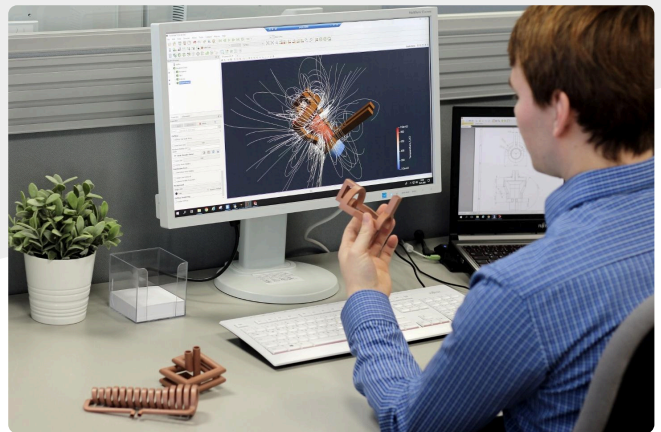


Erstmals Einsatz von reinem Kupfer im 3D-Druck

(Ein Fachbeitrag aus 2020, Autor: Max Wissing, Konstrukteur und Entwicklungsingenieur, Protiq GmbH, Blomberg)

Die konventionelle Fertigung komplexer Induktoren erfordert viel Zeit sowie teure Versuche. Dass es anders gehen kann, zeigt die Protiq GmbH. So produziert das Unternehmen die diffizilen Bauteile kostengünstig und schnell im 3D-Druck – seit neuestem ebenfalls aus reinem Kupfer. Das Verhalten der Spulen im Prozess lässt sich durch numerische Simulationsverfahren visualisieren und eine optimierte Induktorgeometrie ermitteln.



▼ 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 einigen Jahren in zahlreichen Bereichen der industriellen Produktion für vielfältige Innovationen. Durch die neu gewonnenen Gestaltungsfreiheiten lassen sich jetzt Bauteile wirtschaftlich herstellen, deren konventionelle Fertigung bislang nicht möglich war. Die sich daraus ergebenden Optionen nutzt die Protiq GmbH unter anderem zur Produktion von innovativen Spulen, die der induktiven Erwärmung dienen. Wird bereits in der Entwicklungsphase auf eine rechnergestützte Optimierung zurückgegriffen, können die Bauteile zudem bestmöglich ausgelegt und ihre Eigenschaften im Betrieb verbessert werden.

Seit der Erfindung des 3D-Drucks in den 1980er Jahren hat sich die Technologie rasant weiterentwickelt. Mittlerweile gibt es eine Vielzahl neuer 3D-Druckverfahren – zum Beispiel das selektive Laserschmelzen oder Lasersintern –, die ebenfalls eine Herstellung von Serienbauteilen erlauben. Damals wie heute bauen sich die Komponenten dabei verfahrensübergreifend Schicht für Schicht auf. Durch diese Prozesse können selbst komplizierte Geometrien – wie aufwändige Freiformflächen oder innenliegende Strukturen – effizient gefertigt werden. Die Fülle der vorhandenen 3D-Druckverfahren gestattet ferner die Verarbeitung einer großen Band-

breite an Werkstoffen. Als Dienstleister für den industriellen 3D-Druck setzt Protiq viele technische Kunststoffe und metallische Werkstoffe ein. 2016 als Teil der Phoenix Contact-Gruppe gegründet, zeichnet sich das Unternehmen seither durch hohe Produktionsqualität und kurze Lieferzeiten aus.

Unlegiertes Kupfer bietet höchste elektrische Leitfähigkeit

Eine Besonderheit stellen die durch Protiq entwickelten hochleitfähigen Kupferwerkstoffe dar. Kupfer wird insbesondere in der Elektroindustrie für seine hohe elektrische Leitfähigkeit von bis zu 58 Megasiemens pro Meter (MS/m) – respektive 100 Prozent IACS (International Annealed Copper Standard) – geschätzt. Bei der additiven Fertigung von Metallbauteilen auf Basis des selektiven Laserschmelzens erzeugt ein starker Laser durch das schichtweise Verschmelzen feiner Metallpulver komplexe Bauteile. Lange Zeit galt die Verarbeitung elektrisch hochleitfähiger Kupferwerkstoffe in diesem Prozess als nicht umsetzbar.



▼ Der von ProtIQ entwickelte Prozess zur Verarbeitung von hochleitfähigem Reinkupfer im selektiven Laserschmelzprozess erlaubt die Herstellung innovativer Bauteile für die Elektroindustrie

Aufgrund der Wellenlänge des verwendeten infraroten Lasers wird ein Großteil der Laserenergie durch den roten Kupferwerkstoff reflektiert. Dadurch können die diffizilen Produktionsanlagen von innen beschädigt und im schlimmsten Fall kann die teure Laserquelle zerstört werden. Das Aufschmelzverhalten des Werkstoffs lässt sich unter anderem durch die Zugabe von Legierungselementen verbessern. Allerdings wird so die elektrische Leitfähigkeit des Werkstoffs gesenkt, weshalb die Bauteile nicht mehr für stromführende Anwendungen genutzt werden können.

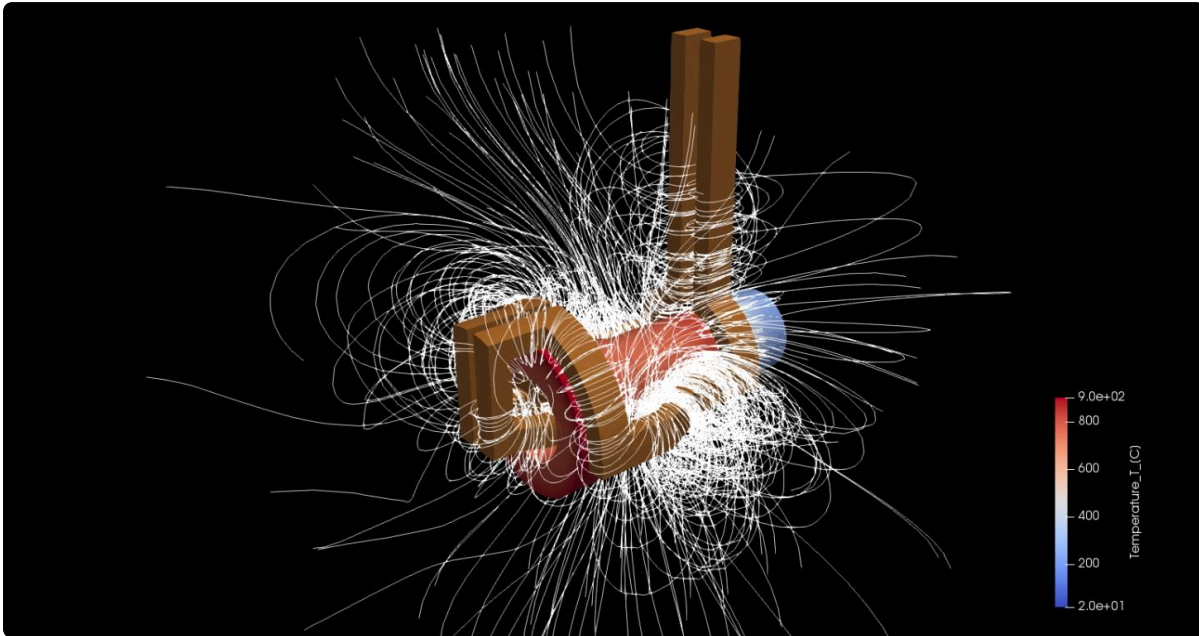
Als Vorreiter in diesem Bereich hat ProtIQ die geschilderten Herausforderungen nach langjähriger Forschung überwunden und bietet bereits seit einigen Jahren eine elektrisch hochleitfähige Kupferlegierung an. Das sogenannte RS-Kupfer erreicht einen Wert von bis zu 52 MS/m und weist einen Kupferanteil von 99 Prozent auf. Seit November 2019 können Anwender ihre additiv gefertigten Bauteile auf der ProtIQ-Plattform jetzt auch aus reinem Kupfer bestellen. Durch seine Expertise ist es ProtIQ als weltweit erstem 3D-Druck-Dienstleister gelungen, sogar reines Kupfer prozesssicher additiv zu verarbeiten. Der Werkstoff enthält keine weiteren Legierungsbestandteile und entspricht dabei dem Material Cu-ETP, dem industriellen Standard mit elektrischen Leitfähigkeiten von 58 MS/m respektive 100 Prozent IACS.

Biegen und Verlöten schränkt die Gestaltungsfreiheit ein

In diesem Kontext eröffnet insbesondere der 3D-Druck von komplizierten Induktoren aus hochleitfähigem Kupfer, die zur induktiven Erwärmung eingesetzt werden, großes Potenzial. Bei der induktiven Erwärmung generiert der 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 allem bei der Randschichthärtung von mechanisch hochbeanspruchten Bauteilen – wie Zahnrädern oder Getriebebauteilen – als industrieller Standard durchgesetzt. Die Qualität des eingestellten Härtebilds hängt hierbei unmittelbar vom erzeugten Magnetfeld und somit von der Form des Induktors ab.

Konventionell werden Induktoren durch das Biegen und Verlöten von Kupferprofilen hergestellt. Um die für den Betrieb notwendige Wasserkühlung umzusetzen, kommen runde oder rechteckige Hohlprofile zur Anwendung. Der oft manuelle und daher aufwändige Prozess verursacht hohe Produktionskosten und lange Lieferzeiten. Außerdem schränken minimale Biegeradien und die gewählte Profilform die Gestaltungsfreiheit ein. Deshalb kann das volle Potenzial des Induktors häufig nicht ausgeschöpft werden.

Durch die additive Fertigung von Induktoren aus hochleitfähigem Kupfer lassen sich die Nachteile der manuellen Herstellung überwinden. Der automatisierte Produktionsprozess zeichnet sich im Vergleich zum manuellen



▼ Durch die numerische Simulation des induktiven Erwärmungsprozesses können teure Versuche vermieden werden; die Simulationsergebnisse ermöglichen eine detaillierte Analyse des elektromagnetischen Verhaltens

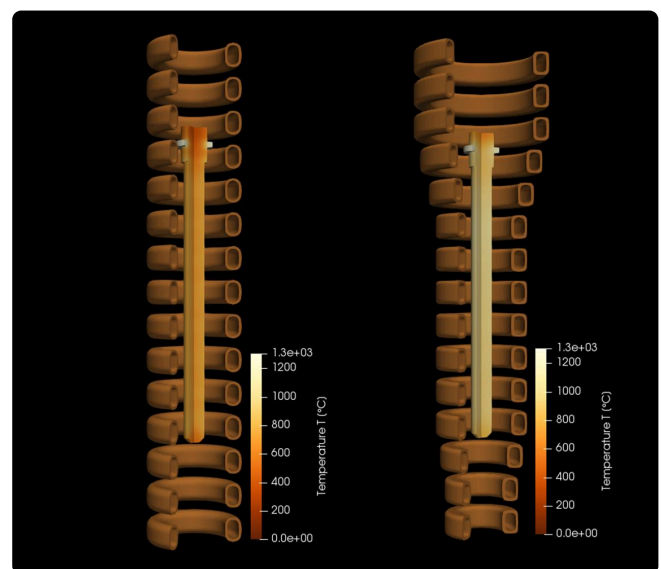
Biegeverfahren durch eine bessere Wiederholbarkeit und höhere Genauigkeit aus. Darüber hinaus stellt Protiq dem Anwender die in 3D gedruckten Induktoren nicht nur kostengünstiger, sondern auch deutlich schneller zur Verfügung. Die bisherige Lieferzeit einer Spulengeometrie von mehreren Wochen wird auf wenige Tage reduziert.

Simulationen reduzieren den Testumfang und die Entwicklungszeit

Üblicherweise wird bei der Entwicklung neuer Induktoren auf teure und langwierige Versuche zurückgegriffen. Bis zum finalen Induktor müssen verschiedene Versuchsgeometrien angefertigt und in realen Erwärmungsversuchen überprüft werden. Durch Nutzung rechnergestützter numerischer Simulationen lässt sich die Anzahl an teuren Tests und kostbarer Entwicklungszeit senken. Der induktive Erwärmungsprozess lässt sich in einem Simulationsmodell abbilden, das sowohl die Geometrie des Induktors und des zu erwärmenden Bauteils ebenso wie Informationen über die vorliegenden Randbedingungen und Prozessparameter umfasst. Auf dieser Grundlage können das thermische Erwärmungsverhalten des Bauteils sowie die elektromagnetischen Eigenschaften der Spule untersucht werden.

Die gewonnenen Simulationsergebnisse ermöglichen eine erheblich tiefere Analyse des Prozessverhaltens, als es reale Erwärmungsversuche bieten können. So lässt sich die Erwärmung beispielsweise ebenfalls im Bautei-

linneren betrachten oder das sich aufbauende Magnetfeld visualisieren. Auf diese Weise können neue und bereits bestehende Induktoren ausgewertet und verbessert oder die Parameter zu neuen Erwärmungsaufgaben ausgelegt werden. Ferner erlaubt der 3D-Druck eine wesentlich größere Gestaltungsfreiheit, da keine minimalen Biegeradien oder vorgegebenen Querschnitte zu berücksichtigen sind. So lassen sich neue, innovative Induktorgeometrien mit einer optimierten Magnetfeld-



▼ Die per Simulation optimierten Spulen gestatten eine präzisere Erwärmung und reduzierte Taktzeiten (links eine konventionelle Spulengeometrie, rechts die optimierte Spule mit verbessertem Erwärmungsverhalten)

führung und verbesserten Prozesseigenschaften entwickeln.

Serienproduktion arbeitet mit geringeren Taktzeiten

Die auf die beschriebene Weise konzipierten und additiv aus Kupfer gefertigten Induktoren überzeugen im Betrieb durch ein schnelleres und präziseres Erwärmungsverhalten. Dadurch können genauere Härtebilder

am Bauteil eingestellt und Taktzeiten in der Serienproduktion reduziert werden.

Weitere Informationen:

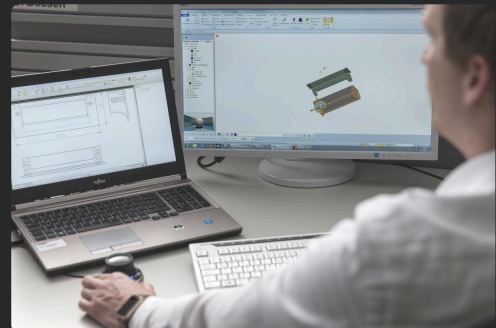
www.protiq.com

Kompetente Unterstützung bei der Erstellung von 3D-Daten

Um die Geschwindigkeit des additiven Fertigungsverfahrens nicht durch den konventionellen Bestellprozess zu verzögern, stellt ProtIQ seinen Kunden eine durchgehend digitale Online-Plattform zur Verfügung. Die Kunden laden ihr individuelles Bauteil als dreidimensionales Modell auf der Plattform hoch und erhalten unmittelbar eine Auskunft über die Herstellungskosten und Lieferzeiten. Innerhalb weniger Minuten kann dann ein offizielles Angebot erstellt und die Bestellung bei ProtIQ platziert werden.

Wenn dem Kunden keine 3D-Daten der Bauteile vorliegen, bietet ProtIQ deren Erstellung als Engineering-Dienstleistung an. Die 3D-Datei kann einerseits im CAD-Programm konstruiert werden – gemäß einer technischen 2D-Zeichnung – oder im sogenannten Reverse Engineering durch einen CT-Scan erstellt werden.

Auch bei komplexen Engineering-Projekten bietet ProtIQ seinen Kunden eine kompetente Unterstützung. Die Anpassung eines Bauteils hinsichtlich der fertigungsgerechten Gestaltung im 3D-Druck kann auf Anfrage angeboten werden.



ProtIQ bietet kompetente Unterstützung bei der Umsetzung neuer 3D-Projekte