

Magnetik Malzemelerin Çeşitleri ve Kullanım Alanları

Selim YÜREKTEN / Yönetim Kurulu Başkanı
ENPAY

Hatırlanacağı üzere Mayıs 2007 sayısında neşrolan 'Türkiye'de Magnetik Teknolojileri Üzerine Düşünceler' başlıklı makalede, konunun detaylarını içeren bir başka yazı yazacağımızdan bahsetmiştik. İşte şimdi de magnetik malzemelerin çeşitleri ve kullanım detaylarını inceleyelim.

Magnetik malzemeler iki grupta toplanır:

- 1- Yumuşak magnetik malzemeler (Koercivity \leq 1000 A/m) (Soft Magnetic Materials)
- 2- Sert magnetik malzemeler (Koercivity $>$ 1000 A/m) (Hard Magnetic Materials)

IEC 60404 - 1'de, iki grup içine giren malzemeler klasifiye edilmektedir. Endüstride kullanımı çok olanları detaylı, olmayanları kısaca tanıtacağız.

1-Yumuşak magnetik malzeme grupları

A-Demirler: Doğru akım röleleri, elektromıknatıslar, generatör pabuçları ölçü aletlerinde ve kontrol cihazlarında magnetik devre elemanı olarak v.s. gibi

Çok hassas kaçak akım koruma röle ve şalterlerinin nüveleri, röleler, yüksek hassasiyete sahip akım trafo nüveleri, magnetik ekranlama üretiminde kullanılırlar.

yerlerde kullanılır.

B-Düşük karbonlu yumuşak çelikler: Mekanik dayanımı zayıf olan büyük doğru akım mıknatısları ve röle yapımında kullanılır.

C-Silisli çelik saçlar: %0,5-6,5 oranlarında silisyum ihtiva eden bu malzemeler kristalleri yönlendirilmemiş ve yönlendirilmiş olarak elektrik makineleri ve transformatörlerin üretiminde en çok kullanılan malzemelerdir. İleride bunları detaylı olarak inceleyeceğiz.

D-Diğer çelikler: Döner makinelerde, özellikle rotorların ve diğer elektrik cihazlarının parçaları olarak kullanılır.

E-Nikel-Demir alaşımları:

Alaşımın içindeki nikel oranına göre akım trafolarından , küçük güçlü trafolarında, rölelerde, magnetik ekranlamalarda, kaçak akım rölelerinde, rotor ve stator yapımında kullanılır. İlerde bunları detaylarıyla inceleyeceğiz.

F-Demir-Kobalt alaşımları: Klas E malzemelerinin kullanıldığı yerlerde, içindeki kobalt oranına göre değişik magnetik özellikleri ile çok özel trafo yapımında, uçaklarda ,elektronik cihazların üretilmesinde kullanılır.

G-Alüminyum -demir alaşımları, alüminyum-silisyum-demir alaşımları: Ultrasonik transdüktör ve magnetik devre elemanları olarak ve de toz halinde semi proses ürünleri olarak kullanılır.

H-Yumuşak ferritler: IEC 60401'de özellikleri verilmiştir. Kübik kristal yapısında $MnFe_2O_4$, bir ya da daha fazla divalent oksitler karışımı, örneğin Manganez Çinko ya da nikel çinko kombinasyonudur. Çok yüksek frekanslı (10 MegaHz'lerin üzerinde) küçük trafo, chok'ların nüvesi olarak kullanılır. Diğer metallere göre, çok

farklı geometrilerde nüve yapımına müsaittir. Kolay şekillendirilebilir olması ferrit malzemesinin tercih sebebidir.

I - İleri Malzemeler (Advanced Materials)

I.a – Amorf (Amorphous) yumuşak magnetik malzemeler:

Demir, nikel, kobalt bazlı tiplerde üretilir. Bu cinslere göre dağıtım trafolarında, endüktörlerde, magnetik ekran yapımında, puls trafolarında, sensörlerde kullanılır. İlerde daha detaylı olarak inceleyeceğiz.

I.b - Nanokristalin yumuşak magnetik malzemeler:

Amorf malzeme teknolojisi gelişmelerinden yıllar sonra, benzeri metotlarla üretilmeye başlandı. Ferritlerin magnetik performansının özellikle yüksek sıcaklıklarda sabit kalamadığı yerlerde sorunu halletti. Aşağıda daha detaylı bilgi veriliyor.

2 - Sert Magnetik Malzemeler

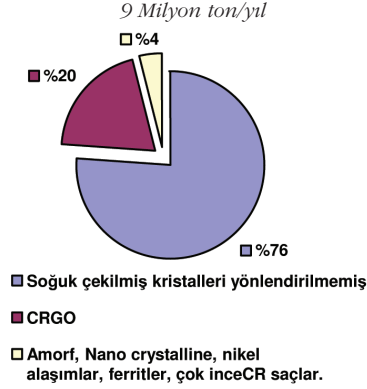
Bu malzemeler kısmen IEC 60404 -8-1 tarif ediliyor. Kullanım yerleri çok özel olduğundan konumuz dışında kalıyor.

Yumuşak magnetik malzemelerin dünya pazarı aşağıda gösterilmiştir. Veriler takribidir.

Yumuşak magnetik malzemelerin magnetik değerlerinin ölçülmesi

Bu gayeyle iki metot kullanılır.

- 1- Halka (Toroid) metodu, 10 kA/m. magnetik alan şiddetine kadar olanlarda kullanılır.
- 2- Geçirgenlik (permeametre) metodu, 1 kA/m.-200 kA/m. magnetik alan şiddetine kadar olanlarda kullanılır.



Ölçme detayları IEC 60404-4'de verilmiştir. Ölçü alet ve devreleri bu kurallara göre kullanılmalıdır.

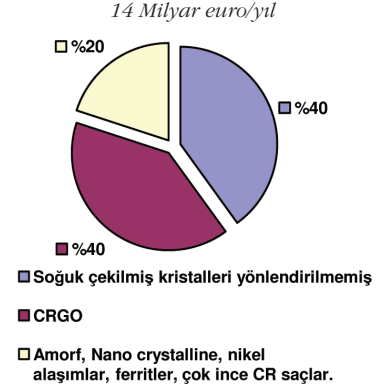
C grubuna giren malzemelere toplu bakış

1- Soğuk çekilmiş son tavı yapılmamış (semi-processed) elektrik sacları. IEC 60404 -8-2 ve IEC 60404-8-3

≤ 1250 mm. genişliğinde rulo ve tabaka halinde, (0,47), 0,50 ve 0,65 mm. kalınlıklarda üretilir. İşlendikten sonra 790-840°C'de ısı tavına tabi tutulur. Magnetik performansı, 25 cm.'lik EPSTEIN cihazında IEC 60404-2'de tarif edildiği şekilde ölçülür.

0,50 mm. kalınlıktaki sacların 1,5 Tesla ve 50 Hz.'de magnetik kayıpları 3,40-5,60 W/ kg., 0,65 mm. olanların ise 3,90-6,30 W/kg. arasındadır. Fiyatları, prosten geçmiş olanlara nazaran daha uygun olduğu için, çok miktarda (50Hz-60 Hz) elektrik motorları, stator-rotor sac paketlerinin üretiminde kullanılır. (Özellikle küçük-orta güçlerde, magnetik kayıpların büyük rol oynamadığı durumlarda.)

2- Soğuk çekilmiş kristalleri yönlendirilmemiş (cold-rolled non Oriented CRNO) elek-



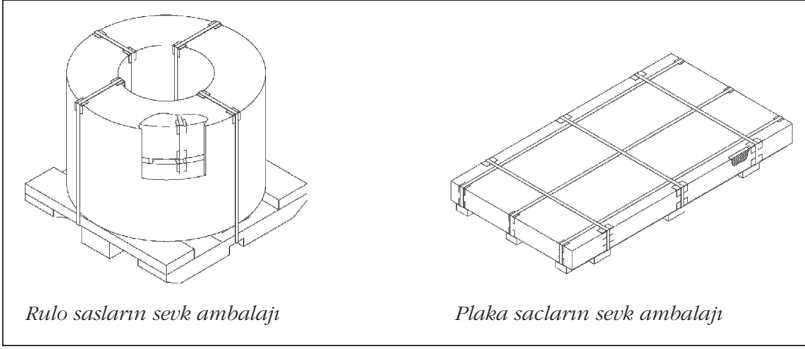
trik sacları, tam prosten geçmiş (fully-processed) IEC 60404-8-4

Madde 1'deki saclar nazaran kayıpları daha düşük, magnetik performansı daha yüksek saclarıdır. 0,35-0,47-0,50-0,65 ve 1 mm. kalınlık, ≤ 1250 mm. genişliklerde rulo ve tabaka halinde üretilir. Magnetik performansı yukarıda bahsedilen EPSTEIN cihazında ölçülür. Yüzeyleri tamamen yalıtımsız olabileceği gibi, bir ya da her iki yüzeyi vernik (lak) ile yalıtılmış olarak piyasaya arz edilir. Kullanılan yalıtkan cinsi muhtelif olabilir. Kullanım yerine göre seçim yapılmalıdır.

50 Hz ve 1,5 Tesla da magnetik kayıpları (max):		
Kalınlık mm	Kayıp W/kg	Min. Doldurma Faktörü %
0,35	2,30-3,60	95
0,50	2,50-10	97
0,65	3,10-10	97
1	6-13	98

Genel olarak bilindiği gibi son 50-60 yıldır, elektrik motor ve generatörleri stator ve rotorlarının üretiminde ve diğer bazı statik cihazlarda (trafo-reaktör) magnetik nüvelerin yapımında kullanılır.

3. Soğuk çekilmiş kristalleri yönlendirilmiş (Cold-rolled Grain Oriented CRGO) elek-



trik sacları. IEC 60404-8-7

(Aşağıda CRGO olarak anılacaktır).

Tam procesten geçmiş (fully-processed) elektrik sacları IEC 60404-8-7, DIN EN 10 107 standartlarında tüm özellikleri verilmiştir. Madde 1ve 2'deki sacları nazarı kayıpları çok düşük, elektrik performansı mukayese edilmeyecek kadar yüksek saclarıdır.

%3 silisyum ihtiva ederler. 0,23-0,27-0,30 ve 0,35 mm. kalınlık ≤ 1000 mm. genişliklerde rulo ya da tabaka olarak üretilir. Rulo iç çapı 508 mm. Her iki yüzeyi 2-4

µm kalınlıkta carlite (Magnezyum silikat) ile yalıtılmış ve son ısı tavi yapılmış olarak piyasaya verilir. Bu yalıtkan türü 800-850°C sıcaklıklara kadar bozulmadan kalır. Özellikle yüksek gerilimli büyük güç trafo nüvelerinde, sacların yüzey yalıtkan yetersizliği yüksek ısınmaya sebep olabilir. Trafo devreden çıkabilir. Yüzey yalıtkanının direnci IEC 60404 -11'e göre FRANKLIN cihazıyla ölçülür.

Magnetik kayıpları 25 cm. EPSTEIN cihazıyla ölçülür. (bakınız fotoğraf 1) Daha kabaca olmak üzere (single sheet tester) cihazı

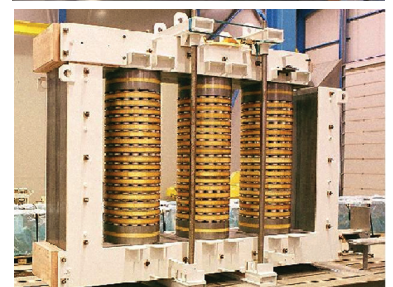
ile de ölçülebilir. Sorun halinde, EPSTEIN cihazı ölçü sonucu geçerlidir.

Enpay 'ın magnetik laboratuvarlarında bu test hizmetleri verilmektedir.

Doyma endüksiyonu 2 Tesla civarında, magnetik kayıpları oldukça düşüktür. Normal (conventional) ve yüksek permeabiliteli saclar (Hi-B) olarak 2 kalite sınıfı ile anılır. Özellikle son yıllarda yüksek permeabiliteli saclar, lazerle (domain refined) ve mekanik yolla çizilerek (mechanical scribe) nüve kayıpları ve magnetik gürültü (magnetostriction) daha da düşürülmüştür. (HIB) Sacların üretimi dünyada yalnız 5-6 ülkede yapılmakta olup ihtiyacı karşılayamamaktadır. Dünyadaki total CRGO üretimi 1,8 milyon ton olup, bunun 0,5 milyon tonu Hi-B saclarıdır. Dünyada üretilen orta-yüksek gerilimli trafo, reaktör nüvelerinde, bunların magnetik ekranlama paketlerinde CRGO sacları



Franklin Test Düzenegi
(Fotoğraf 1)



ENPAY'da üretilen muhtelif güç trafo ve shunt reaktör nüveleri



Epstein Test Düzeneği



Single Sheet Tester

kullanılır. Bu çok büyük bir miktardır.

Normal (conventional) CRGO saclarda 50Hz. ve 1,7 Tesla'da magnetik kayıplar (max)

Kalınlık mm	Kayıp W/kg	Min. Doldurma Faktörü %
0,23	1,10	94,5
0,27	1,20-1,30	95,0
0,30	1,20-1,30	95,5
0,35	1,35-1,55	96,0

Yüksek permeabiliteli (HiB) saclarda 50Hz ve 1,7 Tesla'da magnetik kayıplar (max).(min. dold.fak.yukarıdakinin aynı)

0,23	0,90-1,0
0,27	0,95-1,10
0,30	1,0-1,10
0,35	1,15-1,35

(HiB) Laserli (domain refined) saclarda 50Hz. ve 1,7 Tesla'da magnetik kayıplar (max). (min.dold.fak. yukarıdaki ile aynıdır)

0,23	0,80-0,90
0,27	0,90-0,95

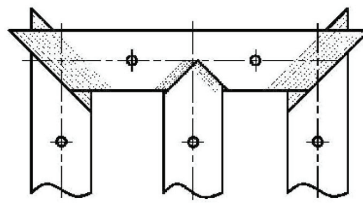
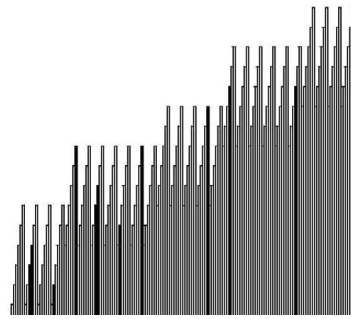
Enpay'ın bu saclardan trafo magnetik nüve üretim kapasitesi 50.000 Ton/ yıldır. Büyük kısmı

nı 50'nin üzerindeki ülkeye ihraç etmektedir. Türkiye trafo sanayinin yıllık ihtiyacı takriben 80.000 Ton'dur.

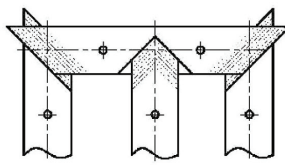
Trafo nüveleri, saçların step-lap şeklinde kesilip dizilmesiyle daha da modernleşmiş, kayıpları

düşürülmüştür. (Normal 45° kesime göre nüve kayıpları %5-8 arasında azalır). Şekilde Enpay'da steplap teknolojisiyle kesilen saclardan bir deste görülmüyor.

Genel olarak magnetik enerji kayıpları, pratikte en çok düşürülme imkanı yaratılan kayıplar olmuştur. Günümüzde çok aktüel olan çevre ve enerji tasarrufu koşullarında bunun önemi çok iyi anlaşılır. Bu kayıplar aynı zamanda trafolarda en yüksek cezalı (penalty) olanıdır (Örneğin 5\$/ Watt). Son yıllarda sac kalitelerine paralel, boşta kayıpların düşmesi ile, trafo ağırlık ve boyutları da çok küçülmüştür.



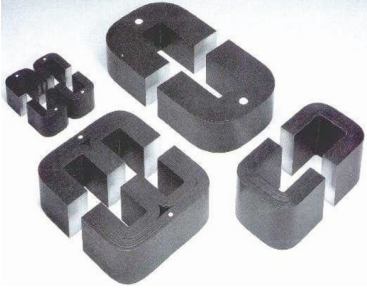
Yatay Step-Lap (Longitudinal Step-Lap)



Dikey Step-Lap (Cross Step-Lap)

4. Soğuk çekilmiş çok ince (Thin-gauge silicon steel strips) elektrik sacları

İçindeki silisyum oranı %6,5'a kadar çıkar. O noktada permeabilite max., nüve kaybı min. değerlerine ulaşır. Kristalleri yönlendirilmiş (Oriented) olanların kalınlıkları 0,03-0,05-0,075-0,10-0,15-0,20-0,23 mm. Doyma noktası 1,9 Tesla. Yüzeyleri magnezyum silikat ile yalıtılmış, rulolar halinde üretilir. Rulo genişliği ≤ 600mm.



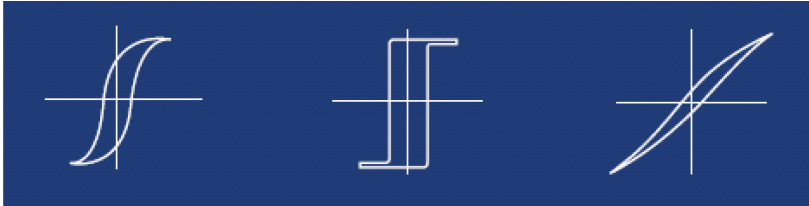
Çok ince saçlardan üretilmiş ENSI® yuvarlak, C ve E nüveler

100 Hz-50kHz aralığında dizme ya da sarma nüveli yüksek frekans trafoları, reaktörleri (chok), endüktörler, puls trafoları, anod reaktörleri, filtre devreleri, motorların magnetik devreleri ve magnetik ekranlama elemanları olarak kullanılır. Kristalleri yönlendirilmemiş (non Oriented) olanlarda 0,10-0,15 mm. kalınlıklarda daha az miktarlarda üretilir. Reaktör, endüktör, magnetik ekranlama elemanı olarak kullanılırlar. Her iki cinsin de fiyat seviyesi oldukça yüksektir. Çok değerli malzemelerdir, dünyadaki üreticileri çok azdır. İleri teknoloji gerektirir. En çok kullanıldığı



sanayiler elektronik, savunma ve uçak sanayileridir. Enpay tüm bu malzemelerden yukarıda adı geçen nüveleri üretmekte, büyük çoğunluğunu ihraç etmektedir. Bilindiği gibi son yıllarda enerji nakil hatlarında iletim doğru akım olarak yapılmaktadır (HVDC). Bu gaye ile AC'nin DC'ye çevrilmesi ve tersi işlemlerdeki cihazlarda kullanılan magnetik nüveler bu tip saçlardan yapılır.

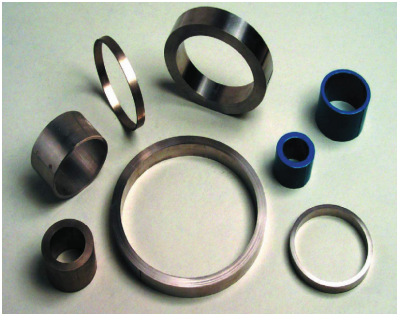
Ferrit nüvelerden üstün tarafları şunlardır: Daha yüksek magnetik endüksiyonlarda çalışırlar; temperatur (ısınma) değişikçe özellikleri değişmez ve yüksek



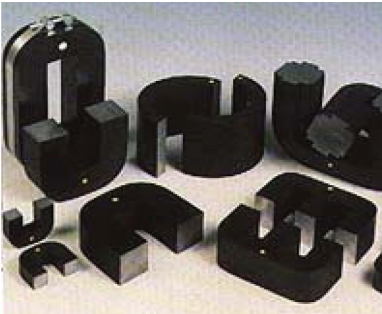
(R) Yuvarlak

(Z) Dikdörtgen

(F) İnce



Yüksek hassasiyetteki akım trafoları için üretilen ENNI® nüveler



Özel chok ve trafolar için ENNI® nüveler

sıcaklıklarda sorunsuzdurlar.

E Grubuna Giren Malzemelere Toplu Bakış

Nikel ve demirin dışında eser miktarda başka metaller de katılır. Bu gruba giren malzemeler genellikle, 0,05 – 0,06- 0,08 – 0,10 – 0,20 mm. kalınlıklarda sac rulo-ları olarak dünya piyasasında bulunur. İleri teknoloji gerektirdiği için çok az üreticisi vardır. Birinci Dünya Savaşı sırasında savunma sanayilerinin ihtiyacını karşılamak üzere üretime başlanmıştır. Korumacı gazlar altında, çok karmaşık ısı tavı prosedürü ve elektrik alan tavı gibi işlemler gerektirir. Değişik Ni oranı ile oluşan magnetik özellik, aşağıda görülen malzemeleri meydana getirir.

1- %72-83 Ni ıbtiva eden alaşımlar

Magnetik olarak en yumuşak gruptur. Belirgin özelliği, yüksek başlangıç ve max. magnetik geçirgenliğe (permeabilite) sahip oluşudur. Düşük koerzitiv alan şiddeti ve düşük doyma polarizasyonuna (0,7-0,8 Tesla) sahiptir. Bu özelliklerinden dolayı, yuvarlak (R), dikdörtgen (Z) ve ince (F) histeresis eğrilerini sağlayan toroidal nüveler üretilabiliyor. Doyma endüksiyonu 0,8 Tesla civarındadır.

Çok hassas kaçak akım koruma röle ve şalterlerinin nüveleri, röleler, yüksek hassasiyete sahip akım trafo nüveleri, magnetik ekranlama üretiminde kullanılırlar.

Hatırlanacağı gibi Türkiye'de de birkaç yıldır binalar ve fabrikalarda, kaçak akım koruma şalterlerinin kullanımı mecburi hale gelmiştir. Kalkınmış ülkelerde uzun yıllardan beri kullanılmak-

tadır. Enpay, bu gaye ile ürettiği nüvelerin ve aktif kısımların % 100'ünü ihraç ediyor.

2-%54-68 Ni ihtiva eden alaşımlar

Doyma endüksiyonu 1,2 ve 1,5 Tesla, çok miktarda yuvarlak (Toroidal) nüve üretiminde kullanılır. Orta hassasiyetteki kaçak akım koruma röle ve şalterlerinin nüveleri, ölçme hassasiyeti yüksek akım trafo nüveleri üretiminde, kısaca yuvarlak ve ince histeresis formları gerektiren ürünlerde kullanılır. Başka bir alaşımla bu özelliği sağlamanın olanaksızlığı malzemenin kıymetini çok yükseltir.

3- % 45-50 Ni ihtiva eden alaşımlar

Doyma endüksiyonu 1,5-1,6 Tesla. Yukarıda bahsedilen yerlere ilaveten, özel motorların rotor, stator saclarının, magnet ventillerinin kutup parçalarının ve rölelerin yapımında kullanılır.

4-% 35-40 Ni ihtiva eden alaşımlar

Band, tel, çubuk halinde üretilir. Yapımın bileşimindeki bu oran, özgül elektrik direncinin yüksek olmasını sağlar. Geçirgenlik değeri ve mıknatıslama akımının düşük doyma endüksiyonunun 1,3-1,5 Tesla gibi değerde oluşu, üretilen toroidal nüvelerde ince histeresis eğri çeşidini sağlar. Impuls trafoları, röleler, kutup parçaları, reaktörler, sensörler, magnetik ekranlama parçaları üretiminde başarı ile kullanılır.

5- % 30 Ni ihtiva eden alaşımlar

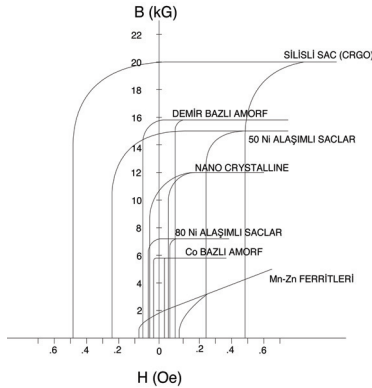
Bant, tel çubuk halinde üretilir. Kuri(Curie) derecesi ortam sı-

caklığının biraz üzerinde olan bu alaşımlarda doyma polarizasyonu ortam sıcaklığına bağlı olarak değişir. Çok spesiyal bir malzeme olup, endüstride kullanımı azdır. Birim fiyatı yüksektir. Elektronik teraziler, elektrik sayaçları, takometre, diğer ölçü aletlerinin üretiminde kullanılır.

I Grubuna giren malzemelere toplu bakış

I.a. Amorf Metal (Amorphous Metal)

İlk defa 1960'da laboratuvarında, 1977'den itibaren de endüstriyel olarak üretime başlanmıştır. Demir, nikel, kobalt bazlı bandlar olarak üretiliyor. Magnetik özellikleri alaşıma göre değişiyor. Kalınlık 0,020-0,035mm., band genişliği 10-250 mm. Kırılgenlik özelliğinden dolayı, kullanılması zordur, özel itina gerektirir. Kobalt ve demir bazlılar, dikdörtgen ve ince histeresis eğrisi özelliği gösterir. Aşağıdaki eğride muhtelif malzemelerin alan şiddeti-doyma endüksiyonu verileri görülmüyor.



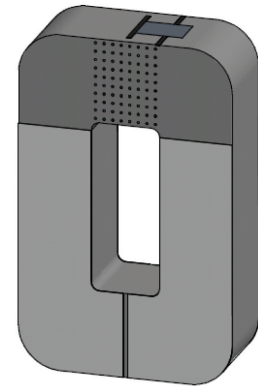
Özel atom yapısından dolayı magnetik olarak yumuşak, fakat mekanik olarak cam gibi serttir. Sertlik (HV900) çekme dayanımı

1500-2000N/mm²'dir. Yumuşak magnetik malzemenin mekanik olarak da yumuşak olması gerektiği kuralı, bu malzemede bozulmuş oluyor.

Demir bazlılar 1,6 Tesla civarında doymaya ulaşır. Buna mukabil magnetik kayıpları CRGO saclarından çok düşüktür (50Hz./1,5T.0,3 W/kg). Bu özellikten dolayı, 2,5MVA güce kadar orta gerilimli (6-36 kV) dağıtım trafo nüveleri yapımında (silisli trafo saclarının yerine) USA, Kanada, Japonya, Kore, Çin, Hindistan gibi ülkelerde tercihen kullanılıyor. Henüz dünyadaki üretimi tekel durumunda ve fiyat yüksekliğinden dolayı, ülkemiz trafo sanayinin kullanımına arz edilememektedir. Aynı bir dağıtım trafosu yapımında CRGO ile amorf nüve ağırlıkları kg. olarak aşağıda görülmüyor (1990 lı yıllar):

	KVA	CRGO	Amorf
1 fazlı	25	50	17
1 fazlı	100	160	50
3 fazlı	100	230	70
3 fazlı	1000	1100	360
3 fazlı	2500	2600	825

Enpay şimdiye kadar bu malzemenin yuvarlak (toroidal) ve dikdörtgen kesimli (C-Core) nüveleri üreterek, elektronik, sa-



Amorf metal saclardan üretilen Orta gerilim bir fazlı dağıtım trafosu nüvesi

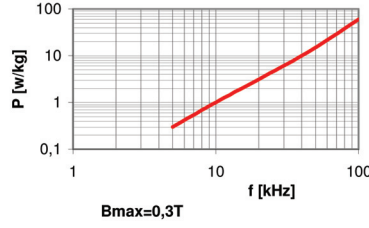


Amorf metal saçlardan sarılarak üretilen chok-sensör ve özel trafo nüveleri

vunma ve uçak sanayilerindeki UPS, yüksek frekans trafo ve sensör üreticilerinin ihtiyaçlarını karşılıyor. Büyük kısmını ihraç ediyor. En kısa zamanda da dağıtım trafo nüveleri üretimini Türkiye pazarına sokacaktır.

I.b. Nanokristalin malzemeler

Demir bazlı amorf bandların üretimine benzer. Amorf metal-lerin elde edildiği gibi, ergimiş alaşımın 106 K/sn. veya daha hızlı soğuması sonucu çok ince band olarak üretilir. 10-15 mm. boyutundaki kristalin yapısına sahiptir. Geçirgenliği sıcaklıkla çok az değişir (amorf dan daha az). Halbuki ferritlerde bu çok düşer. Örneğin, 100°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda doyma endüksiyonunun çok az değişmesine karşılık, ferritlerde %35-40 dolayında küçülme gösterir. Özel eldivensiz kullanılamayacak kadar çok kırılgan bir malzemedir. Yuvarlak nüve yapımı için elverişlidir. SMPC trafoları, UPS reaktörleri, sensörler, kaçak akım röleleri, bazı akım trafoları, filtreler v.s. Takriben 300 kHz'e kadar, magnetik gürültü sorunu yoktur. Doyma endüksiyonu 1,2 Tesla'dır.

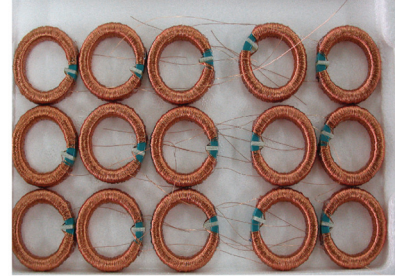


Nano kristalin nüve ile üretilen sensörler

Enpay, ürettiği nano kristalin nüvelerin %100 ünü ihraç ediyor.

Kaynakça

- Prof.Dr.Michalowsky, Prof.Dr.J.Schneider, Dipl.-Ing.S.Siebert. *Magnettechnik, Grundlagen-Werkstoffe-Anwendungen*, 2006, Vulkan-Verlag.
- Prof. Dr.Ing.Heino Henke, *Elektromagnetische Felder*, 2004, Springer Verlag
- Richard Boll, *Weichmagnetische Werkstoffe*, 1990, Vacuumschmelze GmbH
- S.V Kulkarni, S.A.Kharpade, *Transformer Engineering, Design and Practice*, 2004 Marcel Dekker, New York, Basel.
- Colonel Wm.T.McLymann, *Designing magnetic for high frequency DC-DC Converters*, 1992, California
- Prof. Dr. M.Kemal Sarıoğlu, *Soft magnetik malzemelerin özellikleri ve elektromagnetik devreler*, ENPAY
- T.R.Anantharaman, *Metallic Glasses*, 1984, Transtech Publications, Swiss
- ENPAY Innovation, *Transformer Components*
- ENPAY Innovation, *Soft Magnetic Components*
- ENPAY ENNI ® *Nickel Iron Cores made from soft magnetic materials*
- ENPAY ENAMOR ® *Advanced Technology, Amorphous Metal Cores*
- EBG Elektrotech Gesellschaft MbH, *Electrical steel sheet and strip from Bochum*, 1986
- ThyssenKrupp Electrical Steel, *Power Core*, 2003



- Nippon Steel Corporation, *Grain Oriented electrical steel sheets*, 1998
- Vacuumschmelze, *Weichmagnetische Werkstoffe und Halbzeuge*, 2002
- IEC 60404-1 : 2000 *Magnetic Materials, Part 1 : Classification*
- IEC 60404-2: 1996, *Magnetic Materials, Part 2: Methods of Measurement of the magnetic properties of electrical steel sheet and strip by means of an EPSTEIN frame.*
- IEC 60404-11: 1999, *Magnetic Materials, Part 11: Method of test for the determination of surface insulation resistance of magnetic sheet and strip*
- IEC 60404-8-2 : 1998, *Magnetic Materials, Part 8-2 : Specifications for individual materials-Cold-rolled electrical alloyed steel sheet and strip delivered in the semi-processed state*
- IEC 60404-8-3 : 2005, *Magnetic Materials, Part 8-3: Specifications for individual materials-Cold-rolled electrical non-alloyed steel sheet and strip delivered in the semi processed state*
- IEC 60404-8-4 : 1998, *Magnetic Materials, Part 8-4 : Specifications for individual materials-Cold-rolled Grain-oriented electrical steel sheet and strip delivered in the fully -processed state*
- IEC 60404-8-7 : 1998, *Magnetic Materials, Part 8-7: Specifications for individual materials-Cold-rolled Grain-oriented electrical steel sheet and strip delivered in the fully-processed state*
- DIN EN10 107 : 2005 *Kornorientiertes Elektrotech und-band im Schlussge-lühten Zustand*