

Innovative Leichtbau- und Kühlkonzepte für elektrische Maschinen durch additive Fertigung (ILuKadd3D)

Hohe Leistungsdichten von elektrischen Maschinen werden in industriellen und vor allem in mobilen Anwendungen vom Milliwatt- bis in den Megawattbereich immer dann eingesetzt, wenn ein besonders hohes Drehmoment gefordert wird, wie es beispielsweise bei Haupt- und Hilfsmotoren in Straßenfahrzeugen oder bei hochdynamischen Servoantrieben der Fall ist. Trotz ihres vergleichsweise hohen Wirkungsgrades entstehen im Betrieb von elektrischen Maschinen Verluste, die in Form von Wärme durch ein Kühlsystem abgeführt werden müssen. Da die maximale Dauerleistung durch die zulässige Wicklungstemperatur begrenzt ist und eine hohe Leistungsdichte mit einer hohen Verlustdichte einhergeht, wird die Leistungsdichte bei hoch belasteten Maschinen entscheidend durch die Wirksamkeit dieses Kühlsystems bestimmt. Insbesondere in mobilen Anwendungen ist sowohl die Massen- als auch die Volumenleistungsdichte zu berücksichtigen. Ein Kühlsystem ist in der Regel umso wirksamer, je besser die Verlustleistung durch das Kühlmedium – meist Luft oder Wasser – direkt am Ort der Verlustentstehung abgeführt wird. Mit konventionellen Fertigungsverfahren ist die Herstellung der dazu benötigten funktionsoptimierten Kühlkanäle in Elektromaschinen bislang jedoch kostenintensiv, mit einem hohen Aufwand verbunden oder bei besonders komplexen, innenliegenden Kühlkanälen nicht realisierbar.



Additiv gefertigter Permanentmagnet Synchronmotor (PMSM) mit integrierten Kühl- und Leichtbaustrukturen

Die additive Fertigung von metallischen Komponenten bietet an dieser Stelle die Möglichkeit, hoch komplexe Strukturen in einem Verfahrensschritt zu fertigen. Ebenfalls erlauben additive Fertigungsverfahren die dreidimensionale Konstruktion von Bauteilen ohne die bekannten produktionstechnischen Einschränkungen. Des Weiteren kann durch individuell angepasste Geometrien oder die Erzeugung von Hohlräumen und Gitterstrukturen das Gewicht deutlich reduziert werden, ohne die Steifigkeit, die Festigkeit oder die elektrischen bzw. magnetischen Eigenschaften eines Bauteils negativ zu beeinflussen. Auch in anderen Branchen, wie dem Werkzeugbau gewinnt die additive Fertigung immer mehr an Bedeutung, um etwa oberflächennahe Kühlkanäle zur Werkzeugkühlung zu realisieren.

Im Rahmen des durchgeführten Forschungsvorhabens FVA 882/I (IGF-Nr. 20316 N) wurden die Vorteile des additiven Fertigungsverfahrens ausgenutzt, um innovative Leichtbau- und Kühlstrukturen in dem Rotor und Gehäuse eines PMSM umzusetzen. Hierzu wurde für das Gehäuse ein Konzept aus sich überschneidenden sinusförmigen Kühlkanälen entwickelt, welches einen deutlich geringeren Druckverlust und gleichzeitig eine höhere Wärmeabfuhr, als die konventionelle Kühlstruktur, aufweist. Zusätzlich wurde im Rotor eine Kühlstruktur zur

Fliehkraft angeregten Luftumwälzung integriert. Hierbei wird die im Rotor erwärmte Luft an den Stirnseiten des Gehäuses umlenkt, an denen die Wärme durch wassergekühlten Statorschaufeln an das Kühlsystem abgegeben wird.

Weiterhin wurden zur Gewichtsreduktion Waben- und Fachwerkstrukturen verwendet, welche durch FEM Untersuchungen an Effektdemonstratoren erprobt und anschließend in das Funktionsmuster übertragen wurden. Aus elektromagnetischer Perspektive galt es sicherzustellen, dass keine negativen Effekte auf die Motoreigenschaften durch die integrierten Leichtbau- und Kühlstrukturen zustande kommen.

Für die verwendeten Legierungen, FeSi3 und AlSi10Mg wurden Untersuchungen zur Festigkeitssteigerung sowie zum elektromagnetischen Flussführungsverhalten durchgeführt, um die werkstofflichen Grenzen vollumfänglich auszunutzen.

Durch die im Rahmen des Forschungsvorhabens erzielten Ergebnisse konnte gezeigt werden, dass der Einsatz des additiven Fertigungsverfahrens für die Auslegung von Gehäusekomponenten deutliche Vorteile hinsichtlich der Kühlleistung und der Gewichtseinsparung ermöglicht. Ebenso bei der Umsetzung eines PMSM Rotors konnten die Gewichte und Massenträgheitsmomente deutlich reduziert werden. Die konventionell geblechte Struktur zur Wirbelstromunterdrückung konnte erfolgreich durch eine Oberflächenschlitzung ersetzt werden. Lediglich bei der induzierten Spannung wurden nicht die gewünschten Werte erreicht, was auf eine Aufsummierung von Abweichungen zurückzuführen ist, die es genauer zu untersuchen gilt. Nichtsdestotrotz konnten das additive Fertigungsverfahren erfolgreich zur Umsetzung innovative Kühl- und Leichtbaukonzepte im E-Maschinenbau angewendet werden und dadurch die Effizienz der Kühlleistung deutlich gesteigert werden. Zudem konnten weitere Themen aufgedeckt werden, die Potential für weiter Forschungsvorhaben aufzeigen.

Autoren: Michael Haase

Universität Paderborn Fakultät für Maschinenbau | Lehrstuhl für
Konstruktions- und Antriebstechnik (KAT)

Kontakt: Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V. (FVA)

Henrik Schenk

T 069- 66 03- 11 27

Das IGF-Vorhaben IGF-Nr. 20316-N der Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V. (FVA) wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Hintergrundinformationen zur FVA

Die FVA ist das weltweit führende Innovationsnetzwerk der Antriebstechnik. Die 170 laufenden Projekte der industriellen Gemeinschaftsforschung fördern die Innovationsfähigkeit der Industrie im Bereich der Antriebstechnik und ist an den wissenschaftlichen Forschungseinrichtungen ein wichtiger Beitrag zur Ausbildung von Jungingenieuren in und für die Branche. Die 207 Mitgliedsfirmen sind produzierende Unternehmen aus der Antriebstechnikbranche. Zusammen mit den über 40 Forschungsinstituten bildet die FVA die Basis für das weltweit führende Netzwerk der Antriebstechnik.

Die FVA versteht sich als eine wichtige Plattform der Kommunikation und des Wissenstransfers zwischen Wissenschaft und Industrie. Themenfelder sind die mechanische und die elektrische bzw. mechatronische Antriebstechnik, sowohl von stationären industriellen Anlagen als auch von Fahrzeugen, mobilen Maschinen und Luftfahrzeugen. Die Gemeinschaftsforschung hat zum Ziel, das technische Know-how der Unternehmen und die Qualität ihrer Produkte zu verbessern und die Produktionskosten zu senken. Informationsveranstaltungen, Seminare und Tagungen der Forschungsvereinigung bieten den Unternehmen die Möglichkeit, neueste Forschungsergebnisse anzuwenden und Mitarbeiter entsprechend aus- und weiterzubilden.

Weitere Informationen unter www.fva-net.de.