

Malzemelerin Manyetik Geçirgenlik Ölçümü

Dursun EKMEKÇİ^{1*}, Emrah KAPLAN²

¹ Makine Mühendisliği / Gümüşhane Üniversitesi, Türkiye

² Elektrik ve Elektronik Mühendisliği / Gümüşhane Üniversitesi, Türkiye

*(dursunmekci@gumushane.edu.tr)

Özet – Manyetik testler, malzemenin manyetik özelliklerini değerlendirmek ve aynı zamanda malzemenin dayanıklılık özelliklerini belirlemek amacıyla kullanılan önemli bir teknik araçtır. Bu testler arasında özellikle manyetik geçirgenlik ölçümü büyük bir rol oynar. Manyetik geçirgenlik ölçümü, bir malzemenin manyetik alan tarafından ne kadar kolay etkilendiğini belirlemek için kullanılır. Yani, bu test malzemenin manyetik alan içindeki tepkisini ölçerek, manyetik geçirgenlik özelliğini değerlendirir. Malzemelerin manyetik geçirgenlikleri farklı olabilir ve yüksek manyetik geçirgenliğe sahip malzemeler, manyetik alanı daha kolay iletebilir ve etkileyebilirler. Bu bilgi, malzemenin dayanıklılık özelliklerini değerlendirmek için önemli bir gösterge sunar. Manyetik testler, genellikle metal ürünlerin kalitesini kontrol etmek, yapısal kusurları tespit etmek ve malzemenin mukavemetini değerlendirmek amacıyla kullanılır. Bu nedenle, endüstriyel üretim, malzeme mühendisliği ve benzeri alanlarda yaygın bir şekilde uygulanan önemli bir araştırma ve kalite kontrol yöntemidir.

Anahtar Kelimeler – Manyetik Geçirgenlik, Manyetik Özellikler, Manyetik Test Yöntemleri, Malzeme Testi

I. GİRİŞ

Manyetik geçirgenlik ölçümü, malzemelerin manyetik özelliklerini belirlemek ve anlamak için kullanılan önemli bir fiziksel test yöntemidir. Manyetik geçirgenlik, bir malzemenin manyetik alan tarafından ne kadar kolay etkilendiğini ifade eden bir özelliktir. Bu ölçüm, malzemenin manyetik alanlara olan tepkisini ve manyetik davranışını inceleyerek, malzemenin kullanım alanlarını, kalitesini ve dayanıklılığını değerlendirmek için kritik bir yol sağlar [1]. Manyetik geçirgenlik ölçümü, metal, alaşım, demir dışı metaller, mıknatıslar ve daha birçok malzeme türünün manyetik özelliklerini değerlendirmek için kullanılır. Bu test, bir malzemenin içsel manyetik yapısını, manyetik alandaki etkileşimini ve manyetik alanın içine nüfuz etme yeteneğini inceleyerek malzemenin dayanıklılığına ve kullanım ömrüne dair önemli bilgiler sunar. Manyetik geçirgenlik ölçümü, endüstriyel uygulamalardan malzeme mühendisliğine kadar geniş bir yelpazede kullanılır. Örneğin, bu yöntem metal parçaların kalitesini kontrol etmek, çatlakları

veya korozyonu tespit etmek, manyetik malzemelerin performansını optimize etmek ve elektromanyetik cihazların tasarımını geliştirmek için kullanılır [2]. Manyetik geçirgenlik ölçümü, malzeme bilimine ve endüstriyel süreçlere önemli bir katkı sağlayan bir test yöntemidir.

II. MANYETİK GEÇİRGENLİK ÖLÇÜMÜ

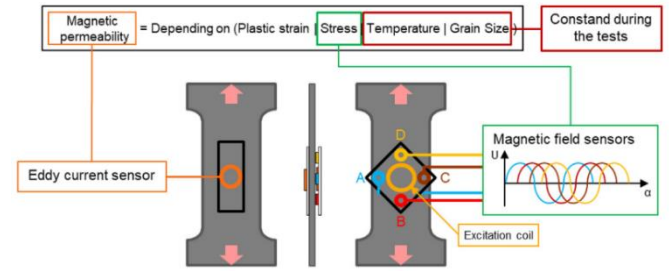
Manyetik geçirgenlik, bir malzemenin manyetik alanı ne kadar iyi geçirdiğini ifade eder ve elektromanyetik uygulamalarda kritik bir rol oynar. Malzemelerin manyetik geçirgenlik özellikleri, farklı faktörlere bağlı olarak değişebilir. Örneğin, 3Cr-1Mo-0.25 V çelik, çeşitli ısıtma işlem prosedürleri ve tane boyutu değişiklikleri ile incelenmiş ve manyetik geçirgenlik, mekanik özelliklerle ters orantılı olarak bulunmuştur. Ayrıca, elektriksel direnç ve ultrasonik hız gibi diğer özellikler de ısıtma işlem prosedürlerinin etkilerini yansıtmıştır [3]. Başka bir çalışmada, yüksek kaliteli ticari çeliklerin manyetik karakterizasyonu, kesik delme ve su jeti teknolojileri kullanılarak incelenmiştir. Bu çalışma, manyetik geçirgenlik, toplam enerji kayıpları, zorlayıcı alan ve kalan manyetik polarizasyon gibi

manyetik özellikleri analiz etmiş ve kesme teknolojisinin bu özellikler üzerindeki etkisini araştırmıştır [4]. Ayrıca, elektrikli sac çeliklerin manyetik özelliklerini iyileştirmek için dekarburizasyon tavlama ve soğuk haddeleme gibi işlemler kullanılmış ve manyetik geçirgenlik, optimize edilmiş tane boyutu ile ilişkilendirilmiştir. Soğuk haddeleme yüzdesi, farklı işlemlerle değerlendirilmiş ve manyetik özellikler üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir [5]. Son olarak, manyeto-mekanik karakterizasyon, malzemenin manyetik davranışını plastik deformasyon düzeyi ve uygulanan gerilme altında incelemiştir. Malzemenin manyetik davranışının, plastik şekil değiştirme altında bozulduğu gözlemlenmiştir ve bu davranışın iç gerilme ve dislokasyon yoğunluğu ile ilişkilendirildiği görülmüştür [6]. Bu çalışmalar, malzemelerin manyetik özelliklerinin anlaşılması ve optimize edilmesi için önemlidir ve farklı uygulama alanlarında kullanılacak önemli bilgiler sağlar.

A. Manyetik Akım Probu ile Manyetik Geçirgenlik Ölçümü

Lazer toz yatağı füzyonu (L-PBF) kullanılarak üretilen yumuşak manyetik malzemelerin gelişmeleri rapor edilmiştir. Örnek olarak, Fe-49Co-2V tozu gaz atomizasyonu ile üretilmiş ve L-PBF cihazında basılmıştır. İşlem sırasında optimize edilmiş parametreler kullanılarak çok düşük gözeneklilik elde edilmiştir [7]. Bu malzemelerin manyetik özellikleri, farklı frekansta ve manyetik akı yoğunluklarında yarı statik doğru akım ve alternatif akım ölçümleriyle incelenmiş, mekanik özellikler ise çekme testleri ile karakterize edilmiştir. Isıl işlem döngülerinin manyetik özellikler üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Ayrıca, ferromanyetik çekirdeklerin üretim sırasında kesme işlemi ile oluşan gerilme durumunun manyetik özelliklere etkisi incelenmiştir. Kesme işlemi sırasında çeliğin plastik deformasyonu, manyetik özelliklerde bozulmaya neden olmuş ve bu deformasyonun serbest bırakılması daha fazla bozulmaya yol açmıştır [8]. Başka bir çalışmada, Fe-3wt%Si alaşımının yüzey mikroyapısı yüzey mekanik aşındırma işlemi ile değiştirilmiş ve Si penetrasyonunun etkinliği artırılmıştır. Bu değişiklik, manyetik ve mekanik özellikleri etkilemiş, özellikle yüksek frekansta çekirdek kayıplarını azaltmış ve sünekliği artırmıştır. Ayrıca, manyetik alan yapısı ve manyetostriksiyon

ölçülmüştür [9]. Bu çalışmalar, manyetik malzemelerin üretimi ve karakterizasyonu ile ilgili önemli bilgiler sağlamaktadır ve bu bilgiler, enerji verimliliği gibi uygulamalarda kullanılabilir. Şekil 1'de gerilme durumu ve plastik şekil değişimi dikkate alınarak mekanik ve manyetik etkiler arasındaki ilişkinin analizi, aynı plastik şekil değişimde farklı gerilme durumları oluşturularak gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, bir tarafta manyetik geçirgenliğin, diğer tarafta manyetik anizotropinin ölçüldüğü bir levha numunesi üzerinde çekme testleri gerçekleştirilmiştir [10].



Şekil 1. Örnek sonuç grafiği

B. Manyetik Geçirgenlik Spektroskopisi:

Literatürde, Ni-Zn/Cu-Zn ferrit nanoparçacıkları tarafından yalıtılmış Fe tozundan oluşan yumuşak manyetik kompozitler, farklı reçine-ferrit oranları ve demir hacim içerikleri ile bor modifiye fenolik reçine ile bağlanmıştır [11]. Bu çalışmada, kompozitlerin manyetik, elektriksel ve mekanik özellikleri analiz edilmiş ve demir-reçine numuneleri ile karşılaştırılmıştır. Ferrit nanoparçacıklarının etkisiyle, manyetik akışın sürekliliğini koruyan ve manyetik özellikleri iyileştiren bir etkileşim gözlenmiştir. Manyetik özellikler arasında diferansiyel ve tersinmez geçirgenlik, zorlayıcılık, güç kayıpları ve yüksek DC öngerilim kararlılığı yer almaktadır. Ayrıca, yüksek elektrik özdirenci ve kompleks geçirgenlik spektrumları da dikkate değer özelliklerdir. Bu spektrumlar, yüksek frekansta kararlılık sağlamıştır. Sonuç olarak, bu çalışma, ferrit nanoparçacıkları ile modifiye edilmiş manyetik kompozitlerin çeşitli önemli özelliklere sahip olduğunu göstermektedir.

III. SONUÇLAR

Manyetik geçirgenlik çalışmalarının ana sonuçları, test edilen malzemenin manyetik özellikleri ve davranışı hakkında önemli bilgiler içerebilir. Bu sonuçlar, malzemenin dayanıklılığı, kullanım alanları, kalitesi ve potansiyel uygulamaları hakkında bilgi sağlar. Çalışma,

malzemenin manyetik geçirgenlik değerini belirler. Bu değer, malzemenin manyetik alan tarafından ne kadar kolay etkilendiğini ifade eder. Yüksek manyetik geçirgenlik değeri, malzemenin manyetik alanı daha iyi iletildiğini gösterir. Sonuçlar, malzemenin bir dış manyetik alanla nasıl etkileşimde bulunduğunu gösterir. Malzemenin manyetik alan içine ne kadar nşfuz ettiği ve manyetik alanın içinde nasıl dağıldığı incelenir. Malzemenin manyetik bir alana maruz kaldığında gşsterdiği tepkiler belirtilir. Bu tepkiler, malzemenin manyetik alanlara olan duyarlılığını ve dayanıklılığını gşsterir. Çalışma, malzemenin manyetik yapısını karakterize eder. Malzeme içindeki manyetik bşlgelerin dağılımı ve organizasyonu hakkında bilgi sunar. Manyetik geçirgenlik çalışmaları, malzemenin içindeki kusurları, çatlakları veya yapısal hasarları tespit etmek için kullanılabilir. Bu, malzemenin gşvenilirliği ve dayanıklılığı açısından önemlidir. Manyetik geçirgenlik sonuçları, üretim sşrelerinde kalite kontrol amacıyla kullanılabilir. Malzemelerin istenilen manyetik özelliklere sahip olup olmadığını belirlemek için kullanılırlar. Manyetik geçirgenlik sonuçları, manyetik malzemelerin tasarımı ve mşhendislik uygulamaları için kullanılabilir. Manyetik özelliklerin optimize edilmesi veya özel uygulamalara uygun malzeme seçimi açısından kılavuzluk edebilir. Bu sonuçlar, manyetik geçirgenlik çalışmalarının malzemelerin manyetik özelliklerini değerlendirmek, incelemek ve optimize etmek için ne kadar önemli bir araç olduğunu gşsterir. Bu bilgiler, birçok endşstri ve uygulama alanında kullanılır ve malzemelerin kalitesini artırmak, gşvenilirliğini sağlamak ve özel gereksinimlere uygun hale getirmek için önemli bir rol oynar.

KAYNAKLAR

- [1] F. Denk and T. Hofbauer, "Determination of the magnetic intermediate permeability of special materials based on FEM-simulation and hall-sensor measurement," *Magnetism*, vol. 3, pp.169-179, 2023.
- [2] Z. Li, Y. Ma, A. Hu, L. Zeng, S. Xu, and R. Pei, "Investigation and application of magnetic properties of ultra-thin grain-oriented silicon steel sheets under multi-physical field coupling," *Materials*, vol. 15, p. 8522, 2022.
- [3] Y. H. Nam and S. H. Nahm, "Evaluation of material properties of 3Cr-1Mo-0.25V steel by magnetic, electrical and elastic properties," *Met. Mater. Int.*, vol. 19, pp. 1215-1220, 2013.
- [4] G. Paltanea, V. M. Paltanea, H. Gavrilă, A. Nicolaide and B. Dumitrescu, "Comparison between magnetic

- industrial frequency properties of non-oriented FeSi alloys, cut by mechanical and water jet technologies," *Revue Roumaine des Sciences Techniques*, vol. 61, pp. 26–31, 2016.
- [5] R. Ramadan, S. A. Ibrahim, M. Farag, A. A. Elzatahry, and M. H. Es-Saheb, "Processing optimization and characterization of magnetic non-oriented electrical silicon steel," *Int. J. Electrochem. Sci.*, vol. 7, pp. 3242–3251, 2012.
- [6] M. Domenjoud and L. Daniel, "Effects of plastic strain and reloading stress on the magneto-mechanical behavior of electrical steels: Experiments and modeling," *Mech. Mater.*, vol. 176, p. 104510, 2023.
- [7] T. Riipinen, S. Metsä-Kortelainen, T. Lindroos, J. S. Keränen, A. Manninen, and J. Pippuri-Mäkeläinen, "Properties of soft magnetic Fe-Co-V alloy produced by laser powder bed fusion," *Rapid Prototyp. J.*, vol. 25, pp. 699–707, 2019.
- [8] A. Daem, P. Sergeant, L. Dupré, S. Chaudhuri, V. Bliznuk, and L. Kestens, "Magnetic properties of silicon steel after plastic deformation," *Materials*, vol. 13, p. 4361, 2020.
- [9] H. Yu and X. Bi, "Surface modification and its role in the preparation of FeSi gradient alloys with good magnetic property and ductility," *J. Magn. Magn. Mater.*, vol. 451, pp. 373–378, 2018.
- [10] R. Laue, F. Wendler, S. Hcartel, O. Kanoun, and B. Awiszus, "Analysis of stress influence and plastic strain on magnetic properties during the forming process," *Adv. Ind. Manuf. Eng.*, vol. 3, p. 100053, 2021.
- [11] Z. Bircakova, J. Fşzer, P. Kollar, J. Szabo, M. Jakubcin, M. Streckova, R. Bures, and M. Faberova, "Preparation and characterization of iron-based soft magnetic composites with resin bonded nano-ferrite insulation," *J. Alloys Compd.*, vol. 828, p. 154416, 2020.