تحسين الصلادة السطحية ومقاومة البلى للفولاذ الواطئ الكاربون باستخدام أشعة الليزر

الدكتور سمير خضر ياسين العاني*

مقدمة نظرية:

أن توليد الانصهار السريع بواسطة أشعة الليزر فتح آفاقا" واسعة في تطبيقات علم المعادن وخاصة في عمليات اللحام السريع والدقيق مع الأخذ بنظر الاعتبار ضرورة تكون طور الانصهار دون حدوث تبخير السطح .

أن انصهار المعدن بتأثير شعاع الليزر يعتمد على التدفق الحراري (Heat Flow) في المعدن والذي بدوره يعتمد على التوصيلية الحرارية (Thermal conductivity) ولكن التوصيلية الحرارية هي ليست العامل الوحيد الذي يؤثر على التدفق الحراري حيث ان معدل تغير درجة الحرارة للمعدن يعتمد أيضا" على الحرارة النوعية للمادة C (Specific heat) ، إذ ان معدل التسخين يتناسب عكسيا" مع السعة الحرارية لوحدة الحجم والتي تساوي PC (حيث P هي كثافة المعدن) ان العامل المهم للتدفق الحراري والذي له وحدات Cm2/Sec يأخذ صفة معامل الانتشار او الانتشار الحراري (Thermal diffusivity) .

أن الانتشار الحراري في السبائك بصورة عامة هو اقل من الانتشار الحراري في المعادن النقية ، حيث أن قيمة معامل الانتشار الحراري تحدد عمق المنطقة من المعدن التي تتأثر بالحرارة والذي يكون مهما" في التطبيقات ، مثال ذلك التصليد واللحام والتثقيب بالليزر .

أن عمق المنطقة المتأثرة بالحرارة أو عمق الاختراق الحراري في زمن t يعطى تقريبا" بالمعادلة

$$D = (4 K t)^{0.5} \qquad \text{----------(1)}$$

حيث إن

D = Depth of penetration of the heat

هي عمق الاختراق الحراري

K= Thermal diffusivity هو الانتشار الحراري

إن العوامل والمتغيرات التي تسيطر على منظومة الليزر وبدقة مهمة جدا" للحصول على احسن كفاءة تشغيل وافضل النتائج في التطبيقات العملية المختلفة ومن العوامل المهمة الأخرى والتي تؤثر على عملية تفاعل شعاع الليزر مع المعدن هي الانعكاسية R (Reflectivity) لسطح المعدن والتي يمكن تعريفها من كمية الشعاع الساقط على السطح الذي يمتص فعليا" من قبل المعدن وتعرف الانعكاسية كذلك بأنها النسبة بين طاقة الإشعاع المنعكسة من السطح الى طاقة الإشعاع الساقطة عليه . وتأخذ القيمة من صفر الى واحد أي إن مقدار ما يمتص من طاقة في المعدن يكون مساويا" الى (1-R) [2] .

إن مقدار الانعكاسية يتوقف على عدة عوامل منها الطول الموجي للشعاع ، نوع السطح المعامل ، درجة الصقل لسطح المعدن ومقدار الاكاسيد على السطح .

* رئيس قسم الحاسبات – كلية التربية للبنات - جامعة بغداد.

إن امتصاص شعاع الليزر يتبع قانون الامتصاص الأسي

$$I(X) = Io\ Exp.(-\mu x) \text{ ---------(2)}$$

حيث

I(X)= x شدة الشعاع النافذ الى عمق
Io=شدة الشعاع الساقط
$\mu=(Cm^{-1})$ معامل الامتصاص

وفي هذا القانون تهمل مركبة الشعاع المنعكسة

في عمليات التصليد السطحي للمعادن بأشعة الليزر يتم تسليط شعاع الليزر على السطح والذي يسبب تسخينا" عاليا" وسريعا" جدا" لطبقة خفيفة جدا" من المعدن قرب السطح ، وعند حركة حزمة الليزر لمساحات مختلفة على السطح فأن الحرارة تترسب على طبقة ومن ثم تنتقل بالتوصيل وبسرعة الى المساحات المجاورة مؤدية بذلك الى تبريد سريع (Quenching) للمنطقة السطحية المسخنة وينتج عن التبريد السريع زيادة في صلادة السطح.

إن الفكرة الأساسية للمعالجة بالليزر هو تصليد سطوح المعادن من خلال التحولات الطورية لها (phase transformation) والمصحوبة بتغيرات التراكيب المايكروية لها (microstructure) [3] .

إن جميع المعادن التي تخضع لتحولات طوريه ممكن إن تصلد بالليزر مثال ذلك الفولاذ الكاربوني والذي هو شائع الاستخدام في الصناعة ولذلك تم اختياره في هذا البحث لأجراء عمليات المعاملة بأشعة الليزر.

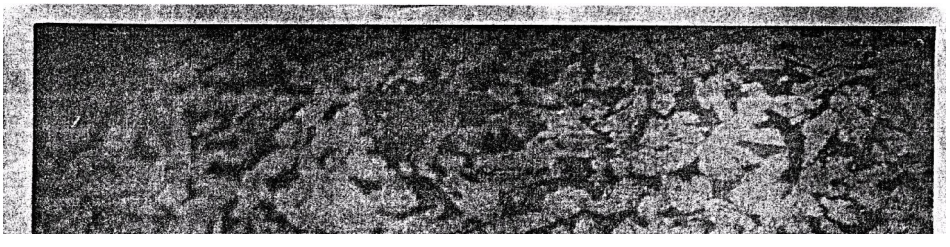
الجزء العملي :

١- تهيئة العينات وتثبيت مواصفات المعدن:

- تم اختيار الفولاذ الكاربوني وذلك لكثرة استخداماته في التطبيقات الصناعية وأجري التحليل الكيميائي للمعدن والجدول -1– يبين نتائج التحليل الكيميائي.
- تم تهيئة عينات بالأبعاد (2*2*21)سم تمهيدا"لمعاملتها بأشعة الليزر حيث تم إظهار التركيب المجهري للمعدن الأساس وكما مبين بالشكل(1) والذي يبين احتوائه على نسب فرايت وبرلايت مقاربة لما يحتويه الفولاذ القياسي .
- أجريت عمليات التلدين للمعدن وأجري فحص الصلادة المايكروية لتثبيت صلادة المعدن قبل التشعيع حيث كانت الصلادة (175HV) .
- تم تهيئة عينات فحص البلى بطول (2Cm)وقطر (0.5Cm)وأجريت عمليات الصقل اللازم لها لتثبيت حالة السطح بشكل موحد وتهيئتها للمعاملة بالليزر .
- أجري فحص الخشونة قبل التشعيع وكان معدل الخشونة للمعدن الأساس هو (0.2) مايكرومتر.

الجدول -1- نتائج التحليل الكيميائي للمعدن

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	V	Fe
.1563	.1890	.5351	.0409	.0351	2.003	.0383	.0352	.1188	.0044	Rem.



شكل رقم -1–التركيب المجهري للمعدن الأساس قبل المعاملة بالليزر

٢- تأثير المعاملة بالليزر:

تم استخدام منظومة ليزر النيديميوم - زجاج لأجراء عمليات التشعيع وقبل البدء بأجراء المعاملة بالليزر أجري تعيير للمنظومة لمعرفة طاقة أشعة الليزر الخارجة باستخدام جهاز (الجول ميتر) والذي يستخدم لقياس طاقة شعاع الليزر الخارجة لكل قيمة لجهد الشحن حيث ان المنظومة مجهزة بمقياس يعطي جهد الشحن بالكيلوفولط والذي تكون طاقة أشعة الليزر دالة له ، حيث تزداد بزيادة جهد الشحن وتقل بنقصانه .

تم تثبيت مواصفات منظومة الليزر كما يلي

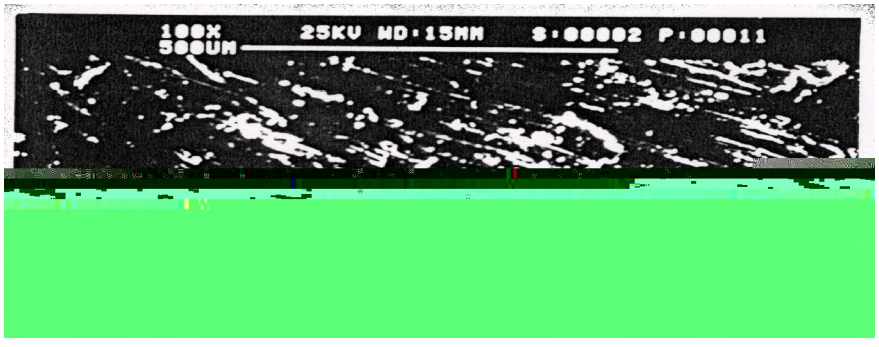
Pulse time 330 µSec
Energy 6 Joule
λ= 1.06 µm

أجريت المعاملة بليزر النيديميوم – زجاج بتثبيت عينات الفولاذ الكاربوني أمام عدسة المنظومة اللامة ذات البعد البؤري ٣٠سم وذلك بوضعها على منصة مزودة بمايكرومتر تتحرك لدقة تصل الى ١٠ مايكرومتر تم تصميمها وتركيبها للسيطرة على الحركة الدقيقة للعينة عند قصفها بالليزر ومعايرة عملية المعاملة لمسافات مختلفة ولطاقات مختلفة .

اجريت ضربات عديدة لأشعة الليزر في مواقع مختلفة وطاقات مختلفة لاختيار افضل ظروف للمعاملة والتي تعطي تجانس مقبول للمنطقة المعرضة لأشعة الليزر وخشونة سطحية مناسبة .إن الطاقة التي وقع الاختيار عليها للمعاملة بليزر النيديميوم - زجاج هي 4 جول وبزمن نبضة مقداره 330 مايكروثانية وبطول موجي مقداره 1.06 مايكرومتر حيث أعطت هذه الطاقة افضل تجانس للمنطقة المتأثرة بالليزر ولمسافات مختارة عن عدسة المنظومة وذلك عند مشاهدتها بالمجهر الضوئي .

استخدم المجهر الضوئي لتصوير العينات المنجزة وبتكبير مختلف والشكل -2- يوضح صور التركيب المجهري للمناطق المعرضة لأشعة الليزر ولمسافات مختلفة عن عدسة المنظومة . ان تغيرات التركيب المجهري للفولاذ الكاربوني المعامل بأشعة الليزر تعتمد وبصورة كبيرة على طاقة الليزر المستخدم حيث لوحظ تقارب التركيب المجهري للمعدن المعامل بطاقات واطئة من التركيب المجهري للمعدن الأساس. كذلك لوحظ ان زيادة طاقة أشعة الليزر واقتراب المسافة من موقع بداية عدسة المنظومة يؤدي الى زيادة نسبة الانصهار في مساحة الضربة وعدم تجانس الضربة ومن المعتقد بأن زيادة الصلادة المايكروية المتولدة عند الطاقات العالية تعود إلى تكون طور المارتنسايت [5 , 6] .

ان تحول المعدن من الحالة السائلة عند الانصهار الى الحالة الصلبة في زمن قصير جدا" يؤدي الى زيادة الصلادة ، كذلك فأن التسخين والتبريد السريعين دون المرور بالطور السائل (المناطق غير المنصهرة) يولد اجهادات داخلية انضغاطية تسبب زيادة الصلادة .



X100

شكل رقم-2–

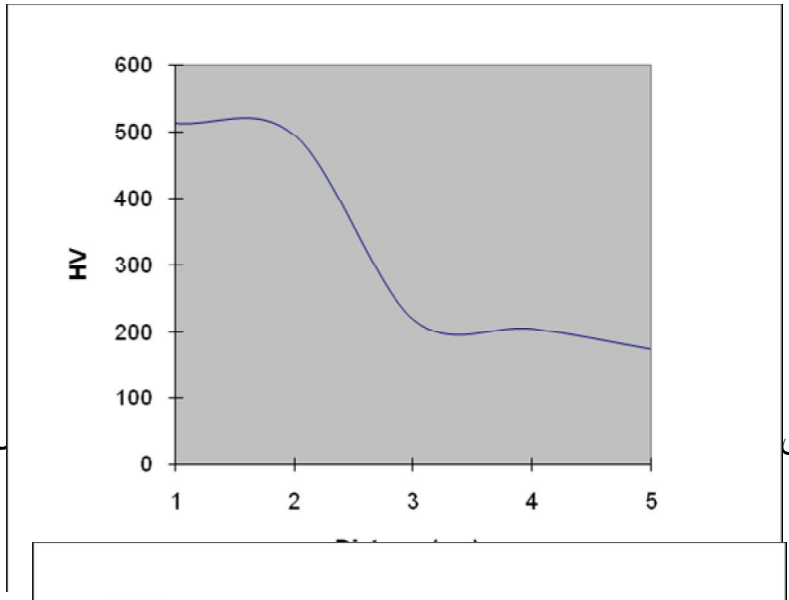
صور التركيب المجهري للمناطق المعرضة لأشعة الليزر وبمسافات مختلفة

ان لبعد العينة عن عدسة المنظومة تأثير كبير على صلادتها المايكروية والشكل -3-يبين تغير قيم الصلادة مع تغير المسافة عن عدسة المنظومة حيث لوحظ بأن زيادة المسافة عن موقع البؤرة يؤدي الى اتساع مساحة الضربة بفعل ابتعادها عن بؤرة العدسة مما يؤدي الى نقصان كثافة الطاقة وبالتالي لا يسمح بحصول التحولات الطورية بشكل كامل ويعطي قيم صلادة اقل .

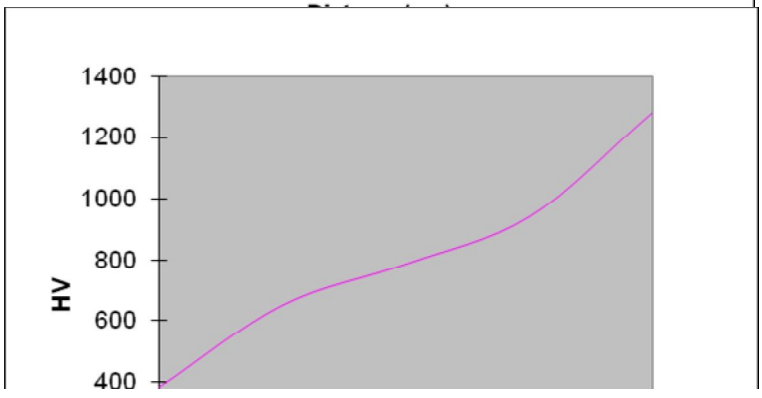
بينت النتائج ان معاملة الفولاذ الكاربوني بالليزر تؤدي الى حصول تغيرات في التركيب الدقيق وتحولات طوريه الى طوري المارتنسايت والسمنتايت والتي تؤدي الى ارتفاع الصلادة. كذلك تبين ان ظروف التشعيع المتمثلة بطاقة شعاع الليزر زمن النبضة والمسافة عن عدسة المنظومة تؤدي الى تكوين أنواع متميزة من التركيب الدقيق ومنها ظهور طور الانصهار إضافة الى تأثيرها الواضح على نعومة التركيب المجهري للمعدن .

بينت الدراسة ان المعاملة بليزر النديميوم- زجاج للفولاذ الكاربوني قد آدت الى ارتفاع الصلادة المايكروية من Hv 175 الى Hv 824 تقريبا" مع تجانس ملائم لسطح المعدن ، والى ارتفاع اكثر يصل الى Hv 1000 مع تجانس اقل . تم أجراء معاملة بطاقات مختلفة لأشعة الليزر والشكل -5- يبين قياسات الصلادة المايكروية ولقيم مختلفة من الطاقة حيث تبين ارتفاع قيم الصلادة بزيادة طاقة أشعة الليزر .

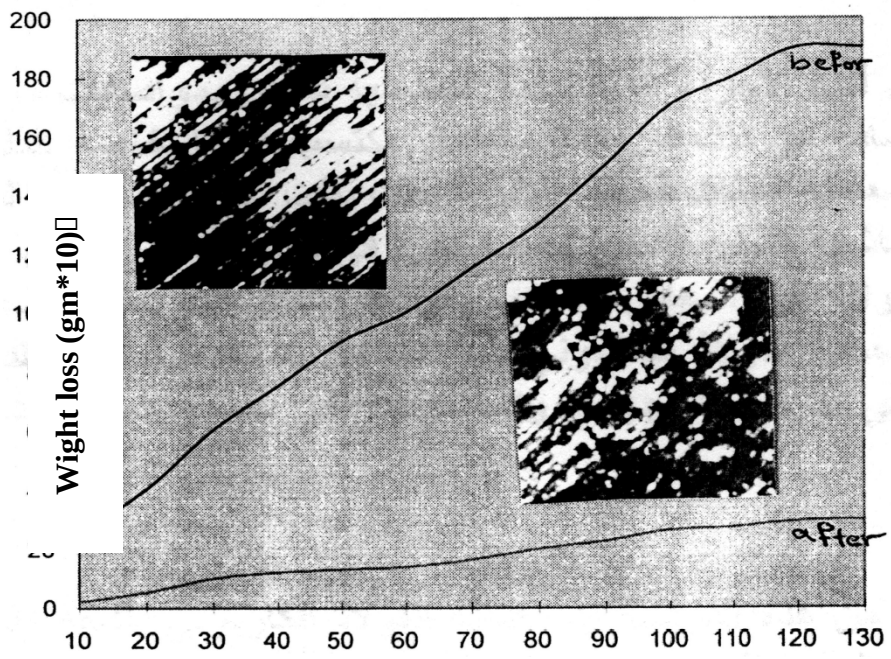
تم اختبار ظروف التشعيع بطاقة (4J) ولمسافة (4.3cm) عن عدسة المنظومة لأجراء فحص البلى باستخدام ثقل مقداره (3kg) وبسرعة دوران مقدارها rpm(250)والشكل رقم -5- يبين نتائج فحص البلى قبل وبعد التشعيع .



شكل



شكل رقم -4-تغير قيم الصلادة بتغير طاقة أشعة الليزر



شكل رقم – 5– منحني فحص البلى قبل وبعد المعاملة

المناقشة :

أن تحول المعدن من الحالة السائلة عند الانصهار الى الحالة الصلبة في زمن قصير جدا يؤدي الى زيادة الصلادة ،كذلك فأن التسخين والتبريد السريعين دون المرور بالطور السائل يولد أجهادات داخلية انضغاطية تسبب زيادة الصلادة .

ان الطاقة المختارة لاجراء عمليات التصليد السطحي اعطت زيادة مقبولة في قيم الصلادة المايكروية المقاسة لسطح المعدن مع تجانس مقبول لاثر الضربة مصحوبا بزيادة في معدل الخشونة السطحية للمعدن وهذا متوقع بسبب وجود مناطق انصهار لسطح المعدن وكما هو مبين في نتائج التصوير بالمجهر الضوئي.

بينت النتائج ان هنالك تأثير كبير لطاقة أشعة الليزر على قيم الصلادة المايكروية اذ ان زيادة الطاقة تؤدي إلى زيادة كمية الحرارة الممتصة من قبل المعدن وبالتالي أرتفاع درجة حرارته وفي أزمان قصير جدا (معتمدة على زمن النبضة) وبفعل التبريد السريع سيتولد انحدار حراري كبير مولدا اجهادات داخلية تزداد بزيادة سرعة التسخين والتبريد مصحوبة بزيادة الصلادة نتيجة لتكون طور المارتنسايت وكما مبين في الشكل (2).

ان لبعد العينة عن عدسة منظومة الليزر تأثير كبير على صلادتها المايكروية كما مبين في الشكل (3) الذي يوضح تناقص قيم الصلادة المايكروية مع زيادة المسافة عن عدسة المنظومة وهذا متوقع لان زيادة المسافة يؤدي الى اتساع مساحة الضربة بفعل ابتعادها عن بؤرة العدسة مما يؤدي الى نقصان كثافة الطاقة وبالتالي لايسمح بحصول التحولات الطورية بشكل كامل .

من المعروف ان أداء الأجزاء الميكانيكية الهندسية يقترن بمواصفات موادها من خواص الصلادة والكلال أضافة الى ذلك فان مقاومة البلى تكتسب أهمية خاصة ،لذلك أعتمد التصليد السطحي المختار لمعاملة عينات فحص البلى ، حيث بينت نتائج الفحص (الشكل 5) ان الفولاذ الكاربوني المصلد باشعة الليزر أعطى تحسنا كبيرا في مقاومة البلى أذ ان الفقدان بالوزن كان قليلا مقارنة مع الفولاذ غير المعامل والسبب يعود الى تأثيرالتصليد السطحي ، ومن ناحية أخرى بينت نتائج فحص الفولاذ الكاربوني غير المعامل تشتت قراءات الفقدان بالوزن أضافة الى التشوه الكبير في التركيب المجهري وكما موضح في الصور الملحقة في الشكل(5).

الاستنتاج :

يمكن الاستنتاج من هذه الدراسة ان معاملة الفولاذ الكاربوني بأشعة الليزر تؤدي الى تغيرات في التركيب الدقيق للمعدن منها التحولات الطورية الى خليط من طور الفرايت والمارتنسايت والسمنتايت .كذلك تبين بان ظروف التشعيع والمتمثلة بطاقة اشعة الليزر وبعد المسافة عن عدسة المنظومة تؤدي الى تكوين انواع مميزة من التركيب الدقيق ومنها ظهور طور الانصهار اضافة الى تاثيرها الواضح على نعومة التركيب الدقيق ومعدل الخشونة السطحية .أعطت هذه المعاملات زيادة واضحة في مقاومة البلى للمعدن والذي له الإيجابية في الكثير من التطبيقات الصناعية.

المصادر:

1. Sona .A "Laser nd their application" Gordon and Breach, Science Publishers Ltd, (1976).
2. John. F. Ready, "Material processing-an overview" proceeding of IEEE, Vol. 70, No 6, June (1982).
3. John. F. Ready, " Industrial applications of lasers " Academic Press , New York, San Francisco , London , (1978).
4. Conrad M. Banas, " Co2 laser material processing “, physical processes in materials interactions , M. Bertolotti.
5. M. F. Ashby, K. E. Easterling, " The transformation hardening of steel surface by laser beams of Hypo - entectoid steel “, Acta metall. Vol. 32, No. 2, (1988).

6.Jan Kusinski, " Laser melting of high speed tool steel “, Metallurgical transactions, Vol. 19A, No. 2, (1988).

Improvement of the surface hardness and wear resistant of low carbon steel using Laser radiation

S.K.Yaseen Al-Ani
Head of the Department of Computer Science
College of Education for Women, Baghdad University

Abstract

The surface treatment of the carbon steel is important for the improvement of its properties, which lead to the improvement the efficiency during the operation. The laser surface hardening is a new technique, which used the incident laser beam upon the surface of metal to cuse local heating and slef quenching result from the effect of the beam.

There is many application in the experimental and industrial of the laser technique because of the converging the laser beam by the lens on a very small spot which its diameter near the value of the laser wave length. This lead to concentrate high energy in very small area which lead to high heating in comparison with the usual heating sources which give lower heating energy density produced by the traditional heating sources. As an example of solid state laser such as Ruby laser, Nd-Yag laser, Nd-glass laser and CO_2 laser, each type of these has properties, which determined the applied field.

In this paper Nd- glass laser has been used to surface hardening of low carbon steel, which study the irradiation and its effect upon microstructure, surface hardening and wear resistant of the metal.