

Johannes Schneider

# Turbinenräder clever gedreht

Keramikschneidstoff - hochnickelhaltige Werkstoffe - prozesssichere Fertigung



**CeramTec**  
THE CERAMIC EXPERTS

CeramTec GmbH  
SPK Werkzeuge  
Hauptstr. 56  
73061 Ebersbach/Fils  
[www.spk-tools.de](http://www.spk-tools.de)  
[www.ceramtec.de](http://www.ceramtec.de)

#### Impressum

Verlag: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, Kolbergerstr. 22, 81679 München; Druck: alpha-teamDRUCK GmbH, Haager Str. 9, 81671 München

© Carl Hanser Verlag, München. Alle Rechte, auch die des Nachdrucks, der photomechanischen und der elektronischen Wiedergabe sowie der Übersetzung dieses Sonderdrucks behält sich der Verlag vor.

Sonderdruck

Keramikschnidstoff ■ hochnickelhaltige Werkstoffe ■ prozesssichere Fertigung

## Turbinenräder clever gedreht

Nickelbasislegierungen sind hochfest und warmhart, aber auch schwer zerspanbar. SiAlON-Schnidstoff bietet sich zur Bearbeitung an; die robuste Keramik ist bis zu sechsmal schneller als Hartmetall. Nötig ist jedoch ein optimiertes System Maschine–Werkzeug.

von Johannes Schneider

**N**ickelbasislegierungen zählen zu den HRSA-Superlegierungen (Heat Resistant Super Alloys) und zeichnen sich durch eine extrem hohe Warmhärte und Festigkeit bei hohen Temperaturen aus, die über einen weiten Temperaturbereich erhalten bleibt. Außerdem zeigen sie eine hohe Beständigkeit gegenüber Werkstoffermüdung und erweisen sich unter den besonderen Umgebungsbedingungen, die in Gasturbinen mit den sehr hohen Temperaturen bis ungefähr 1000 °C, Drücken und Strahlgeschwindigkeiten herrschen, als überragend betriebssicher und korrosionsfest. Deshalb werden HRSA-Ni-Basis-Werkstoffe vorrangig als Konstruktionswerkstoffe für Maschinenelemente im ›Heißteil‹ von stationären wie fliegenden Turbinen und in Abgasturboladern eingesetzt. Dazu gehören sowohl Turbinenschaufeln als auch Wellen, Turbinenräder und Turbinenscheiben.

### Die extreme Beanspruchung erfordert optimierte Werkzeugkonzepte

Die spezifischen Werkstoffeigenschaften der HRSA-Werkstoffe führen zu hohen mechanischen und thermischen Belastungen des Schnidstoffes bei der Bearbeitung. Die Werkstoffe neigen zur Kaltverfestigung, was sich in einem ausgeprägten Kerbverschleiß an der Schneide äußern kann. Zusammen mit ihrer extrem hohen Härte und Festigkeit bei hohen Temperaturen werden die Schnidstoffe mechanisch außerordentlich belastet. Es treten hohe Schnittkräfte auf.



**1** Schneidplatten aus den SiAlON-Keramikschnidstoffen CSL125 und CSL725 zum Drehen und Stechdrehen von HRSA-Werkstoffen. Sie bieten sich an für das Schruppen und mittlere Bearbeitungsschritte, bei denen eine hohe Produktivität gefordert ist, (© CeramTec)

Die geringe Wärmeleitfähigkeit der HRSA-Werkstoffe erhöht die Temperaturbelastung der Schneide zusätzlich. Zudem wirken im Gefüge eingeschlossene harte Karbide abrasiv auf den Schnidstoff. Die Neigung zum Bilden von Aufbauschnitten kann weitere negative Einflüsse auf die Werkstückqualität und das Standzeitverhalten ausüben.

Insgesamt ist also von einem extrem beanspruchenden Einsatzverhalten beim Bearbeiten von HRSA-Werkstoffen und einem entsprechend hohen Werkzeugverbrauch auszugehen, dem man durch geeignete Schnidstoffe, Werkzeugsysteme

me sowie anwendungstechnische Maßnahmen entgegenwirken muss.

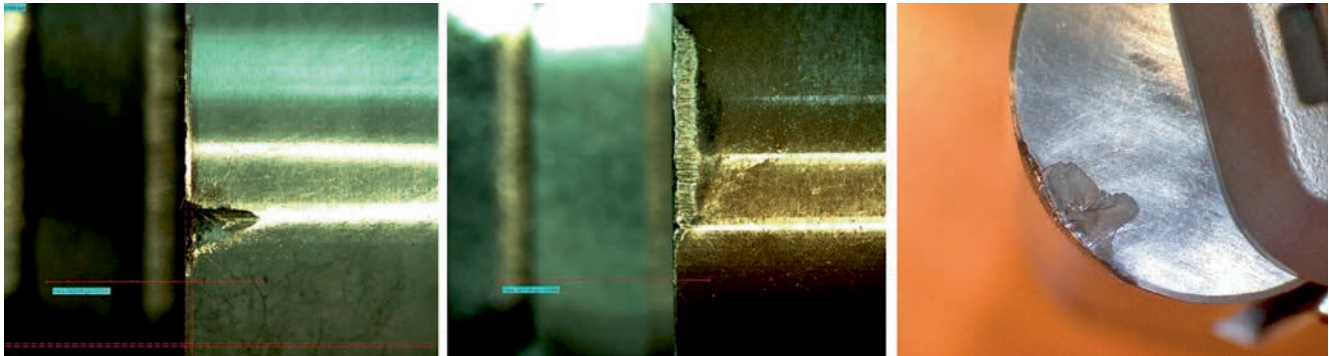
Viele der eingangs genannten Maschinenelemente sind rotationssymmetrisch, sodass auf die Verfahren Drehen und Stechdrehen ein hoher Fertigungsanteil entfällt. Für die Schruppbearbeitung und mittlere Bearbeitungsschritte, bei denen eine hohe Produktivität gefordert ist, bieten sich SiAlON-Keramiken als Schnidstoff an. Bild 1 zeigt eine Auswahl von Schneidplatten aus den SiAlON-Schnidstoffen CSL125 und CSL725, die für das Drehen oder Stechdrehen hochnickelhaltiger Werkstoffe geeignet sind.

**Die Art der Körner und ihr Verhältnis zueinander lassen Modifikationen zu** SiALON-Schneidstoffe zeichnen sich dadurch aus, dass neben den stängelförmigen  $\beta$ -SiALON-Körnern (verantwortlich für die Zähigkeit) auch die globulare  $\alpha$ -Modifikation erzeugt werden kann, die durch eine deutlich höhere Härte charakterisiert ist.

Somit stellt das  $\alpha$ -/ $\beta$ -Verhältnis einen Parameter dar, über den das Eigenschafts-

begründet. Denn neue Fertigungsmethoden ermöglichen es, eine besonders harte und extrem verschleißfeste Oberfläche auf einem zähen Kern der Wendeschneidplatte zu realisieren. Dabei wird die für die hervorragenden Anwendungseigenschaften der  $\alpha$ -/ $\beta$ -SiALONe maßgebliche Härte in der Randzone erhalten und durch den Gradienten mit einem ausgezeichneten Zähigkeitsverhalten im Kernbereich des Substrats kombiniert.

gleichen Einsatzbedingungen vollkommen verschiedene Verschleißformen entwickeln, die zum Standzeitende führen. Ein typisches Verschleißkriterium ist die Bildung eines Kerbverschleißes an der Wendeschneidplatte in Höhe der Schnitttiefe. Andere Standzeitkriterien können durch die Überschreitung eines maximalen Freiflächenverschleißes, durch Abplatzungen oder durch die Kombination der genannten Verschleißformen definiert sein (Bild 2).



**2** Schneidenverschleißformen beim Drehen von HRSA-Werkstoffen: links Kerbverschleiß, Mitte Freiflächenverschleiß und rechts Abplatzung auf der Spanfläche (© CeramTec)

profil des Schneidstoffes eingestellt werden kann.

Eine weitere Möglichkeit, die Härte und somit die Verschleißfestigkeit von  $\alpha$ -/ $\beta$ -SiALONen zu steigern, bietet die feinverteilte Einlagerung karbidischer Hartstoffpartikel. Die Hochtemperatur-Eigenschaften lassen sich bei dieser Werkstoffgruppe verbessern, indem man einen Teil der Sinteradditive ins Kristallgitter der Siliziumnitridkörner einbaut.

Die nächste Möglichkeit, das Einsatzverhalten von  $\alpha$ -/ $\beta$ -SiALONen zu beeinflussen, liegt im Fertigungsprozess selbst

Beim Drehen kommt es wegen des kontinuierlichen Schneideneingriffs zu einer starken Wärmeentwicklung, die einerseits genutzt werden kann, um den Span zu erweichen, die andererseits aber durch eine ausreichende Kühlschmiermittelzufuhr so gesteuert werden muss, dass die thermische Belastung der Schneide nicht zu groß wird.

Typische Parameter für das Drehen von HRSA-Werkstoffen mit SiALON-Schneidstoffen liegen bei der Schnittgeschwindigkeit  $v_c$  im Bereich von 150 bis 300 m/min, beim Vorschub  $f$  von 0,08 bis 0,20 mm und bei der Schnitttiefe  $a_p$  bis 2,5 mm. Die im speziellen Fall einzustellenden Schnittdaten werden schließlich durch die Art des HRSA-Werkstoffes, die vorliegende Bauteilgeometrie und die gestellte Bearbeitungsaufgabe bestimmt.

Im Vergleich zu Hartmetall-(HM-) Schneidplatten können beim Drehen SiALON-Keramiken mit bis zu sechsfacher Schnittgeschwindigkeit eingesetzt und entsprechend gesteigerte Bearbeitungsgeschwindigkeiten realisiert werden. Dazu müssen allerdings auch von maschinentechnischer Seite die Voraussetzungen gegeben sein.

Zuerst ist hier das Zusammenwirken von Werkstoff und vorliegender Schneidstoff-Komposition zu betrachten. Unterschiedliche SiALON-Schneidstoffsorten können, je nach Zusammensetzung, unter

**Vier praktikable Möglichkeiten zum Minimieren des Kerbverschleißes** Neben der Auswahl einer geeigneten Schneidstoff-Werkstoff-Kombination lässt sich dem Verschleißkriterium ›Kerbverschleiß‹ durch entsprechende anwendungstechnische Maßnahmen begegnen. So besteht die Möglichkeit, bei mehreren aufeinanderfolgenden Schnitten jeweils die Schnitttiefe zu variieren. Das kann durch unterschiedliche Zustellungen oder wahlweise durch kegliges Drehen in den verschiedenen Schnittfolgen geschehen, sogenanntes Ramping.

Alternativ dazu gibt es die Möglichkeit, den Anschnitt durch ein ›Einrollen‹ der Schneidplatte über die Anschnittkante zu gestalten. Damit verändert sich der Kontaktpunkt Schneide – Werkstück ebenfalls. Man kann auch kleine, effektive Einstellwinkel realisieren, zum Beispiel durch den Einsatz runder Wendeschneidplatten und angepasster Schnitttiefen. Und schließlich lassen sich die zielgerichteten kleinen, effektiven Einstellwinkel gestalten, indem man das Verhältnis der Schnitttiefe zum Durchmesser beziehungsweise zum Eckenradius der Wendeschneidplatte anpasst.

Die folgenden weiteren anwendungstechnischen Maßnahmen bei der HRSA-Zerspanung wirken sich ebenso positiv auf die Fertigungssicherheit und das Standzeitverhalten aus:

## INFORMATION & SERVICE



### HERSTELLER

**CeramTec GmbH**  
**GB SPK-Werkzeuge**  
 73061 Ebersbach/Fils  
 Tel. +49 7163 166-239  
[www.ceramtec.de](http://www.ceramtec.de)  
[www.spk-tools.de](http://www.spk-tools.de)

### DER AUTOR

**Dipl.-Ing. Johannes Schneider** ist  
 Leiter strategisches Marketing bei  
 CeramTec in Ebersbach  
[j.schneider@ceramtec.de](mailto:j.schneider@ceramtec.de)

### PDF-DOWNLOAD

[www.werkstatt-betrieb.de/1711805](http://www.werkstatt-betrieb.de/1711805)



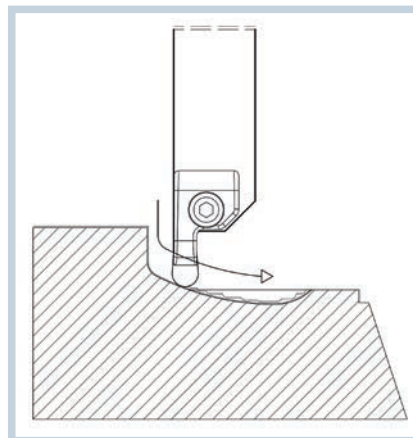
**3** Turbinenrad aus Inconel 713, wie es für stationäre Gasturbinen oder Abgasturbolader verwendet wird, als Rohling (links) und als Fertigteil (rechts) (© CeramTec)

- Der Anschnitt am Werkstück erfolgt idealerweise über eine gefaste Einlaufstrecke, was die Belastung beim Anschnitt senkt und die schnittbelastete Stelle über die Schneide verteilt.
- Eine Fase am Werkstück minimiert die Gratbildung am Werkstück beim Austritt des Werkzeugs.
- Bei größeren Schnitttiefen wird der Vorschub reduziert, damit die mechanische Belastung der Schneidplatte abnimmt.
- Der Vorschub wird so gewählt, dass durch eine ausreichend große Spannungsdicke  $h$  eine Verfestigung des Werkstoffes vermieden wird. Gleichzeitig muss eine Überlastung und damit ein Ausbröckeln oder ein Bruch der Schneide vermieden werden.

Für stationär zu betreibende Gasturbinen oder Abgasturbolader werden Turbinenräder aus Inconel 713LC verwendet (Bild 3). Eine wirtschaftliche Fertigung dieser Bauteile hängt erheblich von den Werkzeugsystemen und der Anwendungstechnik ab.

Zu ihrer Bearbeitung ist eine SiALON-Keramik der Sorte CSL125 zum Drehen verwendbar. Unter Zufuhr von Kühlschmiermittel wird mit einer Schnittgeschwindigkeit  $v_c$  bis 270 m/min, einem Vorschub  $f$  bis 0,10 mm und einer Schnitttiefe  $a_p$  bis 1,0 mm gearbeitet. Dabei nutzt man eine CNGA120412T-Wendeschneidplatte für definierte Abschnitte des Werkstücks konventionell zum Plandrehen und zum Außenüberdrehen der Nabe.

In anderen Sektionen, in denen sehr hohe Materialraten abzutragen sind, wird



**4** Vorschlichten der Kontur durch seitliches Verfahren des Stechwerkzeugs

(© CeramTec)

ein gesonderter Abspanzyklus gefahren. Dadurch wird die Entwicklung eines Kerbverschleißes wirksam unterdrückt, und es ist ein großes Zeitspanvolumen bei hoher Zuverlässigkeit und Produktionssicherheit erzielbar. Erforderliche Formdreharbeiten an der Kontur erfolgen durch den Einsatz einer RCGX-06-Wendeschneidplatte, ebenfalls in der SiALON-Sorte CSL125.

#### Kontur->Abfahren< und Stechdrehen miteinander kombiniert

Eine weitere Strategie zum Bearbeiten von Turbinenrädern basiert auf der Anwendung rhombischer CNGN-Wendeschneidplatten in Kombination mit dem Stechdrehen, einschließlich seitlichem Verfahren mit den Stechwerkzeugen. In einem ersten Bearbeitungsschritt dreht die CNGN120412-Platte die innere Planfläche und den zylindrischen Anschnitt

der Kontur. Die gegenüberliegende Austrittsseite des Werkstücks wird nach dem Herausarbeiten der Kontur mit einem spiegelbildlichen Werkzeug bearbeitet.

Die nächste Operation geschieht mit einem Stechwerkzeug; gearbeitet wird mit einer Stechbreite von 8,0 mm. Basis ist die SiALON-Sorte CSL725, mit der je nach Konturtiefe in mehreren Ebenen eingestochen wird. Dazu platziert man mehrere Einstiche nebeneinander. Im Folgenden wird die herauszuarbeitende Kontur mit dem Stechwerkzeug von beiden Seiten unter seitlichem Verfahren vorgeschlichtet (Bild 4). Dann erfolgt ein finaler Schlichtschnitt, wobei das Stechwerkzeug das komplette Profil in einem Zug abfährt.

Für das Stechdrehen sind Vorschub und Schnittbreite beziehungsweise beim seitlichen Verfahren die Schnitttiefe für die Belastung des Werkzeugsystems ausschlaggebend. Für den vorliegenden Werkstoff ist beim Stechen ein Spannungsquerschnitt von rund 0,6 mm<sup>2</sup> realisierbar. Wird seitlich verfahren, empfiehlt es sich, den seitlichen Vorschub und die Schnitttiefe so zu wählen, dass der Spannungsquerschnitt im Bereich von 0,10 mm<sup>2</sup> liegt. Alle Bearbeitungsschritte erfolgen mit Kühlschmiermittel.

Die Kombination der SiALON-Schneidstoffe CSL125 zum Drehen und CSL725 zum Stechdrehen mit angepasster Bearbeitungsstrategie und optimierten Schnittdaten ermöglicht in dieser Anwendung eine um den Faktor sechs reduzierte Fertigungszeit. Die Fertigungszeit verkürzt sich im Vergleich zur konventionellen Fertigung mit HM-Werkzeugen von 120 auf 20 min. ■