

تأثير المعاملة الحرارية على الخواص المغناطيسية لسلسلة سبائك (Fe-Mn) المحضرة بطريقة تكنولوجيا المساحيق

إسماعيل خليل جاسم الدهمشي ، عامر شاكر محمود مهدي ، عقيل صداع مضعن خلف

قسم الفيزياء ، كلية التربية للعلوم الصرفة ، جامعة تكريت ، تكريت ، العراق

الملخص

تمت دراسة النظام الثنائي لسلسلة سبائك $(Fe_{1-x}Mn_x)$ المغناطيسية والتي شملت تحضير سبائك ذات نسب وزنية مئوية ($X=25,50,70,80$) باستخدام طريقة تكنولوجيا المساحيق . تهدف الدراسة تحديد الخواص المغناطيسية من خلال حلقة الهستير المغناطيسية وبيان تأثير المعاملة الحرارية . حيث تم إيجاد عدد من الخواص المغناطيسية المتمثلة بقيم المغناطيسية المتبقية (B_r) (Remained Force) ، القوة القهرية (H_c) (Coercive Force) ، النفاذية المغناطيسية النسبية (μ_r) (Magnetic Relative Permeability) والتأثير المغناطيسية (χ_m) (Magnetic Susceptibility) للنماذج المدروسة . وجد أن النتائج التجريبية صفات فيرومغناطيسية حساسة بتغير درجة المعاملة الحرارية ، سرعان ما تحول إلى صفات بارامغناطيسية عند ارتفاع درجات الحرارة . كما تم تحديد درجة المعاملة الحرارية المناسبة للحصول على الخواص المغناطيسية خلال عمليات تصنيع المغناط . فسرت النتائج المستحصلة بدلالة علاقة حركة العزوم المغناطيسية مع درجات حرارة المعاملات الحرارية.

الكلمات الدالة: الخواص المغناطيسية ، تكنولوجيا المساحيق ، المعاملات الحرارية ، المواد الهندسية .

المقدمة

الجانب العملي

تعتمد الخواص المغناطيسية للنماذج المحضرة بطريقة تكنولوجيا المساحيق على نقاوة المواد الاولية للمساحيق وذلك لان وجود أية شوائب حتى ولو كانت بنسب صغيرة تسبب نشوء أطوار غريبة تضعف الخواص المغناطيسية والفيزيائية ، لذلك تم استخدام مساحيق معدنية عالية النقاوة محضرة بطريقة التحليل الكهربائي من الحديد و المغنيز حيث تبلغ نقاوتها أكثر من (99.95 %) . تم تصميم عدة قوالب من الفولاذ بأبعاد هندسية تلائم النماذج المحضرة للفحوصات المغناطيسية . أما الفحوصات المغناطيسية قبل وبعد إجراء المعاملة الحرارية ، فقد تم إجراءها في منظومة صممت هي أيضاً بدائرة كهربائية مغناطيسية موضحة في الشكل (1) . تم تشكيل العينات بعد إجراء عمليات الخلط للمساحيق باستخدام مكبس هيدروليكي تحت ضغط (4) طن ولمدة 5min لنماذج اسطوانية بأبعاد ($r=0.5cm$ ، $L=1.6cm$) ثلاثم فحص الخواص المغناطيسية . يمثل الشكل (2) المسلك التكنولوجي لمراحل تحضير السبائك المغناطيسية (Fe-Mn) بطريقة تكنولوجيا المساحيق . من خلال حلقات الهستير المغناطيسية الناتجة تم تحديد قيم الخواص المغناطيسية مثل القوة القهرية (H_c) (Corecive Force) والمغناطيسية المتبقية (B_r) (Remained Force) (Magnetization) والانفاذية المغناطيسية النسبية (μ_r) (Magnetic Relative Permeability) والتأثير المغناطيسية (χ_m) (Magnetic Susceptibility) . أما المعاملة الحرارية فقد تم إجرائها خلال استخدام فرن ألماني (Rntert) نوع (Magma2300) (0000) وعند درجات $^{\circ}C$ (750,850,950,1050) وبمعدل تسخين $(5^{\circ}C/min)$ مع تثبيت النماذج عند الدرجات الحرارية المذكورة لمدة (1/2 hr) ومن ثم التبريد البطيء (Slow Cooling) . تم قياس

تعتبر دراسة المواد المغناطيسية من المواضيع المتقدمة التي تتعلق بكثير من التطبيقات الكهربائية التي تدخل في الصناعات الحديثة ، كالمولدات الكهربائية والمحولات الكهربائية وأجهزة حفظ الذاكرة وكمواد ماصة للموجات الكهرومغناطيسية^[2,1] . فقد نالت المواد المغناطيسية مكانة مرموقة بين المواد الهندسية المختلفة نظراً لما تمتلكه من خواص فيزيائية محدودة تتناسب مع العديد من التطبيقات التكنولوجية المختلفة . تم اختيار سلسلة النظام الثنائي (Binary System) من سلسلة (Fe-Mn) لهذا البحث لأهميتها كسبيكة مغناطيسية تحمل صفات مغناطيسية يعود سببها الى وجود عناصر انتقالية من المغنيز والحديد يمتلك كل منهما حزمة من نوع (3d) الغير ممتلئة بالالكترونات تماماً^[3] . تمتاز هذه السلسلة بخواصها الفيزيائية الشاذة (Anomalies) التي ما زالت لحد الان تتابع بحوث عملية ونظرية لتفسير هذا الشذوذ . ان هذا الشذوذ سببه تفاعل الاهتزازات للفونونات (Phonons) مع الاهتزازات للعزوم المغناطيسية المسماة المكونونات (Magnons) . ان هذا التفاعل بين (Interacton Phonons-Magnons) سوف يعيق اهتزازات الذرات مسبباً ظهور خواص فيزيائية شاذة (Anomalies) مثل التمدد الحراري ، البناء البلوري ، التوصيلية الكهربائية والحرارية^[5,4] . تعزى طبيعة المغناطيسية لسبيكة (Fe-Mn) عن وجود عدد من العزوم المغناطيسية (Magnetic Moment) خلال الشبكة البلورية لعناصر الحديد والمغنيز والتي تكون موازية لبعضها البعض عند مغنتها مما تؤدي في النهاية الى تكوين سبائك فيرومغناطيسية (Ferromagnetic) يمكن ان يستفاد منها في صناعة المغناط المؤقتة^[6] . تم دراسة هذه السلسلة (Fe-Mn) لخواصها المغناطيسية باستخدام طريقة جديدة للتحضير هي تكنولوجيا ميتالورجيا المساحيق (Powder Metallurgy) .

(B_r) Remnant Magnetization) , الانفاذية المغناطيسية النسبية (Magnetic Relative permeability) (μ_r) , والتأثيرية المغناطيسية (Magnetic Susceptibility) (χ_m) . الأشكال (3) و (4) و (5) و (6) تمثل نتائج حلقة الهسترة لنموذج ($Fe_{20}Mn_{80}$) و النموذج ($Fe_{30}Mn_{70}$) و النموذج ($Fe_{50}Mn_{50}$) و النموذج ($Fe_{75}Mn_{25}$) قبل وبعد المعاملة الحرارية عند ($950^\circ C$) للنماذج أعلاه . إذ يلاحظ من الأشكال أن الخواص المغناطيسية ضعيفة جداً لذلك تظهر خلالها حلقة الهسترة بين ($H-B$) ضعيفة تماماً، قبل إجراء المعاملة الحرارية للنماذج . إن السبب في ذلك يعزى إلى عدم إستقرارية الأطوار وبالتالي فإن العزوم المغناطيسية تكون حركتها عشوائية بالاتجاهات المختلفة (بكل الاتجاهات) وهذا دليل على وجود السلوك البارامغناطيسي . أما عند إجراء المعاملة الحرارية عند ($950^\circ C$) يلاحظ من الأشكال أن مساحة حلقة الهسترة أخذت بالتوسع نتيجة لاتجاه العزوم المغناطيسية بصورة متوازنة نحو المجال المغناطيسي بعد أن كانت بحالة غير منتظمة . وقيم الخواص المغناطيسية المستحصلة للنماذج هي بالجدول (1) حسب نسبة الخلط . نلاحظ من النتائج عند إجراء المعاملة الحرارية ($950^\circ C$) بأن هناك زيادة في الخواص المغناطيسية بصورة ملحوظة نتيجة التحسن الواضح في قيم الخواص المغناطيسية المستحصلة للنماذج دلالة على أن إتجاه العزوم المغناطيسية (Orientation) بصورة كاملة قد أصبح موازياً لإتجاه المجال المغناطيسي المسلط ليعطي خواص فيرومغناطيسية كاملة للمغانط المحضرة [1] . أما عند إرتفاع درجة المعاملة الحرارية عند ($1050^\circ C$) فقد لوحظ نتائج غير متوقعة لقيم الخواص المغناطيسية . حيث لوحظ إنخفاض في الخواص المغناطيسية وكما يلاحظ في الأشكال (7) و (8) و (9) و (10) . إن سبب هذا الانخفاض يعزى إلى تغيير البناء التركيبي بإرتفاع درجة حرارة المعاملة الحرارية (التلدين) ، والذي يؤدي بدوره إلى تغيير الخواص المغناطيسية حيث تتجه العزوم المغناطيسية إلى حالات حركة بصورة غير منتظمة للتحوّل من صيغة البناء الفيرومغناطيسي إلى صيغة البناء البارامغناطيسي [8] ، والذي تكون خصائصه المغناطيسية ضعيفة . الجدول (1) يوضح نتائج الفحوصات المغناطيسية عند درجات المعاملة الحرارية المختلفة حيث يلاحظ التغير الواضح في قيم الخواص المغناطيسية لتصل إلى قيمها العظمى عند ($950^\circ C$) لتتخف هذه القيم مع إرتفاع درجات حرارة المعاملة الحرارية . كما يلاحظ من الجدول (1) بأن سبب الانخفاض في قيم (B_r) و (H_c) بعد المعاملة الحرارية عند ($1050^\circ C$) يعزى أيضاً إلى تغيير البناء التركيبي بإرتفاع درجة الحرارة حيث تتغير الخواص المغناطيسية نتيجة حركة العزوم المغناطيسية إلى حالات حركة بصورة غير منتظمة لتتحوّل من صيغة البناء الفيرومغناطيسي إلى صيغة البناء البارامغناطيسي والتي تكون ذات خصائص مغناطيسية ضعيفة [10,9] . من خلال النتائج المستحصلة للفحوصات المغناطيسية فإن أفضل معاملة حرارية مناسبة لغرض الحصول على خواص

ورسم حلقات الهسترة بين المجال المغناطيسي (H (A/m) مع قيم الفيض المغناطيسي (B (T) . إذ يستطيع جهاز حلقة الهسترة قياس النفوذية المغناطيسية (μ_r) والقوة القاهرة (H_c) والمغناطيسية المتبقية (B_r) ، وذلك من خلال حلقات الهسترة المغناطيسية التي يرسمها الاوسيلوسكوب. الشكل الحقيقي لجهاز حلقة الهسترة موضح في الشكل (1) .

إن أهم المعادلات التي تم استخدامها في القياسات التجريبية خلال حلقات الهسترة هي :

Magnetic field strength

$$H_c = \frac{I \cdot N_p}{L} = \frac{\text{ampere} \cdot \text{turns}}{\text{Length in m}} \left[\frac{A}{m} \right] \quad \text{----- (1)}$$

حيث حسب قانون أوم

$$I = \frac{V}{R_1} \quad \text{----- (2)}$$

حيث V فولتية قناة 1 (CH_1) راسم الذبذبات.

N_p عدد لفات الابتدائي للمحولة وتساوي (22)

R_1 تساوي (20Ω) أوم

Magnetic flux density

$$B_r = \frac{\Phi}{A} = \frac{\text{magnetic flux}}{\text{ares}} \frac{Vs}{m^2} \quad \text{Tesla} \quad \text{-- (3)}$$

حيث الفيض المغناطيسي Φ تساوي.

$$\Phi = \pm V_o (C_1 R_6) / N_s \quad \text{----- (4)}$$

حيث V_o : فولتية قناة 2 (CH_2) راسم الذبذبات.

C_1 متسعة ($1\mu F$) مايكرو فاراد

R_6 مقاومة حرارية ($1 k\Omega$) كيلو اوم

N_s عدد لفات الثانوية للمحولة وتساوي (25)

$$\mu = \mu_o \mu_r = \frac{B_r}{H_c} \quad \text{Hm}^{-1} \quad \text{----- (5)}$$

حيث (μ_r) التأثيرية المغناطيسية و (μ_o) التأثيرية في الفراغ وتساوي ($2\pi * 10^{-7}$) و (μ) التأثيرية المغناطيسية إلى النموذج المراد دراسته [7] .

إن هذه المعادلات المذكورة أعلاه تم تطبيقها عملياً على قيم القراءات المستحصلة من المنظومة المغناطيسية لحلقة الهسترة .

النتائج والمناقشة

إن حلقات الهسترة هي من أهم الخصائص للمواد المغناطيسية حيث إن لكل مادة مغناطيسية لها حلقة خاصة بها يتم من خلالها دراسة الخصائص المغناطيسية للمادة المغناطيسية والتي تمثل بالعلاقة بين كثافة الفيض المغناطيسي (B) وشدة المجال المغناطيسي المسلط (H) ، المتمثلة بحلقة الهسترة ($H-B$ Loop) وفي بعض الكتب يطلق عليها بمنحني التخلف المغناطيسي . إن حلقة الهسترة هي مقياس للطاقة المفقودة لوحدة الحجم داخل المادة خلال دورة تمغنط واحدة. وبالنسبة لدراسة الخواص المغناطيسية للمواد فإن شكل حلقة الهسترة المغناطيسية أمر ضروري لتحديد نوعية المغانط المصنعة سواء كانت صلدة ($Hard$) أم لينة ($Soft$) .

إن من أهم القيم التي يمكن إيجادها من خلال حلقة الهسترة هي القوة القهرية ($Coercive Force$) (H_c) ، المغناطيسية المتبقية

ب- تحديد درجة حرارة المعاملة الحرارية المثالية لإعطاء أفضل خواص مغناطيسية للسبائك المحضرة وهي (950 °C) مع انخفاض واضح في قيم الخواص المغناطيسية فوق درجة المعاملة الحرارية (950 °C) .

ج- فسرت النتائج المستحصلة بدلالة علاقة حركة العزوم المغناطيسية مع درجات الحرارة الى المعاملات الحرارية والتي يمكن الاستنتاج خلالها بأن حركة العزوم المغناطيسية عند (950 °C) قد أصبحت مصطفة بصورة متوازنة مما أكسبها خواص مغناطيسية جيدة مقارنة بالموصفات القياسية . أما فوق هذه الدرجة الحرارية فحدث تحول العزوم المتوازنة الى اتجاهات عشوائية مختلفة .

د- لوحظ أفضل نموذج للنظام الثنائي من حيث النتائج التجريبية لأفضل الخواص المغناطيسية هو (Fe₂₀Mn₈₀) .

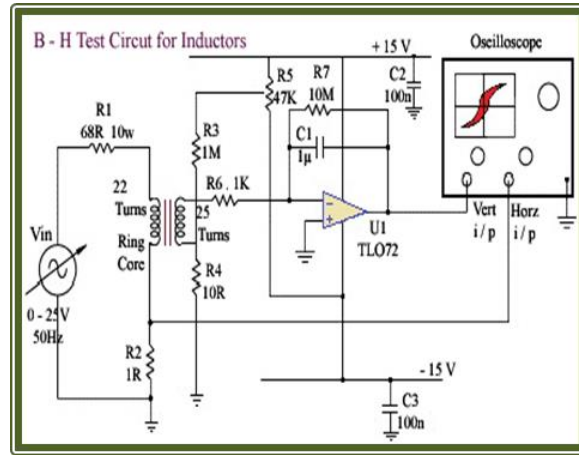
مغناطيسية جيدة هي عند (950 °C) , أما بالنسبة للنماذج فإن النموذج (Fe₂₀Mn₈₀) فقد حصل على أفضل الخواص المغناطيسية على بقية النماذج الثنائية .

الاستنتاجات

تعتبر عملية تصنيع المغناط الدائمة والمؤقتة ودراسة خواصها المغناطيسية من المواضيع المهمة في فيزياء المواد والتي تدخل في كثير من التطبيقات التكنولوجية والتي لم يتطرق لها الباحثون كثيراً داخل القطر , لذلك يعتبر هذا البحث من الدراسات الاولية لتصنيع مغناط ذات صفات مغناطيسية معينة .

يمكن استنتاج من تحضير سلسلة سبائك (Fe-Mn) ودراسة خواصها المغناطيسية بالنقاط الاتية :

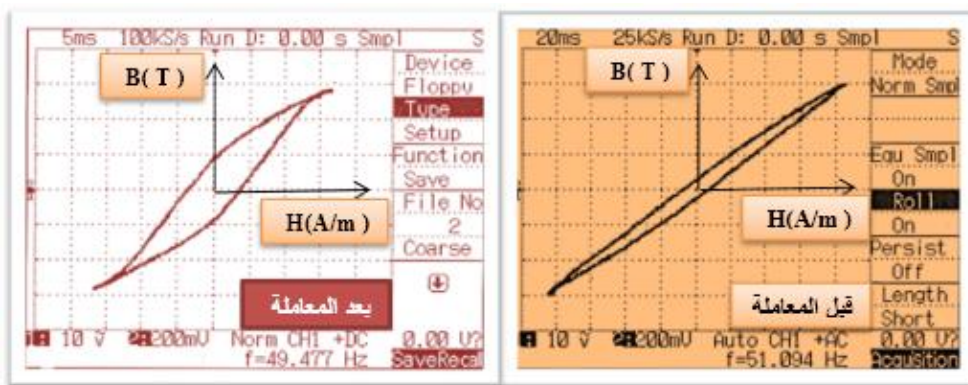
أ- لوحظ تأثير واضح للمعاملة الحرارية المتبعة والفترة الزمنية المختارة على الخواص المغناطيسية .



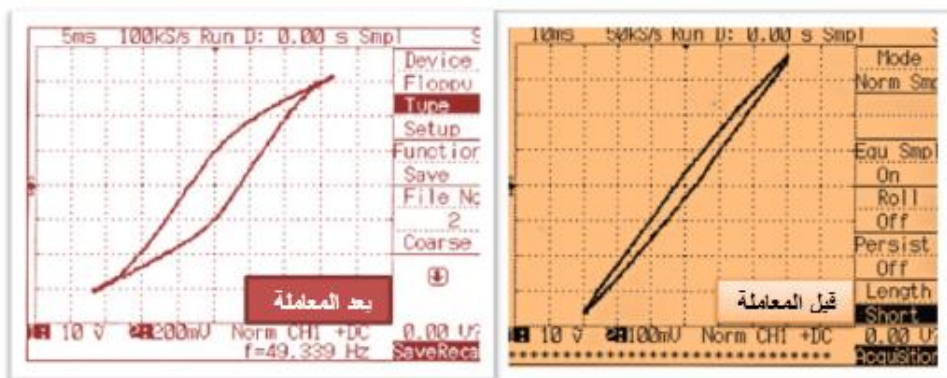
الشكل (1) : المخطط التفصيلي للمنضومة المصنعة لاختبار الخواص المغناطيسية



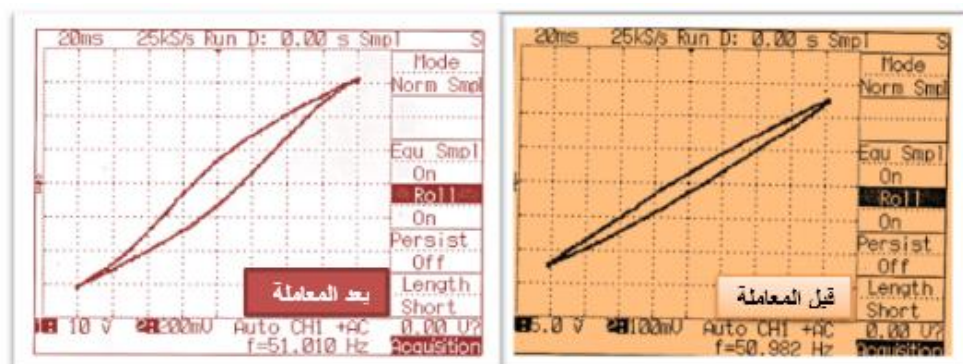
الشكل (2) : المسلك التكنولوجي التوضيحي لمرحلة تحضير النماذج المدروسة بطريقة ميتالورجيا المساحيق



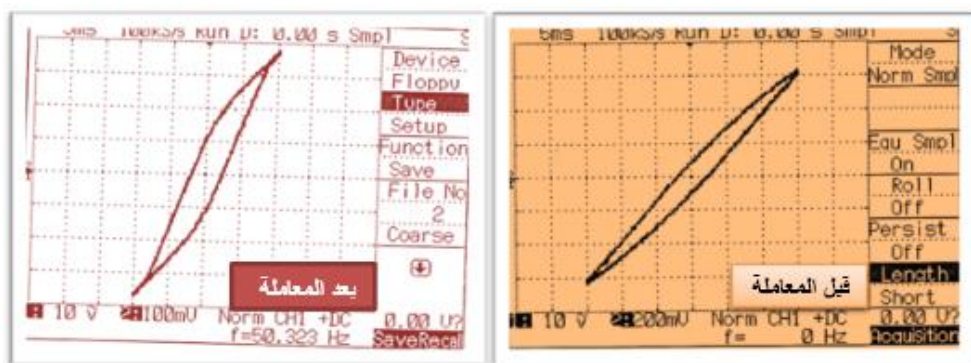
الشكل (3) : حلقة الهستيرة للنموذج (Fe₂₀Mn₈₀)



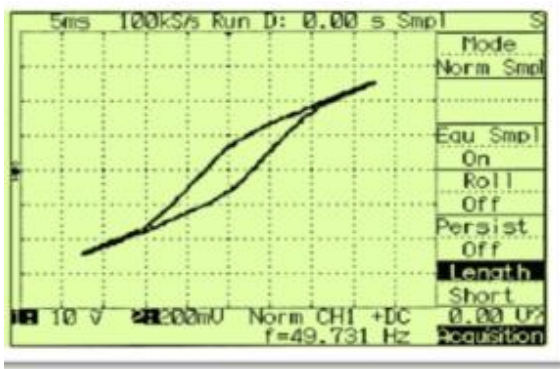
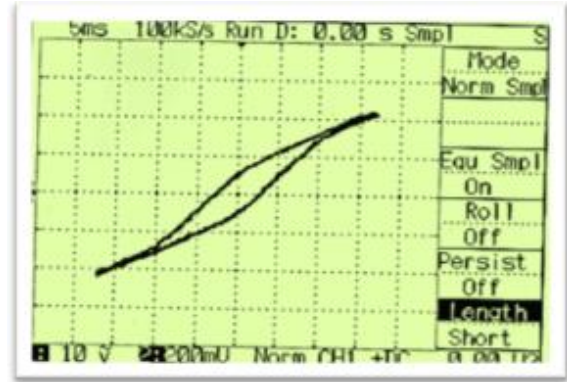
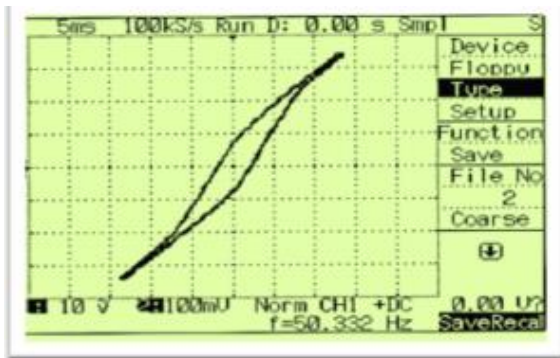
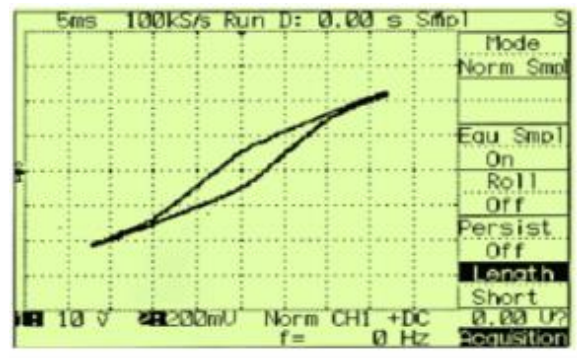
الشكل (4) : حلقة الهستيرة للنموذج (Fe₃₀Mn₇₀)



الشكل (5) : حلقة الهستيرة للنموذج (Fe₅₀Mn₅₀)



الشكل (6) : حلقة الهستيرة للنموذج (Fe₂₅Mn₇₅)

الشكل (9) : حلقة الهستيرة عند (1050 C) للنموذج (Fe₅₀Mn₅₀)الشكل (7) : حلقة الهستيرة عند (1050 C) للنموذج (Fe₂₀Mn₈₀)الشكل (10) : حلقة الهستيرة عند (1050 C) للنموذج (Fe₇₅Mn₂₅)الشكل (8) : حلقة الهستيرة عند (1050 C) للنموذج (Fe₃₀Mn₇₀)

الجدول (1) : نتائج الفحوصات المغناطيسية للنظام الثنائي

Temp Anneal (C°)	Sample	H _c (KA/m)	B _r (Tesla)	μ _r	χ _m
RT	Fe ₂₀ Mn ₈₀	0.318	0.088	0.276	0.724
	Fe ₃₀ Mn ₇₀	0.315	0.085	0.269	0.731
	Fe ₅₀ Mn ₅₀	0.313	0.083	0.265	0.735
	Fe ₇₅ Mn ₂₅	0.311	0.081	0.273	0.74
750	Fe ₂₀ Mn ₈₀	0.323	0.084	0.255	0.727
	Fe ₃₀ Mn ₇₀	0.319	0.084	0.263	0.745
	Fe ₅₀ Mn ₅₀	0.317	0.081	0.263	0.737
	Fe ₇₅ Mn ₂₅	0.314	0.086	0.263	0.737
850	Fe ₂₀ Mn ₈₀	0.411	0.085	0.206	0.794
	Fe ₃₀ Mn ₇₀	0.363	0.086	0.236	0.764
	Fe ₅₀ Mn ₅₀	0.352	0.087	0.247	0.753
	Fe ₇₅ Mn ₂₅	0.332	0.091	0.274	0.726
950	Fe ₂₀ Mn ₈₀	0.550	0.054	0.098	0.902
	Fe ₃₀ Mn ₇₀	0.412	0.062	0.150	0.850
	Fe ₅₀ Mn ₅₀	0.387	0.075	0.193	0.807
	Fe ₇₅ Mn ₂₅	0.343	0.086	0.236	0.764
1050	Fe ₂₀ Mn ₈₀	0.171	0.059	0.345	-0.655
	Fe ₃₀ Mn ₇₀	0.193	0.063	0.326	-0.674
	Fe ₅₀ Mn ₅₀	0.203	0.066	0.325	-0.675
	Fe ₇₅ Mn ₂₅	0.267	0.078	0.292	-0.708

المصادر

- 1- J. Crangle, Magnetic Properties of Solid, Willmer Brothers Limited, London (2009) .
- 2- P.J. Brown and I.K. Jassim, J. Physique, C8, P307, (1988) .
- 3- F.James, Introduction to Material Science for Engineering 5nd edition , p.570 , (2008) .
- 4- D. Hadfield , Permanent Magnet and Magnetism , 1st edition , London (2005) .
- 5- M. Kadziolka , W. Zarek and E. Popiel , Journal of Physics, Conference Series , 217 (2010) .
- 6- S. Rengara and S. Hee , Finland . J. Nanoscience , Voll 1 , P561 (2011) .
- 7- E-mail : R.Clarke@surrey.ac.uk Lsat modified : 2008 May 10th .
- 8- M.V. Schifagarde, I.A. Abrikosov and B. Johansson, Origin of the Invar Effect in Fe-Ni Alloys Nature, Vol.400, P.46, (1999) .
- 9- E. Xiang, Y. O. Shah and Z. Zhou, Electron, Mater, Lett, Vol.2, V Substituted Co-Ni-Fe, Structural , Morphological and Electrical Properties, (2015) .
- 10- B.D. Cullity, "Introduction to Magnetic Materials", Addison – Wesley, London, (1972) .

The Effect of Heat Treatment on The Magnetic Properties of The (Fe-Mn) Alloys Prepared by Powder Metallurgy Method

I.K. Jassim , A.S. Msghen , A.S. Mahmood

Physics Department , College of Education and Pure Sciences , Tikrit University , Tikrit , Iraq

Abstract

This research studied the magnetic series of $(Fe_{1-x}Mn_x)$ which included the preparation alloys with weight ratios ($X=25,50,70,80$) by using Powder technology method . This study aimed to determine the Magnetic properties through the magnetic hysteresis loop . Number of magnetic properties have been found such as Remained force (B_r), Coercive force (H_c), Magnetic Relative permeability (μ_r) , and Magnetic Susceptibility (χ_m) for all study Samples . This experimental results were found a ferromagnetic behavior and sensitive to the heat treatment , which shows rapidity changeable to the paramagnetic behavior with the increasing the temperature degrees . The suitable heat treatment degree determined to get magnetic properties through the magnetic manufacturing operations . The results were explained due to the motion relation of magnetic spins with temperature degrees of heat treatment.

Key words: Magnetic properties , Powder metallurgy , Heat treatment , Material engineering .