

**1** Die Funktionstüchtigkeit eines Satelliten hängt nicht zuletzt an der Qualität der Gewinde an der Apparatur. Damit sie ihre Aufgaben erfüllen, bedarf es hochwertiger Werkzeuge, die der Hersteller in Abstimmung mit seinem Kunden konzipiert und fertigt



Gewindewerkzeuge ■ Aerospace-Bauteile ■ Hochpräzisionsbearbeitung

## Space Taps – Exzellenz im All

Gewindewerkzeuge für Raumfahrt-Komponenten zu fertigen gehört zu den großen Herausforderungen der Zerspanbranche. Gefragt sind dem Anwendungsfall bestmöglich angepasste Geometrien sowie die Einhaltung sehr enger Toleranzen in hochlegiertem Spezialstahl.

von Peter Schniering

**H**ersteller von Präzisionswerkzeugen sind es gewohnt, dass mit ihren Produkten hochpräzise Bauteile bearbeitet werden, die solch hohe Anforderungen an Bewegungs- und Befestigungsgewinde stellen, dass ihnen nur mit Fertigungstoleranzen am Rande des technisch Machbaren zu entsprechen ist. So gibt es im Motorsport, im Turbinenbau oder in der Medizintechnik immer wieder neue Werkstoffe, extreme Anforderungen in puncto Maßhaltigkeit sowie den Anspruch einer 100-prozentigen Prozesssicherheit. Und dennoch ge-

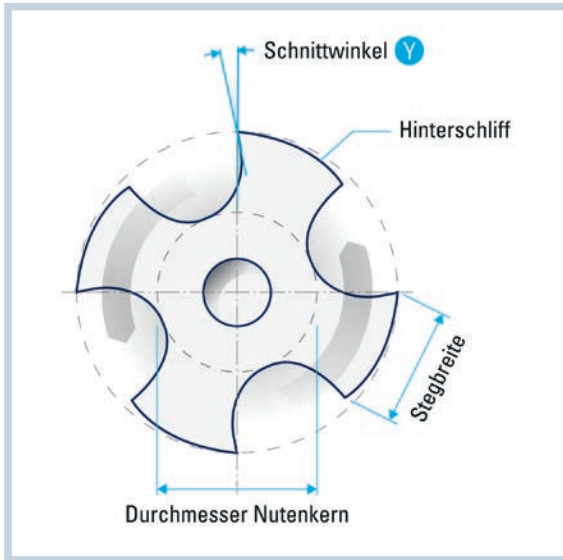
hen die im Folgenden vorgestellten Anforderungen an Gewinde-Applikationen für die Raumfahrt über die terrestrischer High-End-Industrien vielfach hinaus.

### Der Transport als Herausforderung für die Tragfähigkeit der Gewinde

Ein Grund dafür ist der Einsatzort der verbauten Gewinde. In ihren Umlaufbahnen sind diese bis zu 36 000 km von der Erdoberfläche entfernt und bewegen sich mit einer Geschwindigkeit von mehr als 11 000 km/h. Jegliche Option einer Nachbearbeitung oder Wartung entfällt; das

Gewinde muss funktionieren, will man den Ausfall des technischen Systems, etwa eines Satelliten, verhindern.

Um die Bauteile in einer geostationären Umlaufbahn oder in einem Low-Earth-Orbit (ab ungefähr 200 km Höhe) planmäßig in Betrieb zu nehmen, ist zunächst ein Hindernis zu überwinden, das die in Raumkörpern verbauten Befestigungs- und Bewegungsgewinde einer starken Belastung aussetzt: der Transport mittels Trägerrakete. Beim Start dieser Raketen entstehen starke Vibrationen sowie eine G-Kraft bis zum Zehnfa- »



**2** Aufgrund eines geänderten Schnittwinkels sowie einer modifizierten Freiwinkel-Kombination kann Schumacher Tools beim Gewinden mit aktuellen Werkzeugen eine gratfreie Spanbildung sicherstellen

(© Schumacher Tools)

### HOCH GEFÄHRLICH: GRAT IM WELTRAUM

Ein wesentliches Ziel bei allen Entwicklungsprojekten von Herstellern und Zulieferern der Raumfahrt-Industrie ist es, Grat zu vermeiden. Das betrifft sowohl die Gratbildung beim Eintritt in das Bauteil im Anschnitts-Anfangsbereich der Bohrung als auch eine mögliche Gratbildung an den Gewindeflanken sowie Restgrat im Bohrungsgrund beim Reversieren. Der Grund für diese Bemühungen liegt auf der Hand: Schon winzige Gratstücke sind unter den Bedingungen der Schwerelosigkeit eine ernstzunehmende Gefahr für die hochsensible Leistungselektronik der technischen Systeme. Der Komplettausfall eines Systems könnte die Folge sein. Zeitgemäße Gewindewerkzeug-Lösungen berücksichtigen das und erzeugen praktisch gratfreie Formelemente.

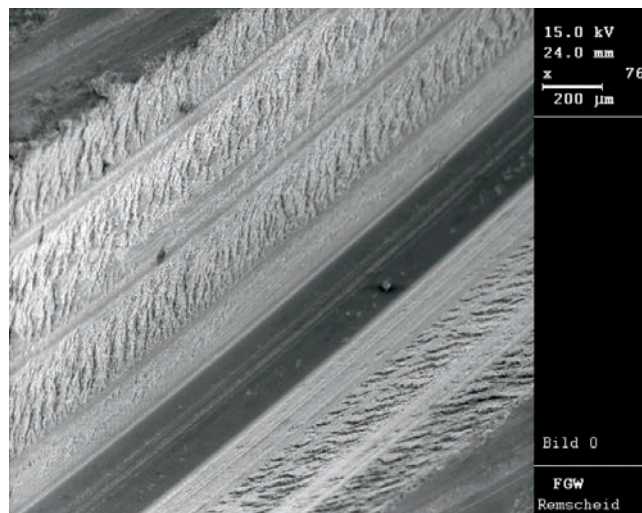
chen der Erdanziehungskraft. Beim Auslegen der Gewinde ist diese Belastung zu berücksichtigen – eine Herausforderung für Konstrukteure und Fertiger.

Neben den mechanischen Belastungen gibt es hohe thermische Kräfte. Vor allem in erdfernen Umlaufbahnen kommt es – bedingt durch das fast perfekte Vakuum des Weltraums – zu extremen Temperaturunterschieden zwischen der sonnenzugewandten und der -abgewandten Seite. Von der Solarstrahlung beschienene Bauteile erwärmen sich auf rund 120 °C; die sonnenabgewandten kühlen zur gleichen Zeit auf -90 °C ab. Dreht sich ein technisches System mit der Erde in geostationärer Bahn, werden die Teile stetig erhitzt und wieder abgekühlt. Ist ein technisches System wie im Fall eines Nachrichtensatelliten auf eine Lebensdauer von Jahrzehnten ausgelegt, belastet diese Temperaturschwankung alle Bauteile erheblich.

Zudem wirkt eine interne Wärmequelle zusätzlich auf die Komponenten ein: die Leistungselektronik. Sie führt zu erheblichen Temperaturschwankungen.

Gerade die aktive Elektronik auf der Senseseite, mit der Signale wieder verstärkt werden, bringt einen ständigen Zyklus von Erhitzen und Abkühlen mit sich.

Eine solche hohe thermische und/oder mechanische Belastung stellt besondere Anforderungen an den Werkstoff. Meist verwendet man je nach Funktion und Lage Hochleistungs-Aluminium oder Eisen-Nickel-Legierungen mit niedrigem



**3** Metallografische Untersuchungen belegten, dass auch in Werkstoffen mit hohem Siliziumgehalt eine ebene, glatte Gewindeflanke erzeugt werden kann

(© Schumacher Tools)

Wärmeausdehnungskoeffizienten. Was das für die Werkzeuge bedeutet, sollen zwei Beispiele verdeutlichen.

### Gewinde in Hochleistungs-Aluminium sind gratfrei und an der Flanke glatt

Liegt Aluminium mit einem hohen Silizium-Anteil von mehr als 35 Prozent vor, werden die sonst üblichen Standard-Geometrien der Gewindewerkzeuge vor Produktionsbeginn modifiziert. Im Fall der F+E-Spezialisten von Schumacher Tools geschieht das mit Unterstützung der Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e. V. (FGW) in Remscheid, die in ihrer Abteilung VPA (Versuchs- und Prüfanstalt) über umfassende Möglichkeiten der Bauteil- und Werkstoffprüfung verfügt, darunter solche der Metallografie sowie der Spektralanalyse.

Aufbauend auf herkömmliche Geometrien für die Zerspanung von Hochleistungs-Aluminium gelang es jüngst, durch einen geänderten Schnittwinkel sowie eine modifizierte Freiwinkel-Kombination eine gratfreie Spanbildung mit ebener, glatter Gewindeflanke auch bei hohem Siliziumgehalt zu ermöglichen. Die für die Qualität der eingegengten Toleranz wichtige Ausbildung der Oberfläche verbesserte sich so deutlich.

Eine Besonderheit von Gewindewerkzeugen für die Aerospace-Branche besteht darin, dass ihre Geometrie je nach maschineller Ausstattung des Raumfahrt-Herstellers stark variieren kann. Sind die Einsatzbedingungen beispielsweise eher manuell geprägt, wird die Geometrie folgendermaßen modifiziert: Die Härte der Werkzeugoberfläche (im CNC-Einsatz in der Regel PVD-Hartstoffbeschichtet) wird mithilfe einer Beschichtung mit geringem Vickers-Wert reduziert, der Reibungs-



**4 Wie soll die optimale Spanntechnik bei dieser Gewindefertigungslösung für die Raumfahrt aussehen? Diese und andere Fragen werden beim Werkzeughersteller im Team beantwortet** (© Schumacher Tools)

koeffizient damit erhöht. Im Einsatz hat das den Vorteil, dass man axiales Verschneiden vermeidet, die Oberfläche der Gewindeflanken bei angepasster Geometrie aber dennoch die Ansprüche erfüllt. Zusätzlich wird für den konventionellen Einsatz die Anschnittlänge erhöht, die zu erfolgende Zerspanung damit also auf mehr Gewindegänge verteilt.

Bei der zweiten Werkstoffgruppe, den Eisen-Nickel-Legierungen, ist vor allem der sehr hohe Nickelanteil eine Herausforderung. Die Gewindebearbeitung in diesen abrasiven Spezialstählen bringt eine hohe mechanische Belastung der Schneidkanten sowie eine Verschlechterung der Flankenqualität schon bei geringem Verschleiß des Werkzeugs mit sich. Um diesen Phänomenen entgegenzuwirken, wird die Geometrie der Werkzeuge wie folgt angepasst: Man verändert den Schnittwinkel leicht; dann werden die Schneiden mit einer besonders reibungsresistenten Multi-Layer-Beschichtung geschützt.

#### Bei Nickellegierungen ändert man den Schnittwinkel und beschichtet

Hat sich dieses Verfahren im CNC-Segment als beste Lösung herausgestellt, sieht doch die konventionelle Bearbeitung grundlegend anders aus. Ähnlich wie im Fall des Hochleistungs-Aluminiums wird über eine Beeinflussung der Oberflächenhärte des Werkzeugs und eine modifizierte Geometrie die Bearbeitung stabilisiert. Man erreicht auf diese Weise die erforderliche Oberflächengüte in den Gewindeflanken des Bauteils und erhöht die Prozesssicherheit beim Bearbeiten. Als entscheidend für den Erfolg

der Anwendung hat sich gerade bei langspannenden Spezialstählen mit sehr hohem Nickelanteil die Spankontrolle herausgestellt.

Bei der Konstruktion von Gewindefertigungswerkzeugen ist eine große Vielfalt an galvanischen Veredelungsverfahren zu berücksichtigen. Viele der in Raumfahrt-Systemen verwendeten Komponenten werden einer Oberflächenbehandlung unterzogen, die unter anderem dafür verantwortlich ist, dass bei der verbauten Hochfrequenztechnik der Strom mithilfe der gold- und silberbeschichteten Oberflächen übertragen werden kann. Deshalb muss jedoch bei den meisten Gewindefertigungswerkzeugen die Toleranzlage entsprechend angepasst werden. So ist die Schichtdicke des in der Galvanik aufgetragenen Materials von der sogenannten Feldverteilung im elektrogalvanischen Prozess abhängig; und nach dieser im Nachhinein aufgetragenen Schicht hat sich die Toleranzlage des Gewindefertigungswerkzeugs exakt zu richten.

#### Sichergestellt wird eine Begleitung entlang der Wertschöpfungskette

Aus den Ziertoleranzen der einzubringenden Befestigungs- und Bewegungsgewinde leiten sich die für die Produktion der Werkzeuge entscheidenden Fertigungstoleranzen ab. In der Praxis bedeutet das eine außergewöhnlich große Anzahl von Sonder-Toleranzlagen. Je nach Durchmesser, galvanischem Verfahren und Anforderungen – besonders an die für die Satellitensteuerung relevanten Bewegungsgewinde – wird die Toleranzlage des Werkzeugs definiert. Hierbei gelten

in vielen Bereichen Fertigungstoleranzen, die einen Bruchteil der nominalen Toleranzen handelsüblicher Maschinengewindebohrer betragen. Schließlich steuern die in den Gewinden geführten Bolzen etwa bei Satelliten die Charakteristik des Sendesignals und damit einen zentralen Bestandteil der Funktionalität.

Alle genannten Schritte führen jedoch nicht zum Ziel, wenn der Zerspanungsprozess bei den Herstellern von Raumfahrt-Systemen sowie bei deren Zulieferern nicht von den Werkzeugherstellern begleitet wird. Zu einer solchen Begleitung zählen neben der Optimierung der Anwendungs-Peripherie (Spannmittel, Kühlschmierstoffe, Kernlochwerkzeuge) vor allem die Feinjustierung der Schnittwerte sowie die Definition des Standzeitendes. Bei den hohen Anforderungen an die Gratfreiheit und die Prozesssicherheit kann es durchaus vorkommen, dass Werkzeuge während des laufenden Prozesses – speziell im Bereich der zylindrischen Vorbohrung – auch ohne deutliche optische Verschleißmerkmale ausgetauscht werden müssen.

Wie ersichtlich wurde, sind die Werkzeughersteller voll und ganz in der Lage, den Anforderungen der Raumfahrt-Industrie in Bezug auf Befestigungs- und Bewegungsgewinde gerecht zu werden. Es wird ein breites Geometriespektrum zur Verfügung gestellt, das ein Ergebnis partnerschaftlicher Zusammenarbeit mit den Kunden darstellt und das zwei wesentliche Kriterien berücksichtigt: die Fertigung sehr enger Toleranzlagen in hochlegierten Spezialstählen sowie die konkrete Zerspanungssituation in der Fertigung des jeweiligen Herstellers von Raumfahrtteilen. ■

## INFORMATION & SERVICE



### HERSTELLER

**Schumacher Precision Tools GmbH**

42857 Remscheid

Tel. +49 2191 9704-0

[www.schumachertool.de](http://www.schumachertool.de)

### DER AUTOR

**Dr. Peter Schniering** ist Geschäftsführer von Schumacher Precision Tool in Remscheid

[p.schniering@schumachertool.de](mailto:p.schniering@schumachertool.de)

### PDF-DOWNLOAD

[www.werkstatt-betrieb.de/7129088](http://www.werkstatt-betrieb.de/7129088)