

Korrosionsbeständigere Dauermagnete, hergestellt in China, widerlegen Vorurteile

Ein jeder Einkäufer reibt sich Hände wenn er Preise hiesiger Anbieter mit denen der chinesischen Konkurrenz vergleicht und mit seiner einzukaufenden Jahres-Stückzahl multipliziert. Da kommen schnell mehrere Tausend, nicht selten Hunderttausend und mehr Euro an Einsparpotential zusammen.

Jedoch sind viele Versuche potentieller Anwender, die vermeidlich "billige" Ware aus Fernost gegen die technisch innovativen Produkte einschlägig anerkannter Magnethersteller auszutauschen, jäh fehlgeschlagen. Insbesondere Hersteller von elektrischen Motoren, Kupplungen, Meß- und Regelsysteme sowie im Automotive Sektor können auf diese lockende Versuchung nicht zurückgreifen, weil die Hoffnung schon bei Musterlieferungen nur allzu oft im sprichwörtlichen Sinne zu Staub verfallen ist oder wahlweise die Magnete sich bei thermischer Beanspruchung schneller entmagnetisiert haben, als es sich zunächst auf dem Papier gelesen hat.

Durch die Verwendung einer originellen Herstellungsmethode und durch die Optimierung der Herstellungsprozesse wurden kürzlich in China korrosionsbeständigere NdFeB Dauermagnetwerkstoffe (Neoflux®) der S-Reihe für Anwendungen bis etwa 200°C entwickelt, die belegen, daß durch konsequente Forschung und Entwicklung sowohl dem Kostenbewußtsein des Einkäufers, als auch den technischen Anforderungen des Entwicklers Rechnung getragen wird.

Damit stehen dem Anwender jetzt stabile NdFeB Dauermagnete mit High-Tech-Qualität und "chinesischen" Preisen zur Verfügung.

Einleitung

Dauermagnete mit den höchst erreichbaren Energiedichten $(BH)_{\max}$ bis zu 451 kJ/m³ (oder 56,7 MGOe) werden Heute auf der Basis von Neodym – Eisen – Bor (NdFeB) Legierungen hergestellt. Für die industrielle Herstellung von anisotropen NdFeB Magneten mit verschiedensten Formen und Abmessungen werden hauptsächlich pulvermetallurgische Verfahren (zerkleinern zum Feinpulver, ausrichten im magnetischen Feld, Formteil-Pressen, sintern) verwendet.

Die Entdeckung der NdFeB Dauermagnetwerkstoffe Anfang der 80^{er} Jahre hat zu einer echten technischen Revolution auf mehreren Gebieten, z.B. der EDV, der elektrischen Maschinen, der Sensorik, der medizinischen Apparatur u.a.m. geführt. Die hohe Energiedichte ermöglicht innovative Systemlösungen, die trotz der Magnetkosten von hoher Wirtschaftlichkeit sind. Dieser Vorteil und die günstigeren Rohstoffe (Neodym Nd ist viel häufiger in den Erzen der Erdkruste als andere Seltenen-Erden zu finden und ca. 80% der Nd-Weltreserven sind in China konzentriert) haben das Wachstum der NdFeB Magnete viel schneller als das der anderen Hochenergie-Dauermagnete vorangetrieben. Jährlich wurden Rekordsteigerungsraten im Umsatz mit NdFeB Dauermagneten gemeldet und ein weiteres Wachstum wird in Zukunft erwartet.

Trotz eines günstigen Verhältnisses Preis/Leistung sind die NdFeB Dauermagnetwerkstoffe durch einige "Schwächen" im Vergleich mit den anderen Hochenergie-Werkstoffen auf der Basis von Seltenen-Erden, SmCo₅ und Sm₂(Co,Fe,Cu,Zr)₁₇, gekennzeichnet, nämlich die ziemlich niedrige Curie-Temperatur und die erhöhte Korrosionsempfindlichkeit. Die Curie-Temperatur von nur "310°C" hat als Folge höherer negativer Temperaturkoeffizienten des magnetischen Flusses und der Koerzitivfeldstärke. Um eine Anwendung bei höheren

Temperaturen zu gewährleisten muß die Koerzitivfeldstärke H_{cj} bei der Raumtemperatur entsprechend erhöht werden. Die erhöhte Korrosionsempfindlichkeit der "traditionellen" NdFeB-Magnete resultiert aus der Koexistenz von mehreren Phasen in dem Magnetgefüge. Eine dieser Phasen, nämlich die Nd-reiche Phase mit etwa 90 Gew.% Nd, bildet sich zwischen den Körnern der $Nd_2Fe_{14}B$ Matrixphase und verhält sich bei erhöhten Temperaturen und im Kontakt mit Feuchte wie das Nd-Metall, ein SE-Element: die hohe chemische Reaktivität führt in feuchtwarmer Umgebung zur Bildung von Korrosionsprodukten.

Die Entwicklungsaktivitäten haben sich weltweit einerseits auf die Erhöhung der Energiedichte, andererseits und ganz besonders auf die Erhöhung der Stabilität gegen Korrosion und in Gegenfeldern bei hohen Temperaturen konzentriert. Sowohl durch die stetige Werkstoffentwicklung und Prozeßoptimierung als auch durch den Einsatz modernster Technologien können heute Energiedichten von 240-415 kJ/m³ (oder 30-52 MGOe) für maximale Anwendungstemperaturen von 60°C bis 200°C über die Legierungszusammensetzung eingestellt werden, allerdings verhalten sich die maximale Anwendungstemperatur und die Energiedichte gegenläufig.

Das Korrosionsverhalten der NdFeB-magneten kann durch adäquate Zusätze in der Legierung oder im Feinpulver wesentlich verbessert werden. Als Folge von besonderen Anstrengungen im Rahmen von industriellen Entwicklungsprojekten wurden wichtige Fortschritte in bezug auf die Erhöhung der Korrosionsstabilität von NdFeB-Magneten erzielt.

Die thermische und die chemische Stabilität, besondere "Schwächen" der meisten chinesischen NdFeB-Magnete

Die oben erwähnte günstige Rohstoffsituation in China hat als Folge die Entstehung von zahlreichen Fabriken zur Herstellung von NdFeB-Magneten. Nach inoffiziellen Angaben existierten Ende 2002 über 150 chinesische Hersteller von gesinterten NdFeB-Magneten. Die meisten Hersteller produzieren ohne Lizenz, d.h. legal ausschließlich für den chinesischen und/oder südost-asiatischen Markt. Mengemäßig werden heute in China die meisten Hochleistungsdauermagnete auf der Basis von Neodym-Eisen-Bor (Nd-Fe-B) Legierungen hergestellt.

Die innerchinesische Konkurrenz ist entsprechend hart und es wird (zu) wenig in die Werkstoff- und Prozeßentwicklung investiert. Es werden hauptsächlich Magnete mit der "traditionellen" Zusammensetzung hergestellt. Entsprechend der chinesischen Norm wurde in der Vergangenheit die maximale Einsatztemperatur durch die Höhe der Koerzitivfeldstärke H_{cj} bei der Raumtemperatur "geschätzt, Messungen der H_{cj} bei hohen Temperaturen waren und sind immer noch nicht überall üblich. Wenn trotz fehlender Lizenz chinesische Magnete auf den westlichen Markt gelangen, dann erfährt der potentielle Anwender, daß es zwischen den Spezifikationen der chinesischen Norm und den tatsächlichen Eigenschaften enorme Unterschiede gibt. So ist es zu erklären, daß die chinesischen NdFeB-Magnete die traurige Reputation erworben haben, in den meisten Fällen für hohe Temperaturen oberhalb etwa 150°C nicht einsetzbar zu sein.

In bezug auf die Korrosion wurde anfang der 90^{er} Jahre über den "umgekehrten Harris Effekt" oder über die Selbstzerstörung der chinesischen NdFeB-Magnete heiß diskutiert. Inzwischen wurden auch in China wesentliche Fortschritte erzielt, die Korrosionsstabilität der etablierten Magnetwerkstoffe wird aber nur sehr selten, meistens zufällig, erreicht. Zum Testen der Korrosionsstabilität werden die sogenannten Beschleunigungstests angewendet, d.h. Tests, die unter extrem harten Bedingungen eine Oberflächenkorrosion verursachen können, z.B. den PCT-Test (Pressure Cooking Test). In diesem Test werden die Gewichtverluste aufgrund der Korrosion über eine Dauer von mindestens 7 Tage gemessen, siehe zum Beispiel Abbildung 1. Die Erfahrung hat gezeigt, daß die korrosionsstabilen

Dauermagnetwerkstoffe Gewichtsverluste bis zu maximal etwa 5 mg/cm^2 nach 7 Tagen aufweisen. Die "traditionellen" chinesischen NdFeB-Magnete verhalten sich in einem PCT-Test unterschiedlich, abhängig vom Hersteller, bzw. von der Prozeßführung. Abbildung 1 zeigt die Gewichtverluste eines N 35 SH Dauermagneten (rote Linie), erworben per Zufall von einem der zahlreichen chinesischen Hersteller im Vergleich mit den Gewichtverlusten der "traditionellen" NdFeB-Magnete (blaue Linien), hergestellt von einem führenden chinesischen Betrieb, der die Herstellungsprozesse wesentlich optimiert hat. Der N 35 SH Magnet wird fast komplett korrodiert (1g/cm^2) nach schon 7 Testtagen!

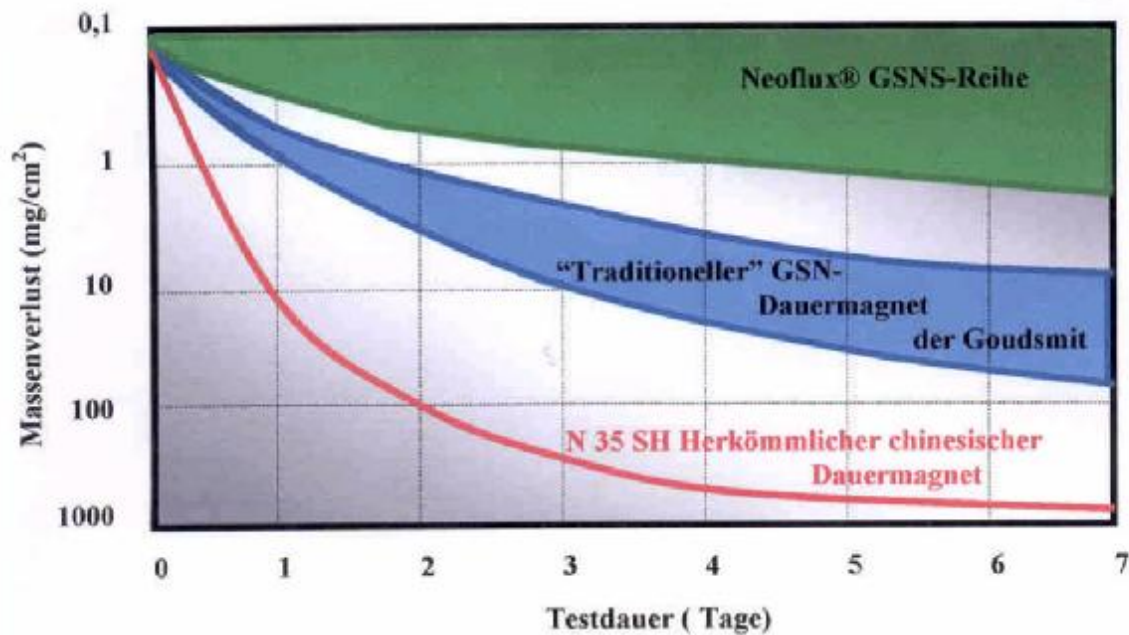


Abbildung 1: Typischer Massenverlust im PCT-Test für Neoflux® GSNS Dauermagnete im Vergleich mit dem der GSN-Grades von Goudsmit und im Vergleich mit einem herkömmlichen chinesischen N 35 SH Magneten, spezifiziert für maximale Anwendungstemperaturen von 150°C .

Eine neue Generation von Chinesischen, korrosionsbeständigeren NdFeB-Magneten für Anwendungen bis 200°C ist entstanden!

Dank einer originellen Herstellungsmethode wurde die Werkstoffe Neoflux® der GSNS-Reihe in China entwickelt. Das Gefüge dieser Dauermagnetwerkstoffe wurde durch geeignete Zusätze im Feinpulver geändert und dadurch die in den herkömmlichen NdFeB-Magneten existierende intergranulare Nd-reiche Phase durch andere, korrosionsbeständigere Phasen ersetzt. Das Korrosionsverhalten der GSNS-Magnete wurde im Vergleich mit dem der GSN-Werkstoffe der Goudsmit wesentlich verbessert und ähnelt dem eines ST 37 Stahls.

Die modernen Werkstoffe Neoflux® GSNS können für High-Tech Anwendungen mit den bekannten Kostenvorteilen verwendet werden. Unter den extremen Bedingungen eines PCT-Testes ist durch Korrosion entstandener Massenverlust nach mehreren Tage sehr gering; der typische Massenverlust der Neoflux® GSNS-Werkstoffe beträgt weniger als etwa 1-2 mg/cm², siehe der grüne Bereich in Abbildung 1.

Ein weiterer wichtiger Vorteil der Werkstoffe Neoflux® GSNS ist die höhere Curie-Temperatur der Grundverbindung SE₂FE₁₄B (SE = Seltenen-Erden), die eine Erhöhung der Temperaturkoeffizienten der Remanenz und der Koerzitivfeldstärke bewirkt. Die GSNS-Werkstoffe können für spezifische Betriebstemperaturen von 80°C bis 200°C konzipiert werden, siehe Tabelle 1. Als Maß für die thermische Stabilität werden die irreversiblen magnetischen Verluste für den Arbeitspunkt $B/\mu_0H \sim -1$ angenommen. Die Dauermagnetwerkstoffe GSNS-30EH, GSNS-32UH, GSNS-35SH und GSNS-38H sind für Anwendungen bis etwa 200°C, 180°C, 150°C bzw. 120°C ohne nennenswerte irreversible magnetische Verluste geeignet.

WERKSTOFF	20°C		150°C		*Max. Anwendungstemperatur für $B / \mu_0H \sim -1$
	Br(T)	H _{cj} (kA/m)	Br(T)	H _{cj} (kA/m)	
GSNS-30EH	1,10	> 2400	0,96	> 1150	200°C
GSNS-32UH	1,17	> 2000	1,00	> 800	180°C
GSNS-35SH	1,21	> 1600	1,05	> 600	150°C
GSNS-38H	1,26	> 1520	1,09	> 420	120°C

*Die Anwendungstemperatur hängt unter anderem von den Abmessungen des Magnets und dem Systementwurf ab.

Tabelle 1: die typischen magnetischen Eigenschaften bei 20°C und bei 150°C der Dauermagnetwerkstoffe Neoflux® der GSNS-Reihe.

Zusammengefaßt:

Heute stehen den Anwendern eine breite Palette von preisgünstigen, modernen und stabilen NdFeB Dauermagnetwerkstoffen zur Verfügung, zum Beispiel die Magneten Neoflux® der S-Reihe, deren Einsatz unter extremen Bedingungen möglich ist. Zum Beispiel die GSNS-30EH Magnete, mit einer Energiedichte von 240 kJ/m^3 ($\sim 30 \text{ MGOe}$), siehe Abbildung 2, können bis zu Temperaturen von ca. 200°C ohne nennenswerte irreversible Verluste eingesetzt werden. Außerdem weisen Sie eine erhöhte Korrosionsstabilität vergleichbar mit der eines Stahls ST 37 auf.

Die NdFeB Dauermagnete Neoflux® GSNS vereinen den Vorteil einer "westlichen Qualität" mit dem Vorteil der "Chinesischen Preise".

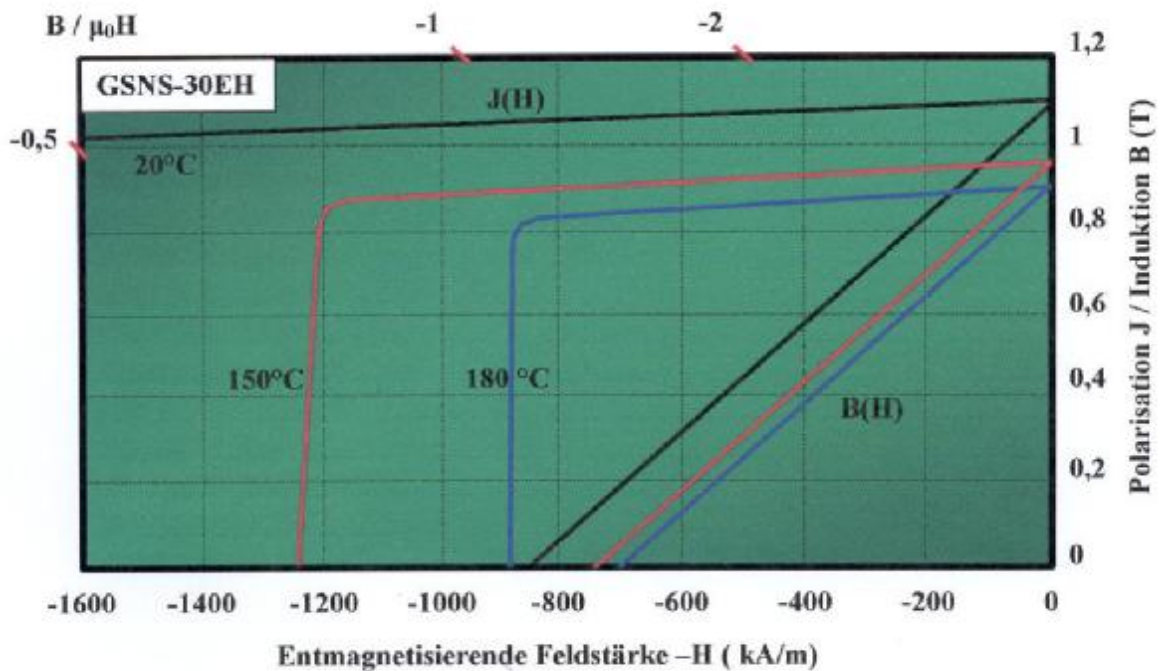


Abbildung 2: Die typischen Entmagnetisierungskurven eines Dauermagneten Neoflux® GSNS-30EH bei hohen Temperaturen