

# Verklebt und geschützt

Segmentierte Neodym-Eisen-Bor-Magnete kommen heute überall da zum Einsatz, wo starke Magnetfelder bei kleinem Volumen nötig sind. Allerdings korrodieren solche Magnete bei Kontakt mit Luft und Feuchtigkeit, sodass sie gegebenenfalls mit einer wirksamen Schutzschicht überzogen sein müssen. Nun gibt es einen Sprühlack, der nicht nur vor Korrosion schützt, sondern gleichzeitig auch als elektrisch isolierender Klebstoff fungiert.

---

**Dr. Lothar Zapf**  
**Dr. Roland Zoller**

---

Eine häufige unerwünschte Begleiterscheinung beim Einsatz magnetischer Wechselfelder ist der Wirbelstrom, der zu Verlusten aufgrund von Erwärmung führen kann. Eine gebräuchliche Methode, um solche Verluste zu reduzie-

ren, besteht darin, die Magnete in mehrere kleinere Segmente aufzuteilen, die voneinander elektrisch isoliert sind. Bisher beruhte das Herstellungsverfahren für solche segmentierten Magnete auf standardisierten Klebverfahren mit flüssigen Epoxid-Klebern. Um eine sichere elektrische Isolierung zwischen den einzelnen Segmenten zu gewährleisten, enthält der Kleb-

stoff oft Füllstoffe aus Glas oder Keramik als Abstandhalter. Für anspruchsvolle Anwendungen – vor allem im Kfz-Bereich oder bei Offshore-Windkraftanlagen – ist es außerdem erforderlich, dass ein Lack die segmentierten Neodym-Eisen-Bor-Magnete (NdFeB) vor Korrosion schützt, was üblicherweise durch organische Sprühlacke erreicht wird.

Speziell für solch anspruchsvolle Anwendungen hat Vacoat 2011 mit dem »Vacoat 20011« nun einen speziellen Epoxid-Sprühlack entwickelt. Das Besondere an ihm ist, dass er sowohl als Schutzschicht gegen Korrosion und als auch als stark hitzebeständiger Kleber mit elektrischen Isolationseigenschaften fungiert. Da das Verkleben und Lackieren der



**Bild 1: Segmentierte Magnetsysteme mit »Vacodym«-Magneten, verklebt und lackiert mit »Vaccoat 20011« zur Reduzierung von Wirbelstromverlusten**

Segmente nunmehr in nur einem einzigen Produktionsschritt erfolgt, wird ein weiterer Überschleifen und ein extra Arbeitsgang für das Lackieren nach dem Verkleben der Segmente in den meisten Fällen überflüssig. Dadurch sollen sich Herstellungskosten beispielsweise für die Selten-Erd-Dauermagnete aus den Systemen »Vacodym« und »Vacomax« deutlich reduzieren.

## Eigenschaften des Lacks

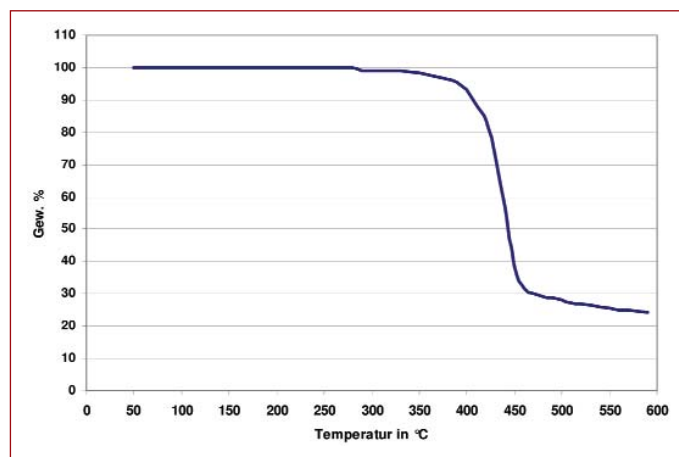
Das Verfahren beginnt mit einzeln gepressten Magneten – den Segmenten. Nach dem Schleifvorgang und dem Reinigen, beschichtet der Hersteller die einzelnen Magnete in einem automatischen Prozess des Sprühlackierens 15 µm bis 30 µm dick mit Vaccoat 20011. Der Beschichtungsfilm wird getrocknet und führt so zu einer mechanisch stabilen, jedoch nicht ausgehärteten Schicht. Dadurch lassen sich die Magnete in diesem Stadium leicht montieren. Die jeweils erforderliche Anzahl der einzelnen Magnete wird dann eng nebeneinander gepackt, um einen lockeren Magnet-Stack zu bilden (Bild 1). Ein spezielles Mon-

tagewerkzeug hält diese Blöcke zusammen. Anschließend kommt das Montagewerkzeug zusammen mit den Magnet-Stacks in einen Ofen und wird dort bis zur Aushärtetemperatur erhitzt. Dabei härtet der Lack aus, und es entsteht eine hitzebeständige Korrosionsschutzschicht. Gleichzeitig bildet sich eine hochfeste Klebeverbindung zwischen den einzelnen Magneten aus. Mithilfe der besonderen Montagewerkzeuge ist es möglich, die Magnet-Stacks in ihre endgültigen Toleranzdimensionen zu bringen. Das bedeutet, dass zusätzliche Schleifarbeitschritte nach dem Verkleben der

Magnetsegmente üblicherweise entfallen.

Einzelne Magnete oder auch ganze Magnetsysteme, die mit Vaccoat 20011 überzogen sind, zeigen gute Eigenschaften bei Korrosionstests im Autoklav oder bei Tests mit Salzsprühnebel. Darüber hinaus stellt der Werkstoff eine hitzebeständige Beschichtung dar. Eine signifikante thermische Zersetzung beginnt erst bei einer Temperatur oberhalb von +300 °C (Bild 2). Die Beschichtung kann im dauerhaften thermischen Einsatz bis zu +200 °C und kurzzeitig (bis etwa 100 Stunden) sogar bis zu +250 °C genutzt werden. Die Klebeverbindungen sind über einen langen Zeitraum hitzebeständig. Selbst nach zwölf Wochen Lagerung bei +200 °C liegt die gemessene Abscherkraft bei Raumtemperatur kaum unter dem Wert im unbelasteten Zustand (Bild 3).

Vaccoat 20011 ist darüber hinaus ein elektrischer Isolator. Im ausgehärteten Zustand auf realen Gebrauchsmustern wurden für den spezifischen Widerstand typischerweise Werte von  $5 \times 10^{12} \text{ } (\Omega \times \text{cm})$  bis  $10^{13} \text{ } (\Omega \times \text{cm})$  gemessen. Bei einer Schichtdicke von zirka 20 µm ermittelte man eine Durchschlagsspannung von 20 kV/mm bis 25 kV/mm.

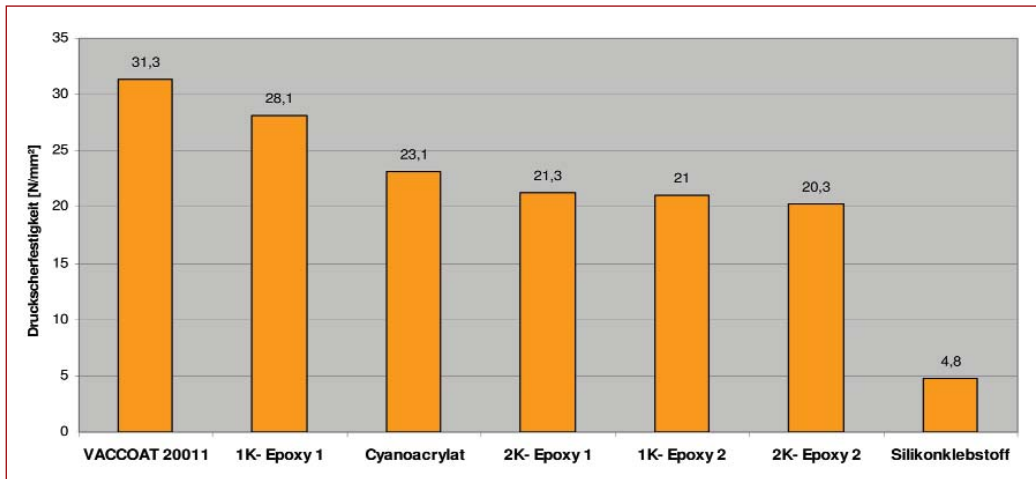


**Bild 2: Die thermogravimetrische Analyse von Vaccoat 20011 zeigt keine thermische Zersetzung im Temperaturbereich bis +300 °C**

Der eingebrannte Lackfilm weist eine Bleistifthärte von mindestens »4H« auf und ist bis etwa +200 °C thermisch belastbar. In einem Arbeitsgang lassen sich Schichten zwischen 5 µm und 40 µm von hoher optischer Güte erzeugen. Die Farbe der Lackierung ist einstellbar (Standardfarbe: schwarz). Außerdem ist die Beschichtung abriebfest. Die Schichten werden automatisch im Durchlauf- oder im Schüttgutverfahren auf die Magnete aufgebracht.

Vor allem die thermische Belastbarkeit bewährt sich beim Einsatz der Magnete in Motoren und Generatoren: Für Servoantriebe, Gleichstrommaschinen, Linearantriebe und Großmaschinen (z.B. Motoren für Schiffsantriebe und Windkraft-Generatoren) kommen überwiegend NdFeB-Magnete zum Einsatz. Ein weiteres Anwendungsfeld für die NdFeB-Magnete der Vacuum-schmelze findet sich in der Automobiltechnik, insbesondere für Hybridantriebe und Startergeneratoren.

Zurück zum Herstellungsverfahren für segmentierte Magnete: Abgesehen von den bereits beschriebenen technischen Eigenschaften, bringt das Verkleben mit Vaccoat 20011 weitere Vorteile im Vergleich zu den bislang üblichen Bindetechniken mit flüssigen Klebstoffen: Das neue Herstellungsverfahren erzeugt eine zuverlässige elektrische Isolierung zwischen den einzelnen Segmenten in Kombination mit einem kleinstmöglichen Klebespalt. Die Größe des Klebespalts zwischen den Segmenten liegt bei Vaccoat 20011 typischerweise bei 20 µm, bei flüssigen Klebern mit Füllkörpern immerhin um die 100 µm. Das bedeutet unterm Strich mehr verfügbares magnetisches Volumen bei gleicher Größe des Gesamt-Magnetsystems.



**Bild 3: Druckscherfestigkeitswerte von Vaccoat 20011 im Vergleich mit einigen kommerziell verfügbaren Flüssigklebstoffen**

### **Beständiger Korrosionsschutz**

Im ungehärteten Zustand sind die Schichten von Vaccoat 20011 mindestens sechs Monate lang stabil, ohne dass sich ihre technischen Eigenschaften verändern. Das bedeutet in der Praxis, dass der Hersteller die

Magnete beschichten und sie danach einlagern kann, um sie erst später zusammenzufügen. Selbst nach einigen Monaten Lagerzeit sind die gleichen Eigenschaften hinsichtlich der Verbindung und des Korrosionsschutzes vorhanden – genau so, wie es bei einer sofortigen Verklebung der Fall wäre.

Ein weiterer wichtiger Punkt sind die sicheren Arbeitsbedingungen beim Umgang mit dem Lack. Flüssige Klebstoffe erfordern Vorsichtsmaßnahmen auf Seiten der Anwender beim Hautkontakt. Sehr viele Epoxid- oder Acrylatklebstoffe enthalten hautreizende flüssige Bestandteile und können Aller-

gien auslösen. Die Hauptbestandteile von Vaccoat 20011 sind feste Epoxidharze, die sich als nichttoxisch erwiesen haben. Keine klebrigen Finger, kein verschmutztes Werkzeug, keine zusätzlichen Reinigungsschritte im Herstellungsprozess, die anfallen würden, wenn überdosierte Kleberückstände entfernt werden müssten. (rh)

**Dr. Lothar Zapf**  
ist Leiter Produktmarketing  
Dauermagnete und  
**Dr. Roland Zoller**  
ist Gruppenleiter Entwicklung  
chemische Technologie  
Permanentmagnete bei  
**Vacuumschmelze**  
Telefon 0 61 81/38 0  
[www.vacuumschmelze.de](http://www.vacuumschmelze.de)

