

## Magnetic powder fissure test facilities for large bearing rings and gear components including wind energy production

Two automated test concepts for the magnetic powder testing of large components as used in the wind energy sector are presented. During development, the focus was on short testing and retrofitting times. The automation concept reduced the cycle times from one to two hours (testing with a manual yoke) to a few minutes. Combined magnetization can be performed by magnetizing with two orthogonal fields, which allows the detection of cracks with arbitrary orientations.

# Magnetpulver-Rissprüfanlagen für große Lagerringe und Getriebe-Komponenten unter anderem für die Windenergie-Erzeugung

Michael Ratmann, Frank Bartholomai, Dr. Volker Schuster und Dr. Wolfram A. K. Deutsch, Wuppertal

Es werden zwei automatisierte Prüfkonzepte für die Magnetpulver-Rissprüfung großer Komponenten, wie sie in der Windenergie-Gewinnung Verwendung finden, vorgestellt. Bei deren Entwicklung wurde auf kurze Prüf- und Umrüstzeiten geachtet. Durch die Automatisierung konnte die

Taktzeit von ein bis zwei Stunden (Prüfung mit Handjoch) auf wenige Minuten reduziert werden. Durch die Magnetisierung mit zwei senkrecht zueinander stehenden Feldern kann eine kombinierte Magnetisierung durchgeführt werden, sodass Risse beliebiger Orientierungen nachweisbar sind.

### Einleitung

Der weltweite Boom im Maschinenbau und insbesondere die steigende Verbreitung von Windkraftanlagen stellen an die Qualitätssicherung der Lager- und Getriebekomponenten entsprechende Anforderungen. Aufgrund des relativ neuen Marktes im Windanlagenbereich fehlen noch Prüfkonzepte, die es erlauben, die hier benutzten Komponenten wirtschaftlich auf Mängel zu kontrollieren. Daher wird hier bisher nur einfachste Prüftechnik angewendet, die jedoch recht zeitaufwendig ist. Eines dieser Prüfmethoden ist die Magnetpulver-Rissprüfung. Diese hat sich als hochempfindliche Prüfmethode für ferromagnetische Bauteile zur Auffindung von Oberflächenrissen etabliert. Im Folgenden sollen Prüfkonzepte für große Bauteilabmessungen erläutert werden. Die Konzepte erlauben eine Automatisierung und somit auch eine deutliche Verringerung der Prüfzeit bei gleicher oder sogar höherer Nachweiswahrscheinlichkeit. Die Bauteile werden

abschnittsweise magnetisiert und mit Prüfmittel benetzt. Eine Relativbewegung zwischen Bauteil und Magnetisierungsaggregat erlaubt sodann die Prüfung aller relevanten Oberflächen. Die Prüfmechaniken sind dabei jeweils an die Bauteile angepasst.

### Prüfaufgabe

Großgetriebe und große Lagerringe werden aufgrund der zunehmenden Anzahl an Windkraftanlagen immer mehr zu einem Massenprodukt. Hierbei werden besonders hohe Ansprüche an die Festigkeit und Betriebsbeständigkeit gestellt. Eine umfassende zerstörungsfreie Kontrolle der Bauteilkomponenten auf fertigungsbedingte Fehlstellen ist daher unerlässlich. Als besonders gefährlich erweisen sich Risse, da diese im beanspruchten Betrieb sehr leicht wachsen können und so zu einem Dauerbruch und zum Versagen des Bauteils führen können. Bisher wurde die Rissprüfung an den Getriebekomponenten (Zahnräder und Lager-

ringe) zeitintensiv mit Hilfe von Handjochen durchgeführt. Die Prüfung eines Ringes bzw. Zahnrades mit einem Durchmesser von knapp zwei Meter konnte hierbei durchaus ein bis zwei Stunden in Anspruch nehmen. Aufgrund des gestiegenen Durchsatzes ist eine Automatisierung und somit eine Verkürzung der Prüfzeit solcher Getriebekomponenten bei gleichzeitigem Nachweis von Rissen beliebiger Orientierung gefordert.

### Prüfung auf Risse beliebiger Orientierung

Bei Prüfteilen, die in größerer Stückzahl gefertigt werden, darf die Prüfzeit aus Kostengründen nicht zu hoch werden. Es ist also anzustreben, gleichzeitig auf Risse aller vorkommenden Richtungen zu prüfen. Dies kann geschehen durch Kombination zweier magnetischer phasenversetzter Wechselfelder. Die beiden ursprünglichen Magnetisierungsrichtungen müssen hierbei senkrecht zueinander orientiert sein. Bekanntlich werden immer

genau die Risse mit der Magnetpulver-Rissprüfung angezeigt, die quer zur jeweiligen Feldrichtung orientiert sind. Bei der „kombinierten Magnetpulver-Rissprüfung“ läuft der resultierende Magnetfeldvektor mit der Netzfrequenz (50 Hz) um und bietet somit die Möglichkeit, Risse aller Richtungen zu detektieren. Dieses Prinzip sollte bei der Prüfung großer Komponenten der Windenergie-Erzeugung zur Anwendung kommen und wurde bei der Entwicklung der beschriebenen Prüfkonzepte berücksichtigt.

### Prüfung großer Lagerringe

Für Lagerringe bis zu einem Durchmesser von z. B. 2.600 mm wurde folgendes Prüfkonzept entwickelt. Die Lagerringe werden unter einem kleinen Winkel schräg stehend auf einer Rollenaufgabe positioniert (s. Bild 1). Dies hat den Vorteil, dass die Anlage mit einem Kran leicht beladbar ist. Durch die Schräglage und passive Stützrollen erlangt der zu prüfende Ring eine stabile und kipp sichere Position. Die Drehung der Ringe erfolgt über zwei angetriebene gummierte Walzen, deren Auflagenhöhen über Spindeln motorisch verstellbar sind. Die hierdurch mögliche schnelle Anpassung an unterschiedliche Ringdurchmesser führt zu sehr kurzen Umrüstzeiten. Fünf Duschen sorgen für eine gleichmäßige Benetzung des Ringes mit Magnetpulver-Prüfmittel bevor der Ringabschnitt den Prüfbereich passiert (s. Bild 1).

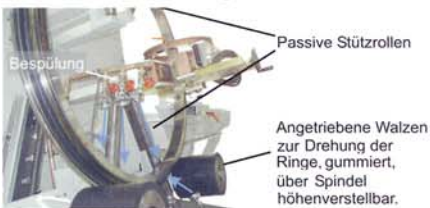


Bild 1: Konzept zur Prüfung von Lagerringen.

Zur kombinierten Magnetisierung und somit zum Nachweis beliebiger Rissorientierungen in einem Prüfdurchgang sind zwei Magnetfelder notwendig, deren Feldorientierungen senkrecht aufeinander stehen (s. Bild 2:  $H_1$  und  $H_2$ ). Diese beiden senkrecht zueinander stehenden Magnetfelder werden zum einen von einer Klappspule und zum anderen von einem Joch erzeugt (s. Bild 2). Die Klappspule generiert ein Magnetfeld in Umfangsrichtung des Ringes ( $H_1$ ) und das Joch generiert ein Feld quer dazu ( $H_2$ ). Die Prüfzeit für die größten Durchmesser beträgt ca. 90 Sekunden; bei kleineren Durchmessern entsprechend weniger. Diese kontaktlose Magnetisierungstechnik birgt auch keine Gefahr von Brandstellen.

Erste Anlagen mit diesem Konzept wurden bereits in den 1990er Jahren ausgeliefert. Ab 2003 wurde die Nachfrage immer größer, sodass in der folgenden Zeit sich der Kundenstamm – hierzu gehören renommierte deutsche Firmen immer weiter vergrößerte und nahezu 20 Anlagen, mit unterschiedlichen Durchmesserbereichen, verkauft wurden. Während die kleineren Ausführungen den Ring-Durchmesserbereich von 600 mm bis 2.000 mm abdecken, können auf den größeren Anlagen Ringe mit

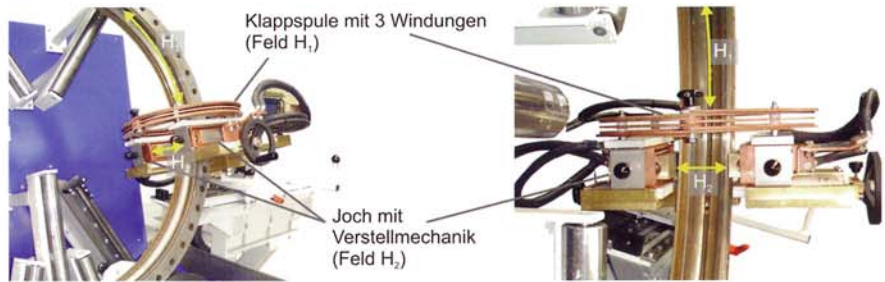


Bild 2: Spulenordnung zur kombinierten Magnetisierung.

einem Durchmesser von 1.200 mm bis 4.000 mm geprüft werden. Die prüfbaren Querschnitte sind hierbei maximal 250 x 250 mm<sup>2</sup> (kleinere Version) bzw. 450 x 450 mm<sup>2</sup> (größere Version); obwohl es sich hierbei um die Prüfung recht großer Bauteile handelt, sind die Anschlusswerte für diese Anlagen mit ca. 32 kW bis ca. 40 kW verhältnismäßig gering, sodass es sich um eine energieeffiziente Prüfung handelt.

### Prüfung von Getriebekomponenten

Neben dem variierenden Durchmesser kommt bei den Getriebekomponenten noch die Schwierigkeit hinzu, dass diese eine Verzahnung aufweisen, die sich entweder an der Innenseite oder an der Außenseite befindet. Außerdem können diese Komponenten ein Gewicht von 2.000 kg und einen Durchmesser von 1.700 mm erreichen. Aufgrund der möglichen Verzahnung an der Außenseite kann nicht auf eine stehende Prüfordnung, vergleichbar den Lagerringen, zurückgegriffen werden. Die Prüfung erfolgt daher liegend auf einer Zentrier- vorrichtung, welche das Zahnrad während der Prüfung dreht.

Da insbesondere die Verzahnung rissfrei sein muss und sich die Zähne sowohl auf der Innenseite als auch auf der Außenseite des Ringes befinden können, wurden bei der Realisierung der Prüfeinrichtung zwei unterschiedliche Konzepte zur kombinierten Magnetisierung berücksichtigt.

#### Außenverzahnung

Mit Hilfe eines Horizontaljochs wird ein Magnetfeld in Umfangsrichtung des Zahnrades erzeugt (s. Bild 3:  $H_2$ ). Die zu  $H_2$  senkrechte Magnetisierung wird mit einem Vertikaljoch erzeugt (s. Bild 3:  $H_1$ ). Aufgrund des Skin-Effektes bei der Magnetisierung mit Wechsel- feldern wird erreicht, dass die Magnetisierung dem geometrischen Verlauf der Zähne folgt und es können Risse an jeder Stelle des Zahnes bis in den Grund hinein nachgewiesen werden.

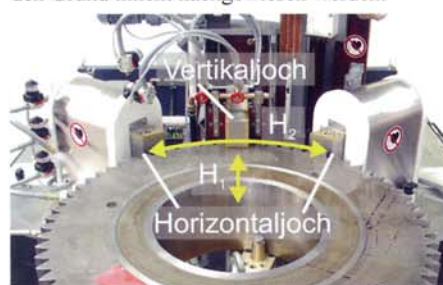


Bild 3: Rissprüfung bei vorliegender Außenverzahnung.

#### Innenverzahnung

Bei der Prüfung der Innenverzahnung kann auf das gleiche Vertikaljoch zur Erzeugung des Feldes  $H_1$  zurückgegriffen werden. Das Horizontaljoch kann hierbei nicht zum Einsatz kommen und wird daher zur Seite gefahren. An dessen Stelle tritt eine Klappspule, die ein Feld  $H_3$  in umlaufender Richtung erzeugt (s. Bild 4). Die dreiarmlige Zentriervorrichtung dreht das Zahnrad durch die Klappspule und am Vertikaljoch vorbei. Bei einer Drehung von 360° muss die Prüfung drei mal unterbrochen und die

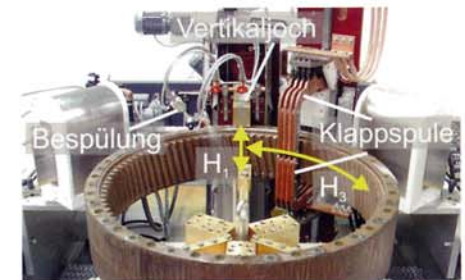


Bild 4: Rissprüfung bei vorliegender Innenverzahnung.

Bilder: Karl Deutsch

Klappspule kurz geöffnet werden, sodass einer der drei Arme der Zentriervorrichtung die Klappspule passieren kann. Dies geschieht voll- automatisch.

Bereits während der Drehung, spätestens jedoch nach einer vollen Umdrehung des Teils erfolgt die Betrachtung durch den Prüfer (Riss- suche). Bei diesem Konzept wird eine Taktzeit (Beladen per Kran, Prüfen, Betrachten und Entladen) unter 10 Minuten erreicht.



Michael Ratmann



Frank Bartholomai



Dr. Volker Schuster



Dr. Wolfram A. K. Deutsch