تحضير ودراسة تأثير المعاملة الحرارية على الخواص الفيزيائية والمغناطيسية لسبيكة الفايك المغناطيسية

إسماعيل خليل جاسم ، غسان عدنان نعيم

[1] قسم الفيزياء ، كلية التربية ، جامعة تكريت ، تكريت ،العراق

[2] قسم الفيزياء ، كلية التربية، جامعة الانبار ، رمادي ،العراق

(تاريخ الاستلام: ١١ / ١١ / ٢٠٠٨ ---- **تاريخ القبول:** ٢٧ / ٤ / ٢٠١٠)

الملخص

إن عملية تصنيع المغانط الدائمة هي إحدى العمليات التكنولوجية الهامة التي تدخل في حقول مختلفة من الصناعات الكهربائية ولها مجالات تطبيقية مختلفة .يتناول البحث تحضير مغانط مختبريه من سبيكة الفايك المغناطيسية (Vicalloy) بطريقة السباكة ودراسة خواصها الفيزياوية والمغناطيسية.

تم إجراء صهرتان باستخدام شحنة مكونة من الحديد والكوبلت والفناديوم وبنسب وزنيه معينة (V 10%, Co 52%, Fe 38%) .أكدت الفحوصات المهجرية والقياسات المغناطيسية وتحاليل العناصر الكيميائية لعدد من النماذج قبل وبعد المعاملة الحرارية بأنها ناجحة ومشجعة،حيث تطابقت الخواص المستحصلة مع ما هو مطلوب من المواصفات القياسية.

تم درفلة السبيكة على البارد وبنسبة اختزال (50%) من السمك الأصلي وبعد إجراء المعاملة الحرارية والمغنطة،لوحظ ازدياد نسبة الاختزال.

المقدمة

إن طبيعة المغناطيسية التي تبرزها مجموعة المعادن الانتقالية ومن بينها الحديد والكوبلت والنيكل (Transition Metals) تأتي أساسا لدوران عزومها المغناطيسية للالكترونات في ذراتها .إن هذا الدوران يحدث مجالا مغناطيسيا مثل الذي يحدثه مرور الالكترونات يحدث مجالا مغناطيسيا مثل الذي يحدثه مرور الالكترونات في سلك لتوليد التيار الكهربائي [1].

تسمى السبائك التي تحتوي على معدلات النسب للعناصر الانتقالية (30-52% Fe,36-62% Co, 5-15% V) بسبائك الفايك (Vically) والتي يستفاد منها بصناعة المغانط الدائمة[3,2] .تتميز هذه السبائك بارتفاع القوة القهرية لها (Coercive Force)مع قيمة النفوذية المغناطيسية (Permeability) واحتفاظها بالخواص المغناطيسية عند ارتفاع درجات الحرارة أكثر من سبائك الألنيكو (Alnico) [3].

إن طبيعة المغناطيسية في سبائك الفايك ناشئة عن وجود عن عدد العزوم من العزوم المغناطيسية (Magnetic Moments) خلال الشبيكة البلورية لعناصر الحديد والكوبلت والتي تكون موازية لبعضها البعض عند مغنطتها مما تؤدي في النهاية إلى تكوين سبائك فيرو مغناطيسية يمكن أن تستعمل في صناعة المغانط الدائمة [5,4].

إن إضافة الفناديوم إلى سبائك الفايك هو عامل مهم في تصغير الحجم الحبيبي حيث إن إضافة نسبة قليلة منه تحد أو تمنع من النمو الحبيبي الذي يعتبر عاملا مؤثرا على قلة الخواص المغناطيسية .كما إن إضافة الفناديوم له دور مهم في سهولة التشغيل للسبائك المصنعة (Workable).إن نسبة الفناديوم المضافة لها دورا مؤثرا على الصفات المغناطيسية فإذا كانت اقل من (5%) فان السبائك تصبح مواد مغناطيسية مؤقتة (Soft Magnet) ،أما إذا كانت النسبة اكبر لحد (10-13 %) فإنها ستكون مواد مغناطيسية صلدة دائمية (Hard Magnet)،في حين تكون سبيكة الفايك غير مغناطيسية إذا كانت نسبة الفناديوم اكبر من (15%)[7,6] .

تمتاز المواد المغناطيسية اللينة (Soft Magnet) بأنها تمتلك نفاذية مغناطيسية (Permeability) عالية وهذه الخاصية يعبر عنها بالقيمة ($\mu=H/B$)| وكذلك تمتاز بقوة قهرية (H_C) منخفضة ويمكن مغنطتها وإزالة المغنطة بسهولة ،وتستعمل في قلوب المحولات ودوائر الإغلاق المغناطيسية [3,1] .ويمتاز منحني التخلف المغناطيسي لها بأنه حاد الصعود وذو نفاذية عالية وعادة تكون المساحة الواقعة في منحني التخلف المغناطيسي صغيرة بسبب انخفاض قيم القوة القهرية.

أما المغناطيس الصلد (Hard) أو الدائم فهو يمتاز باحتفاظه بالمجالات المغناطيسية ،وتكون مساحة منحني التخلف المغناطيسي واسعة نسبيا وتأخذ شكلا مربعا وانه يحتاج إلى قوة ممغنطة (H) كبيرة للوصول إلى تمغنط التشبع للمادة المصنعة [2].

إن المواد الفيرو مغناطيسية تمتاز بتشبع(Saturation) مغناطيسي كامل عند الدرجات الحرارية المنخفضة .أما عند ازدياد درجة الحرارة فان قيم تمغنط التشبع تبدأ بالنقصان حتى تصبح صفرا ،وتسمى هذه الدرجة الحرارية التي تفقد عندها المادة المغناطيسية خصائصها بدرجة حرارة كوري (T_C) [5,4].

الدراسة الحالية تهدف إلى تحضير سبيكة الفايك (Fe – Co -V) بطريقة السباكة (Casting) ودراسة تأثير المعاملات الحرارية (Heat Treatment) على الخواص المغناطيسية والفيزيائية للسبيكة المحضرة.

الجانب العملي

تم استخدام فرن الحث نوع (Inducthotherm AC-DC-AC) للسباكة في تحضير عدة صهرات لنسب وزنيه معتمدة ،حيث أجريت جميع عمليات الصهر في بودقة سيرامكية مع مراعاة الخلط الجيد للصهر .تم صب المنصهر في قالب رملي بشكل اسطوانة حيث تم الحصول على أقراص بقطر (5 cm) وارتفاع (1cm) .كما قطعت نماذج مختلفة لإجراء الفحوصات المجهرية والمغناطيسية والتركيبية. الصلادة الميكانيكية تم قياسها باستخدام جهاز روكويل (HRC) لكافة العينات.

أما البنية المجهرية فأجريت عمليات أولية متتالية تشمل الصقل والتنعيم ثم الإظهار (Etching) للنماذج المصنعة ،ثم فحصت العينات بالمجهر الضوئي نوع لتز (Leitz) والتقطت الصور الفوتوغرافية من خلال كامرة مرتبطة بنفس المجهر الضوئي .

أما الفحوصات تحليل العناصر الكيميائية فقد استخدمت فلوزة الأشعة السينية (XRF) وقد ظهر تطابق كبير لنسب العناصر التي تم سباكتها مع المواصفات القياسية.

قيم الفحوصات المغناطيسية لنماذج سبيكة الفايك تم تحديدها من خلال حلقات الهسترة (Hystrieis)، حيث تم تحديد قيم القوة القهرية المغناطيسية (H_C) مع قيم الفيض المغناطيسي المتبقي (B_r) ،الشكل (1) يوضح إجراء المنظومة المغناطيسية المستخدمة لفحص الخواص المغناطيسية المستخدمة لفحص الخواص المغناطيسية.

أما عملية الدرفلة (Rolling) للنماذج المصنعة فقد تم تسخينها في فرن المقاومة الكهربائية إلى (^oC 1100)،ثم درفلت المسبوكة إلى عدة مرات لحين اختزالها إلى النصف.

المعاملة الحرارية (Heat Treatment) أجريت باستخدام فرن فراغي حراري (Vacuum Furnace) وبضغط فراغي (10^{-5} mbar) حيث تم اختيار برنامج حراري ملائم يشمل حالة تسخين وتبريد النماذج.تشمل المرحلة الأولى إلى رفع درجة الحرارة (1100^oC) وبصعود ($10^oC/min$) مع ترك النماذج لفترة نصف ساعة للمجانسة الحرارية ،يتبعها التبريد السريع (Rapidly) بمعدل ($100^oC/hr$) إلى درجة حرارة الغرفة داخل الفرن. أما بالنسبة للقطع الدرفلة (Rolled Vicalloy) فأجريت المعاملة الحرارية لها بالتسخين السطحي وبصعود($10^oC/min$) إلى (1000^oC) خلال فترة إبقاء ساعة واحدة،ثم التبريد البطيء بنفس المعدل للنماذج غير المدرفلة داخل الفرن.الشكل (2) يوضح المسلك التكنولوجي لعملية تصنيع المغانط إلى سبيكة الفايك.

النتائج والمناقشة

أكدت نتائج الفحوص التركيبية التي تم إجرائها بواسطة تقنية فلورة الأشعة السينية (XRF) بوجود تطابق بين نسب المواد التي تم سباكتها وبين نسب المواد التي كشفت بهذه التقنية ،حيث لم يحدث أي فقدان للوزن قبل وبعد عملية السباكة ،النتائج موضحة في الجدول رقم (1).

أما نتائج فحوص البنية المجهرية (Microstructure) فيمكن ملاحظتها من الشكل (3)، حيث يوضح الشكل (3-a) البنية المجهرية للمسبوكة المعاملة حراريا عند (^oC 850)،إذ يلاحظ بان عملية الانتشار واضحة وبصورة متجانسة في الحالة الصلبة Solid (Solution) وان هناك ترابطا قويا بين عناصر المسبوكة.

فقد لوحظ من البنية المجهرية وجود طورين مما يشير إلى أن الحبيبات ذات بنية تركيبية حديدية .الطور الأول هو نوع ($Bcc(\alpha_1)$ في حين الطور الثاني هو نوع ($Fcc(\gamma)$.إن هذه الأطوار الناتجة تعتمد بصورة رئيسية على معدلات درجات التبريد.كما يتضح من البنية المجهرية ربما وجود طور أخر نوع ($Bcc(\alpha_2)$.أما عند إجراء المعاملة الحرارية عند (1100^oC) فيلاحظ من الشكل (3-b) بان التوزيع المنتظم والمتجانس للأطوار يزداد مع زيادة درجات حرارة المعاملة الحرارية وبالتالي الحصول على أطوار حديدية ذات حجم حبيبي ناعم وموزعة بصورة منتظمة،إن هذا التوزيع المنتظم للبنية المجهرية قد أدى إلى زيادة الخواص المغناطيسية و الفيزياوية للنماذج المعاملة حراريا كما يلاحظ من الجدول (2).

ولغرض الحصول على سبيكة مطيليه (Ductile) فقد تم درفلة المسبوكة (Cold Rolling) إلى عدة مرات إلى أن تم اختزال سمكها إلى النصف وذلك لتعذر الاستمرار في إجراء عملية الدرفلة أكثر لظهور تشققات في المسبوكة .الشكل(4-a) يوضح البنية المجهرية للسبيكة المدرفلة بعد إجراء المعاملة الحرارية المناسبة .لقد لوحظ بان البنية المجهرية قد أصبحت بصورة كاملة حديدية (Ferretic) مع حجم حبيبي صغير جدا،مما أدى إلى زيادة قيم الخواص المغناطيسية الموضحة في جدول رقم (2) .أما الشكل (4-b) فهو يمثل البنية المجهرية لمقطع أخر للنموذج المدرفل على البارد لأكثر من النصف .لقد لوحظ حدوث بدايات إلى التكسر (Fracture) مع انتشار ظاهرة الانعزال البلوري والتي يعتقد بأنها تزداد مع ازدياد الدرفلة لأكثر من النصف.

إن النتائج المستحصلة لقيم الفحوص المغناطيسية للقطع المختبرية المحضرة وبعد إجراء عملية الدرفلة تنطبق تماما مع تم استنتاجه للباحث (Chikazumil) ومجموعته لدراسته تأثير المعاملة الحرارية والدرفلة على البارد لسبيكة الانڤار (Invar) نوع (Fe – Ni) الحاوية على نسبة (36% Ni) ، حيث لوحظ ارتفاع قيم الخواص المغناطيسية والمقاومة النوعية عند إجراء عملية الدرفلة بصورة كاملة وقد أوضح السبب إلى الإزاحة الذرية لمواقع الذرات (Dislocation) نتيجة الاجهادات الداخلية (Internal Stresses) محدثة الاهتزازات بين مواقع الذرات [8].

إن قيم الفحوص المغناطيسية الموضحة في الجدول رقم (2) ومنها كثافة الفيض المتبقي (B_r) والقوة القهرية (H_C) تزداد زيادة ملحوظة بعد المعاملة الحرارية والدرفلة على البارد ،وهي تنطبق تماما مع النتائج القياسية للمواصفات العالمية [3,1]. إن هذا التطابق دلالة على صحة المسلك التكنولوجي المتبع لتحضير وإعداد سبيكة الفايك

المغناطيسية. كما يتضح من الجدول رقم (2) ومن خلال قيم النتائج للفحوص المغناطيسية بان سبيكة الفايك المحضرة هي ذات سلوك فيرو مغناطيسي وهي من المغانط الصلدة.

لقد لوحظ كذلك بان المعاملة الحرارية لها تأثيرا واضحا على الصلادة الميكانيكية لسبيكة الفايك المحضرة ،حيث كانت قيمة الصلادة للمسبوكة (Cast) بدون أية معاملة حرارية تساوي (HRC=40±2)، لكن سرعان ما تزداد قيم الصلادة عند ارتفاع درجات الحرارة للمعاملة الحرارية لتصل قيمها العظمى عند (1100^oC) حيث تساوي (HRC=55±2) ،بعدها تنخفض قيم الصلادة مع ارتفاع درجات الحرارة فوق (1100^oC) .إن النتيجة المستحصلة تتفق مع ما استنتجه الباحث (Srinivason) ومجموعته عند دراسته النظام الثلاثي (Co – Fe – Ni) بعد إجراء المعاملة الحرارية بدرجات حرارة عالية وخلال عمليات تعتيق (Aging) بأزمان مختلفة [9].لقد استنتج الباحث بان ظهور الطور ($FeNi_3$) بالدرجات الحرارية العالية (1300^oC) مع وجود بنية مجهريه غير متجانسة الحبيبات تؤدي إلى انخفاض قيم الخواص الفيزيائية والمغناطيسية للسبيكة التي تم دراستها.

من خلال النتائج المستحصلة أعلاه يبدو بان المعاملة الحرارية المناسبة إلى سبيكة الفايك المحضرة لغرض الحصول على خواص مغناطيسية وميكانيكية جيدة هي عند($1100\ ^oC$) وهذا ما ينطبق تماما مع قيم المواصفات القياسية للفحوصات المغناطيسية [3,1].

أما تجارب فحوص حيود الأشعة السينية (XRD) فهي الأخرى قد أوضحت زيادة في شدة قمة الكوبلت باختلاف عمليات الدرفلة والمعاملة الحرارية كما في الشكل (5) .حيث يلاحظ في الشكل (5-a) إن شدة الحيود واطئة للعينة المسبوكة . أما بعد إجراء المعاملة الحرارية كما في الشكل (5-b) فقد حدث تحسن نسبي في الشدة بسبب إزالة الاجهادات .أما الشكل (5-c) فيمثل إجراء المعاملة الحرارية للقطع المسبوكة بعد الدرفلة على البارد،حيث لوحظ تحسن واضح في شدة الحيود مما يدلل على إزالة الاجهادات واحتمالية وجود توجه تفضيلي للحبيبات والذي يعتقد هو السبب في تحسن الخواص المغناطيسية للنماذج المدرفلة والمعاملة حراريا.

الاستنتاجات

ا- تم دراسة النظام الثلاثي لسبيكة الفايك المغناطيسية المتكونة من عناصر (Fe-Co-V) والتي شملت تحضير السبيكة ودراسة بنيتها المجهرية والتركيبية ومواصفاتها المغناطيسية.

ب- لوحظ تأثير المعاملة الحرارية على تجانس المسبوكة وكذلك شدة الحيود لطور الكوبلت،إضافة إلى ازدياد قيم الخواص المغناطيسية مثل القوة القهرية (H_C) مع كثافة الفيض المتبقي (B_r) .

ج- من خلال إجراء عملية الدرفلة على البارد ثم المعاملة الحرارية للنماذج المصنعة فقد لوحظ ازدياد قيم الخواص المغناطيسية أيضا نتيجة لإزاحة مواقع الذرات .

د- نتائج الفحوص المغناطيسية تؤكد أن السبيكة المحضرة ذات سلوك فيرو مغناطيسي يمكن أن تصنف ضمن مجموعة المغانط الصلدة.

جدول (1) نتائج التحليل للعناصر الكيميائية

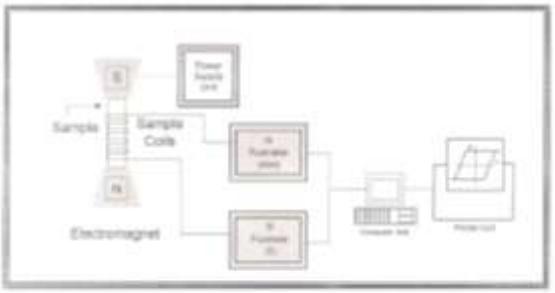
Elements	(1) Wt.%	(2) Wt.%
Fe	37.9	38
Co	51.6	51
V	10.2	11
Others	A l 0.03 , Si 0.2, S0.05	……..

(١) التحليل بواسطة تقنية فلورة الأشعة السينية.

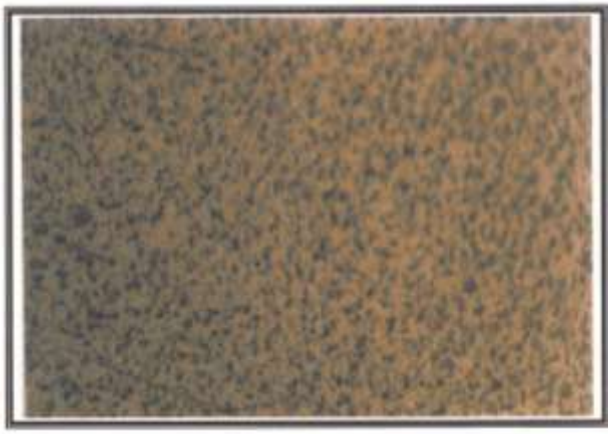
(٢) المحتويات القياسية [3,1].

جدول (2) يوضح نتائج الفحوصات المغناطيسية لسبيكة الفايك

رقم النموذج	نوع النموذج	المغناطيسية المتبقية (B_r) (كاوس)	المغناطيسية المتبقية (H_C) (اورستد)
1	قبل المعاملة الحرارية	3171-3200	47-55
2	بعد المعاملة الحرارية	8988-9005	286-296
3	عند عملية الدرفلة	5761-5800	149-152
4	المعاملة الحرارية للقطعة المدرفلة	9045-9079	396-405
5	المواصفات القياسية لسبيكة الفايك بدون درفلة [3,1].	9000	300



شكل (1) المخطط التصميمي لمقاومة اختبار الخواص المغناطيسية



(3-b) المعاملة حراريا عند ($1100C^{o}$)

الشكل (3) يوضح تأثير المعاملة الحـرارية على البنية المجهرية لسبيكة الفايك المغناطيسية (X=200)

(4-a) المعاملة حراريا عند ($1000C^{o}$) للنموذج مختزل الى النصف

تحديد المواصفات المغناطيسية القياسية

↓

تهيئة المواد الأولية

↓

عمليات الصب والصهر (السباكة)

↓

الفحوصات والاختبارات

↓

عمليات الدرفلة

↓

الفحوصات المغناطيسية Hc.Br

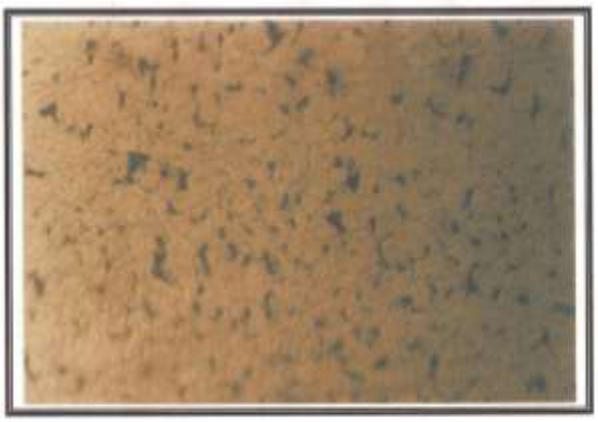
↓

المعاملة الحرارية

↓

الفحوصات المغناطيسية Hc.Br

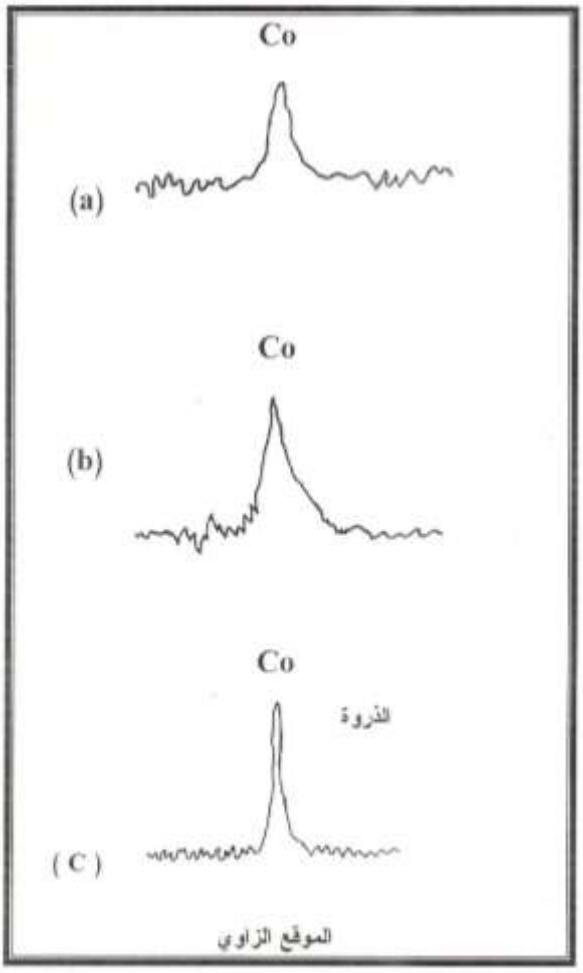
شكل (2) المسلك التكنولوجي لعمليات تصنيع سبيكة الفايك المغناطيسية



(3-a) المعاملة حراريا عند ($850\ C^{o}$)

(4-b) المعاملة حراريا عند ($1000C^{o}$) لنموذج مختزل لاقل من النصف

الشكل (4) : يوضح تأثير المعاملة الحرارية على البنية المجهرية لسبيكة الفاناك بعد عملية الدرفلة (X = 200)



شكل (5) نتائج فحوص حيود الأشعة السينية

(a):قبل أجراء المعاملة الحرارية للمصبوبة
(b): بعد أجراء المعاملة الحرارية للمصبوبة
(c):بعد أجراء المعاملة الحرارية للقطع المدرفلة

المصادر

1- Heck, C; Magnetic Materials and their Applications, (1989).
2-Crangle.J;The Magnetic Properties of Solid,(1992).
3-Hadfield.D;Permanent Magnets and Magnetism, (1999).
4- Bates .L.F.; Modern Magnetism,|(1997).
5- Berkowitz. A.E.; Magnetism and Metallurgy, (1996).
6- Molotski.M. and Fleurov .V.;Journal of Applied Chemstry,Vol.B104,P3812,(2002).
7- Jartych. E and Zurawicz, J.K.; Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Vol.208, P221, (2000).
8- Srinivasan .T.T.,Cross .L.E. and Roy .R.;Journal of Applied Physics ,Vol.63 ,No. 8,P 3798,(1988).
9- Chikazumi .S , Mizoguchi. N and Yamaguchi, N; Journal of Applied Physics ,Vol.39,P939,(1986).

Prepared and Study the Effect of Heat Treatment on the Physical and Magnetic Properties of Magnetic Vicalloy

Ishmaeal K. Jassim[1] , Ghassan A. Naeem[2]

[1] *Department of Physics, College of Education, Tikrit University , Tikrit , Iraq*

[2] *Department of Physics, College of Education, Al-Anbar University , Ramadi , Iraq*

(**Received:** 11 / 11 / 2008 ---- **Accepted:** 27 / 4 / 2010)

Abstract

The aim of this work is studying the preparing ferromagnetic Vicalloy for the Ternary system (Fe-Co-V) using Casting method. The effect of heat treatment on the physical properties and Rolling on the magnetic properties also have been found after heat treatment at (1100 ^{o}C) and also show good agreement with stander specifications. The heat treatment after cold rolling leads to increase the intensity of X-ray diffraction for cobalt peak. It seems that because of removing the internal stresses, which causes to increase in the magnetic properties.