

Autor: Stefan Dürr, Geschäftsführer von MÜHLBEYER Werkzeug- und Formenbau GmbH

Spritzgießwerkzeug für die Herstellung der Statoren-Isolierung

Wenn sich in unserer modernen Welt etwas auf Knopfdruck dreht oder bewegt, sind meist elektrische Antriebe am Werk. Im industriellen Umfeld (Maschinen, Apparate, Chemie, Papier, Materialbearbeitung, Textil, Nahrungsmittel, Stein/Erden, Kunststoffe) 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 hocheffektives und -effizientes 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 ist der bewegliche Teil des Motors und bewegt sich zwischen den beiden Polen des Stators. Je nach elektrischer Antriebsart und Art 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, die aus einem weichmagnetischen Werkstoff bestehen und je nach Maschinentyp und -größe, Stärken

von ca. 0,10 mm bis 1,20 mm aufweisen. Aus diesen wird die zweidimensionale Form des Rotors bzw. des Stators mittels Stanzwerkzeugen ausgestanzt. Die Bleche werden in axialer Richtung gestapelt und sind, um den Einfluss von Wirbelströmen zu mini-



Bild 1: Kunststoffummantelter Stator (PPS)



Bild 2: Kunststoffummantelter Rotor

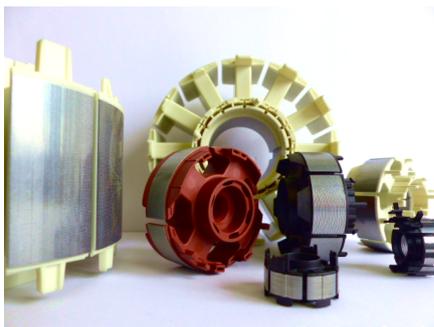


Bild 3: Verschiedene kunststoffummantelte Statoren

mieren, gegeneinander elektrisch isoliert.

Die Wicklung eines Elektromotors besteht aus Cu-Drähten der unterschiedlichsten Ausführung: Litzen draht, Flachdraht, Profildraht, Feindraht, Bohrdraht, geflochtener Draht, Bake Varnis 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 stellt die Wicklungsisolierung die Schwachstelle des Elektromotors dar. Thermische 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 von der thermischen Belastbarkeit der Isolation und von der Möglichkeit, die entstandene Verlustwärme abzuführen, abhängig. Zur Führung des Stroms sind die Isolierwerkstoffe ebenso 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 bspw. einer hohen Durchschlagfestigkeit, einer hohen Kriechstromfestigkeit, einer guten thermischen Leitfähigkeit, einer hohen Temperaturbeständigkeit, einer guten chemischen Beständigkeit, einer hohen mechanischen Festigkeit und geringen Kosten. Da diese Ziele

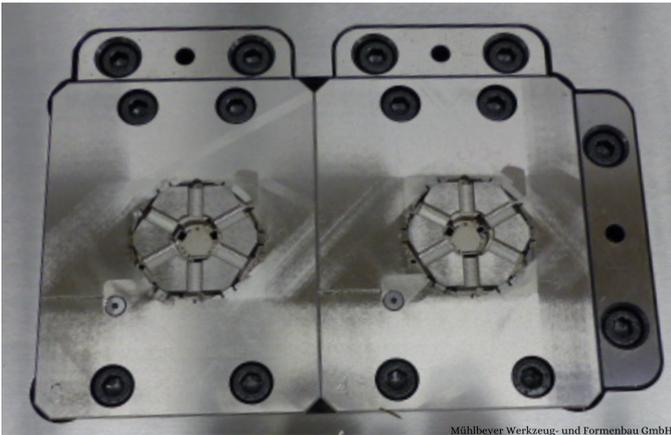


Bild 4: Spritzgießwerkzeug 1-fach Düsenseite für kunststoffummantelter Stator

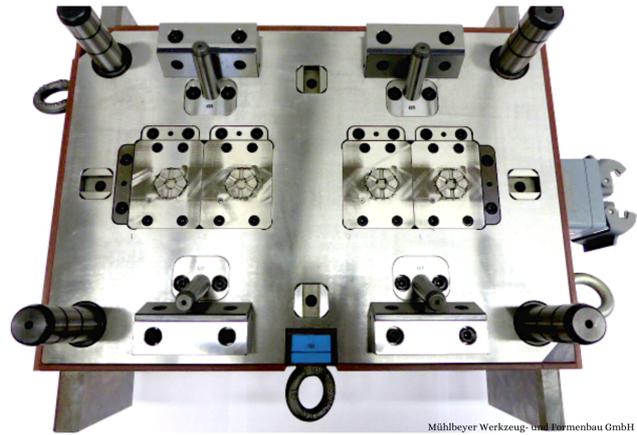


Bild 5: Spritzgießwerkzeug 4-fach Düsenseite für kunststoffummantelter Stator

schwer vereinbar sind, werden je nach Priorität speziell angepasste Isolierwerkstoffe ausgewählt. Die verwendeten Isolierwerkstoffe haben direkten Einfluss auf die Wärmeleitung, die Spannungssicherheit und insbesondere auch auf die geometrische Gestaltung des Motors. So sind Isolationsdicken und Kriechwege konstruktiv vorzusehen.

Die belastungsgerechte Auslegung des Isoliersystems des Elektromotors ist zu beachten. U. a. muss die Spannungsverteilung bei verschiedenen Betriebszuständen analysiert und diverse Isolierwerkstoffe charakterisiert werden. Bei kunststoffummantelten Statorsegmenten werden außer der Nutisolierung und der Basisplatte zur Anlage des Stanzpakets auch technische Funktionen wie z.B. Spurrillen für Drahtübergänge, Poltaschenisolierungen, Steckerschächte für Kontaktteile, Umlenkstifte, Durchlässe für Drahtführungen, Polschuhinnenflansche, Freihaltungen für Schraubköpfe, Ein- und Auslaufschlitze eingebracht.

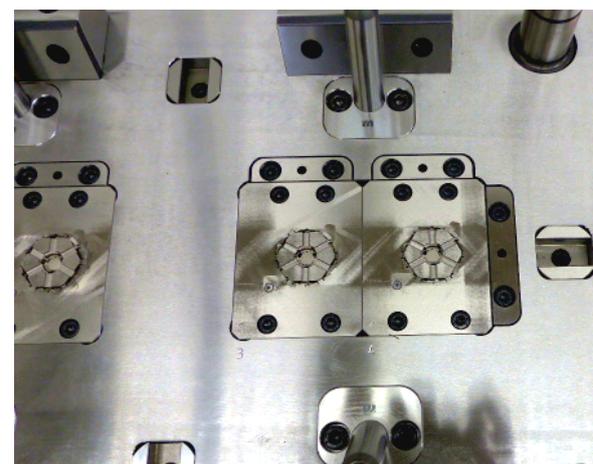
Der für die Isolierung der Statorsegmente, des Stators, Rotors oder Lüfterrads ausgewählte Kunststoff beeinflusst im Wesentlichen die Konstruktionskosten des Spritzgießwerkzeuges. Ein Kunststoff, wie z.B. ein Polyamid (PA), der eine Werkzeugtemperatur von

80-100 °C verlangt, verursacht weit weniger Kosten als Kunststoffe, wie z.B. Polyphenylensulfid (PPS), das eine Werkzeugtemperatur von ca. 150 °C benötigt, oder wie Polyetheretherketon (PEEK) und Polyetheretherketone (PEK), die gar eine Werkzeugtemperatur von 240 °C und mehr verlangen. Bei hohen Werkzeugtemperaturen werden die Normalien wie Sensoren, Aktoren, Magnete bei Einlegeteilen, vollständige Rundumisolierung des Spritzgießwerkzeuges, der Heizkanal, aufwendigere Schieber (Gratbildung) etc. deutlich teurer. Desweiteren sind die Korrekturen bei den Kunststoffen PPS, PEEK und PEK deutlich aufwendiger, da die Viskosität (Gratbildung an den Tuschierflächen) höher ist als bei PA. Die Gratbildungen kann bei Hochspannungsisolierkörpern zu Teilentladungen oder auch Drahtbeschädigungen, Wickelfehlern führen. Bei Mischungen wie Glasfaser oder Glimmer wird das Fließverhalten negativ beeinflusst. Daher sollte möglichst eine Spritzgießsimulation (Moldflowanalyse) durchgeführt werden, wenn eine Fehlkonstruktion aufgrund falscher Annahmen vermieden werden sollte. Mögliche

Fehlerbilder des Spritzgussteils könnten sein: unvollständige Aus-spritzung, Bindenahtfehler etc.. In der Simulation können ggf. auch zusätzliche Fließhilfen, Übergüsse, Mehrfachanbindungen etc. eingebracht und simuliert werden. Fließhilfen werden an den Stellen zusätzlich eingebracht, die die Funktion des Elektromotors nicht beeinflussen. Dies kann z.B. bei der Nutisolierungsfläche in Richtung Mitteleinlochring, die nicht von der Wicklung berührt wird, sein. 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 dem Spritzgießwerkzeugen muss immer eine Kompensation der Stanzpaket-

Bild 6: Haupteinsatz von einem Spritzgießwerkzeug für kunststoffummantelter Stator

(Werkbilder: MÜHLBEYER Werkzeug- und Formenbau GmbH, Bad Friedrichshall)



toleranzen berücksichtigt (bis zu 0,8 mm), um den Prozess sicher zu stellen. Aufgrund der wickeltechnischen Konstruktionsauslegung sind kleinste Geometrien (z.B. Radius 0,1 mm) zum Ablegen des Wickeldrahtes notwendig. Die Oberflächenrauigkeit wird für die Schräglagenwicklung/Rillen benötigt und verhindert das Verrutschen der Wicklung. Dies setzt natürlich voraus, dass der Kunststoffisoliertstoff dies auch leistet.

Einlege-teile wie Dauermagnete, Blechpaket, ... müssen im Spritzgießwerkzeug exakt positioniert werden, ihre Position muss während des Spritzgießens eindeutig definiert sein. Je höher die Positioniergenauigkeit der Einlege-teile ist, desto geringer ist die Unwucht. Das heißt, dass die asymmetrische Verteilung der Rotormasse dadurch vorteilhaft verringert wird. Die Verringerung der Unwucht wirkt sich wiederum positiv auf die Effizienz des elektrischen Antriebs aus und verringert gleichzeitig die Geräuschbildung und den Bauteilverschleiß. Weiterhin kann durch die lagegenaue Positionierung des Blechpaketes bzw. des Grundkörpers im Spritzgießwerkzeug die Toleranzkette in Radial-, Umfangs- und Längsrichtung verbessert werden.

Eine weitere Herausforderung in der Konstruktion des Spritzgießwerkzeuges ist die Festlegung eines Funktionsablaufplans für das Spritzgießwerkzeug. Damit werden Funktion und Position der Einlege-teile sichergestellt. Die Drahtführung muss gewährleistet werden. Die aufgrund verschiedener Blechpakethöhen unterschiedlichen Bauhöhen der Statoren und Rotoren müssen mittels eines mechanischen Höhenausgleichs im Spritzgießwerkzeug realisiert werden. Auch sind der Anspritzpunkt oder die Anspritzpunkte festzulegen, so dass eine vollständige Füllung und die Verzugsarmut der Kunststoffummantelung gewähr-

leistet werden. Eine komplette Füllung ist wesentlich, um jede Möglichkeit eines dielektrischen Versagens während des Betriebes auszuschließen. Eine weitere Herausforderung für die Spritzgießwerkzeugkonstruktion stellt die zum Teil geforderte Blankheit der Außen- und Innenseite des Jochrings dar. Auch hierfür müssen konstruktive Maßnahmen ergriffen werden.

Die Bearbeitung der Werkzeugeinzelbauteile der Stator- oder Rotor-Spritzgießwerkzeuge ist immer eine Herausforderung. So wurden z.B. in unser vor Kurzem gebautes Werkzeug, das zur Produktion von Rotoren und Statoren von Elektromotoren dient, außer den Stanzpaketen auch Magnete eingelegt.

Dies erforderte Formen aus einem Werkstoff, der nicht magnetisch ist. Darum hat sich MÜHLBEYER bei diesem Werkzeug für den nichtmagnetisierbaren Werkstoff Ferrotitan entschieden. Bei den ersten Versuchen, dieses mit 48 bis 53 HRC nicht besonders harte, aber aufgrund seines Titan-karbid- und Austenitgefüges sehr verschleißfeste Material zu fräsen, verschweißten die abgefräbten Späne in den Fräuserschneiden. Daher mussten spezielle Fräser für das Ferrotitan verwendet werden. Außerdem wurden zusätzliche Spannvorrichtungen gebaut, da die magnetische Spanntechnik in allen Fertigungstechnologien für den Stahlwerkstoff ausfällt.

Unsere Werkzeugtechnologie für kunststoffummantelte Blechpakete und Einlege-teile ist ein Mehrwert für Kunden aus dem Bereich Statoren und Rotoren für Elektromotoren (stromerregte oder permanentmagnetisierte). Wir bieten Spritzgießwerkzeuge für technisch anspruchsvolle Baugruppen und Komponenten aus hochwertigen Thermoplasten, Duroplasten und Elastomeren für die Automotive, Bahn-, Windkraft-, Antriebs-, Elektro-, Steuerungs-, Klima-, Anlagen- und Automatisierungstechnik an:

- Statoren Isolierung – mit Kunststoff umspritzt, stanzpaketierte Blechpakete für Elektromotoren z.B. mit den Kunststoffen PET (z.B. Rynine), HTN (z.B. Zytel), LCP (z.B. Zentite, PA46 mit bis zu GF50 (z.B. Stanyl, PPS mit bis zu GF50 (z.B. Fortron), Peek etc.)
- herkömmlich umspritzte Rotoren und segmentierte Rotorscheiben (für Leichtbaumotoren)
- Kunststoffkomponenten für elektrische Motorenisolation
- Gebläseräder, Diagonälräder, Lüfteräder - Radial- und Axialräder, einteilige Kompaktlüfteräder aus Kunststoff, hochpräzise und wuchtarme Lüfteräder für Automobile, Hausgeräte und technische Artikel, technische Gehäuse und Abdeckungen

Einer unserer Schwerpunkte ist der Bau von Umspritzgießwerkzeugen für die Statorisolation und Rotorisolation.

Vorteile der Umspritztechnik gegenüber der konventionellen Papierisolation sind:

- für die gesamte Isolierung (Nutenisolation und stirnseitige Isolation, Endscheiben mit zahlreichen

Zusatzfunktionen) wird nur ein Spritzgießwerkzeug benötigt

- verbesserte Wärmeleitfähigkeit
- erleichterte Motorwicklung
- Kosten-Effizienz

Zusätzliche Vorteile bei Zweitumspritzung von Statorenzähnen nach Aufbringung der Wicklung

- Kontur zur Abdichtung der Wickeldrähte
- keine Beschädigung der Isolation
- hohe Wickeldichte bei geringer Abmessung
- zusätzliche Fixierung der Wicklung + Wärmeabführung mit geeignetem erhöht wärmeleitfähigen Kunststoff (PPS, Peek etc.) durch zweite Kunststoffummantelung

Wir bieten Spritzgießwerkzeuge für:

- gedrahte und nicht gedrahte Außenläufer bei Statoren/Rotoren mit umspritzter Kunststoffisolation (Stanzpakethöhe bis ca. 90 mm, dünnwandige Isolierung 0,50 mm)
- gedrahte und nicht gedrahte Innenläufer bei Statoren/Rotoren mit umspritzter Kunststoffisolation (Stanzpakethöhe bis ca. 90 mm, dünnwandige Isolierung 0,50 mm)
- einfach oder zweifach umspritzte Statorensegmente, sogenannte Statorzähne
- Statoren mit umspritztem Kugellager / Sinterlager
- Statoren mit Schaltscheibe und Abdeckkappe für eine perfekte Abstimmung der einzelnen Bauteile, um eine optimale und automatisierte Montage zu gewährleisten