

Datum: 01.01.2018

Trockenbearbeitung von Schichtverbundwerkstoffen im Flugzeugbau

Die Herausforderungen, die Werkzeughersteller für optimale Lösungen in der Endmontage von Flugzeugen zu meistern haben, sind vielfältig. Dabei spielen nicht nur die unterschiedlichen Werkstoffe oder die Forderung nach höchster Prozesssicherheit, sondern auch das Kühlkonzept, die engen Toleranzvorgaben und die eingesetzten Maschinen eine entscheidende Rolle. MAPAL hat sich intensiv mit diesen Herausforderungen beschäftigt und entsprechende Werkzeugkonzepte auf den Markt gebracht. Unter anderem zur prozesssicheren Trockenbearbeitung von Materialkombinationen wie CFK-Aluminium oder verschiedenen Aluminiumlegierungen.

MAPAL entwickelt Bohr-Senk-Werkzeuge für die gängigen Kombinationen

Hochfeste und gleichzeitig leichte Materialien sind in der Luftfahrt von zentraler Bedeutung. Durch neue Materialkombinationen können Flugzeugbauer das Gewicht senken, die Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit erhöhen sowie eine Vereinfachung der Montage durch integrative Bauweise erreichen. Während Strukturbauteile aus Aluminium, Titan oder hochfesten Stählen auf Bearbeitungszentren oder Portalmaschinen bearbeitet werden, bearbeiten die Mitarbeiter in der Endmontage die Bauteile meist mit handgeführten Maschinen, Bohrvorschubeinheiten oder mithilfe von Robotern.

Deshalb unterscheiden sich die Anforderungen an die Werkzeughersteller und Werkzeuge für die Endmontage maßgeblich von denen für die Teilefertigung. Die bearbeiteten Bauteile in der Teilefertigung haben einen

**MAPAL Präzisionswerkzeuge
Dr. Kress KG**
Postfach 1520 | D-73405 Aalen

Kontakt:
Andreas Enzenbach

Telefon: +49 7361 585-3683
Telefax: +49 7361 585-1019
E-Mail: presse@mapal.com

Datum: 01.01.2018

Wert von rund 1.000 bis 50.000 Euro haben. Die Bauteile in der Endmontage sind, abhängig vom Montagefortschritt, mit einem Wert von etwa 50.000 bis 2.000.000 Euro schon deutlich kostenintensiver. Die Flugzeugbauer müssen fehlerhafte Bearbeitungen entweder aufwendig und kostspielig manuell nacharbeiten oder die Bauteile komplett ersetzen. Aus diesem Grund wählen sie ihre Lieferanten für die Endmontage sehr gewissenhaft aus.

MAPAL Präzisionswerkzeuge
Dr. Kress KG
Postfach 1520 | D-73405 Aalen

Kontakt:
Andreas Enzenbach

Telefon: +49 7361 585-3683
Telefax: +49 7361 585-1019
E-Mail: presse@mapal.com

Welchen Herausforderungen begegnen Werkzeughersteller in der Endmontage?

Eine Herausforderung für Werkzeughersteller ist die Vielfalt der Werkstoffe, besonders wenn die Werkzeuge gleichzeitig mehrere Werkstoffe mit unterschiedlichen Eigenschaften bearbeiten müssen. Die Werkzeuge müssen dazu in der Lage sein, alle Materialien prozesssicher und wirtschaftlich zu bearbeiten. Nur dann erhalten Werkzeughersteller die sogenannte Qualifikation bei einem Flugzeughersteller. Der Qualifikationsprozess dauert in der Regel zwischen einem und fünf Jahren. Zudem stellen die Flugzeughersteller bestehende Prozesse nur in Ausnahmefällen um. Denn sie müssen ihrerseits sicherstellen, dass die Qualität aller Bearbeitungen konstant ist. Beispielsweise müssen sie bei Bohrbearbeitungen in der Endmontage eine geringe Streuung der Bohrungsdurchmesser, ein CpK-Wert größer 1,7, gewährleisten.

Wie ist der Stand der Technik bei Bohrungen für Nietverbindungen?

Flugzeughersteller nutzen für die Verbindung der Außenhaut mit den darunterliegenden Strukturbauteilen Nietverbindungen. Hierzu bringen die Mitarbeiter in der Endmontage unzählige Bohrungen ein. Um einen möglichst geringen Widerstand gegen Strömung zu erhalten (niedriger cW-

Datum: 01.01.2018

Wert), werden die Nietköpfe in der Außenhaut versenkt. Deshalb ist am Bohrungseintritt eine zusätzliche Senkung erforderlich. In der Vergangenheit haben Flugzeugbauer dafür oft ein Prozess mit bis zu vier Einzelbearbeitungen eingesetzt - Vollbohren, Aufbohren, Reiben, Senken. Heute ist nur noch ein Schritt nötig - Bohrung und Senkung erledigen die entsprechenden Werkzeuge in nur einem Arbeitsschritt. Dadurch können auch Roboter diese Aufgabe automatisiert übernehmen.

MAPAL Präzisionswerkzeuge
Dr. Kress KG
Postfach 1520 | D-73405 Aalen

Kontakt:
Andreas Enzenbach

Telefon: +49 7361 585-3683
Telefax: +49 7361 585-1019
E-Mail: presse@mapal.com

Bisher nutzten die Flugzeughersteller für diese Bearbeitung in der Regel die Minimalmengenschmierung (MMS). Allerdings mussten die Mitarbeiter die Bauteile nach der Bearbeitung demontieren, reinigen und erneut montieren. Zudem gelangte der Schmierstoff in den Innenraum des Flugzeugs, wo Mitarbeiter parallel weitere Montageschritte durchführten. Die Forderung nach Werkzeugen zur Trockenbearbeitung verschiedener Schichtverbundwerkstoffe war die Konsequenz.

Welche Besonderheiten weist die Trockenbearbeitung auf?

Die Trockenbearbeitung läuft vollständig ohne den Einsatz eines Kühlschmierstoffs ab. Kühlschmierstoffe dienen in erster Linie dazu, die Wärme abzuführen und die Reibung zwischen Werkzeug und Werkstück zu reduzieren. Zudem unterstützen sie den Abtransport der Späne. Wird auf Kühlschmierstoff verzichtet, müssen die Werkzeuge diese Aufgaben übernehmen. Daraus ergeben sich die zentralen Herausforderungen an die Werkzeuge, wenn die Flugzeugbauer ihren Bohrprozess auf die Trockenbearbeitung umstellen:

- Wärme abführen
- Wärmeentwicklung vermeiden
- Späne abtransportieren

Datum: 01.01.2018

Wird die Wärme nicht rechtzeitig abgeführt, steigt die Temperatur auf einen zu hohen Wert und das Material wird beschädigt. So führt beispielweise ein zu hoher Wärmeeintrag bei faserverstärktem Kohlenstoff dazu, dass das verwendete Harz verbrennt. Dadurch wird das Material spröde. Bei Aluminium bildet sich ein höherer Grat.

MAPAL Präzisionswerkzeuge
Dr. Kress KG
Postfach 1520 | D-73405 Aalen

Kontakt:
Andreas Enzenbach

Telefon: +49 7361 585-3683
Telefax: +49 7361 585-1019
E-Mail: presse@mapal.com

Worauf liegt der Fokus bei Bearbeitungen in einem Schritt?

Im Gegensatz zu einem mehrstufigen Bohrprozess muss das Kombinationswerkzeug beim Bearbeiten alle Arbeitsschritte (Vollbohren, Aufbohren, Reiben und Senken) übernehmen. Es fertigt die Bohrung für die Nietverbindung in einem Schritt. Damit ist zum einen die Position der Bohrung und zum anderen die Flucht zwischen dem zylindrischen Teil der Bohrung und der Senkung gewährleistet. Ein Winkelfehler oder Versatz wie bei mehrstufigen Operationen ist ausgeschlossen.

Qualitätsmerkmale der Bohrung:

- Durchmesser
- Übergangsradius
- Senkwinkel

Neben diesen Qualitätsmerkmalen spielt der Austrittsgrat eine große Rolle. Sollte sich bei einer mehrstufigen, manuellen Bohrbearbeitung, am Bohrungsaustritt ein Grat gebildet haben, so kann der Mitarbeiter diesen ohne großen Aufwand mit Hilfe eines Kegelsenkers entfernen. Läuft der Prozess allerdings automatisiert in nur einem Schritt ab, ist ein manuelles Entgraten nicht möglich. Daher muss das entsprechende Werkzeug in der Lage sein, nahezu gratfrei zu bohren. Die Flugzeugbauer geben hier in der Regel eine maximale Grathöhe von 0,1 mm vor. Zum Grat am

Datum: 01.01.2018

Bohrungsaustritt kommt der interlaminaire Grat zwischen den Lagen. Bildet sich dieser, müssen die Mitarbeiter des Flugzeugbauers den Schichtverbund am Ende der Bohroperationen demontieren, um den interlaminaire Grat zu entfernen. Diese Demontage ist zeitaufwendig und kostenintensiv, daher darf auch dieser Grat erst gar nicht entstehen.

MAPAL Präzisionswerkzeuge
Dr. Kress KG
Postfach 1520 | D-73405 Aalen

Kontakt:
Andreas Enzenbach

Telefon: +49 7361 585-3683
Telefax: +49 7361 585-1019
E-Mail: presse@mapal.com

Wie wirkt sich das Maschinenkonzept auf die Zerspanung aus?

Das Maschinenkonzept beeinflusst maßgeblich die Werkzeuggeometrie. CNC-Anwendungen auf Bearbeitungszentren oder Portalmaschinen zeichnen sich durch hohe Steifigkeit und stabile Maschinenführung aus. Das Werkzeug wird dadurch sehr gut in der Bohrung geführt. Anwendungen mit Bohrvorschubeinheiten, Robotern oder Handbohrmaschinen sind weniger stabil und erfordern für hohe Genauigkeiten und damit Werkzeuge mit zusätzlichen Stabilisierungsmerkmalen.

Eine weitere Besonderheit beim Einsatz von Bohrvorschubeinheiten sind die sogenannten „Nosepieces“, auch Führungsbuchsen genannt. Durch eine lange schmale Führungsbuchse transportiert das System die Späne über das Werkzeug ab. Das Ziel der Späne ist ein Absaugkanal am Ende der Führungsbuchse. Damit dieser Prozess funktioniert, sind lange Spanräume notwendig. Der Werkzeughersteller muss diese richtig dimensionieren und an die jeweilige Bearbeitung anpassen.

Für die Bohrungen an der Außenhaut (Rumpf und Flügel) setzen Flugzeugbauer meist Portalmaschinen oder Roboter ein. Die unzugänglichen Bohrbearbeitungen, hauptsächlich in der Endmontage realisieren die Mitarbeiter dann mit Bohrvorschubeinheiten oder mit Handbohrmaschinen gebohrt.

Datum: 01.01.2018

Welche Herausforderungen bestimmen die Bearbeitung von Schichtverbundwerkstoffen?

Neben Prozess und Maschinenkonzept haben die eingesetzten Werkstoffe einen großen Einfluss auf die Werkzeugauslegung. Jeder einzelne Werkstoff stellt individuelle Anforderungen an das Werkzeug und die Prozessparameter. Die Wahl der einzelnen Materialkombinationen im Flugzeugbau ist abhängig von den Belastungen, die im Flugbetrieb auf das Bauteil wirken. Generell steht zudem immer eine Einsparung des Gewichts im Fokus.

Was ist bei Werkzeugen für die Bearbeitung von Schichtverbundwerkstoffen zu beachten?

Außenhaut und Rippen von Flugzeugen der neusten Generation bestehen überwiegend aus einem Verbund aus CFK und Aluminium. Zudem werden im Bereich der Luftfahrt oft Kombinationen aus verschiedenen Aluminiumlegierungen oder aus CFK-Titan eingesetzt. Das Entscheidende bei den Bohrungen in diesen Schichtverbundwerkstoffen ist die Maßhaltigkeit. In beiden Werkstoffen der jeweiligen Kombinationen muss die Bohrung den exakt selben Durchmesser aufweisen. Gebohrt wird grundsätzlich von außen nach innen. Wird beispielsweise der Schichtverbundwerkstoff CFK-Aluminium bearbeitet, liegen der Bohrungseintritt und die Senkung in der Außenhaut, die aus CFK besteht, und der Bohrungsausritt in der darunterliegenden Struktur, die in Aluminium ausgeführt ist. Bei der einzelnen Bearbeitung der Materialien CFK und Aluminium sind die Geometrien der Werkzeuge sowie die Schnittdaten grundverschieden.

**MAPAL Präzisionswerkzeuge
Dr. Kress KG**
Postfach 1520 | D-73405 Aalen

Kontakt:
Andreas Enzenbach

Telefon: +49 7361 585-3683
Telefax: +49 7361 585-1019
E-Mail: presse@mapal.com

Datum: 01.01.2018

Bei der Paarung CFK-Titan werden Werkzeuge benötigt, deren Schneidkante stabil genug ist, um dem duktilen Titan zu widerstehen. Gleichzeitig muss die Schneide scharf sein, um das CFK zu schneiden. Ob ein Bohrprozess allein ausreicht, um die Bohrung zu fertigen, oder ob die Bohrung im Nachgang noch gerieben werden muss, hängt bei dieser Materialkombination von der geforderten Bohrungstoleranz ab.

MAPAL Präzisionswerkzeuge
Dr. Kress KG
Postfach 1520 | D-73405 Aalen

Kontakt:
Andreas Enzenbach

Telefon: +49 7361 585-3683
Telefax: +49 7361 585-1019
E-Mail: presse@mapal.com

Werkzeuge zum Bohren von Schichtverbundwerkstoffen aus unterschiedlichen Aluminiumlegierungen, beispielsweise 7050 und 2024, benötigen keine verschleißhemmende Beschichtung. Denn die im Flugzeugbau verwendeten Aluminiumsorten enthalten wenig bis kein Silizium und können somit nahezu verschleißfrei gebohrt werden. Dies unterscheidet diesen Schichtverbund bei der Bearbeitung entscheidend von Verbunden, die CFK enthalten.

Werkzeuge, die für Materialkombinationen eingesetzt werden, die CFK enthalten, versehen die Werkzeughersteller beispielsweise generell mit einer Diamantschicht. Diese wirkt der Abrasion des CFK entgegen und ermöglicht hohe Standzeiten. Ein Nachschliff dieser Werkzeuge ist nicht möglich, da die verwendete Diamantschicht eine sehr hohe Härte aufweist.

Was müssen Werkzeughersteller bei der Auslegung berücksichtigen, um Prozesssicherheit bei der Bearbeitung zu gewährleisten?

- Qualitätsanforderung
- Material
- Bearbeitungsprozess

Datum: 01.01.2018

Da die Großzahl der Bohrungen im Flugzeug aufgrund der Nieten eine Senkung benötigen, ist der Bohrungsaustritt kritischer zu bewerten, um kostenintensive Nacharbeiten auszuschließen.

MAPAL Präzisionswerkzeuge
Dr. Kress KG
Postfach 1520 | D-73405 Aalen

Kontakt:
Andreas Enzenbach

Telefon: +49 7361 585-3683
Telefax: +49 7361 585-1019
E-Mail: presse@mapal.com

Was genau müssen die Werkzeuge verhindern?

Im Werkstoff CFK:

- Delaminationen
- Faserüberstände

Im Werkstoff Aluminium:

- Gratbildung

Wichtig ist bei der Bearbeitung aller Einzelmaterialien sowie aller Schichtverbundwerkstoffe zudem die Spanabfuhr. Ist diese nicht gewährleistet, liegt die Bohrungsqualität beim Trockenbohren schnell deutlich außerhalb der geforderten Toleranzen. Die größte Herausforderung bei der Entwicklung eines Trockenbohrers stellt aber die Anpassung der Werkzeuggeometrie auf das labile Bearbeitungssystem der Bohrvorschubeinheiten in Kombination mit Schnittparametern und Spannsystemen (ConcentricCollet) dar.

MAPAL Kombinationswerkzeug für die Trockenbearbeitung von Alu-Alu-Kombinationen

Für die Trockenbearbeitung der Schichtverbundwerkstoffe aus unterschiedlichen oder gleichen Aluminiumlegierungen, hat MAPAL einen Bohrer mit Senkstufe entwickelt. Durch spezielle Geometriemerkmale hält das Werkzeug die Gratbildung gering. Zudem erreicht der Bohrer eine verbesserte Zentrierung. Die Beschichtung des Werkzeugs verhindert die Bildung einer Aufbauschneide an der Schneidkante. Speziell ausgeformte

Datum: 01.01.2018

Spannuten stellen die optimale Spanabfuhr sicher. Gekühlt wird mit Luft, was sowohl die Überhitzung an der Werkzeugschneide als auch die des Aluminiums und damit die Gratbildung verhindert. Zudem werden mit der Pressluft die Späne ausgeblasen.

MAPAL Präzisionswerkzeuge
Dr. Kress KG
Postfach 1520 | D-73405 Aalen

Kontakt:
Andreas Enzenbach

Telefon: +49 7361 585-3683
Telefax: +49 7361 585-1019
E-Mail: presse@mapal.com

Im Einsatz bei einem Flugzeughersteller: das Bohr-Senk-Werkzeug zur Bearbeitung von Alu-Alu-Kombinationen

- Einsatzort: Längsnaht im hinteren Hauptfeld
- Durchmesser: 4,748 mm
- Senkstufe: 100°
- Drehzahl: 2.959 min⁻¹
- Vorschub: 0,154 mm
- Standzeit: 1600 Bohrungen
- Toleranz: 4,73-4,805 mm

Bohr-Senk-Werkzeug zur Trockenbearbeitung von CFK-Alu-Kombinationen

Um Schichtverbundwerkstoffe aus CFK und Aluminium prozesssicher zu bearbeiten, hat MAPAL ebenfalls einen Bohrer mit Senkstufe zur Trockenbearbeitung entwickelt. Die spezielle Geometrie des Werkzeugs sorgt dafür, dass die entstehende Bearbeitungswärme nicht an das Bauteil abgegeben wird. Zudem werden weder das Bauteil noch die Arbeitsumgebung durch Kühlmittel verschmutzt. Der zweischneidige Bohrer aus Vollhartmetall vereint die Eigenschaften eines Bohrers zur Bearbeitung von Aluminium mit denen eines Bohrers zur CFK-Bearbeitung. Durch die speziell ausgeführten Spanräume ist die prozesssichere Abfuhr der Späne sichergestellt. Da CFK ein extrem abrasiver Werkstoff ist, ist der Bohrer diamantbeschichtet. Damit wird gegenüber einem unbeschichteten Bohrer die achtfache Standzeit erreicht.

Datum: 01.01.2018

Das Bohr-Senk-Werkzeug zur Trockenbearbeitung von CFK-Alu-Kombinationen ist erfolgreich bei Kunden im Einsatz. Es wird mit einer Drehzahl von 5.000 min⁻¹ und einem Vorschub von 0,1 mm gearbeitet. Das Werkzeug überzeugt in der Praxis nicht nur durch die erreichten Ergebnisse hinsichtlich Prozesssicherheit, Standzeit und Bearbeitungsergebnis, sondern auch durch den ruhigen Bohrprozess.

MAPAL Präzisionswerkzeuge
Dr. Kress KG
Postfach 1520 | D-73405 Aalen

Kontakt:
Andreas Enzenbach

Telefon: +49 7361 585-3683
Telefax: +49 7361 585-1019
E-Mail: presse@mapal.com

Zusammenfassung und Fazit

Unterschiedliche Materialkombinationen, die engen Toleranzvorgaben sowie die geringe Maschinenführung stellen die Werkzeughersteller vor große Herausforderung. Im Hinblick auf die automatisierte Fertigung durch Roboter gewinnt zudem die Trockenbearbeitung in der Luftfahrt immer mehr an Bedeutung. In enger Zusammenarbeit mit führenden Flugzeugherstellern hat MAPAL diese Herausforderungen gemeistert und innovative Bohr-Senk-Werkzeuge zur prozesssicheren Trockenbearbeitung von Schichtverbundwerkstoffen aus CFK-Aluminium und Aluminium-Aluminium entwickelt. Die gezielte Auslegung der Werkzeuggeometrien im Hinblick auf Werkstoffkombination, Maschinenkonzept und Bohrprozess ermöglicht in der Praxis eine signifikante Erhöhung der Prozessfähigkeit sowie der Standzeit der Werkzeuge. Bohrungen außerhalb der Toleranz sowie Defekte an Bohrungsein- und -austritt gehören damit der Vergangenheit an.

Datum: 01.01.2018

Bildmaterial:



Bild 1: Bei Bearbeitungen mit Bohrvorschubeinheiten müssen die eingesetzten Werkzeuge mit zusätzlichen Stabilisierungsmerkmalen ausgestattet sein.



Bild 2: Das Bohr-Senk-Werkzeug zur Trockenbearbeitung von CFK-Alu-Schichtverbundwerkstoffen vereint die Eigenschaften eines Bohrers zur Bearbeitung von Aluminium mit denen eines Bohrers zur CFK-Bearbeitung.

MAPAL Präzisionswerkzeuge
Dr. Kress KG
Postfach 1520 | D-73405 Aalen

Kontakt:
Andreas Enzenbach

Telefon: +49 7361 585-3683
Telefax: +49 7361 585-1019
E-Mail: presse@mapal.com

Datum: 01.01.2018



Bild 3: Im Flugzeugbau wird häufig ein spezielles CFK mit „Copper Mesh“ verwendet. Jegliche Delaminationen oder Faserüberstände am Bohrungseintritt werden mit dem Werkzeug von MAPAL vermieden.

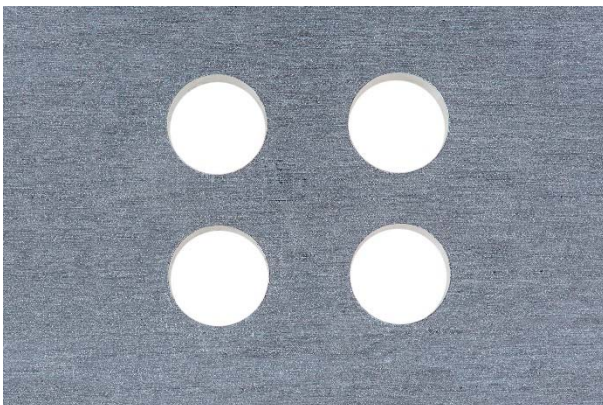


Bild 4: Das Bearbeitungsergebnis des Bohrungsaustritts im Aluminium überzeugt – der Austrittsgrad ist minimal.

MAPAL Präzisionswerkzeuge
Dr. Kress KG
Postfach 1520 | D-73405 Aalen

Kontakt:
Andreas Enzenbach

Telefon: +49 7361 585-3683
Telefax: +49 7361 585-1019
E-Mail: presse@mapal.com

Datum: 01.01.2018

MAPAL Präzisionswerkzeuge
Dr. Kress KG
Postfach 1520 | D-73405 Aalen

Kontakt:
Andreas Enzenbach

Telefon: +49 7361 585-3683
Telefax: +49 7361 585-1019
E-Mail: presse@mapal.com



Bild 5: Für eine zusätzliche Stabilisierung kommen sogenannte „Nosepieces“ zum Einsatz. Diese erschweren den Abtransport der Späne.



Bild 6: Um Materialkombinationen aus verschiedenen Aluminiumlegierungen prozesssicher zu bearbeiten ist der Alu-Alu-Bohrer von MAPAL unter anderem mit einer integrierten Reibstufe ausgestattet.

Bei Veröffentlichung bitten wir um Zusendung eines Belegexemplars postalisch zu Händen von Patricia Müller oder per E-Mail an patricia.mueller@mapal.com.