

Entwicklung eines innovativen Bohrprozesses für die Bearbeitung von Titan/CFK Stack Werkstoffen

Technologietag Leichtbau 2025, 05.11.25, Fraunhofer ICT, Pfinztal

Felix Hartmann, M.Eng.

Entwicklung eines innovativen Bohrprozesses für die Bearbeitung von Titan/CFK Stack-Werkstoffen

Stack-Werkstoffe

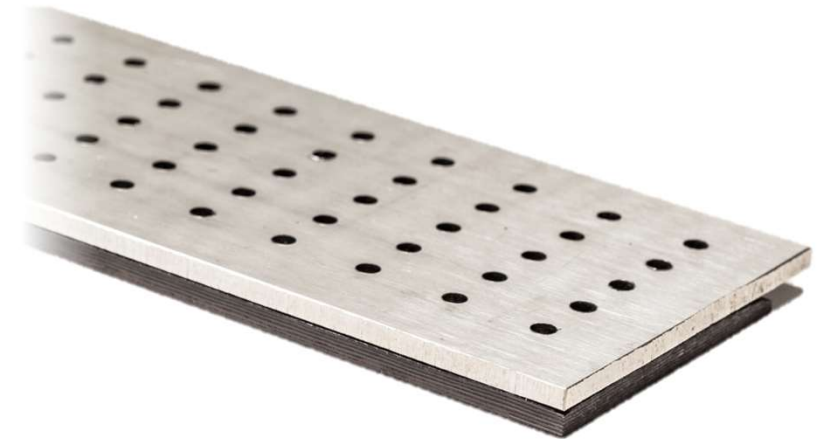
- Schichtweise Kombination aus mindestens zwei Werkstoffen i.d.R. faserverstärkter Kunststoff (FVK) und metallischer Werkstoff
- Typischer Einsatz in der Luftfahrtindustrie: Strukturell hochbelastete Bauteile wie Rumpf oder Flügelanbindung

Vorteile des Verbunds

- Höhere Biege-/Schlagfestigkeit z.B. durch Titan
- Komplexe, hochfeste Strukturen umsetzbar
- Metall ergänzt anisotropen FVK

Nachteile des Verbunds

- Mechanische Bearbeitung schwierig
- Fügen durch Kleben und/oder Nieten
- Einhaltung von Qualitätsanforderungen



Entwicklung eines innovativen Bohrprozesses für die Bearbeitung von Titan/CFK Stack Werkstoffen

Herausforderungen und Problemstellung

Zerspanverhalten der beiden Werkstoffe:

➤ Titan:

- Verschleißmechanismus: Adhäsion, tribochemischer Verschleiß
- Homogener Werkstoff: Späne (segmentiert, kompakt, lang)
- Hohe Zerspanntemperatur und höhere thermische Ausdehnung

➤ CFK:

- Verschleißmechanismus: Abrasion
- Inhomogener Werkstoff: Staub und Granulat
- Prozesswärme und thermische Ausdehnung gering

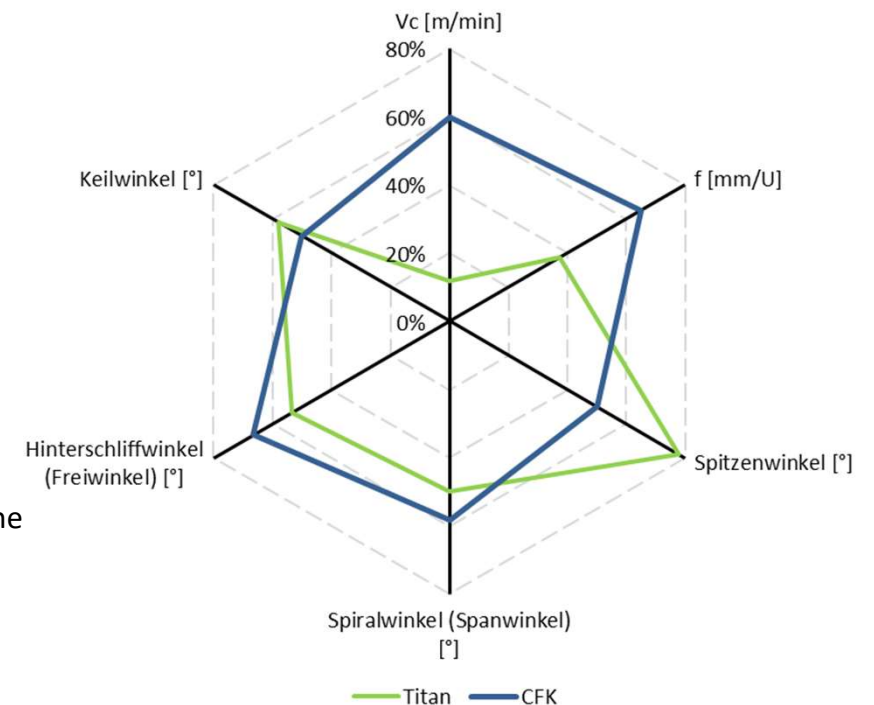
Bearbeitungsfehler:

- Andersartige Bearbeitungsfehler als bei isotropen Werkstoffen
- Unterliegende Laminatschichten: Delamination, Faserüberstände und Faserausbrüche

Zusammenfassend:

- Titan und CFK haben stark divergente Eigenschaften
- Unterschiedliche Prozessparameter für die Zerspanung empfohlen

Qualitative Gegenüberstellung der Prozess- und Werkzeuganforderungen

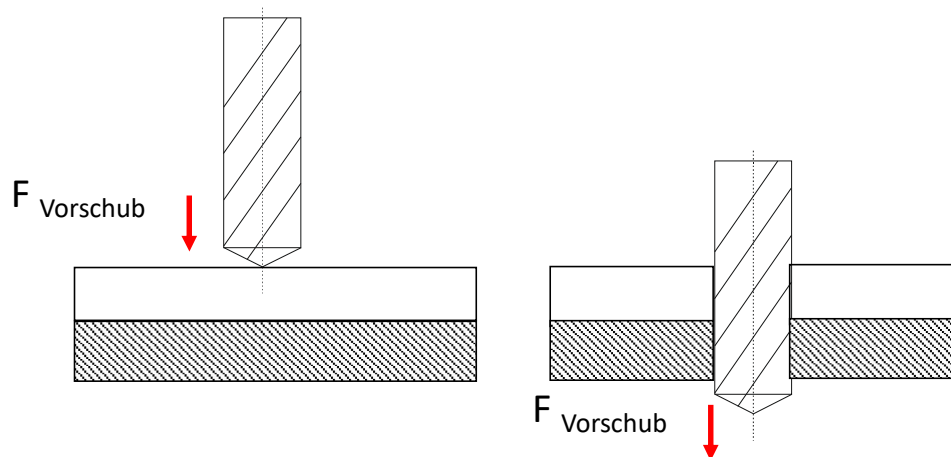


Entwicklung eines innovativen Bohrprozesses für die Bearbeitung von Titan/CFK Stack Werkstoffen

Konventioneller Bohrprozess – Innovativer Bohrprozess

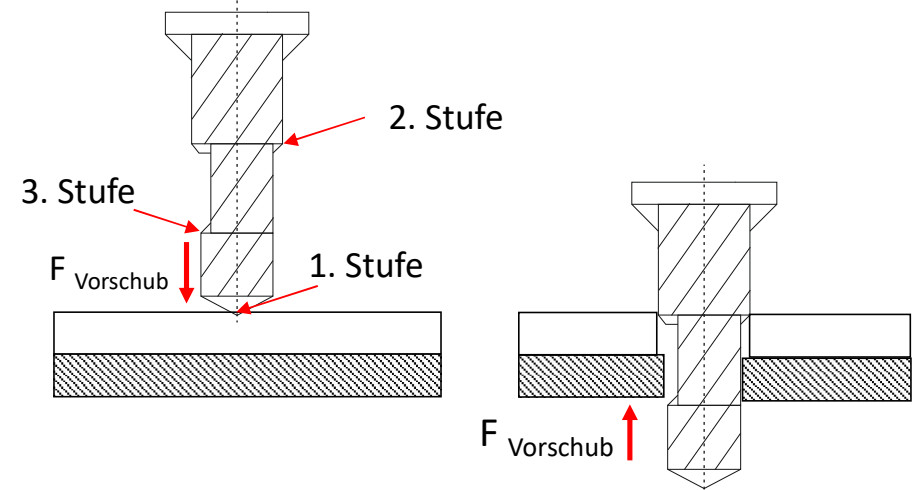
Konventioneller Bohrprozess:

- Stand der Technik: One-Shot-Bohrer
- Kompromissgeometrie zur Bearbeitung beider Werkstoffe
- Kräfte wirken hauptsächlich in Vorschubrichtung, daher:
 - Gratbildung (Metalle)
 - Push-out Delamination, Faserüberstände, Faserausbrüche (FVK)



Innovativer Bohrprozess:

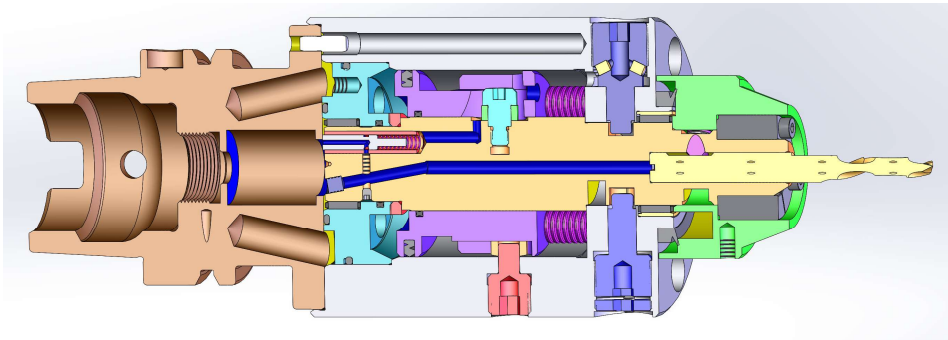
1. Vorbohrung von Titan und CFK
 2. Bohren von Titan auf Nennmaß
 3. Rückwärtiges Bohren von CFK auf Nennmaß
- Drei Bearbeitungsschritte → Spezifische Geometrieauslegung der einzelnen Werkzeugstufen



Entwicklung eines innovativen Bohrprozesses für die Bearbeitung von Titan/CFK Stack Werkstoffen

Umsetzung des Werkzeughalters und des Bohrwerkzeugs

- Funktionstest auf DMG MORI-Bearbeitungszentrum
- Steuerung der Auslenkkinematik
 - Exzentrische Auslenkung des Bohrwerkzeugs
 - Kein Drehrichtungswechsel der Spindel → Spindelseitiger Spanauswurf
 - Gesteuert durch interne Kühlmitteldruckstufen
 - Aktivierung über 24-V Maschinensteuersignale (M-Befehle)
- Bearbeitung mittels MMS mit max. 2,0 bar



1. Stufe: Bohrerspitze (Kompromissgeometrie)

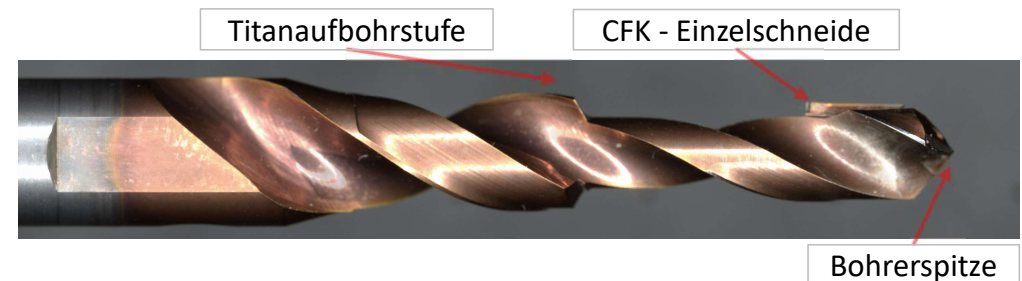
- Spitzenwinkel (120°)
- Pilotbohrung mit 5,5 mm Durchmesser

2. Stufe: Titanaufbohrstufe

- 6,35 mm (1/4 Zoll) Durchmesser in Titan
- Spitzenwinkel (140°)

3. Stufe: CFK-Einzelschneide

- Aufbohrung im Rückhub, 6,35 mm (1/4 Zoll) Durchmesser
- Im Durchmesser zurückgesetzt → Kein Kontakt mit der Bohrungswand während der Pilotbohrung



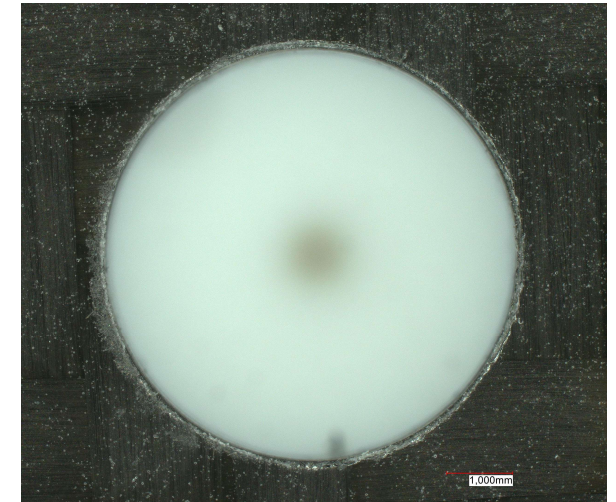
Entwicklung eines innovativen Bohrprozesses für die Bearbeitung von Titan/CFK Stack Werkstoffen

Analyse der Bearbeitungsqualität

- Primäre Betrachtung der Austrittseite der Bohrungen
- Unterschiedliche Geometrievarianten der CFK-Einzelschneide wurden untersucht
 - Spanwinkel mit 0° oder leicht positiv
 - Keine signifikanten Qualitätsunterschiede

Gegenüberstellung der Bearbeitungsqualität:

- Oben rechts: Innovativer Bohrprozess ↔ Unten rechts: Konventioneller Bohrprozess
- Innovativer Bohrprozess: Bearbeitungsqualität nach 50 Bohrungen
 - Marginale Bearbeitungsschädigungen (Faserüberstände durch Entgraten entfernbar)
- Konventioneller Bohrprozess
 - Deutliche Bearbeitungsschädigungen sichtbar (Negativbeispiel!)



Entwicklung eines innovativen Bohrprozesses für die Bearbeitung von Titan/CFK Stack Werkstoffen

Ausblick - Adaptive Prozesssteuerung

Bearbeitungsmaschine: Reichenbacher ECO-LT-2012

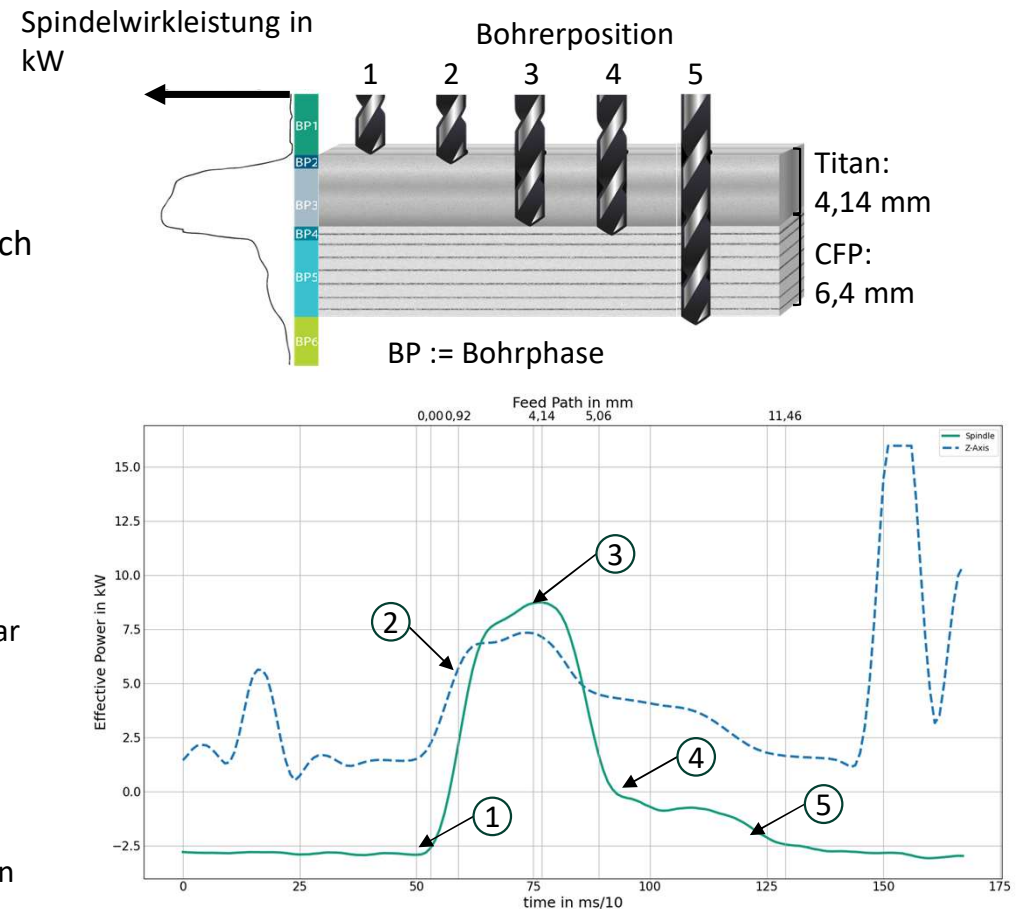
- Steuerung: Siemens Sinumerik 840D
- Adaptive Prozesssteuerung auf der DMG MORI HSC 70 nicht möglich
 - Eingreifen in aktiven Zyklus nicht möglich

Nordmann Wirkleistungsmodul

- Physikalische Grundlage sind Hall-Effekt-Stromsensoren
- Erkennt Grenzwertüberschreitungen (z. B. Leistungsabfälle)
- Messung der Spindelwirkleistung am sinnvollsten
 - Spindel-Wirkleistungsprofil spiegelt Bohrprozess deutlich wider
 - Andere Wirkleistungsprofile (z.B. Antriebsmotor Z-Achse) nicht verwertbar

Zusammenfassend:

- Kombination aus innovativem Bohrprozess und adaptiver Prozesssteuerung technisch umsetzbar
 - Voraussetzung: Geeignete CNC-Steuerung & steuerbare Druckmittelstufen



Kontakt

Felix Hartmann, M.Eng.
Bearbeitungstechnologien
Tel. +49 711 970-1557
felix.hartmann@ipa.fraunhofer.de

Fraunhofer IPA
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart
www.ipa.fraunhofer.de



Fraunhofer-Institut für Produktions-
technik und Automatisierung IPA