber mit symmetrischer Kontur entwickelt, gefertigt und bei der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM) in Berlin geprüft.

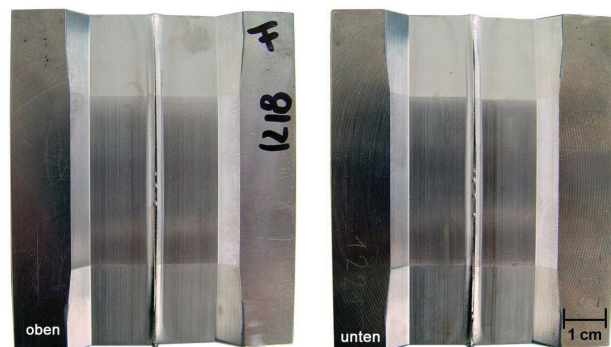


BILD 6. Vollquerschnittsproben mit IHFP gefügt

Die statische und dynamische Prüfung bei der BAM ergaben nur Brüche außerhalb der Fügezone, so dass die Füügequalität mit „besser als der Grundwerkstoff“ eingestuft werden kann.

Die Vorgehensweise bei der Bliskreparatur durch Schaufeltausch (mittlere Schaufelgröße) ähnelt beim Fügen sehr dem Neuteilprozess.

Für Titan- und Nickel-Werkstoffe wurden entsprechende Versuche durchgeführt und durch Proben verifiziert.

Mit dem IHFP-Verfahren steht jetzt ein Verfahren zur Verfügung mit dem Blisken mit mittlerer Schaufelblattgröße materialschonend, belastungsoptimiert und wirtschaftlich hergestellt und durch Schaufeltausch repariert werden können. Die derzeitige Entwicklung lässt auch ein IHFP-Fügen wesentlich größerer Querschnitte sehr wahrscheinlich erscheinen.

3. FESTWALZEN

Das Streben nach leichterem Design führt zu steigenden Belastungen der immer dünnwandigeren Bauteile, die zudem meist noch verschärfte Randbedingungen wie Temperaturerhöhungen oder erhöhte Schwinganregungen ertragen müssen.

Festwalzen ist eine sehr effektive Methode um hier die Lebensdauer anzuheben. Das Festwalzen bewirkt eine Glättung, erzeugt Druckeigenspannung in oberflächennahen Bereichen und führt zu einer Kaltverfestigung.

3.1. Festwalzen - Verfahrensprinzip

Beim Festwalzen wird eine Kugel oder Rolle hydraulisch mit solcher Kraft auf die Oberfläche gedrückt, dass die Fließgrenze im Randzonenbereich überschritten wird. Es kommt im Randzonenbereich zu einer elastisch-plastischen Umformung. Das Walzwerkzeug wird in Bahnen - mit einer gewissen Überdeckung der Spuren – systematisch über den zu verfestigenden Bereich geführt.

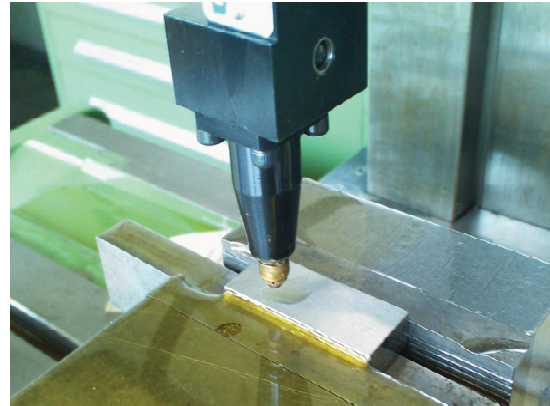


BILD 8. Festwalzen von Proben mit einem Ecoroll-Werkzeug

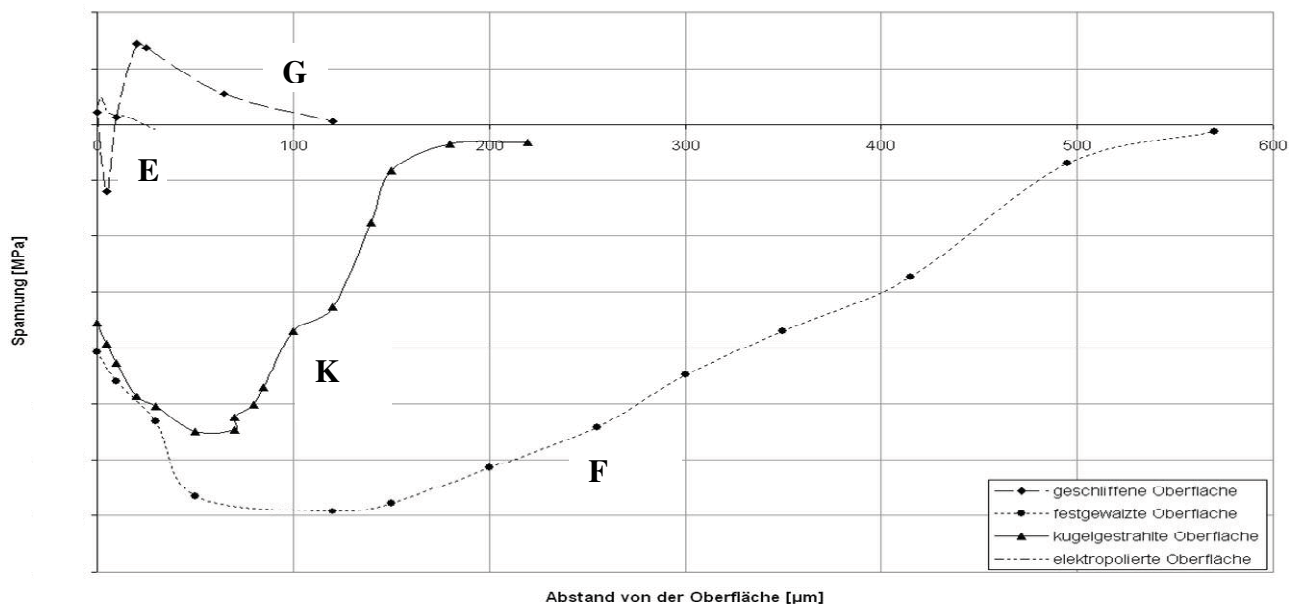


BILD 7. Vergleich der Eigenspannungstiefenprofile von elektropolierten Proben (E),

geschliffenen Proben (G), kugelgestrahlten Proben (K) festgewalzten Proben (F). Werkstoff: Ni-Legierung

Durch die plastische Randzonenverformung werden Druckeigenspannungen induziert, die Versetzungsdichte angehoben und die Oberfläche eingeebnet. Die Kombination dieser drei Effekte führt zu einer erhöhten Lebensdauer bei Schwingbelastung und zu einer verringerten Kerbempfindlichkeit.

Das Festwalzen hat folgende Vorteile gegenüber dem Strahlen:

- Das Strahlen ist ein statistischer Prozess, während das Festwalzen auf einer geeigneten CNC-Maschine ein deterministischer Prozess ist, der sowohl in der Geometrie als auch der Intensität programmäßig eingestellt werden kann.
- Die maximale Tiefenwirkung übertrifft das Kugelstrahlen weit.
- Die Abbaugeschwindigkeit der Verfestigungswirkung ist unter Temperatureinfluss deutlich geringer als beim Kugelstrahlen.
- Die Oberflächengüte ist wesentlich besser als nach dem Kugelstrahlen. Beim Festwalzen sind Rz-Werte $\leq 1\mu\text{m}$ zu erreichen, während die gestrahlten Oberflächen größer Rz $10\mu\text{m}$ erreichen können.

4. ZERSTÖRUNGSFREIER NACHWEIS VON EIGENSpannungen (ES)

Um die Eigenspannungstiefenprofile bestimmen zu können gibt es mehrere Verfahren. Meist wird hierfür die röntgenografische Methode mit einem Goniometer oder die Bohrlochmethode angewendet. Um ein Tiefenprofil zu gewinnen wird die Oberfläche an der Messstelle zerstört – bei der Bohrlochmethode durch einen mechanischen Bohrprozess, während bei der röntgenografischen Methode durch einen elektrochemischen Ätzprozess - vor jedem Tiefenschritt - die Oberfläche lokal abgetragen wird. Zerstörungsfrei Tiefenprofile kann man auch mittels hochenergetischer Röntgenstrahlung oder mit Neutronenstrahlung ermitteln, jedoch ist hierfür ein sehr hoher Aufwand notwendig.

4.1. Verfahrensprinzip

Ein neuer Ansatz für die zerstörungsfreie Bestimmung von Tiefenprofilen wurde durch die Nutzung von Rayleighwellen im Ultraschallbereich ermöglicht.

Es wurde ein Ultraschallgoniometer entwickelt. Mit diesem wurden verfestigte Werkstoffproben aus IN718 und Ti6246 vermessen und das frequenzabhängige Verhalten der Rayleighwellen-Schallgeschwindigkeit bestimmt.

Mit einem einfachen Ansatz über den Zusammenhang Schallgeschwindigkeit zu Eigenspannungen konnte erstmals ein Tiefenprofil bestimmt werden (s. BILD 9).

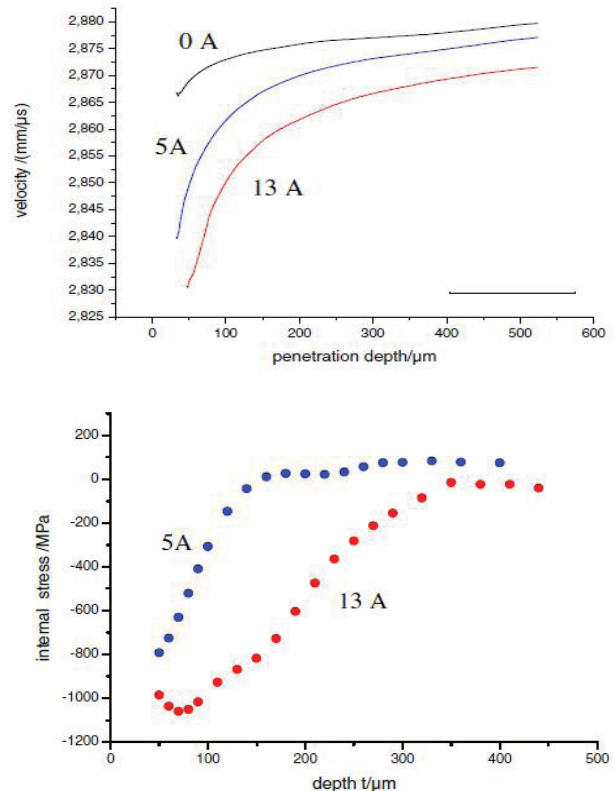


BILD 9. Rückgerechnete Rayleighwellen-Schallgeschwindigkeit als Funktion der Tiefe unterhalb der Oberfläche (oben) berechneter Eigenspannungstiefenverlauf für unterschiedlich verfestigte Proben aus IN718 (unten) ungestrahlt (0 A), schwach gestrahlt (5 A), stark gestrahlt (13 A) (A = Almenintensität)

Das so berechnete Tiefenprofil stimmt qualitativ gut mit dem zerstörend, mittels Bohrlochmethode ermittelten Profil überein.

4.2. Entwicklung eines Demonstrators

Ein Ultraschall-Goniometer HUGO 2 (hochauflösendes Ultraschall-Goniometer) wurde entwickelt und in einen 3-Achs-Ultraschall-Scansystem integriert.

Mit einem dazu entwickelten Softwareprogramm können winkelabhängige Schallgeschwindigkeits-Dispersions-Messungen durchgeführt werden.

4.3. Potential der zerstörungsfreien Bestimmung von ES

Das Potential dieser zerstörungsfreien Bestimmung von Eigenspannungen liegt in der Auslegung von kritischen Teilen. Bisher konnten Druckeigenschaften mit ihren positiven Einflüssen auf die Bauteillebensdauer in der Auslegung nicht berücksichtigt werden, da der Nachweis am Bauteil in der Regel nur zerstörend erfolgen konnte. Wenn die Qualifizierung dieser neuen Messmethode

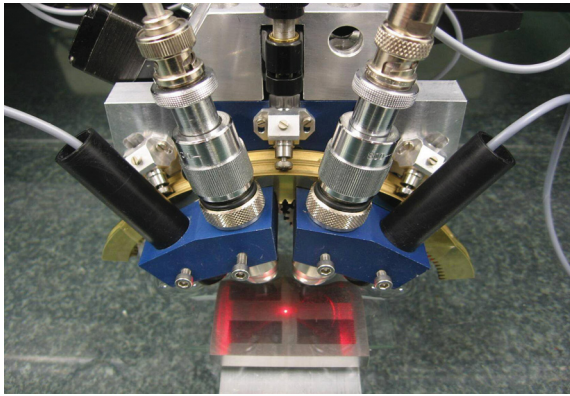


BILD 10. Ultraschallgoniometer zur Bestimmung des frequenzabhängigen Verhaltens von Raleighwellen

erfolgreich abgeschlossen wird, ist es möglich die Spannungsverläufe an neuen und gelaufenen Bauteilen zerstörungsfrei zu bestimmen und damit eine der Hürden für die Berücksichtigung des Eigenspannungszustandes in der Auslegung zu beseitigen.

Wenn die Eigenspannungen in der Auslegung berücksichtigt werden könnten, ließen sich die Scheiben noch dünnwandiger und damit leichter gestalten.

5. RÄUMEN VON TURBINENSCHIEBEN AUS DEM WERKSTOFF DA718

Die schnelllaufenden Niederdruckturbinen führen zu hohen Fliehkraftbelastungen bei den Scheiben und Laufschaufeln. Deshalb werden die Scheiben beim GTF aus dem hochwarmfesten Material DA718 gefertigt. Dieses Material ist eine Variante des bekannten Scheibenwerkstoffes IN718 mit höherer Festigkeit. Diese höhere Festigkeit erschwert die mechanische Bearbeitung deutlich. Besonders beim Räumen wuchs der Verschleiß deutlich gegenüber dem konventionellen IN718 an. Um hier mit sehr hoher Qualität wirtschaftlich fertigen zu können, wurde ein Entwicklungsprogramm zum Räumen aufgesetzt.

5.1. Verfahrensprinzip und Entwicklungsziel

Aufgrund der komplexen Geometrien von Räumnuten in Turbinenscheiben werden auch heute noch vorwiegend Werkzeuge aus Schnellarbeitsstahl eingesetzt.

Die Räumerwerkzeuge werden aus Einzeldetails zu einem Räumerwerkzeugsatz zusammen gebaut.

Jedes Detail räumt ein definiertes Geometrieelement einer Räumnut.

Die Schnittgeschwindigkeiten liegen bei Nickelbasislegierungen zwischen 2 und 4 m/min.

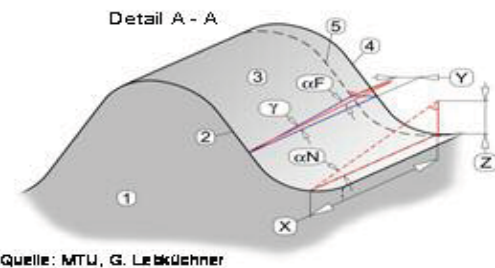
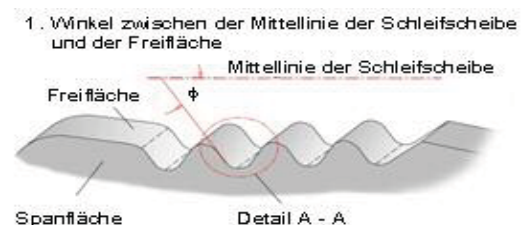


BILD 11. Räumerwerkzeugsatz für eine Scheibennut

In einem Entwicklungsprogramm werden Grundlagenversuche zum Räumen am WZL in Aachen durchgeführt. Schwerpunkte sind:

1. Verbesserung des Schleifprozesses beim Herstellen des Freiwinkels – dreifach Hinterschliff
2. Ermittlung der Bearbeitungskräfte
3. Ersatz Vorräumen durch Nutenfräsen

Für Profildetails ist der Freiwinkel an den Flanken der begrenzende Faktor für den Nachschliff. Konventionell geschliffene Profilräumerwerkzeuge haben keinen konstanten Freiwinkel entlang des Profils. Dies führt zu einem unregelmäßigen Freiflächenverschleiß entlang des Profils. Es wird angenommen, dass ein konstanter Freiwinkel einen konstanten Freiflächenverschleiß mit sich bringt. Um einen konstanten Freiwinkel entlang der Schneide zu realisieren, muss die Schleifscheibe eine 3D-Bewegung im Raum durchführen. Bild 12. zeigt die Variablen und ihre Zusammenhänge, die für die 3D-Bewegung der Schleifscheibe Bedingung sind.



Quelle: MTU, G. Lebkühner

BILD 12. 3D- Schleifen des Freiwinkels

Diese Schleiftechnologie ist eine sehr große Herausforderung an die Schleiftechnik bei Räumerwerkzeugen.

5.2. Ermittlung von Bearbeitungskräften beim Räumen

Um zukünftig die Räumwerkzeuggeometrien und Bearbeitungsparameter an die spezifischen Anforderungen durch Geometrie und Material optimal anpassen zu können, werden in einem Grundlagenprogramm am WZL in Aachen die Einflüsse der Zahngeometrie (Spanwinkel und Zahnsprung) und der Schnittgeschwindigkeit auf die Zerspankraftkomponenten (Aktivkraft (k_a), spezifische Schnittkraft (k_c) und die Schnittnormalkraft (k_{cN}) bestimmt.

Ziel ist eine möglichst geringe Beeinflussung der Randzone der Räumnut und eine hohe Standzeit der Räumwerkzeuge.

5.3. Hochgeschwindigkeitsfräsen statt Vorräumen

Um bei tiefen Räumnuten die Prozesseffizienz weiter steigern zu können, wurde das Hochgeschwindigkeitsfräsen mit Wisker-Keramik Fräsern untersucht.

Bei pulvermetallurgisch hergestellten Scheiben war die Standzeit der Fräser auf ca. 4 Nuten beschränkt, während man bei IN 718 die Schnittleistung auf 35 Nuten steigern konnte.

Ein wesentlicher Einfluss auf die Standzeit der Fräser hat die Schneidkantenverrundung. Sie verhindert das frühe Ausbrechen der Schneiden. Der Verrundungsradius liegt zwischen 10 und 20 μm .



BILD 13. Fräser zum Auskammern der Nuten

Das Vorfräsen als Ersatz des Vorräumens ist, in Abhängigkeit von der Geometrie der Räumnut, eine wirtschaftlich interessante Alternative.

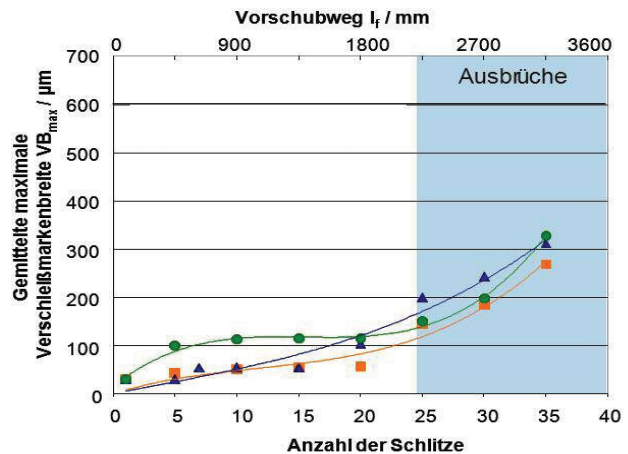


BILD 14. Standwege beim Vorfräsen von Räumprofilen in IN718

6. AUTOMATISCHES VERRUNDEN (RÄUMPROFILE)

Die Festigkeit von geräumten Profilen und von Konturen, die durch eine mechanische Bearbeitung hergestellt werden, hängt auch entscheidend von der Bearbeitung der Kanten ab.

In der Vergangenheit wurden die Kanten vorwiegend durch manuelles Verrunden in einen zeichnungsgerechten Zustand gebracht. Manuelles Verrunden hat den Nachteil, dass die Reproduzierbarkeit nicht so hoch ist wie bei automatisierten, mechanisierten Prozessen. Deshalb werden viele Anstrengungen unternommen, die Übergänge und Kanten von hoch belasteten Bauteilen – wie sie z. B. NDT-Scheiben aus den schnelllaufenden Niederdruckturbinen darstellen – durch automatisierte Prozesse zu verrunden.

6.1. Verrundungsverfahren

Für das automatische, maschinelle Verrunden gibt es verschiedene Ansätze:

- Strömungsschleifen
- Gleitschleifen
- elektrochemisch Verrunden
- Verrunden durch maschinelles Brechen der Kante und verrunden durch einen Bürstprozess
- Verrunden mit dem Roboter durch Kantenfasettieren

6.2. Verrunden mit einem robotergeführten Hochgeschwindigkeitsfräsen

Wegen der hohen Flexibilität des robotergestützten Verrundungsprozesses wurde die Entscheidung getroffen, diese Prozesskette zur Anwendungsreife für das Verrunden von Kanten an Turbinenscheiben zu entwickeln.

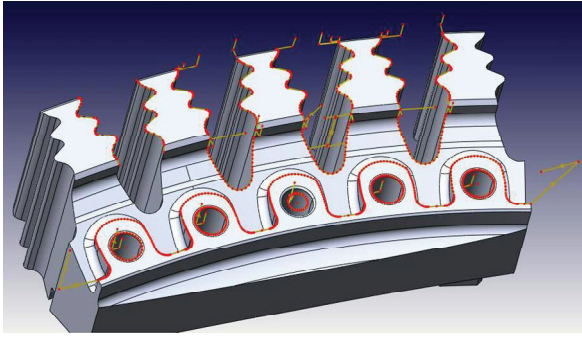


BILD 15. Beispiel für eine zu verrundende Kontur einer Turbinenscheibe mit Räumnuten (rot)

Für die Testbearbeitungen wurde ein Roboter mit einer auslenkbaren, pneumatischen Arbeitsspindel ausgerüstet. In den Tests wurde die grundsätzliche Eignung solcher Arbeitsspindeln festgestellt. Es ist somit möglich Kanten zu bearbeiten, deren Lage aufgrund von Fertigungstoleranzen stärker schwankt als die geforderte Toleranz der Bauteilkante.



BILD 16. pneumatisch gelagerte Frässpindel zum maschinellen Kantenverrunden auf einen Roboter montiert

Beim Einsatz der verschiedenen Fräswerkzeuge konnte festgestellt werden, dass Fräser mit im Drall verlaufenden Schneiden bessere Ergebnisse liefern als gerade verzahnte Werkzeuge. In Abhängigkeit der Gegebenheiten am Bauteil und der geforderten Ergebnisse bei den Bau-

teilkanten sind bei 20.000 min⁻¹ Wz-Drehzahl Vorschubgeschwindigkeiten bis 50 mm/s möglich. Der Zerspanprozess ist dabei nicht mehr mit der klassischen Fräzerspannung vergleichbar.

Diese Ansätze zum automatisierten Kantenverrunden sollen bevorzugt beim Verrunden von Übergängen und Kanten bei Turbinenscheiben eingesetzt werden, aber auch bei Gehäusen und anderen 3D-Bauteilen mit komplexer Geometrie. Dies führt zu einer deutlichen Verbesserung der Reproduzierbarkeit der Kanten geometrie.

7. SCHLEIFEN DÜNNWANDIGER STRUKTURBAUTEILE MIT NEU ENTWICKELTEN INNENGEKÜHLTEN SCHLEIFSCHEIBEN

Bei dünnwandigen Strukturbauteilen besteht beim Schleifen die Gefahr, dass die Restwandstärke die Schleifwärme nicht mehr ausreichend abführen kann und es zu lokalen Überhitzungen und Bauteilschädigungen kommt. Besonders kritisch ist das Schleifen von Nuten. Hier ist es sehr schwer mit konventioneller Überflutungskühlung die Wärme aus der Schleifzone durch den Kühlschmierstoff abzuführen. Des Weiteren ist es beim 6-achsigen Schleifen sehr aufwändig, die Kühldüsen im Raum nachzuführen.

7.1. Innengekühlte Schleifscheiben

Um die Wärme aus dünnwandigen Bauteilen effektiv abführen zu können, wurden innengekühlte Schleifscheiben in Zusammenarbeit mit einem Schleifscheibenhersteller entwickelt, da die geeigneten Scheiben am Markt nicht zu Verfügung standen.

Für das Schleifscheibendesign war die MTU Aero Engines zuständig, für die Sicherheitstests und die Belegung mit galvanisch gebundenen CBN-Körnern ein Schleifscheibenhersteller.



BILD 17. Innengekühlte Schleifscheibe – Spritzprobe zeigt einen im Eingriffsbereich konzentriert austretenden Kühlmittelstrahl (heller Bereich)

Die innengekühlten Scheiben haben sich in Versuchen bewährt und konnten beim Schleifen der heißrisempfind-

lichen Gussmaterialien eine lokale Überhitzung wirkungsvoll vermeiden.

Die Scheibengrundkörper mit ihren inneren Hohlräumen können mittels Rapid Manufacturing (RM) direkt in Metall hergestellt werden. Dabei wird der Grundkörper Lage für Lage durch Lasersintern generativ im Pulverbett aufgebaut.

Bei optimiertem Design ist die RM-Methode die effizienteste und kostengünstigste Herstellroute für diesen Schleifscheibengrundkörper.

8. NEUE BLISKFERTIGUNG FÜR DEN GEARED TURBO FAN

Das Konzept des Geared Turbo Fan ist eine Möglichkeit um effizient den Verbrauch und die Emissionen von Flugzeugen zu senken. Diese Verbesserungen im Triebwerksbereich führen zu einem lebhaften Interesse des Marktes an diesen neuen Triebwerken.

Um diesen prognostizierten hohen Bedarf an Triebwerken und die hieraus für MTU Aero Engines abgeleiteten Stückzahlen für die Bliskfertigung (600 Stück im Jahre 2011 → 3000 Stück im Jahre 2020) abdecken zu können, plant die MTU den Neubau einer Bliskfertigungshalle.

In dieser neuen Bliskfertigung soll eine verkettete Fertigung aufgebaut werden. Dabei fließen viele der in den letzten Jahren entwickelten und verbesserten Fertigungstechniken ein.



BILD 18. Erster Spatenstich für die neue Bliskfertigungshalle am 26.07.2011 bei der MTU Aero Engines in München