مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (39) العدد (1) 2017
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (39) No. (1) 2017

# دراسة فاعلية تقنية التيرمكس وتأثيرها على الخواص الميكانيكية لقضبان حديد التسليح المنتجة في معمل آسكو

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

**(تاريخ الإيداع 15 / 1 / 2017. قُبِل للنشر في 20/ 2 / 2017)**

## □ ملخّص □

تهدف الدراسة الى تحسين الخواص الميكانيكية ( اجهاد الخضوع و مقاومة الشد ) لقضبان التسليح عن طريق استخدام تقنية التيرمكس بعد اضافتها الى خط الانتاج.

استخدام قضبان التسليح بنوعية عالية و متنوعة من مختلف انواع البيليت يؤدي الى خفض كلف الانتاج مما ينعكس على تخفيض كلف البناء ايضا.

استخدام تقنية التيرمكس لمعالجة القضبان، يمنح المنتج امكانية التحكم بالخواص الميكانيكية عن طريق تغيير بعض العوامل الأساسية في عملية الإنتاج مثل ( سرعة القضبان اثناء عملية الانتاج – كمية تدفق الماء– و ضغط الماء) في التيرمكس.

تركزت الدراسة على العوامل انفة الذكر والتيرمكس و مكوناته في المرحلة النهائية من عملية الدرفلة،و تأثيره على خواص الشد 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 (39) العدد (1) 2017
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (39) No. (1) 2017

# Study on the effectiveness of thermex technology and its effect on mechanical properties of reinforcement steel bars which produced in Arabian steel company (ASCO)

**Dr. Ali Hatra***
**Dr. Ahmad salamah****
**AimanJaber *****

**(Received 15 / 1 / 2017. Accepted 20 / 2 / 2017)**

## □ ABSTRACT □

This study is on improvement the mechanical properties (yield strength – stress) of deformed steel bars by using design of thermex for robust process design.

Producing deformed steel bars in high quality and long variation of mechanical properties from deferent kinds of billets it caused to degree the cost of production and in other side it will degree the cost of construction works.

By using thermex in production of deformed steel bars give us the possibility to control the mechanical properties by changing some factors in production process like rolling speed - water pressure - water flow in thermex strippers

The research has concentrate on aforementioned production factor's 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:

التيرمكس هو تكنولوجيا تمتاز بإجراء التبريد السريع لقضبان التسليح خلال عملية الانتاج (على خط الإنتاج) دون التوقف عن العمل.

تهتم هذه التكنولوجيا، بتحسين الخواص الميكانيكية(اجهاد الخضوع ومقاومة الشد)لقضبان التسليح عن طريق استخدام الضغط والتدفق العالي لماء التبريد، بعد خروج القضبان من آخر آلة درفلة في خط الانتاج ، قبل البدء بعملية التبريد الطبيعي، حيث يقوم الماء في التيرمكس، بتبريد السطح الخارجي لقضيب التسليح بسرعة تعرف بالسرعة الحرجة للتبريد، وهي أصغر سرعة لازمة لتبريد الفولاذ ،أي تبريد الأوستينيت بشكل مفرط إلى نقطة تحول المارتنسيتي [1]، وتتوقف قيمتها على التركيب الكيميائي للأوستنيت، فزيادة نسبة الكربون ووجود عناصر سبائكية، تخفض من هذه السرعة ، يصاحب هذا التحول من الأوستينيت إلى المارتنسيت انتشار حرارة،فتنخفض درجة حرارة السطح بشدة، خلال 2.5 ثانية تقريبا إلى 300 درجة مئوية عند التبريد السريع بالماء للطور الأوستينيتي( زمن مرور القضيب عبر التيرمكس)، و تتشكل عندها البنية المارتنسيتية في الطبقة السطحية، ولعمق معين، مما يكسب القضبان القساوة السطحية[2]،وتنخفض أيضا درجة حرارة قلب القضيب بسرعة أقل، 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 للارتفاع من جديد لتصل الى ( 600–700°c)، حيث يحصل إرجاع ذاتي في القضيب، بعد ذلك تترك القضبان للتبريد الطبيعي في الجو المحيط، بعد أن تكون قد اكتسبت خواصها الميكانيكية المطلوبة من لدونة في القلب و قساوة على السطح[3].

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 الخواص الميكانيكية المطلوبة.

في هذا البحث ستتم ايضا دراسة الاجزاء التفصيلية لوحدة التصليد التيرمكسو العواملالمؤثرة على عمل التيرمكس من ضغط الماء و التدفق و سرعة الدرفلة ومدى تأثيرها على الخواص الميكانيكية لقضبان التسليح و اجراء الاختبارات على القضبان الناتجة.

## أهمية البحث وأهدافه:

تأتي اهمية البحث من الحاجة الى الحصول على خواص ميكانيكية عالية الجودة لقضبان الفولاذ المدرفلة المنتجة في مصنع الشركة العربية لدرفلة الحديد (اسكو)، دون التقيد بتركيب كيميائي محدد للبيليت الداخل في عملية الانتاج، والحصول على منتج بعدة مواصفات قياسية (حسب طلب السوق)،مع تخفيض كلفة الانتاج.

## طرائق البحث ومواده:

اجري البحث على عينات فولاذية مختلفة التراكيب الكيميائية، تم اخذها من قضبان التسليح المنتجة في معمل اسكو بطريقة الدرفلة المستمرة، كما تم تزويد خط الانتاج في هذا المعمل بتقنية جديدة للمعالجة الحرارية للقضبان بعد خروجها من المرحلة الاخيرة للدرفلة (بعد الحصول على القطر المطلوب) و هي تقنية التيرمكس.

اجري اختبار التحليل الكيميائي للبيليتات قبل وضعها على خط الانتاج (قبل عملية الدرفلة) باستخدام جهاز التحليل الطيفي للمعادن الماني الصنع ماركة FOUNDRY-MASTER UV، كما اجري اختبار الشد على جهاز شد الماني الصنع ماركة ZWICK / ROELL – موديلSP-T1000.باستطاعة 1000 knفي معمل اسكو.

## النتائج و المناقشة:

**الدراسة العملية لعملية التطوير وحصر الاجزاء قيد الدراسة.**

تناولت الدراسة العملية في هذا البحث، دراسة تفصيلية لمكونات التيرمكس، حيث تتم فيه عملية المعالجة الحرارية للقضيب على خط الانتاج، يتكون التيرمكس من الاجزاء التالية:

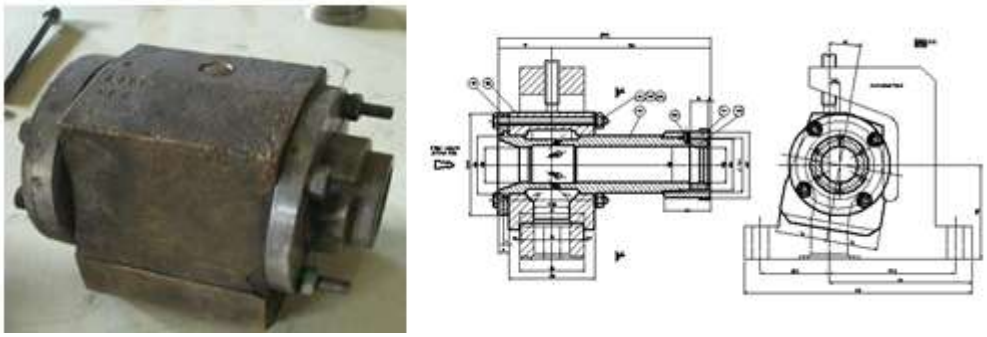
**الاجزاء التفصيلية للتيرمكس**

1 صندوق التيرمكس: هو صندوق معدني طولة 11.2 م ، يحوي 13 علبة تقسية ، إحدى عشرة علبةتعمل بالماء المضغوط، واثنان منها تعمل بالهواء (خاصة لتجفيف القضبان قبل خروجها من التيرمكس)، ويحافظ على عدم تسريب الماء المضغوط الداخل اليه والخارج منه،ويوجد داخله قواعد لعلب التقسية ومثبتات لها ،وايضا انبوب تبريد يمتد على طول التيرمكس لتبريد الانابيب و العلب،كما هو موضح بالشكل (1).

-a--b-

**الشكل (1)a- يظهر التوضع للتيرمكس على خط الانتاج (-b-) يظهر التوضع للتيرمكس على خط الانتاج**

2- علب التقسية: هي علب نحاسية تحوي بداخلها انابيب معيارية بأشكال محددة، وظيفتها تحديد كمية وضغط الماء،الذي يتعرض له قضيب الحديد، خلال عملية المعالجة الحرارية، ويشكل كل رأس تبريد (بخاخ يعمل كمنظم قوي للتبريد)، والانبوب الموجه وعلبة التقسية ما يسمى بوحدة التقسية، ويظهر المخطط الموضح على الشكل ( 2) القطع المكونة لعلب التقسية ومنظور لعلبة التقسية بحالتها المجمعة



**-a-** **-b-**

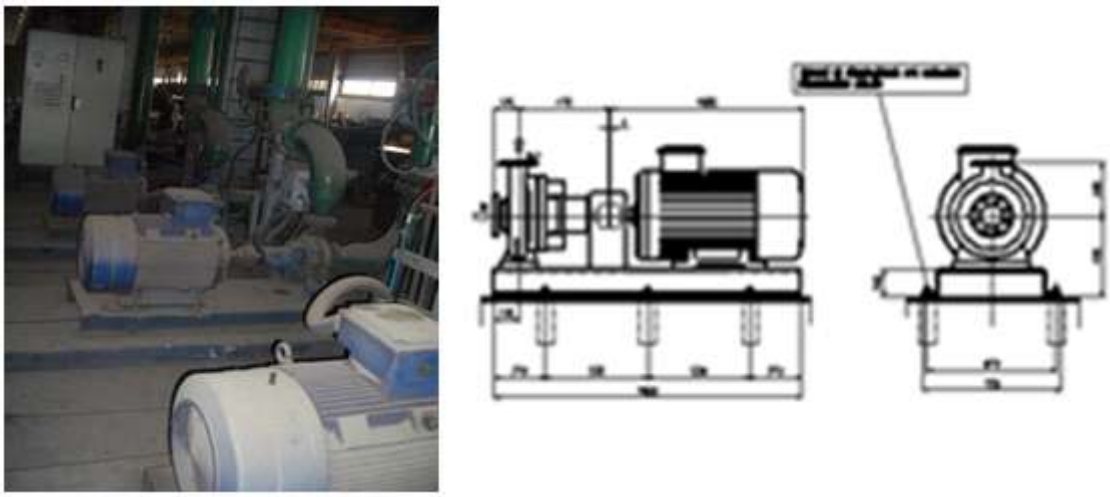
**الشكل (2) a-القطع المكونة لعلب التقسية b-منظور لعلبة التقسية بحالتها المجمعة**

3 – انابيب التوصيل: انابيب معدنية، وظيفتها نقل قضبان الحديد بين علب التقسية، وتحوي على موجهات دخول و خروج، لتوجيه القضبان خلال عملية المعالجة كما في الشكل(3).

**الشكل (3) يظهر توضع انابيب التوصيل داخل التيرمكس**

4-محطة ضغط الماء:

وظيفة هذه المحطة تأمين تدفق الماء تحت ضغط معين، الى خط التيرمكس، وتتألف من ثلاث مضخات ماء استطاعة كل واحدة 75 كيلو واط، بتدفق 150 متر مكعب ماءفي الساعة وبضغط 14 بار، وهي مزودة بوصلات مرنة قابلة للتمدد موصولة بمقياس ضغط ومقياس تدفق للتحكم بعملية ضخ الماء الى علب التيرمكس، حيث يحتاج التيرمكس الى 300 متر مكعب ماء في الساعة كحد اعظمي و ضغط 14 بار كحد اعظمي ايضا، ويمكن التحكم بهذه العوامل الكترونيا ،عن طريق وحدة التحكم المركزية ( PLC)( PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER )، أو يدويا عن طريق صمامات موصولة على انابيب الضخ، يجب أن يكون ضغط وكمية الماء الداخلة كافية،وذلك لتجنب غليان الماء وتشكل البخار عند ملامسة سطح القضيب الساخن، كما في الشكل (4).



**الشكل (4) يظهر توضع محطة الضخ و وحدة التحكم**

**ضبط و معايرة علب التقسيةالموجودة في التيرمكس:**

يجب علينا معرفة المكونات الموجودة بالتيرمكس، التي تتم فيه عملية التقسية، هناك عدة علب تسمى علب التقسية (strippers)، وكل علبة تتكون من علبة نحاسية و من انبوبين مخروطيين متعاكسين ليتداخلا ببعضهما ( ذكر – انثى )، ويجب ان يكونا متطابقين تماما، و ايضا مدخل و مخرج و اربع مثبتات لتتثبت المكونات داخل العلبة وعدد من الصفيحات العيارية لضبط بُعد القطع المخروطية عن بعضهما، وهي تركب داخل التيرمكس، هذه العلب تقوم بعمل التيرمكس، ولكن بضخ الماء عبرها عكس اتجاه سير القضيب، بدلاً من الضخ باتجاه سير القضيب، و عددها 11 علبة لضخ الماء، بعد ذلك يتم توجيه تيار من الهواء بضغط محدد لتجفيف القضبان الخارجة من علب التقسيةمنالماء،بوساطة علبتين في نهاية التيرمكس، ولذلك عندما يخرج القضيب من التيرمكس يكون جافا،لتبدأ بعدها مرحلة التقسية الحرارية، وبالتالي لا يمكن التحكم بالخواص المطلوبة بدون استخدام علب التقسية ( strippers)في التيرمكس، كما هو مبين بالشكل (5).

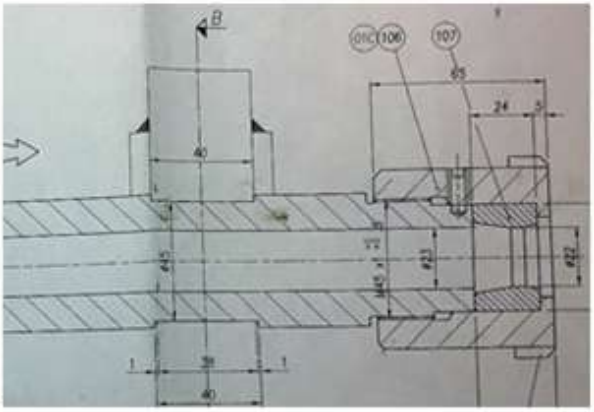
**–a––b–**

**الشكل (5) a–يظهر مكونات علبة التيرمكس.b–يظهر القطع المتداخلة ضمن علبة التيرمكس.**

سوف نركز دراستنا على علب التقسية الداخلة في انتاج قضبان من قطر 12mm، من الانابيب و مكونات علب التقسية، والقياسات الضابطة لعمل هذه العلب.

**اولا:**يجب معرفة ابعاد القطع الخاصة بالعلب والانابيب داخل التيرمكس للقطر 12mm، حيث يكون مدخل الانبوب الناقل للقضبان هو 22mmوهي عبارة عن حلقة معدنيه مصنوعه من كربيد التنغستين تظهر على الشكل(6) وعلى الشكل ( 7) (القطعة رقم 107 )، وظيفتها توجيه القضبان داخل الانابيب الناقلة، وهي تتعرض لاحتكاك كبير جدا،بالإضافة الى حرارة القضيب، تثبت ضمن حاضن على رأس الانبوب الناقل الشكل ( 8)، و يكون القطر الداخلي للأنبوب23mm والقطر الخارجي 50mm والطول الكلي 506mm، وتكون متصلة مع علبة التيرمكس بطريقة التركيب حيث توضع في داخلها.

**الشكل (6) حلقة كربيد التنغستين**

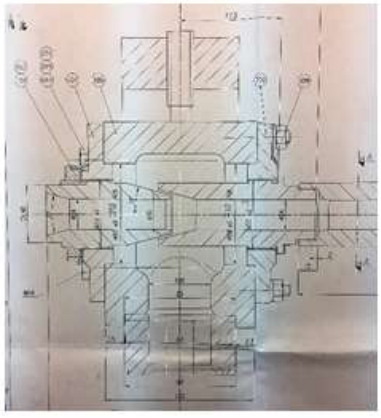


**الشكل (7) مخطط تركيب راس الانبوب الناقل**

**الشكل (8) حاضن راس الانبوب**

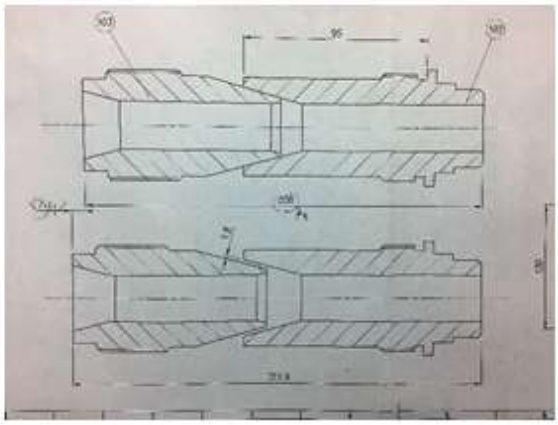
يوجد في علبة التيرمكس ثلاث فتحات، هي مدخل ومخرج بقطر 80mm،وفتحة دخول الماء من الاسفل وبقطر50mm، يتم تركيب كل القطع المعيارية داخل هذه العلبة النحاسية كما في الشكل ( 9)، حيث يركب بداخلها قطعتين مخروطيتين الاولى (انثى) قطرها الداخلي 24mm وطولها 109.3 mm، والثانية ( ذكر) قطرها الداخلي 24mmوطولها 105.2mm، وعدد من الحلقات المعيارية لضبط مكونات العلبة الداخلية المصنوعة من النحاس بقطر 55mm، وايضا اربعة براغي تثبيت طويلة تثبت جميع مكونات العلبة، بعد الضبط ، كما في الشكل (10).

**الشكل (9) العلبة النحاسية للترميكس**



**الشكل (10) مخطط تركيب قطع علب التيرمكس**

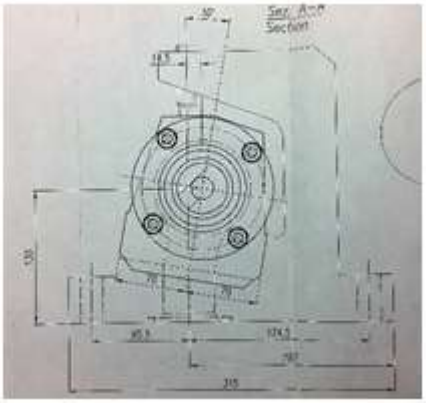
ثانيا: يجب ضبط قطع المعايرة داخل علبة التيرمكس، وذلك عن طريق جهاز مثبت على طاولة صناعية (ملزمة)، يتم لصق القطعتين المخروطيتين بشكل متطابق تماما (اي البعد بين القطعتين 0 mm)،كما في الشكل (11)يتم قياس الطول الكلي للقطعتين ويكون 206mm، ثم تتم مباعدة القطع بشكل افقي، حتى يصبح البعد بين حرفي المخروطين 1.8mm، وبالتالي يكون الطول الكلي للقطعتين 212,9 mm، اي ان الزيادة بالطول 7mm،ويكون هذا هو مقدار الحلقات المعيارية الواجب تثبيتها على علب التيرمكس، اثناء تجميع العلب كما هو موضح بالشكل (12)



**الشكل (11) ضبط مكونات التيرمكس**

**الشكل (12) الضبط باستخدام شفرة معيارية**

يتم تركيب العلب ضمن جسم التيرمكس بشكل مائل من اجل دخول الماء بشكل دوراني، كي لا يختل توازن القضيب اثناء دخوله للعلب، بسبب التدفق و الضغط الكبير للماء، كما هو مبين بالشكلين (13) و (14)



**الشكل (13) يظهر مخطط تركيب علبة التيرمكس**

**الشكل (14) يظهر توضع علبة التيرمكس في مكانها**

**الاجراءات خلال عملية الانتاج**

قبل ادخال التيرمكس في العملية الانتاجية، كنا نستعمل نوع محدد من البليت G60ذو تركيب كيميائي محدد هو نوع جيد جدا، ولكنة غير متوفر وغالي الثمن، بسبب قلة المعامل التي تنتجه، والكلفة العالية لإنتاجه عالميا، لأنه ينتج بطريقة الصبالمستمر فقط، مما يجعل ثمنه غالياً،وبالتالي تأمين هذه المادة اصبح صعبا، مما ادى الى بعض التوقفات في الانتاج، بسبب عدم القدرة على تامين مصادر ثابتة للمادة الاولية، وايضا التحكم بأسعاره بسبب احتكار المادة،

ونتيجة للأسباب آنفة الذكر كان لابد من ايجاد حلول للخروج من هذه المشكلة، والمتمثلة بإيجاد بدائل للبيليت من الدرجة G60، مع المحافظة على الطاقة الانتاجية وجودة المنتج، ضمن المواصفات العالمية المطلوبة.

سوف نقوم بدراسة البدائل على المنتج من قياس 12mm،ومن ثم نعمم الدراسة على باقي المنتجات من مختلف الاقطار.

لإظهار فاعلية تقنية التيرمكس، وتأثيرها على الخواص الميكانيكية لقضبان التسليح المنتجة في معمل اسكو.

قمنا بإنتاج قضبان التسليح من انواع مختلفة من البيليتات، مستخدمين تقنية التيرمكس ومقارنتها مع قضبان تسليح منتجة من البيليت G60، حيث تتحقق الخواص الميكانيكية لهذه القضبان ( المنتجة من الفولاذ G60) بدون استخدام تقنية التيرمكس وكانت النتائج كالتالي:

1 -المنتج من البيليتG60

هذا المنتج يتم إنتاجه بدون استخدم التيرمكس، ويعتمد على التركيب الكيميائي للبيليت،لإعطاء القضبان خواصها الميكانيكية دون معالجه. و يوضح الجدول رقم (1) التركيب الكيميائي للبيليتG60

**الجدول (1) التركيب الكيميائي للبيليتG60**

| | Fe | C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 98.1 | 0.425 | 0.192 | 1.03 | 0.0123 | 0.0148 | 0.0405 | 0.0112 |
| 2 | 98.2 | 0.407 | 0.164 | 1.03 | 0.0119 | 0.0140 | 0.0417 | 0.0165 |
| 3 | 98.1 | 0.409 | 0.203 | 1.06 | 0.0112 | 0.0132 | 0.0433 | 0.0116 |
| Ave | 98.1 | 0.414 | 0.186 | 1.04 | 0.0118 | 0.0140 | 0.0418 | 0.0131 |

| | Ni | Al | Co | Cu | Nb | Ti | V | W |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.0230 | 0.0133 | < 0.0030 | 0.0141 | < 0.0020 | 0.0016 | < 0.0020 | 0.0237 |
| 2 | 0.0214 | 0.0116 | < 0.0030 | 0.0135 | < 0.0020 | 0.0015 | < 0.0020 | 0.0180 |
| 3 | 0.0203 | 0.0120 | < 0.0030 | 0.0139 | 0.0026 | 0.0012 | 0.0020 | 0.0189 |
| Ave | 0.0216 | 0.0123 | < 0.0030 | 0.0138 | < 0.0020 | 0.0014 | < 0.0020 | 0.0202 |

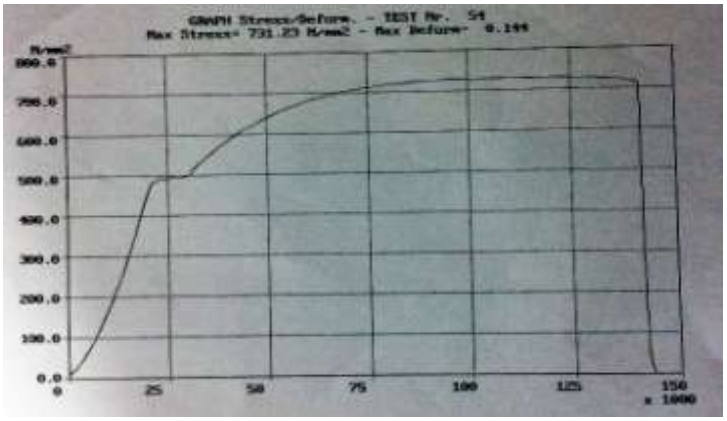
يختلف تأثير العناصر السبائكية(Mn,Si,Cu,S) الداخلة في التركيب الكيميائي للبيليت، سواءً بتكوين ترسبات مع الكربون أو لاعلى خواص الفولاذ الميكانيكية و البنيوية، فمنها ما يزيد هذه الخواص و منها ما يخفضها[4].

لذا تم جمع تأثير العديد من العناصر في علاقة نصف تجريبية ،تعرف بعلاقة الكربون المكافئ [4]، وهي تجمع تأثير هذه العناصر على خاصية قابلية لحام الفولاذ:

$$C.E=\%C+\%\frac{Mn}{6}+\%\frac{(N+Cu)}{15}+\%\frac{(Cr+Mo+V)}{5}$$

تم تحديد هذه النسبة من قبل المجموعة الاوربية بـ 0,49 %، وزناً، والتي يكون من أجلها الفولاذ قابل للحام، مع المحافظة على الخواص الميكانيكية.

نلاحظ من الجدول ارتفاع نسبة الكربون C الى % 0,42 والسليسيوم Si الى % 0,19 و المنغنيز Mn الى 1,04%، هذا يعني ان القضبان المنتجة من هذا البيليت، ستكتسب خواصها الميكانيكية، بالاعتماد على التركيب الكيميائي للفولاذ دون معالجة، قمنا بإجراء اختبار الشد على عينة من الفولاذ G60، وذلك لمعرفة الخواص الميكانيكية الشكل (15).



**الشكل (15) اختبار الشد على عينة من الفولاذ G60**

نلاحظ من المنحني البياني لعملية الشد، ان اجهاد الخضوع هو 498.69N/mm2،ومقاومة الشد هي731.23 N/mm2 والاستطالة 20 ،وهذه القيم مطابقة للمواصفة الامريكية ASTM 615،[5] والمواصفة الاوكرانية A500s[6].

كما تم إجراء اختبار الشد على قضبان من أنواع مختلفة من البيليتات، باستخدام تقنية التيرمكس، وكانت كالتالي:

البيليتمن النوع 3ps:

يوضح الجدول رقم (2) التركيبالكيميائي للفولاذ من هذه الدرجة 3ps:

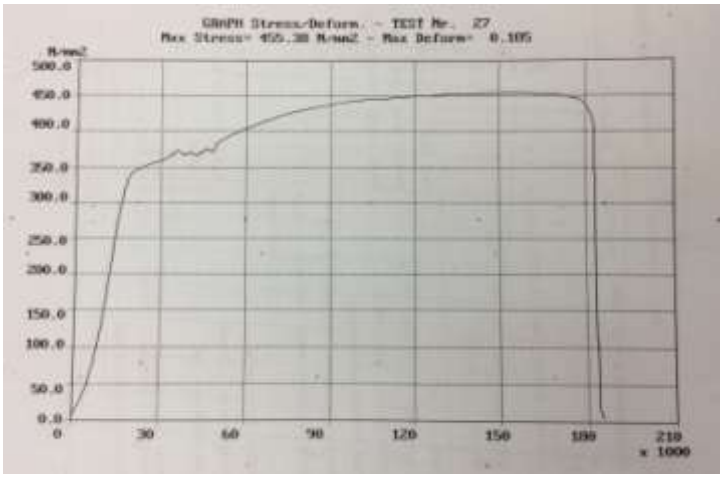
**الجدول رقم (2) التركيب الكيميائي للفولاذ من هذه الدرجة 3ps**

| | Fe | C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 99.0 | 0.132 | 0.118 | 0.473 | 0.0213 | 0.0277 | 0.0379 | 0.0063 |
| 2 | 99.1 | 0.142 | 0.110 | 0.476 | 0.0224 | 0.0274 | 0.0226 | < 0.0050 |
| Ave | 99.0 | 0.137 | 0.114 | 0.474 | 0.0218 | 0.0275 | 0.0302 | < 0.0050 |

| | Ni | Al | Co | Cu | Nb | Ti | V | W |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.0179 | < 0.0010 | < 0.0030 | 0.0314 | 0.0127 | < 0.0010 | < 0.0020 | 0.0164 |
| 2 | 0.0169 | < 0.0010 | < 0.0030 | 0.0290 | < 0.0020 | < 0.0010 | < 0.0020 | 0.0113 |
| Ave | 0.0174 | < 0.0010 | < 0.0030 | 0.0302 | 0.0063 | < 0.0010 | < 0.0020 | 0.0139 |

نلاحظ من الجدول(2) و مقارنتهمع الجدول رقم (1) انخفاض نسبة الكربون Cالى 0,13%، وكذلك انخفاض نسبة السليسيومSi الى 0,11 % والمنغنيز Mn الى 0,47%،هذا يعني انه يجب معالجتها بالتيرمكس عن طريق زيادة تدفق الماء وزيادة الضغط، والمحافظة على سرعة الدرفلة، للوصول الى المواصفة المطلوبة.

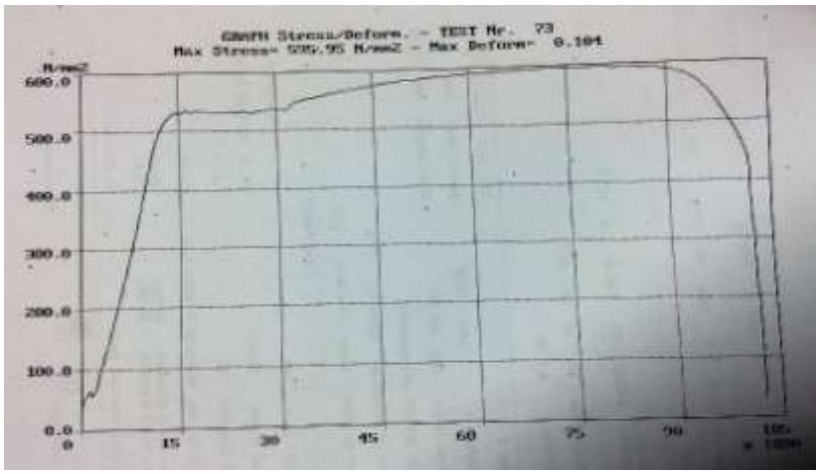
قمنا بإجراء اختبار على البيليت من هذه الدرجة دون استخدام التيرمكس واخذنا عينة من القضبان و قمنا بإجراء اختبار الشد فحصلنا على منحني الشد كما في الشكل (16)




**الشكل (16) منحنى الشد للقضبان من البيليت من الدرجة 3sp/ps دون استخدام التيرمكس**

نلاحظ من هذا المنحني ان قوة الشد هي 455.38 N/mm2، وأن اجهاد الخضوع هو 366.38 N/mm2 وهي منخفضة جدا، أي ان هذا المنتج لا يتوافق مع المواصفات العالمية المطلوبة، ويحتاج الى معالجة حرارية مباشرة على خط الانتاج بالتيرمكس.

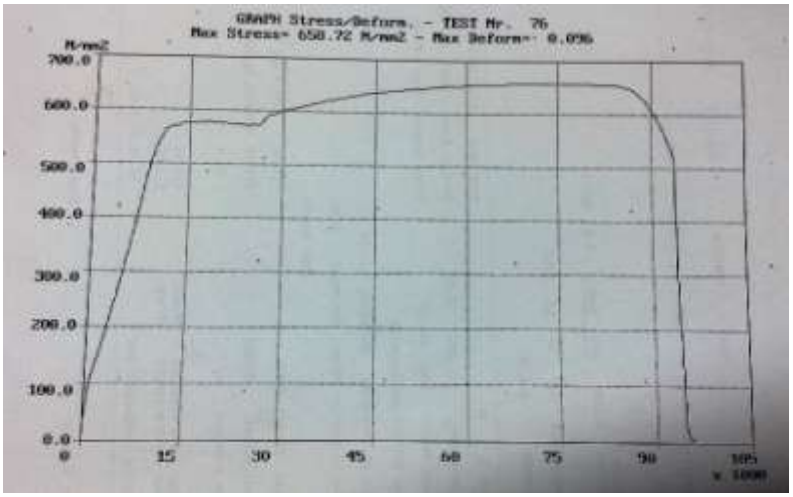
بعد عدة تجارب عملية على خط الانتاج، تم التوصل الى المواصفة المطلوبة من خلال استخدام 13 علبة تقسية في التيرمكس بتدفق ماء 350 متر مكعب بالساعة وضغط 14 بار و سرعة درفلة 17,8 متر في الثانية، وهي 95% من السرعة النظرية، وبعد الحصول على القضبان الناتجة خلال عملية المعالجة الحرارية بالتيرمكس، تم اجراء اختبار الشد،لعدد من العينات وكانت نتائج الاختبار متقاربة عبرنا عنها بأحد المخططات الناتجة والموضحة على الشكل رقم (17)




**الشكل (17) يمثل المنحنى البياني لعملية الشد للقضبان المنتجة باستخدام التيرمكس من البيليت من الدرجة 3ps**

نلاحظ من الشكل ( 17)لعملية الشد ان اجهاد الخضوع هو $535,82N/mm^2$، ومقاومة الشد هي $607,89N/mm^2$، هذه القيم مطابقة للمواصفة الامريكية ASTM A615 [5]، والمواصفة الاوكرانيةِ A500s[6]، من ناحية الخواص الميكانيكية.

بعد عدة تجارب عملية على خط الانتاج تم التوصل الى المواصفة المطلوبة من خلال استخدام 12 علبة تقسية في التيرمكس، بتدفق ماء 320 متر مكعب بالساعة وضغط 12 بار وسرعة درفلة 17,8 متر في الثانية وهي 95% من السرعة النظرية،وبعد الحصول على القضبان بنهاية خط الدرفلة، ثم معالجتها بالتيرمكس، وتم إجراء اختبار الشد لعدد من العينات، وكانت نتائج الاختبار متقاربة، عبرنا عنها بأحد المخططات الناتجة والموضحة على الشكل رقم (18).




**الشكل (18) يمثل المنحنى البياني لعملية الشد للقضبان المنتجة باستخدام التيرمكس من البيليت من الدرجة 4ps**

نلاحظ من المنحنى البياني لعملية الشد ان اجهاد الخضوع هو 573,84N/mm2 و مقاومة الشد هي 658,72N/mm2 هذه القيم مطابقة للمواصفة الامريكية ASTM A615 [5]، والمواصفة الاوكرانية A500s[6]من ناحية الخواص الميكانيكية.

- البيليت من النوع 4ps:

يوضح الجدول رقم (3) التركيب الكيميائي للفولاذ من هذه الدرجة 4ps:

**الجدول (3) يوضح التركيب الكيميائي للبيليت من الدرجة 4ps**

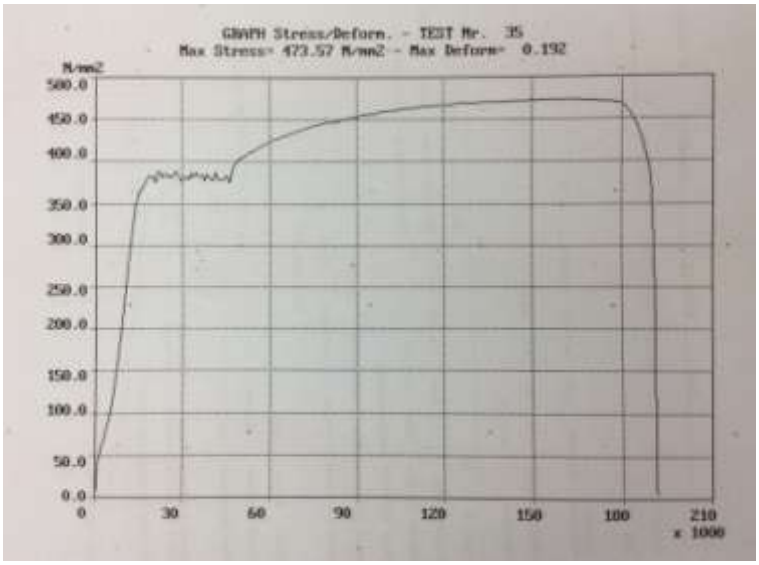
| | Fe | C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 98.9 | 0.241 | 0.0906 | 0.478 | 0.0305 | 0.0578 | 0.0338 | < 0.0050 |
| Ave | 98.9 | 0.241 | 0.0906 | 0.478 | 0.0305 | 0.0578 | 0.0338 | < 0.0050 |

| | Ni | Al | Co | Cu | Nb | Ti | V | W |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.0336 | < 0.0010 | 0.0035 | 0.0490 | 0.0048 | < 0.0010 | < 0.0020 | 0.0064 |
| Ave | 0.0336 | < 0.0010 | 0.0035 | 0.0490 | 0.0048 | < 0.0010 | < 0.0020 | 0.0064 |

نلاحظ من الجدول (3) ومقارنته مع الجدول رقم ( 1) انخفاض نسبة الكربون Cإلى0,24%، وكذلك انخفاض نسبة السليسيوم Siإلى 0,09%،وهي نسبة منخفضة جدا،والمنغنيز Mnإلى 0,47%، هذا يعني انه يجب معالجته

بالتيرمكس عن طريق زيادة تدفق الماء و زيادة الضغط والمحافظة على سرعة الدرفلة، للوصول الى المواصفة المطلوبة.

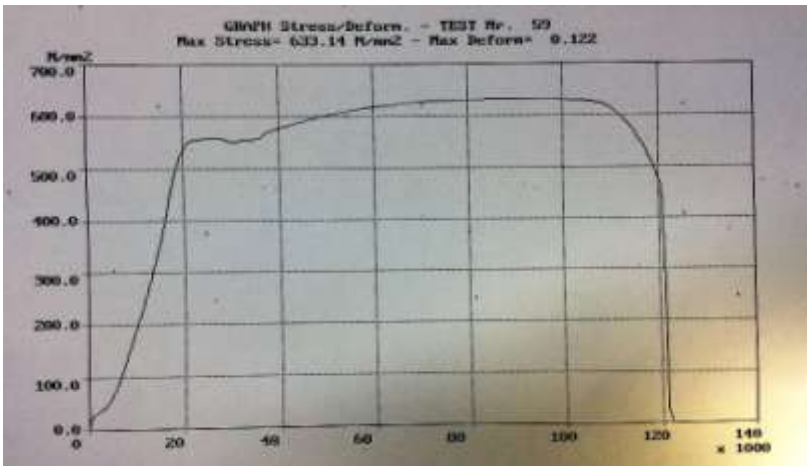
قمنا بإجراء اختبار على البيليت من هذه الدرجة، دون استخدام التيرمكس، واخذنا عينة من القضبان، وقمنا بإجراء اختبار الشد فحصلنا على منحني الشد كما في الشكل (19).




**الشكل (19) منحنى الشد للقضبان من البيليت من الدرجة 4sp/ps دون استخدام التيرمكس**

نلاحظ من هذا المنحني ان قوة الشد هي 473.57 N/mm2، وان اجهاد الخضوع هو 376.77 N/mm2 وهي منخفضة جدا، أي ان هذا المنتج لا يتوافق مع المواصفات العالمية المطلوبة، ويحتاج الى معالجة حرارية مباشرة على خط الانتاج بالتيرمكس.

بعد عدة تجارب عملية على خط الانتاج تم التوصل الى المواصفة المطلوبة من خلال استخدام 11 علبة تقسية في التيرمكس بتدفق ماء 280 متر مكعب بالساعة وضغط 12 بار و سرعة درفلة 18 متر في الثانية وهي 98% من السرعة النظرية بعد الحصول على القضبان المعالجة بالتيرمكس ، تم إجراء اختبار الشد لعدد من العينات، حيث كانت نتائج الاختبار للعينات متقاربة، عبرنا عنها بأحد المخططات الناتجة والموضحة بالشكل (20).




**الشكل (20) يمثل المنحنى البياني لعملية الشد للقضبان المنتجة باستخدام التيرمكس من البيليت من الدرجة 4ps**

نلاحظ من الشكل (20) لعملية الشد ان اجهاد الخضوع هو N/mm2560,03 و مقاومة الشد هي 633.14 N/mm2 هذه القيم مطابقة للمواصفة الامريكية ASTM 615 [5]، والمواصفة الاوكرانيةِ A500s[6] من ناحية الخواص الميكانيكية.

البيليت من النوع 4sp:

يوضح الجدول رقم (4) التركيب الكيميائي للفولاذ من هذه الدرجة 4sp:

**الجدول (4) يوضح التركيب الكيميائي للبيليت من الدرجة 4sp**

| | Fe | C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 98.8 | 0.203 | 0.202 | 0.523 | 0.0436 | 0.0431 | 0.0255 | 0.0070 |
| Ave | 98.8 | 0.203 | 0.202 | 0.523 | 0.0436 | 0.0431 | 0.0255 | 0.0070 |

| | Ni | Al | Co | Cu | Nb | Ti | V | W |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.0183 | < 0.0010 | < 0.0030 | 0.0199 | 0.0141 | < 0.0010 | 0.0075 | 0.0282 |
| Ave | 0.0183 | < 0.0010 | < 0.0030 | 0.0199 | 0.0141 | < 0.0010 | 0.0075 | 0.0282 |

نلاحظ من الجدول (4) و مقارنته مع الجدول رقم ( 1) انخفاض نسبة الكربون Cإلى 0,20%، وكذلك السليسيومSiإلى 0,20%، وهي نسبة جيدة، والمنغنيز Mnإلى0,52%، هذا يعني انه يجب معالجته بالتيرمكس عن طريق زيادة تدفق الماء و زيادة الضغط، والمحافظة على سرعة الدرفلة، للوصول الى المواصفة المطلوبة.

بعد عدة تجارب عملية على خط الانتاج تم التوصل الى المواصفة المطلوبة من خلال استخدام 10 علبة تقسية في التيرمكس بتدفق ماء 250 متر مكعب بالساعة وضغط 12 بار و سرعة درفلة 18 متر في الثانية وهي 98% من السرعة النظرية،بعد الحصول على القضبان المعالجة بالتيرمكس ، تم إجراء اختبار الشد لعدد من العينات، حيث كانت نتائج الاختبار للعينات متقاربة، عبرنا عنها بأحد المخططات الناتجة والموضحة بالشكل (21)

**الشكل (21) يظهر المنحني البياني لعملية الشد للقضبان بعد استخدام التيرمكس من البيليت4sp**

نلاحظ من المنحنى البياني لعملية الشد ان اجهاد الخضوع هو 572,96 N/mm2 و مقاومة الشد هي 701,77N/mm2 هذه القيم مطابقة للمواصفة الامريكية ASTM 615 [5]، والمواصفة الاوكرانية A500s[6]، من ناحية الخواص الميكانيكية.

البيليت من الدرجة 5ps:

يوضح الجدول رقم (5) التركيب الكيميائي للفولاذ من هذه الدرجة 5ps

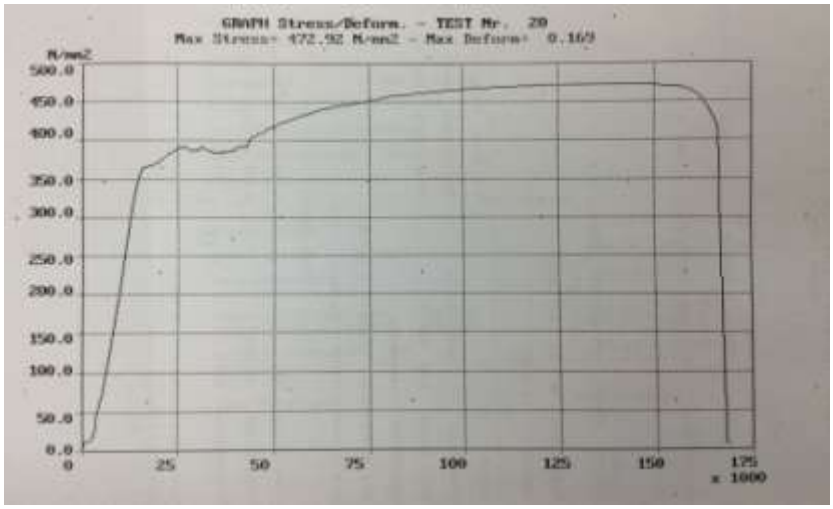
**الجدول (5) يوضح التركيب الكيميائي للبيليت من الدرجة 5ps**

| | Fe | C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 98.7 | 0.319 | 0.101 | 0.640 | 0.0386 | 0.0267 | 0.0130 | < 0.0050 |
| 2 | 98.7 | 0.314 | 0.103 | 0.639 | 0.0373 | 0.0256 | 0.0135 | < 0.0050 |
| Ave | 98.7 | 0.317 | 0.102 | 0.639 | 0.0379 | 0.0262 | 0.0132 | < 0.0050 |

| | Ni | Al | Co | Cu | Nb | Ti | V | W |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.0177 | < 0.0010 | < 0.0030 | 0.0266 | 0.0048 | < 0.0010 | < 0.0020 | 0.0160 |
| 2 | 0.0190 | < 0.0010 | < 0.0030 | 0.0276 | 0.0033 | < 0.0010 | < 0.0020 | 0.0064 |
| Ave | 0.0184 | < 0.0010 | < 0.0030 | 0.0271 | 0.0041 | < 0.0010 | < 0.0020 | 0.0112 |

نلاحظ من الجدول (5) و مقارنته مع الجدول رقم ( 1)ان نسبة الكربون C هي 0,31%، وهو جيد نسبيا كذلك السليسيومSi هي 0,10%، وهي نسبة منخفضة والمنغنيز Mn هو 0,64%، هذا يعني انه يجب معالجتها بالتيرمكس عن طريق زيادة تدفق الماء و زيادة الضغط و المحافظة على سرعة الدرفلة للوصول الى المواصفة المطلوبة.

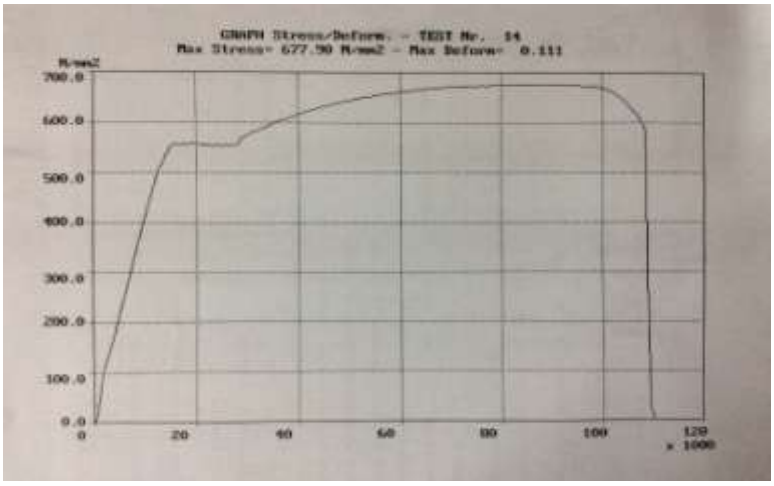
قمنا بإجراء اختبار على البيليت من هذه الدرجة دون استخدام التيرمكس واخذنا عينة من القضبان و قمنا بإجراء اختبار الشد فحصلنا على منحني الشد كما في الشكل (22)




**الشكل (22) منحنى الشد للقضبان من البيليت من الدرجة 5sp/ps دون استخدام التيرمكس**

نلاحظ من هذا المنحني ان قوة الشد هي 472.92 N/mm2، وان اجهاد الخضوع هو 383.92 N/mm2 وهي منخفضة جدا، أي ان هذا المنتج لا يتوافق مع المواصفات العالمية المطلوبة، ويحتاج الى معالجة حرارية مباشرة على خط الانتاج بالتيرمكس.

بعد عدة تجارب عملية على خط الانتاج تم التوصل الى المواصفة المطلوبة من خلال استخدام 10 علبة تقسية في التيرمكس بتدفق ماء 250 متر مكعب بالساعة وضغط 11 بار و سرعة درفلة 18 متر في الثانية وهي 98% من السرعة النظرية،تم إجراء اختبار الشد لعدد من العينات، حيث كانت نتائج الاختبار للعينات متقاربة، عبرنا عنها بأحد المخططات الناتجة والموضحة بالشكل(23)




**الشكل (23) يظهر المنحني البياني لعملية الشد للقضبان بعد استخدام التيرمكس من البيليت5ps**

نلاحظ من المنحنى البياني لعملية الشد ان اجهاد الخضوع هو 559,03N/mm2، ومقاومة الشد هي 677,90N/mm2، هذه القيم مطابقة للمواصفة الامريكية ASTM 615 [5] ، والمواصفة الاوكرانية A500s[6]، من ناحية الخواص الميكانيكية.

البيليت من الدرجة 5sp:

يوضح الجدول رقم (6) التركيب الكيميائي للفولاذ من هذه الدرجة 5sp

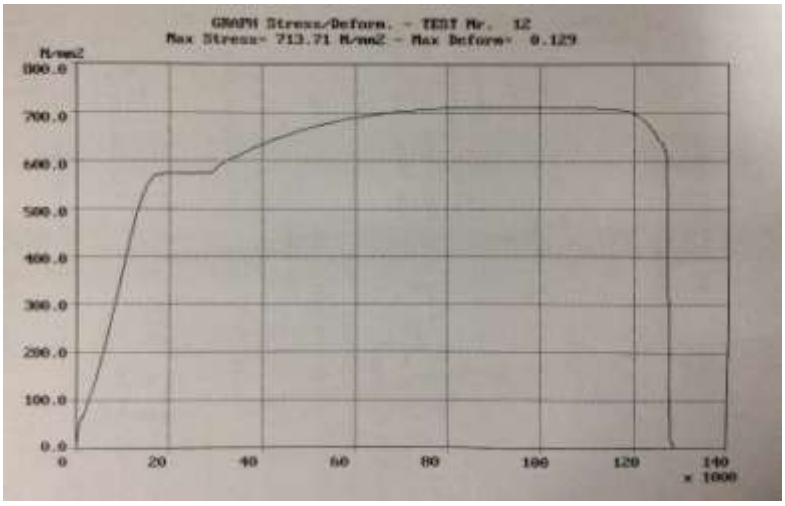
**الجدول (6) التركيب الكيميائي للفولاذ من الدرجة 5sp**

| | Fe | C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 98.4 | 0.330 | 0.257 | 0.718 | 0.0177 | 0.0289 | 0.0690 | < 0.0050 |
| 2 | 98.4 | 0.335 | 0.249 | 0.718 | 0.0197 | 0.0262 | 0.0686 | < 0.0050 |
| Ave | 98.4 | 0.333 | 0.253 | 0.718 | 0.0187 | 0.0276 | 0.0688 | < 0.0050 |

| | Ni | Al | Co | Cu | Nb | Ti | V | W |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.0228 | 0.0295 | < 0.0030 | 0.0255 | < 0.0020 | 0.0011 | 0.0031 | < 0.0050 |
| 2 | 0.0223 | 0.0291 | < 0.0030 | 0.0246 | < 0.0020 | < 0.0010 | < 0.0020 | < 0.0050 |
| Ave | 0.0225 | 0.0293 | < 0.0030 | 0.0251 | < 0.0020 | < 0.0010 | < 0.0020 | < 0.0050 |

نلاحظ من الجدول (6) ومقارنته مع الجدول رقم ( 1)، ان نسبة الكربون C هي 0,33%، وهي نسبة جيدة، كذلك السليسيومSi هي 0,25%، وهي نسبة جيدة، والمنغنيز Mn هو 0,71% وهي نسبة جيدة ايضاً،هذا يعني أنه يجب معالجتها بالتيرمكس عن طريق زيادة تدفق الماء و زيادة الضغط و المحافظة على سرعة الدرفلة للوصول الى المواصفة المطلوبة.

بعد عدة تجارب عملية على خط الانتاج تم التوصل الى المواصفة المطلوبة من خلال استخدام 9 علبة تقسية في التيرمكس بتدفق ماء 200 متر مكعب بالساعة وضغط 10 بار و سرعة درفلة 18,8 متر في الثانية وهي 100% من السرعة النظرية تم إجراء اختبار الشد لعدد من العينات، حيث كانت نتائج الاختبار للعينات متقاربة، عبرنا عنها بأحد المخططات الناتجة والموضحة بالشكل(24)




**الشكل (24) يظهر المنحني البياني لعملية الشد للقضبان بعد استخدام التيرمكس من البيليت5sp**

نلاحظ من المنحنى البياني لعملية الشد ان اجهاد الخضوع هو 576.94N/mm2و مقاومة الشد هي 713,71N/mm2 هذه القيم مطابقة للمواصفة الامريكية ASTM 615 [5]، والمواصفة الاوكرانية A500s[6]، من ناحية الخواص الميكانيكية.

## الاستنتاجات والتوصيات:

### الاستنتاجات:

1 إن نوع البيليت وتركيبه الكيميائي، يحدد بارامترات عملية المعالجة بالتيرمكس (عدد العلب ،مقدار تدفق وضغط الماء) للحصول على الخواص الميكانيكية المطلوبة للمنتج، وفق المواصفات القياسية العالمية.

2 إمكانية التحكم بشكل كبير بالخواص الميكانيكية، لقضبان حديد التسليح المنتجة في المعمل، باستخدام تقنية المعالجة بالتيرمكس.

3 امكانية تطبيق المعالجة الحرارية باستخدام تقنية التيرمكس مع المحافظة على الطاقة الانتاجية اليومية للمعمل.

4 باستخدام تقنية الترمكس حصلنا على قضبان فولاذ عالية المقاومة قابلة للحام مواصفاتها مطابقة للمواصفات القياسية العالمية لقضبان الفولاذ المستعملة في أعمال البناء والتسليح الاسمنتي.

**التوصيات:**

1 ينصح بتطبيق هذه التقنية على اقطار قضبان مختلفة من نفس التراكيب الكيميائية المدروسة في هذا البحث.

2 ضرورة تطبيق هذه التقنية على خطوط انتاج سبائك فولاذية اخرى غير المدروسة في هذا البحث.

3 ينصح بتطبيق هذه التقنية في خطوط انتاج تنتج مقاطع اخرة غير قضبان التسليح.

**المراجع:**

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

2- GEORGE E .TOTTEN .*Stell heat treatment metallurgy and technologies*-second edition .CRC press .2007 .p 833

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

4 - د.فؤاد ضحية ،*علم المعادن* . منشورات جامعة البعث ،2016- 510

5 - ASTM 615 المواصفة القياسية الأمريكية

6 - A500s المواصفة الاوكرانية