

Spritzgießwerkzeuge zur Isolierung von Statorn und Rotoren

Umspritztechnik als Voraussetzung für kostengünstige und hochwertige Elektromotoren

Bauteile für die Elektrotechnik setzen sich zusammen aus elektrisch leitenden und nichtleitenden Werkstoffen. Der Wettbewerbsdruck macht eine Reduzierung der Komponentenzahl und Arbeitsschritte sowie eine Rationalisierung in der Montage erforderlich. Der Formenbauer Mühlbeyer setzt bei seinen Werkzeugen für die Fertigung von Statorn und Rotoren auf die Hybridtechnik, bei der Kontaktmaterial und Kunststoff in einem Arbeitsgang unlösbar miteinander verbunden werden.



Verschiedene kunststoffummantelte Statorn. Beim Umspritzen der Stanzkomponenten können neben der Isolierung auch technische Funktionen in das Bauteil eingebracht werden © Mühlbeyer

Wenn sich in unserer modernen Welt etwas auf Knopfdruck dreht oder bewegt, sind meist elektrische Antriebe am Werk. Im industriellen Umfeld – Maschinen, Apparate, Materialbearbeitung, Chemie, Kunststoffe, Papier, Textil, Nahrungsmittel, Stein/Erden – machen Elektromotoren Fertigungsprozesse effektiv und effizient. Auch im Verkehr (Bahn, Automobil, Schiff, Flugzeug), bei Haushaltsgeräten, in der Landwirtschaft und bei Konsumgütern sind Elektromotoren nicht

mehr wegzudenken. Schon bei der Herstellung elektrischer Antriebe in der Großserienfertigung ermöglichen Elektromotoren ein hocheffizientes Fertigungsverfahren, durch das sich ein sehr gutes Preis-Leistungs-Verhältnis erzielen lässt.

Die wesentlichen Bestandteile eines einfachen Elektromotors sind:

- Rotor (drehender Elektromagnet),
- Stator,
- Polwender oder Kommutator (nur bei Gleichstrommotoren),

- Bürsten,
- Spule und
- Welle.

Der Rotor (**Bild 1**) ist der bewegliche Teil des Motors und bewegt sich zwischen den beiden Polen des Stators (**Bild 2**). Je nach Art des elektrischen Antriebs und der elektrischen Wicklung lassen sich Elektroantriebe aus leistungserzeugender Sicht in zwei Hauptkomponenten einteilen:

- Das sogenannte Blechpaket dient der Führung und lokalen Konzentration der magnetischen Feldlinien.
- Die elektrische Wicklung erzeugt das Magnetfeld.

Das Blechpaket eines Elektromotors besteht aus dünnen Blechen eines weichmagnetischen Werkstoffs, die je nach Maschinentyp und -größe Dicken von ca. 0,1 mm bis 1,2 mm aufweisen. Aus diesen Blechen wird die zweidimensionale Form des Rotors bzw. des Stators mit Stanzwerkzeugen ausgestanzt. Die Bleche werden in axialer Richtung gestapelt und sind, um den Einfluss von Wirbelströmen zu minimieren, gegeneinander elektrisch isoliert.

Die Wicklung eines Elektromotors besteht aus Kupferdrähten der unterschiedlichsten Ausführung: Litzendraht, Flachdraht, Profildraht, Feindraht, Bohrdraht, geflochtener Draht, „Baked Varnish Wire“ oder Standarddraht mit Isolierschicht und ggf. mit Gleitmittelbeschichtung. Die Drähte sind unabhängig von der Wicklungsart (verteilte oder konzentrierte Wicklung) gegeneinander und gegen das Blechpaket elektrisch isoliert.

Bezüglich der thermischen Belastbarkeit bildet die Isolation der Wicklung die Schwachstelle des Elektromotors. Thermi-



Bild 1. Beispiele für kunststoffummantelte Rotoren © Mühlbeyer

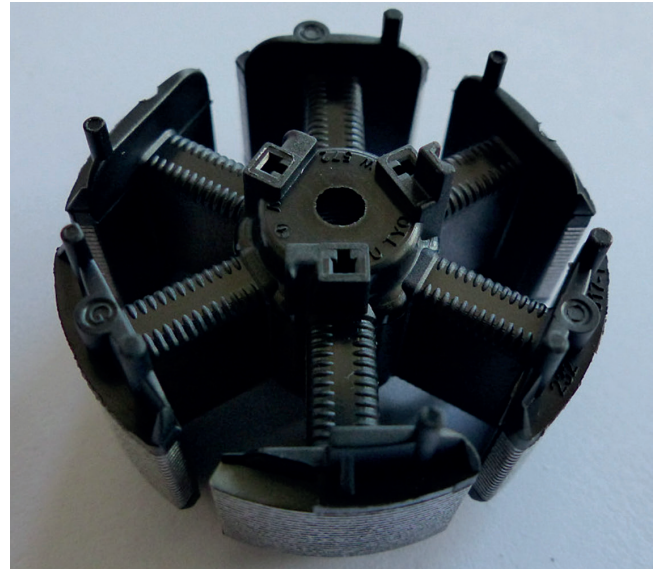


Bild 2. Mit einem Polyphenylsulfid (PPS) ummantelter Stator © Mühlbeyer

sche Materialien weisen Einsatztemperaturen von bis zu 250°C auf. Gleichzeitig stellen die Kupferleiter aufgrund von Stromwärmeverlusten die mit Abstand größte Wärmequelle dar. Das heißt, die Leistungsdichte ist abhängig von der thermischen Belastbarkeit der Isolation und von der Möglichkeit, die entstandene Verlustwärme abzuführen. Zur Führung des Stroms sind die Isolierwerkstoffe ebenso bedeutend wie die Leiterwerkstoffe.

Die Isolierwerkstoffe sind so bedeutend wie die Leiterwerkstoffe

Die Vielzahl verfügbarer Isolierwerkstoffe macht die Auswahl wie auch die zusammenfassende Darstellung sehr schwierig. Dies ist u.a. bedingt durch die verschiedenartigen Anforderungen, wie beispielsweise eine hohe Durchschlagfestigkeit und Kriechstromfestigkeit, eine gute thermische Leitfähigkeit, eine hohe Temperaturbeständigkeit, eine gute chemische Beständigkeit, eine hohe mechanische Festigkeit und geringe Kosten. Da diese Ziele schwer miteinander vereinbar sind, werden je nach Priorität speziell angepasste Isolierwerkstoffe ausgewählt. Die verwendeten Isolierwerkstoffe haben direkten Einfluss auf die Wärmeleitung, die Spannungssicherheit und insbesondere auf die geometrische Gestaltung des Motors. So sind Dicken der Isolierschicht und Kriechwege konstruktiv vorzusehen.

Dabei ist auch zu beachten, wie das Isoliersystem des Elektromotors sich belastungsgerecht auslegen lässt. Unter an-

derem müssen die Spannungsverteilung bei verschiedenen Betriebszuständen analysiert und diverse Isolierwerkstoffe charakterisiert werden. Diese Funktion erfüllen in aller Regel Kunststoffe.

Bei kunststoffummantelten Statorn bzw. Statorsegmenten werden beim Umspritzen der Blechpakete außer der Nutisolation und der Basisplatte zur Anlage des Stanzpakets auch technische Funktionen eingebracht wie z.B. Spurrillen für Drahtübergänge, Poltaschenisolationen, Steckerschächte für Kontakteile, Umlenkstifte, Polschuhinnenflansche, Durchlässe für Drahtführungen, Freihaltungen für Schraubenköpfe sowie Ein- und Auslaufschlitze (**Bild 3**).

Zu Beginn eines Spritzgießzyklus wird das Stanzpaket händisch oder automatisch durch Greifer in das Werkzeug eingelegt und über einen Mittelkern positioniert. Während das Werkzeug schließt, wird es durch Schieber in Position gehalten und anschließend mit Kunststoff, z.B.

einem PPS-GF40, zum fertigen Bauteil umspritzt. Zuletzt folgt die automatische optische Qualitätskontrolle der Bauteile durch eine Kamera. Derartige Werkzeuge sind eine der Spezialitäten der Mühlbeyer Werkzeug- und Formenbau GmbH.

Bei hohen Werkzeugtemperaturen werden die Werkzeugbauteile teurer

Der für die Isolierung der Statorsegmente, des Stators, Rotors oder Lüfterrads ausgewählte Kunststoff beeinflusst im Wesentlichen die Kosten des Spritzgießwerkzeugs. Ein Kunststoff wie z.B. ein Polyamid (PA), der eine Werkzeugtemperatur von 80 bis 100°C verlangt, verursacht weit geringere Kosten als ein Kunststoff wie etwa Polyphenylsulfid (PPS), der eine Werkzeugtemperatur von ca. 150°C benötigt, oder wie ein Polyetherketon (PEK) oder Polyetheretherketon (PEEK), die gar eine Werkzeugtemperatur von 240°C und mehr verlangen. »

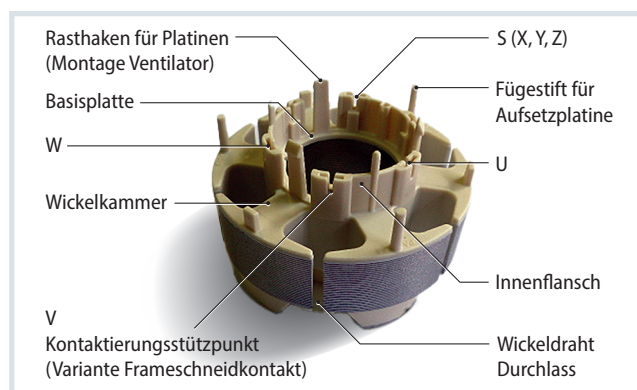


Bild 3. Kunststoffummantelter Stator mit zusätzlichen technischen Funktionen. U/V/W bezieht sich auf den elektrischen Anschluss (Motorsternschaltung; S = Sternpunkt)

© Mühlbeyer

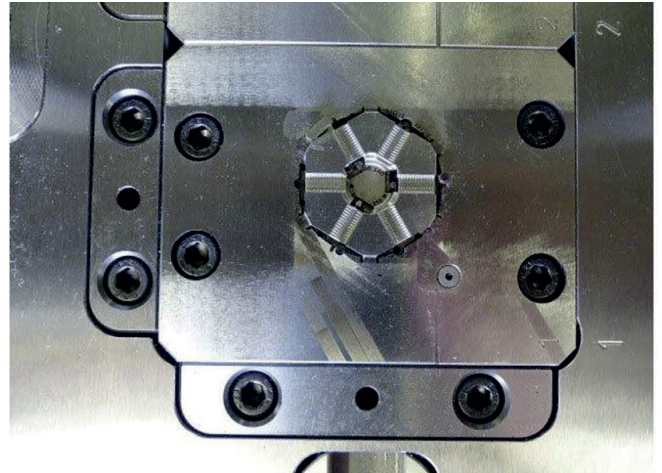
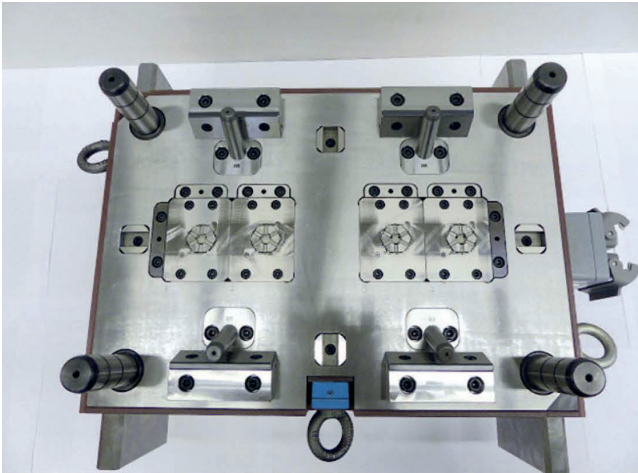


Bild 4. Düsenseite eines 4-fach-Werkzeugs für kunststoffummantelte Statorn. Daneben der Haupteinsatz des Werkzeugs in Nahaufnahme © Mühlbeyer

Bei hohen Werkzeugtemperaturen werden die Normalien wie Sensoren, Aktoren, Magnete bei Einlegeteilen, die vollständige Rundumisolierung des Spritzgießwerkzeugs, das Heißkanalsystem oder auch die aufwendigeren Schieber (Gratbildung) deutlich teurer. Die Maßtoleranzen bei den Werkzeugbauteilen verkleinern sich und können eine Anfertigungsgenauigkeit von 2 µm erfordern.

Des Weiteren sind die Werkzeugkorrekturen bei Anwendungen mit den Hochleistungskunststoffen PPS, PEEK und PEK wesentlich aufwendiger, weil die Viskosität (Gratbildung an den Tuschierflächen) höher ist als bei PA. Die Gratbildung kann bei Hochspannungsisolierkörpern zu Teilentladungen oder auch beschädigten Drähten oder Wickelfehlern führen.

Fließleiter unterstützen die Füllung in dünnwandigen Bereichen

Bei Kunststoffcompounds mit Glasfaserverstärkung oder Glimmerzusatz wird das Fließverhalten negativ beeinflusst. Daher sollte möglichst eine Spritzgießsimulation, z.B. mit Autodesk Moldflow Insight, durchgeführt werden, um eine Fehlkonstruktion aufgrund falscher Annahmen zu vermeiden. Mögliche Fehlerbilder des Spritzgussteils können beispielsweise eine unvollständige Ausspritzung oder Bindenahtfehler sein. In der Simulation können ggf. auch zusätzliche Fließhilfen, Mehrfachanbindungen etc. eingebracht und berechnet werden – oder auch eine Überlaufkavität, in der der überschüssige Kunststoff automatisch beim Öffnen des Werkzeugs abgetrennt wird.

Fließhilfen werden zusätzlich an den Stellen eingebracht, die die Funktion des Elektromotors nicht beeinflussen. Dies kann z.B. bei der Nutsisolierungsfläche in Richtung des Mitte-Innenbereichs des Jochrings sein, die nicht von der Wicklung berührt wird. Auch können Fließleiter durch Löcher mit wenigen Millimetern Durchmesser durch das Lamellenpaket des Rotors oder Stators realisiert werden. Diese Fließleiter unterstützen den Materialfluss von Thermoplasten und fördern die komplette Füllung von dünnwandigen Sektionen.

In jedem solchen Spritzgießwerkzeug muss immer eine Kompensation der Stanzpakettoleranzen berücksichtigt werden (bis zu 0,8 mm), um einen stabilen Prozess sicherstellen zu können. In der Konstruktion sind aufgrund der wickeltechnischen Auslegung kleinste Geometrien (z. B. Radius 0,1 mm) zum Ablegen des Wickeldrahts notwendig. Für die Schräglagenwicklung in Rillen wird eine gewisse Oberflächenrauigkeit benötigt, die das Verrutschen der Wicklung verhindern soll.

Das setzt natürlich voraus, dass der polymere Isolierwerkstoff dies auch leistet.

Wie exakt die Einlegeteile positioniert werden, hat Folgen

Einlegeteile wie Dauermagnete, Blechpaket oder anderes müssen im Spritzgießwerkzeug exakt positioniert werden. Ihre Position muss während des Spritzgießens eindeutig definiert sein. Dies gelingt mit verschiedenen Mühlbeyer-Klemmsystemtechniken im Spritzgießwerkzeug. Je höher die Positioniergenauigkeit der Einlegeteile, desto geringer ist die Unwucht des Motors. Das heißt, dass die asymmetrische Verteilung der Rotormasse dadurch vorteilhaft verringert wird.

Eine geringere Unwucht wirkt sich wiederum positiv auf die Effizienz des elektrischen Antriebs aus und verringert so gleichzeitig die Geräuschbildung und den Bauteilverschleiß. Weiterhin kann durch die lagegenaue Positionierung des Blechpakets bzw. des Grundkörpers im Spritzgießwerkzeug die Toleranzkette in



Bild 5. 4-fach-Werkzeug (Auswerferseite) für einen Stator, das auf einer Rundtischmaschine läuft. Darin enthalten ist ein CVe-Monitor zur elektronischen Werkzeugüberwachung, der auf dem Display Schusszahl, Zykluszeit und Auslastung anzeigt © Mühlbeyer

Radial-, Umfangs- und Längsrichtung verbessert werden.

Zur Konstruktion des Spritzgießwerkzeugs gehört es, einen Funktionsablaufplan für das Spritzgießwerkzeug festzulegen. Damit werden Funktion und Position der Einlegeteile sichergestellt. Ebenso muss die Drahtführung gewährleistet werden. Die aufgrund der verschiedenen Blechpakete unterschiedlichen Bauhöhen der Stator- und Rotoren müssen mithilfe eines mechanischen Höhenausgleichs im Spritzgießwerkzeug (Bild 4 und 5) berücksichtigt werden. Auch sind der Anspritzpunkt oder die Anspritzpunkte festzulegen, sodass eine vollständige Füllung und Verzugsarmut der Kunststoffummantelung gewährleistet sind.

Eine komplette Füllung ist wesentlich, um jede Möglichkeit eines dielektrischen Versagens während des Betriebs auszuschließen. Eine weitere Herausforderung für die Konstruktion des Spritzgießwerkzeugs stellt die zum Teil geforderte Blankheit der Außen- und Innenseite des Jochrings dar. Auch hierfür müssen konstruktive Maßnahmen ergriffen werden. Dies gelingt z. B. durch verschiedene Abdichtungstechniken zum Stanzteil.

In besonderen Fällen, wenn die Anwendung auf einer Anlage mit Rundtisch läuft, wird das Werkzeugunterteil doppelt ausgeführt (Bild 6). Der Rundtisch lässt dem Beladegreifer jeweils ausreichend Zeit, um anzudocken und das Stanzpaket und andere Einlegeteile sorgfältig an der richtigen Stelle einzulegen. Dazu richtet sich der Greifer selbstständig bis auf wenige hundertstel Millimeter genau über dem Vierfach-Werkzeug aus. Anschließend werden die Einlegeteile, deren Vollständigkeit mithilfe einer Kamera geprüft wird, exakt im Werkzeug positioniert. Der Roboter holt nach dem Umspritzprozess die fertigen Bauteile ab. Der Rundtisch dreht sich um 180°. Schließlich legt der Roboter das umspritzte Bauteil in Kisten ab, die übereinandergestapelt werden und über ein Förderband die Anlage verlassen. Währenddessen werden die Kavitäten der zweiten Werkzeugunterhälfte auf der anderen Seite des Rundtellers wieder gefüllt. Ein kompletter Spritzzyklus dauert 26 s. Dies bedeutet für die Kunden eine sehr hohe Produktivität.

Auch die Bearbeitung der Einzelbauteile für die Stator- oder Rotor-Spritzgießwerkzeuge kann besondere Maßnahmen erfordern. So wurden z. B. in einem vor-

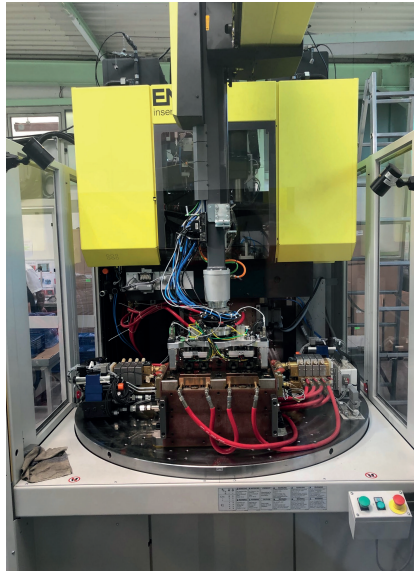


Bild 6. Vollautomatisierte Fertigungsanlage: Das 4-fach-Werkzeug für Stator- – bestehend aus einem Werkzeugober- und zwei auf dem Rundtisch montierten Werkzeugunterteilen – wurde inkl. Handling von Mühlbeyer konstruiert und gebaut © Mühlbeyer

kurzem gebauten Werkzeug, das zur Produktion von Rotoren und Stator- von Elektromotoren dient, außer den Stanzpaketen auch Magnete eingelegt. Dies machte es notwendig, für die Formen einen Werkstoff zu verwenden, der selbst nicht magnetisch ist. Darum hat sich Mühlbeyer bei diesem Werkzeug für den nicht magnetisierbaren Werkstoff Ferrotitan entschieden.

Bei den ersten Versuchen, dieses mit 48 bis 53 HRC nicht besonders harte, aber aufgrund seines Titankarbid- und Austenitgefüges sehr verschleißfeste Material zu fräsen, verschweißten die abgefrästen Späne in den Fräseschneiden. Daher mussten spezielle Fräser für das Ferrotitan eingesetzt werden. Außerdem wurden zusätzliche Spannvorrichtungen gebaut, weil die magnetische Spann-technik für diese Titan-Eisen-Legierung in allen Fertigungstechniken ausfällt.

Fazit

Die hier beschriebene Werkzeugtechnik für kunststoffummantelte Blechpakete und Einlegeteile ist ein Mehrwert für Kunden, die Stator- und Rotoren für Elektromotoren (stromerregte oder permanentmagnetisierte) produzieren und verbauen. Die damit praktizierte Umspritztechnik, mit der Mühlbeyer darüber hinaus

Anwender aus der Automobil-, Bahn-, Windkraft-, Elektro-, Steuerungs-, Klima-, Anlagen- und Automatisierungstechnik bedient, zeichnet sich durch eine hohe Prozess- und Kosteneffizienz aus, da neben der Isolierung auch technische Funktionen in das Bauteil eingebracht werden. ■

Der Autor

Stefan Dürr ist Geschäftsführer der Mühlbeyer Werkzeug- und Formenbau GmbH, Bad Friedrichshall; s.duerr@muehlbeyer.de

Im Profil

Einer der Schwerpunkte der Mühlbeyer Werkzeug- und Formenbau GmbH ist der Bau von Spritzgießwerkzeugen für das Umspritzen von Blechpaketen und anderen Einlegeteilen mit einem Isolierwerkstoff zur Fertigung kunststoffummantelter Stator- und Rotoren für Elektromotoren. Vorteile der Umspritztechnik gegenüber der konventionellen Papierisolation sind unter anderem:

- für die gesamte Isolierung (Nutenisolation und stirnseitige Isolation, Endscheiben mit zahlreichen Zusatzfunktionen) wird nur ein Spritzgießwerkzeug benötigt;
- die verbesserte Wärmeleitfähigkeit,
- die erleichterte Motorwicklung und
- die hohe Kosteneffizienz.

Mühlbeyer bietet Spritzgießwerkzeuge für gedrahte und nicht gedrahte Außen- und Innenläufer bei Stator- und Rotoren mit umspritzter Kunststoffisolation (Stanzpakethöhe bis ca. 90 mm, dünnwandige Isolierung 0,5 mm), für einfach oder zweifach umspritzte Statorsegmente oder Stator- mit umspritztem Kugellager bzw. Sinterlager oder mit Schaltscheibe und Abdeckkappe für eine präzise Abstimmung der einzelnen Bauteile, um eine sichere und automatisierte Montage zu gewährleisten.

» www.muehlbeyer.de

Service

Digitalversion

» Ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/onlinearchiv

English Version

» Read the English version of the article in our magazine *Kunststoffe international* or at www.kunststoffe-international.com