

تأثير الاصلاد السطحي بواسطة الكربنة على مقاومة الشد للفولاذ الواطيء الكاربون

جاسم محمد سلمان زهير جبار عبد الأمير محسن عباس أسود
كلية الهندسة- جامعة بابل

الخلاصة

إن الغرض من هذا البحث هو دراسة تأثير الاصلاد السطحي بواسطة الكربنة الصلبة على مقاومة الشد للفولاذ الكربوني % 0.21 .

أجريت عملية الكربنة بأسمك مختلفة على عينات من الفولاذ وتمت معاملتها حراريا كما يلي:

1. التبريد البطيء في الفرن من درجة حرارة الكربنة الى درجة حرارة الغرفة .
2. التبريد السريع بالإخماد في الماء في درجة حرارة الكربنة .
3. التبريد السريع بالإخماد في الماء من درجة حرارة الكربنة ومن ثم مراجعتها في درجة حرارة 300°C لمدة ساعة .

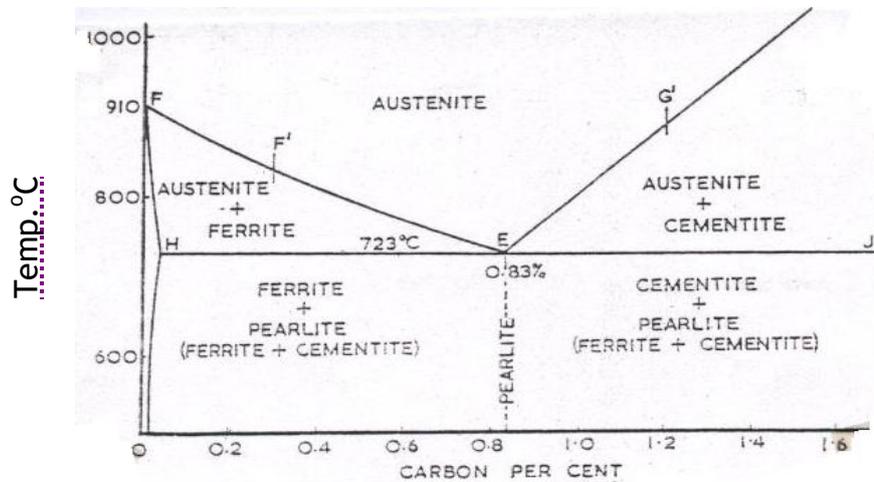
أظهرت النتائج زيادة كبيرة في مقاومة الشد خصوصا" لنماذج المكربنة والمبردة سريعا" في الماء , أفضل النتائج المتحققة في زيادة مقاومة الشد والمطيلية كانت للنماذج المبردة سريعا" في الماء والمراجعة في درجة 300°C لمدة ساعة واحدة .

المقدمة

لقد أجريت هذه الدراسة لغرض الحصول على معلومات حول تأثير الاصلاد السطحي بواسطة الكربنة على خواص الفولاذ الواطيء الكاربون المعرض لقوى الشد .

تعتبر عملية الكربنة (Carburizing) من أهم وسائل تصليد سطح الفولاذ ولها دافعين مهمين احدهما زيادة صلادة سطح الفولاذ مما يكسبه مقاومة عالية ضد الاحتكاك والسوفان والأخر الاحتفاظ بقلب أو مركز متين للقطعة يكسبه مقاومة جيدة ضد الصدمات [1,2] .

تجري عملية الكربنة الصلبة (Solid Carburizing) بتسخين الفولاذ مع مزيج الكربنة إلى درجة حرارة التحويل إلى الأوستنايت فوق درجة A₃ أي بحدود (900-950 °C) , الشكل رقم (1) .



شكل رقم (1): الجزء الخاص بالفولاذ من مخطط حديد كاربون [3]

حيث تنفذ ذرات الكربون الى داخل المعدن رافعة نسبة الكربون على السطح إلى نسبة قد تتجاوز نسبة (0.8%) استناداً على الفترة الزمنية للكربنة ودرجة الحرارة المستعملة [3] كما إن بالا مكان السيطرة على سمك الطبقة الكربنة (Case Depth) بواسطة هذين العاملين .

الجانب العملي

1 - المواد وطريقة العمل Materials & Work Method

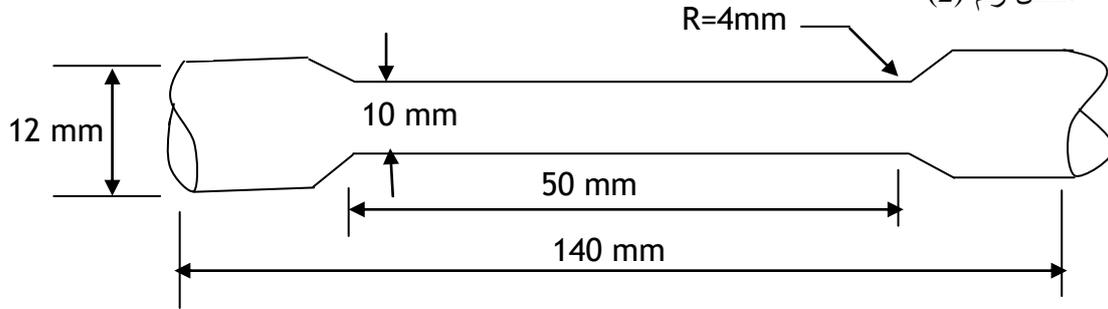
هيأت نماذج الاختبار من قضبان فولاذية واطئة الكربون كما مبين في الجدول رقم (1) .

الجدول رقم (1) يبين التركيب الكيميائي للفولاذ المستخدم

C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	Mo%	Ni%	Cu%	Fe%
0.21	0.15	0.67	0.03	0.04	0.03	0.003	0.07	0.03	Rem.

تم خراطة النماذج المستخدمة في البحث وتشغيلها الى نماذج قياسية مناسبة لغرض الاختبار كما موضح في

الشكل رقم (2)



الشكل رقم (2) : مواصفات نموذج اختبار الشد

2 - عملية الكربنة Carburizing Process

استعملت طريقة الكربنة الصلبة حيث وضعت النماذج مع مزيج الكربنة الحاوي على 70% من مسحوق فحم الخشب و 30% كاربونات الصوديوم (Na_2CO_3) داخل صندوق من الفولاذ محكم الغطاء في فرن نوع NABER الماني المنشأ يعمل الكترونياً.

سخن الصندوق مع محتوياته ببطيء إلى درجة حرارة الكربنة ($910^{\circ}C$) وللفترات (0.5, 1, 1.5, 2 hrs.) من بلوغ درجة الحرارة المطلوبة حيث تم بعد ذلك تبريد مجموعة من النماذج ببطيء داخل الفرن ومجموعة أخرى بالتبريد السريع بالإخماد في الماء ومجموعة بالتبريد والمراجعة في درجة حرارة $300^{\circ}C$ لمدة ساعة واحدة .

3 - اختبار الشد Tensile Test :

استخدم جهاز الشد نوع (Wolpert-w Lester) الماني المنشأ وهو جهاز لفحص الشد والاستطالة والانحناء والانضغاط والقص وذات سعة 15 طن .

4 - اختبار الصلادة Hardness Test

استعمل جهاز فيكرز للصلادة الدقيقة نوع (Wolpert) لقياس الصلادة بقيست الصلادة على السطح وفي مركز النماذج المستعملة في البحث باستعمال وزن مقداره (200) غرام , إن قيمة الصلادة المذكورة في الجدول تمثل معدل أربع قراءات على الأقل .

5 - قياس سمك الطبقة المكرينة Case Depth Measurment :

جهاز الصلادة المجهرية نوع (Wolpert) استعمل لقياس سمك الطبقة المكرينة بعد صقل النماذج وإظهار بنيتها المجهرية بواسطة محلول إظهار النيتال (5% حامض النتريك + 95% كحول) .

6- الفحص المجهرية Microstructure Test

تم إعداد الصور المجهرية بواسطة المجهر الضوئي نوع (Olympus) مزود بآلة تصوير خاصة .

النتائج

الجدول رقم (2) يبين مجمل نتائج اختبار الشد والصلادة (السطح والمركز) للنماذج المكرينة (0.5,1,1.5,2 hrs.) والمبردة تبريداً بطيئاً في الفرن بالمقارنة مع النموذج في الحالة الأصلية (حالة التخمير التام) .
جدول رقم (2) : نتائج اختبار الشد والاستطالة والصلادة للنماذج المكرينة والمبردة تبريداً بطيئاً في الفرن.

ت	المعاملة الحرارية	سمك الطبقة المكرينة mm	نسبة مساحة الطبقة المكرينة الى المساحة الكلية	مقاومة الشد KN/m ² *10 ³	الاستطالة لكل mm	صلادة فيكرز	
						المركز	السطح
1	الحالة الاصلية (تخمير تام)	----	----	420	30	127	127
2	مكرينة لمدة 0.5 ساعة	0.22	0.08	464	23	283	175
3	مكرينة لمدة 1 ساعة	0.3	0.11	483	21	283	175
4	مكرينة لمدة 1.5 ساعة	0.43	0.16	501	18	283	175
5	مكرينة لمدة 2 ساعة	0.51	0.19	520	13	283	175

متوسط مقاومة الشد = $492 (KN/m^2) * 10^3$ للنماذج المكرينة .

متوسط المطيلية (الاستطالة) = $18.75mm$ للنماذج المكرينة .

متوسط الصلادة (المركز + السطح) = 206.5 للنماذج المكرينة فقط .

الجدول رقم (3) يبين مجمل نتائج اختبار الشد والصلادة للنماذج المكرينة للفترات ذاتها والمبردة سريعاً بالإخماد في الماء بالمقارنة مع النموذج في الحالة الأصلية .

جدول رقم (3) : نتائج اختبار الشد والاستطالة والصلادة للنماذج المكرينة والمبردة سريعاً في الماء

ت	المعاملة الحرارية	سمك الطبقة المكربنة mm	نسبة مساحة الطبقة المكربنة الى المساحة الكلية	مقاومة الشد KN/m ² *10 ³	الاستطالة لكل mm	صلادة فيكرز	
						المركز	السطح
1	الحالة الاصلية (تخمير تام)	-----	-----	420	30	127	127
2	مكربنة لمدة 0.5 ساعة	0.22	0.08	1040	5	780	490
3	مكربنة لمدة 1 ساعة	0.3	0.11	930	4	780	490
4	مكربنة لمدة 1.5 ساعة	0.43	0.16	780	3	780	490
5	مكربنة لمدة 2 ساعة	0.51	0.19	780	3	780	490

متوسط مقاومة الشد = $882.5 \text{ (KN/m}^2\text{)} * 10^3$ للنماذج المكربنة .

متوسط المطيلية (الاستطالة) = 3.75 mm للنماذج المكربنة .

متوسط الصلادة (المركز + السطح) = 635 للنماذج المكربنة فقط .

الجدول رقم (4) يبين مجمل نتائج الاختبارات للفترة المذكورة اعلاه والمبردة سريعاً بالاخماد في الماء والمراجعة في درجة حرارة (300 °C) لمدة ساعة واحدة .

جدول رقم (4) : نتائج اختبار الشد والاستطالة للنماذج المكربنة والمبردة سريعاً في الماء والمراجعة في درجة حرارة (300 °C) لمدة ساعة واحدة.

ت	المعاملة الحرارية	سمك الطبقة المكربنة mm	نسبة مساحة الطبقة المكربنة الى المساحة الكلية	مقاومة الشد KN/m ² *10 ³	الاستطالة لكل mm	صلادة فيكرز	
						المركز	السطح
1	الحالة الاصلية (تخمير تام)	-----	-----	420	30	127	127
2	مكربنة لمدة 0.5 ساعة	0.22	0.08	920	7	510	430
3	مكربنة لمدة 1 ساعة	0.3	0.11	980	5	510	430
4	مكربنة لمدة 1.5 ساعة	0.43	0.16	1010	5	510	430
5	مكربنة لمدة 2 ساعة	0.51	0.19	1010	4	510	430

متوسط مقاومة الشد = $980 \text{ (KN/m}^2\text{)} * 10^3$ للنماذج المكربنة .

متوسط المطيلية (الاستطالة) = 5.25 mm للنماذج المكربنة .

متوسط الصلادة (المركز + السطح) = 470 للنماذج المكربنة فقط .

الشكل رقم (3) يبين البنية المجهرية للفولاذ الكربوني المستخدم في البحث ذو نسبة الكربون (0.21 %C) (النموذج في الحالة الأصلية أي حالة التخمير التام حيث تتكون من الفريت (فاتح اللون) والبرلايت (غامق اللون)) .

الشكلين رقم (4) و (5) يبيان البنية المجهرية للنماذج المكرينة للفترات hrs.(1&2) على التوالي حيث تظهر هذه الأشكال بوضوح تحول أسطح النماذج الى البرلايت في حين بقيت مراكز النماذج على حالتها الأصلية (الفرايت والبرلايت) .

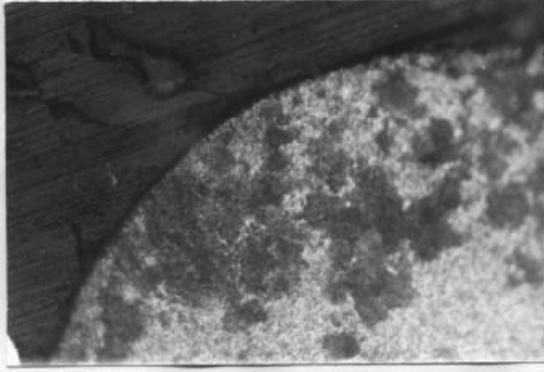
الشكل رقم (6) يبين البنية المجهرية على أسطح النماذج المكرينة والمبردة سريعاً بالإخماد في الماء من درجة حرارة الكرينة مباشرة ، تتكون هذه البنية من المارتنسايت والاوستنايت المتبقي.

الشكل رقم (7) يبين البنية المجهرية على أسطح النماذج المكرينة والمبردة سريعاً بالإخماد في الماء والمراجعة في درجة حرارة (300°C) لمدة ساعة واحدة .

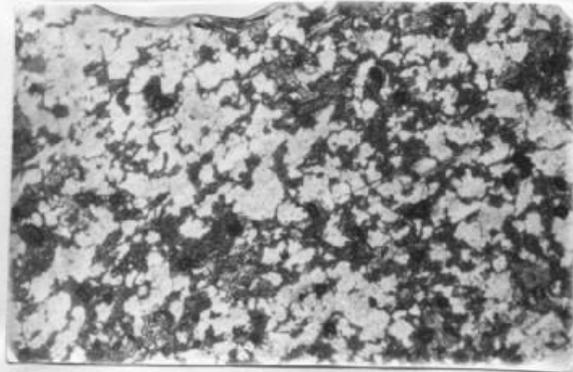
الشكل رقم (8) يبين العلاقة بين مقاومة اشد للحالات الثلاثة المذكورة في الجداول (2،3،4) وبين مساحة الطبقة المكرينة لمقطع النموذج لكل حالة من حالات المعاملة الحرارية.

الشكل رقم (9) يبين العلاقة بين متوسط مقاومة الشد للحالات الثلاثة وبين صلادة أسطح النماذج المكرينة وصلادة مركزها ومتوسط صلادة(السطح + المركز) للحالات ذاتها.

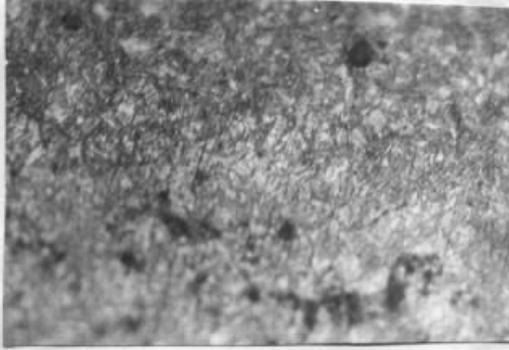
الشكل رقم (10) يبين العلاقة بين متوسط مقاومة اشد للحالات الثلاثة وبين متوسط المطيلية ومتوسط صلادة (السطح + المركز) للحالات ذاتها من جهة اخرى .



الشكل رقم (4): البنية المجهرية
للنموذج المكربن لمدة ساعة واحدة
والمبرد ببطيء في الفرن تكبير
40 مرة.



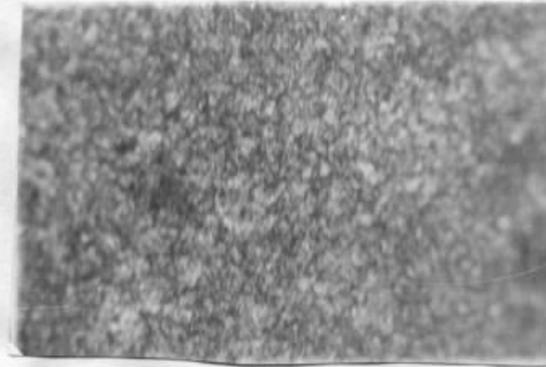
الشكل رقم (3): البنية المجهرية
للنماذج في الحالة الاصلية.



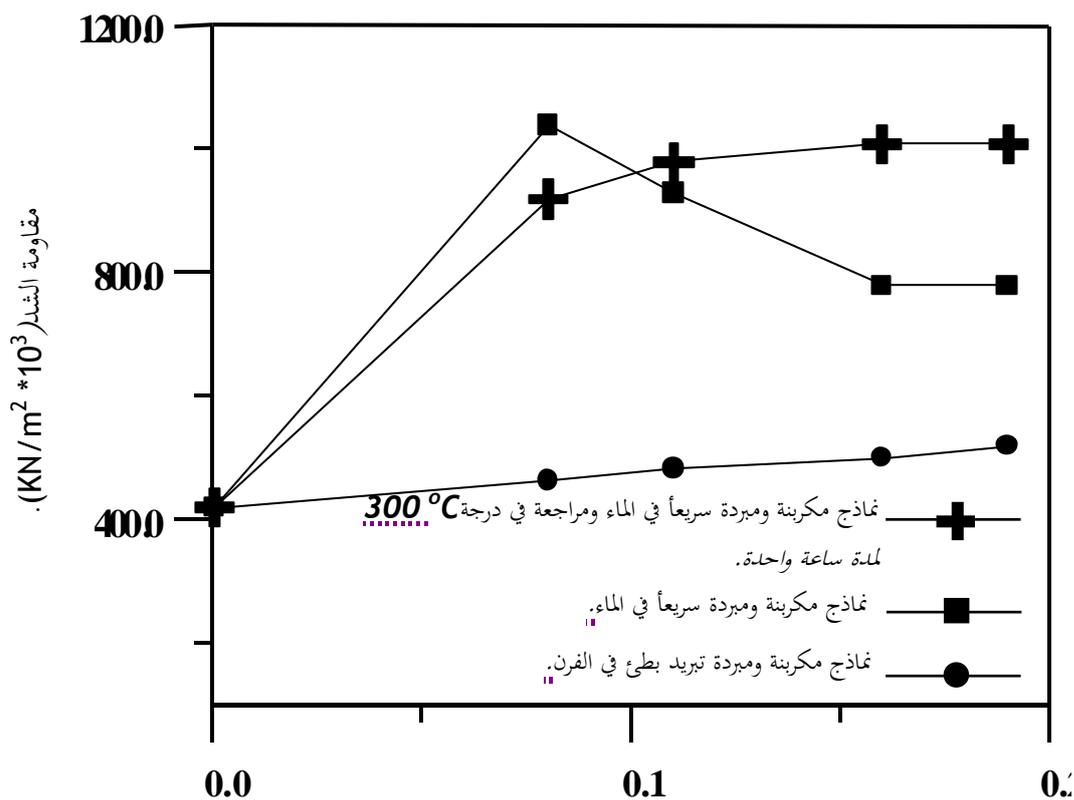
الشكل رقم (6): البنية المجهرية
على اسطح النماذج المكربنة
والمبردة سريعاً في الماء تكبير
400 مرة



الشكل رقم (5): البنية المجهرية
للنموذج المكربن لمدة ساعتين
والمبرد ببطيء في الفرن تكبير
40 مرة.

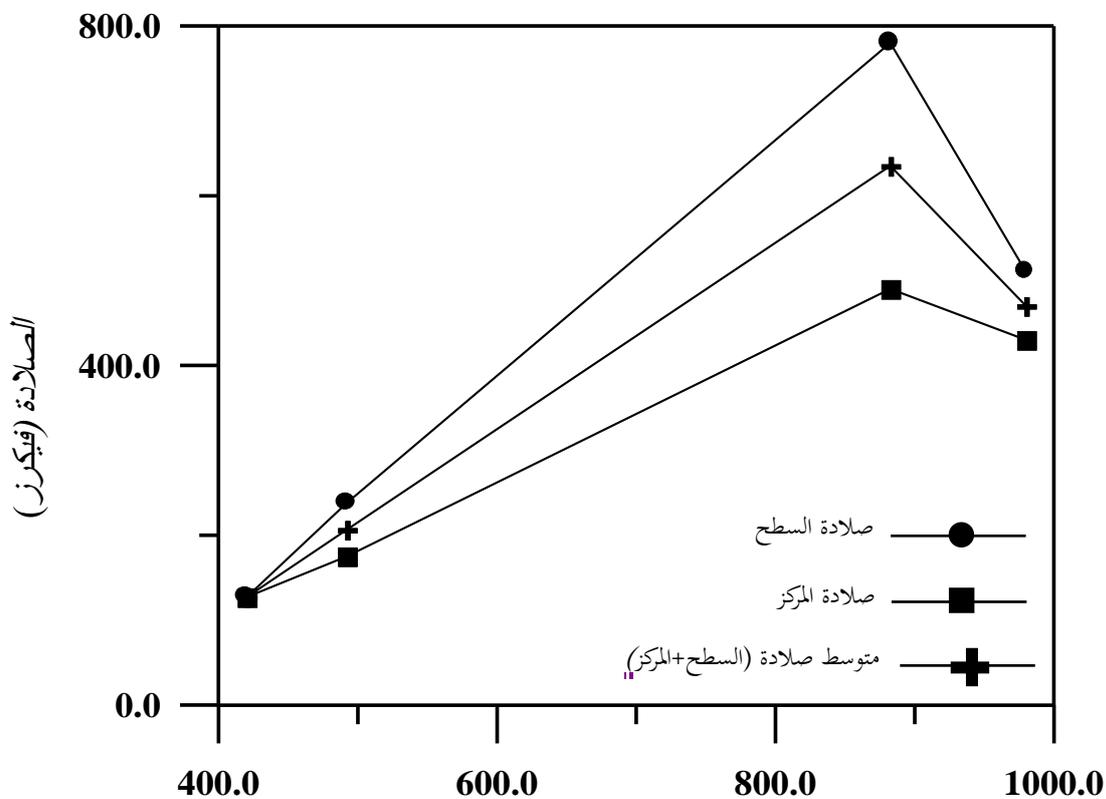


الشكل رقم (7): البنية المجهرية على اسطح النماذج المكربنة والمبردة سريعاً
في الماء والمراجعة في درجة 300°C تكبير 400 مرة.

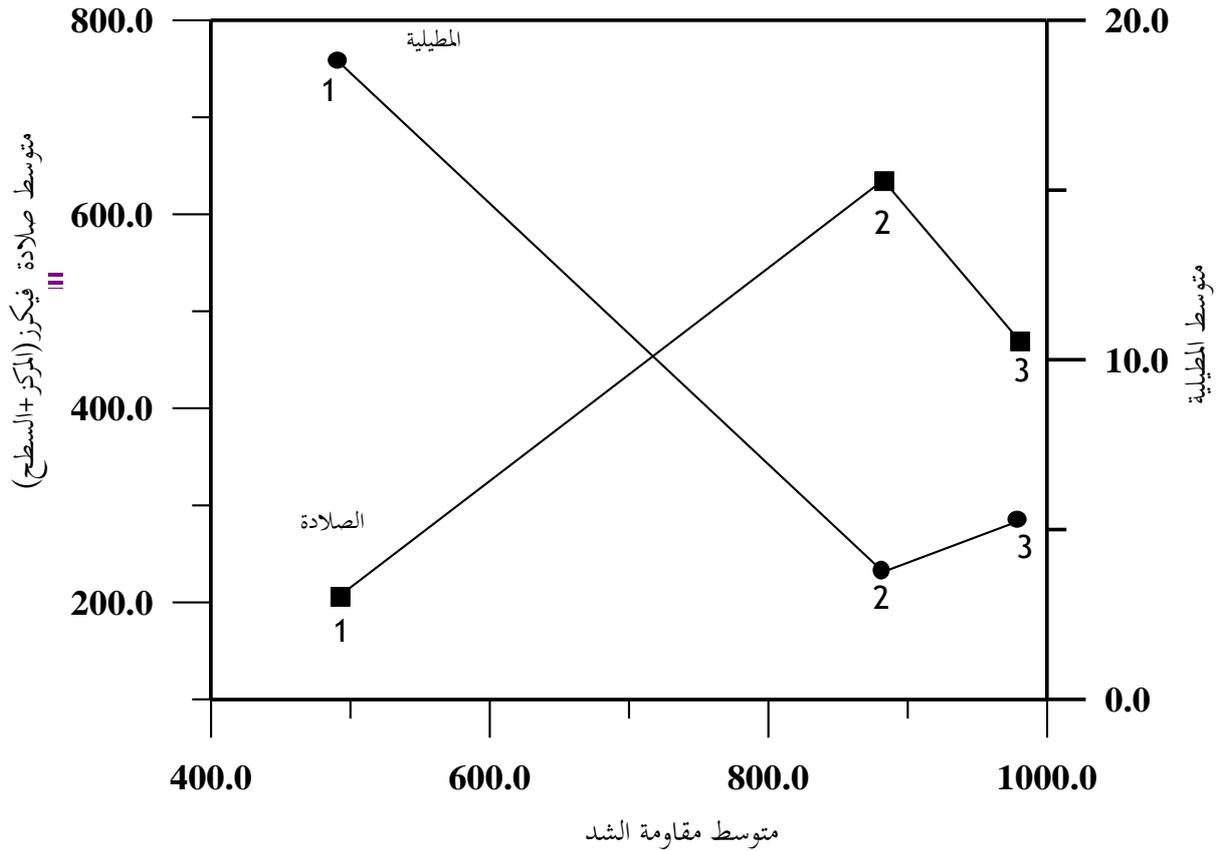


الشكل رقم (8) العلاقة بين مقاومة الشد ونسبة مساحة الطبقة المكاربنة / المساحة الكلية لمقطع النموذج.

الشكل رقم (9) يبين العلاقة بين متوسط مقاومة الشد للحالات الثلاثة وبين صلادة



شكل رقم (9) يبين العلاقة بين متوسط مقاومة الشد للحالات الثلاثة وبين صلادة السطح، المركز، ومتوسط صلادة (السطح+المركز).



● ، ■ رقم (1) نماذج مكربنة ومبردة بطيئاً في الفرن.

● ، ■ رقم (2) نماذج مكربنة ومبردة سريعاً في الماء.

● ، ■ رقم (3) نماذج مكربنة ومبردة سريعاً في الماء ومراجعة في 300°C لمدة ساعة واحدة.

شكل رقم (10) يبين العلاقة بين متوسط مقاومة الشد للحالات الثلاثة وبين متوسط المظيلية من جهة ومتوسط صلادة (المركز+السطح) للحالات ذاتها من جهة أخرى.

المناقشة

يتضح من الاشكل رقم (8) والجداول(2،3،4) على التوالي مايلي:

لقد حصلت زيادة ملحوظة في مقادير مقاومة الشد للنماذج المكرينة للفترات (0.5،1،1.5،2) وبنسبة مساحة الطبقة المكرينة/ المساحة الكلية لمقطع النموذج (0.08،0.11،0.16،0.19) والتي برده بظيئا داخل الفرن بعد عملية الكرينة مباشرة الجدول رقم (2) والشكل رقم (8) ، نستنتج من ذلك ان السبب في هذه الزيادة الى ازدياد صلادة السطح نتيجة عملية الكرينة وتحول البنية الى البرلايت ،الشكل رقم (4،5)^(6،5) .

كما قد حصلت زيادة كبيرة جدا في مقادير مقاومة الشد للنماذج المكرينة والمبردة سريعا بالاخمداد في الماء بعد عملية الكرينة مباشرة ، ان هذه الزيادة الكبيرة ناتجة من تحول البنية المجهرية لاسطح النماذج الى المارتنسايت شكل رقم (6) تمتاز هذه البنية باقصى صلادة ممكنة في الفولاذ الكربوني حيث بلغت هذه الصلادة 780 على السطح و490 في المركز الجدول رقم (3) في هذه الحالة.

ولقد بلغت اقصى زيادة في النموذج المكرين لمدة نصف ساعة وبنسب مساحة الطبقة المكرينة/ المساحة الكلية لمقطع النموذج تساوي (0.08) .

ويصحب هذه الزيادة في مقاومة الشد انخفاض شديد في المطيلية حيث تقل الى ادنى مقاديرها في النماذج الاخيرة (3%) ، ويلاحظ انخفاض مفاجئ في مقاومة الشد للنماذج المكرينة للفترات (1،1.5،2) hrs. ، ان السبب في هذا الانخفاض بالدرجة الاساس نتيجة الى زيادة الجهود الداخلية الناتجة من تحول بنية اسطح النماذج من الاوستنايت الى المارتنسايت بسبب التبريد السريع بعد الكرينة مباشرة ،حيث ان حجم بنية المارتنسايت يزيد على حجم بنية الاوستنايت بنسبة حوالي (1%)⁽⁷⁾ ، كما ان هذه الجهود سوف تزداد بازدياد سمك الطبقة المكرينة التي سوف تتحول الى المارتنسايت نتيجة التبريد السريع وقد تؤدي بالتالي الى انخفاض جديد في مقاومة الشد⁽⁸⁾ .

بالرغم من هذا الانخفاض الكبير في مقاومة الشد فان مقاديرها لاتزال اعلى من النماذج في المجموعة الاولى (جدول رقم 2) .

يتضح من الشكل رقم (8) والجدول رقم (4) حصول زيادة في مقاومة الشد في جميع نماذج هذه المجموعة ويلاحظ ان مقادير هذه الزيادة تبقى ثابتة دون انخفاض كما في المجموعة السابقة الجدول رقم(3) ، وهذا نتيجة الى تأثير عملية المراجعة في درجة حرارة(300 °C) التي لم تؤدي الى تغيير جذري في البنية المجهرية الا انها ازلت جزء لا بأس من الجهود الحرارية والداخلية^(9،10).

يبدو ان هذه الدرجة الحرارية والفترة الزمنية بمقدار ساعة واحدة ليست كافية لاحداث تغيير اساسي في البنية المجهرية⁽¹¹⁾ ، ولنفس السبب يلاحظ ارتفاع طفيف في المطيلية مقارنة مع المجموعة السابقة (الجدول رقم (3)) وايضا انخفاض في صلادة اسطح النماذج.

يتضح ما ورد اعلاه انه بالامكان تحقيق افضل النتائج في مجال تحسين خواص الشد في الفولاذ الكربوني الواطئ الكاربون والمعامل بالكرينة وذلك بواسطة السيطرة الدقيقة على البنية المجهرية التي تعطي افضل حالة لخواص الشد.

الاشكال (9،10) يؤكد صحة الاستنتاج اعلاه حيث يتضح من هذه الاشكال بان تجاوز مقادير معينة من الصلادة يؤدي الى انخفاض مقاومة الشد اذ لابد من توفر مقادير معينة من الصلادة والمطيلية لنحقق نتائج افضل في خواص الشد شكل رقم (10) .

الاستنتاجات

1. اختيار المعاملة الحرارية الصحيحة التي تؤدي الى تحسين خواص شد الفولاذ الكربوني المصلد سطحه بواسطة الكرينة.
2. السيطرة الدقيقة على البنية المجهرية هي التي تقرر بالدرجة الاساس سبل السيطرة على هذه الخواص.
3. ان عدم اختيار درجات حرارة اعلى ولفترات زمنية اطول لعملية المراجعة بعد التبريد السريع لان ذلك سوف يؤدي الى زيادة مفرطة في المطيلية وانخفاض كبير في الصلادة مما يؤدي الى انخفاض في خاصية الشد .
4. عامل النمو الحبيبي لا بد ان يؤخذ وتأثيراته بنظر الاعتبار

المصادر

- 1.S.Lee "The Effect of Surface Hardening on Fracture Toughness of Carburizing Steel" M.Transactions A V.20A,1989.
2. قحطان خلف الخزرجي ،عزيز محمد سلمان "تأثير عملية الكرينة والمعاملة الحرارية اللاحقة على عزم خضوع الالتواء للفولاذ الواطئ الكربون" المهندس 84 ، 1984 .
3. R.A.Higgins "Enginerring Metallurgy" part 1,1998.
4. عبد الكريم محمد عطا "المواد الهندسية مقاومتها واختبارها" ج 1،1976 .
- 5.W.Botton "Engineering Materials Technology" 3rd edition,1998.
6. R.J.Cooksey "Surface Treatment of Engineering Materials" 1966.
7. S.Clark "Physical Metallurgy for Engineers" 2nd edition, 1969.
8. K.Al-Khazaji "The Effect of Case –and Quench Hardening on the Torsional Properties of Circular Low Carbon Steel Bars" Muhandes V.76,1983.
- 9.K.Thelning "steel and its Heat Treatment" 2nd edition,1984.
10. J.Hick " Advances in Heat Treatment Practice" Heat Treatment of Metals ,V.4 , 1986.
11. "Metals Hand book " 9th edition, V.4, Heat Treating, 1988.

Abstract

The purpose of this research is to study the effect of case hardening by carburizing on tensile strength of low carbon steel (0.21%).

The solid carburizing was performed in different case depth and heat treated by:

1. Furnace cooling from the carburizing temperature to room temperature
2. water quenching from the carburizing temperature.
3. water quenching from the carburizing temperature followed by tempering at 300 °C for 1 hour.

The results show high increase in tensile strength specially in the carburizing and water quenched specimens , the best result of tensile strength and ductility was obtained for specimens carburizing , water quenched and tempering at 300 °C for 1 hour.