PROTIQ
A Phoenix Contact Company

HERSTELLUNG VON INDUKTIONSSPULEN IM 3D-DRUCK

Schneller, kostengünstiger und zudem optimal ausgelegt

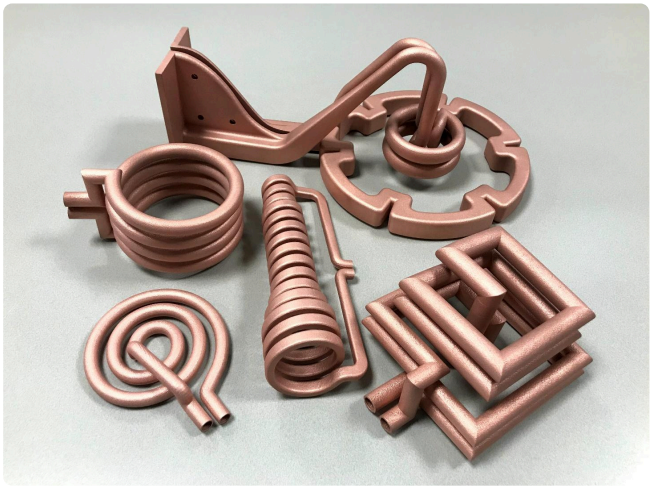
(Ein Fachbeitrag aus 2021, Autor: Max Wissing, Technologiemanager, Protiq GmbH, Blomberg)

Die konventionelle Entwicklung komplexer induktiver Erwärmungsprozesse erfordert nicht nur viel Zeit, sondern ebenfalls teure Versuche. Dass es anders gehen kann, zeigt die Protiq GmbH. Durch die Herstellung von Induktionsspulen im 3D-Druck lässt sich der Entwicklungsaufwand deutlich senken. Auch rechnergestützte Simulationen tragen dazu bei.

Die additive Fertigung von Induktionsspulen aus hochleitfähigen Kupfermaterialien bietet neue Möglichkeiten, auch komplexere Spulengeometrien herzustellen; die optimierten Induktoren lassen sich mit numerischen Simulationsverfahren ermitteln

Der 3D-Druck – auch additive Fertigung genannt – sorgt seit Jahren in zahlreichen Branchen der industriellen Produktion für vielfältige Innovationen. Aufgrund einer schnellen Fertigung auf Basis der vorliegenden CAD-Daten können Bauteile innerhalb einiger Stunden bis weniger Tage hergestellt werden. Es sind also keine teuren Werkzeuge aufwendig zu produzieren oder langwierige manuelle Fertigungsprozesse zu durchlaufen. So profitiert der Anwender insbesondere in der Entwicklungsphase eines neuen Produkts von den Vorteilen des 3D-Drucks. Die über Nacht additiv hergestellten Prototypen ermöglichen frühzeitige Tests und sparen auf diese Weise Zeit und Geld ein.

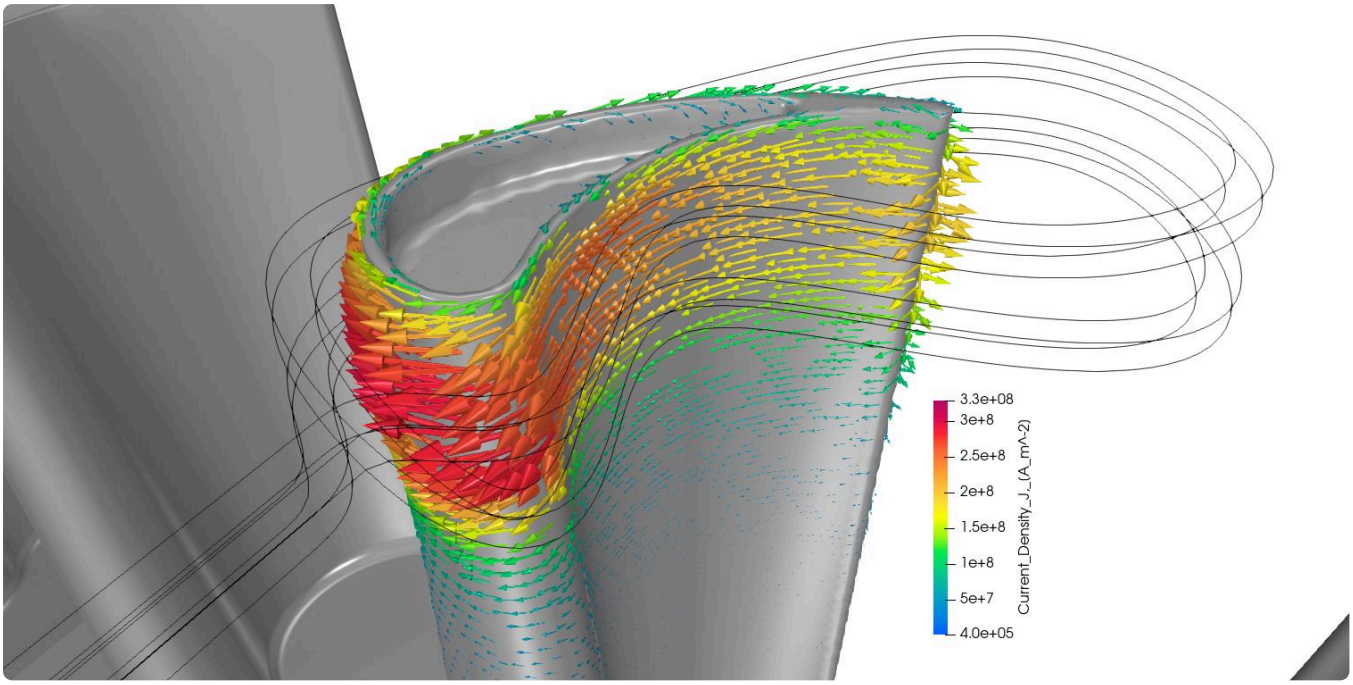
Die sich daraus ergebenden Möglichkeiten nutzt die Protiq GmbH unter anderem zur Produktion von neuen, innovativen Spulen, die bei der induktiven Erwärmung eingesetzt werden. Wird bei der Produktentwicklung ferner auf rechnergestützte Simulationsprozesse zurückgegriffen, können die Bauteile zudem bestmöglich ausgelegt und gleichzeitig die Anzahl der im Vorfeld notwendigen kostspieligen Versuche reduziert werden.



Die additive Fertigung von Induktionsspulen aus hochleitfähigen Kupfermaterialien bietet neue Möglichkeiten, auch sehr komplexe Spulengeometrien herzustellen.

Hohe Anforderungen an die Formgenauigkeit

Bei der induktiven Erwärmung generiert der sogenannte Induktor ein magnetisches Wechselfeld, wodurch im Bauteil ein elektrischer Strom induziert und das Material durch joulesche Erwärmung aufgeheizt wird. Das effektive und gut reproduzierbare Verfahren hat sich vor



Erwärmung einer Turbinenschaufel: Durch die numerische Simulation des induktiven Erwärmungsprozesses und des Magnetfeldes können teure Versuche vermieden werden; die Simulationsergebnisse ermöglichen eine detaillierte Analyse des elektromagnetischen Verhaltens. (Quelle CENOS)

allem bei der Randschichthärtung von mechanisch hochbeanspruchten Bauteilen – wie Zahnrädern oder Getriebebauteilen – als industrieller Standard durchgesetzt. Die Spulen werden wegen der hohen fließenden Ströme aus elektrisch gut leitfähigem Kupfer gefertigt. Gleichzeitig muss der Induktor hohe Anforderungen an die Formgenauigkeit erfüllen, weil die Spulengeometrie die Qualität der Erwärmung unmittelbar beeinflusst.

Konventionell erfolgt die Herstellung der Induktoren durch das manuelle Biegen und Verlöten von Hohlprofilen. Zur Auslegung der richtigen Spulenform und der Prozessparameter muss iterativ getestet und es müssen reale Erwärmungsversuche durchgeführt werden. Dies verursacht hohe Kosten und lange Entwicklungszeiten, da der Auslegungsprozess die Produktion mehrerer Induktorvarianten sowie iterative Änderungen in der Spulenform voraussetzt. Darüber hinaus schränken minimale Biegeradien und die gewählte Profilform die Gestaltungsfreiheit ein, sodass das volle Potenzial des Induktors häufig nicht ausgeschöpft werden kann.

Additive Fertigung aus RS-Kupfer und Reinkupfer

Indem die Induktoren bei Protiq additiv gefertigt werden, lassen sich die Nachteile der manuellen Herstellung überwinden. Als Vorreiter im Bereich der 3D-gedruckten Spulen bietet das Unternehmen bereits seit einigen Jahren die additive Fertigung unter anderem aus den Werkstoffen RS-Kupfer und Reinkupfer an. Bei RS-Kupfer handelt es sich um eine Legierung mit einem Kupferanteil von 99 Prozent, die eine elektrische Leitfähigkeit von 52 MS/m erreicht. Das verarbeitete Reinkupfer enthält keine weiteren Legierungsbestandteile und entspricht dabei dem industriellen Standardmaterial Cu-ETP, das durch eine elektrische Leitfähigkeit von 58 MS/m respektive 100 Prozent IACS (International Annealed Copper Standard) gekennzeichnet ist.

Der automatisierte Produktionsprozess zeichnet sich im Vergleich zum manuellen Biegeverfahren durch eine bessere Wiederholbarkeit und höhere Genauigkeit aus. Außerdem stellt Protiq dem Anwender die in 3D gedruckten Induktoren nicht nur deutlich schneller zur Verfügung, sondern auch kostengünstiger.

Die bisherige Lieferzeit einer komplexen Spulengeometrie von mehreren Wochen wird auf wenige Tage reduziert.

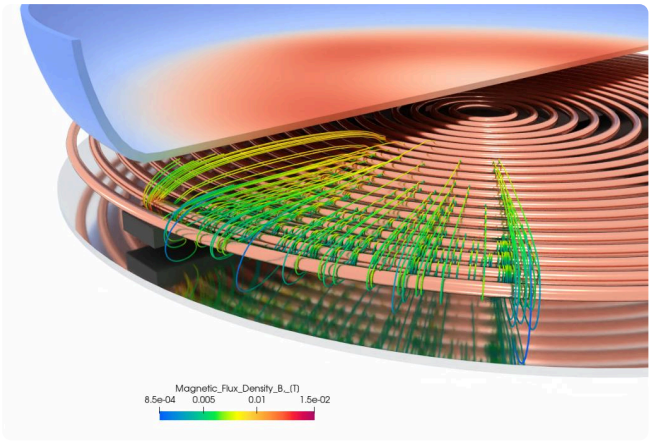
Tiefere Analyse des Prozessverhaltens

Aufgrund der Nutzung einer rechnergestützten numerischen Simulation lässt sich die Anzahl an teuren Tests und kostbarer Entwicklungszeit verringern. Dazu kann das Programm CENOS Induction Heating verwendet werden. Im Rahmen von CENOS wird der induktive Erwärmungsprozess in einem Simulationsmodell abge-

bildet, das sowohl die Geometrie des Induktors und des zu erwärmenden Bauteils ebenso wie die Informationen über die vorliegenden Randbedingungen und Prozessparameter umfasst. Auf dieser Grundlage können das thermische Erwärmungsverhalten des Bauteils und die elektromagnetischen Eigenschaften der Spule untersucht werden.

Änderungen der Prozessparameter oder der Spulen- und Bauteilgeometrie lassen sich so einfach und schnell analysieren. Bislang benötigte reale Erwärmungsversuche und die Herstellung von unterschiedlichen Versuchsspulen können auf diese Weise auf ein Minimum gesenkt werden. Das spart Zeit und Geld.

Die gewonnenen Simulationsergebnisse ermöglichen ferner eine erheblich tiefere Untersuchung des Prozessverhaltens, als es reale Erwärmungsversuche bieten können. Die Erwärmung lässt sich beispielsweise ebenfalls im Bauteilinneren betrachten oder das sich aufbauende Magnetfeld visualisieren. Das erlaubt die Auswertung und Verbesserung neuer und schon bestehender Induktoren sowie die Auslegung der Parameter im Hinblick auf neue Erwärmungsaufgaben. Zudem eröffnet der 3D-Druck eine wesentlich größere Gestaltungsfreiheit, weil keine minimalen Biegeradien oder vorgegebenen Querschnitte zu berücksichtigen sind. So lassen sich neue, innovative Induktorgeometrien mit einer optimierten Magnetfeldführung und verbesserten Prozesseigenschaften entwickeln.



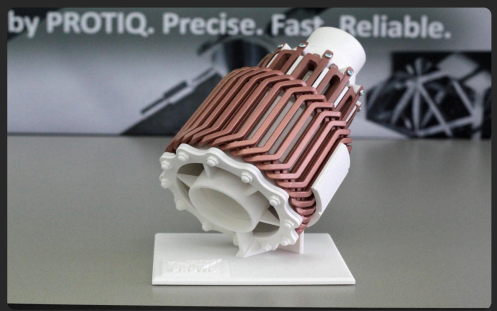
Auslegung eines Induktionskochfeldes: Die per Simulation optimierten Spulen gestatten eine präzisere Erwärmung und reduzierte Taktzeiten. (Quelle CENOS)

Schnelleres und präziseres Erwärmungsverhalten

Die auf die beschriebene Weise mit CENOS ausgelegten und additiv aus Kupfer gefertigten Induktoren überzeugen im Betrieb durch ein schnelleres und präziseres Erwärmungsverhalten. Dadurch können genauere Härtebilder am Bauteil eingestellt und sogar Taktzeiten in der Serienproduktion reduziert werden.

Weitere Informationen:
www.protiq.com

Innovativer Einsatz in Elektromotoren

Das von Protiq entwickelte Verfahren zur Verarbeitung von reinem Kupfer im selektiven Laserschmelzen eröffnet auch in anderen technischen Bereichen neue Möglichkeiten. Die guten elektrischen Leitfähigkeiten von bis zu 58 MS/m respektive 100 Prozent IACS erlauben den Einsatz in innovativen Motoren. Auf Basis der additiven Fertigung können zum Beispiel innerhalb weniger Tage Prototypen von komplexen Hairpin-Wicklungen hergestellt werden, um so schnelle Funktionstests durchführen zu können. Ferner ermöglichen die Freiheitsgrade des 3D-Drucks die Umsetzung von höheren Packungsdichten und größeren Antriebsleistungen auf kleinem Raum.

Ein Beispiel hierfür ist die Nutzung von neuartigen Blechpaketen, die direkt dem 3D-Drucker entnommen werden können.