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

اسماعيل خليل جاسم الدهمشي ، رافع عبدالكريم محمد ، هيوا محمد كريم فرج

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

(تاريخ الاستلام: 2013/5/20 ---- تاريخ القبول: 2013/7/30)

الملخص

تمت دراسة النظام الثنائي لسلسلة سبائك (Fe1-xNix) المغناطيسية والتي شملت تحضير سبائك ذات نسب وزنية مئوية (X=35,80) باستخدام طريقة تكنولوجيا المساحيق . شملت الدراسة تحديد الخواص المغناطيسية من خلال حلقة الهسترة المغناطيسية وبيان تأثير المعاملة الحرارية عليها . تم إيجاد قيم القوة القاهرة (Hc) (Coercive Force) والمغناطيسية المتبقية (Br)(Remained Force) والنفوذية المغناطيسية النسبية(μr) (Magnetic Relative permeability) والتأثرية المغناطيسية (χm) (Magnetic Susceptibility) للنماذج المحضرة . اظهرت النتائج التجريبية وجود صفات فيرومغناطيسية حساسة بتغير درجة المعاملة الحرارية ، سرعان ما تتحول الى صفات فيرومغناطيسية ضعيفة عند ارتفاع درجات الحرارة . كما تم تحديد درجة المعاملة الحرارية المناسبة للحصول على الخواص المغناطيسية خلال عمليات تصنيع المغانط . فسرت النتائج المستحصلة بدلالة علاقة حركة العزوم المغناطيسية مع درجات حرارة المعاملات الحرارية .

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

المقدمة

تعتبر دراسة المواد المغناطيسية من المواضيع المتقدمة التي تتعلق بكثير من التطبيقات الكهربائية التي تدخل في الصناعات الحديثة ، كالمولدات الكهربائية (Electric Generators) والمحولات الكهربائية (Transformers) والجايرسكوب و أجهزة حفظ الذاكرة وكمواد ماصة للموجات الكهرومغناطيسية [2,1] . لقد نالت المواد المغناطيسية مكانة مرموقة بين المواد الهندسية المختلفة نظرا لما تمتلكه من خواص فيزيائية محدودة تتناسب مع العديد من التطبيقات التكنولوجية المختلفة . تم اختيار سلسلة النظام الثنائي (Binary System) من سلسلة (Fe-Ni) لهذا البحث لأهميتها كسبيكة مغناطيسية تحمل صفات مغناطيسية يعود سببها الى وجود عنصرين انتقاليين من النيكل والحديد يمتلك كل منهما حزمة من نوع (3d) الغير ممتلئة بالالكترونات تماما [3]. تمتاز هذه السلسلة بخواصها الفيزيائية الشاذة (Anomalies) التي ما زالت لحد ألان تتابع بحوث عملية ونظرية لتفسير هذا الشذوذ . إن أهم الخصائص الشاذة لهذا النظام الثنائي (Fe-Ni) خاصة سبيكة (Fe_{65}-Ni_{35}) هو انخفاض قيم معامل تمددها الحراري (Thermal Expansion) يستمر الى درجة حرارة كوري Tc (Curie Temperature) لذلك تسمى هذه السبائك التي تتصف بهذه الظاهرة الفيزيائية بسبائك الأنفار (Invar Alloys) [4،3] .لقد تم تسمية هذه الظاهرة بالانفار بسبب الخواص الفيزيائية الشاذة التي تمتلكها بعض السبائك المعدنية وغير المعدنية . ان هذا الشذوذ سببه تفاعل الاهتزازات للفونونات (Phonons) مع الاهتزازات للعزوم المغناطيسية المسماة المكنونات (Magnons) . ان هذا التفاعل بين (Phonons-Magnons Interacton) سوف يعيق اهتزازات الذرات مسبباً ظهور خواص فيزيائية شاذة (Anomalies) مثل التمدد الحراري ، البناء البلوري ، التوصيلية الكهربائية والحرارية [6,5] . يستفاد من ظاهرة الانخفاض في معامل التمدد الحراري في كثير من التطبيقات التكنولوجية التي تتطلب استقرارية في الابعاد (dimensional Stability) [7] .

تعزي طبيعة المغناطيسية لسبيكة (Fe-Ni) عن وجود عدد من العزوم المغناطيسية (Magnetic Moment) خلال الشبيكة البلورية لعناصر الحديد و النيكل والتي تكون موازية لبعضها البعض عند مغنطتها مما تؤدي في النهاية الى تكوين سبائك فيرومغناطيسية (Ferromagnetic) يمكن ان يستفاد منها في صناعة المغانط المؤقتة [8] . لقد وضعت عدة آراء وتفسيرات لظاهرة الأنفار نظريا فمنها من يعتقد بان لها علاقة بنظرية الحزمة المغناطيسية (Band Magnetism) التي تفترض إن ظاهرة المغناطيسية ناتجة من حركة الإلكترونات (Itinerant) يصاحبها عزم مغناطيسي (Magnetic Moment) خاص بها ، إلا إن هذه الحركة تتباطأ وتصبح محددة مسببة الشذوذ في الخواص الفيزيائية لسبائك الأنفار [10,9] . أما الرأي الأخر فيتجه إلى تحليل هذا الشذوذ هو بسبب كون العزوم المغناطيسية ثابتة (Localized) عند مناطق التحويل ألطوري وهذه العزوم لا تعتمد على تغيرات درجات الحرارة (Temp. Independent) [11] . تم دراسة هذه السلسلة (Fe-Ni) لخواصها المغناطيسية باستخدام طريقة جديدة للتحضير هي تكنولوجيا ميتالوريجيا المساحيق (Powder Metallurgy) .

الجانب العملي

تعتمد الخواص المغناطيسية للنماذج المحضرة بطريقة تكنولوجيا المساحيق على نقاوة المواد الأولية 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 النيكل و الحديد حيث تبلغ نقاوتها أكثر من (99.96 %) . تم تصميم

عدة قوالب من الفولاذ بأبعاد هندسية تلائم النماذج المحضرة للفحوصات المغناطيسية . اما الفحوصات المغناطيسية قبل و بعد أجراء المعاملة الحرارية ، فقد تم اجراءها في منظومة صممت هي أيضا بدائرة كهربائية مغناطيسية موضحة في شكل (1) : تم تشكيل العينات بعد أجراء عمليات الخلط للمساحيق باستخدام مكبس هيدروليكي تحت ضغط (8) طن لنماذج اسطوانية بأبعاد (r = 0.5cm , L=1.6cm) تلاءم فحص الخواص المغناطيسية . يمثل الشكل (2) المسلك التكنولوجي لمراحل تحضير السبائك المغناطيسية (Fe-Ni) بطريقة تكنولوجيا المساحيق . من خلال حلقات الهسترة المغناطيسية الناتجة تم تحديد قيم الخواص المغناطيسية مثل القوة القاهرة (H_c) (Coercive Force) والمغناطيسية المتبقية (B_r) (Remained Magnetization) والنفوذية المغناطيسية النسبية (μ_r) (Magnetic Relative permeability) والتأثرية المغناطيسية (χ_m)(Magnetic Susceptibility) . تم اجراء معايرة النماذج قياسية من الحديد (Fe) قبل أجراء الفحوصات المغناطيسية فكانت متقاربة تماماً مع القيم القياسية لها [12] . أما المعاملة الحرارية فقد تم أجراءها خلال استخدام فرن ألماني (Rntert) نوع (Magma2300-0000) وعند درجات ($850C^o$,1050^OC) وبمعدل تسخين ($5^oC/min$) مع تثبيت النماذج عند الدرجات الحرارية المذكورة لمدة (30min) ومن ثم التبريد البطيء (Slow Cooling) .

النتائج والمناقشة

تعتبر علاقة كثافة الفيض المغناطيسي (B) وشدة المجال المغناطيسي (H) المتمثلة بحلقة الهسترة (B – H Loop) هي من اهم الخصائص المغناطيسية لآي مادة مغناطيسية لتحديد نوعية المغانط المصنعة سواء كانت صلدة (Hard) أم لينة (Soft) [13] . يلاحظ من الشكل (3) حلقة الهسترة للنموذجين ($Fe_{65}Ni_{35}$) و($Fe_{20}Ni_{80}$) بدون أية معاملة حرارية ، حيث يلاحظ أن الخواص المغناطيسية ضعيفة ، إن السبب في ذلك يعود الى عدم استقرارية الاطوار وبالتالي عدم تجانس البنية المجهرية لعناصر هذه السبيكة مما يجعل حركة الحقول المغناطيسية (Domains) غير متوازية تماماً مع اتجاه المجال المغناطيسي [14]. بعد أجراء المعاملة الحرارية عند ($850\ C^o$) ،($1050C^o$) ولفترة زمنية نصف الساعة فقد لوحظ بأن هناك تحسن واضح في قيم الخواص المغناطيسية وبدأ شكل حلقة الهسترة بالتوسع وتم اعتبار درجة المعاملة الحرارية عند (850) مئوية كفاصل درجة حرارية تعطي أكبر قيم للخواص المغناطيسية كما يلاحظ من الشكل (4) . إن التحسن الواضح في قيم الخواص المغناطيسية دلالة على اتجاه العزوم المغناطيسية (Orientation) قد تغيرت حركتها من صورة غير منتظمة لتصبح موازية تماماً لحركة المجال المغناطيسي لتعطي خواص فيرومغناطيسية كاملة لمغانط ذات صفات لينة . أما عند ارتفاع درجة حرارة المعاملة الحرارية إلى (1050) مئوي فقد لوحظ نتائج غير متوقعة لقيم الخواص المغناطيسية ، حيث لوحظ انخفاض قيمها كما في الشكل (5) . إن السبب في هذا الانخفاض لقيم الخواص المغناطيسية الموضحة في الجدول (1) ، ربما يعزى إلى بداية دوران وحراك العزوم المغناطيسية لتتحول إلى صفات بارامغناطيسية بارتفاع درجات الحرارة بعد درجة حرارة كوري . من خلال النتائج المستحصلة أعلاه يبدو بأن المعاملة الحرارية المناسبة لغرض الحصول على خواص مغناطيسية جيدة هي عند (850) مئوي وهذا ما ينطبق تماماً مع قيم المواصفات القياسية للفحوصات المغناطيسية [13،14] . الجدول (1) يوضح نتائج الفحوصات المغناطيسية للنماذج المصممة بطريقة ميتالوريجيا المساحيق حيث يلاحظ خلالها التغير الواضح في قيم الخواص المغناطيسية باختلاف درجات حرارة المعاملات الحرارية . إن النتائج الظاهرة تفسر على أن الحقول المغناطيسية (Domains Magnetic) كانت مترسبة (Precipitation) ومتجه عزومها المغناطيسية تماماً مع اتجاه المجال المغناطيسي عند درجة حرارة المعاملة الحرارية (850) مئوي . أما فوق هذه الدرجة الحرارية الحرجة فتم انفصال وإزاحة العزوم المغناطيسية لمواقع اتجاهية مختلفة مما أدى إلى إضعاف الخواص المغناطيسية . أن هذا التفسير يتفق تماماً مع النتائج التجريبية للباحث (Hethering) الذي أوعز ضعف الخواص المغناطيسية لسلسلة سبائك الالمنيوم (Al-Ni-Co) المسماة (Alnico–5) هو حركة الحقول المغناطيسية عن مواقعها لاتجاهات بلورية مختلفة محدثة خواص مغناطيسية لا اتجاهية (Anisotropy) [15].

الاستنتاجات

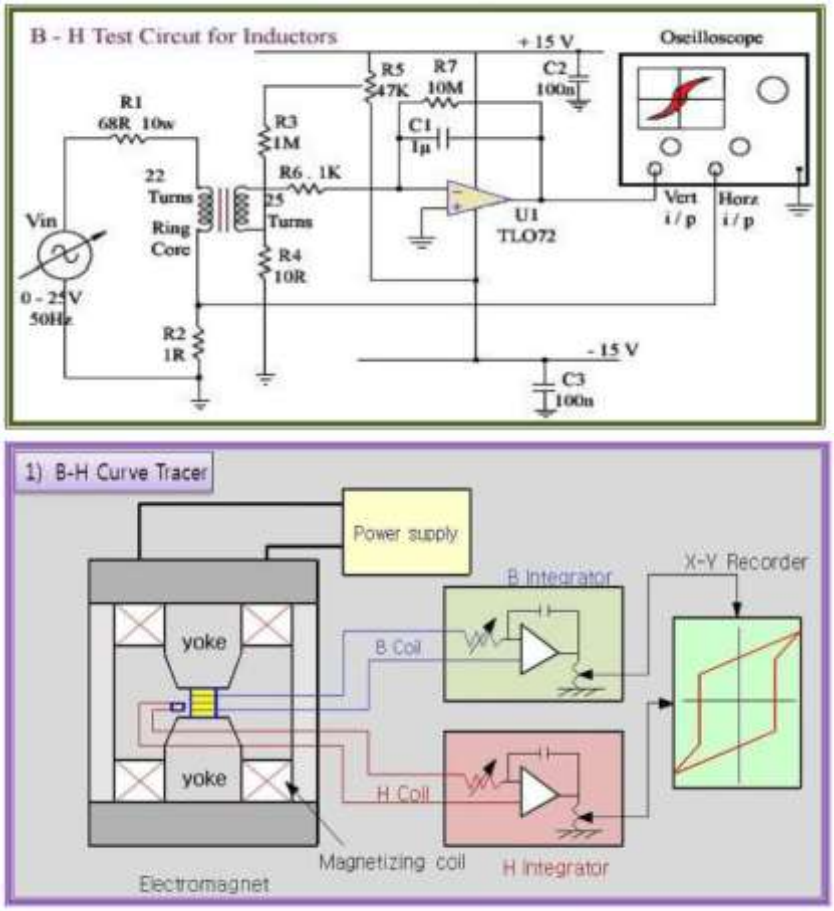
تعتبر عملية تصنيع المغانط الدائمة والمؤقتة ودراسة خواصها المغناطيسية من المواضيع المهمة في فيزياء المواد والتي تدخل في كثير من التطبيقات التكنولوجية والتي لم يتطرق لها الباحثون كثيراً داخل القطر ، لذلك يعتبر هذا البحث من الدراسات الاولية لتصنيع مغانط ذات صفات مغناطيسية معينة ومقارنة نتائجها بالمواصفات القياسية . يمكن استنتاج من تحضير سلسلة سبائك (Fe-Ni) ودراسة خواصها المغناطيسية بالنقاط الاتية .

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

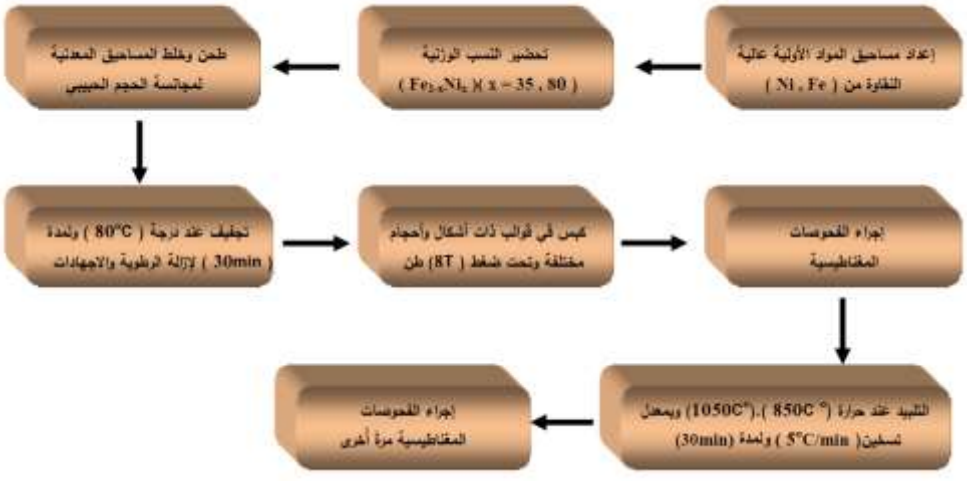
2- تحديد درجة حرارة المعاملة الحرارية المثالية لإعطاء أفضل خواص مغناطيسية للسبائك المحضرة وهي (850) مئوية مع انخفاض واضح في قيم الخواص المغناطيسية فوق درجة المعاملة الحرارية الحرجة (850) مئوي .

3- فسرت النتائج المستحصلة بدلالة علاقة حركة العزوم المغناطيسية مع درجات الحرارة إلى المعاملات الحرارية والتي يمكن الاستنتاج خلالها بأن حركة العزوم المغناطيسية عند (850) مئوي قد اصبح مصطفة بصورة متوازية مما أكسبها خواص مغناطيسية جيدة مقارنة

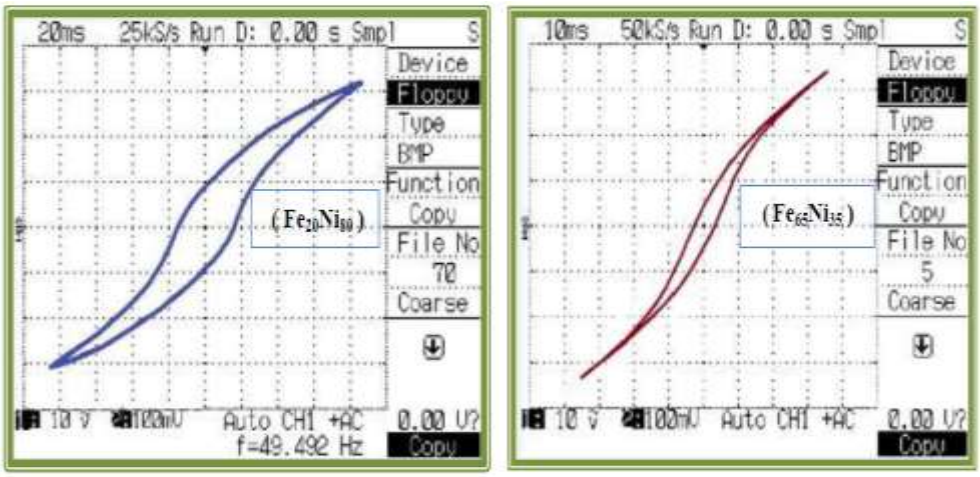
بالمواصفات القياســـية . أما فوق هذه الدرجــة الحرارية فحدث تحول العزوم المتوازية الى اتجاهات عشوائية مختلفة .



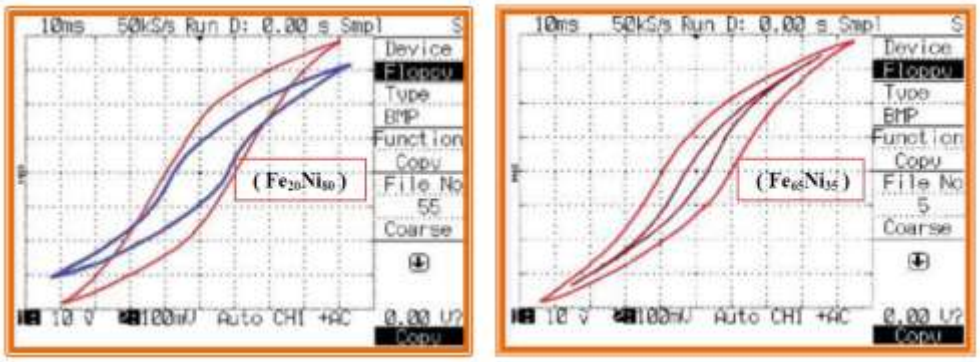
الشكل (1) : المخطط التفصيلي للمنضومة المصنعة لاختبار الخواص المغناطيسية



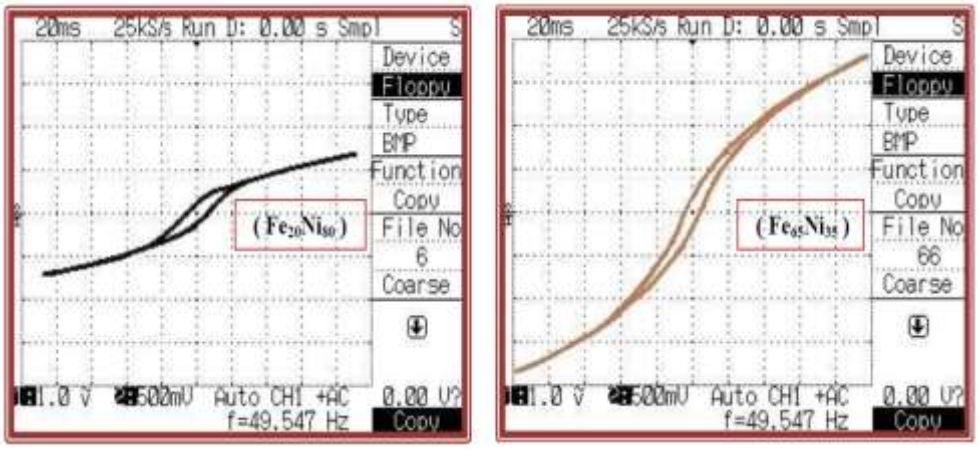
الشكل (2) : المسلك التكنولوجي التوضيحي لمراحل تحضير السبائك المغناطيسية (Fe-Ni) بطريقة ميتالوريجيا المساحيق



الشكل : (3) حلقات الهسترة للنموذجين ($Fe_{65}Ni_{35}$) ، ($Fe_{20}Ni_{80}$) المحضرين بطريقة تكنولوجيا المساحيق قبل أجراء المعاملة الحرارية



الشكل (4): حلقات الهسترة للنموذجين ($Fe_{65}Ni_{35}$) ، ($Fe_{20}Ni_{80}$) قبل وبعد المعاملة الحرارية عند (850) مئوي



الشكل (5): حلقات الهسترة للنموذجين ($Fe_{65}Ni_{35}$) ، ($Fe_{20}Ni_{80}$) بعد المعاملة الحرارية عند (1050) مئوي

الجدول (1) : نتائج الفحوصات المغناطيسية للنماذج المحضرة

Temp Anneal (C^o)	Sample	H_c (KA/m)	B_r (Tesla)	μ_r	χ_m
RT	$Fe_{65}Ni_{35}$	0.206	0.0229	0.111	0.89
	$Fe_{20}Ni_{80}$	0.550	0.0458	0.083	0.92
850	$Fe_{65}Ni_{35}$	0.674	0.0663	0.098	0.90
	$Fe_{20}Ni_{80}$	0.688	0.0663	0.111	0.89
1050	$Fe_{65}Ni_{35}$	0.138	0.1019	0.739	-0.26
	$Fe_{20}Ni_{80}$	0.275	0.0509	0.185	-0.82

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. W.Bolton , Engineering Materials Technology , 4th edition , p25 (2007).
5. D. Hadfield , Permanent Magnet and Magnetism , 1st edition , London (2005).
6. M.Kadziolka , W.Zarek and E.Popiel , Journal of Physics , Conference Series , 217 (2010) .
7. S. Rengara and S. Hee , Finland . J. Nanoscience , Vol11 , P561 (2011).
8. E. Kisker, E.F.Wassermann and C. Carbone, Physics Review Letter ,1784,(1987) .
9. M.shiga and Y.Nakamura , Journal of physics society. (Japan) , Vol.26,P.24, (1969) .
10. H.Hasegawa and J.Kanamori, Journal of physics society. (Japan), Vol.31, P.282, (1971) .
11. J.Kanamori, Journal of physics ,(paris), Vol.35, P.131, (1974) .
12. R.C.Tucker, Journal of Metals, Vo.38, P.66, (1986) .
13. M.V. Schifagarde, I.A.Abrikosov and B. Johansson, Origin of the Invar Effect in Fe-Ni Alloys Nature , Vol.400 , P.46 , (1999) .
14. E.Jartych, J.K.Zurawicz, D.Oleszak and M.Pekala, Journal of Magnetism and Magnetic Materials , Vol.208 , P.221 ,(2000) .
15. M.G.Hethering , Micro structure and Domain Studies in Alnico-5 , Journal of Applied Physics , Vol 57 , P15 (1985) .

The Effect of Heat Treatment on The Magnetic properties of The (Fe-Ni) Alloys Prepared by powder Metallurgy Method

I.K. Jassim , R.A.Mohammad , H.MK.Farage
Physics Department , C0llege of Education , Tikrit University , Tikrit , Iraq
(Received: 20/5/2013 ---- Accepted: 30/7/2013)

Abstract
The aim of this work is studying the binary system ($Fe_{1-x}Ni_x$) with two ratios (X = 35 , 80) by using Powder metallurgy method. Magnetic properties have been studied at different heat treatment temperatures throw Magnetic Hysteresis loop. Several properties have been found such as Magnetic Relative permeability (μ_r) , Magnetic Susceptibility (χ_m) ,Coercive force (H_c) and Remained force (B_r) for all Samples. All the alloys were found a ferromagnetic behavior and Sensitive to the heat treatment. The results were explained due to the change on the degree of magnetic moment orders with the change of heat treatment degrees.

Key words
Magnetic properties , Powder metallurgy , heat treatments , Material Engineering.