تأثير التلدين على الخواص المغناطيسية والصلادة الميكانيكية لسلسلة سبائك $Fe_{1-y}Ni_y$ المحضرة بطريقة السباكة

د. إسماعيل خليل جاسم *

تاريخ قبول النشر ٢٠٠٤/٦/١٢

الخلاصة

تمت دراسة النظام الثنائي لسلسلة سبائك ($Fe_{1-y}Ni_y$) المغناطيسية والتي شملت تحضير سبائك ذات نسب وزنية مئوية ($y = 36,80$) وباستخدام طريقة السباكة .شملت الدراسة تحديد الخواص المغناطيسية من خلال حلقات الهسترة المغناطيسية وبيان تأثير المعاملة الحرارية عليها . تم إيجاد قيم النفوذية النسبية ، التأثرية المغناطيسية ، القوة القاهرة والمغناطيسية المتبقية للنماذج المصنعة .أكدت النتائج التجريبية عن وجود صفات فيرومغناطيسية حساسة بتغير درجة المعاملة الحرارية، سرعان ما تتحول إلى صفات فيرومغناطيسية ضعيفة عند ارتفاع درجات الحرارة. كما تم تحديد درجة المعاملة الحرارية المناسبة للحصول على الخواص المغناطيسية خلال عمليات تصنيع المغانط .النتائج الظاهرة أكدت على تشابه تصرف الخواص المغناطيسية والصلادة الميكانيكية بارتفاع قيمها مع ازدياد درجات المعاملة الحرارية وصولا إلى قيمها العظمى عند (1100) مئوي ثم الهبوط إلى قيم منخفضة مع ارتفاع درجات المعاملة الحرارية .فسرت النتائج المستحصلة بدلالة علاقة حركة العزوم المغناطيسية مع تغير درجات حرارة المعاملات الحرارية.

المقدمة

تعتبر دراسة المواد المغناطيسية من المواضيع المتقدمة التي تتعلق بكثير من التطبيقات الكهربائية التي تدخل في الصناعات الحديثة كالمولدات والمحولات والجايروسكوبات وأجهزة حفظ الذاكرة و كمواد ماصة للموجات الكهرومغناطيسية الخ.. [1,2] لقد نالت المواد المغناطيسية مكانة مرموقة بين المواد الهندسية المختلفة نظراً لما تمتلكه من خواص فيزيائية محددة تتناسب مع العديد من التطبيقات التكنولوجية المختلفة . تم اختيار سلسلة النظام الثنائي (Binary Alloy) من سبيكة (Fe-Ni) لهذا البحث لأهميتها كسبيكة مغناطيسية تحمل صفات مغناطيسية لينة (Soft Magnet) يعود سببها إلى وجود عنصرين انتقاليين من النيكل والحديد يمتلك كل منهما حزمة من نوع (3d) غير الممتلئة بالإلكترونات تماما[3] . تمتاز سبيكة $Fe_{65}Ni_{35}$ لهذه السلسلة إضافة إلى خواصها المغناطيسية بمعامل تمدد حراري منخفض يستمر إلى درجة حرارة كوري لذلك تسمى هذه السبيكة بسبيكة الانفار (Invar) [4] ، وبذلك يستفاد من ظاهرة انخفاض معامل التمدد الحراري (Low Thermal Expansion) في كثير من التطبيقات التكنولوجية التي تتطلب استقرارية في الأبعاد (Dimensional Stability) .تعزى طبيعة المغناطيسية لسبيكة (Fe-Ni) عن وجود عدد من العزوم المغناطيسية (Magnetic Moments) خلال الشبيكة البلورية لعناصر الحديد والنيكل والتي تكون موازية لبعضها البعض عند مغنطتها مما تؤدي في النهاية إلى تكوين سبائك

* رئيس فيزيائيين–وزارة العلوم والتكنولوجيا–دائرة علوم المواد

فيرومغناطيسية (Ferromagnetic) يمكن أن يستفاد منها في صناعة المغانط المؤقتة [5].

الجانب العملي

تعتمد الخواص المغناطيسية للنماذج المحضرة بطريقة السباكة على نقاوة المواد الأولية المستخدمة وذلك لان وجود أية شوائب حتى ولو كانت بنسب صغيرة تسبب نشوء أطوار غريبة تضعف الخواص المغناطيسية والفيزيائية ، لذلك تم استخدام معادن جيدة النقاوة محضرة بطريقة التحليل الكهربائي من النيكل والحديد حيث تبلغ نقاوتها اكثر من (99.5 %). الشكل (1) يمثل المسلك التكنولوجي لمراحل تحضير السبائك المغناطيسية (Fe-Ni) بطريقة السباكة .تم اجراء الفحوصات المغناطيسية من خلال استخدام منظومة الفحوصات المغناطيسية الموضحة في الشكل (2) لجميع النماذج المصنعة قبل وبعد اجراء المعاملات الحرارية (Heat Treatment) . من خلال أشكال حلقات الهسترة المغناطيسية الناتجة تم تحديد الخواص المغناطيسية مثل القوة القاهرة H_c (Corecive Force) ، المغناطيسية المتبقية B_r (Remanent Magnetization) ، النفوذية المغناطيسية النسبية μ_r (Relative Magnetic Permeability) ، التأثرية المغناطيسية χ (Magnetic Susceptibility) واعظم طاقة مغناطيسية لحلقة الهسترة (Maximum Energy Product) BH_{max} . تم اجراء المعاملة الحرارية تحت ضغط منخفض (10) تور من خلال استخدام فرن مفرغ (Vacum Furnace) عند درجات حرارية مختلفة لهذه المعاملة (1300,1250,1100,950) مئوي ولمدة ثلاث ساعات . أما قياسات الصلادة الميكانيكية فتم الاعتماد على مقياس صلادة روكويل (Rockwell Hardness) لقياس صلادة المغانط المصنعة قبل وبعد المعاملات الحرارية ، حيث كانت أداة الغرز من الماس ذات شكل مخروطي لتعطي صلادة بالقيم (HRC).

النتائج والمناقشة

تعتبر علاقة كثافة الفيض المغناطيسي (B) وشدة المجال المغناطيسي المسلط (H) المتمثلة بحلقة الهسترة (B-H Loop) هي من اهم الخصائص المغناطيسية لأي مادة مغناطيسية لتحديد نوعية المغانط المصنعة سواء كانت صلدة (Hard) أم لينة (Soft) [6]. يلاحظ من الشكل (3) حلقة الهسترة للنموذجين ($Fe_{64}Ni_{36}$) و ($Fe_{20}Ni_{80}$) بدون اجراء آية معاملة حرارية ، حيث يلاحظ بان الخواص المغناطيسية ضعيفة جداً ، إن السبب في ذلك يعزى إلى عدم استقرارية الأطوار وبالتالي عدم تجانس البنية المجهرية لعناصر هذه السبائك مما سيجعل حركة الحقول المغناطيسية ستكون عشوائية بجميع الاتجاهات [7] .بعد اجراء المعاملة الحرارية عند درجات حرارية (1300,1250,1100,950) مئوي لفترة زمنية ثلاث ساعات قد لوحظ بان هناك تحسن واضح في قيم الخواص المغناطيسية وبدأ شكل حلقة الهسترة بالتوسع وتم اعتبار درجة المعاملة الحرارية عند (1100) مئوي كأفضل درجة حرارية تعطي اكبر قيم للخواص المغناطيسية كما يلاحظ من الشكل (4) . إن التحسن الواضح في قيم الخواص المغناطيسية دلالة على إن اتجاه العزوم المغناطيسية (Orientation) قد تغيرت حركتها من الصورة الغير منتظمة لتصبح موازية لاتجاه المجال المغناطيسي لتعطي خواص فيرومغناطيسية كاملة لمغانط ذات مواصفات لينة . أما عند ارتفاع درجة حرارة المعاملات الحرارية فوق ١١٠٠ مئوي فقد لوحظ نتائج غير متوقعة لقيم الخواص المغناطيسية ، حيث لوحظ انخفاض قيمها كما في الشكل (٥). ان السبب في هذا الأنخفاض لقيم الخواص الفيرومناطيسية خاصة التأثرية المغناطيسية والنفوذية النسبية والموضحة في جدول(١)، ربما يعزى إلىبداية دوران وحركة العزوم المغناطيسية لتتحول الى صفات بارامغناطيسية بارتفاع درجات الحرارة بعد درجة حرارة كوري. من خلال النتائج المستحصلة أعلاه يبدوا بأن المعاملة الحرارية المناسبة لغرض الحصول على خواص مغناطيسية جيدة هي عند (1100) مئوي وهذا ما ينطبق تماماً مع قيم المواصفات القياسية للفحوصات المغناطيسية [8,9] . الجدول (1) يوضح نتائج الفحوصات المغناطيسية للنماذج المصنعة بطريقة السباكة ويلاحظ خلالها التغير الواضح في قيم الخواص المغناطيسية باختلاف درجات حرارة المعاملات الحرارية ، كما يمكن ملاحظة إن افضل القيم المغناطيسية المستقرة يمكن الحصول عليها عند اجراء المعاملة الحرارية عند (1100) مئوي .أما تأثير المعاملة الحرارية على الصلادة الميكانيكية (HRC) فيمكن ملاحظتها من الشكل(6) للنموذجين ($Fe_{64}Ni_{36}$) و ($Fe_{20}Ni_{80}$) . يلاحظ من الشكل بأن قيم الصلادة لكلا النموذجين تكون قليلة حينما تكون بحالتها الاولى كمصبوبة (Cast) وبدون أية معاملة حرارية، لكن سرعان ما تزداد قيم الصلادة بارتفاع درجات الحرارة

للمعاملة الحرارية لتصل إلى قيمتها العظمى عند (1100) مئوي ، لتنخفض هذه القيم مع ارتفاع درجات المعاملة الحرارية فوق (1100) مئوي . إن النتائج الظاهرة تفسر على إن الحقول المغناطيسية (Magnetic Domains) كانت مترسبة (Precipitation) ومتجه عزومها المغناطيسية تماماً مع اتجاه المجال المغناطيسي عند درجة معاملة حرارية (1100) مئوي ، أما فوق هذه الدرجة الحرارية الحرجة فتم انفصال وإزاحة العزوم المغناطيسية لمواقع اتجاهيه مختلفة مما أدى إلى إضعاف الخواص الميكانيكية .إن هذا التفسير يتفق تماماً مع النتائج التجريبية للباحث (Hethering) الذي أوعز ضعف الخواص المغناطيسية و الميكانيكية لسلسة سبائك ألالنيكو (Al-Ni-Co) المسماة (Alnico 5) هو إلى حركة الحقول المغناطيسية عن مواقعها لاتجاهات بلورية مختلفة محدثة خواص مغناطيسية لأتجاهية (Anisotropy) [10]. كما اوضح ايضا بأن الأجهادات الحرارية الداخلية(Internal Thermal Stress) هي الأخرى تلعب دوراً على حركة الأطوار المترسبة وبالتالي تؤثر على ضعف الخواص الميكانيكية نتيجة احتمالية عدم وجود توجه للحبيبات ونموها بارتفاع درجات الحرارة.

الاستنتاجات

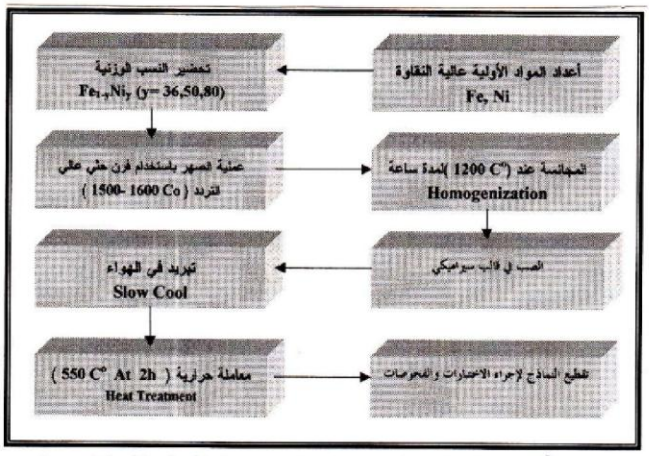
تعتبر عملية تصنيع المغانط الدائمية والمؤقتة ودراسة خواصها المغناطيسية والفيزيائية من المواضيع المهمة في فيزياء المواد والتي تدخل في كثير من التطبيقات التكنولوجية والتي لم يتطرق لها الباحثين كثيراً داخل القطر ، لذلك يعتبر هذا البحث من الدراسات الأولية لتصنيع مغانط ذات صفات مغناطيسية معينة ومقارنة نتائجها بالمواصفات القياسية.

يمكن الاستنتاج من تحضير سلسلة سبائك (Fe-Ni) ودراسة خواصها المغناطيسية والميكانيكية النقاط التالية:

١. لوحظ تأثير واضح للمعاملة الحرارية المتبعة والفترة الزمنية المختارة على الخواص المغناطيسية والميكانيكية .

٢. تحديد درجة حرارة المعاملة الحرارية المثالية لاعطاء افضل الخواص المغناطيسية والميكانيكية للسبائك المصنعة وهي (1100) مئوي مع انخفاض واضح إلى قيم الخواص المغناطيسية والميكانيكية فوق درجة المعاملة الحرارية الحرجة (1100) مئوي .

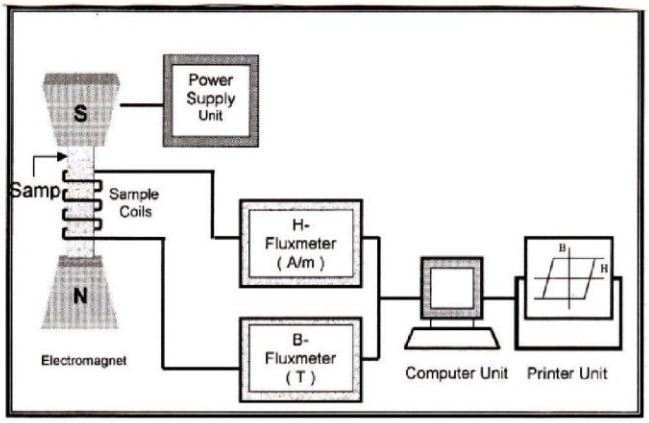
٣. فسرت النتائج المستحصلة بدلالة علاقة حركة العزوم المغناطيسية مع درجات حرارة المعاملات الحرارية والتي يمكن الأستنتاج خلالها بأن حركة العزوم المغناطيسية عند (١١٠٠) مئوي قد اصبحت مصطفة بصورة متوازية مما اكسبها خواص مغناطيسية وميكانيكية جيدة مقارنة بالمواصفات القياسية. اما فوق درجة المعاملة الحرارية (١١٠٠) مئوي فقد لوحظ انخفاض واضح في القيم المستحصلة ربما تعزى الى بداية دوران العزوم المغناطيسية وحصول توجه عشوائي مما يكسبها خواص فيرومغناطيسية ضعيفة سرعان ما تتحول الى صفات بارامغناطيسية بعد درجة حرارة كوري.



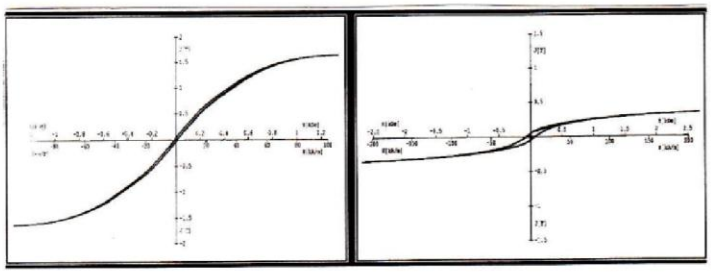
شكل (1) المسلك التكنولوجي التوضيحي لمراحل تحضير السبائك المغناطيسية (Fe- Ni)

جدول رقم (١) يوضح نتائج الفحوصات المغناطيسية للنماذج المصنعة

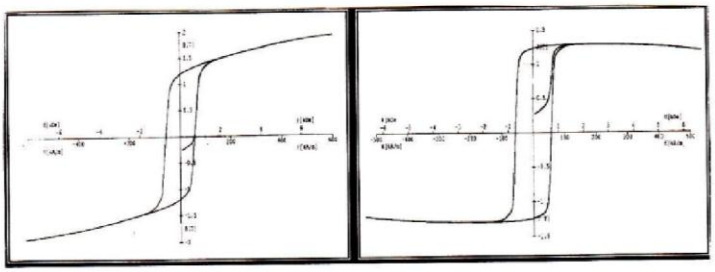
Temp. Anneal °C	Sample	Hc (k A/m)	Br (T)	(μr)	(X)	(BHmax) [k J/m³]
R.T.	$Fe_{64}Ni_{36}$	٥,١	٠,٠٤٩	٠,٧٨	٠,٢٢-	٠,١
	$Fe_{20}Ni_{80}$	١,٢	٠,٠٤٥	٠,٥١	٠,٤٩-	٠,٠٥
٩٥٠	$Fe_{64}Ni_{36}$	٤١,٦	٠,٠٥٧	١,٥١	٠,٥١	٣٢
	$Fe_{20}Ni_{80}$	٣٠,٩	٠,٠٤٩	١,٢٩	٠,٢٩	٢٤
١١٠٠	$Fe_{64}Ni_{36}$	٥٧,٢	١,٢٣٥	٢,٤٥	١,٤٦	٤٥,٥
	$Fe_{20}Ni_{80}$	٥٦,٨	١,١٩٠	٢,٣٨	١,٣٨	٣٥,٦
١٢٥٠	$Fe_{64}Ni_{36}$	٤٧,٥	١,٢١٠	١,٣٣	٠,٣٣	٣٥,٨
	$Fe_{20}Ni_{80}$	٤٥,٨	١,٠٩١	١,١٧	٠,١٧	١٧,٢
١٣٠٠	$Fe_{64}Ni_{36}$	٠,٠٨٥	٠,٠٢٨	٠,٤٢	٠,٥٨-	٠,٥٥
	$Fe_{20}Ni_{80}$	٠,٠٧٩	٠,٠٢٦	٠,٣٦	٠,٦٤-	٠,٥٢



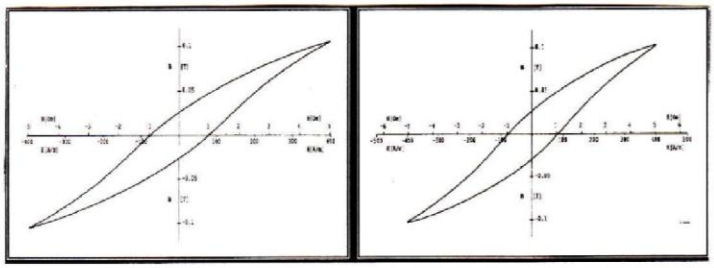
شكل (2) المخطط التفصيلي لمنظومة اختبار الخواص المغناطيسية



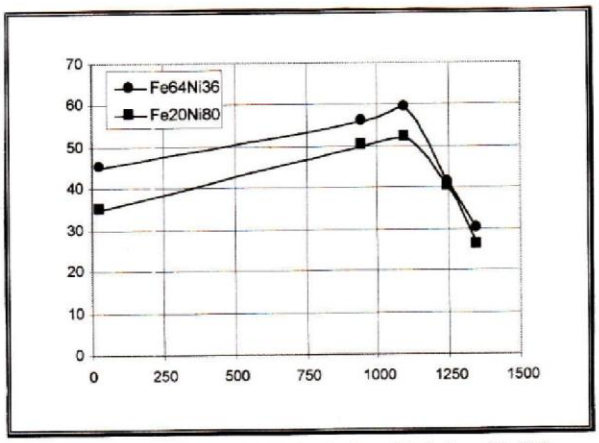
الشكل (3) : يوضح حلقة الهسترة للنموذجين $Fe_{64}Ni_{36}$, $Fe_{20}Ni_{80}$ المصنعين بطريقة السباكة قبل اجراء المعاملة الحرارية لهما



الشكل (4): يوضح حلقة الهسترة للنموذجين $Fe_{64}Ni_{36}$, $Fe_{20}Ni_{80}$ المصنعين بطريقة السباكة بعد اجراء المعاملة الحرارية عند (1100) مئوي



الشكل (5): يوضح حلقة الهسترة للنموذجين $Fe_{64}Ni_{36}$, $Fe_{20}Ni_{80}$ المصنعين بطريقة السباكة بعد إجراء المعاملة الحرارية عند (1300) مئوي



الشكل (6) : يمثل العلاقة بين الصلادة الميكانيكية (HRC) مع درجات حرارة المعاملات الحرارية (T) للنموذجين $Fe_{64}Ni_{36}$ ،$Fe_{20}Ni_{80}$ المصنعين بطريقة

المصادر

1. Schaffer, J.P., Saxena . A., Antolovich . S.D., Sanders . T.H. and Warner. S.B., 1995 "The Science and Design of Engineering Materials", IRWIN Group (U.S.A.), P.537,.
٢. د.صباح محمد علي، 2002.تحضير وتقييم مواد متراكبة متعددة الطبقات لامتصاص الإشارات الرادارية: ،مجلة كلية التربية، المجلد1 ، ص(383-393) .
3. Crangle, J., 1977 "Magnetic Properties of Solid", Willmer Brothers Limited, London,.
4. Brown, P.J. and Jassim . I.K., 1988.J.Physique, C8, P.307,.
5. James, F., 1986 Introduction to Material Science for Engineering, Houghton Miffin Company, Boston, 2nd edition, P.570,.
6. Bolton, W., 1998 "Engineering Materials Technology", 3rd edition, P.25,.
7. Schilfagaarde, M.V., Abrikosov . I.A. and Johansson .B., 1999 Origin of the Invar Effect in Fe-Ni Alloys NATURE, Vol.400, P.46,.
8. Hadfield, D., 1969 "Permanent Magnet and Magnetism", 1st edition, London,.
9. Ziebeck, K and Neumann.K, 1980 Metal Handbook, Properties and Selection", American Society for Metals, Vol 3,.
10. Hethering, M.G., 1985 "Micro-structure and Domain Studies in Alnico-5 and Alnico-7, Journal of Applied Physics, Vol.57, P.12,.

The Effect of Heat Treatment on the Magnetic and Mechanical properties of Fe – Ni alloys.

I.K.Jassim

Ministry of Science and Technology
Materials Science Department.

Abstract

The aim of this work is studying the binary system (Fe^{1-y} Ni^{y}) with two ratios (y=36,80) by using casting method for preparing the samples.Magnetic and Mechanical properties have been studied at different heat treatment temperature.All the alloys were found a ferromagnetic behavior and sensitive to the heat treatment. Best properties were found at the heat treatment 1100 C°.A significant different results were found above 1100 C° for lower magnetic and mechanical values. This is possibly due to the change on the degree of magnetic moment orders, in which most of the moments are started to remove from coupled ferromagnetically.