

Elektromotoren am Limit

Blechpakete für Stator und Rotormagnetsystem bei Synchronmotoren

Leistungsdichte und Effizienz – diese beiden Parameter stehen an oberster Stelle bei den Entwicklungszielen moderner Elektromotoren. Die Vacuumschmelze (VAC) liefert hierfür Hochleistungsmagnetwerkstoffe und Technologien, die das Limit des aktuell Machbaren darstellen.
Autor: Dr. Robert Brand



Bild 1: Leicht aber schnell: Der Motor des Grimsels wiegt nur 3,38 kg; seine Leistungsdichte beträgt 10,9 kW/kg.

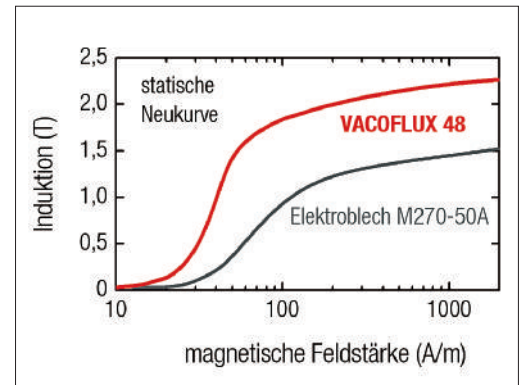


Bild 2: Die Magnetisierbarkeit von Vacoflux 48 im Vergleich zu klassischem Elektroblech.

Aufgrund des prinzipbedingten hohen Wirkungsgrades stellen permanenterregte Synchronmotoren das Gros moderner Hochleistungsmotoren dar. Eine häufige Bauform sind die sogenannten Innenläufer: Ein mit Dauermagneten bestückter Rotor folgt einem angelegten magnetischen Wechselfeld, welches ein Stator erzeugt. Das Wechselfeld an den Polen des Stators wird wiederum von einem Wechselstrom durch die Wicklungen des Stators hervorgerufen. In einem aus Massivmaterial ausgeführtem Stator würden extrem große Wirbelstromverluste entstehen, weswegen Blechpakete zum Einsatz kommen, bei denen die einzelnen Bandlagen elektrisch voneinander isoliert sind. An dieser Stelle haben die Werkstoffe und Techniken der VAC ihren Auftritt: Die üblicherweise verwendeten Elektrobleche sind zwar kostengünstig und allzeit verfügbar, die Magnetisierbarkeit ist jedoch deutlich limitiert.

Die Kobalt-Eisen-Legierungen der VAC leisten hier mehr (siehe Bild 2): Während die Induktion der bekannten Elektroblech-Qualität M270-50A bei einer Feldstärke von 1000 A/m noch unter 1,5 T liegt, beträgt der entsprechende Wert von Vacoflux 48 hier 2,2 T. Da die Kraftübertragung zwischen Stator und Rotor quadratisch mit der Induktion steigt, ist eine hohe Magnetisierbarkeit von entscheidender Bedeutung für die Leistungsdichte des Motors. Durch die Verwendung von Kobalt-Eisen-Werkstoffen lassen sich so entweder leistungstärkere Motoren bei gleicher Baugröße oder kleinere Motoren bei gleicher Leistung realisieren.

Die Vorteile dieser Werkstoffklasse kommen seit langem bei Generatoren und Motoren in der Luftfahrtindustrie zum Einsatz. Die zunehmende Elektrifizierung in Flugzeugen durch die Substitution von hydraulischen Systemen sowie steigende Kerosinkosten erfordern möglichst leichte elektrische Komponenten. Leichtere Motoren haben auch Vorteile bei hochdynamischen Anwendungen, weshalb sich Kobalt-Eisen-Werkstoffe auch in der Automations-

technik wiederfinden. In jüngerer Zeit werden Hochleistungs-Hybridsysteme zunehmend auch im Motorsport verwendet. So ist es nicht verwunderlich, dass Nachwuchskräfte an Universitäten ebenfalls auf diese Technologien setzen.

Formula Student Electric

Der internationale studentische Wettbewerb Formula Student Electric wird seit dem Jahr 2010 ausgetragen, wobei die Fahrzeuge seit dieser Zeit fantastische Fortschritte gemacht haben. Neben Aerodynamik-Paketen und vielfältigen Fahrwerkstechnologien steht vor allem eine konsequente Leichtbauweise bei allen der teilnehmenden Teams im Vordergrund. Mit dem Modell Julier aus der Saison 2013 steht das AMZ Racing Team der ETH Zürich aktuell an der Spitze der Weltrangliste. Das gerade mal 180 kg schwere Fahrzeug wird von vier Motoren vom Typ M3 mit je 37 kW Leistung angetrieben. Mit einer Gesamtleistung von 200 PS ergeben sich Beschleunigungswerte von nur knapp über 2 s (bei einer

Auf einen Blick

Die Bestzeit unterbieten

Bald beginnt die Rennsaison der Formula Student 2014. Die Studenten der ETH Zürich haben den Grimsel nominiert und die VAC ist einer der Premiumsponsoren bei dem Projekt. Sie liefert für die vier Motoren des Rennwagens die Blechpakete für den Stator sowie ein komplettes Rotormagnetsystem aus nur 50 µm dicken Bändern (Vacoflux 48). Die vier AMZ-M4-Radnaben-Motoren, die jeweils 3,5 kg wiegen und dabei Kraftpakete mit 36 kW Leistung sind, haben auf dem Prüfstand die gesetzten Ziele übertroffen, wie eine Infobroschüre der Schweizer Hochschule mitteilte.

i infoDIREKT www.all-electronics.de

219ejl0514

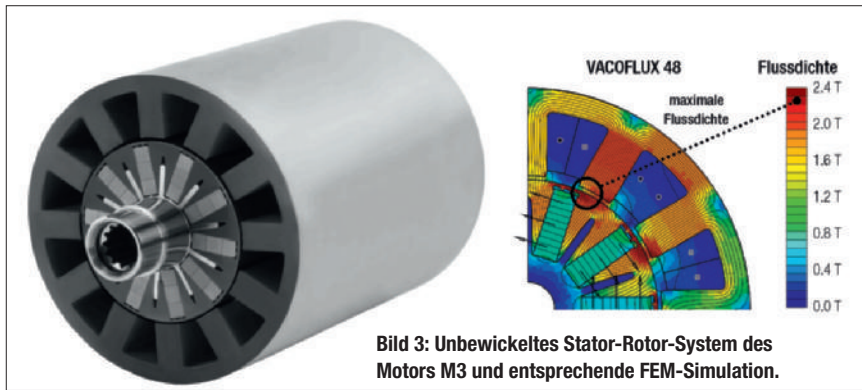


Bild 3: Unbewickeltes Stator-Rotor-System des Motors M3 und entsprechende FEM-Simulation.

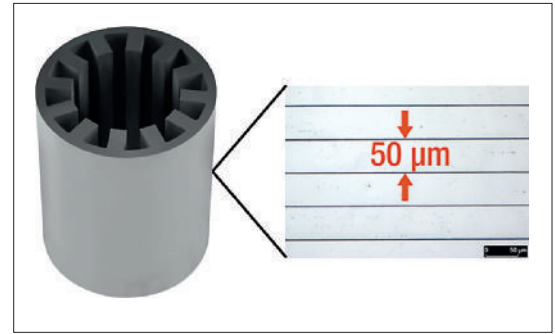


Bild 4: Das Statorpaket aus Vacoflux 48 mit 50 µm Banddicke für den Motor M4.

Bilder: VAC

Beschleunigung von null auf 100 km/h). Einen entscheidenden Beitrag für die Leistung der vier Antriebsmotoren lieferten die Blechpakete aus Vacoflux 48.

Wie FEM-Berechnungen (Finite-Elemente-Methode) zeigen, nutzt das von den Züricher Studenten entwickelte Motordesign das Flussleitvermögen des Werkstoffes voll aus und ermöglicht so eine Leistungsdichte von 7,7 kW/kg. Rotor und Stator lassen sich mit bis 2,3 Tesla bis zur Sättigungspolarisation magnetisieren.

Innovative Fertigung: Alles Blech oder was?

Für die Elektromotoren wurde nicht nur die Legierung Vacoflux 48 verwendet, sondern auch ein spezielles Fertigungsverfahren zur Herstellung der Blechpakete. Die patentierte Technologie Vacstack verwendet dünne Bandabschnitte, die man miteinander verklebt. Die Blechpakete fertigt man anschließend durch Drahterodieren. Entscheidend für die magnetischen Eigenschaften der Blechpakete ist eine perfekte Abstimmung der einzelnen Fertigungsschritte aufeinander. So ergeben sich Rotor- und Statorpakete mit überraschenden Eigenschaften:

- Gute Bandlagenisolation.
- Typische Packungsdichte von 98 Prozent bei einer Banddicke von 0,1 mm.
- Enge geometrische Toleranzen.

Bei diesem Produktionsverfahren entfällt zudem die Konstruktion und Herstellung von aufwändigen Werkzeugen, sodass Prototypen und Kleinserien schnell lieferbar sind.

Der nächste Schritt – Saison 2014

Wie in der Formel 1 ist auch bei der Formula Student Electric Stillstand gleichbedeutend mit Rückschritt. Um den ersten Platz der Weltrangliste auch in 2014 zu verteidigen, wurde Julier an vielen Stellen weiter verbessert, sodass im Mai dieses Jahres das Entwicklerteam den Nachfolger Grimsel der Öffentlichkeit vorstellte. Als Sponsor unterstützt die VAC das AMZ Racing Team in diesem Jahr mit einer Neuerung: Das verwendete Bandmaterial weist eine Banddicke von 50 µm auf – dies entspricht einem Zehntel der üblichen Banddicke von 0,5 mm. Die Reduzierung der Banddicke von 100 µm im Jahr 2013 auf 50 µm führt dazu, dass sich die Wirbelstromverluste nochmals um 75 Prozent senken lassen. Voraus-

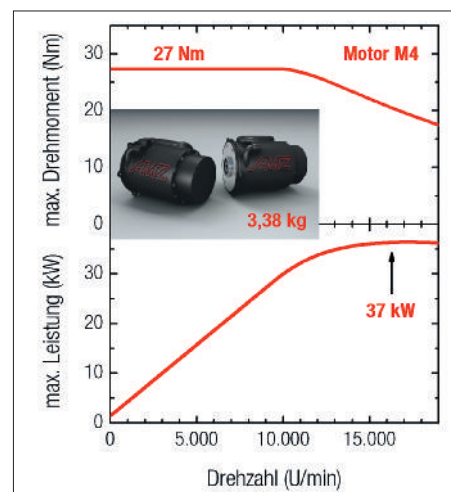


Bild 5: Der Leistungs- und Drehmoment des Motors M4 in Abhängigkeit von der Drehzahl.

setzung hierfür ist, dass auch bei Verwendung von dünnem Bandmaterial die Isolation zwischen den einzelnen Bandlagen erhalten bleibt (Bild 4). Dies ist insbesondere deshalb bemerkenswert, weil eine Packungsdichte von zirka 96 Prozent nur eine mittlere Schichtdicke von 2 µm für die Isolation erlaubt.

Auch durch die Absenkung der Wirbelstromverluste war es möglich, das Motorvolumen- und -gewicht weiter drastisch zu reduzieren. Bei einer unveränderten Maximalleistung von 37 kW konnte man die Statorlänge um 20 Prozent von 100 auf 80 mm verkleinern. Der Motor M4 wiegt 3,38 kg bei einer Leistungsdichte von 10,9 kW/kg. Für den Einsatz im Rennen ist neben der – drehzahlabhängigen – Maximalleistung aber vor allem das maximal mögliche Drehmoment entscheidend. Mit 27 Nm können die kleinen Motoren aber auch in der Disziplin mithalten.

Gegenüber den Verbrennungsmotoren haben die Elektromotoren zudem den großen Vorteil, dass das maximale Drehmoment schon ab der Drehzahl Null voll zur Verfügung steht. Einem schnellen Herausbeschleunigen aus engen Kurven steht somit nichts mehr im Wege. (rao)



Der Autor: Dr. Robert Brand ist im Produktmarketing Halbleiter und Teile sowie als Leiter für zentrale Marketing- und Planungsaufgaben bei der Vacuumschmelze in Hanau tätig.

VAC®
VACUUMSCHMELZE

VACUUMSCHMELZE GmbH & Co. KG
Postfach/P.O.B. 22 53
D-63412 Hanau
Tel. +49 (0)6181 / 38-0
Fax +49 (0)6181 / 38-2645
www.vacuumschmelze.com
info@vacuumschmelze.com