تحضيـــر ودراســـة الخـواص الفيزيائيـة لسبيكـة الفايك المغناطيسية وتأثير المعاملة الحرارية عليها

د. اسماعيل خليل جاسم – د. نبيل نعيم رمو

وزارة العلوم والتكنولوجيا – دائرة علوم المواد

الخلاصة

ان عملية تصنيع المغانط الدائمة هي أحد العمليات التكنولوجية الهامة التي تدخل في حقول مختلفة من الصناعات الكهربائية ولها مجالات تطبيقية مختلفة.

يتنـاول البحـث تحضيـر مغانط مختبريـة من سبيكة الفايـك المغناطيسية (Vicalloy) بطريقـة السباكة ودراسة خواصها الفيزيائية والمغناطيسية.

تم أجراء صهرتان باستخدام شحنة مكونة من الحديد والكوبالت والفناديوم وبنسب وزنية معينة (V10% , Co 52% , Fe 38%). أكدت الفحوصات المجهرية والقياسات المغناطيسية وتحاليل العناصر الكيميائية لعدد من النماذج قبل وبعد المعاملة الحرارية بانها ناجحة ومشجعة ، حيث تطابقت الخواص المتحصلة مع ما هو مطلوب من المواصفات القياسية.

تم دوفلة السبيكة المحضرة على البارد وبنسبة اختزال (50%) من السمك الأصلي وبعد أجراء المعاملة الحراريـة والمغنطـة ، لوحظ ازدياد قيم الخواص المغناطيسية بازدياد نسبة الاختزال.

المقدمة

ان طبيعة المغناطيسية التي تبرزها مجموعـة المعـادن الانتقالية ومن بينها الحديد والكوبلـت والنيكـل (Transition Metals) تأتي أساسا لدوران عزومها المغناطيسية للإلكترونات في ذراتها. ان هذا الدوران يحدث مجالا مغناطيسيا مثـل الـذي يحدثه مرور الإلكترونات في ملف لتوليد التيار الكهربائي [1].

تسمـى السبائك التـي تحتـوي على معـدلات النسب للعناصر الانتقالية (Fe , 36-62%Co 5 15 %V %52-30) بسبائك الفايك (Vicalloy) ، والتي يستفاد منها بصناعة المغـانط الدائمة [2 ، 3]. تتميـز هـذه السبائك بارتفـاع القـوة القهريـة لهـا (Coercive Force) مـع قيمـة القونيـة المغناطيسية (Permeability) واحتفاظها بالخواص المغناطيسية عند ارتفاع درجات الحرارة اكثر من سبائك الالنيكو (Alnico) [3].

ان طبيعة المغناطيسية في سبائك الفايك ناشئة عن وجود عدد من العزوم المغناطيسية (Magnetic moments) خـلال الشبكة البلورية لعناصر الحديد والكوبالت والتـي تكون مولزية لبعضها البعض عند مغنطتها مما تؤدي في النهاية الى تكـوين سبائك فيرومغناطيسية يمكن ان تستعمل فـي صـناعة المغـانط الدائمة [4 ، 5].

ان سبب إضافة الفناديوم الى سبائك الفايك هو عامل مهم في تصغير الحجم الحبيبي حيث ان إضافة نسبة قليلة منه تحد او تمنع من النمو الحبيبي الذي يعتبر عاملا مؤثرا على قلة الخواص المغناطيسية. كما ان إضافة الفناديوم له دور مهم فـي سـهولة التشغيل للسبائك المصنعة (Workable). ان نسبة الفنـاديوم المضافة لها دورا مؤثرا على الصفات المغناطيسية فاذا كانت اقل من (5%) فان السبائك تصبح مولد مغناطيسية مؤقتـة (Soft Magnet) ، اما اذا كانت النسبة اكبـر لحد (10 13%) فانهـا ستكـون مـواد مغناطيسية صلدة دائميـة (Hard Magnet) ، في حين تكون سبيكة الفايك غيـر مغناطيسية اذا كانـت نسبة الفناديوم اكبر من (15%) [6 ، 7].

تمتاز المواد المغناطيسية اللينة (Soft) بانها تمتلك نفاذية مغناطيسية عالية (Permeability) وهذه الخاصية يعبر عنهـا بالقيمة ($\mu = B/H$). وكذلك تمتاز بقوة قهرية (Hc) منخفضة ويمكن مغنطتها وازالة المغنطة عنها بسهولة. وتستعمل في قلوب المحولات ودوائر الاغلاق المغناطيسية [1، 3]. ويمتاز منحنـي التخلف المغناطيسي لها بانه حاد الصعود وذو نفاذية عالية وعادة تكون المساحة الواقعة في منحني التخلف المغناطيسي صـغيرة بسبب انخفاض قيم القوة القهرية.

اما المغناطيس الصلد (Hard) او الـدائم فهـو يمتـاز باحتفاظه بالمجالات المغناطيسية ، وتكون مساحة منحني التخلف المغناطيسي واسعة نسبيا وتأخذ شكلا مربعا وانه يحتاج الى قوة ممغنطة (H) كبيرة للوصول الى تمغنط للتشبع للشدة المـصنعة [2].

ان المواد الفيرومغناطيسية تمتاز بتشبع مغناطيس كامـل (Saturation) عند الدرجات الحرارية المنخفضة ، امـا عنـد

ازدياد درجة الحرارة فان قيم تشقط التشبع تبدأ بالنقصان حتى تصبح صفرا ، وتسمى هذه الدرجة الحرارية التي تفقد عندها المادة المغناطيسية خصائصها بدرجة حرارة كوري (Tc) [4 , 5].

الدراسة الحالية تهدف الى تحضير سبيكة الفنيك (Fe- Co - V) بطريقة السباكة (Casting) ودراسة تأثير المعاملات الحرارية (Heat Treatment) على الخواص المغناطيسية و الفيزيائية للسبيكة المحضرة.

الجانب العملي

تم استخدام فرن ذات نوع (Induethotherm AC-) (5 Kg) (DC-AC) لسباكة في تحضير عدة صهرات لنسب وزنية معتمدة ، حيث أجريت جميع عمليات الصهر في بوتقة سيراميكة مع مراعاة الخلط الجيد للصهر. تم صب المنصهر في قالب رملي بشكل اسطوانة حيث تم الحصول على اقراص بقطر (5 cm) ، وارتفاع (1 cm). كما قطعت نماذج مختلفة لأجراء الفحوصات المجهرية والمغناطيسية والتركيبية. الصلادة الميكانيكية تم قياسها باستخدام جهاز روكويل (HRC) لكافة العينات.

اما البنية المجهرية فأجريت عمليات اولية متتالية تشمل الصقل والتلميع ثم الإظهار (Etching) للنماذج المصنعة ، ثم فحصت العينات بالمجهر الضوئي نوع لنز (Leitz) والتقطت الصور الفوتوغرافية من خلال كاميرة مرتبطة بنفس المجهر الضوئي.

اما فحوصات تحليل العناصر الكيميائية فقد استخدمت تقنية فلورة الأشعة السينية (XRF) وقد ظهر تطابق كبير لنسب العناصر التي تم سباكتها مع المواصفات القياسية.

قيم الفحوصات المغناطيسية لنماذج سبيكة الفنيك تم تحديدها من خلال حلقات الهستريا (Hystricis) ، حيث تم تحديد قيم القوة القهرية المغناطيسية (Hc) مع قيم الفيض المغناطيسي المتبقي (Br). الشكل (1) يوضح أجزاء المنظومة المغناطيسية المستخدمة لفحص الخواص المغناطيسية.

اما عملية الدرفلة (Rolling) للنماذج المصنعة فقد تمت بتسخين الاقراص في فرن المقاومة الكهربائية الى ($C^0$1100) ، ثم درفلت المسبوكة عدة مرات لحين اختزال سمكها الى 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 الاولى رفع درجة الحرارة الى ($C^0$1100) وبصعود (C^0 /min10) مع ترك النماذج لفترة نصف ساعة للمعاملة الحرارية ، يتبعها التبريد السريع (Rapidly) بمعدل (C^0 /hr 100) الى درجة حرارة الغرفة داخل الفرن. اما بالنسبة للقطع المدرفلة (Rolled Vicalloy) فأجريت المعاملة الحرارية لها بالتسخين السطحي وبصعود (C^0 / min 10) الى (1000 C^0) خلال فترة ابقاء ساعة واحدة ، ثم التبريد البطيء بنفس المعدل للنماذج خلال الصعود داخل الفرن.

الشكل (2) يوضح المسلك التكنولوجي لعملية تصنيع المغانط الى سبيكة الفايك.

النتائج والمناقشة

أكدت نتائج الفحوص التركيبية التي تم اجرائها 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 في الوزن قبل وبعد عملية السباكة. النتائج موضحة في الجدول رقم (1).

اما نتائج فحوص البنية المجهرية (Microstructure) فيمكن ملاحظتها من الشكل (3). يوضح الشكل (3-a) البنية المجهرية للمسبوكة المعاملة حراريا عند ($C^0$850) ، اذ يلاحظ بان عملية الانتشار واضحة وبصورة متجانسة في الحالة الصلبة (Solid Solution) وان هناك ترابطا قويا بين عناصر المسبوكة.

كما لوحظ من البنية المجهرية وجود طورين مما يشير الى ان السبيكات ذات بنية تركيبية حديدية. الطور الأول هو نوع (α bcc) ، في حين الطور الثاني نوع (γ Fcc). ان هذه الأطوار الناتجة تعتمد بصورة رئيسية على معدلات درجات التبريد. كما يتضح ايضا من البنية المجهرية ربما وجود طور اخر نوع ($_2\alpha$ bcc).

اما عند أجراء المعاملة الحرارية عند ($C^0$1100) 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. ان هذا التوزيع المنتظم لبنية المجهرية قد أدى الى زيادة الخواص المغناطيسية والفيزيائية للنماذج المعاملة حراريا كما يلاحظ من الجدول (2).

ولغرض الحصول على سبيكة مطيلية (Ductile) فقد تم درفلة المسبوكة (Cold Rolling) الى عدة مرات على ان تم اختزال سمكها الى النصف وذلك لاعتبار الاستمرار في اجراء

عملية الدرفلة اكثر لظهور تشققات في السبيكة. الشكل (4-a) يوضح البنية المجهرية للسبيكة المدرفلة بعد أجراء المعاملة الحرارية المناسبة. لقد لوحظ بان البنية المجهرية قد اصبحت بصورة كاملة حديدية (Ferretic) مع حجم حبيبي صغير جدا ، مما ادى الى زيادة قيم الخواص المغناطيسية الموضحة في الجدول رقم (2). اما الشكل (4-b) فهو يمثل البنية المجهرية لمقطع اخر للنموذج المدرفل على البارد لاكثر من النصف. لقد لوحظ حدوث بدايات الى التكسر (Fracture) مع انتشار ظاهرة الانعزال البلوري والتي يعتقد بانها تزداد مع ازدياد عملية الدرفلة الى اكثر من النصف.

ان النتائج المستحصلة لقيم الفحوص المغناطيسية للقطع المختبرية المحضرة وبعد اجراء عملية الدرفلة تتطابق تماما مع ما تم استنتاجه للباحث (Chikazumi) ومجموعته [9] ، لدراسته تأثير المعاملة الحرارية والدرفلة على البارد لسبيكة الانفار (Invar Alloy) نوع (Fe-Ni) الحاوية على نسبة (Ni %36) ، حيث لوحظ ارتفاع قيم الخواص المغناطيسية والمقاومة التوعية عند أجراء عملية الدرفلة بصورة كاملة وقد أوضح السبب الى الازاحة الذرية لمواقع الذرات (Dislocation) نتيجة الاجهادات الداخلية (Internal Stresses) محدثة الاهتزازات بين مواقع الذرات.

ان قيم الفحوص المغناطيسية الموضحة في الجدول رقم (2) ومنها كثافة الفيض المتبقي (Br) والقوة القهرية (Hc) تزداد زيادة ملحوظة بعد المعاملة الحرارية والدرفلة على البارد ، وهي تتطابق تماما مع النتائج القياسية للمواصفات العالمية [1، 3]. ان هذا التطابق دلالة على صحة المسلك التكنولوجي المتبع لتحضير واعداد سبيكة الفايك المغناطيسية. كما يتضح من الجدول رقم (2) ومن خلال قيم النتائج للفحوص المغناطيسية بان سبيكة الفايك المحضرة هي ذات مسلوك فيرومغناطيسي 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 اية معاملة حرارية تساوي (40 ± 2 HRC)) ، لكن سرعان ما تزداد قيم الصلادة عند ارتفاع درجات الحرارة للمعاملة الحرارية لتصل قيمها العظمى عند ($C^0$1100) حيث تساوي (55 ± 2 HRC) ، بعدها تنخفض قيم الصلادة مع ارتفاع درجات الحرارة فوق ($C^0$1100). ان النتيجة المستحصلة تتفق مع ما استنتجه الباحث (Srinivason) ومجموعته عند دراسته لنظام الثلاثي (Fe – Ni – Co) بعد أجراء المعاملة الحرارية بدرجات حرارة عالية وخلال عمليات تعتيق (Aging) بأزمان مختلفة [8]. لقد استنتج الباحث بان ظهور الطور (FeNi3) بالدرجات الحرارية العالية ($C^0$1300) مع وجود بقية مجهرية غير متجانسة للحبيبات تؤدي الى انخفاض قيم الخواص الفيزيائية و المغناطيسية للسبيكة التي قام دراستها.

من خلال النتائج المستحصلة أعلاه يبدو بان المعاملة الحرارية المناسبة لسبيكة الفايك المحضرة لغرض الحصول على خواص مغناطيسية وميكانيكية جيدة هي عند ($C^0$1100) وهذا ما يتطابق تماما مع قيم المواصفات القياسية للفحوصات المغناطيسية [1 ، 3].

اما تجارب فحوص حيود الأشعة السينية (XRD) فهي الاخرى قد أوضحت زيادة في شدة قمة الكوبالت باختلاف عمليات الدرفلة والمعاملة الحرارية كما في الشكل (5). حيث يلاحظ في الشكل (5-a) ان شدة الحيود واطئة الى العينة المسبوكة. اما بعد اجراء المعاملة الحرارية كما في الشكل (5-b) فقد حدث تحسن نسبي في الشدة بسبب ازالة الاجهادات. اما الشكل (5-c) فيمثل اجراء المعاملة الحرارية للقطع المسبوكة بعد الدرفلة على البارد ، حيث لوحظ تحسن واضح في شدة الحيود مما يدل على ازالة الاجهادات واحتمالية وجود توجه تفضيلي للحبيبات والذي يعتقد هو السبب في تحسن الخواص المغناطيسية للنماذج المدرفلة والمعاملة حراريا.

الاستنتاجات

أ-تمت دراسة النظام الثلاثي لسبيكة الفايك المغناطيسية المتكونة من عناصر (Fe – Co-V) والتي شملت تحضير السبيكة ودراسة بنيتها المجهرية والتركيبية وموا صفاتها المغناطيسية.

ب-لوحظ تأثير المعاملة الحرارية على تجانس المسبوكة وكذلك على شدة الحيود لقمة الكوبلت ، إضافة الى ازدياد قيم الخواص المغناطيسية مثل القوة القهرية (Hc) مع كثافة الفيض المتبقية (Br).

ج-من خلال أجراء عملية الدرفلة على البارد ثم المعاملة حراريا للنماذج المصنعة فقد لوحظ ازدياد قيم الخواص المغناطيسية ايضا نتيجة لازاحة مواقع الذرات.

د-نتائج الفحوص المغناطيسية تؤكد بان السبيكة المحضرة ذات مسلوك فيرومغناطيسي ويمكن ان تصنف ضمن مجموعة المغانط الصلدة.

جدول (2) يوضح نتائج الفحوصات المغناطيسية لسبيكة الفايك

رقم النموذج	نوع النموذج	المغناطيسية المتبقية Br (كاوس)	المغناطيسية القهرية (أورستد) Hc
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 [1 , 3]	9000	300

المصادر العلمية

1-Heck. C ; Magnetic Materials and their Applications , Jhon Wiefly and Sons , New York , (1989).

2-Crangle. J ; The Magnetic properties of Solids , Willmer Brothers Limited , London , (1992).

3-Hadfield.D ; Permanent Magnets and Magnetism , Pentech press , London , (1999)

4-Bates. L.F ; Modern Magnetism , Edward Company . London , (1997) 5-Berkowitz. A.E : Magnetism and Metallulgy , Addison – Wesley , London , (1996).

6-Molotski. M.and Fleurov.V ; Journal of Applied chemstry , vol B104 , p 3812 (2002).

7-Jartych. E and Zurawicz , J.K ; Journal of Magnetism and Magnetic Materials , vol 208 , p 221 (2000).

8-Srinivasan. T.T , Cross.L.E and Roy.R ; Journal of Applird physies , Vol 63 , No 8 , p 3789 (1988).

9-Chikazumi.S , Mizoguchi. N and Yamaguchi , N ; Journal of Applied physics , vol , 39 , 939 (1986).

Abstract

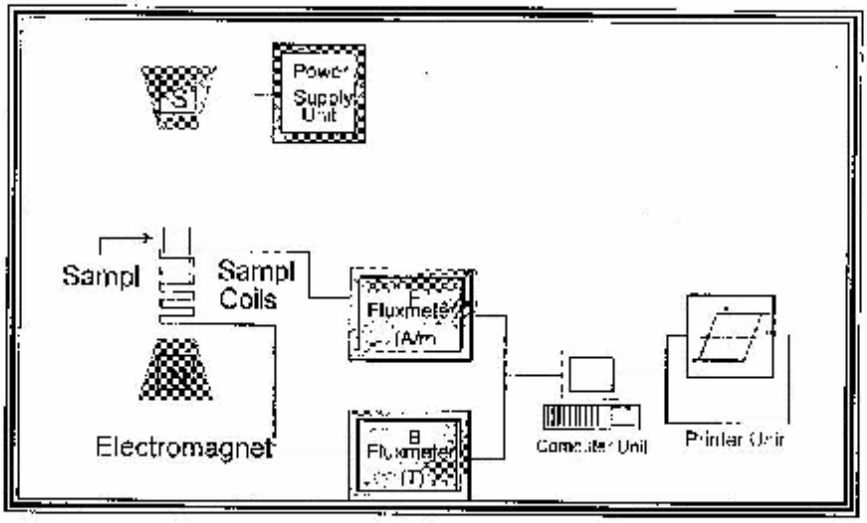
The aim of this work is studying the preparing of ferromagnetic Vicalloy (Fe-Co-V) using Casting method . The effect of heat treatment on the physical properties and the effect of cold Rolling on the magnetic properties also have been studied. The magnetic properties prove that the best results had been found after heat treatment at (1100C^0) and also show good agreement with standard Specifications. The heat treatment after cold rolling leads to increase the intensity of X-ray diffraction for cobalt peak. It seems that results because of removing the internal stresses, which causes an increase in the magnetic properties.

جدول (1) : نتائج التحليل للعناصر الكيميائية

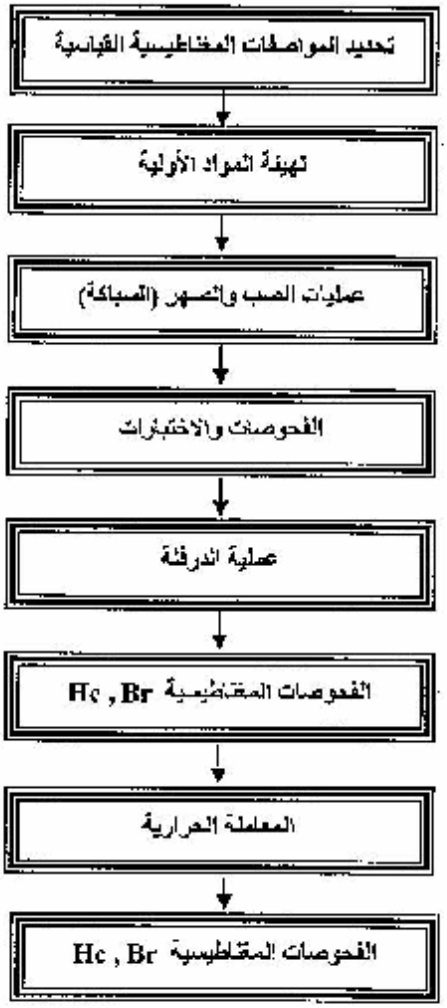
(1)التحليل بواسطة تقنية فلورة الاشعة السينية

(2) المحتويات القياسية [3 , 1].

Elements	(1) Wt%	(2) Wt%
Fe	37.9	38
Co	51.6	51
V	10.2	11
Others	Al 0.03 , Si 0.2 , S 0.05	....

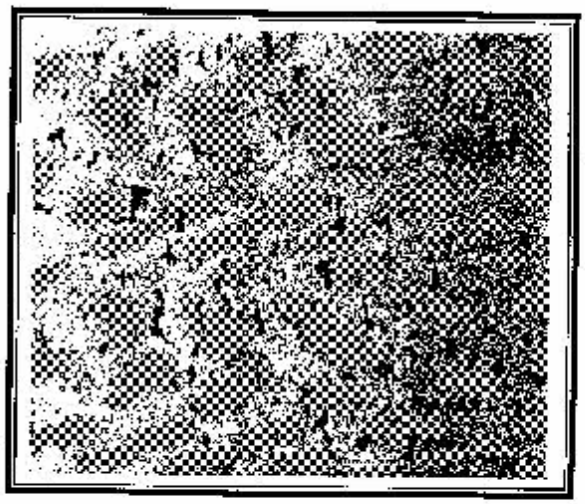


شكل (1) المخطط التفصيلي لمنظومة اختبار الخواص المغناطيسية

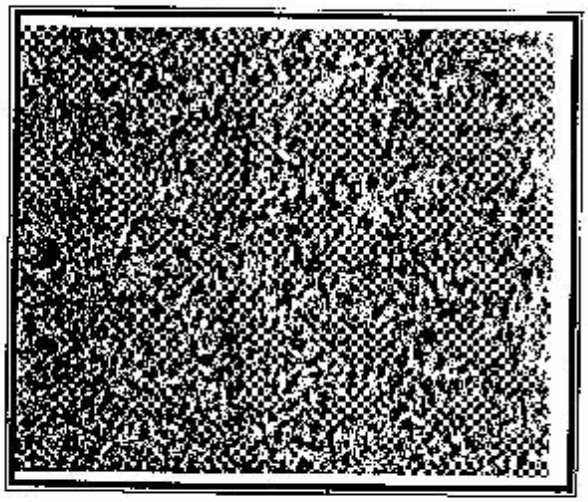


شكل (2) المسلك التكنولوجي لعمليات تصنيع سبيكة

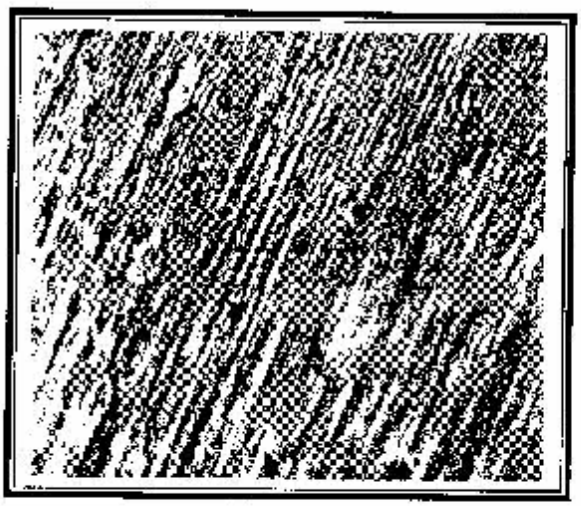
الفايت المغناطيسية



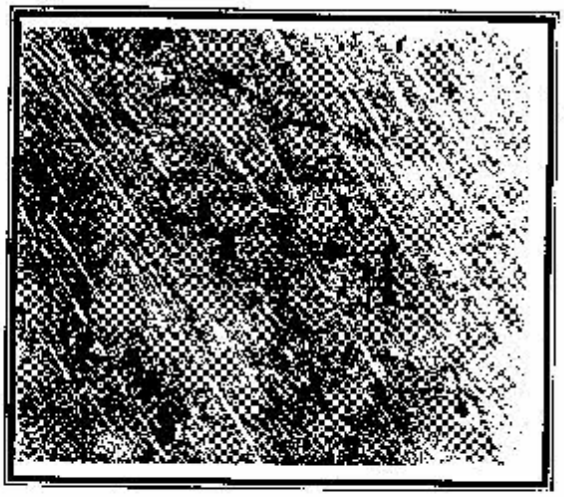
(3-a) المعاملة حراريا عند ($850\ C^0$)



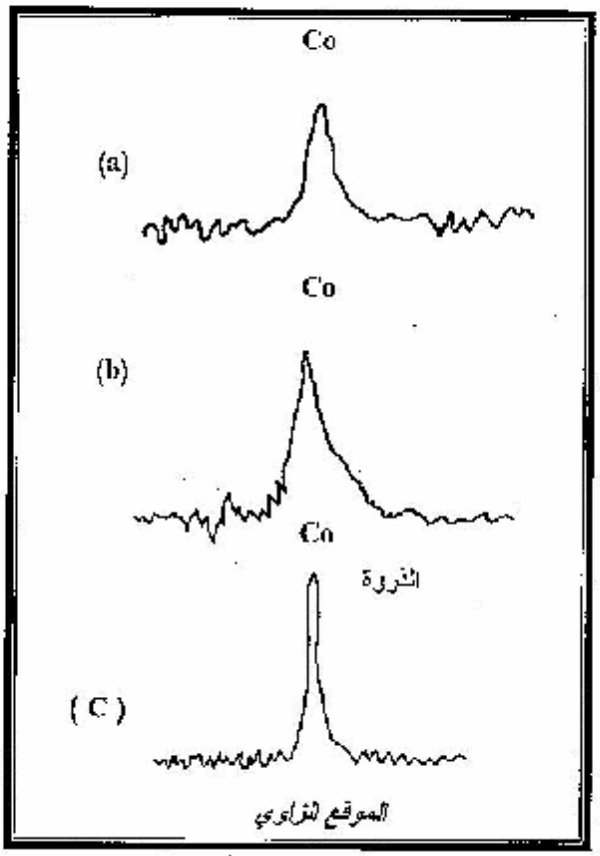
(3-b) المعاملة حراريا عند ($1100C^0$)



(4-a) المعاملة حراريا عند ($1000C^0$) لنموذج مخزل الى النصف



(4-b) المعاملة حراريا عند ($1000C^0$) لنموذج مخزل اكثر من النصف



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