

Maschinenisolierungen

Peter Behrends

Ein signifikant hoher Anteil an Ausfallzeiten von rotierenden Hochspannungsmaschinen ist auf Probleme in Wicklungsisolierungen zurückzuführen. Die Hersteller von Maschinen forschen nach immer neueren Methoden, die die Beurteilung von Maschinenisolierungen mit vertretbarem Aufwand erlaubt, um die Zuverlässigkeit von Hochspannungsmaschinen zu erhöhen.

Die Prozesse, die zum Ausfall von Wicklungen in HS-Maschinen führen, sind noch nicht vollständig geklärt. Hauptsächlich konzentriert man sich darauf, die Wirkungen von Betriebszuständen und verschiedenen Belastungssituationen auf die Lebensdauer der Wicklungsisolierungen zu untersuchen und zu beschreiben.

Verfolgt man jedoch den gesamten Prozess vom Einsatz der Grundwerkstoffe bis hin zum Ausfall der Isolierung, so fehlt eine Dokumentation, die den Einfluss der Herstellungsverfahren beschreibt.

Aufbau einer Wicklungsisolierung

Die Wicklungsisolierung einer rotierenden HS-Maschine besteht aus Glimmer, einem Trägermaterial (Polyethylenfolie oder Glasgewebe) und dem Bindeharz. Diese Kombination wird in Bandform hergestellt und als Glimmerband bezeichnet. Das Band wird um den elektrischen Leiter gewickelt und mit Harz imprägniert. Die Imprägnierung erfolgt dann durch das VPI-Verfahren (Vakuum Pressure Impregnation) oder das Resin-Rich-Verfahren (harzreich). Zusammen mit dem Glimmschutz ergibt dieser Verbund die fertige Wicklungsisolierung.

Der Hauptunterschied zwischen beiden Technologien besteht im Aufbau und in der Herstellung des eigentlichen Isoliersystems der Spulen. Während das VPI-System erst nach der Tränkung und nach dem Aushärten der Wicklung im Trockenofen fertig ist, stellen die separat unter Temperatur und Druck ausgehärteten Schenkel der Resin-Rich-Spule bereits vor dem Einbau in den Stator ein funktionierendes und prüfbares Isolationssystem dar.

Die VPI-Spule arbeitet mit porösen Bändern, die sich unter Vakuum und anschließender Beaufschlagung des Tränkbehälters mit Überdruck nach dem Aushärten im Tränkeofen zu einem festen und kontinuierlichem Isoliersystem ausbilden. Der Vorteil dieser Spule beziehungsweise dieser Technologie lässt sich klar über die kostengünstigere Herstellung in der Serienfertigung und die besonders harte Spule auch im Wickelkopf definieren, was sie besonders resistent gegen Zerstörung durch magnetische Kräfte und den daraus resultierenden Bewegungen mit anschließendem Ausfall der Isolation macht und auch für Niederspannungsmas-

schinen geeignet ist. Auch in Bezug auf die Teilentladungsfestigkeit stellt diese Anbindung der Spule an das Eisen eine sehr gute Ausgangsbasis für eine lange Lebensdauer dar.

Da im Tränkbehälter zunächst mit Unterdruck gearbeitet wird, ist sichergestellt, dass das Imprägniermittel in alle Hohlräume eindringt und Lufteinschlüsse in den Nuten deutlich verringert. Dies stellt neben dem oben genannten Vorteil eine wichtige Voraussetzung für einen guten Wärmeübergang zwischen stromdurchflossener Spule und dem Blechpaket dar.

Zu berücksichtigen gilt es jedoch, dass die Investitionen in die VPI-Tränktechnik relativ hoch sind, sodass sich die Kostenvorteile dieser Technologie erst mit steigender Anzahl der herzustellenden Wicklungen auswirken.

Im Gegensatz dazu ist die Herstellung von *Resin-Rich-Spulen* aufwendiger, da jeder Spulenschenkel einzeln in speziellen Backpressen hergestellt werden muss, was zu einer spezifischen Erhöhung der Kosten der einzelnen Spule führt. Die Resin-Rich-Spule bietet aber auch große Vorteile: die Qualität der Spulen ist vor Einbau in den Stator zu prüfen, was mehr Sicherheit in die Fertigung bringt, und für Neuwicklungen vor Ort die einzige Möglichkeit darstellt. Hinzu kommt die Option, bei späterem Ausfall einer Spule über sogenannte Prothesen eine Teilreparatur der Wicklung zu realisieren. Die beiden Isoliersysteme sind bei entsprechend eingesetzter Fertigungstechnologie qualitativ absolut vergleichbar – allerdings verhindern die konstruktiven Randbedingungen in einigen Fällen den Wechsel zwischen den Technologien.

Die breite Palette von Hochleistungsharzen erfüllt bei allen Herstellern sämtliche elektrischen und mechanischen Anforderungen für rotierende, elektrische Hochspannungsmaschinen. Die Auswahlkriterien für das jeweils geeignete Harz sind vielfältig. Zu den wichtigen Faktoren zählen die Konstruktion der Maschinen und die Auswahl des Isolationssystems, Bandwicklungs- und VPI-Verfahrens.

Wesentliche Kriterien sind:

- Harztemperaturklasse,
- Tankstabilität,
- Lagerungsbedingungen (gekühlt oder bei Umgebungstemperatur),
- Feuchtigkeitsempfindlichkeit,
- flüchtige organische Verbindungen,
- Imprägniertemperatur,
- eventuell erforderliche Rotation während der Aushärtung,
- Aushärtungszeit,
- Gesamtverarbeitungsdauer,
- Kompatibilität mit Glimmerbändern und übrigen Materialien,