

Datum: 01.07.2019

## **E-Motorengehäuse gehen prozesssicher in die Großserie**

**Mit der Bedeutung der Elektromobilität in der Automobilindustrie steigen auch die produzierten Stückzahlen der Fahrzeuge mit elektrischem Antrieb. Zwar sind Elektromotoren per se nichts Neues, jedoch betreten Automobilhersteller mit ihrem Einbau in Fahrzeuge und der damit verbundenen Großserienfertigung Neuland. Präzisionswerkzeughersteller MAPAL stellt innovative Bearbeitungslösungen für die Zerspanungsaufgaben bereit, unter anderem für die komplexe Bearbeitung des E-Motorgehäuses.**

**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](mailto:presse@mapal.com)

## **MAPAL stellt innovative Bearbeitungslösungen für Zerspanungsaufgaben bereit**

Konstruktionsvariante und Leistungsanforderung – diese beiden Stichworte geben in der Entwicklung von Elektromotoren die Richtung vor. Konstruktiv geht der Weg ganz klar in Richtung Integration: Moderne Motorenkonzepte bringen den Elektromotor, die Leistungselektronik und das Getriebe in einem zentralen Gehäuse unter. Als Antrieb für Fahrzeuge müssen Elektromotoren ihre Leistungsfähigkeit in einem großen Temperaturspektrum erhalten. Dazu spielen Gewicht, Effizienz und Wirkungsgrad eine Rolle. Und in der Automobilindustrie kommt die Anforderung nach einer hochautomatisierten und möglichst kostengünstigen Fertigung in großer Stückzahl hinzu.

## **Skalierbarkeit des Anforderungskatalogs**

Die Automobilhersteller optimieren Verbrennungsmotoren im Hinblick auf diese Kriterien seit Jahrzehnten. Was jedoch für diese Motoren gang und gäbe ist, stellt im Hinblick auf Elektromotoren eine Herausforderung dar.

Datum: 01.07.2019

Das zeigt ein Vergleich zwischen einem Gehäuse eines Elektromotors und einem Getriebegehäuse: Das Elektromotorengehäuse weist deutlich enger definierte Toleranzen auf als das Getriebegehäuse. Denn die Genauigkeit hat entscheidenden Einfluss auf den Wirkungsgrad des Motors. Die Bearbeitung erschweren überdies integrierte Kühlkanäle, die das Gehäuse dünnwandig machen, sowie in einigen Fällen Mischbearbeitungen durch eingepresste Lagerbuchsen.

**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](mailto:presse@mapal.com)

In der Prototypenfertigung sind die genannten Aspekte oft noch ohne große Schwierigkeiten zu meistern. In der Großserienfertigung jedoch stellen sie eine echte Herausforderung dar. Und das nicht nur für die Einhaltung aller Toleranzen, sondern auch bezüglich der Prozesskosten. Neben der erwähnten Lagerbohrung ist die Bearbeitung der Statorbohrung besonders anspruchsvoll. Sie weist einen großen Durchmesser und eine große Tiefe auf.

### **Auswirkungen des Bearbeitungskonzepts auf die Werkzeugauslegung**

Die dünnwandigen E-Motorengehäuse neigen aufgrund ihrer glockenähnlichen Form zu Eigenschwingungen. Aus diesem Grund und wegen gussbedingter Spannungen im Bauteil ist besonderes Augenmerk auf die Aufspannung und auf die einzelnen Bearbeitungsoperationen zu legen. Bei der Aufspannung ist auf geringe Radialkräfte zu achten, damit das spätere Bearbeitungsergebnis, insbesondere die Zylinderform, nicht negativ beeinflusst wird.

Während am Bohrungseintritt ein radiales Aufmaß von ungefähr 0,5 mm vorliegt, bildet sich am Boden der Bohrung aufgrund der gussbedingten Entformungsschräge eine größere Materialanhäufung von bis zu 13 mm im

Datum: 01.07.2019

Durchmesser. Dadurch wirken hohe Bearbeitungskräfte auf das Bauteil und das Werkzeug, die in die Prozess- und Werkzeugauslegung einbezogen werden.

### **Limitierender Faktor Kippmoment**

Statorbohrungen weisen nicht selten einen Durchmesser von bis zu 300 mm auf. Um sie wirtschaftlich zu bearbeiten, setzen die Anwender Werkzeuge mit großen Durchmessern und langen Auskragungen ein. Bei solchen Verhältnissen hat neben dem Werkzeuggewicht das Kippmoment des Werkzeugs nennenswerten Einfluss auf den Bearbeitungsprozess und sind durch Vorgaben der Bearbeitungsmaschine und des Werkzeuggreifers möglicherweise limitiert. Grundsätzlich legen Werkzeugspezialisten aus diesem Grund die Werkzeuge möglichst gewichtsarm aus.

Zum Beispiel können spezielle Werkzeugkonstruktionen Gewicht und Kippmoment reduzieren, wie etwa neuartige Fertigungsmethoden und die dadurch mögliche Ultraleichtbauweise. Sie erlaubt nicht nur eine individuelle Kühlkanalführung, sondern ermöglicht extreme Gewichtseinsparungen durch geometrische Freiheiten und die Option innerer Hohlräume.

### **Empfehlenswert: Ein Mehrfach-Maschinenkonzept**

Geringe Werkzeuggewichte lassen auch Bearbeitungslösungen für kleinere Maschinenschnittstellen wie HSK-A63 zu. Denn nur verhältnismäßig leichte Werkzeuge mit großen Durchmessern sind für den Einsatz auf Maschinen mit weniger Leistung geeignet. Um große Durchmesser auf Maschinen mit kleinen Schnittstellen zu bearbeiten, kann darüber hinaus die Zähnezahl des

**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](mailto:presse@mapal.com)

Datum: 01.07.2019

Werkzeugs reduziert werden. So reduziert sich das Zeitspanvolumen beziehungsweise das Schnittmoment, allerdings auf Kosten der Taktzeit.

Diese Optionen sind deshalb von großer Bedeutung, da der Großteil der vorhandenen Bearbeitungszentren in der Automobilindustrie ebendiese HSK-A63 Schnittstellen aufweisen. Um die neuen Anforderungen an die Bauteile für elektrisch angetriebene Fahrzeuge zu erfüllen, rüsten Unternehmen ihre Maschinenparks um. Empfehlenswert für viele Bearbeitungsprozesse ist ein Mehrfach-Maschinenkonzept. Denn kleinere Spindeln arbeiten flexibler und um 15 Prozent schneller als HSK-A100 Spindeln. Eine optimale Prozessauslegung umfasst Bearbeitungszentren mit HSK-A63 für die Rundumbearbeitung und Bearbeitungszentren mit HSK-A100 für die Bearbeitung der Statorbohrung. In jedem Fall beeinflusst die maschinenseitige Trennstelle die Werkzeugauslegung grundlegend. Denn das maximal mögliche Drehmoment und die maximal mögliche Schnittleistung sind maßgeblich für die Definition der Werkzeugzähnezahl. Dabei gilt: Je höher die Zähnezahl, desto kürzer die Zykluszeit, desto leistungsfähiger muss die Bearbeitungsmaschine beziehungsweise die Spindel sein.

**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](mailto:presse@mapal.com)

## **Anforderungen an den Bearbeitungsprozess**

Der Zerspanung des Gehäuses liegen enge Toleranzen zugrunde bezüglich:

- der Koaxialität von Lagerbohrung und Statorbohrung;
- der Rechtwinkligkeit der Bohrungen zur Referenzfläche;
- der Rundheit und Zylinderform der Statorbohrung und des Lagersitzes.

Datum: 01.07.2019

Neben den Toleranzen stellen die meist eingesetzten AlSi-Legierungen besondere Anforderungen an den Bearbeitungsprozess. Je nach Zusammensetzung der Legierung entstehen sehr lange Späne, die es eigentlich zu vermeiden gilt. Sie führen tendenziell zu Verschleiß an Bauteil und Werkzeug, zu steigenden Drehmomenten oder zu höheren Temperaturen im Bauteil. Späne haben meist eine Temperatur von über 100 Grad Celsius. Und diese Wärme muss mit den Spänen abtransportiert werden. Um diese Anforderungen prozesssicher zu erfüllen, stehen bei MAPAL spezielle, durch die Finite-Elemente-Methode (FEM) entwickelte Spanleitstufen und Spanbrechergeometrien zur Verfügung.

**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](mailto:presse@mapal.com)

Eine weitere Herausforderung bei der hochgenauen Zerspanung der Gehäuse ist der Bauteilverzug durch Temperaturunterschiede. Aufgrund der Wärmeausdehnungseigenschaften von Aluminium ist dies häufig der Fall. Eine Vollwelle mit einem Durchmesser von 219 mm dehnt sich beispielsweise mit einer Temperaturänderung von fünf Grad Celsius um 0,026 mm aus. Im Hinblick auf die eng gesetzten Toleranzen stellt dies ein Problem dar: Die Ausdehnung entspricht in etwa der Durchmesser- und Formtoleranz eines E-Motorgehäuses. Eine Kühlschmierung mithilfe einer Emulsion (Kühlschmierstoff) oder in Einzelfällen auch eine Minimalmengenschmierung reduzieren Temperaturschwankungen über den entsprechenden Späneabtransport. Auch die Anpassung von Schnittwerten und Vorschüben leistet hier einen Beitrag.

## **Die Auslegung der Werkzeuge**

Von MAPAL stehen für die genannten Anforderungen mehrere Werkzeuglösungen zur Verfügung und sind im täglichen Einsatz. Unter anderem eine Variante, die als Schweißkonstruktion gefertigt ist. Das macht

Datum: 01.07.2019

die Werkzeuge gewichtsarm und gleichzeitig besonders stabil, um dünnwandige Gehäuse prozesssicher zu bearbeiten. Bei dieser Werkzeugbauart dient eine Rohrkonstruktion als Grundkörper. Im Vergleich zu einer herkömmlichen Bohrstange wiegen die Werkzeuge nur rund die Hälfte. Die Schneidenträger und, falls vorhanden, die Führungsleisten, sind angeschweißt und stützen sich durch Verbindungsstege gegenseitig ab. Das minimiert die Gefahr des Ratterns. Und gewährleistet zudem die Abstützung bei Schnittunterbrechungen. Das Biegezugwiderstandsmoment ist durch die Rohrkonstruktion und die Stabilisierungsrippen sehr gut. Trotz langer Auskragungen und großem Durchmesser arbeiten die Werkzeuge hochgenau. Um dies zu gewährleisten, untersuchen die Spezialisten bei MAPAL mittels umfangreicher FEM-Analysen (Finite-Elemente-Methode) beispielsweise die Kühlmittelverteilung, die Zerspanungskräfte oder das Dreh- und Kippmoment.

In enger Abstimmung mit dem Kunden legen die Spezialisten von MAPAL die Werkzeuge je nach Aufmaßsituation, Maschinenpark und Aufspannung individuell aus und halten auf diese Weise die auf das Bauteil wirkenden Schnittkräfte möglichst gering. Drei Bearbeitungsschritte gehören zur Statorbohrung: Vorbearbeitung, Semi-Finishbearbeitung und Fertigbearbeitung. Alle drei Bearbeitungswerkzeuge legt MAPAL als Schweißkonstruktion aus.

## **Vorbearbeitung: Hoher Materialabtrag mit wirtschaftlichen Arbeitswerten**

Ausschlaggebend für die Auslegung des Werkzeugs für die Vorbearbeitung ist in den meisten Fällen die Bearbeitungsmaschine. Die erste Wahl für MAPAL ist ein Aufbohrwerkzeug mit Kurzklemmhaltern und PKD-bestückten Wendeschneidplatten. Dieses Werkzeug arbeitet mit hohen

**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](mailto:presse@mapal.com)

Datum: 01.07.2019

Schnittgeschwindigkeiten und Vorschüben und erzielt schnell und damit wirtschaftlich einen hohen Materialabtrag. Allerdings erfordert es eine Maschine mit hohem maximalem Drehmoment und entsprechender Leistung.

Ist eine solche Maschine nicht verfügbar, kann die Statorbohrung mit einem ISO-Helixfräser mit PKD-bestückten Wendeschneidplatten vorgefräst werden. Der Helixfräser erreicht ebenfalls sehr hohe Schnittdaten; allerdings ist die Bearbeitungszeit durch den größeren Bearbeitungsweg deutlich länger.

### **Semi-Finishing und Fertigbearbeitung: Höchste Präzision sicherstellen**

Auch bei der Semi-Finishbearbeitung liegt der Fokus auf dem Drehmoment und der Leistung der Maschine. Das Semi-Finishwerkzeug bearbeitet den aufwendigen Konturzug des E-Motorgehäuses so vor, dass die abschließende Fertigbearbeitung in einem Arbeitsgang prozesssicher gelingt. Ein Präzisionsaufbohrwerkzeug mit PKD-bestückten ISO-Wendeschneidplatten ist hier das Werkzeug der Wahl.

Das Finishwerkzeug stellt die komplette Kontur mit Fasen und radialen Übergängen innerhalb einer Toleranz von wenigen  $\mu\text{m}$  her. Um höchste Genauigkeit zu erreichen, ist das Feinbohrwerkzeug mit feinjustierbaren PKD-bestückten Schneidplatten ausgestattet. Führungsleisten gewährleisten eine optimale Abstützung in der Bohrung.

### **Lagerbohrung: Mischbearbeitung stellt Herausforderung dar**

Einige Varianten der Elektromotorengehäuse weisen eine eingepresste Stahlbuchse für die Lagerung der Rotorwelle auf. Dabei wird zunächst der

**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](mailto:presse@mapal.com)

Datum: 01.07.2019

Sitz der Buchse bearbeitet und während des Prozesses eine Buchse eingepresst. Aufgrund der hohen Anforderungen an Koaxialität von Lagerbohrung und Statorbohrung bearbeitet anschließend ein Kombinationswerkzeug beide Bohrungen fertig. Dabei zerspannt ein Teil des Werkzeugs die Stahlbuchse, der restliche Teil gleichzeitig die Statorbohrung aus Aluminium. Diese sogenannte Mischbearbeitung stellt Werkzeughersteller vor mehrere Herausforderungen: Sie müssen zum einen die Stahlspäne prozesssicher vom Aluminiumbereich fernhalten, um nicht die Bauteiloberfläche oder die PKD-Führungsleisten des Werkzeugs zu beschädigen. Zum anderen unterscheiden sich die beiden Materialien grundsätzlich – in der Wahl der Schnittgeschwindigkeiten oder der zu erwartenden Standzeiten der Schneiden.

**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](mailto:presse@mapal.com)

Eine spezielle Spanleitstufe, eine optimierte Kühlmittelführung sowie geöffnete Spanräume stellen in der MAPAL Bearbeitungslösung sicher, dass die Stahlspäne prozesssicher nach vorne abtransportiert werden. Die Aluminiumspäne hingegen führt das Werkzeug durch eine eigens ausgelegte Rückspülung nach hinten ab. Die MAPAL Lösung verfügt darüber hinaus über einen sogenannten Protektionsschild, der zusätzlich sicherstellt, dass die Stahlspäne im vorderen Bereich bleiben (siehe Bild unten, Werkzeug 3).

Wie aber den unterschiedlichen Schnittwerten und Standzeiten begegnen? Für Aluminium empfehlen die Spezialisten eine Schnittgeschwindigkeit von 800 m/min; für Stahl nur 200 m/min. Und während eine PKD-bestückte Schneide 6.000 bis 8.000 Aluminium-Bauteile bearbeitet, liegt die Schneidenstandzeit in der Stahlbearbeitung, in der Regel Cermet, bei nur 250 bis 300 Bauteilen. Die Lösung sind Wendeschneidplatten. Vor Ort



Datum: 01.07.2019

auswechselbar, können beide Schneidentypen bis zu ihrem Standzeitende im Einsatz bleiben.

## **Bearbeitungsmöglichkeiten für tiefe Bohrungen mit großem Durchmesser:**

### **MAPAL Variante um 90 Prozent schneller**

MAPAL empfiehlt, tiefe Bohrungen mit großem Durchmesser mittels Auf- und Feinbohren zu bearbeiten. Daneben gibt es noch ein zweites Verfahren, das für die Bearbeitung der Statorbohrung zum Einsatz kommt: das Ausspindeln. In einem Anwendungsbeispiel bearbeiten zwei Ausspindelwerkzeuge mit jeweils einer PKD-bestückten Schneide zum Schruppen und Schlichten eine Statorbohrung mit einer Länge von 200 mm, einem Rohteildurchmesser von 215,7 mm und einem Solldurchmesser von 220 mm. Die Bearbeitungszeit beträgt rund fünf Minuten.

In der MAPAL Variante mit Auf- und Feinbohren weisen die Werkzeuge acht beziehungsweise vier PKD-bestückte Schneiden auf. Die Bearbeitungszeit pro Bauteil ist signifikant kürzer: Der Prozess dauert lediglich 0,48 Minuten und ist damit deutlich wirtschaftlicher bei gleich präzisiertem Bearbeitungsergebnis. Die Bearbeitungsfolge mit drei Arbeitsschritten ist sehr erfolgreich in der Praxis im Einsatz. Die geforderten, sehr engen Toleranzen hinsichtlich Koaxialität, Rundheit und Zylinderform hält die MAPAL Lösung prozesssicher ein.

**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](mailto:presse@mapal.com)

Datum: 01.07.2019

Bildmaterial:



Bild 1: Als Technologiepartner seiner Kunden bietet MAPAL innovative Bearbeitungslösungen für die komplexe Zerspaltung des E-Motorgehäuses.



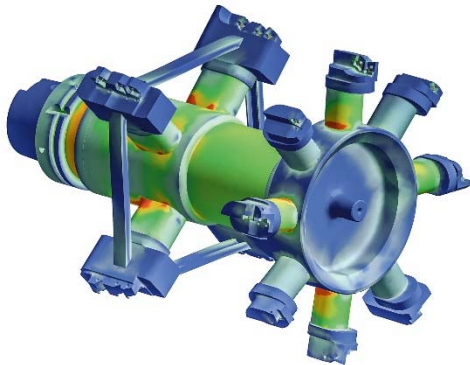
Bild 2: Spezielle Spanleitstufen und Spanbrechergeometrien sichern einen prozesssicheren Bruch und Abtransport der Späne.

**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](mailto:presse@mapal.com)

Datum: 01.07.2019



**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](mailto:presse@mapal.com)

Bild 3: Bei der Entwicklung der Schweißkonstruktionen als Feinbohrwerkzeug wurden zahlreiche Analysen durchgeführt.



Bild 4: MAPAL bietet den gesamten Prozess für die Komplettbearbeitung von Elektromotorgehäusen.

Datum: 01.07.2019

**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](mailto:presse@mapal.com)



Bild 5: MAPAL empfiehlt für die Bearbeitung der Statorbohrung einen Prozess mit drei Schritten – Vorbearbeitung (1), Semi-Finishbearbeitung (2) und Fertigbearbeitung (3).

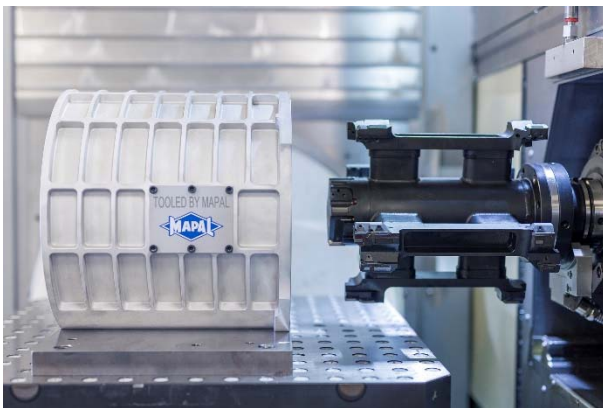


Bild 6: Mit einem Feinbohrwerkzeug als Schweißkonstruktion wird die Hauptbohrung des Zentralgehäuses auf wenige  $\mu\text{m}$  genau bearbeitet.

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