دراسة تاثير المعاملات الحرارية الكيميائية السطحية على الخواص الميكانيكية لفولاذ (40 Cr)

أ.م.د.امين دواي ثامر* دراسة
تاريخ التسلم: ٢٠٠٧/١٢/٥
تاريخ القبول: ٢٠٠٨/١/٣١

الخلاصة:

في هذا البحث تم اجراء محاولات تحسين الخواص الميكانيكية للفولاذ المنخفض السبائكية (DIN40Cr) باستعمالالمعاملات الحرارية الكيمياوية السطحية وهي الكربنة،النتردة،والكربونتردة .تم ايضا اجراء تقسية بالزيت من درجة حرارة ٨٦٠ م° تتبعها مراجعة بدرجة حرارة ٥٠٠ م° . تم اجراء عملية الكربنة بدرجة حرارة ٩٠٠-٩٥٠ م° لمدة ٣ ساعة .ثم اجراء عملية النتردةبدرجة حرارة٥٧٠ م° لمدة ١,٥ ساعة. ثم اجراء عملية الكربونتردة بدرجة حرارة ٨٤٠ م° لمدة ٣ ساعة. تم اجراء الفحوصات المجهرية واختبارات الشد، الصلادة والصدمة. اظهرت النتائج ان عمليات الكربنة النتردة والكربونتردة تؤدي الى تحسين الخواص الميكانيكية للفولاذ المنخفض السبائكي كما اظهرت النتائج ان عمليات التقسية والمراجعة تؤدي الى تحسين الخواص الميكانيكية بصورة افضل من عمليات الكربنة، النتردة والكربونتردة.

Study the effect of the chemical heat treatments on mechanical properties steel (40 Cr)

Abstract

This work deals with improvement of the mechanical properties of low alloy steel (DIN 40 Cr) using surface thermochemical heat treatments ,Carbonizing, Nitriding, and Carbonitriding. Carborizing processes were performed at 900 – 950 C° for 3hrs. Nitriding processes were performed at 570C° for 1.5 hrs. Carbonitriding processes were performed at 840 C° for 3hrs. Some specimens were oil quenched at 860 C° followed by tempering at 500 C°. The microstructure, tensile, hardness, and impact tests were measured. The results showed that Carbonizing, Nitriding, and Carbonitriding processes caused improvement of mechanical properties of low alloy steel. However specimens that were subject to quenching and tempering had better mechanical properties than specimen that were subject to carbonizing, Nitriding, and carbonitriding.

المقدمة :

المعاملات الحرارية الكيميائية السطحية ، هي اشباع السطح الخارجي للمعادن والسبائك باحد العناصر السريعة الانتشار بطريقة بينية اواستبدالية بتاثير درجة الحرارة والزمن كالكربنة والنتردة وهي اشباع السطح الخارجي للفولاذ بالكاربون والنتروجين بطريقة بينية امالطريقة الاستبدالية فهي اشباع السطح الخارجي باحد العناصرالتي تستبدل مواقع ذرات العناصر المراد اشباعها بالعنصر الجديد كاشباع الفولاذ بالكروم او الالمنيوم اوالتيتانيوم مع تاثير درجة الحرارة والزمن ايضا [١،٢،٣] .

ان لهذه الطرق الانتشارية البينية والاستبدالية في المعاملات الحرارية الكيميائية السطحية تاثير على التحولات الطورية مما يؤدي الىظهوركاربيدات العناصر على السطح عند الكربنة **($M_{23}C_6$, M_7C_3, M_6C)** اونتريدات العناصر(**M_2N, M_3N,M_4N**)عند النتردة وهذه الاطوارالكاربيدية و النتريدية تؤدي الى زيادة الصلادة ومقاومة الشد وانخفاض المطيلية او نتريدات وكاربيدات العناصر عند عملية الكاربونتردة . ولها ايضا تاثير في تحسين الخواص الميكانيكية للفولاذ [٦،٧،٨] .

ان المعاملات الحرارية الكيميائية السطحية (الكربنة ، والنتردة، والكاربونتردة) لها تطبيقات هندسية كثيرة كاستخدامها في تحسين الخواص الميكانيكية للدرافيل ، اجزاء نقل الحركة (الدشالي) ، المحاور القلابة ، عدد القطع بكافة انواعها . لذا كان هدف البحث دراسة تاثير هذه

https://doi.org/10.30684/ etj.26.8.15
University of Technology-Iraq, Baghdad, Iraq/2412-0758
This is an open access article under the CC BY 4.0 license http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

العمليات والوقوف على التحسينات التي تظهرها على الخواص الميكانيكية [٤،٥،٦].

الجزء العملي:

المواد والادوات المستخدمه وطريقة التعامل الحراري الكيميائي السطحي

١- نماذج من الفولاذ السبائكي 0.٤٠Cr والذي تحليله الكيميائي C % 0.4 ،Mn% 0.6 Cr % ١ ، Ni ٠,٣%وتم تحليله في شركة نصر للصناعات الميكانيكيةوحسب المواصفات الالمانية القياسية(DIN)

٢- تم تقطيع العينات بالابعاد المضبوطة : -

- mm^3 (4*10*9) لغرض فحص التردّ ، المجهري واستخدمت نفس العينات لفحص الاطوار بواسطة الاشعه السينيه (X-ray)

- تم تحضيرعينات لاختبار الشد قياسية وحسب المواصفات القياسية(ASTM) كما في الشكل رقم (1-a-)

- عينات لاختبار الصدمه بطريقة ايزو وحسب المواصفات القياسية(ASTM) كما في الشكل رقم (1-b-)

٣ - الكربنه السائلة

يتكون الحمام الملحي من (٧٥- ٨٥)% كاربونات الصوديوم ، ١٠ % كلوريد الصوديوم و٥%من كاربيد السليكون يتم خلط المركبات من درجة حرارة الغرفه وتسخينها الى درجة حراره تتراوح بين(٨٨٠- ٩٥٠) م° ولمدة (٣) ساعات وعند ثبوت درجه الحراره توضع الاجزاء المراد كربنتها في سله حديديه ثم تغمر في المحلول الملحي في الفرن وهي ما تسمى بطريقه الكربنه السائلة.

٤ - الكاربونتردة السائلة

يتم اضافة كلوريد الامونيوم بنسبة (٣ % - ٥ %) الى الاملاح المستعمله في الكربنه السائله(يتكون الحمام الملحي من (٧٥- ٨٥)% كاربونات الصوديوم ، ١٠ % كلوريد الصوديوم و٥%من كاربيد السليكون) .وينصهر الحمام الملحي مع كلوريد الصوديوم وتغطس العينات جميعها في المنصهر و تؤدي الى توليد النتروجين الذري حيث تتم عملية انتشار الكربون والنتروجين في سطح الفولاذ وهذا مايدعى (كاربو نتردة) اجريت عند درجة حرارة (٨٤٠- ٨٦٠) م° لفترة زمنية ٣ ساعات في فرن من نوع (HMFh-PID-Carbolite)انكليزي المنشاء وهو موجود في مختبر المعاملات الحرارية في قسم هندسة الانتاج والمعادن

٥ - النتردة السائلة

لاجراء نتردة لفولاذ نوع (Cr ٤٠) يجب اجراء معامله حراريه مسبقه لهذا النوع من الفولاذ اذ يتم تسخينه الى درجة حراره (٨٨٠) م° وتقسيته بزيت(زيت خاص بالمعاملات الحرارية) ثم اجراء عملية مراجعه عند درجة ٦٥٠ م° وتبريده في الهواء ثم تجري عملية النتردة السائلة للعينات المحضرة لتجارب فحص الشد وفحص مقاومة الصدمة والعينات المحضرة للفحص المجهري وهي نفسها محضرة لتحليل حيود الاشعة السينية (X-ray) في ان واحد . حيث وضعت العينات بعد تنظيفها من الاكاسيد في فرن درجة حرارته (٣٥٠) م° بعد تغليفها باسلاك للتخلص من الرطوبة وازالة الزيوت والاوساخ وتركت عند هذه الدرجة لمدة (30 min) ثم نقلت العينات الى فرن يحتوي على مصهور الحمام الملحي للنتردة السائلة والمسخن الى درجة حرارة (٥٧٠) م° وقد استخدمت املاح يوغسلافية التي هي سيانيد الصوديوم (٦٠-٧٠)% وسيانيد البوتاسيوم (٣٠-٤٠) % وبمساعدة عامل منشط [NH4Cl] الذي يعجل من عملية تحرير النتروجين الذري ولمدة (90min) وبعد ان اكتملت العملية بعد الفترة الزمنية المحددة للغمر سحبت من الحوض وتم تبريدها في الهواء.

٦- تحضير العينات

اخذت مقاطع من العينات المصلدة ثم اجريت لهاعمليات اسناد على الساخن. ثم اجريت عمليات التنعيم باستخدام ورق تنعيم (٢٢٠،٣٥٠،٥٠٠،١٠٠). بعد ذلك صقلت بواسطة الالومينا [AB.ALPHA POLISHING AL2O3] وبحجم حبيبات (٠,٥) مايكرون وغسلت العينات بالماء والكحول وخففت ، بعدذلك اجريت عملية اظهار بواسطة استخدام محلول (Nital) المتكون من ٩٨ % كحول نقي و٢ % حامض النتريك ثم اخذت الصور الفوتوغرافية لمعرفة التركيب المجهري .

٧- اخذت نفس العينات المحضرة بالفقرة (٦) واجريت لها الفحص بالاشعة السينية (X-ray) لمعرفة الاطوار المتكونة بعد اجراء المعاملات الحرارية – الكيمياوية السطحية.

٨- الفحص بحيود الاشعة السينية

لغرض التعرف على الاطوار المتكونة تم استخدام حيود الاشعة السينية نوع

X-ray diffraction , type : Philips , 1050 / 7ID ذو قدرة (٤) كيلو واط الموجود في شركة المسح الجيولوجي للتعدين . ان معدن الهدف (Target) مصنوع من النحاس بطول موجي (Cuk_α) (μ=1.5405)الزاوية المستخدمة (10-90=٢Ø) . فقد تم معرفة الاطوار المعدنية من خلال نتائج حيود الاشعة السينية والذي يبين الاطوار الموجودة في الفولاذ المكربن والمنترد والكاربونتردة .

النتائج والحسابات

تم اجراء اختبارات الشد والصدمة لجميع العينات قبل اجراء عملية التصليد السطحي وبعد اجراء عملية التصليد وكذلك للعينات التي اجريت لها معاملة حرارية فقط .

١- اختبار الشد:

باستخدام جهاز الشد نوع (Instron 1195)انكليزي المنشأ تم تثبيت العينات قبل وبعد التصليد وكذلك العينات المعاملة حرارية فقط وسلطت عليها قوة مقدارها 50 KN

وقد اظهر الجهاز منحنيات العلاقة بين (القوة – التغير في الطول) (P-ΔL) الموضحة بالاشكال (٣ - ٧) وقد تم حساب المتانة عمليا ولجميع العينات من خلال حساب المساحة تحت المنحني(P-ΔL) لجميع المخططات ومن خلال العلاقة التالية

المتانة = عدد المربعات البيانية * مساحة المربع الواحد = N.M

معادلة (١)

وقد دونت النتائج في الجدول (١)

٢- اختبارات الصدمة :

تم اجراء اختبار الصدمة بواسطة جهاز فحص الصدمة من نوع (HECKRT)المانى المنشأ موجود في مختبر القطع في قسم هندسة الانتاج والمعادن على عينات قياسية اخرى قبل وبعد التصليد وبعد عمل الشق (الحز) المطلوب لاجراءهذا الاختبار في منتصف العينة وباستخدام جهاز (Izod) وقد اخذت قيمة الطاقة الممتصة (Kgf .m) من الجهاز مباشرة والتي تمثل المتانة (N . M) وقد دونت النتئج في الجدول رقم (٢)

٣- حساب قيمة الصلادة :

ا – تم حساب قيم الصلادة للعينات من خلال حساب المساحة تحت المنحني والمحصورة لغاية مقاومة الشد القصوى وقد دونت النتائج في جدول رقم (٣)

ب – بالاستعانة بالعلاقة المعروفة من المصدر (٦) الاتية :

رقم برينيل للصلادة (BHN) = مقاومة الشد القصوى / ثابت

معادلة (٢)

حيث ان قيمة الثابت للعينات غير المصلدة = ٥٠٠

وقيمة الثابت للعينات المصلدة = ٤٧٠

وحسب المصادر [١،٩]

تم حساب قيم الصلادة للعينات بهذه الطريقة ودونت النتائج في جدول رقم (٤)

٤ – التركيب المجهري للعينات :

من خلال دراسة وفحص التراكيب المجرية لجميع العينات تم الحصول على الصور الفوتغرافية الموضحة في الاشكال التي تبين التراكيب المجهرية للعينات الغيرمعاملة، المكربنة، النتردة، الكاربونتردة، المعاملة بالتقسية+المراجعة على التوالي كما في الشكل رقم (٢)

٥ – فحص حيود الاشعة السينية / (X - ray) لمعرفة الاطوار التي تكونت بعد المعاملات الحرارية الكيميائية السطحية كما في الاشكال (10,9,8)

النتائج ومناقشتها :

العينة الغير معاملةحراريا تركيبها المجهري عبارة عن الفرايت والبرلايت كما موضح بالشكل (٢ -أ-) بالنسبة للعينة المكربنة فان زيادة نسبة الكاربون في الاوستنايت المستقر مع وجود عنصر السبك الكروم يؤدي الى تكوين كاربيدات الكروم (Cr**23**C**6** ،Cr**7**C**3**) على السطح بعد التبريد مما يؤدي الى ازدياد قيم الصلادة ومقاومة الشد والمتانة كما هو موضح من التركيب المجهري شكل (٢ -ب-). وفحص الاشعة السينية شكل (٨) وجداول قيم الصلادة ومقاومة الشد والمتانة.

مع العلم ان معامل انتشار الكاربون في الفولاذ وسبائكه هو (٧,٧*$١٠^{-١١}$) سم^٢/ثا ومعامل انشار الكروم في الفولاذ وسبائكه هو (٥,١ * ١٠^{-12}) سم^٢/ثا عند مدى (٨٠٠-١٠٠٠) م°.[10]

للعينة المنترد : تتكون الطبقة المصلدة(المغطاة) بنتريدات (Fe**3**N, Fe4N Cr**2**N) وهذة الطبقة النتريدية تتكون نتيجة لانتشار النايتروجين في الطبقة الداخلية باتجاه الكروم وسرعة انتشار

النيتروجين اكبر من سرعة الكروم مع العلم ان معامل انتشار النتروجين في الفولاذ وسبائكه هو (٢,٥*١٠$^{-٨}$) سم^{٢}/ثا عند مدى درجة حرارة(٦٠٠-٧٠٠) م° ومعامل انتشار الكروم في الفولاذ وسبائكه هو (٥,١ * ١٠$^{-12}$) سم^{٢}/ثا. [10]

ونتيجة لقائهما تتكون نتريدات الكروم وتكون صلادة هذه الطبقة والمتانة الصدمية ومقاومة الشد اقل بقليل من نظيرتها الطبقة المكربنة ولكنها اعلى من الطبقة بطريقة الكاربونتردة كما في الشكل (٢ -ج-) والاطوار شكل رقم (٩).

أما بالنسبة للعينة المغطاة بطريقة الكاربونتردة وكما هوواضح من التركيب المجهري وفحص الاشعة السينية ووجود الاطوار الكاربيدية للكروم ونتريدات الكروم في آن واحد يؤدي الى اختلاف التركيب المجهري ويؤدي الى وجود اجهادات متبقية نتيجة اختلاف الاطوار. كما هو واضح في التركيب المجهري شكل (٢ -د-) وفحص حيود الاشعة السينية شكل (١٠).

اما العينة المعاملة حراريا فقط فان تفكك المارتنزايت يؤثر على خواص الفولاذ حيث حدث تغير كبير في الصلادة وازدياد مقاومة الشد القصوى والمتانة الصدمية الامر الذي يمكن تعليله بانخفاض الاجهادات المتبقية الداخلية وتحويل المارتنزايت الى مارتنزايت مراجع كما هو واضح في التركيب المجهري للشكل (٢ - هـ-).

الاستنتاجات والتوصيات :

١- في العينة المعاملة حراريا (تقسية + مراجعة) فان قيم المتانة ومقاومة الشد والصلادة سجلت قيم عالية وهذا راجع الى طبقة تركيب المارنتزايت المراجع. وترسيب كاربيدات الكروم وتقليل نسبة الاوستنايت المتبقي بالمراجعة.

٢- العينة المكربنة ادت الى تكوين الاطوار الكاربيدية للكروم في السطح وادت الى زيادة قيم المتانة والصلادة ومقاومة الشد وكانت القيم اعلى من نظيراتها للعينة المنتردة والكاربونتردة .

٣- العينة المنتردة ادت الى تكوين نتريدات الكروم وهي اقل بقليل من خواص الكربنة .

٤- يمكن استخدام طرق المعاملات الحرارية الكيميائية السطحية (كالكربنة والنتردة والكاربونتردة) لتحسين الخواص الميكانيكية.

واستخدامها في التطبيقات الهندسية الميتالورجية.

المصادر

١- Bolten W.,Engineering Materials Technology ,3rd Edition Betterwork Great Britain 1998.

٢- د. امين دواي ثامر " التصليد السطحي للعدد والادوات والمنشات باستخدام المعاملات الحرارية الكيمائية السطحية (الكرمنة ، النتردة) مقبول للنشر في مجلة التقني (٨-٤-١٩٩٩)

٣- د. منير عبد الواحد مجيد – روعة جميل " تاثير الكربنة والتقسية بالليزر على مقاومة البلى للفولاذ الكاربوني مجلة الهندسة والتكنولوجية ١٩٩٤

٤- د. عبد الرزاق خضير + د. منى خضير عباس + م.م خيرية سلمان تاثير الكربنة على عمر الكلال لفولاذ منخفض الكاربون مقبول للنشر في موتمر هيئة التعليم التقني العاشر٢٨-٢٩\٣\٢٠٠٧

٥- يسرى توما العمران "دراسة تاثير نتردة فولاذ على خواص الكلل" اطروحة ماجستير ٢٠٠٣ الجامعة التكنولوجيةاقسم هندسة الانتاج والمعادن

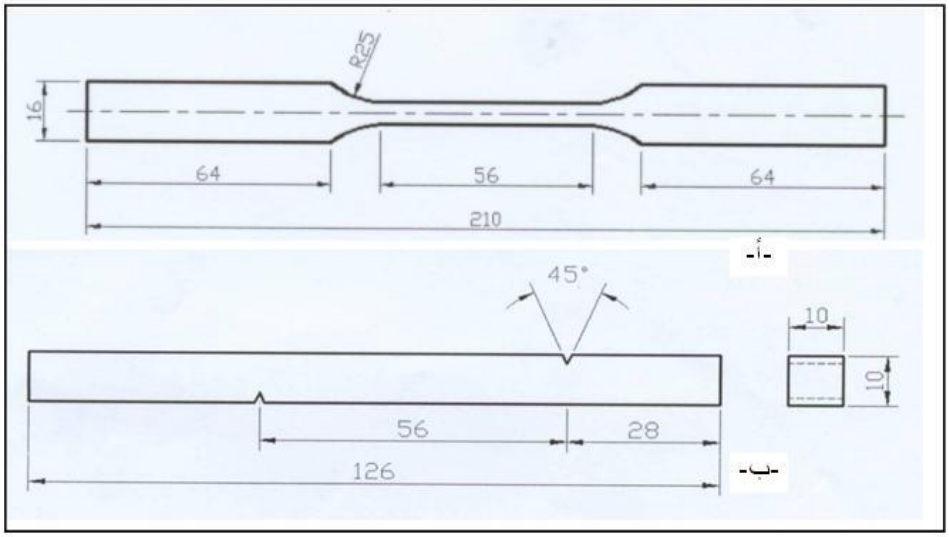
٦ -WWW.INTERNET. "Hardening of steel " seven Club of Great Britain ,L7C Home,(Blatechat) Edited Aprilg,2003.

7-Carburizing and Carbontrinding (Case Hardening) Chta Datasheet for Non –Heaters , Contact Heat Treatment Association Aston University ,UK,1996.

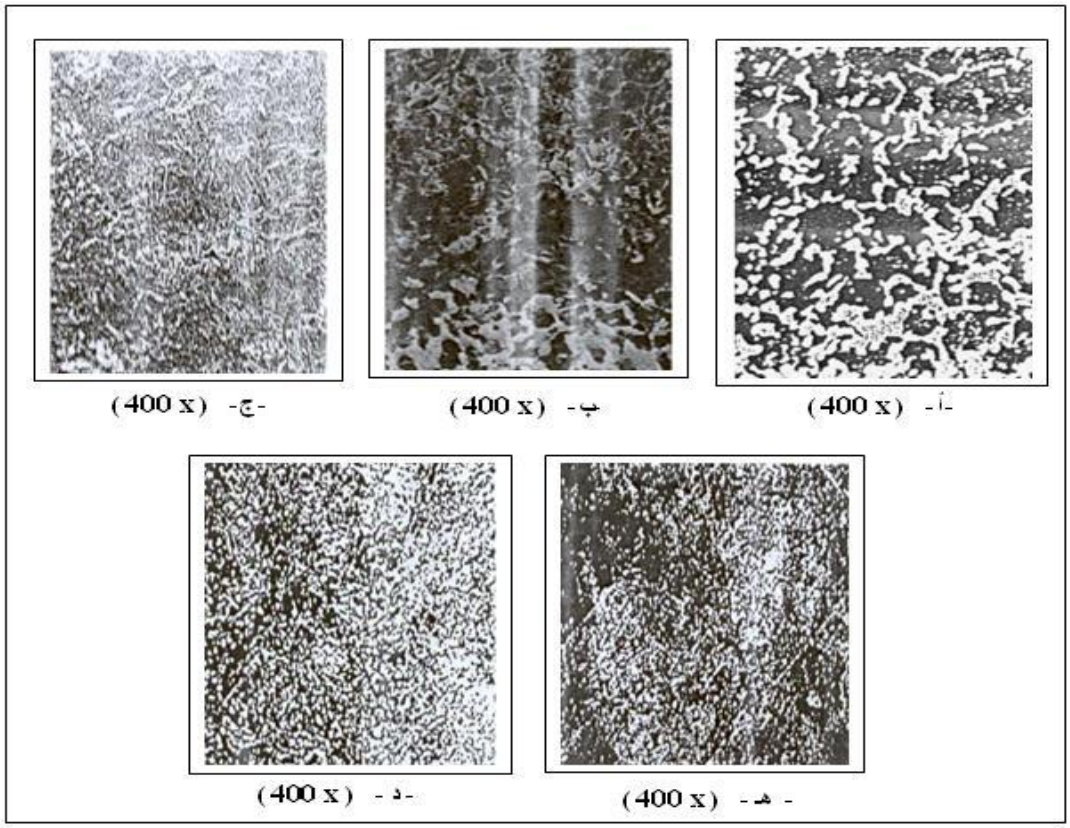
8-Knowledge Article from WWW.key.to steel.com ,"Carburizing", key to steel Data base,1999-2003 INI.

٩- د. جعفر طاهر الحيدري " الفحوصات الميتالورجية الهندسية " كلية هندسة المعادن والمواد جامعة البلقاء٢٠٠٤

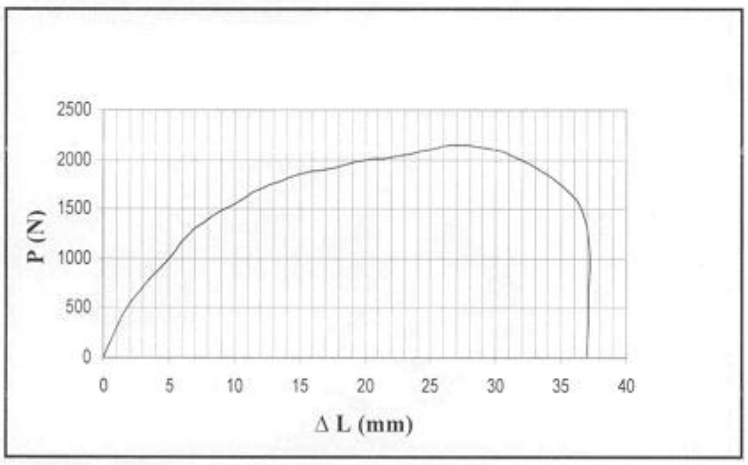
10- R.K.RAJPUT (Engineering Materials &Metallurgy) RAM NAGAR, NEW DELHI – 110 055 INDIA 2000.



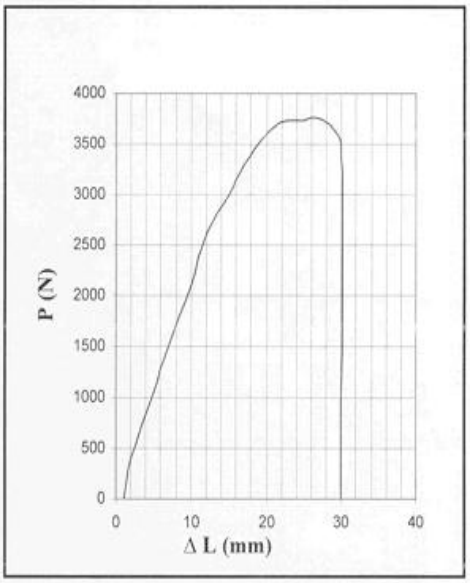
شكل (1) العينات القياسية
ـ أ ـ عينة الشد القياسية ـ ب ـ عينة الصدمة القياسية



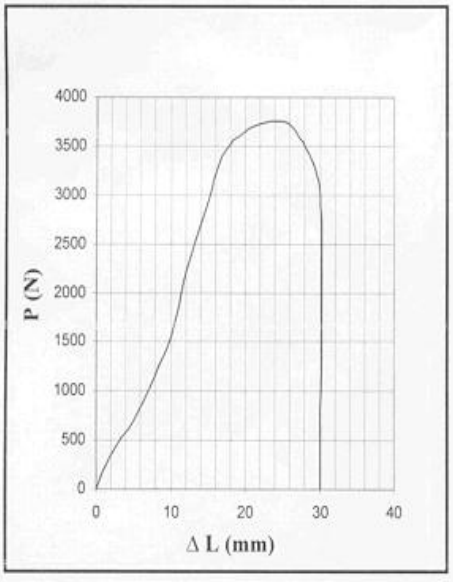
شكل (2) التراكيب المجهرية
أ ـ الفولاذ بدون تعامل حراري ب ـ الفولاذ بعد الكربنة
ج ـ الفولاذ بعد النتردة د ـ الفولاذ بعد الكاربونتردة
هـ ـ الفولاذ بعد التقسية والمراجعة



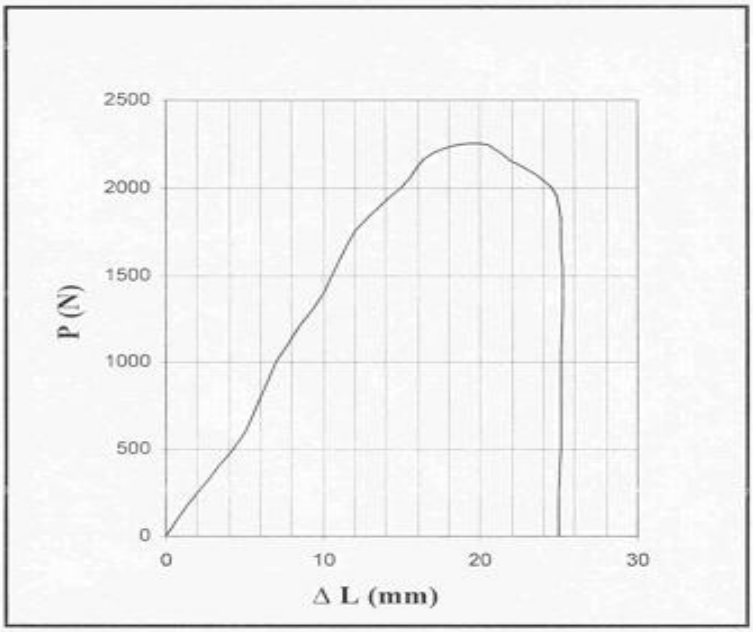
شكل رقم (3) منحني العلاقة (P -Δ L) للعينة الغير مصلدة.



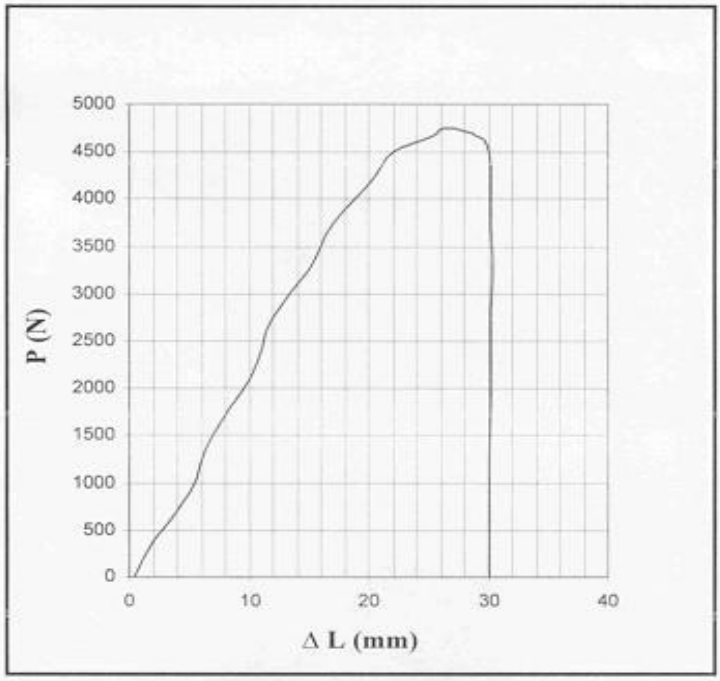
شكل رقم (4) منحني العلاقة (P -Δ L)
للعينة المصلدة بالكربنة.



شكل رقم (5) منحني العلاقة (P -Δ L)
للعينة المصلدة بالنتردة.



شكل رقم (6) منحني العلاقة (P -Δ L) للعينة المصلدة بالكاربونتردة.



شكل رقم (7) منحني العلاقة (P -Δ L) للعينة المصلدة بالمعاملة الحرارية فقط.

جدول رقم (1) حساب المتانة من خلال مخططات تجربة الشد

نوع العينة	عدد المربعات	مساحة المربع الواحد	المتانة (N . M)
العينة قبل اجراء التصليد	97	0.0025 * 2500	606
العينة المكربنة	120	0.0025 * 2500	750
العينة المنثرنة	116	0.0025 * 2500	725
العينة الكاربونثرنة	60	0.0025 * 2500	375
العينة التي اجريت لها معاملة حرارية فقط	130	0.0025 * 2500	812

جدول رقم (2) حساب المتانة من خلال اختبار الصدمة

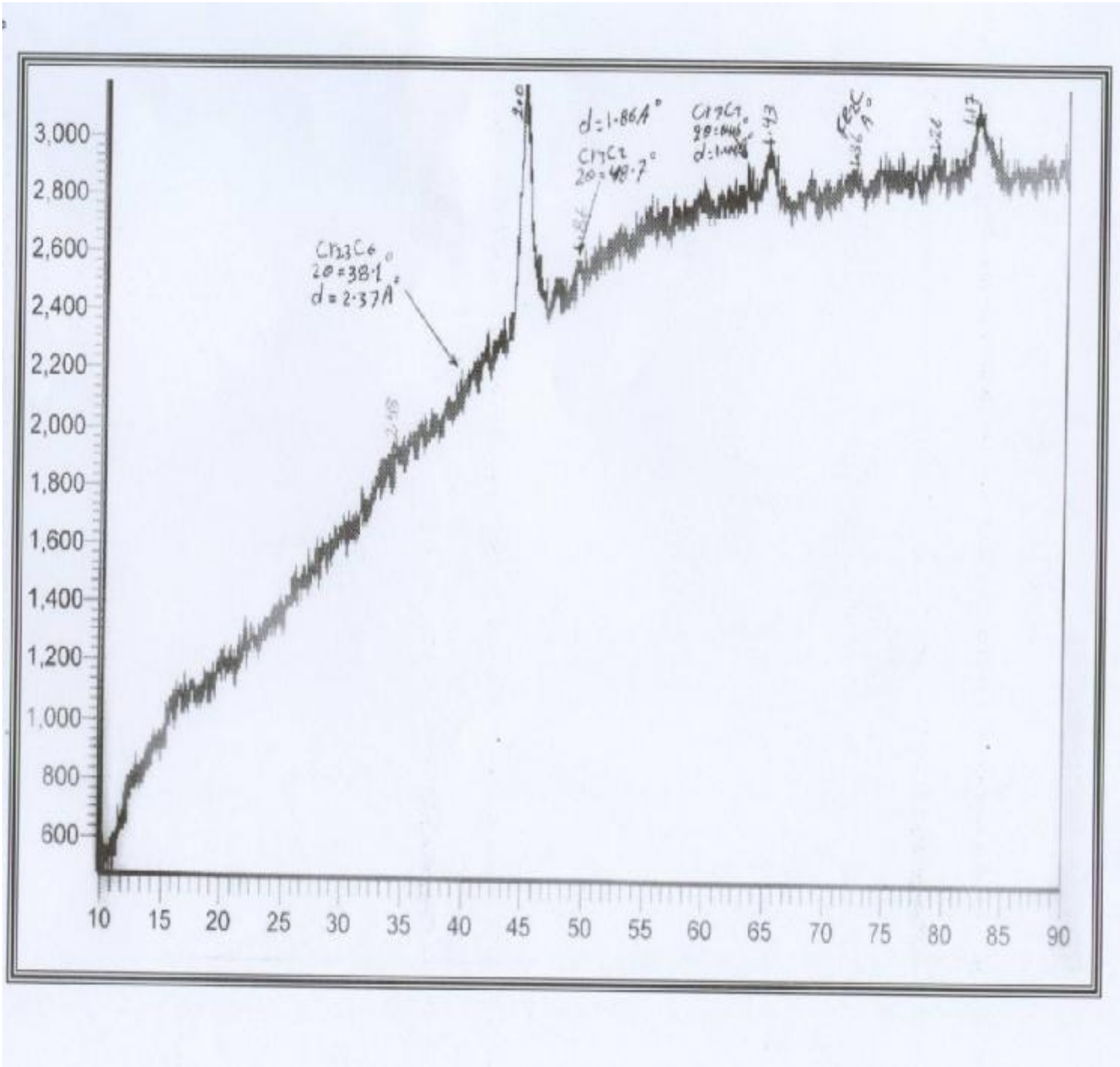
نوع العينة	مقدار الطاقة الممتصة (Kg f .m)	المتانة (N . M)
العينة قبل اجراء التصليد	2.5	25
العينة المكربنة	5	50
العينة المنثرنة	4	40
العينة الكاربونثردة	3.5	35
عينة معاملة حرارية فقط	5.5	55

جدول رقم (3) قيم الصلادة المحسوبة من المساحة تحت المنحني والمحصورة لغاية مقاومة الشد القصوى

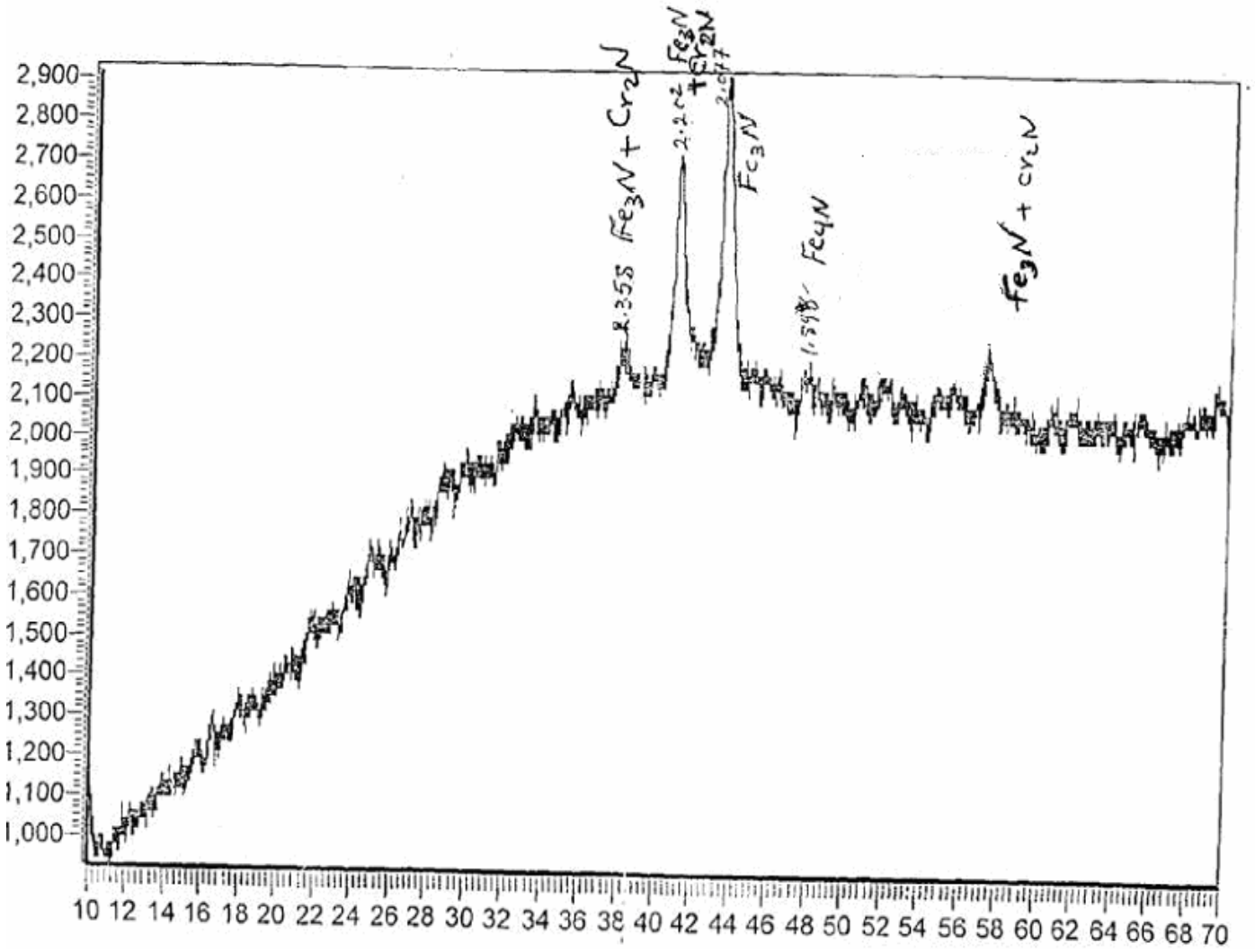
نوع العينة	عدد المربعات	مساحة المربع الواحد	رقم الصلادة
العينة قبل اجراء التصليد	67	0.0025 * 2500	418
العينة المكربنة	108	0.0025 * 2500	675
العينة المنثرنة	87	0.0025 * 2500	643
العينة الكاربونثرنة	41	0.0025 * 2500	256
العينة التي اجريت لها معاملة حرارية فقط	114	0.0025 * 2500	712

جدول رقم (4) قيم الصلادة المحسوبة من العلاقة الدابنة

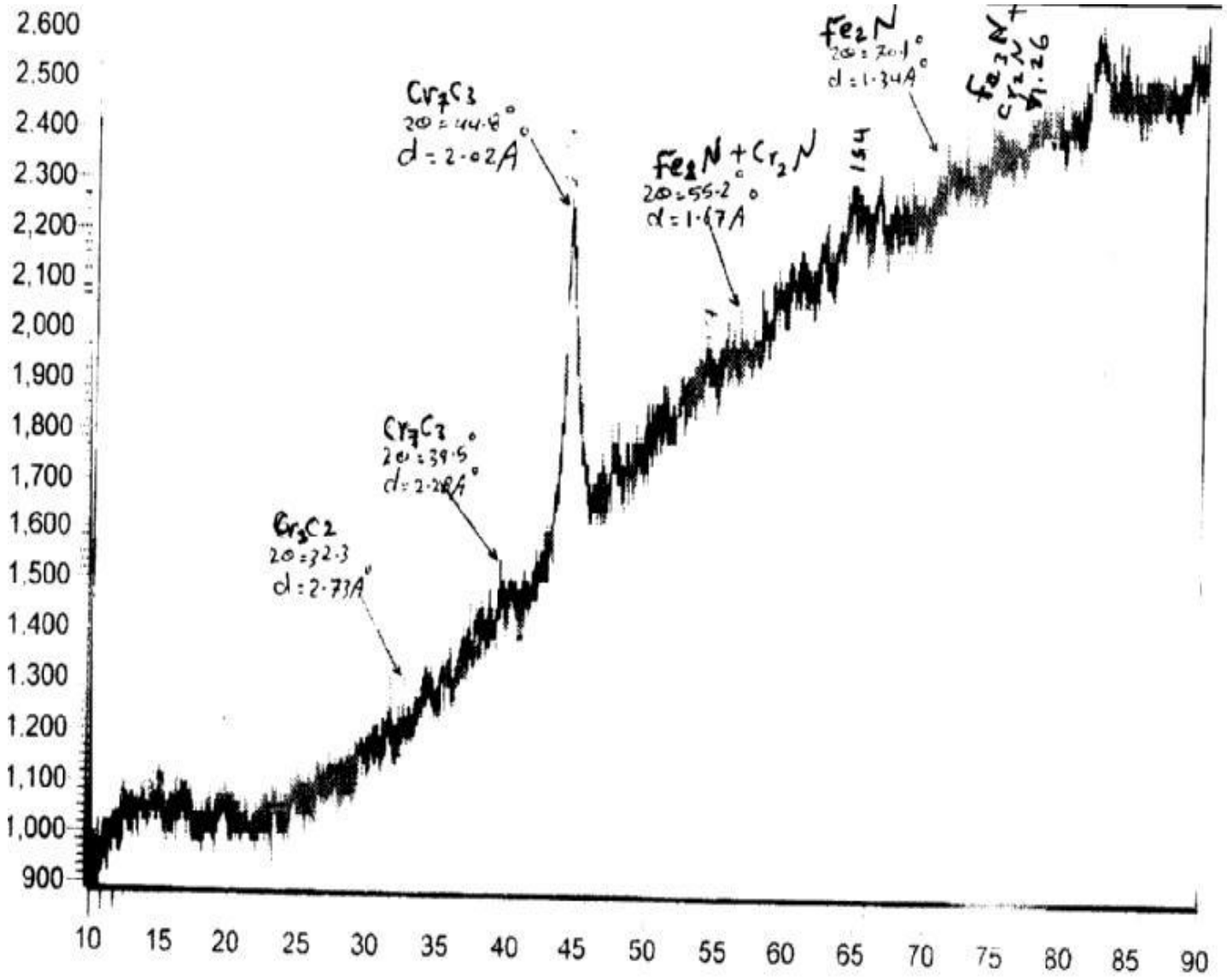
نوع العينة	مقومة الشد القصوى / الثابت	رقم الصلادة
العينة قبل اجراء التصليد	500 / 20004	40
العينة المكربنة	470 / 37504	79.7
العينة المنثرنة	470 / 37508	79.8
العينةالكاربونثرنة	470 / 22500	47.8
العينة التي اجريت لها معاملة حرارية فقط	470 / 47500	101



شكل (٨) نتائج حيود الاشعة السينية للفولاذ بعد الكربنة



شكل (٩) نتائج حيود الاشعة السينية للفولاذ بعد النتردة



شكل (١٠) نتائج حيود الاشعة السينية للفولاذ بعد الكاربونتردة