

تأثير بارامترات الليزر في البنية البلورية والخواص الميكانيكية للفولاذ الجزء الأول¹

م. تحسين إبراهيم البرغوث²

أ. د. محمد علي سلامة³

د. إبراهيم عبد الهادي⁴

الملخص

تتعدد تقانات المعالجة الحرارية (التقليدية منها والحديثة) للقطع الفولاذية، وتأتي تقانة المعالجة الحرارية بالليزر في طليعة التقانات الحديثة لأنواع الفولاذ المختلفة (سواءً الكربوني منها أو السبائكي)، وذلك بهدف تلافى الصعوبات والأخطاء التي يمكن أن تحدث نتيجة استخدام التقانات الأخرى. ولهذا وجدت تقانة المعالجة الحرارية بشعاع الليزر استخداماً واسع النطاق في معالجة أنواع الفولاذ ذات الأهمية الصناعية والبحثية الخاصة، إذ يمكن أن يؤدي التسخين والتبريد السريعان للطبقات السطحية للقطع الفولاذية إلى تغيرات بنيوية كبيرة فيها، ومن ثمَّ تغير كبير أيضاً في قيم الخواص الميكانيكية لهذه الطبقات.

درس في هذا البحث تأثير تغير قيم بعض البارامترات الرئيسة لشعاع ليزر CO₂ في كل من البنية البلورية والخواص الميكانيكية لسطوح عينات من الفولاذ الكربوني (منخفض نسبة الكربون ومتوسطه وعالية)، وقد تبين أنه لا بد من إجراء الدراسة النظرية والتجريبية المكثفة بغية الوصول إلى نظام معالجة حرارية بشعاع ليزر CO₂ تكون قيم بارامتراته مثلى (أي استطاعة الليزر وتوزع شدته وشكل حزمة الليزر وقطر بقعة الليزر وسرعة المعالجة به وزمن هذه المعالجة وغيرها)، وذلك بهدف تحقيق المعالجة الحرارية اللازمة (دون حدوث أي عمليات صهر موضعي للطبقات السطحية المراد معالجتها حرارياً من جهة، والحصول على البنية البلورية والخواص الميكانيكية المطلوب تحقيقها من خلال إجراء هذه المعالجة الحرارية من جهة أخرى).

أظهرت نتائج هذا البحث أن هناك مجالاً واسعاً لتغير قيم كل من سرعة شعاع ليزر CO₂ واستطاعته دون أن يحدث أي عملية صهر موضعي في سطح القطعة المعالجة، وإنما يحدث تغيرات بنيوية لعمق يزيد على (0.5mm) في بعض الحالات، ومن ثمَّ يحدث تغيراً في الخواص الميكانيكية للعمق نفسه من السطح المعالج.

¹ أعد البحث في سياق رسالة الدكتوراه للمهندس تحسين إبراهيم برغوث بإشراف الدكتور محمد علي سلامة ومشاركة الأستاذ الدكتور إبراهيم عبد الهادي.

² قسم هندسة التصميم الميكانيكي - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق.

³ قسم هندسة التصميم الميكانيكي - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق.

⁴ مركز الدراسات والبحوث العلمية - دمشق.

مقدمة:

(3) التحكم بشكل المنطقة المتأثرة حرارياً ومكان

توضعها.

(4) إمكانية التحكم بالعملية عن بعد، ولاسيماً الأماكن التي يصعب الوصول إليها لتحقيق المعالجة الحرارية.

(5) يمكن أتمتة كامل عملية المعالجة الحرارية بشعاع الليزر.

تهدف المعالجة الحرارية بصورة عامة إلى التحكم بالخواص الميكانيكية للقطع المعدنية دون إحداث أي تغيير في شكلها أو تركيبها الكيميائي. وتكمن المعالجات الحرارية التقليدية للفولاذ في تلك المراحل الأساسية الثلاث، وهي :

(1) تسخين القطعة الفولاذية المراد معالجتها حرارياً إلى درجة حرارة معينة.

(2) الإبقاء عند هذه الدرجة من الحرارة مدة زمنية معينة (تطول هذه المدة أو تقصر تبعاً لأبعاد القطعة ونوع المعالجة الحرارية المطلوب إجراؤها).

(3) التبريد بسرعات مختلفة، وذلك تبعاً لأسلوب المعالجة الحرارية المتبع [3].

أما استخدام الليزر في عملية التقسية السطحية للخلائط الفولاذية فسببه أن شعاع الليزر يحدث تسخيناً سريعاً جداً لطبقة سطحية رقيقة من القطعة الفولاذية (أي تسخن هذه الطبقة الرقيقة إلى ما فوق درجة حرارة التحول الطوري AC_1 ، وغالباً ما يكون التسخين إلى درجة حرارة أعلى من درجة حرارة التحول الطوري AC_3). بعد ذلك، وخلال مدة زمنية قصيرة جداً، تنتشر الحرارة بالتوصيل ضمن القطعة المعالجة إلى العمق. وتتم بعدها عملية التبريد الذاتي (إذ إن المعدن نفسه يقوم بتبريد المنطقة المعالجة حرارياً). وبهذا الأسلوب يتم اختصار الزمن بشكل كبير جداً، حتى أنه يمكن إلغاء المرحلة الثانية من المعالجة الحرارية التقليدية (أي زمن الإبقاء)، فضلاً عن أنه يمكن

شهدت تقانة الليزر تطوراً كبيراً في العقود الأخيرة من القرن العشرين، وما زالت هذه التقانة تلقى تطوراً مستمراً مع بداية القرن الحادي والعشرين، ويعود السبب الرئيس في هذا التطور المتسارع لتقانة الليزر إلى أن شعاع الليزر وجد استخداماً واسع النطاق في مجالات عدة (الصناعية والطبية والبحثية وغيرها) من جهة، ويمكن التحكم ببارامترات هذا الشعاع من جهة أخرى. ويعد استخدام تقانة الليزر في المعالجة السطحية للخلائط المعدنية أحد أهم المجالات التي تبدو فيها واضحة مجموعة الميزات الخاصة التي يتمتع بها شعاع الليزر، والتي تميزه عن غيره من مصادر الطاقة الأخرى وتجعله يفوق التقانات التقليدية جميعها (وحتى الحديثة منها) في هذا النوع من المعالجات الحرارية. قدمت تقانة الليزر ميزات مختلفة لتحسين الخواص السطحية للفولاذ [4,2,1]، ويقصد هنا بتحسين الخواص السطحية للفولاذ زيادة قساوة السطح المعالج بشعاع الليزر وزيادة مقاومته للتآكل والاهتراء، وفي بعض الأحيان زيادة مقاومة السطح المعالج للتآكل الكيميائي، وذلك من خلال المعالجة السطحية لبعض المكونات الهندسية والأجزاء المعدنية [2]. وبما أن الليزر عبارة عن حزمة أحادية طول الموجة من الإشعاع الكهرومغناطيسي، يتم امتصاصها خلال الطبقات السطحية الأولى من المعدن (أو الخليطة المعدنية) لهذا تتمكن تقانة المعالجة السطحية بالليزر بمجموعة من الميزات مقارنة بالتقانات الأخرى، أهمها :

(1) نظيفة كيميائياً.

(2) إمكانية ضبط عمق التغلغل الحراري في السطح، ومن ثم إمكانية التخفيف من التشوه الناتج عن التأثير الحراري لشعاع الليزر.

(3) خواص المواد المراد معالجتها حرارياً (ولاسيماً معامل الامتصاص للمادة المعالجة).

(4) شكل الحزمة وتوزيع شدة استطاعة الليزر TEM .mode

وبيّن الشكل (1) مخطط عملية النقسية بشعاع الليزر وبارامترات هذه الشعاع.

وعلى الرغم من الدراسات والبحوث الكثيرة في هذا المجال^[21-11]، إلا أن التحولات غير الانتشارية التي يمكن أن تحدث في الخلائط الفولاذية، ولاسيماً عندما تزيد سرعات التبريد الأخيرة على حدود معينة، وعلاقة سرعات التبريد هذه بكل من تقانة الليزر المستخدمة في المعالجة وقيم بارامترات الشعاع الليزري، لم تُعطَ الدراسة والبحث الكافيين. فقد أظهرت بعض هذه البحوث أن تغير قيم طاقة شعاع الليزر يؤثر في قيم القساوة السطحية للفولاذ المعالج حرارياً بهذه التقانة دون أن تبين الحدود المثلى لتغير قيم طاقة الشعاع الليزري، التي يمكن التقيد بها عند إجراء تطبيقات عملية على قطع فولاذية معينة بهدف استثمارها في المجالات الصناعية والبحثية، في حين أظهرت بحوث أخرى أن حدوث صهر موضعي في نقاط معينة من سطح الفولاذ المعالج بشعاع الليزر يؤدي إلى تشكل مجموعة من عناصر البنية الأخرى في هذا السطح، فضلاً عن البنية المارتنسيكية المتوخاة من عملية المعالجة هذه، ومن ثمّ حدوث عدم تجانس في البنية البلورية للسطح المعالج من جهة، وإمكانية ظهور شقوق متباينة الأشكال والأحجام من جهة أخرى، ولاسيماً عند ازدياد عمق الصهر على حد معين لم توضحه هذه البحوث والدراسات.

لهذا، تم التركيز في هذا البحث على كل من تقانة الليزر المستخدمة في المعالجة السطحية للخلائط الفولاذية وقيم بارامترات الشعاع الليزري المطلوبة

باستخدام شعاع الليزر ضمان إمكانية وصول شعاع الليزر إلى أماكن محددة ومعقدة الشكل^[8,4].

I - بارامترات (مؤشرات) عملية المعالجة الحرارية بواسطة الليزر (دراسة مرجعية):

تعدّ بارامترات العملية مهمة جداً لإجراء هذا النوع من المعالجة الحرارية (أي المعالجة السطحية للخلائط المعدنية)، وقد تعددت الدراسات والبحوث في هذا المجال، ولاسيماً تلك المتعلقة بقيم بارامترات الشعاع الليزري المستخدم في المعالجة السطحية للخلائط المعدنية (بما في ذلك الخلائط الفولاذية)، ذلك لأنه من الصعب ضبط تلك التغيرات الصلبة التي يمكن أن تحدث في الخليطة الفولاذية عندما تزيد سرعات التسخين والتبريد لهذه الخليطة على حدود معينة، فكيف إذا وصلت قيم سرعات التسخين والتبريد إلى حدود عالية جداً يصعب ضبطها (أو حتى تحديد هذه القيم بشكل يتناسب أسلوب المعالجة المراد إجراؤه وعمق الطبقة المراد تقسيتها وقيم القساوة المطلوب تحقيقها وغيرها).

ولهذا، تتوعت أساليب المعالجة بشعاع الليزر للخلائط الفولاذية، وتباينت قيم بارامترات الشعاع الليزري المستخدم في المعالجة السطحية بين حالة وأخرى وبين بحث وآخر^[10-8].

عمدنا في هذا البحث إلى إجراء دراسة مرجعية مكثفة للبحوث والدراسات المتعلقة بالمعالجة السطحية للخلائط المعدنية (ولاسيماً تلك المتعلقة بالخلائط الفولاذية)، فوجدنا أن بارامترات الشعاع الليزري الأكثر أهمية في تحديد أسلوب المعالجة السطحية المتبع، هي:

(1) استطاعة الليزر وقطر بقعة الليزر اللذان يحددان شدة هذه الاستطاعة مقدرة بـ W/cm^2 .

(2) سرعة المعالجة ومن ثمّ زمن المعالجة.

II - القسم العملي: لإجراء هذا النوع من المعالجة الحرارية من جهة،

II.1 - اختيار الخلائط الفولاذية (موضوع البحث):

اختيرت في هذا البحث خلائط فولاذية من الفولاذ الكربوني (منخفض نسبة الكربون ومتوسطه وعالي نسبة الكربون) وخلائط أخرى من الفولاذ السبائكي منخفض نسب العناصر السبائكية.

جرت العادة على تصنيف خلائط الفولاذ الكربوني وفقاً لما يأتي [3]:

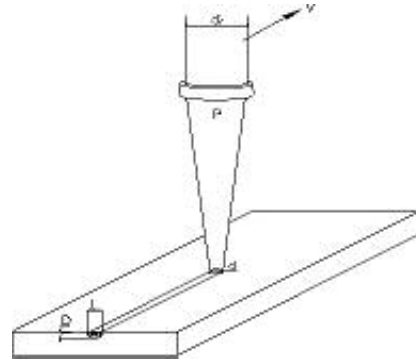
- فولاذ منخفض نسبة الكربون : يحوي C (0.2) ÷ 0.0 ، وفي بعض المراجع C (0.25 ÷ 0) .
- فولاذ متوسط نسبة الكربون يحوي C (0.5) ÷ 0.2 . وفي بعض المراجع C (0.6 ÷ 0.2) .
- فولاذ عالي نسب الكربون يحوي ما فوق (C % 5.0) ، وفي بعض المراجع ما فوق (C % 0.6) . أما الفولاذ السبائكي فقد تم تصنيفه وفقاً لما يأتي:
- فولاذ منخفض نسب العناصر السبائكية: يحوي عناصر سبائكية، لا يزيد مجموع نسبها على % (5.0).
- فولاذ متوسط نسب العناصر السبائكية: يحوي عناصر سبائكية، مجموع نسبها بين % (5.0 ÷ 10.0) .
- فولاذ عالي نسب العناصر السبائكية: يحوي عناصر سبائكية، يزيد مجموع نسبها على % (10.0)

وعلى هذا الأساس اختيرت الخلائط الفولاذية المبينة في الجدول (1) ، والتي هي من مصدر تشيكي، نظراً إلى أن هذه الخلائط متوافرة بكميات كبيرة من جهة، ولأنها تستخدم في الصناعات المدنية وفي بعض الصناعات الخاصة جداً في القطر العربي السوري من جهة أخرى، وقد أُشير إلى ذلك آنفاً.

يبين الجدول (1) نفسه التركيب الكيميائي لهذه الخلائط كما وردت من المصدر، فضلاً عن أقرب مكافئ لها وفقاً للمواصفات العالمية (DIN) و (AISI)، في حين يبين الجدول (2) التركيب الكيميائي للخلائط الفولاذية الثلاث بطريقة التحليل الطيفي للعناصر. ويتضح من

والتبريد السريعتين عند المعالجة بشعاع الليزر من جهة أخرى. وقد درست في هذا البحث خلائط فولاذية من مصدر تشيكي متباينة التركيب الكيميائي والبنية البلورية والخواص الميكانيكية وذات الاستخدام الخاص جداً في القطر العربي السوري التي لم تدرس سابقاً.

وهنا لا بد من الإشارة إلى أن التجارب المخبرية التي أجريت على هذه الأنواع من الفولاذ جميعها، متباينة التركيب الكيميائي والبنية البلورية، كان الهدف الأساس منها يكمن في إحداث تغيرات صلبة في البنية السطحية والخواص الميكانيكية للفولاذ دون حدوث أي صهر موضعي لأي من الطبقات السطحية لأنواع الفولاذ موضوع البحث.



: استطاعة الليزر.

d : قطر حزمة الليزر.

di : قطر الحزمة الأولية.

D: عمق الطبقة المقاسة (المتأثرة حرارياً) .

V: سرعة الانتقال (المسح).

f: بعد النقطة المحرقية عن السطح.

L: عرض المنطقة المتأثرة حرارياً.

الشكل (1) مخطط يصف عمليات التقسية السطحية بالليزر وبارامترات المعالجة السطحية.

II.2 - اختيار تقانة الليزر وتحديد قيم بارامترات الشعاع الليزري:

اختبرت تقانة الليزر الغازي الذي يتمتع باستطاعة عالية وهو عبارة عن ليزر CO₂ ذي الاستطاعة 3500W. وقد أجريت مجموعة كبيرة جداً من التجارب الأولية بهدف اختيار أفضل القيم لبارامترات الشعاع الليزري التي تساعد في تطبيق المعالجة الحرارية لسطوح القطع الفولاذية موضوع البحث، وللتأكد من وجود معالجة سطحية فقط لهذه القطع، وعدم حدوث أية عملية صهر موضعي على سطح العينة (ولو لعمق عدة ميكرونات من السطح). وبعد إجراء هذه التجارب الأولية، تم تثبيت قيم البارامترات الآتية:

1- المسافة بين سطح القطعة و فوهة نفث الغاز، وقدمت تثبيت مقدار هذه المسافة مساوياً (5mm).
2- تدفق الغاز، إذ استخدم غاز الأروت وكان تدفقه خلال عملية المعالجة $Q \geq 100 \text{ L/min}$.

3- توضع النقطة المحرقة فوق سطح المعدن التي تحدد لنا قيمة قطر بقعة حزمة الليزر على السطح $f = +5$
أما باقي البارامترات (السرعة والاستطاعة وغيرها) فقد تم تغيير قيم إحداها مع الحفاظ على قيم ثابتة

ومحددة للبارامترات الأخرى، وذلك بهدف اختيار نظام المعالجة المثلى لكل حالة على حدة. وبهذا الشكل درس تأثير تغير قيم كل من سرعة الشعاع الليزري واستطاعته (وغيرها من البارامترات الأخرى) في عمق المنطقة المتأثرة حرارياً (HAZ) من الطبقة السطحية المعرضة للتسخين وعرض هذه المنطقة من جهة، وبيان نوع البنى البلورية التي تتمتع بها المناطق المختلفة من الطبقة السطحية المعالجة وقيم خواصها الميكانيكية، وذلك تبعاً لنوع الفولاذ المعالج وقيم بارامترات شعاع الليزر المستخدم في المعالجة، من جهة أخرى.

الجدولين (1) و (2) أنه يمكن نسب الخليطة الفولاذية رقم (1) إلى الفولاذ الكربوني منخفض نسبة الكربون والخليطة رقم (2) إلى مثيله متوسط نسبة الكربون، في حين يمكن نسب الخليطة رقم (3) إلى الفولاذ الكربوني عالي نسبة الكربون من جهة، وذلك لأن نسبة الكربون فيه تزيد على (0.6% C)، ويمكن أن تنسب هذه الخليطة إلى الفولاذ السباتكي منخفض نسب العناصر السباتكية من جهة أخرى، وذلك لأن مجموع ما تحويه هذه الخليطة من العناصر السباتكية (بما فيها الكربون) يزيد على (3.0%). وبيّن الشكل (2) كيف تم صقل سطوح العينات الثلاث وتحضيرها لإجراء التحليل الطيفي عليها وتحديد نسب العناصر الموجودة في كل من هذه الخلائط الفولاذية الثلاث (والبالغة 31 عنصراً) جميعها.

الجدول (1) : التركيب الكيميائي لأنواع الفولاذ المختارة

ومكافئاتها في المواصفات العالمية

رقم الخليطة	ČSN	DIN	AISI	C	Si	Mn	Cr	Ni	V	Cu
1	12023	CK 15	1015	0.12-0.19	0.2-0.4	0.35-0.55	0.25	0.3	-	0.3
2	14140	37Cr4	5135 H	0.35-0.42	0.17-0.27	0.5-0.8	0.8-1.1	-	-	-
3	19312	90MnCrV8 (*)	O-2 (*)	0.75-0.85	0.15-0.35	1.85-2.15	0.25	0.35	0.1-0.2	-

(*) أقرب مكافئ

الجدول (2) : التركيب الكيميائي لأنواع الفولاذ المختارة

بطريقة التحليل الطيفي

رقم الخليطة	C	Si	Mn	Cr	Ni	V	Cu	P	S	Fe
1	0,101	0,262	0,52	0,147	0,172	0,0010	0,133	0,011	0,015	98,5
2	0,50	1,89	0,75	0,80	0,054	0,0011	0,131	0,013	0,0068	95,7
3	0,64	0,278	1,89	0,121	0,082	0,144	0,097	0,015	0,018	96,5



الشكل (2): العينات الفولاذية (من أنواع الفولاذ الثلاثة) كما استلمت، وتم صقل سطوحها بالجلخ الآلي والسماذج، ثم تحديد التركيب الكيميائي بطريقة التحليل الطيفي.

III - النتائج والمناقشة:

III.1 - دراسة تأثير تغير السرعة في كل من عمق

المنطقة المتأثرة حرارياً وعرضها للفولاذ رقم (1):

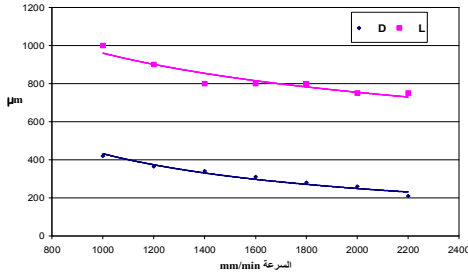
أجريت مجموعة من التجارب على الخليطة الفولاذية رقم 1 (وهي عبارة عن فولاذ منخفض نسبة الكربون)، وقد تم تثبيت قيم الاستطاعة للشعاع الليزري عند 1000 Watt، وذلك بعد إجراء تجارب عدة لبيان أن قيم هذه الاستطاعة للشعاع الليزري لا تحدث أية عملية انصهار في الطبقات السطحية للفولاذ المعالج مهما تباينت قيم السرعة لهذا الشعاع. ويبين الجدول (3) كيفية تغير قيم السرعة الخطية لحزمة الليزر المستخدمة في المعالجة السطحية للفولاذ الكربوني منخفض نسبة الكربون، وتأثير تغير هذه القيم في كل من عمق المنطقة المعالجة وعرضها.

الجدول (3): نتائج تأثير تغير قيم السرعة الخطية لحزمة ليزر CO₂ في كل من عمق المنطقة السطحية المعالجة وعرضها للفولاذ رقم (1)، وقد تم تثبيت استطاعة الحزمة الليزرية عند

المقدار 1000 Watt

رقم نظام المعالجة بشعاع ليزر CO ₂	السرعة الخطية لحزمة الليزر V (mm / min)	عمق المنطقة المعالجة D (μm)	عرض المنطقة المعالجة L (μm)
1	1000	420	1000
2	1200	365	900
3	1400	340	800
4	1600	310	800
5	1800	280	800
6	2000	260	750
7	2200	210	750

ويوضح الشكل (3) كيف تتخفف (وبشكل انسيابي) قيم كل من عمق المنطقة المعالجة وعرضها مع ازدياد السرعة الخطية لحزمة ليزر CO₂ المستخدم في المعالجة السطحية للفولاذ الكربوني منخفض نسبة الكربون مع الحفاظ على قيم ثابتة لاستطاعة هذا الشعاع مساويةً (1000 W) .



الشكل (3): انخفاض قيم عمق المنطقة المعالجة وعرضها مع

ازدياد السرعة الخطية لحزمة شعاع ليزر CO₂

وتثبيت استطاعة الشعاع عند المقدار 1000 Watt ، وذلك عند المعالجة السطحية للخليطة الفولاذية رقم 1.

III.2 - دراسة تأثير تغير السرعة في عمق المنطقة

المتأثرة حرارياً وعرضها للفولاذ رقم (2) :

أجريت مجموعة من التجارب على الخليطة الفولاذية رقم 2 (وهي عبارة عن فولاذ متوسط نسبة الكربون) وقد تم تثبيت قيم الاستطاعة للشعاع الليزري عند 800Watt، وذلك بعد إجراء تجارب عدة لبيان أن قيم هذه الاستطاعة للشعاع الليزري لا تحدث أية عملية انصهار في الطبقات السطحية للفولاذ المعالج مهما تباينت قيم السرعة لهذا الشعاع. ويبين الجدول (4) كيفية تغير قيم السرعة الخطية لحزمة الليزر المستخدمة في المعالجة السطحية للفولاذ الكربوني متوسط نسبة الكربون، وتأثير تغير هذه القيم في كل من عمق المنطقة المعالجة وعرضها.

ويوضح الشكل (4) كيف تتخفف (وبشكل انسيابي) قيم كل من عمق المنطقة المعالجة وعرضها مع ازدياد السرعة الخطية لحزمة ليزر CO₂ المستخدم في المعالجة السطحية للفولاذ الكربوني متوسط نسبة الكربون، مع الحفاظ على قيم ثابتة لاستطاعة هذا الشعاع مساويةً (800 W) .

الكربون، وتأثير تغير هذه القيم في كل من عمق المنطقة المعالجة وعرضها.

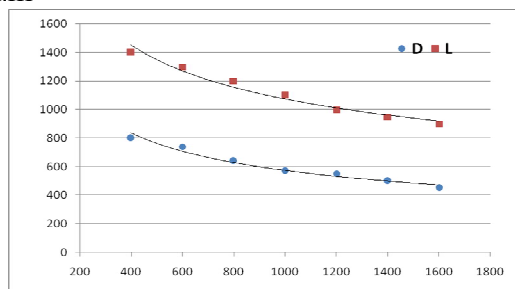
الجدول (5): نتائج تأثير تغير قيم السرعة الخطية لحزمة ليزر CO₂ في كل من عمق المنطقة السطحية المعالجة وعرضها للفولاذ رقم (3)، وقد تم تثبيت استطاعة الحزمة الليزرية عند

المقدار 1000 Watt

رقم نظام المعالجة بشعاع ليزر CO ₂	السرعة الخطية لحزمة الليزر V (mm / min)	عمق المنطقة المعالجة D (μm)	عرض المنطقة المعالجة L (μm)
1	400	800	1400
2	600	740	1300
3	800	640	1200
4	1000	570	1100
5	1200	550	1000
6	1400	500	950
7	1600	450	900

ويوضح الشكل (5) كيف تتخفف (وبشكل انسيابي) قيم كل من عمق المنطقة المعالجة وعرضها مع ازدياد السرعة الخطية لحزمة ليزر CO₂ المستخدم في المعالجة السطحية للفولاذ الكربوني عالي نسبة الكربون، مع الحفاظ على قيم ثابتة لاستطاعة هذا الشعاع مساوية (1000 W).

μm



السرعة (mm/min.)

الشكل (5): انخفاض قيم عمق المنطقة المعالجة وعرضها مع

ازدياد السرعة الخطية لحزمة شعاع ليزر CO₂

وتثبيت استطاعة الشعاع عند المقدار 1000 Watt ، وذلك عند المعالجة السطحية للخليطة الفولاذية رقم 3.

III.4- دراسة تأثير تغير قيم الاستطاعة في كل من عمق

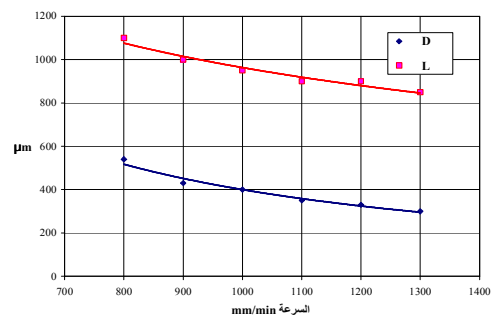
المنطقة المتأثرة حرارياً وعرضها للفولاذ رقم (3):

أجريت مجموعة من التجارب على الخليطة الفولاذية رقم 3 (وهي عبارة عن فولاذ عالي نسبة الكربون)،

الجدول (4): نتائج تأثير تغير قيم السرعة الخطية لحزمة ليزر CO₂ في كل من عمق المنطقة السطحية المعالجة وعرضها للفولاذ رقم (2)، وقد تم تثبيت استطاعة الحزمة الليزرية عند

المقدار 800 Watt

رقم نظام المعالجة بشعاع ليزر CO ₂	السرعة الخطية لحزمة الليزر V (mm / min)	عمق المنطقة المعالجة D (μm)	عرض المنطقة المعالجة L (μm)
1	800	540	1100
2	900	430	1000
3	1000	400	950
4	1100	350	900
5	1200	330	900
6	1300	300	850



الشكل (4): انخفاض قيم عمق المنطقة المعالجة وعرضها مع

ازدياد السرعة الخطية لحزمة شعاع ليزر CO₂

وتثبيت استطاعة الشعاع عند المقدار 800 Watt ، وذلك عند المعالجة السطحية للخليطة الفولاذية رقم 2.

III.3 - دراسة تأثير تغير السرعة في كل من عمق

المنطقة المتأثرة حرارياً وعرضها للفولاذ رقم (3):

أجريت مجموعة من التجارب على الخليطة الفولاذية

رقم 3 (وهي عبارة عن فولاذ عالي نسبة الكربون)،

وقد تم تثبيت قيم الاستطاعة للشعاع الليزري عند

1000 Watt ، وذلك بعد إجراء تجارب عدة لبيان أن

قيم هذه الاستطاعة للشعاع الليزري لا تحدث أية

عملية انصهار في الطبقات السطحية للفولاذ المعالج

مهما تباينت قيم السرعة لهذا الشعاع. ويبين الجدول

(5) كيفية تغير القيم الخطية لحزمة الليزر المستخدمة

في المعالجة السطحية للفولاذ الكربوني عالي نسبة

III.5- دراسة تأثير تغير النقطة المحرقة في عمق

المنطقة المتأثرة حرارياً وعرضها للفولاذ رقم (3):

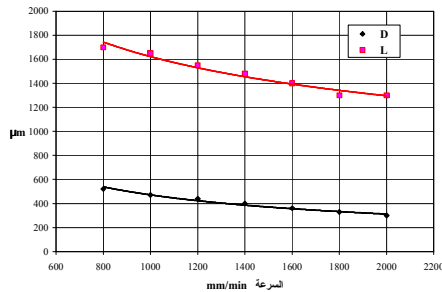
أعيدت مجموعة التجارب على الفولاذ رقم /3/ المبينة في الجدول (5) مع تغيير النقطة المحرقة من 5mm+ إلى 10 mm+ وتم تثبيت الاستطاعة عند 1000 Watt فكانت النتائج كما هو موضح بالجدول (7) :

الجدول (7): نتائج تأثير تغير قيم السرعة الخطية لحزمة ليزر CO₂ في كل من عمق المنطقة السطحية المعالجة

وعرضها للفولاذ رقم (3)، وقد تم تثبيت الاستطاعة

عند 1000 W والنقطة المحرقة عند f=+10mm

رقم نظام المعالجة بشعاع ليزر CO ₂	السرعة الخطية لحزمة الليزر V (mm / min)	عمق المنطقة المعالجة D (μm)	عرض المنطقة المعالجة L (μm)
1	800	520	1700
2	1000	470	1650
3	1200	440	1550
4	1400	400	1500
5	1600	360	1400
6	1800	330	1300
7	2000	300	1300



الشكل (7): انخفاض قيم عمق المنطقة المعالجة وعرضها

مع ازدياد السرعة الخطية لحزمة شعاع ليزر CO₂ وتثبيت استطاعة الشعاع عند المقدار 1000 Watt ، والنقطة المحرقة عند f=+10mm (الفولاذ 3).

III.6 – البنية البلورية للطبقات السطحية لأنواع

الفولاذ (موضوع البحث) بعد معالجتها حرارياً

بالليزر:

بيّنت دراسة البنية البلورية للعينات المعالجة بالشعاع الليزري، ووفقاً للبارامترات المعتمدة في هذا البحث، أن الطبقة السطحية المعالجة بشعاع الليزر تتألف فعلياً

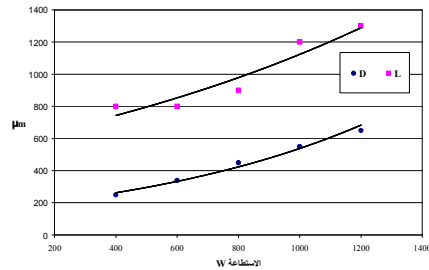
وقد تم تثبيت قيم السرعة الخطية للشعاع الليزري عند (800 mm / min.)، وذلك بعد إجراء تجارب عدة لبيان أن قيم هذه السرعة الخطية للشعاع الليزري لا تحدث أية عملية انصهار في الطبقات السطحية للفولاذ المعالج مهما تباينت قيم الاستطاعة لهذا الشعاع. وبيّن الجدول (6) كيفية تغير قيم الاستطاعة لحزمة الليزر المستخدمة في المعالجة السطحية للفولاذ الكربوني عالي نسبة الكربون، وتأثير تغير هذه القيم في كل من عمق المنطقة المعالجة وعرضها.

وقد تبين من خلال إجراء التجارب العديدة على كل من الخليطة رقم (1) ورقم (2)، وذلك بتغيير قيم الاستطاعة الواردة في الجدول رقم 6 (وبالقيم نفسها المستخدمة للفولاذ رقم 3) مع الحفاظ على قيمة السرعة نفسها المحددة في المعالجة السطحية لهذا الفولاذ، تبين أن قيم هذه البارامترات تصلح في حال العينة رقم 1 و 2 – أي تزداد قيم كل من عمق المنطقة المعالجة وعرضها مع زيادة الاستطاعة، ولا يحدث أي انصهار للطبقة السطحية في هذين النوعين من الفولاذ من أجل قيم البارامترات أنفة الذكر جميعها.

الجدول (6): نتائج تأثير تغير قيم الاستطاعة الحزمة ليزر CO₂ في كل من عمق المنطقة السطحية المعالجة وعرضها للفولاذ رقم (3)، وقد تم تثبيت سرعة الحزمة الليزرية عند

المقدار (800 mm/min.)

رقم نظام المعالجة بشعاع ليزر CO ₂	الاستطاعة P (Watt)	عمق المنطقة المعالجة D (μm)	عرض المنطقة المعالجة L (μm)
1	400	250	800
2	600	340	800
3	800	450	900
4	1000	550	1200
5	1200	630	1300

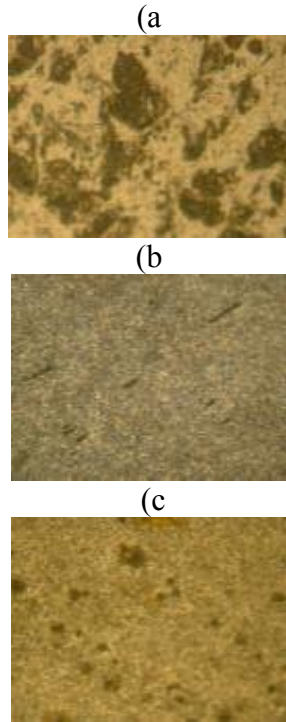


الشكل (6): ازدياد قيم عمق المنطقة المعالجة وعرضها مع

ازدياد قيم الاستطاعة لحزمة شعاع ليزر CO₂

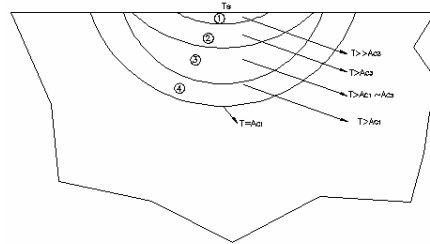
وتثبيت السرعة الخطية لحزمة الليزر عند القيمة / 800 mm min.، وذلك عند المعالجة السطحية للخليطة رقم 3

بشعاع الليزر ودرجات حرارة كل منطقة من هذه المناطق الأربع، إذ تكون درجة حرارة المنطقة رقم 1 أعلى كثيراً من درجة حرارة الخط AC_3 ($T \gg AC_3$) في مخطط توازن الحديد والكربون، بينما تكون درجة حرارة المنطقة رقم 2 أعلى بقليل من درجة حرارة الخط أنف الذكر، وتراوح درجة حرارة المنطقة رقم 3 ما بين درجتي حرارة الخطين (AC_1) و (AC_3) في مخطط التوازن، في حين تكون درجة حرارة المنطقة رقم 4 أعلى قليلاً من درجة حرارة الخط (AC_1)، وتساوي درجة حرارة الخط الفاصل بين المنطقة رقم 4 والمعدن الأساس درجة حرارة الخط (AC_1) في مخطط التوازن. ويبين الشكل (9) البنية الأولية لأنواع الفولاذ الثلاثة موضوع البحث، في حين تبيّن الأشكال (10 و 11 و 12) البنى البلورية لمناطق الطبقة السطحية المعالجة في كل نوع من الأنواع الثلاثة للفولاذ.



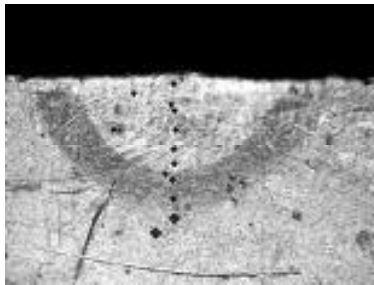
الشكل (9): البنية الأولية لأنواع الفولاذ الثلاثة موضوع البحث.
(a) - الفولاذ رقم (1) (b) - الفولاذ رقم (2)، (c) - الفولاذ رقم (3)

من ثلاث مناطق في بعض الحالات ومن أربع مناطق في حالات أخرى، وذلك تبعاً لقيم البارامترات المستخدمة في المعالجة السطحية من جهة ونوع الفولاذ المعالج سطحه من جهة أخرى. فقد تبين أن **المنطقة الأولى** (تحت السطحية) ذات البنية المارتنسينية المتجانسة، يمكن أن تأخذ مكاناً في بعض العينات، ويمكن أن لا يكون لها وجود أصلاً في عينات أخرى، وذلك تبعاً لقيم البارامترات المستخدمة في المعالجة السطحية والتركيب الكيميائي للفولاذ المعالج كما ذكر آنفاً. أما **المنطقة الثانية** فهي موجودة في جميع العينات المعالجة حرارياً بشعاع الليزر، وبنيتها البلورية عبارة عن مارتنسين غير متجانس (وهذا يعني أن هذا المارتنسين قد تشكل أصلاً من أوستينيت غني بالكربون في نقاط معينة من هذه المنطقة وفقيراً بهذا العنصر في نقاط أخرى). أما **المنطقة الثالثة** فهي موجودة أيضاً في العينات المعالجة حرارياً بشعاع الليزر جميعها، وبنيتها البلورية عبارة عن مارتنسين غير متجانس ونسبة قليلة من البنية الفريتية المتبقية، في حين تحوي **المنطقة الرابعة** بنية قريبة من البنية الأولية للفولاذ المعالج ولو أنه يغلب عليها الطابع الفريتي.

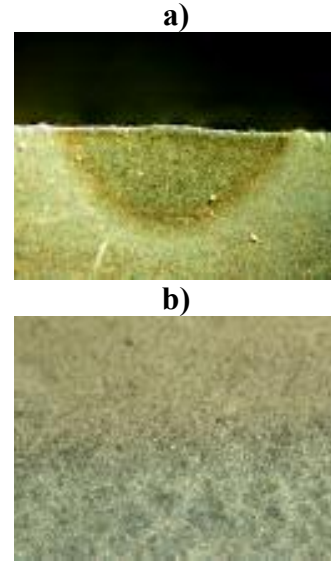


الشكل (8): الشكل التخطيطي لكيفية توزع المناطق في الطبقة السطحية للفولاذ المعالج حرارياً بشعاع الليزر وكيفية توزع درجات الحرارة في هذه المناطق الأربع. يبيّن الشكل (8) مخططاً هندسياً لكيفية توزع المناطق آنفة الذكر في الطبقة السطحية للفولاذ المعالج حرارياً

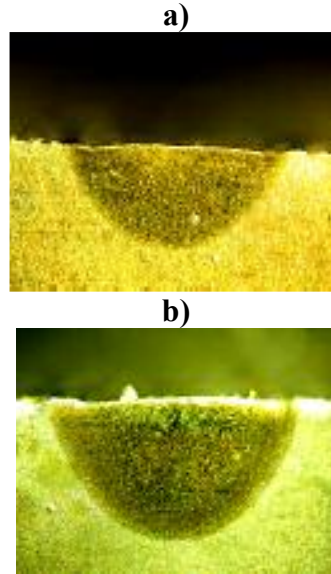
أخذ قياس القساوة الميكروية لبعض العينات الفولاذية (موضوع البحث)، وذلك من خلال قياس القساوة الميكروية على كامل عمق المنطقة المقاسة من العينات الفولاذية الثلاث التي اتبع نظام المعالجة الحرارية نفسه لها (أي تساوي قيم استطاعة شعاع الليزر وسرعته الخطية). وقد بينت نتائج هذه القياسات أن قساوة المنطقة المعالجة بالليزر من الفولاذ رقم 1 لا ترتفع سوى بمقدار الضعف مقارنة بقساوة المعدن الأساس، بينما في الفولاذ رقم 2 و3 ترتفع بمقدار ثلاثة أضعاف تقريباً. وهذا منطقي بالنسبة إلى العينيتين 2 و3، إذ إنهما معدتان من الفولاذ متوسط الكربون وعاليه، مما يعني ارتفاع قيم القساوة إلى ثلاثة أضعاف حتى لو تمت عملية السقاية بالطرائق التقليدية، أمّا العينة رقم 1 المعدة من الفولاذ منخفض نسبة الكربون، فإن هذا الفولاذ لا تتم تقسيته بالطرق التقليدية، ومن ثمّ لن يكون هناك أي ارتفاع في قيم القساوة في المنطقة المقاسة مقارنةً بالمعدن الأساس، أما في حالتنا هذه، فإن ازدياد فرط التبريد (أي سرعة التبريد) إلى حدود تتجاوز كثيراً الحدود الممكن تحقيقها بالطرائق التقليدية أدى إلى التغيرات المارتنسينية في الطبقة المعالجة، ومن ثمّ ارتفاع قيم القساوة الميكروية لهذه المنطقة. وبيّن الشكل (12) كيفية أخذ القياسات الميكروية في عمق الطبقة السطحية للعينات المعالجة.



الشكل (12): كيفية أخذ قيم القساوة الميكروية في عمق المنطقة المعالجة بشعاع ليزر CO₂ للعينات موضوع البحث الفولاذ

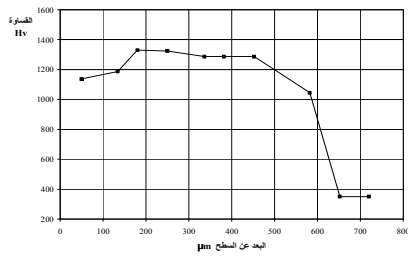


الشكل (10): مقطع ميتالوغرافي (a) في العينة رقم 1 والبنية البلورية (b) للحد الفاصل بين المنطقة المعالجة حرارياً والمعدن الأساس. السرعة الخطية تساوي 800 mm/min () واستطاعة شعاع الليزر تساوي (1000 Watt)، عمق المنطقة المعالجة (550 μm) وعرضها (1200 μm).



الشكل (11): مقطع ميتالوغرافي (a) في العينة 2 ومثيله (b) في العينة 3. السرعة (800mm/min) واستطاعة (1000 W) عمق المنطقة المعالجة في 2 (540μm) وفي 3 (640μm) وعرضها في 2 (1100μm) وفي 3 (1200μm).

III.7- القساوة الميكروية للطبقات السطحية لأنواع الفولاذ (موضوع البحث) بعد معالجتها حرارياً بالليزر:



العلاقة بين القساوة و البعد عن السطح للعينة الفولاذية رقم

/3/

الاستنتاجات الممكنة من البحث:

1- تعدُّ تقانة المعالجة السطحية بالليزر من أهم التقانات التي وجدت استخداماً واسعاً في معالجة سطوح القطع الفولاذية المتمتعة بأهمية صناعية وبحثية خاصة؛ لما لهذه التقانة من خصائص تجعلها متميزة عن غيرها من تقانات المعالجة الحرارية الأخرى (بما فيها التقانات الحديثة للمعالجة الحرارية لهذه الأنواع من الخلائط المعدنية).

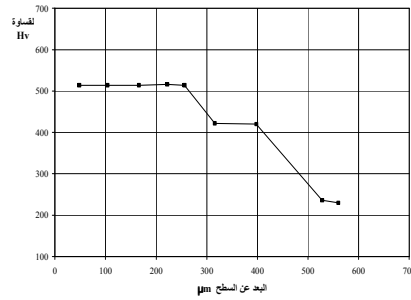
2- بهدف إيجاد قيم البارامترات المثلى لشعاع ليزر CO₂ اللازمة لإجراء معالجة سطحية (ولعمق محدد مسبقاً) لقطعة من الفولاذ الكربوني لا بد من إجراء دراسة نظرية وتجريبية مكثفة بغية تحديد قيم كل من استطاعة الشعاع الليزري وسرعته الخطية والبعد المحرقي وغيرها من بارامترات هذا الشعاع التي تؤثر في نوع البنية البلورية للطبقة السطحية المعالجة والخواص الميكانيكية لهذه الطبقة من جهة ولا تحدث أي عملية صهر موضعي في هذه الطبقة من جهة أخرى.

3- حُدِّت قيم البارامترات المثلى للمعالجة السطحية بشعاع ليزر CO₂ لكل من الفولاذ منخفض نسبة الكربون ومثليه متوسط هذه النسبة وعاليها، إذ تبين أن عمق المنطقة السطحية المعالجة وعرضها تتباين قيمها وفقاً لنوع الفولاذ المعالج وقيم بارامترات شعاع ليزر CO₂ المستخدم في هذه المعالجة.

528	398	316	256	222	166	104	48	البعد عن السطح (ميكرون)
236	420	401	514	463	514	383	514	القساوة (فيكرز)

رقم 1 الاستطاعة : P = 1000 Watt السرعة : V = 800

F = + 5 , mm/min

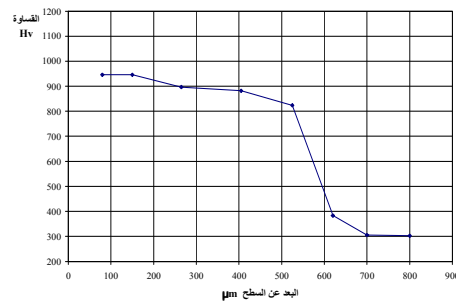


العلاقة بين القساوة والبعد عن السطح للعينة الفولاذية رقم /1/

الفولاذ رقم 2 - الاستطاعة : P = 1000 Watt السرعة :

F = + 5 , V = 800 mm/min

620	525	405	265	150	80	البعد عن السطح (ميكرون)
383	824	882	824	946	946	القساوة (فيكرز)



العلاقة بين القساوة و البعد عن السطح للعينة

الفولاذية رقم /2/

الفولاذ 3 العمق : الاستطاعة : P=1000 Watt السرعة: V

F = + 5 , = 800 mm/min

720	652	582	452	382	336	250	180	134	50	البعد عن السطح (ميكرون)
350	350	1045	1287	1287	1287	1532	1402	1187	1137	القساوة (فيكرز)

السطحية للفولاذ منخفض نسبة الكربون هو مارتنيسيت هيكله الشبكية عبارة عن مكعب (Cubic) يحوي نسباً منخفضة من عنصر الكربون، ولم تصل هذه النسبة إلى درجة الإشباع، أمّا المارتنيسيت المتشكل في الطبقة السطحية للفولاذ متوسط نسب الكربون وعاليه، فهو عبارة عن رباعي وجوه (Tetragonal)، فاقت فيه نسب الكربون درجة الإشباع كثيراً، مما أدى إلى تشوهات كبيرة في هذه الهياكل الشبكية، ومن ثمّ ارتفاع قيم القساوة إلى القيم المشار إليها آنفاً.

References

- 1.L. Migloir: Marcel Dekker, "laser materials processing" New York N. Y., 2002.
- 2.A. Sandven: ASM handbook, "laser surface hardening" vol.4, heat treating, 10th ed., ASM international, materials park, 2000.
- 3.W. B. LI, K. E. Easterling et M. F. Ashby. "The transformation hardening of steel ", Acta metal. Vol. 34. No. 8 (1999).
- 4.P.H. Steen et al , "Depth on melt – pool and heat- affected zone in Laser surface treatments", Metallurgical and materials transformations , 2002.
- 5.J. Powell, P. S. Henry and W. M. Steen, Surf. ENG. 4 (2) (2001).
- 6.W. M. Steen, invited paper, proc. In workshop , "Principle of solidification and materials processing" , Hyderabad, India, ONR, AIBS (2000).
- 7.W. M. Steen. Z. D. Chen and D. R. F. , "West industrial Laser annual hand book" , Eds D. Belfortle and M. Levitt , Peniwell publishing Co., Tusd , Ok (1999).
- 8.C. Mardsen, D. R. F. West and W. M. Steen, "Proc. Nato. ASI on Laser surface treatment of Metals" , San minato, ITALY , EDS C , W. Draper and P. Mazzodi. Martinys Nijhoff, Dordrecht. The Netherlands (2002).
- 9.M. F. Ashby and H. R. Schercliff , "Master plots for predicting the depth in laser surface treatment", Engineering depth, Cambridge University, (2003) Document cued/ C-MOT/ Tri 34.

4-بينت دراسة البنية البلورية للمنطقة المعالجة من عينات الفولاذ أن هذه المنطقة تتألف من أربع بنيات بلورية متباينة فيما بينها، إذ تكون الطبقة الموجودة تحت السطح مباشرة ذات بنية مارتنيسيتية متجانسة بشكل عام، أما المنطقة الثانية فهي عبارة عن مارتنيسيت غير متجانس، وأمّا المنطقة الثالثة فهي عبارة عن مارتنيسيت غير متجانس ونسبة قليلة من البنية الفريتية المتبقية، في حين تحوي المنطقة الرابعة بنية قريبة من البنية الأولية للفولاذ المعالج، ولو أنه يغلب عليها الطابع الفريتي.

5- أظهرت قياسات القساوة الميكروية على عمق المنطقة المعالجة من العينات الفولاذية أن قيم القساوة تتناقص بشكل عام تدريجياً باتجاه العمق لتصبح مساوية لقيم مثيلتها من المعدن الأساس بعد تجاوز حدود المنطقة المعالجة. وقد تبين أن الفولاذ منخفض نسبة الكربون قد ازدادت قساوة منطقتيه المعالجة بشعاع الليزر بمقدار الضعف، في حين ازدادت قساوة المنطقة المعالجة بالشعاع نفسه لمثليه متوسط نسبة الكربون وعاليه بمقدار ثلاثة أضعاف، مما يدل على أنّ سرعتي التسخين والتبريد عاليتي القيم عند المعالجة بشعاع الليزر تؤديان إلى حدوث تغيرات صلبة متنوعة في الطبقة السطحية للفولاذ المعالج من جهة وارتفاع قيم القساوة الميكروية في هذه المنطقة لأنواع الفولاذ جميعها (بما في ذلك الفولاذ منخفض نسبة الكربون الذي من المعروف أنه لا يمكن رفع قيم قساوته بطرائق المعالجة الحرارية الأخرى - سواءً التقليدية منها والحديثة).

وهنا لا بد من الإشارة إلى أن ازدياد القساوة السطحية بمقدار الضعف تقريباً في الفولاذ منخفض نسبة الكربون، وازدياد قساوة مثيلتها بمقدار يزيد على الثلاثة أضعاف في الفولاذ متوسط نسبة الكربون وعاليه، تدل على أن المارتنيسيت المتشكل في الطبقة

10. W. Steen, "Laser materials processing" , springer-Verlag , (2004) Second Edition, New York.
11. Y. Jiang “ Influence de la microstructures initiale des aciers sur les résultats de leur traitements thermiques superficiels par laser de puissance” *Thèse de Doctorat E.C.P*, Mai (1990).
12. A.B. Vannes “ Le faisceau laser : une source d'énergie adaptée aux traitements thermiques localisés” *Laser in engineering*, Vol.5 (1996), pp.2-19
13. W.M. Steen “ Laser material processing”, Springer-Verlag. ISBN 3-540-19670-6.
14. G. Herzige “ Basic elements of laser material processing”, *Proc of SPIE*, Vol. 455 (1984), pp.66-74.
15. D. Farias et al “ Laser de puissance et traitement des matériaux” Presses Polytechniques et Universitaires Romand” Ch: 18, Mai (1991), ISBN 2-8804-228-5.
16. M. F. Ashby et al “ The transformation hardening of steel surfaces by laser beam” *Acta metall.* Vol. 32. N^o. 11 (1984) pp. 1935-1948.
17. W. b. Li, K.E, Easterling et al “ The transformation hardening of steel II” *Acta metall.* Vol. 32. N^o. 8 (1986) pp. 1533-1543.
18. P. A. Molian “ Engineering application and analysis of hardening data for laser heat treated ferrous alloys” *SEAFSI Quarterly*, April (1986), pp. 44-54.
19. C. Dubouchet “Traitements thermomécaniques des surfaces métalliques par laser” *Thèse de Doctorat*, Université d'Orsay, Paris, Juin (1993).
20. J. Merlin et al “ Caractérisation du faisceau et optimisation des traitements thermiques laser” 4eme CISFFEL, Cannes-France, Sep (1988), pp.183-190.
21. E. Abdulhadi, J.M. Pelletier and M. Lambertin, “ CO₂ laser cutting of steel: Heat Affected Zone investigation”, *Matériaux et Techniques*, (1997).

تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق: 2009/9/6.