

Tagung
Werkstoffprüfung 2022

Flexible Nutzung eines Mehraxial-Prüfstandes bei der Untersuchung von Hochtemperatur- und Reibermüdung sowie des Reibverschleißes

Paul Hahn¹, Duo Pierangelo², Hartmut Schlums², Andreas Thomas¹

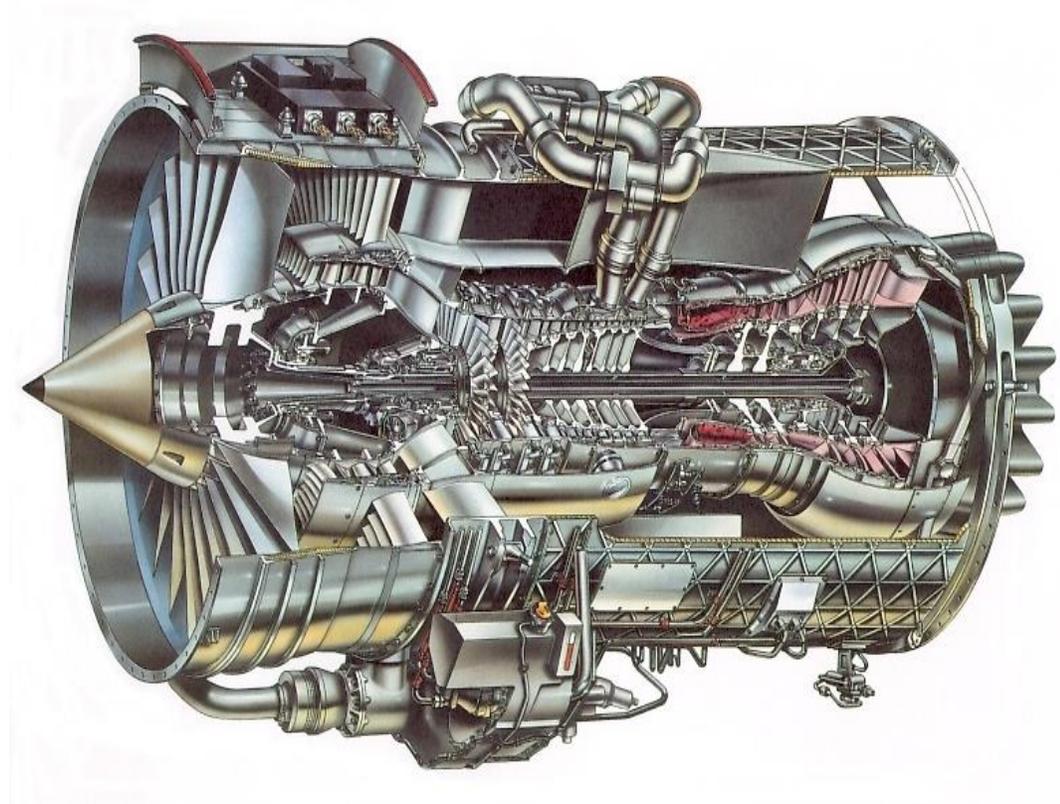
¹Siempelkamp Prüf- und Gutachtergesellschaft mbH, ²Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG

Dresden & online, 28.10.2022



Gliederung

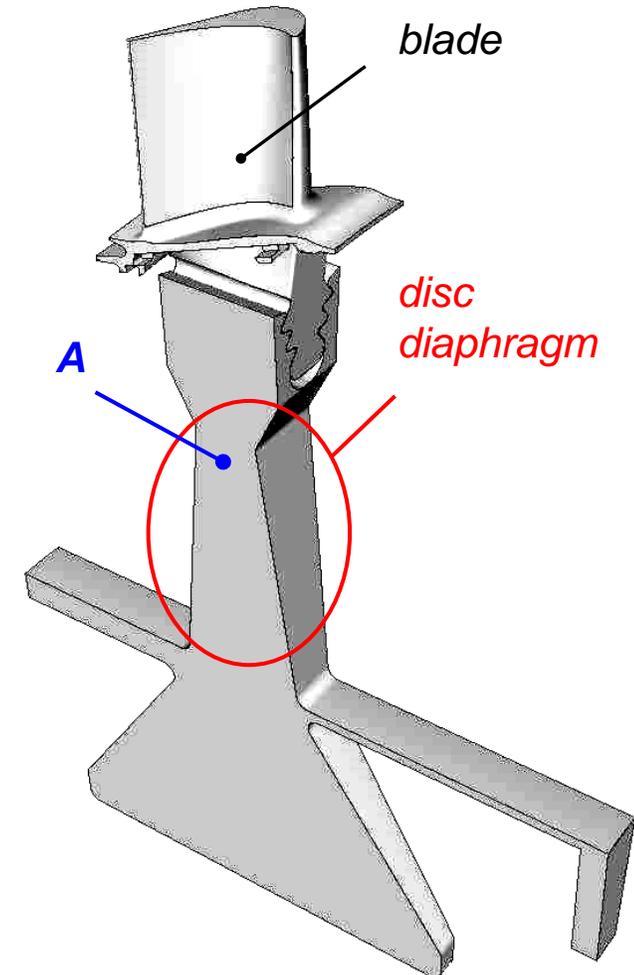
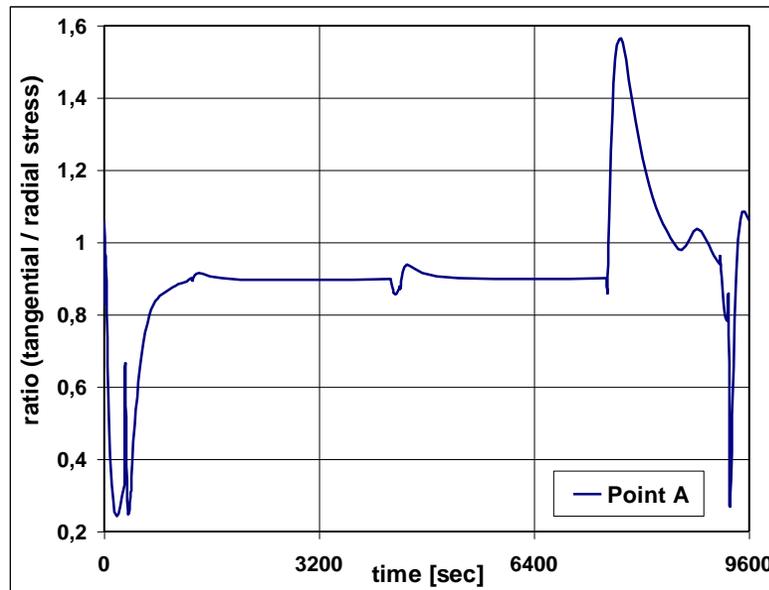
- Hochtemperaturermüdung
 - Motivation
 - Prüfaufbau und Versuchsprogramm
 - Ergebnisse
 - Zusammenfassung
- Reibermüdung und -verschleiß
 - Motivation
 - Prüfaufbau und Versuchsprogramm
 - Ergebnisse
 - Zusammenfassung
- Zusammenfassung



Hochtemperaturermüdung

- Motivation -

- Flugzeugtriebwerke unterliegen hohen Temperaturen und zyklischen Lastbedingungen im Betrieb
- In Turbinenscheiben treten thermomechanische Beanspruchungen mit multiaxialen (biaxialen) Lastzuständen auf

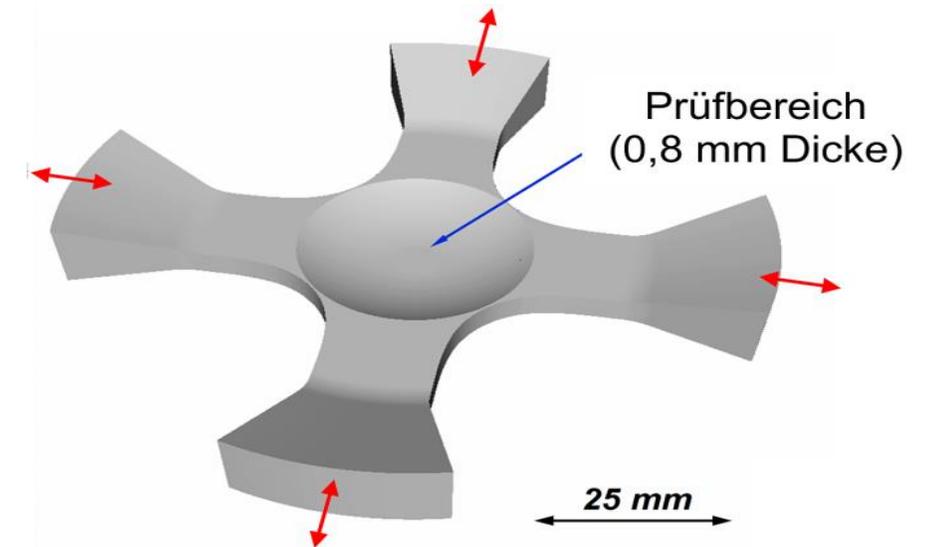
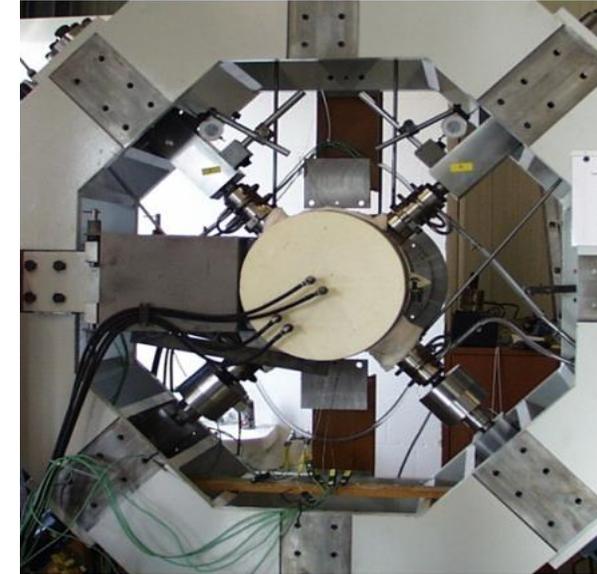


- Untersucher Werkstoff: Nickelbasislegierung Udimet720Li

Hochtemperaturermüdung

- Prüfaufbau und Versuchsprogramm -

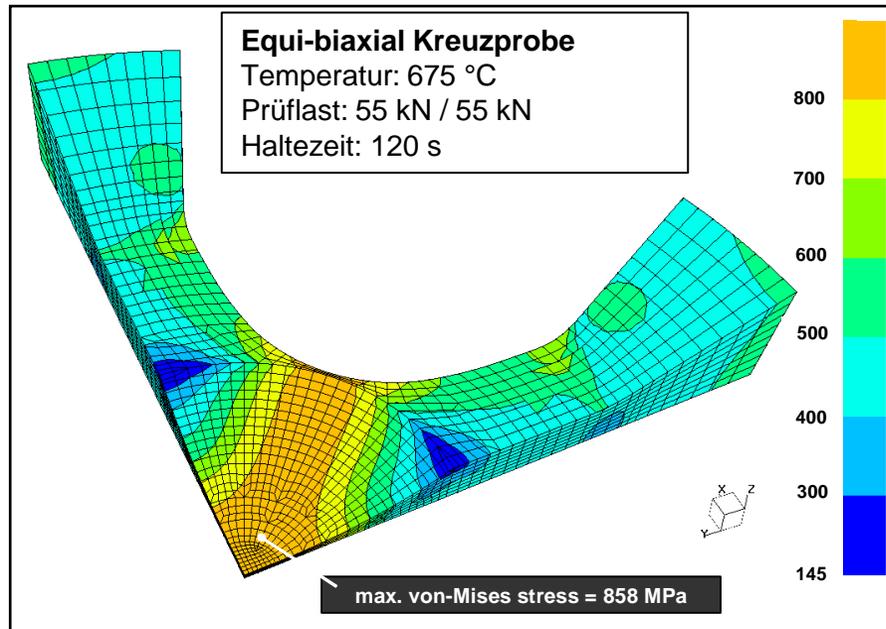
- Konstruktion und Aufbau eines Biaxial-Prüfstandes
- Hydraulikzylinder lassen sich in 45° Schritten anordnen
- Konvektionsofen für Hochtemperaturversuche
- Lastgeregelte Versuche mit um 90° versetzter Krafteinleitung
- 36 in-phase LCF-Versuche bei 650, 675 und 700 °C
- Lastverhältnisse zwischen den Achsen: 1, 0,75, 0,5 und 0,25
- Haltezeiten von 1 bzw. 120 s



Hochtemperaturermüdung

- Ergebnisse/Modellierungsansatz -

- Abbildung der Plastizität durch ein kinematisches Multilagen-Verfestigungsmodell (Mróz)
- Modellierung des Kriechanteils über hyperbolisches Kriechgesetz
- Lebensdauervorhersage bis Rissinitiierung über plastische Vergleichsdehnung an Stelle mit größter Mises-Vergleichsspannung (Parameter vorab an einachsigen LCF-Versuchen angepasst)
- Überlagerung von Kriechen und Ermüdung über Superpositionsprinzip (Miner-Regel)



$$N_{pred} = \left\{ \sum_{i=1}^{i=K} \left(\underbrace{\frac{1}{N_{fi}}}_{\text{Ermüden}} + \underbrace{\frac{t_D}{t_{rupt,i}}}_{\text{Kriechen}} \right) \right\}^{-1}$$

Hochtemperaturermüdung

- Zusammenfassung -

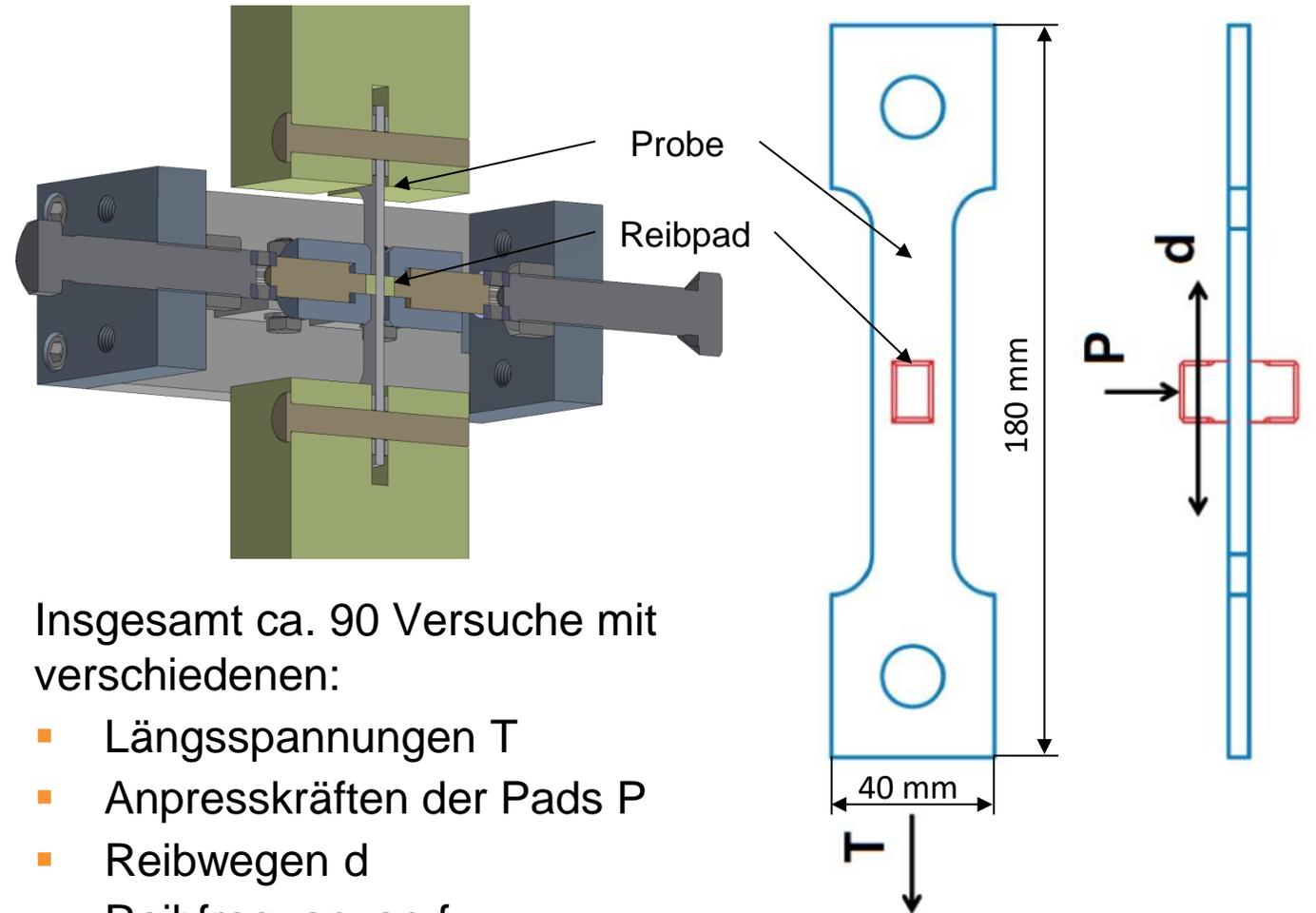
- Erfolgreicher Aufbau eines Mehraxial-Prüfstandes für Lastwechselfersuche auch bei erhöhten Temperaturen
- Durchführung eines umfangreichen Testprogramms mit LCF-Versuchen an Kreuzproben
- Entwicklung von Lebensdauermodellen mit hinreichender Genauigkeit

Gezeigte Ergebnisse wurden bereits in folgenden Veröffentlichung dargestellt:

- H. Schlums, W. Rothkegel, Á. Varga, A. Thomas: Lebensdauervorhersage von zweiachsig beanspruchten Kreuzproben der Nickelbasislegierung UDIMET720Li bei erhöhten Temperaturen. 39. Tagung des DVM-Arbeitskreises Bruchvorgänge, Dresden 2007
- H. Schlums, W. Rothkegel, Á. Varga, A. Thomas: Evaluation of Lifetime Prediction Methods for Multiaxial Fatigue on the Basis of Biaxial Testing of the Disc Alloy Udimet720Li at Elevated Temperatures. 6th Engineering Integrity Society International Conference on Durability and Fatigue, Cambridge UK 2007

Reibermüdung und -verschleiß

- Prüfaufbau und Versuchsprogramm -



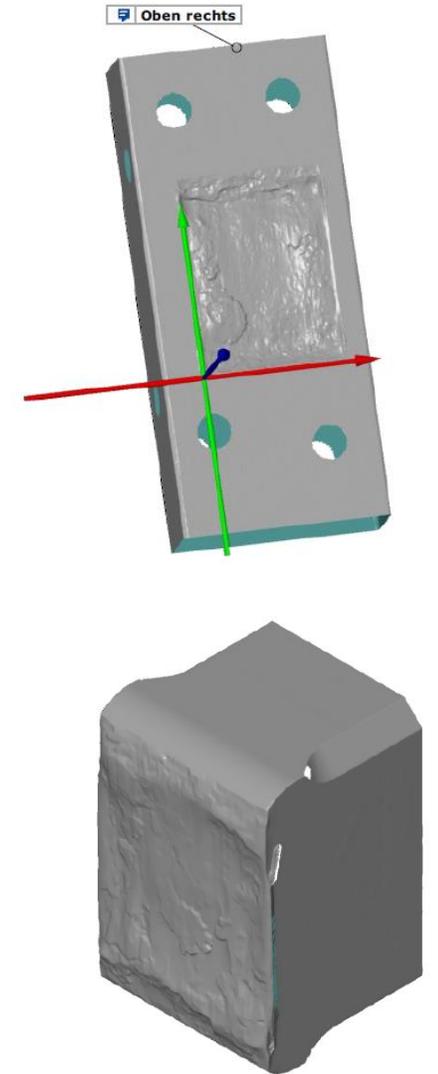
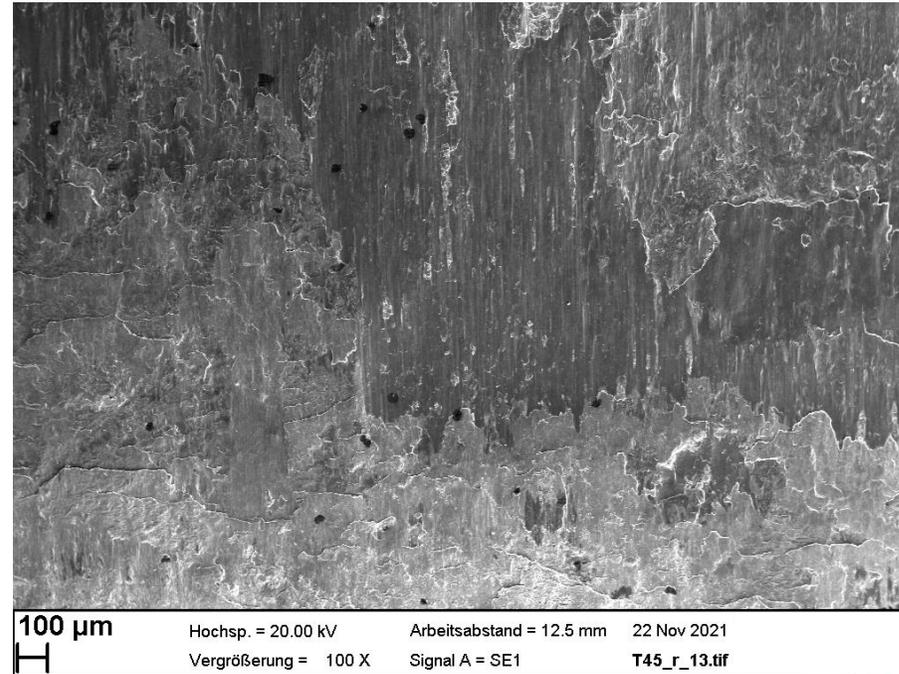
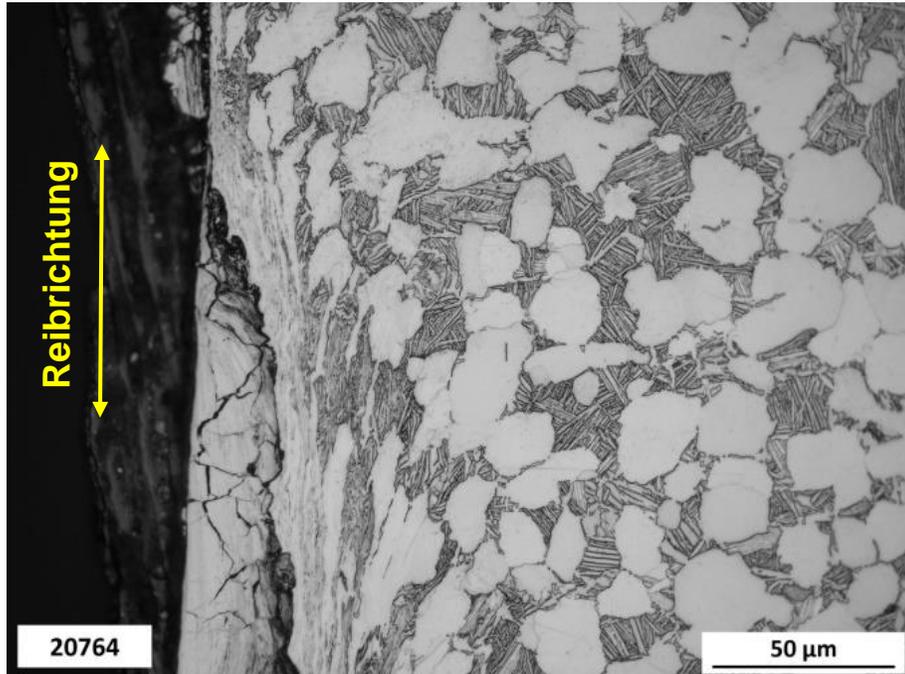
Insgesamt ca. 90 Versuche mit verschiedenen:

- Längsspannungen T
- Anpresskräften der Pads P
- Reibwegen d
- Reibfrequenzen f
- Zyklenzahlen

Reibermüdung und -verschleiß

- Ergebnisse III -

- 3D - Vermessung der Verschleißtopografie von Proben und Pads
- Metallografische und rasterelektronenmikroskopische Charakterisierung der Reibflächen



Reibermüdung und -verschleiß

- Zusammenfassung -

- Erfolgreicher Aufbau und Instrumentierung eines Reibverschleißprüfstandes
- Durchführung eines umfangreichen Testprogramms (ca. 90 Proben)
- Erwartete Korrelationen konnten für den Werkstoff Ti-6Al-4V bestätigt werden
- Verschleißtiefe und Masseverlust nehmen annähernd linear mit dem Verschleißweg zu
- In den untersuchten Grenzen erhöhen höhere Prüffrequenzen den Verschleiß
- Probenlängsspannungen haben keinen eindeutigen Effekt auf den Masseverlust oder Verschleißtopografie
- Experimentelle Grundlage für die Entwicklung und Optimierung von Modellen und Gesetzmäßigkeiten zur Charakterisierung des Reibverschleißverhaltens gelegt
- Untersuchung weiterer Werkstoffe (z.B. Nickelbasiswerkstoffe) wird angestrebt



Tagung
Werkstoffprüfung 2022

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Paul Hahn, paul.hahn@siempelkamp.com, 0351 82493-21

Dresden & online, 28.10.2022