

Neue Produktionslösungen für Elektroantriebe in E-Fahrzeugen

(SWD AG Stator- und Rotortechnik, Georg Senn, Jan Krückel, Thomas Weber, Thomas Stäuble)

Die Elektromobilität kommt. Die Dynamik nimmt zu und die Migration vom Verbrennungsmotor auf Hybrid- und Vollstromer hat begonnen. Grosse Veränderungen sowohl bei den Fahrzeugen selber, aber noch viel mehr in den Wertschöpfungsketten rollen an. Die Elektromobilität hat enorme Auswirkungen auf die gesamte industrielle Fertigung von Maschinen, Anlagen und Bauteilen. Ganze Branchen werden umgekrempelt, neu definiert oder ersetzt. Es ist ratsam, sich mit neuen Konzepten und Technologien für die Fertigung von Elektroantrieben in E-Fahrzeugen auseinander zu setzen.

Bei grossen Veränderungen hat uns die Vergangenheit gelehrt, dass lineare Konzepte, also die Fortschreibung der Vergangenheit in die Zukunft, versagen. Breit etablierte Technologien sind oft nicht effizient genug oder nicht skalierbar. Es ist daher ratsam in die Zukunft zu schauen und zu antizipieren, welche Megatrends die Fertigung von Elektroantrieben für E-Fahrzeuge bestimmen werden. Dazu lohnt es sich, Prinzipien der heutigen Produktion von Verbrennungsmotoren zu verstehen und ebenfalls in Betracht zu ziehen. Zusätzlich eröffnen Technologien von Industrie 4.0 generell neue Möglichkeiten in der Fertigungstechnik. Themen wie Datenanalyse, Ableitung von Trends und künstliche Intelligenz führen zur Verbesserung der Produktionseffizienz bis hin zu selbstoptimierenden Anlagen.

Die Segmentierung mit gebackenen Segment ermöglicht neue Dimensionen in Präzision und Festigkeit:

- Durchmessertoleranzen bei 300mm Durchmesser und 30 Segmenten von $<0.2\text{mm}$
- Rechtwinkligkeit der Segmente $<0.1\text{mm}$
- Bruchfestigkeit der Segmente von $>1\text{ to}$.
- Identische Länge der Segmente auf $\pm 0.05\text{mm}$ genau
- Segmentlänge bis zu 250mm

Der heutige Elektromotor besteht aus einem Stator aus gestanzten und gestapelten Elektroblechen, aus einer Papier- oder Kunststoffisolation zwischen Elektroblechpaket und Kupferwindungen welche die Spulen

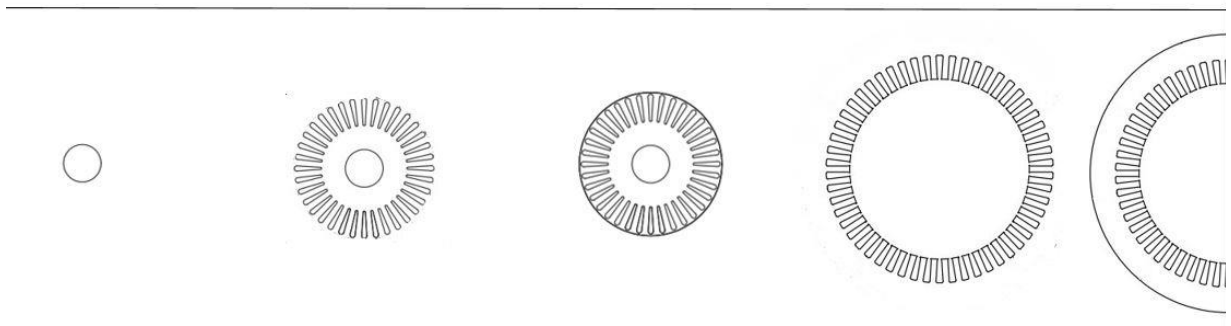


Bild 1: Streifenbild kombiniert

bilden. Je nach Antriebstopologie werden die Spulen miteinander verschaltet. Der Rotor besteht häufig ebenfalls aus gestanzten Elektroblechen die gestapelt werden und mit Permanentmagneten oder

Kupferstäben/Aluminiumguss/Kupferguss bestückt werden. Stator und Rotor werden mit einem Gehäuse und Lagerschildern in Position gehalten und vor Umwelteinflüssen geschützt. Die klassische Fertigung sieht vor, dass sowohl Stator als auch Rotor aus demselben Elektroblech gestanzt werden um Material zu sparen (Bild 1 – Streifenbild kombiniert). Was für den Elektromotor heute noch als wenig Materialabfall gilt (Materialausnutzung von ca. 50%) wäre in der Produktion von Verbrennungsmotoren schlicht undenkbar und wird auch in Zukunft für Elektromotoren nicht tragbar sein. Zum einen wird die logistische Herausforderung in der Materialversorgung riesig, zum anderen ist die Effizienz in den Kosten nicht gegeben. Zusätzlich kommt hinzu, dass die Anforderungen an das Elektroblech für Stator und Rotor gänzlich unterschiedlich sind, womit verschiedene Materialien zum Einsatz kommen werden. Eine komplett getrennte Betrachtung von Stator und Rotor ist unausweichlich, einhergehend mit maximaler Materialeffizienz. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Skalierbarkeit der Produktionsprozesse. Möglichst einfache, effiziente Teilprozesse, welche durch Multiplikation vervielfältigt und skaliert werden können sind besser zu kontrollieren und genauso wichtig, reduzieren die Stillstandzeiten. Die Kapitaleffizienz wird wesentlich erhöht.

Bereits heute wird in der Produktion von Elektroantrieben für E-Fahrzeuge die Segmentierung des Stators angewendet. Gestanzt werden nicht mehr Stator und Rotor aus einem Elektroblechstreifen, sondern die Fertigung erfolgt getrennt. Somit kann das ideale Material für den Stator verwendet und unter maximaler Materialausnutzung verarbeitet werden. Themen wie die Optimierung der magnetischen Eigenschaften und



Bild 2: Kupplungsformen

Erhöhung des Eisenfüllgrades und/oder Kupferfüllgrades können gewinnbringend umgesetzt werden. Wenn die Segmente hoch präzise gefertigt und mit einer entsprechenden Kupplung (Bild 2 –Kupplungsformen) versehen werden, sind sehr enge Toleranzen möglich. Die Funktion des Gehäuses kann in diesem Zuge neu überdenkt werden, wie wir weiter später sehen werden. Segmente beinhaltet jedoch nicht nur Einzelzahnsegmente, sondern

auch Mehrfachsegmente wie Sie in Asynchronmotoren zum Einsatz kommen (Bild 3 –Streifenbild Mehrfachsegment und aufgebauter Stator).

Der Rotor wird aus Material gefertigt, welches ideal für dessen Betriebspunkte geeignet ist. Die Festigkeit aufgrund der hohen Fliehkräfte und die magnetischen Eigenschaften sind die primären Aspekte. Je nach Motorentyp ist der Rotor mit Permanentmagneten bestückt oder der Rotor wird gegossen oder gestabt mit Aluminium oder Kupfer. Beim giessen sind Themen wie ausgasen und Lunker Bildung kritisch, was entsprechende Konsequenzen auf die Materialwahl und – Beschichtung hat. Elektroblech mit Isolationslackbeschichtung ist keine ideale Ausgangslage. Wird der Rotor komplett separat betrachtet, kann auch hier wiederum das optimale Material gewählt und sehr effizient verarbeitet werden. Wenn wir die

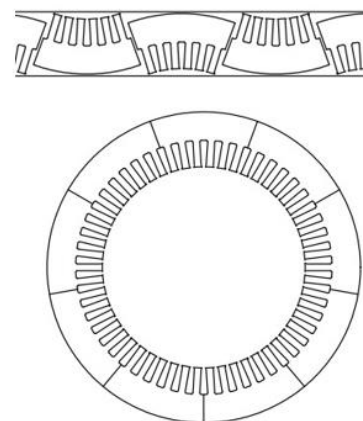


Bild 3: Streifenbild Mehrfachsegmente

Segmentierung vom Stator weiterdenken und anstelle des heutigen stanzipaketieren das vollflächige Verkleben der Blechlamellen einsetzen, entstehen weitere Vorteile und Optimierungen. Backlack als eine vollflächige Verklebung ermöglicht die Herstellung von Hochfesten und präzisen Statorsegmenten, welche

sehr gut weiterverarbeitet (z.B. isoliert und bewickelt) und zu einem Stator gefügt werden können. Je nach Ausgestaltung der Kupplung (siehe Bild 2) können einzelne Segmente wieder perfekt zu einem Stator gefügt werden. Selbst Statoren mit Rundheiten von einigen 1/100mm sind machbar. Wir bewegen uns damit weg von traditionellen Herstellverfahren bei denen Einzelblechen mittels Stanzpaketierknocken oder Schweissnähten zu Statorpaketen aufgebaut werden hin zu laminaren Präzisionsteilen. Wobei die Präzision nicht nur die Kontur der Einzellamellen, sondern in Zukunft auch die Länge der Lamellenpakete beinhaltet. Weiter gedacht sind diese Präzisionsteile geeignet, zusätzliche Funktionen zu erfüllen und z.B. die Funktion des Gehäuses teilweise zu substituieren. Die laminaren Präzisionsteile sind geeignet, die Lagerschilder direkt aufzunehmen und somit die Toleranzkette zu reduzieren, was kleinere Luftspalte ermöglichen kann. Auch die Integration der Kühlung ist denkbar, womit das Gehäuse nur noch eine untergeordnete Rolle spielt.

Es werden also neue Fertigungslösungen benötigt, welche in höchster Prozesssicherheit einsetzbar sind. Eine dieser Lösungen ist das Backpaketiersystem® - BPS® der SWD AG für die vollautomatische Produktion von gebackenen Statorsegmenten. Das System stellt präzise, laminare Statorsegmente aus Elektroblech her und beinhaltet das Stanzen der Lamellen, deren Stapelung, Verbackung zum hoch präzisen, laminaren Statorsegment und je nach Anwendung weitere Prozessschritte wie das Anbringen von Endkappen und Isolationspapier, das Wickeln mit Kupfer oder das Fügen der Segmente zum Vollstator.



Bild 4: – BPS® Anlage der SWD

Die Werkzeugkonzepte sind hoch innovative, neue Lösungen sowohl im Bereich stanzen als auch im Bereich paketieren und backen. Neue Materialien im Werkzeugbau ermöglichen höchste Standzeiten und der einfache Austausch der Werkzeuge sind wichtige Aspekte. Es wird kein traditionelles Know-How im Stanzen und Werkzeugbau benötigt, die Maschine überwacht sich selber und der Anlagenbetreiber folgt den Instruktionen.

Die Produktionsdaten werden automatisch

erfasst, analysiert, archiviert und daraus optimiert sich die Anlage selber. Selbst die laufende Überwachung der Qualität durch den Betreiber wird in der Anlage erfasst und laufend ausgewertet. Es entsteht somit eine komplette Produktionslösung für laminare Präzisionssegmente, welche vor Ort in der Produktion der Elektroantriebe betrieben wird. Also ein Konzept aus der Fertigung von heutigen Verbrennungsmotoren: die Fabrik in der Fabrik welche die Logistik eliminiert. Diese Technologie und Lösung ist nicht etwa in der Entwicklungsphase, sondern bereits heute in der Serie eingesetzt (Bild 4 – BPS® Anlagen SWD). Gestanzt wird Schmalband Elektroblech in 2 Spuren, ohne richten zum Erhalt der magnetischen Eigenschaften, mit über 700H/min. Die Egalisierung der Keilförmigkeit erfolgt automatisch und die Verarbeitung von Randband ist möglich.

Diese Stanztechnologie ist eine gemeinsame Entwicklung mit der Fa. Schuler. Der Backlack (Epoxy Beschichtung) wird in wenigen Minuten ausreagiert und es entstehen hoch feste und hoch präzise, laminare, Statorsegmente. Selbst die Länge lässt sich auf 0.1mm genau steuern, was die Folgeprozesse weiter vereinfacht und neue Potentiale erschliesst. Für die hoch präzisen Backwerkzeuge in Spezialmaterial wurden mit der Firma GF – Georg Fischer – neue Wege beschritten. Es wurden Lösungen

für das höchst präzise erodieren von Spezialmaterialien in Längen von bis zu 300mm entwickelt.

Die Segmentierung lässt sich beliebig einsetzen, seien es Einzelzähne wie diese bereits heute in der Gross Serie hergestellt und verbaut werden oder auch mehrfach Segmente für Statoren mit hohen Nutenzahlen oder Asynchronmotoren. Segmente von wenigen mm Länge bis zu ca. 250mm Länge können hergestellt werden, wiederum mit ganz neuen Werkzeugkonzepten basierend auf neuen Materialien und neuen Fertigungslösungen. Die Anwendungsmöglichkeiten sind beinahe unbegrenzt.

Die Elektromobilität führt, zusammen mit Industrie 4.0 Lösungen, zu einem tiefgreifenden Wandel in allen Fertigungsstufen für die Automobilindustrie. Neue Technologien und Lösungen sind bereits vorhanden und werden laufend weiterentwickelt. Wer in der Zukunft an der Front dabei sein will tut gut daran, die heutigen Prinzipien der Verbrennungsmotorfertigung (minimaler Materialverbrauch, optimierte Fertigung für jedes Bauteil, Fabrik in Fabrik Produktion) mit den Technologien und Möglichkeiten für die Fertigung von Elektroantrieben abzugleichen und die Optimierungen weiter zu treiben.

Die SWD AG Stator- und Rotortechnik ist der Partner für Ihre nächste Elektromotorengeneration. Als Technologieführer entwickeln wir mit Ihnen Elektroblechpakete, welche Ihren Motoren den entscheidenden Wettbewerbsvorteil verleihen. Wir begleiten Sie von der Idee bis zur effizienten Serienproduktion und übernehmen die Fertigung in jeder Phase.

Unsere Entwicklungspartner für Fertigungslösungen

Entwicklung neuer Stanzverfahren



Die hochdynamische Stanztechnik wurde exklusiv für die BPS®-Anforderungen entwickelt, konstruiert und gebaut.

Entwicklung hochpräziser Erodieretechnik



Die Fertigung präziser Stanz- und Paketier-Werkzeugen aus Hochfesten neuen Materialien.

SWD AG – Ihr Partner

Die SWD AG - Stator- und Rotortechnik ist ein innovatives mittelständisches Unternehmen. Wir widmen uns ganz der Entwicklung und Produktion von Blechpaketen und unterstützen unsere Kunden mit neuen Technologien vom Prototypen bis zur Grösst-Serie.

SWD AG – Stator- und Rotortechnik

Kaisermatt 3

5026 Densbüren

Tel.: +41 (0) 62 867 92 18

www.swdag.ch

info@swdag.ch

