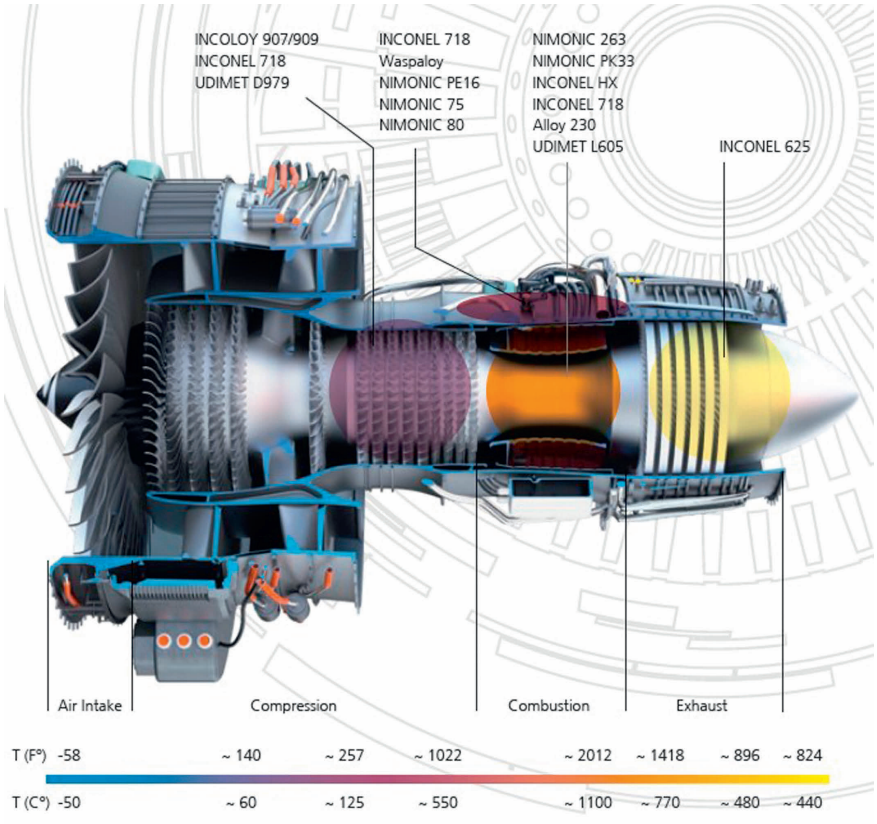
Keramikwerkzeuge in der Triebwerkfertigung

Highspeed-Cutting in HRSA

Die steigende Nachfrage nach Flugzeugen verlangt schnellere, effizientere Fertigungsprozesse – besonders in der Triebwerkproduktion. Keramische SiCw- und SiAlON- Schneidstoffe setzen dabei neue Maßstäbe in Produktivität, Standzeit und Prozesssicherheit.

von Johannes Schneider, Anja Allabar und Gert Richter



1 Darstellung einer Turbine im Querschnitt mit verschiedenen Temperaturzonen und der Verdeutlichung des Einsatzes verschiedener hochwarmfester HRSA-Werkstoffe

© Adobe Stock

Die Luftfahrtindustrie steht vor einem deutlichen Produktionsanstieg. In den kommenden zwanzig Jahren wird der Luftverkehr für Passagiere und Fracht erheblich zunehmen, wodurch der Bedarf an neuen Flugzeugen stark wächst. Gleichzeitig müssen bestehende Flotten aufgrund des Alters sukzessive ersetzt werden. Die aktuelle Marktprognose von Airbus geht bis zum Jahr 2044 von einem Bedarf von rund 43 400 neuen Flugzeugen aus. Bei einer heutigen weltweiten Jahresproduktion von etwa 2000 zivilen Flugzeugen und Lieferzeiten von bis zu fünf Jahren pro Flugzeug besteht die Notwendigkeit, Fertigungsprozesse weiter zu beschleunigen und eine Senkung der Durchlaufzeiten anzustreben. Diese Entwicklung spiegelt sich auch in den eingesetzten Bearbeitungs- und Fertigungstechnologien wider. Insbesondere der Werkzeugmaschinen- und Werkzeugtechnologie kommt hierbei eine Schlüsselrolle zu.

HRSA: Schlüsselwerkstoffe für Flugzeugtriebwerke

In der Luft- und Raumfahrt kommen aufgrund der hohen Anforderungen an Festigkeit, Temperaturbeständigkeit und Lebensdauer hitzebeständige Superlegierungen (Heat Resistant Super Alloys, HRSA) zum Einsatz. Diese besitzen einen hohen Nickelanteil und zeichnen sich durch eine außergewöhnliche Warmfestigkeit bei gleichzeitig hoher mechanischer Festigkeit sowie exzellente Korrosions- und Oxidationsbeständigkeit aus.

Typische Vertreter sind Inconel 713, Inconel 718 plus, Inconel 718, Inconel 706, Udimet 620, Waspalloy, Nimonic und Rene 65. Diese Werkstoffe werden überwiegend für Bauteile im Heißteil von Triebwerken eingesetzt – für Turbinenräder, Ringe, Blisken, Wellen, Umhausungen und Turbinenschaufeln. Bis zu 68 Prozent der Triebwerkskomponenten bestehen aus HRSA-Werkstoffen (Bild 1).

Produktive Zerspanung mit keramischen Schneidstoffen

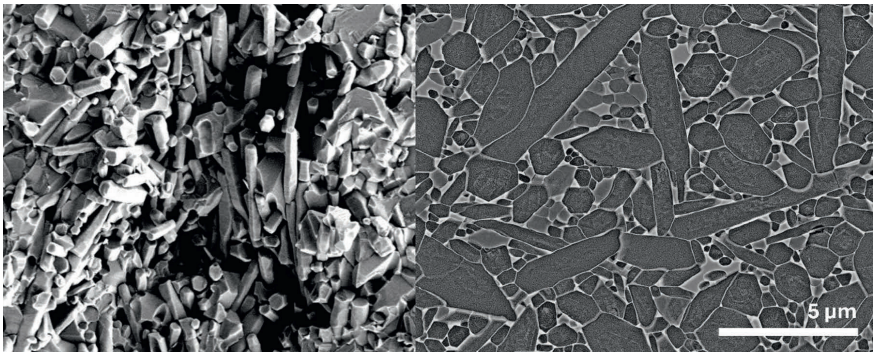
Die Zerspanung von HRSA-Werkstoffen stellt aufgrund ihrer Härte und Warmfestigkeit höchste Anforderungen an Präzisionswerkzeuge und Prozesse. Hier kommen keramische Schneidstoffe zum Einsatz, insbesondere bei Schrupp-Operationen und mittleren Bearbeitungen (FSM = First Stage Machining, ISM = Intermediate Stage Machining).

Zum Einsatz gelangen vor allem zwei Schneidstoffgruppen (Bild 2):

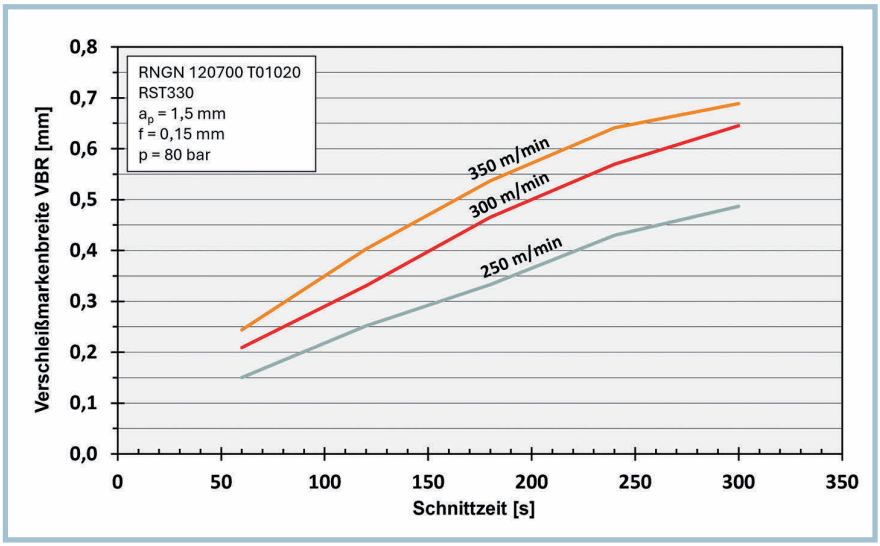
- SiCw-Keramiken – Siliziumkarbid-Whisker-verstärkte Oxidkeramiken
- SiAlON-Keramiken – Kombinationen aus α- und β-SiAlON-Phasen

Beide Schneidstoffe besitzen eine harte Matrix mit eingebetteten, stäbchen-

© Carl Hanser Verlag, München



2 Mikroskopische Aufnahme einer SiC-Whisker verstärkten Keramik (links) im Vergleich zu einem SiAlON (rechts) © CeramTec



3 Anstieg der Verschleißmarkenbreite VBR mit steigender Schnittgeschwindigkeit über die Schnittzeit beim Drehen von Inconel 718 mit SiCw-Keramik © CeramTec

förmigen Kristallen, die Rissbildung verhindern und Zugspannungen aufnehmen. Dadurch entsteht eine Kombination aus hoher Härte, Wärmeleitfähigkeit, Kantenstabilität und Zähigkeit. Während SiCw-Keramiken durch hohe Verschleißbeständigkeit überzeugen, bieten SiAlON-Schneidstoffe eine größere Bruchzähigkeit und lassen sich kostengünstiger herstellen. Die gezielte Variation der Phasenanteile ermöglicht eine Anpassung der Werkstoffeigenschaften an unterschiedliche Anwendungen.

Verschleißverhalten und Schneidengeometrien

Beim Schruppdrehen von HRSA-Werkstoffen überschneiden sich die Einsatzbereiche der beiden Keramiksorten. SiCw-Keramiken besitzen eine höhere Verschleißfestigkeit, Sialone ein günstigeres Bruchzähigkeitsverhalten. SiCw-Keramiken weisen mit steigender Schnittgeschwindigkeit einen zunehmenden, aber gleichmäßigen Verschleiß auf (Bild 3). Typisch ist eine Verschleißkerbe an der Schneidkante, deren Tiefe mit der Schnittgeschwindigkeit zunimmt und durch kleinere Einstellwinkel reduziert werden kann.

Um eine hohe Stabilität und lange Standzeit zu erreichen, werden bevorzugt runde Wendeschneidplatten eingesetzt. Sie sind besonders für große Bauteile mit hohem Zerspanvolumen geeignet, da sie größere Schnitttiefen erlauben und sich kleine effektive Einstellwinkel ergeben. Dies reduziert sowohl die Belastung der Schneidkante als auch das Risiko von Ausbrüchen oder Bruch.

Übliche Plattengrößen sind IC = 12,7 mm und IC = 9,525 mm, in positiver (RCGX, RPGX) oder negativer Ausführung (RNGN). Die maximale Schnitttiefe a_p liegt bei etwa 0,15 × IC, was einem effektiven Einstellwinkel von rund 45 ° entspricht.

Hochdruckkühlung – Schlüssel zur Prozesssicherheit

Das Drehen von HRSA mit keramischen Schneidstoffen erfordert eine präzise und leistungsfähige Kühlschmiermittelzufuhr, um Wärme abzuführen, Spanbildung zu steuern und die Prozessstabilität zu sichern.

Hierfür werden hochdruckfähige Werkzeugsysteme eingesetzt, die mit Drücken bis über 200 bar arbeiten können (Bild 4). Diese Werkzeuge sind teils additiv gefertigt, wodurch eine direkte interne Zuführung des Kühlschmiermittels durch Werkzeug und Spannpratze bis an die Schneidkante ermöglicht wird. Je nach Systemdruck und Geometrie kann der Durchfluss bis zu 27 l/min betragen.

Die Hochdruckkühlung sorgt für eine effektive Wärmeabfuhr, einen kontrollierten Spanablauf und Spanbruch und damit für eine erhöhte Prozesssicherheit sowie verlängerte Standzeiten. Beim Fräsen von HRSA-Werkstoffen erfolgt die Bearbeitung dagegen trocken oder mit Luftkühlung, um thermische Schockbelastungen der Schneiden zu vermeiden.

Produktivitätssteigerung durch hohe Warmhärte

Ein wesentlicher Vorteil der SiCw-Keramik ist ihre außergewöhnlich hohe Warmhärte, die deutlich höhere Schnittgeschwindigkeiten ermöglicht als mit Hartmetall. So konnte beim Planen eines Inconel-718-Rings mit dem Schneidstoff SiCw ‘RST330‘ die Schnittgeschwindigkeit von 35 m/min auf 400 m/min erhöht werden. Die Bearbeitungszeit pro Teil sank dabei von über 17 min auf 2,4 min – eine Reduktion um mehr als 80 Prozent bei gleichbleibender Qualität und Prozesssicherheit.

4 Hochdruckwerkzeug mit gerichteter Kühlmittelzufuhr direkt durch die Spannpratze © CeramTec

Bearbeitung von Turbinenkomponenten

Ein klassisches Beispiel für die Anwendung keramischer Schneidstoffe ist das Schruppen von Turbinenscheiben aus HRSA (Bild 5). Hier wird beispielsweise eine Scheibe aus Rene 65 mit SiAlON bei Schnittgeschwindigkeiten von 140 bis 200 m/min bearbeitet. Nach jeder Bearbeitungssequenz wird die Schneidplatte indexiert, um eine optimale Nutzung der Schneidkanten zu gewährleisten.

Den direkten Vergleich zwischen SiCw- und SiAlON-Schneidstoffen beim Schruppen einer LPT-Scheibe aus Inconel 718 zeigt Bild 6: Trotz stärkerem Verschleiß hält SiAlON die geforderten Toleranzen sicher ein und bietet eine wirtschaftliche Alternative zur teureren SiCw-Keramik – insbesondere bei großen Wendeschneidplatten.

Ein weiterer Einsatzfall ist die Bearbeitung von Turbinengehäusen aus Waspaloy. Bei Schnittgeschwindigkeiten von 240 m/min, Vorschüben bis 0,3 mm und Schnitttiefen bis 3 mm zeichnen sich SiAlON-Keramiken durch eine hohe Belastbarkeit und Prozesszuverlässigkeit selbst bei wechselnden Aufmaßen und ungleichmäßigen Schnittkräften aus.

Fräsen mit SiAlON – schnell, stabil und nachhaltig

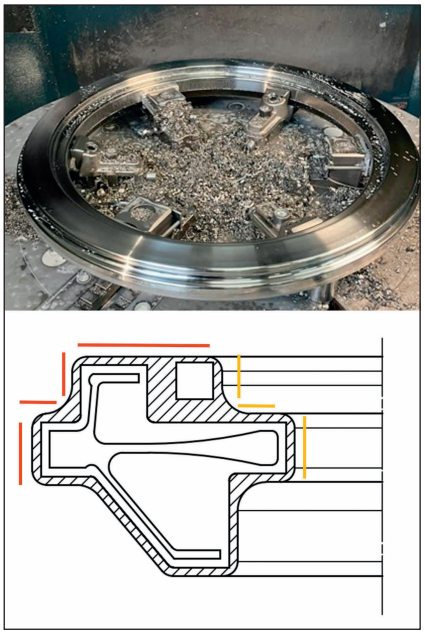
Auch beim Fräsen bieten keramische Schneidstoffe enorme Vorteile. Mit SiAlON-Keramiken lassen sich Schnittgeschwindigkeiten bis zu 1000 m/min realisieren. Die Grenze wird in der Regel nicht durch den Schneidstoff, sondern durch die Performance der Werkzeugmaschine und die Spannverhältnisse bestimmt.

Zum Einsatz kommen sowohl Vollkeramikfräser als auch bestückte Messerköpfe (Bild 7). Beim Fräsen von Absätzen und Nuten werden mit SiAlON-Vollkeramikfräser typischerweise a_p = 10 mm, a_e = 0,8 mm, f_z = 0,04 mm und v_c = 650 m/min erreicht. Planflächen werden mit Messerköpfen von Ø 80 mm, bestückt mit sieben ‘RNCN120700‘- Wendeschneidplatten, bei v_c = 800 m/min, f_z = 0,12 mm und a_p = 1 mm bearbeitet. In der Zerspanungspraxis sind bis zu v_c = 1000 m/min, f_z = 0,18 mm sowie a_p = 5 mm realisierbar.

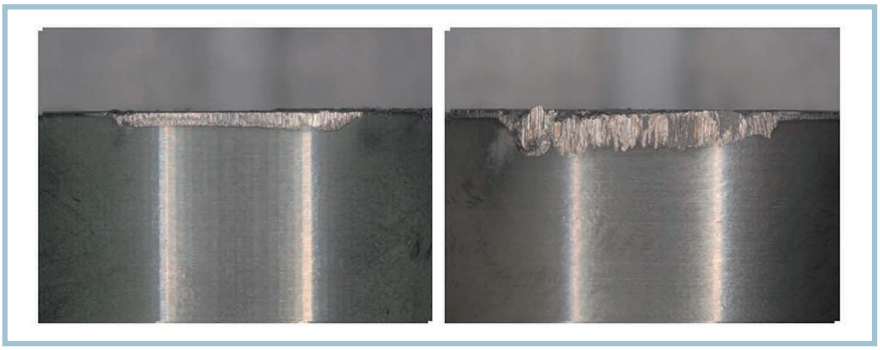
Fazit: keramische Schneidstoffe steigern Produktivität und Sicherheit

Die Kombination aus SiCw- und SiAlON-Keramiken ermöglicht eine hochproduktive und zuverlässige Bearbeitung von HRSA-Werkstoffen. Durch die außergewöhnliche Warmhärte, optimierte Werkzeuggeometrien, Hochdruckkühlung und prozessangepasste Strategien lassen sich sowohl beim Drehen als auch beim Fräsen signifikante Produktivitätssteigerungen erzielen.

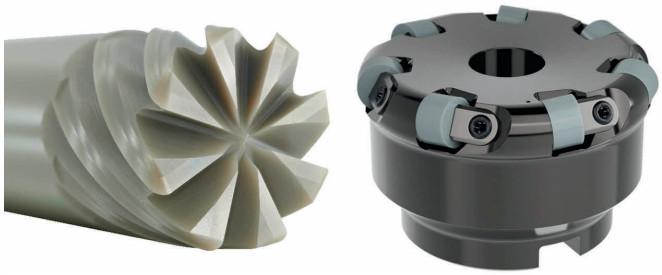
Die realisierten Verkürzungen der Bearbeitungszeiten – bei gleichzeitig hoher Maßhaltigkeit und Prozesssicherheit – tragen entscheidend dazu bei, die steigenden Anforderungen der Luftfahrtindustrie zu erfüllen. Keramische Schneidstoffe leisten damit einen zentralen Beitrag, die Ausbringung zu erhöhen, Durchlaufzeiten zu reduzieren und die Zuverlässigkeit zu sichern, wodurch sie zu einer Schlüsseltechnologie moderner Triebwerkfertigung geworden sind. ■



5 Turbinenscheibe – bearbeitete Bauteilkontur und zugehöriges Schmiedeteil © CeramTec



6 Verschleißverhalten im Vergleich einer SiCw-Keramik (links) mit einem SiAlON Schneidstoff (rechts) bei einer identischen Bearbeitungsoperation auf einer Turbinenscheibe aus Inconel 718 © CeramTec



7 Vollkeramikfräser und Messerkopf mit SiAlON-Keramik zum Fräsen von HRSA © CeramTec

INFORMATION & SERVICE

HERSTELLER

SPK Cutting Tools
CeramTec GmbH
73061 Ebersbach a.d. Fils
www.spk-tools.de

AUTOREN

Johannes Schneider ist Senior Product Manager Cutting Tools bei SPK Cutting Tools, CeramTec GmbH
Dr. Anja Allabar ist Development Engineer Innovation & Technology bei SPK Cutting Tools, CeramTec GmbH
Dr. Gert Richter ist Director Innovation & Technology bei SPK Cutting Tools, CeramTec GmbH

© Carl Hanser Verlag, München