مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (38) العدد (2) 2016
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (38) No. (2) 2016

تطبيق المعالجة الحرارية بالتيرمكس لتحسين بعض الخواص الميكانيكية لقضبان فولاذ التسليح

"دراسة تطبيقية لمعالجة قضبا نفولاذ التسليح المصنعة في الشركة العربية لدرفلة الحديد (اسكو)"

الدكتور علي هترة *
الدكتور أحمد سلامه **
أيمن جابر ***

(تاريخ الإيداع 29 / 2 / 2016. قُبِل للنشر في 20/ 4 / 2016)

□ ملخّص □

يتم انتاج قضبان التسليح في مصنع الشركة العربية لدرفلة الحديد آسكو، بمواصفات عالية من حيث المرونة و قوة الشد، التي تصل الى مستويات عالية، مقارنة باستخدام المعادن الخلائطية، وذلك عن طريق استخدام المعالجة الحرارية بالتيرمكس أثناء العملية الانتاجية على خط الانتاج.

المعالجة بالتيرمكس هي تعريض قضبان الفولاذ خلال العملية الانتاجية للماء بشكل مفاجئ ضمن ظروف انتاجية محددة و من ثم تتم عملية المراجعة الذاتية من خلال اعادة التسخين الذاتية بعد الخروج من التيرمكس و من ثم التبريد الطبيعي في درجة حرارة الجو المحيط، تتم هذه العملية على خط الانتاج بعد خروج الفولاذ من مرحلة الدرفلة النهائية، و تكون العملية ثابتة و مؤتمتة.

تركزت الدراسة على التيرمكس و مكوناتة في المرحلة النهائية من عملية الدرفلة، . و تأثيره على خواص الشد والقساوة لقضبان فولاذ التسليح

الكلمات المفتاحية: تيرمكس ، صناديق التبريد، المعالجة الحرارية، الفولاذ.

* أستاذ مساعد – قسم هندسة التصميم و الانتاج – كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية –جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.
** أستاذ مساعد – قسم هندسة التصميم و الانتاج – كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية –جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.
***طالب دكتوراه – قسم هندسة التصميم و الانتاج – كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (38) العدد (2) 2016
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (38) No. (2) 2016

Apply Heat treatment by Thermex to improve mechanical properties of reinforced steel Application research on reinforced bars manufactured in Arabian Steel Company (ASCO)

Dr. Ali Hatra*
Dr. Ahmad salamah**
Aiman Jaber ***

(Received 29 / 2 / 2016. Accepted 20 / 4 / 2016)

□ ABSTRACT □

In line quenching and tempering has allowed ASCO (Arabian Steel Company) to have higher ductility bar at higher strength levels compared with classic rebar production with substantial reduction in alloy consumption by using heat treatment (thermex) during production proses on production line.

QTB (Quenching Tempering Bars) is an alternate means of strengthening long bars by quenching the bars with water and then allowing the bars to self-tempering and hardened case, the process is performed in line with the rolling process, after the finishingarea. The process is stable and controlled, and it's effective on hardness and strength properties on reinforced steel bars

The research has concentrate on Thermex and Thermex elements in finishing area of rolling process.

Key words: thermex , cooling boxes, heat treatment ,steel.

* **Assistant Professor, Department of design and production, Faculty of Mechanical And Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
** **Assistant Professor, Department of design and production, Faculty of Mechanical And Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
*** **Postgraduate student, Department of design and production, Faculty of Mechanical And Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

مقدمة :

تعتبر عملية درفلة المعادن نوع من انواع التشكيل اللدن حيث يمرر المعدن في فراغ بين درفيلين دوارين لألة الدرفلة (لهما شكل اسطواني و محاور دوارهما متوازية) وذلك بعد تسخين المعدن المراد درفلتة الى درجة حرارة مناسبة، وعند ذلك يتغير شكل و ابعاد المقطع العرضي للجسم و تزداد أبعاده الطولية، ان الزيادة في الطول يعوض عنها بزيادة سرعة الدرافيل في المراحل المتقدمة من خط الانتاج، أي أنه كلما صغر المقطع زادت السرعة و يكون اتجاه المعدن متعامداً مع محور دوران الدرافيل و تسمى هذه العملية بالدرفلة الطولية، و يكون دوران الدرفيلين في اتجاهين مختلفين.

تصنف وحدات الدرفلة العاملة في مصنع الشركة العربية لدرفلة الحديد اسكو من النوع المستمر، حيث يمكننا هذا النوع من وحدات الدرفلة من زيادة انتاجية وحدات الدرفلة بشكل واضح في حالة الوضع المتتالي لماكينات الدرفلة (مقارنة مع وحدات درفلة غير مستمرة) بحيث يكون عدد ماكينات الدرفلة مساوياً لعدد المراحل اللازمة لدرفلة البيليت بين الدرافيل . و الدرفلة في هذه الوحدات تتم حسب مبدأ مرحلة واحدة في كل ماكينة درفلة. ووحدات الدرفلة المستمرة هي أكثر وحدات هذا النوع كمالاً. و الشرط الهام الذي يجب تحقيقه عند الدرفلة في الوحدات المستمرة هو ثبات حجم المعدن الذي يمر خلال الثانية الواحدة بين الماكينات. لهذا يتم اختيار قطر الدرافيل و عدد الدورات بحيث تتحقق العلاقة التالية:

$$V_1W_1=V_2W_2=\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots= Const$$

حيث $V_1\ldots\ldots V_n$ هي سرعة خروج المعدن من درافيل الماكينة المعينة وهي cm/s

$W_1\ldots\ldots\ldots\ldots W_n$ هي مساحة مقطع الشريحة عند خروجها من نفس الماكينة مقدرة بـ cm^2 [1].

يتم في مصنع الشركة العربية لدرفلة الحديد اسكو، انتاج قضبان الفولاذ المضلعة المستعملة في تسليح الخرسانة، من المادة الاولية التي تسمى البيليت، لكن تصميم خط الانتاج في المصنع جعل الانتاج يقتصر على استخدام نوع واحد فقط من البيليت وهو Grade 60 ذو التركيب الكيميائي المحدد من أجل الحصول على قضبان التسليح بالمواصفات المطلوبة،ونتيجة الظروف التي تمر بها بلدنا من حصار اقتصادي، وإستغلال الشركات التي تورد البيليت للمصنع، والتحكم بالأسعار، كل ذلك دفعنا للبحث عن إيجاد طرق للتطوير النوعي لعمل خط انتاج قضبان التسليح، الذي تحدد من خلاله العلاقة ما بين نوعية المواد الأولية الداخلة في عملية الانتاج، وجودة ونوعية المواد المنتجة ، ومدى مطابقتها للمواصفات العالمية المطلوبة، بحيث تبقى تكاليف الانتاج في المنشأةذات ريعية اقتصادية جيدة، أي بيان أثر التطوير على تحسين مواصفات العملية التصنيعية للمنشأة، وعلى قدرتها التنافسية.

أهمية البحث و أهدافه:

تأتي اهمية البحث من العمل على التطوير النوعي لخط انتاج قضبان حديد التسليح في الشركة العربية لدرفلة الحديد أسكو بإستخدام تقنية المعالجة الحرارية بالتيرمكس مع الحفاظ على الطاقة الانتاجية اليومية لخط الانتاج، والحصول على منتج بالمواصفات القياسية المطلوبة وتخفيض كلفة الانتاج.

طرائق البحث و مواده:

يطرح البحث منهجية عمل جديدة لإعادة هندسة الأعمال في المعمل، وذلك من خلال إدخال وتطبيق أدوات ومعدات جديدة ، متوافقة مع تسلسل الاعمال في خط الانتاج، مما يؤدي الى تحسين نوعية المنتج بما يتوافق مع المواصفات المطلوبة .

هذه المنهجية الجديدة والمتطورة راعت علمياً وأخذت بمنظورها حال واقع المعمل و طبيعة الثقافة السائدة فيه، إضافة للظروف المختلفة المحيطة فيه، فكانت محاولة علمية لتحسين نوعية المنتج،وتعزيز القدرة التنافسية لمنتجات المعمل في السوق، وأملاً أن يكون ذلك نموذجاً للتطبيق في منشآت صناعية أخرى، على الرغم من المصاعب والعقبات العديدة التي تعترضنا أثناء التطبيق.

لقد أظهرت نتائج البحث من خلال الدراسة العملية في الشركة العربية لدرفلة الحديد " آسكو " أهمية وحيوية هذا الموضوع، وأثبتت أن التطوير النوعي للإنتاج هي مسألة اقتصادية أكثر منها فنية، وأن منهجية الانتاج الجديدة المقترحة هي مصدر للربح واسترداد الخسائر وأنه ليس كما يعتقد البعض عن خطوط الانتاج أنه لا يمكن تغيير أي شيء فيها.

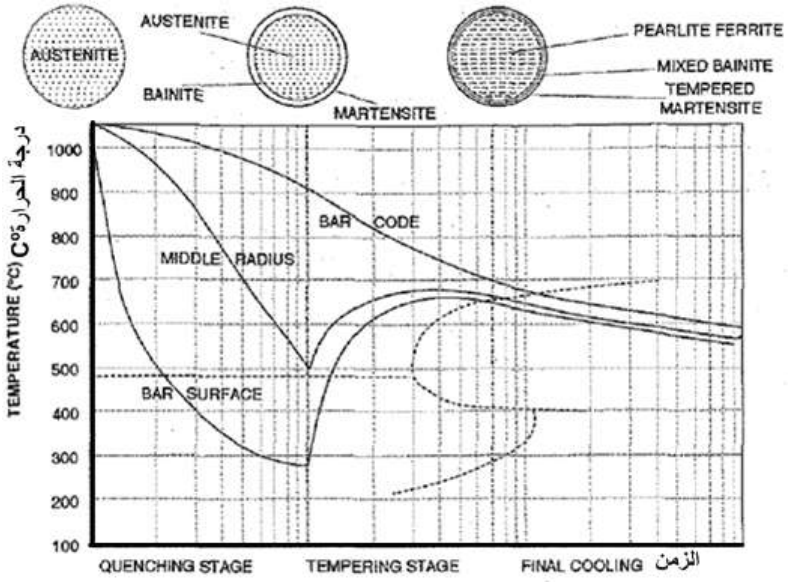
النتائج و المناقشة:

الدراسة العملية لعملية التطوير وحصر الاجزاء قيد الدراسة.

تتميز أنواع الفولاذ بعضها عن بعض بنسبة الكربون فيها حيث تتبع خواصها الميكانيكية لهذه النسبة ، كما تضاف بعض العناصر السبائكية الى الفولاذ المصهور، حيث تتوضع ذرات هذه العناصر في الهياكل الشبكية للفولاذ، مسببة تشوهات في البنية البلورية للفولاذ، الذي ينتج عنها اجهادات تسبب الصلابة للفولاذ [2].

يتم إنتاج الفولاذ وفق معايير محددة، فإماأن تكون وفق متطلبات كيميائية معينة أو ليس لديها قيود على التركيب الكيميائي نهائيا، فهناك المعياران الخاصان بحديد التسليح A615و A706 ،واللذان يعتمدان على التركيب الكيميائي للبيليت، الذي تصنع منه قضبان حديد التسليح (القضبان المضلعة العالية المقاومة) ،حيث إن الخواص الميكانيكية لهذه القضبان، تكون مضمونة من تركيبها الكيميائي [3] ، وهذا ما يبرر الغاية من استخدام المعالجة الحرارية عن طريق التيرمكس (QTB)، كبديل من حيث الكلفة وكوسيلة فعَّالة لتحقيق الخواص الميكانيكية للقضبان المدرفلة على الساخن مهما كان تركيبها الكيميائي، وذلك عن طريق المعالجة الحرارية للمعدن ،التي تتم نتيجة المرور السريع للقضيب عبر تيار مائي ذو تدفق معين وضغط معين موجّه من علب التقسية الموجودة ضمن التيرمكس المتوضع على خط الدرفلة، حيث تنخفض درجة حرارة السطح من 1000°c درجة مئوية الى 300° c درجة مئوية فجأة،حيث تتشكل البنية المارتنسيتية في الطبقة السطحية ،ولعمق معين مما يكسب القضبان القساوة السطحية[3]، وبعد الخروج من التيرمكس تعود درجة حرارة سطح القضبان للارتفاع من جديد عن طريق انتشار الحرارة من داخل (قلب) القضيب إلى السطح، فتعود درجة حرارة السطح للارتفاعمن جديد لتصل الى (600–700° c)، حيث يحصل إرجاع ذاتي في القضيب، بعد ذلك تترك القضبان للتبريد الطبيعي في الجو المحيط بعدأن تكون قد اكتسبت خواصها الميكانيكية المطلوبة من لدونة في القلب و قساوة على السطح [4] .

يبين الشكل(1) منحنيات التبريد التقليدي، ومنحنيات تبريد السطح وإعادة تسخينه . كما يظهر الشكل أيضا البنية المجهرية قبل السقاية و بعدها،وفي المرحلة الاخيرة يملك القضيب نواة من البرليت والفريت، وتليها طبقة رقيقة من البينيت المختلط والطبقة الخارجية من المارتنسيت المراجع [2,4].



الشكل (1) منحنيات التبريد التقليدي ومنحنيات تبريد السطح وإعادة تسخينه

ان وجود هذه البنى في مقطع القضيب، تجعله يسلك سلوك المواد المركبة، وليس سلوك المادة الأحادية الجامدة، فحديد تسليح الخرسانة يملك خصائص إجهاديه ناتجة عن الحمل بالإضافة لقوة انضغاط الخرسانة، وهذا ما تحققه تقنية المعالجة بالتيرمكس، كذلك تسمح هذه التقنية بتخفيض الإضافات السبائكية الى التركيب الكيميائي للفولاذ مع الحصول على قلب للقضيب أنعم وأكثر مرونة من الخلائط الفولاذية الخاصة.

تعتمد قوة الشد لقضبان التسليح بشكل رئيسي على تركيبها الكيميائي، وعمق الطبقة السطحية المعالجة خلال عملية المعالجة الحرارية بالتيرمكس.

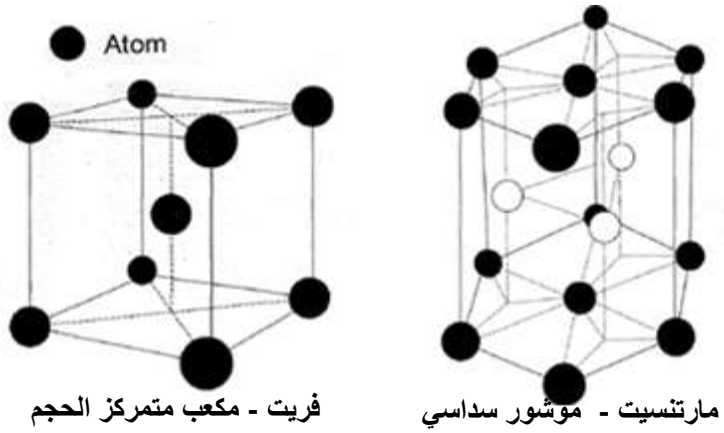
بالتالي النتيجة النهائية هي أن الاستطالة تنخفض عندمايزداد اجهاد الخضوع واجهاد الشد مقارنة مع القضبان المدرفلة على الساخن (بدون عملية التيرمكس)[5].

قوالب الفولاذ (البيليت) المصنّع من الخردة (السكراب)، قد تواجه تحدي آخر يعود الى المواد الأولية المصنّع منها البيليت، هناك عناصر تملك تأثيرات خاصة على الخواص الميكانيكية للفولاذ، والتي تكون موجودة بكميات غير متجانسة بالسكراب، وبالتالي بالمنتج النهائي،ومن هذه العناصر (Cr, Ni, Mo, Co, W) ويعدالكربون العامل الرئيس لعملية المعالجة بالتيرمكس، ويجب أن يكون بنسبة (0.25–0.305 %)[1].ويكون للطور الكربيدي الفائض، المتشكل في البنية،تأثيرملحوظ عند وجوده في الفولاذ الخلائطي، كذلك عند استخدام تقنية التيرمكس،فإن الخواص الميكانيكية لا تعتمد بشكل رئيسي على التركيب الكيميائي فقط، بل يمكن ضبط عملية المعالجة بما يناسب الخواص المطلوبة، حسب المكون الكيميائي للفولاذ المدرفل، وبالتالي الحصول على الخصائص الميكانيكية المطلوبة.

التقييم المجهري لبنية القضبان المعالجة بالتيرمكس

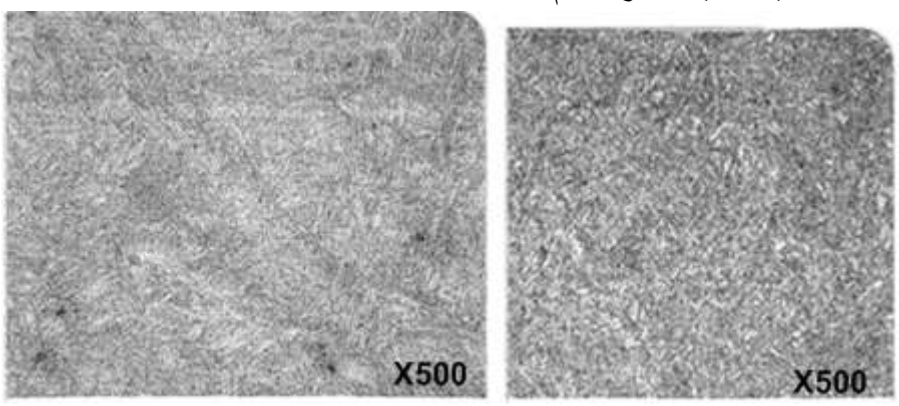
الفولاذ هو مادة تملك عدة صور تآصلية، هذا يعني أنها يمكن أن تظهر بعدة بنى بلورية. تكون البنية البلورية لأغلب أنواع الفولاذ الكربوني على شكل البنيةالبلورية للفريت، وهي مغناطيسية وثابتة وقوية ومرنة ، وهي قابلة للتسخين وللمعالجة لتغيير الخواص الميكانيكية للمعدن،هناك بنيه ميكروية مشابهه وهي ثابتة عند درجة حرارة المحيط،وهي المارتينيست (Martensite)، وهوأقوى وأقسى من الفريت وأقل لدونة[4].

يوضح الشكل (2) والشكل (3)الهياكل الشبكية والروابط بين الذرات للفريت والمارتنسيت



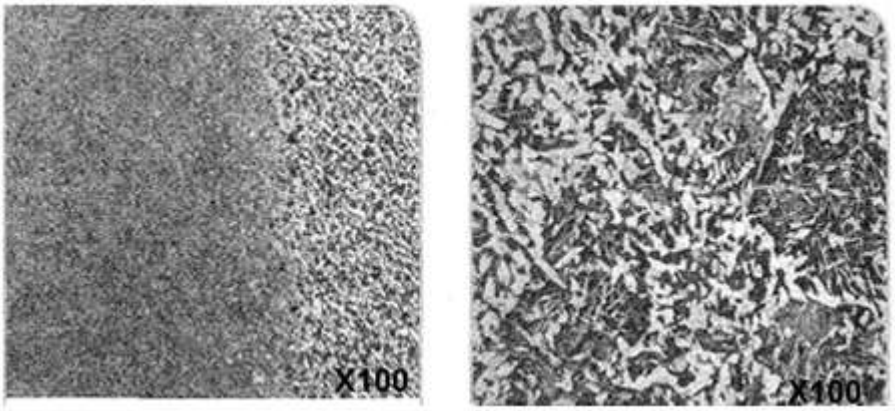
الشكل (3) الهيكل الشبكي للمارتنسيت الشكل (2) الهيكل الشبكي للفريت

يمثل الشكل (2)الهيكل الشبكي التقليدي للفريت،وهو شكل أغلب أنواع الفولاذ الكربوني، والشكل(3)هو الحالة التقليدية للمارتنسيت، وهو سطح المعدن المعالج بالتيرمكس ، تكون المعالجة الحرارية لطبقة المارتنسيت المتشكلة حديثا ضرورية لإزالة الاجهادات الداخلية و لتجنب الهشاشة في القضيب المدرفل،ولدراسة تأثير المعالجة الحرارية بالتيرمكس على البنية المجهرية لقضبان التسليح المنتجة قمنا بتحضير عينات (حيث تم صقل سطح هذه العينات و تلميعها واظهارها باستخدام محلول كحولي لحامض النتريك (بتركيز HNO_3 4 cm^3 لكل 100 cm^3 كحول) خضعت لمعالجة بالتيرمكس وأخرى لم تخضع للمعالجة كما في الشكلين (4) و(5) وبمقارنة البنية المجهرية (باستخدام المجهر الضوئي من نوع Olympos) في الشكلين يظهر الفرق بين طبقة المارتنسيتغير المعالجة الشكل (4) والطبقةالمعالجة الشكل (5) في الطبقة السطحية لقضيب بقطر 20مم.



الشكل (5) البنية المجهرية للمارتنسيت المعالج الشكل(4) البنية المجهرية للمارتنسيتغيرالمعالج

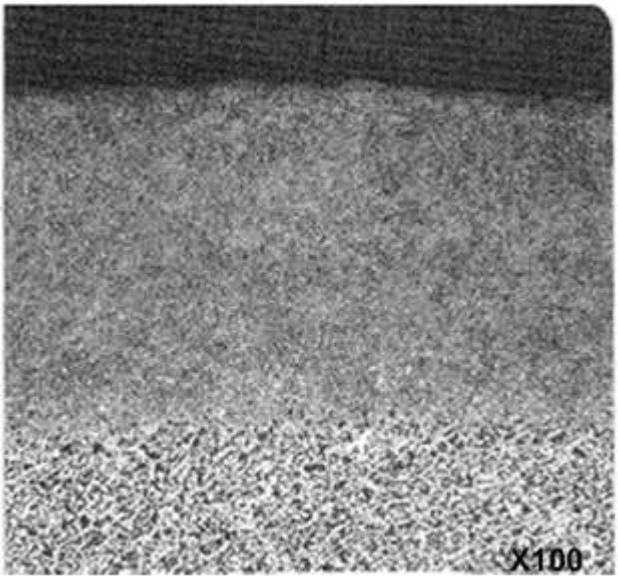
يبين الشكل (6) البنية المجهريةلقلب القضيب المعالج بالتيرمكس، فالحبيبات البلورية المتكونة في قلب القضيب تكون من البرليت، بينما يبين الشكل (7) البنية المجهرية لقلب القضيب المصنّع من خليطة بتركيب كيميائي محدد دون معالجة، فالحبيبات البلورية المتكونة هي عبارة عن فيريتوبرليتأكثر خشونة منها في الشكل (6) و أسوأ منها في الخواص.



الشكل (7) البنية المجهرية لقلب القضيب بدون معالجة الشكل (6) البنية المجهرية لقلب القضيب المعالج

و بمقارنة البنية المجهرية بالشكلين ،نلاحظ بأن القضيب المعالج بالتيرمكس يملك بنية مجهرية تجعلة يتمتع بخواص جيدة للمرونة والاستطالة، مما يسمح بزيادة قوة الشد دون التأثير على هاتين الخاصتين.

يظهر الشكل (8) البنيةالمجهرية في مقطع قضيب حديد قطر 20 مم معالج بتقنية التيرمكس، نلاحظ أن البنية المجهرية للطبقة السطحية هي مارتنسيت مراجع، وتقدر سماكة هذه الطبقة 0,9مم ، وتبدأ بنية البرليت بعد هذه الطبقة الى مركز القضيب، حيث تكون البنية عبارة عن برليت ذات حبيبات أضخم نظراً لسرعة التبريد الصغيرة في هذه المنطقة وهذا ما يفسر امتلاك قلب القضيب للمرونة.

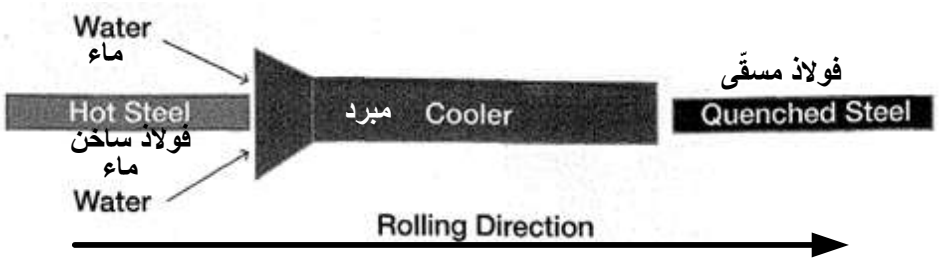


الشكل (8) البنية المجهرية في مقطع قضيب حديد معالج بالتيرمكس

الاجراءات خلال عملية الانتاج

تحتاج عملية الإنتاج الى مياه صناعية جيدة، ويجب توفر محطة ضخ مياه متوافقة مع خط الإنتاج، تؤمن الكمية والضغط المطلوبينمن الماء، لتحقيق التحول المارتنسيتي، وكذلك نظام توزيع المياهوالضغط بشكل متجانس على كامل قضيب الحديد.

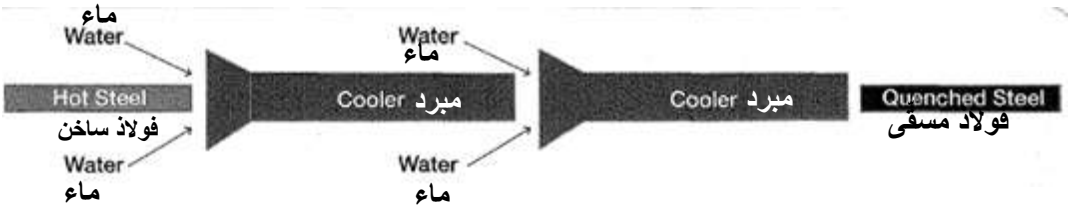
يجب أن يكون ضغط وكمية الماء الداخلة كافية،وذلك لتجنب غليان الماء وتشكل البخارعند ملامسة سطح القضيب الساخن ، كما يحصل عند استخدام وحدة تبريد تقليدية (صندوق التبريد)، كما هو موضح بالشكل (9) حيث يبين كيفية وصول الماء الى القضيب عن طريق وحدات تبريد تقليدية (صناديق تبريد).



Representation of a functioning QTB cooler

الشكل (9) التقسية باستخدام صندوق تقسية واحد

حيث يتم دخول كمية كبيرة من الماء المضغوط، في بعض الحالات يوضع أكثر من وحدة تبريد (صندوق تبريد) للوصول الى النتيجة المطلوبة من عملية التقسية كما في الشكل (10).



Representation of a functioning QTB cooler in series

الشكل (10) استخدام اكثر من صندوق تبريد

لكن من أجل الحصول على الخواص المطلوبة لقضبان التسليح بغض النظر عن التركيب الكيميائي للبيليت، تم استبدال وحدات التبريد التقليدية المستخدمة في المعمل، بتقنية تسمى تيرمكس، حيث تمكننا هذه التقنية التحكم بضغط الماء الداخل الى علب التقسية الموجودة بالتيرمكس، حسب الحاجة وذلك لتجنب تشكل البخار عند تلامس الماء بالقضيب الساخن والذي يشكل ما يسمى بالحاجز البخاري .

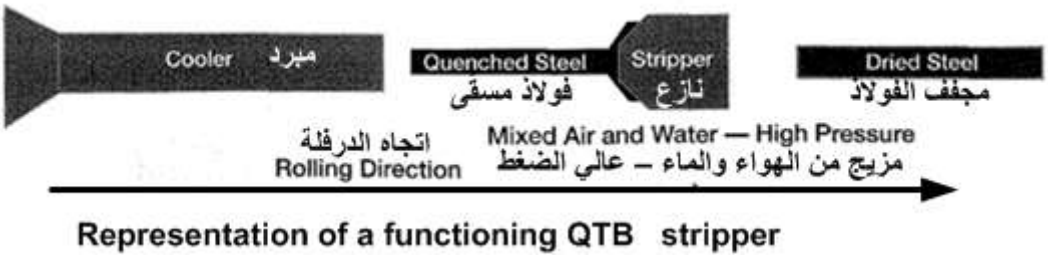
حيث يعمل البخار في هذه الحالة كعازل حراري يمنع تخفيض درجة حرارة القضيب الى درجة الحرارة المطلوبة، وهذه هي إحدى المشاكل التي تعاني منها وحدات التبريد التقليدية [2,4]، مما يؤدي إلى عدم الوصول إلى الحالة المارتنسيتية . هناك العديد من الاعتبارات الضرورية المؤثرة على عملية التقسية :

- ✓ نظام ضخ الماء المركب على خط الانتاج، الذي يؤمن مستوى ضغط وتدفق كافيين للوصول الى حالة التشكل المارتنسيتي على سطح القضيب

- ✓ يجب أن يكون حجم التيرمكس يتناسب مع قياس القضبان الواجب إنتاجها.

بشكل عام يجب ضبط مكونات التيرمكس الداخلية (علب التقسية وأنابيب التوجيه)لتكون أكثر فائدة وفاعلية بحسب قطر القضبان المنتجة ،ونتيجة التجربة في المعمل وجدنا أنّهإذا كانت مكونات التيرمكس الداخلية من قياس 50مم، لم تكن العملية فعّالة، ولم نحصل علىالتقسية المطلوبة لقضيب بمقياس 12مم(بل يجب ان يكون قياسها 14مم)،كما وجدنا أنّه إذا كان قياسمكونات التيرمكس الداخلي22مم،لم يمر بها قضيب من قياس20 مم.

تبدأ عملية التقسيةمن لحظة دخول القضيب لأولأنبوب بالتيرمكس، لذلك النقطة الحرجة الثانية هي معرفة المكونات الموجودة بالتيرمكس، التي تتم فيها عملية التقسية، هناك عدة علب تسمى علب التقسية (strippers)،وهي تركب داخل التيرمكس، هذه العلب تقوم بعمل التيرمكس،ولكن بضخ الماء عبرها عكس اتجاه سير القضيب، بدلاً من الضخ باتجاه سير القضيب، تستخدمعلب التقسية بخاخات ذات ضغط عالي، بعد ذلك يتم نفخ الهواء بضغط محدد لإزالة أي أثر للماء على القضيب، ولذلك عندما يخرج القضيب من علبة التقسية ،تبدأ مرحلة التقسية الحرارية، وبالتالي لا يمكن التحكم بالخواص المطلوبة بدون استخدام علب التقسية (strippers) كما هو مبين بالشكل (11).



الشكل (11) توضع علب التقسية ضمن التيرمكس

تم تصميم و تنفيذ علب التقسية في معمل آسكو لدرفلة الحديد. حيث يظهر الشكل (12) القطع المكونة لعلب التقسية والشكل (13) يبين شكل علبة التقسية بعد تجميعها بشكلها النهائي، أما الشكل (14) فيبين عملية ضبط مكونات علبة التقسية للحصول على الضغط والتدفق للماء المناسبين لكل قطر من الأقطار المنتجة .

الشكل (12) يمثل القطع المكونة لعلب التقسية

الشكل (13) علبة التقسية بعد تجميعها بشكل نهائي

الشكل (14) يمثل عملية ضبط مكونات علبة التقسية

ضبط جودة عمل التيرمكس

خلال عملية التقسية هناك العديد من المدخلات، التي يجب ضبطها لبلوغ الغاية المطلوبة، بعض هذه المدخلات متغيرة منها حرارة القضيب النهائية، عدد علب التقسية، ضغط الماء، تدفق الماء، سرعة الدرفلة، قياس علب التقسية، قياس قضيب الحديد وهذه المتغيرات خاصة بكل قطر (على سبيل المثال الفولاذ المدرفل بقطر 12مم يحتاج الى 10 علب تقسية و ضغط ماء 12 بار و تدفق 300 متر مكعب بالثانية عند سرعة درفلة 24 متر في الثانية) .

ولكن المخرجات المتغيرة واحدة وهي خواص الشد. والتي تعتمد على تركيب كيميائي محدد، وأكثر ما يهم المصنَع هو عمق طبقة التقسية، ويمكن معرفتها من خلال قياس مقاومة الشد، وهيتعكس مدى كفاءة عملية التقسية في أية لحظة.

مجموع كل المدخلات الحرارية لعملية المعالجة الحرارية بالتقسية،هي الحرارة السطحية للقضيب عند خروجه من التيرمكس، وأي عامل يؤدي الى انخفاض أداء التيرمكس سينعكس زيادة حرارة على سطح القضيب، وأي عامل يزيد من أداء التيرمكس سينعكس انخفاض حرارة على سطح القضيب.

لحظة خروج القضيب من عملية التقسية، سيدخل في مرحلة اعادة التسخين، خلال عملية اعادة التسخين، سيصل سطح القضيب لنقطة التسخين النهائية، وتسمى هذه العملية بالمراجعة الذاتية (بإعادة التسخين)، وبعد هذه المرحلة يترك ليبرد بحرارة الجو الطبيعية.

إذا كانت المدخلات ذات تركيب كيميائي ثابت، فان نتيجة التقسية والمعالجة الحرارية ستكون ثابتة والخواص الميكانيكية ستكون ثابتة، وأي تغير في درجة الحرارة بأية نقطة خلال العملية الإنتاجية ستنعكس على خواصالشدللقضيب.

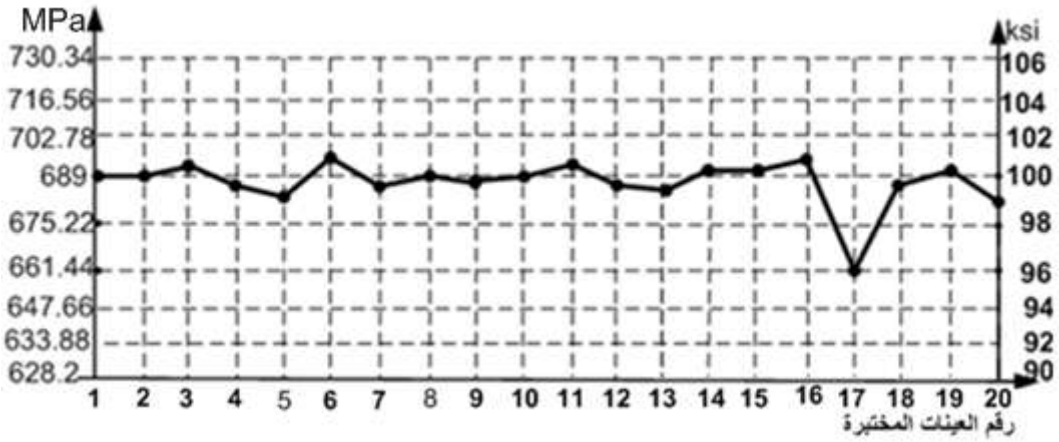
ولدراسة ذلك تم تحضير 20 عينة من القضبان المنتجة في معمل الدرفلة آسكو بقطر 20 مموبطول 55سم ولها التركيب الكيميائي الموضح بالجدول (1)[6]

الجدول (1) التركيب الكيميائي **للعينات**

صنف فولاذ البيليت	C%	S%	P%	Si%	Mn%	Cr %	Ni%	Cu%
Grade 60	0,37–0,41	0,06	0.06	0, 35	0,95–1.20	<= 0,30	<= 0,30	<= 0,30

و تم إجراء اختبار الشد على جهاز الشد الموجود بالمعمل (جهاز اختبار شد ألماني الصنع–ماركة ROELL / ZWICK – موديل SP–T1000. –استطاعة1000KN)، وبالتالي تم وضع مخطط تحكم بإجهاد الشد كما هو مبين بالشكل (15)، والذي يوضح أمرين:

- ✓ قابلية عملية التقسية بالتيرمكس للوصول الى مقاومة الشد المطلوبة عبر الزمن.
- ✓ كيفية تغير إجهاد الشد للقضيب فجأة من دون أي إشارة من وحدة التحكم.



الشكل(15)تغير إجهاد الشد الأعظمي للعينات المختبرة

نلاحظ ان العينات من 1حتى16 بقيت قيمة إجهاد الشدتتراوح بمقدار 14MPaحول القيمة 690MPa وفي العينة رقم 17فجأة انخفضت القيمة الى 661.5MPa،هذا يدل على أن شيئاً ما حصل خلال العملية الانتاجية أدى الى ارتفاع الحرارة، مما أدى الى انخفاض فاعلية التقسية.

وهذا أيضا يوضح أن القياس البسيط لقوة الشد غير كافي لضمان جودة المنتج،أو التوافق مع المعايير لذلك يجب أخذ عدد أكبر من العينات خلال العملية الانتاجية، وذلك لملاحظة التغيرات البسيطة خلال العملية الانتاجية.

عند تشغيل التيرمكس يكون التركيب الكيميائي للبيليت المدرفل ثابت،ويتم التحكم بجودة ومطابقة المنتج للمعايير من خلال العملية الانتاجية، فزيادة سرعة الدرفلة مع بقاء باقي العوامل ثابتة ستؤثر على الخصائص الميكانيكية للمنتج (قوة الشد وإجهاد الخضوع).

و أيضا من العوامل الاساسية في عملية الحصول على المنتج المطلوب، هي نوع الفولاذ الداخل في عملية الانتاج، تؤدي عملية التقسية بالتيرمكس الى زيادة كبيرة في إجهاد الخضوعأكثر من مقاومة الشد، وهذا هو المطلوب. وكنتيجة فإنّعملية التقسية بالتيرمكس تؤدي الى تقليص النسبة بين إجهاد الخضوع و مقاومة الشد مقارنة بالمنتجات الناتجة عن خلائط معينة بدون معالجة بالتيرمكس، كما هو مبين بالجدول رقم (2).

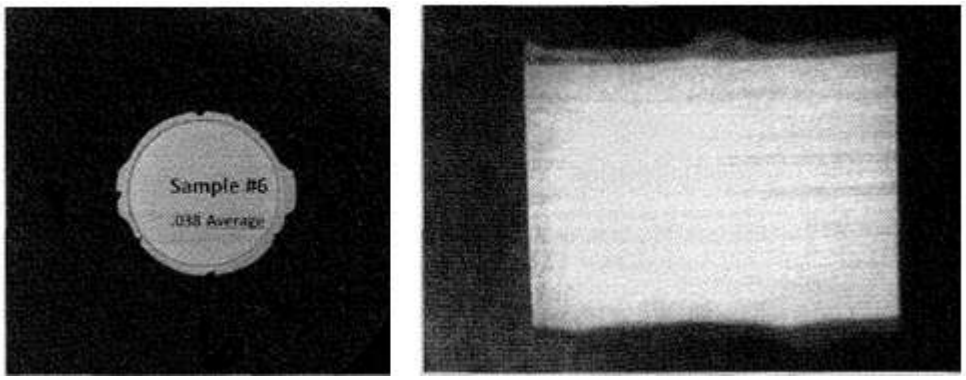
الجدول (2) مقارنة بين الخواص الأساسية لقضبان التسليح من الفولاذ A615 Grade60باستخدام التيرمكس وبدونه

Process Average sample	Carbon (No spec)	Manganese (No spec)	Tensile stress MPa	Yield stress MPa	Elongation (min. 9%)	T/Y ratio (No spec)
Fully alloyed	0.42%	1.00%	730.658MPa	468.724MPa	12%	1.56
QTB	0.26%	0.75%	709.979MPa	592.798MPa	15%	1.19

لذلك من المهم جداً فهم ودراسة التركيب الكيميائي لنوع الفولاذ الداخل في عملية الانتاج، وذلك لضبط محددات العملية الانتاجية مثل السرعة والضغط والحرارة كما تمت الدراسة سابقا.

تحاليل التقسية

كما ذكر آنفاً، إن أهم هدف لعملية التقسية، هو عمق طبقة التقسية على سطح القضيب، الفكرة الاساسية من عمق طبقة التقسية، هي المقارنة بين قوة الشد والمرونة ، وعمق هذه الطبقة المارتنسيتية يكون بين (0.9 – 1.2مم). ويجب الأخذ بعين الاعتبار أن تكون هذه الطبقة على كامل محيط القضيب، أي أن تكون بشكل متساوي، ولا تتأثر بالشكل الخارجي للقضيب.كما هو موضح بالشكل رقم (16) عينة لقضيب بقطر 20مم .



الشكل (17) المقطع الطولي للقضيب الشكل رقم (16) عينة لقضيب بقطر 20مم

نلاحظ زيادة سماكة الطبقة المارتنسيتية على محيط القضيب، دون أن تتأثر بشكل المحيط (الحلزنة) وهي دائرية تماما. كذلك الشكل رقم (17) يبين المقطع الطولي في القضيب، حيث يظهر عدم تأثر طبقة التقسية بالشكل الخارجي للقضيب (الحلزنة)، وتظهر هذه الطبقة كخط مستقيم على طول القضيب.

عند عملية الشد، ينقطع القضيب عند أضعف نقطة، فالعلامة التجارية للمصنع الموجودة على القضيب تكون أضعف نقطة، لذلك يجب أن توضع هذه العلامة بالمنتصف بين فكي جهاز الشد، ويكون الفرق بنتيجة الشد من (14- 21MPa)بين العينات التي تحوي علامة تجارية، والعينات التي لا تحوي هذه العلامة.

عند فحص قساوة القضبان التي تعرضت للمعالجة بالتيرمكس كانت قساوة الطبقة السطحية للقضيب اكبر من الطبقة الداخلية، فقيمة القساوة الداخلية كانت(21HRc)بينما كانت قساوة الطبقة الخارجية (30HRc)، ويتعلق مقدار القساوة حسب نسبة الكربون في الفولاذ، وأيضا حسب درجة المراجعة الذاتية بعد خروج القضيب من التيرمكس من خلال إعادة إنتشار الحرارة من مركز القضيب الى المحيط.

الإستنتاجات و التوصيات

الاستنتاجات:

1 -باستخدام التيرمكس يمكن التقليل من استخدام عناصرسبائكيةفي معدن البيليت للوصول الى اجهاد الشد المطلوب.

2 -بنية البرليت الطرية في قلب القضيب المعالج بالتيرمكس،تعطيه ميزة،استخدام عناصر سبائكية للوصول إلى هذه البنية.

3 -بإستخدام التيرمكس يمكن الوصول الى مستويات أعلى من اجهاد الشد مقارنة، باستخدام عناصر سبائكية للوصول إلى اجهاد شد عالي.

4 -اقتصادياًأفضل من حيث إمكانية استخدام البيليت المصنع من السكراب، دون الحاجة الى استخدام عناصر سبائكية إضافية.

التوصيات

1. ضرورةإضافة معدات جديدة لخط الدرفلة لتحسين نوعية المنتج.
2. ننصح باستخدام طريقة المعالجة بالتيرمكس في معامل تصنيع فولاذ التسليح في القطر العربي السوري
3. ننصح باستخدام البيليت المصنع من السكراب الرخيص الثمن في إنتاج قضبان التسليح .

المراجع

1 -أ. سوفوروف ، *تشكيل المعادن بالضغط* . منشورات دار مير – موسكو ، 1978 – 767

2 -د. علي هتره ، *المعالجات الحرارية للمعادن* . منشورات جامعة تشرين ، 2000 – 331

3- GEORGE E . TOTTEN . *stell heat treatment metallurgy and technologies*- second . CRC press . 2007 . p 883

4 -د. محمد عز الدهشان ، *الحديد والفولاذ " المعالجات الحرارية السطحية* " – جامعة الملك سعود – 1999 – 419

5- LUNDBERG SVEN- ERIK. *Quenched and Self-tempered Rebar* – process Overview, Layouts, Operational parameters and Cost Savings. AISTech 2010 proceedigs, Volume II , pp. 719- 726

6- المواصفة القياسية الأمريكية ASTM 615