The North African Journal of Scientific Publishing (NAJSP)
مجلة شمال إفريقيا للنشر العلمي (NAJSP)
E-ISSN: 2959-4820
Volume 2, Issue 3, July – September 2024, Page No: 256-269
Website: https://najsp.com/index.php/home/index
SJIFactor 2023: 3.733 معامل التأثير العربي (AIF) 2023: 0.63 ISI 2023: 0.383

تأثير عملية الجلفنة على الخواص الميكانيكية للفولاذ المنخفض الكربون: دراسة معملية على الحديد المستخدم في الترسانة البحرية بالخمس

عبد السلام رمضان دلف[1*]، عبدالله سالم القعود[2]، مروان خليل محمد غويلة[3]، بالقاسم محمد الأعوج[4]، حسن عبد اللطيف مهلهل[5]
[1،2،3،4] قسم هندسة الميكانيكا البحرية، كلية الموارد البحرية، الجامعة الأسمرية الإسلامية، زليتن، ليبيا
[5] قسم الهندسة الميكانيكية، كلية الهندسة القربولي، جامعة المرقب، ليبيا

The Effect of Galvanizing Process on the Mechanical Properties of Low Carbon Steel: A Laboratory Study on Iron Used in Naval Shipyard, El-Khoms

Abdel Salam Ramadan Daleef[1*], Abdullah Salem Al-Qaoud[2], Belkasem Mohammed Alaeuj[3], Maruwan Khaleel Aghweelah[4], Hasan Abduallatif Muhalhal[5]
[1,2,3,4] Department of Marine Mechanical Engineering, Faculty of Marine Resources, Alasmarya Islamic University, Zliten, Libya
[5] Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Garahbulli, Elmergeb University

[*]Corresponding author ab.daleef@asmarya.edu.ly [*]المؤلف المراسل
تاريخ النشر: 2024-09-17 تاريخ القبول: 2024-08-28 تاريخ الاستلام: 2024-07-21

الملخص

يُعد الفولاذ منخفض الكربون أحد المواد الهندسية الأكثر استخداماً في التطبيقات الصناعية، خاصةً في الصناعات البحرية التي تتطلب مقاومة عالية للتآكل بسبب التعرض المستمر للمياه والملوثات البحرية؛ إلا أن مقاومة الفولاذ منخفض الكربون للتآكل محدودة نظراً لانخفاض نسبة الكربون فيه. لذلك، يتم تطبيق تقنيات مثل الجلفنة لتحسين مقاومة الفولاذ للتآكل. في هذه الدراسة، تم إجراء بحث معملي لتقييم تأثير عملية الجلفنة على الخواص الميكانيكية للفولاذ منخفض الكربون المستخدم في الترسانة البحرية بمدينة الخمس. خلصت الدراسة إلى وجود تحسّن في قيمة الشد للفولاذ المجلفن ومقاومة انفعال أفضل، وهناك انخفاضاً نسبياً لقيمة الصّلادة بالنّسبة للفولاذ المجلفن بسبب تغير في البنية المجهرية، وكشفت النتائج عدم تحسّن في البنية المجهرية للفولاذ المجلفن وظهور البرلايت بشكل واضح ممّا أدّى إلى انخفاض قيمة اختبار الصّدم.

الكلمات المفتاحية: الجلفنة، الخواص الميكانيكية، فولاذ منخفض الكربون، البنية المجهرية، الترسانة البحرية، الخمس.

Aabstract

Low carbon steel is one of the most widely used engineering materials in industrial applications, particularly in the marine industries, which require high corrosion resistance due to constant exposure to water and marine pollutants. However, the corrosion resistance of low carbon steel is limited due to its low carbon content. Therefore, techniques such as galvanization are applied to enhance the corrosion resistance of steel. In this study, a laboratory investigation was conducted to evaluate the effect of the galvanization process on the mechanical properties of low carbon steel used in the naval shipyard in El-Khoms City. The study concluded that there was an improvement in the tensile strength of galvanized steel and better strain resistance, with a slight decrease in hardness value for the galvanized steel due to changes in the microstructure. The results revealed no significant improvement in the microstructure of the galvanized steel, with the prominent appearance of pearlite, which led to a reduction in the impact test value.

Keywords: Galvanization, Mechanical Properties, Low Carbon Steel, Microstructure, Naval Shipyard, El-Khoms.

المحور الأول: مقدمة

يعد الفولاذ منخفض الكربون من أكثر المواد استخداماً في التطبيقات الهندسية، حيث يجمع بين الكفاءة الاقتصادية والأداء الميكانيكي الجيد. يتميز هذا النوع من الفولاذ بسهولة تشكيله وقدرته العالية على اللحام، مما يجعله مادةً مفضلةً في العديد من الصناعات (Smith, 2019). ومع ذلك، يعاني الفولاذ منخفض الكربون من قلة مقاومته للتآكل، خاصة عند تعرضه للعوامل البيئية القاسية. للتغلب على هذا العيب، يتم تطبيق تقنيات الحماية مثل الجلفنة، وهي عملية يتم فيها طلاء الفولاذ بطبقة من الزنك لحمايته من الصدأ والعوامل المسببة للتآكل، مما يطيل من عمره الافتراضي ويحسن أداؤه في البيئات القاسية (Thompson, 2020).

تعد الجلفنة بالغمس الساخن من أهم العمليات الصناعية التي تُستخدم لزيادة مقاومة الفولاذ للتآكل، وذلك عن طريق غمس الفولاذ في حوض من الزنك المصهور. هذه العملية لا تؤدي فقط إلى تحسين مقاومة الفولاذ للبيئات القاسية، ولكن قد تؤثر أيضاً على خصائصه الميكانيكية مثل الصلابة، مقاومة الشد، والمرونة إضافة إلى زيادة عمر الهياكل الفولاذية وتقليل تكاليف الصيانة (Najafabadi, et.al, 2021).

من الضروري أيضاً فهم كيفية تأثير هذه العملية على الخواص الميكانيكية للفولاذ منخفض الكربون، لضمان استخدامه الآمن والفعال في مختلف التطبيقات الهندسية.

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل تأثير عملية الجلفنة على الخواص الميكانيكية للفولاذ منخفض الكربون من خلال سلسلة من التجارب المعملية للحديد المستخدم في الترسانة البحرية بمدينة الخمس. سيتم التركيز على مقارنة الفولاذ قبل وبعد الجلفنة من حيث قوة الشد، الصلابة، والمرونة. ستوفر هذه الدراسة بيانات تجريبية تدعم الاستخدام الأمثل للفولاذ المجلّفن في الصناعات المختلفة.

المحور الثاني: الفولاذ منخفض الكربون وخصائصه

أولاً: تعريف الفولاذ منخفض الكربون

الفولاذ منخفض الكربون هو نوع من الفولاذ يحتوي على نسبة قليلة من الكربون تتراوح عادةً بين (0.05% - 0.30%)؛ فكلما زادت نسبة الكربون في الفولاذ، كلما أصبح أكثر صلابة ولكنه يصبح أيضاً أكثر هشاشة. بفضل هذه النسبة المنخفضة من الكربون، يُعتبر الفولاذ منخفض الكربون مناسباً للاستخدام في العديد من التطبيقات التي تتطلب المرونة والليونة.

ويمكن تعريف الفولاذ طبقاً لتركيبته الكيميائية؛ فهو نوع من الفولاذ الذي يحتوي على نسبة كربون تتراوح بين 0.05% و0.3% من الوزن، يتميز بسهولة التشكيل واللحام بفضل انخفاض نسبة الكربون فيه، ما يجعله خياراً شائع الاستخدام في التطبيقات الهندسية التي تتطلب مرونة عالية وتكلفة منخفضة (Jorado, 2020)، وفي تعريف آخر بناءً على الخصائص الميكانيكية، هو نوع من الفولاذ الذي "يتميز بمرونة عالية وقوة شد متوسطة تتراوح بين 400 و550 ميجا باسكال" (أبوزهرة، 2019)، مما يجعله مناسباً للاستخدام في الصناعات التي تحتاج إلى تصنيع أجزاء معقدة مثل الهياكل المعدنية وصناعة السيارات ووفقاً لقابلية اللحام فيعرف بأنه "نوع من الفولاذ يتمتع بقابلية عالية للحام والتصنيع، حيث يمكن ربط الأجزاء المصنوعة منه بسهولة باستخدام تقنيات اللحام التقليدية" (العلي، 2021)، مما يجعله مادة مفضلة في الصناعات التحويلية والهياكل الهندسية، وعلى الرغم من أن الفولاذ منخفض الكربون يتميز بخصائص ميكانيكية ممتازة، إلا أنه يعاني من مقاومة ضعيفة للتآكل بسبب انخفاض نسبة الكربون فيه، مما يجعله عرضة للصدأ عند التعرض للبيئات الرطبة.

لذلك، يتم حماية الفولاذ عادةً عن طريق الطلاء أو الجلفنة، والفولاذ منخفض الكربون هو "مادة هندسية متعددة الاستخدامات تُستخدم بشكل واسع في القطاعات الصناعية المختلفة، بفضل خصائصه التي تشمل سهولة التشكيل، التكلفة المنخفضة، وقابلية التصنيع العالية (باوندي، 2022).

ونستخلص من التعاريف السابقة ما يلي:

- أن الفولاذ منخفض الكربون يحتوي على نسبة كربون تتراوح بين 0.05% و0.3%.
- زيادة نسبة الكربون تؤدي إلى زيادة الصلابة ولكن أيضًا تجعل الفولاذ أكثر هشاشة.
- يتميز الفولاذ منخفض الكربون بالمرونة والليونة، مما يجعله مناسباً للتطبيقات الهندسية.
- سهل التشكيل واللحام بسبب انخفاض نسبة الكربون فيه.
- يتمتع بقوة شد تتراوح بين 400 و550 ميجا باسكال.
- مناسب للصناعات المعقدة مثل الهياكل المعدنية وصناعة السيارات.
- قابل للحام باستخدام تقنيات اللحام التقليدية.
- يعاني من ضعف مقاومة التآكل، ويحتاج إلى الحماية بالطلاء أو الجلفنة.
- مادة متعددة الاستخدامات بفضل سهولة التصنيع وتكاليف الإنتاج المنخفضة

ثانياً: خصائص الفولاذ منخفض الكربون

- المرونة والليونة: الفولاذ منخفض الكربون يتمتع بمرونة عالية تجعله قابلاً للتشكيل بطرق مختلفة مثل الانحناء، الدرفلة، والسحب. هذا يجعله خياراً مثالياً في الصناعات التي تتطلب تصنيع أجزاء معقدة بتكلفة منخفضة. المرونة والليونة العالية تسمح أيضاً بإجراء عمليات اللحام بشكل سهل وسريع.
- سهولة اللحام: إحدى أبرز خصائص الفولاذ منخفض الكربون هي سهولة اللحام، حيث يمكن ربط الأجزاء المصنوعة منه بسهولة باستخدام تقنيات اللحام التقليدية. هذه السمة تعزز من استخدامه في قطاعات مثل صناعة السيارات، الهياكل المعدنية، والجسور.
- قوة الشد المعتدلة: على الرغم من أن الفولاذ منخفض الكربون ليس قوياً مثل الفولاذ عالي الكربون أو الفولاذ المقاوم للصدأ، إلا أنه يتمتع بقوة شد مناسبة للعديد من التطبيقات الهيكلية. قوة الشد الخاصة به تتراوح بين 400 إلى 550 ميجا باسكال، وهي كافية للعديد من الاستخدامات الصناعية والهندسية.
- مقاومة التآكل: من العيوب الرئيسية للفولاذ منخفض الكربون هي مقاومته الضعيفة للتآكل. يتعرض هذا النوع من الفولاذ للصدأ بسهولة عندما يكون معرضاً للهواء أو الرطوبة، مما يقلل من عمره الافتراضي. لذلك، يتم تطبيق تقنيات الحماية مثل الطلاء أو الجلفنة لإطالة عمره وزيادة مقاومته للعوامل البيئية.
- التكلفة المنخفضة: بفضل سهولة إنتاجه وانخفاض نسبة الكربون فيه، يعتبر الفولاذ منخفض الكربون أحد أكثر المواد الاقتصادية من حيث التكلفة. يمكن إنتاجه بكميات كبيرة وبأسعار منخفضة، مما يجعله خياراً مثالياً للاستخدامات العامة.

ثالثاً: استخدامات الفولاذ منخفض الكربون

بفضل خصائصه الميكانيكية الجيدة وتكلفته المنخفضة، يُستخدم الفولاذ منخفض الكربون على نطاق واسع في العديد من الصناعات:

- الهياكل المعدنية: يُستخدم الفولاذ منخفض الكربون في الهياكل المعدنية نظرًا لقدرته على تحمل الأحمال وتوفير مرونة تصميمية جيدة. يمكن تشكيله بسهولة إلى أشكال معقدة وهو خيار اقتصادي عند بناء الجسور والمباني.
- صناعة السيارات: الفولاذ منخفض الكربون يُستخدم بشكل شائع في صناعة السيارات لتصنيع أجزاء الهيكل والهيكل السفلي. مرونته وسهولة اللحام تجعله مادة مفضلة في تصنيع الأجزاء التي تحتاج إلى تشوه معين تحت الضغط مثل الإطارات والألواح الخارجية.
- صناعة هياكل السفن: يُستخدم الفولاذ على نطاق واسع في صناعة هياكل السفن؛ حيث يعتبر الفولاذ من المواد المفضلة لهذه الصناعة بسبب متانته وقوته العالية وقدرته على مقاومة العوامل البيئية القاسية مثل التآكل الناتج عن المياه المالحة. هناك أنواع مختلفة من الفولاذ تُستخدم في صناعة السفن، بما في ذلك الفولاذ منخفض الكربون والفولاذ المقوى، حيث يتم اختيار النوع المناسب بناءً على متطلبات التصميم والمتانة والمقاومة للتآكل.
- الأنابيب: يُستخدم الفولاذ منخفض الكربون في تصنيع الأنابيب المستخدمة لنقل السوائل والغازات. يتميز هذا النوع من الفولاذ بسهولة اللحام والمرونة مما يجعله خياراً مثالياً لأنظمة الأنابيب التي تتطلب المرونة والمتانة في آنٍ واحد.
- الأجهزة المنزلية: الفولاذ منخفض الكربون هو أيضاً مادة مفضلة في صناعة الأجهزة المنزلية مثل الغسالات والثلاجات. التكلفة المنخفضة وسهولة التصنيع تجعل هذا الفولاذ مثاليًا لتصنيع المكونات الكبيرة والصغيرة في هذه الأجهزة.

المحور الثالث: عملية الجلفنة للفولاذ منخفض الكربون

الجلفنة هي عملية طلاء الفولاذ بطبقة من الزنك لحمايته من التآكل. تُعد هذه العملية من أهم الأساليب المستخدمة لزيادة مقاومة الفولاذ منخفض الكربون للعوامل البيئية والظروف الجوية القاسية. يتم استخدام الجلفنة بشكل كبير في التطبيقات التي تتعرض فيها الأسطح المعدنية لعوامل مثل الرطوبة، الهواء، االمياه المالحة، أو المواد الكيميائية المسببة للصدأ.

أولاً: خطوات عملية الجلفنة

- تنظيف السطح :يتم تنظيف الفولاذ من الشوائب والأوساخ لضمان التصاق جيد لطبقة الزنك.
- التجفيف :يتم تجفيف الفولاذ تمامًا بعد تنظيفه لضمان عدم تفاعل الزنك مع الماء أثناء عملية الجلفنة.
- الغمر في الزنك :يتم غمر الفولاذ في حوض يحتوي على الزنك المصهور عند درجة حرارة عالية.
- التبريد والتصلب :بعد عملية الغمر، يتم تبريد الفولاذ وتصلب طبقة الزنك عليه.

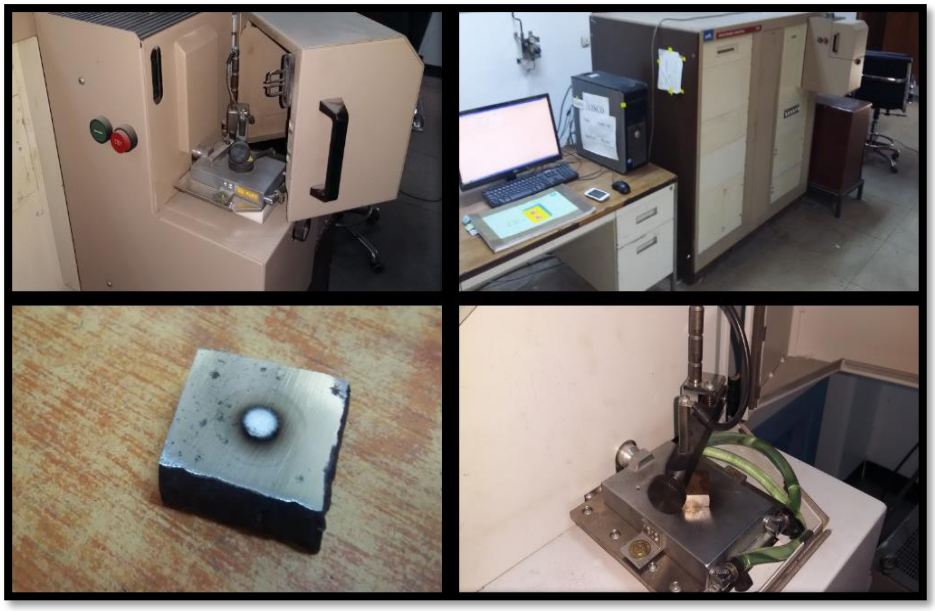
ثانياً: فوائد الجلفنة

- حماية طويلة الأمد ضد التآكل.
- تقليل تكاليف الصيانة والإصلاح.
- تحسين الأداء في البيئات القاسية مثل المناطق الساحلية أو الصناعية.

المحور الرابع: المواد والطرق

أولاً: السبيكة المستخدمة في التجربة

تم في هذا البحث جلب عينات من الترسانة البحرية من مدينة الخمس، وبعد إجراء عمليات تهيئة للعينة تم تحليلها كيميائياً في الشركة الليبية للحديد والصلب بمدينة مصراتة باستخدام جهاز Spectro meter الموضح بالشكل (1). والجدول (1) يوضح العناصر التي تدخل في السبيكة المستخدمة في التجربة.



شكل (1): جهاز التحليل الكيميائي (Spectro Meter).

جدول (1): العناصر التي تدخل في هذه السبيكة المستخدمة في التجربة.

حديد Fe	كربون C	منجنيز Mn	سيلكون Si	فوسفات P	كبريت S	نيكل Ni	تيتانيوم Ti	نحاس Cu	مولبيديوم Mo
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
98.58	0.183	0.945	0.022	0.036	0.0147	0.0233	0.0007	0.0608	0.00618

يلاحظ من الجدول أعلاه تفاوت نسب العناصر التي تدخل في السبيكة المستخدمة في التجربة، فنجد أن عنصر الحديد أكثرها بنسبة (98.58%)، أما العناصر الأخرى فتكاد تؤول إلى الصفر، فقد تراوحت ما بين (0.0007) في حدها الأدنى وكانت لصالح (تيتانيوم)، وبين (0.945) في حدها الأقصى لصالح عنصر (منجنيز).

ثانياً: تجهيز العينات للجلفنة

- **معدّات القطع المستخدمة**

يتم قطع السبيكة المراد لحمها على البارد (في عدم وجود حرارة) باسخدام منشار بضغط عالي، حيث يتم تثبيت العينة جيداً ويتم تسليط سائل التبريد المكوّن من خليط زيت وماء كما يوضحه الشكل (2).

شكل (2): ماكينة المنشار الميكانيكي.

تمت عملية القطع باستخدام آلة ضخمة ذات ضغط عالي جداً داخل أحد مصانع الشركة الليبية للحديد والصلب بمدينة مصراتة. تعمل هذه الآلة على قص السبيكة بكل سهولة وبمعول عن الحرارة لكيلا تؤثر على خواص السبيكة الميكانيكية، كما في الشكل (3).

شكل (3): طريقة قص المعادن.

تمت عملية التشطيب النهائي للقطع عن طريق جهاز القطع الدقيق المسمى "مايكرو كتر" مع وجود سائل التبريد، حيث يتم تثبيت العينة بمثبتات ميكانيكية خاصة، ويتم إنزال غطاء الحماية، ويتم تشغيل زر سائل التبريد أولاً؛ ومن ثم تتم عملية القطع التي يتم التحكم بها عن طريق ذراع جانبية يدوياً كما في العمليات السابقة والشكل (4) يوضح جهاز القطع الدّقيق.

شكل (4): جهاز القطع الدقيق (المايكرو كتر)

ثالثاً: جلفنة العينات

- المنظفات القلوية

تبدأ عملية التنظيف في حوض يتكون من خليط من أملاح الصوديوم الأساسية لإزالة الزيوت العالقة على سطح العينة. والجدول (2) يوضح خليط من أملاح الصوديوم الأساسية. والجدول (2) يبين العناصر التي تدخل في المنظفات القلوية.

جدول (2): المنظفات القلوية وتراكيزها ودرجة حرارتها.

القلويات Alkaline	التركيز Concentration (g/l)	درجة الحرارة Temperature (ºc)
NaOH	70	70
Na2Co3	80	70

- المعالجة الحامضية Hydrochloric Acid (pickling)

في هذه المرحلة يتم استخدام حمض الهيدروكلوريك لإزالة الأكاسيد عند درجة حرارة الغرفة وهو عبارة عن محلول سائل من حامض معدني يكون في معظم الحالات حامض الهيدروكلوريك أو حامض الكبريتيك.

- الصّهر المساعد Flux:

هذا الحوض يتكون من كلوريد زنك الأمونيوم ZnCl2 2NH4cl ويستخدم لاذابة الأكاسيد المتكونة علي سطح المعدن

- الزنك Zinc:

حيث يتكون هذا الحوض من العناصر المبينة في الجدول (3).

جدول (3): التركيب الكيميائي لحوض الزنك.

Pb	Fe	Sn	Cd	Cu	Zn
0.0020	0.0600	0.0001	0.0002	0.0007	Bal

رابعاً: عملية الجلفنة Galvanizing Process

غمرت عينات الفولاذ في محلول مخفف من هيدروكسيد الصوديوم أو كربونات الصوديوم لمدة 30 دقيقة، ثم يتم غمرها في حوض الماء وبعدها يتم غمرها في حوض يحتوي على حمض الهيدروكلوريك عند درجة حرارة الغرفة لمدة 30 دقيقة، ثم غمرها مجددا في حوض به ماء ومن ثم يتم وضعها في حوض المصهور المساعد الذي يتكون من كلوريد زنك الأمونيوم. وأخيراً يتم تجفيفها لمدة 10 دقائق عند درجة حرارة 150º وغمرها في حوض الزنك الذي تصل درجة حرارته 450º لمدة 5 دقائق وبعدها تغمر العينات في الماء وتجفف بعد ذلك في الهواء. الشكل (5) يوضّح الحوض الذي تمت فيه عملية الجلفنة من داخل شركة الإنماء للصناعات الهندسة المساهمة.

شكل (5): حوض الزنك.

خامساً: الاختبارات الهدامة Destructive Tests

- اختبار الشد Tensile Test

تم إجراء اختبار الشد على عدد من العينات (قبل الجلفنة وبعدها) مأخوذة من المادة المطلوب اختبارها، وأجري الاختبار لكل العينات طبقاً لمواصفة الشد المتبعة أثناء الاختبار، وفيما يلى توضيحاً لخطوات الاختبار الواردة في كل المواصفات المعنية باختبار الشد وهي مأخوذة بتصرف واختصار من المواصفة ASTM E8M، وتَتبع الخطوات الآتية بعد قطع وتشغيل العينة طبقا للأبعاد والشكل المطلوبين في المواصفة، وكما يوضحها الشكل (6).

شكل (6): عينة اختبار الشد.

وتم بإجراء تجربة الشد بمختبر مصنع الحديد والصلب بمدينة مصراتة/ وذلك طبقاً للمواصفة المعتمدة لدى المصنع. والشكل (7) يوضح جهاز تجهيز عينة الشد المسمى بالفريزة وجهاز اختبار الشد.

شكل (7): جهاز الفريزة وجهاز اختبار الشد.

- خطوات التجربة:

أ- يقاس قطر العينة باستخدام القدمة ذات الورنية.
ب- يحدد على العينة طول القياس باستخدام مسطرة قياس الورنية.
ت- تثبيت العينة في اختبار الشد بإحكام.
ث- نقوم بتصفير الجهاز.
ج- نبدأ بتسليط الأحمال ونسجل القراءة بين القوة والاستطالة.
ح- تسجيل الاستطالة اللحظية وتكرير القراءات حتى تحدث عملية القطع.

والجدول (4) يوضح متوسط نتائج اختبار الشد قبل عملية الجلفنة، والجدول (5) يوضح متوسط نتائج اختبار الشد بعد عملية الجلفنة.

جدول (4): متوسط نتائج اختبار الشد قبل عملية الجلفنة.

Sample type	Area $(mm)^2$	Gauge Length (mm)	Yield Point		Ultimate		Elongation
			Load (Kg)	Y.S (N/mm^2)	Ultimate Load (Kg)	U.T.S (N/mm^2)	New Length (mm)
Steel	203.5	81	5700	-	9300	373	95

جدول (5): متوسط نتائج اختبار الشد بعد عملية الجلفنة.

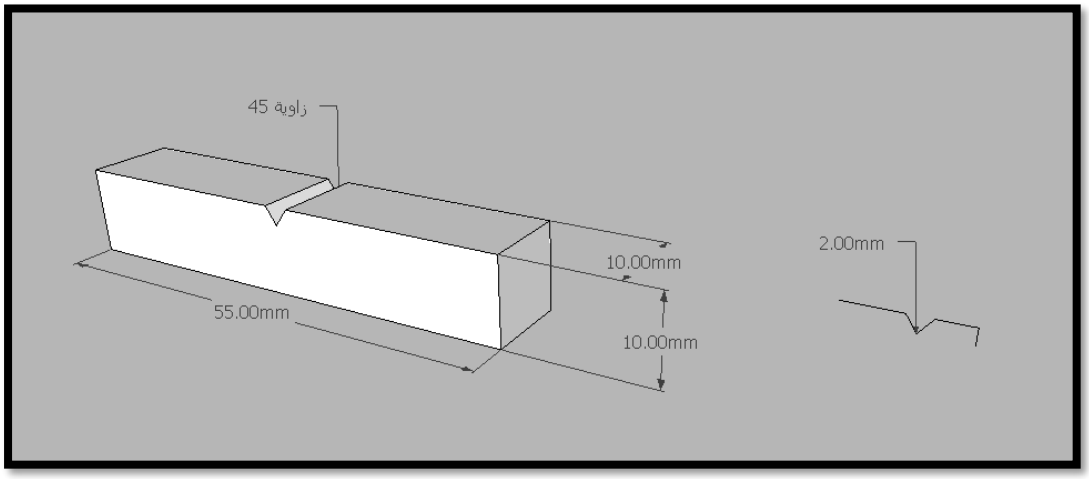
Weld type	Area $(mm)^2$	Gauge Length (mm)	Yield Point		Ultimate		Elongation
			Load (Kg)	Y.S (N/mm^2)	Ultimate Load (Kg)	U.T.S (N/mm^2)	New Length (mm)
Galvanized Steel	246	88	6600	263	10000	398	108

سادساً: اختبار الصدم Impact Test

تحديد متانة المادةToughness وهي خاصية مقاومة المعدن للكسر عند تعرضه للإجهادات المفاجئة ويعطي الفحص تصور عن الطاقة المصروفة لكسر العينة وكذلك مدى تأثير وجود التشققات على مقاومة المادة المتعرضة لحمل صدمة (تأثير الحز).

- العينة المستخدمة:

تستخدم لهذا الاختبار عينة ذات شكل قياسي موحد وبها حز (Notch) في منتصف احدى جانبيها كما في الشكل (8)، حيث تم تجهيز العينة في مختبر مصنع الحديد والصلب وقد استخدمنا طريقة شاربي التي تكون فيها العينة القياسية على شكل منشور (Prism) رباعي الأبعاد (10*10*55) ملم3 والقلم الذي يعمل الحز في العينة يكون على شكل حرف(V أو U).



شكل (8): عينة الصدم

- وصف تركيبة الجهاز المستخدم:

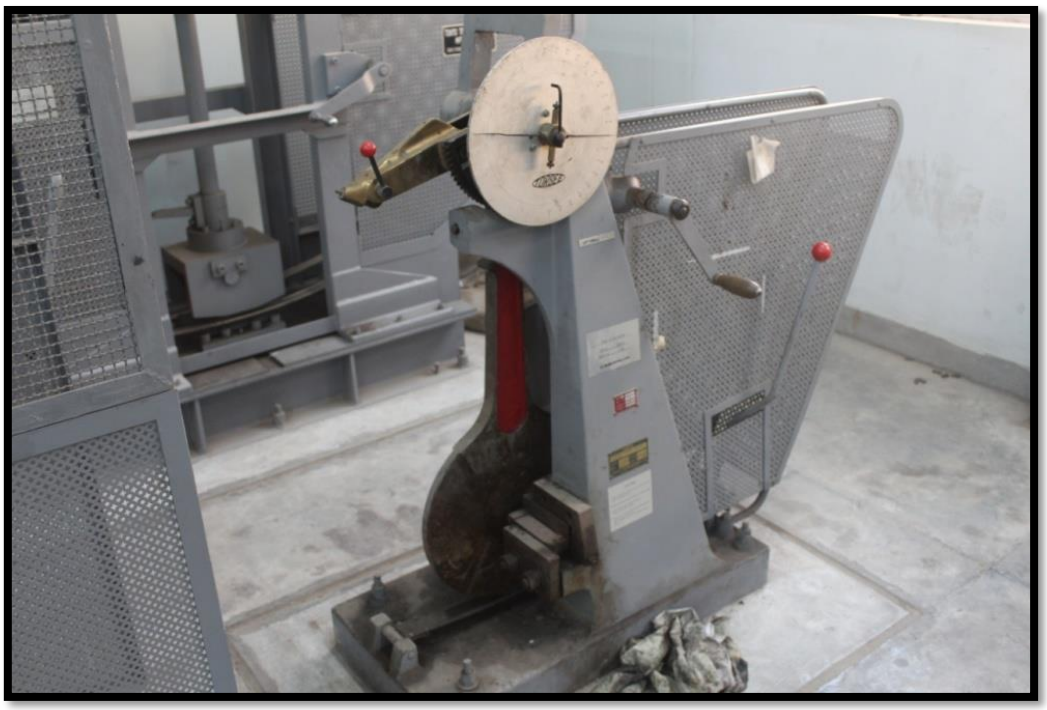
يجرى هذا الاختبار الديناميكي على جهاز خاص كما موضح في الشكل (9)، حيث يتم كسر العينة بواسطة صدمها ببندول (مطرقة) ثقيل يسقط عليها من ارتفاع محدد وثابت.

ويتكون الجهاز من الأجزاء الرئيسية التالية:

أ- البندول (المطرقة).

ب- تدرج الزوايا.

ت- عينة الاختبار.



شكل (9): جهاز شاربي للصدم.

- طريقة إجراء الاختبار

ثبت قطعة الاختبار في الوضع الصحيح في آلة الاختبار مع مراعاة أن يكون المحور الأفقي لقطعة الاختبار في مستوى تأرجح مركز ثقل المطرقة، وأن يكون مستوى تماثل الحز عكس مستوى الوجه العلوى للكلابات، وتعد الآلة للاختبار بضبط مؤشرها على التدريج المقابل للموضع الابتدائي للمطرقة، ثم يطلق البندول حراً ليتأرجح فتصدم مطرقته قطعة الاختبار وتكسرها أو تثنيها، ويمر متأرجحاً إلى الجهة الأخرى من قطعة الاختبار حتى تصل المطرقة إلى الوضع النهائي، وحينئذ تدل القراءة التي يبينها المؤشر لهذا الوضع على مقدار الطاقة التي بذلت في ثنى أو كسر قطعة الاختبار. ويلاحظ أن المعدن القصيف تنكسر عينته تماماً بدون حدوث انثناء أو تشوهات عند الكسر، أما المعدن المطيل فتنكسر عينته مع حدوث ثني مصاحب للكسر والشكل (10) يوضّح كسر العينة المجلفنة بعد اختبار الصّدم والجدول (6) يوضح نتائج الصدم للعينات قبل وبعد عملية الجلفنة.

شكل (10): العينة المجلفنة بعد اختبار الصدم.

جدول (6): يبين نتائج اختبار الصدم.

Type	Impact Value
Base	107.8 J
Galvanized Steel	70.14 J

سابعاً: اختبار روكويل للصلادة Rockwell scale

وهو اختيار يعنى بقياس مدى مقاومة المعدن للخدش.

خطوات الاختبار:

- معايرة الجهاز.

أ- مراجعة سطح العينات والتأكد من استواء السطح.

ب- تثبيت العينة على قاعدة القياس.

ت- اختيار أداة القياس (كرة صلب للمعادن متوسطة الصلادة).

ث- تحديد قيمة الحمل المناسب (100كجم) لإختبار روكويل B.

ج- تنفيذ الاختبار عدة مرات وقياس متوسط النتائج.

ح- تحديد رقم روكويل للصلادة B حسب قراءة مؤشرالجهاز.

والشكل (11) يبين الجهاز المستخدم لقياس الصلادة ريكويل في مختبر مصنع الحديد والصلب بمدينة مصراته.

شكل (11): جهاز قياس الصلادة.

- نتائج الاختبار

الجدول (7) يوضح متوسط نتائج اختبار الصلادة للفولاذ والفولاذ المجلفن.

جدول (7): نتائج اختبار الصلادة

Type	Test 1	Test 2	Test 3	Average (HRB)
Steel	74	76	76	75.3333333
Galvanized Steel	67	67	65	66.3333333

ثامناً: فحص البنية المجهرية Examination Microstructure

أجريت عملية تحضير للعينات لغرض فحص البنية المجهرية وتصوير العينات داخل المركز المتقدّم أبوسليم وذلك بإجراء الخطوات التاليـة:

أ- قطع العينة إلى مجموعة من القطع بمساحة (10*10 *10) ملم.

ب- كبس العينات بواسطة جهاز توضع به حبيبات يقوم بتسخينها بدرجة حرارة 180° درجة وضغطها في القالب بضغط 300 كجم \سم2 كما في الشكل التالي (12):

شكل (12): جهاز كبس العينات.

ت- إجراء عملية تنعيم باستخدام أوراق تنعيم بدرجـات (320 ،500 ،800, 1000)، كما في الشكل (13).

شكل (13): أوراق وجهاز التنعيم.

ث- إجراء عمليـة صقـل (polishing) باستخدام قمـاش صقل خاص مع سائل مسحوق الالومينا وبدرجـة نعومـة (1 µm)كما في الشكل (14).

شكل (14): عملية الصقل.

ج- غسل العينات بالماء بعد كل مرحلة من مراحل التنعيم والصقل كما في الشكل (15):

شكل (15): طريق غسل العينات.

ح- وضع العينات في محلول الإظهار وهو عبارة عن 98% ميثانول و2% حمض نيتريك لمدة 5 ثوان كما في الشكل (16).

شكل (16): غمر العينات في محلول الإظهار.

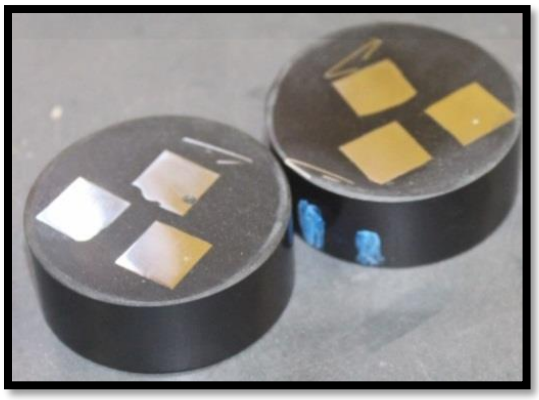
خ- غسل العينات بالماء وتجفيفها في مجفف الهواء الساخن كما في الشكل (17):

شكل (17): تجفيف العينات.

د- استخدام جهاز التصوير المجهري والمزود بكاميرا رقمية لفحص البنية المجهرية للعينات كما في الشكل (18).

شكل (18): جهاز التصوير المجهري.

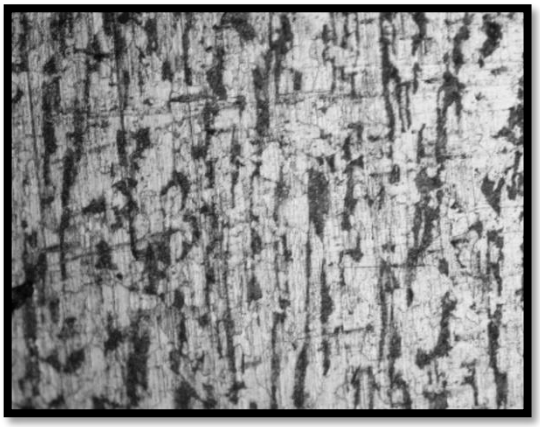
بعد الفحص المجهري لمنطقة المتأثرة بالحرارة والمعدن الأساس تحصلنا على الصور المجهرية المبينة في الشكل (19).



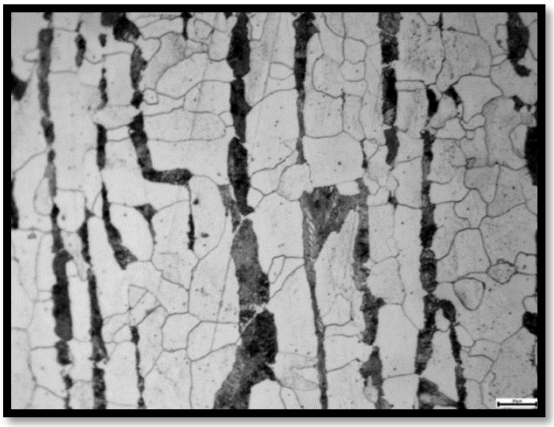
شكل (19): عينات التصوير المجهري.

تاسعاً: نتائج فحص البنية المجهرية

تم الحصول على نتائج الفحص المجهري للفولاذ قبل عملية الجلفنة وللفولاذ المجلفن في معمل المركز المتقدم أبوسليم وكانت النتائج كالآتي:



شكل (20): الفحص المجري قبل عملية الجلفنة.



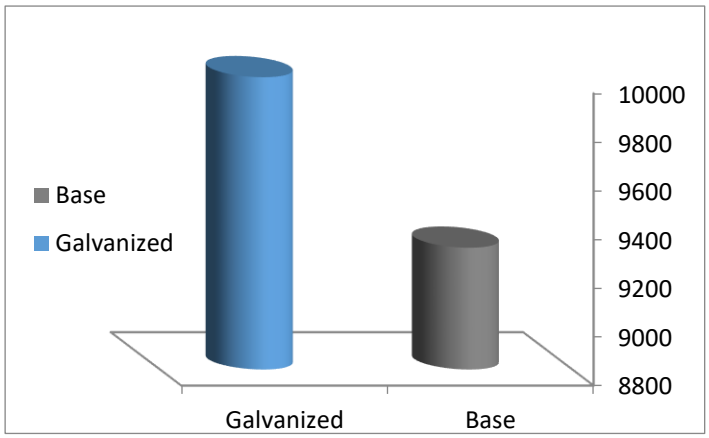
شكل (21): الفحص المجهري بعد عملية الجلفنة.

المحور الخامس: تحليل النتائج والمناقشة

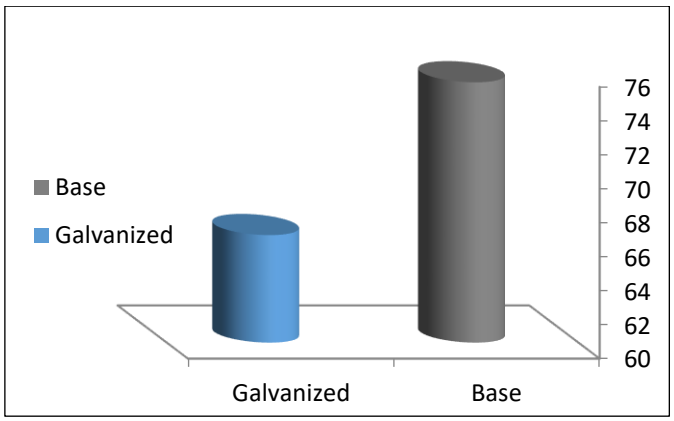
بعد الانتهاء من التجارب والحصول على النتائج توصلت الدراسة إلى الآتي:

بعد الحصول على النتائج الموضّحة بالجّداول أعلاه الخاصّة باختبار الشد يتبيّن لنا أنّ قيمة الحمل المسلّط على العينة، حيث تزداد قيمة الحمل عند الفولاذ المجلفن عن الفولاذ غير المجلفن بأن أقصى حمل تتحمله العينة قبل الجلفنة بلغت 9300 Kg وقيمة الإجهاد $373N/mm^2$، بينما كانت بعد عملية الجلفنة 10000 Kg و 398 N/mm^2 وهذا مؤشر جيد حيث إنّ للفولاذ المجلفن مقدرة أكبر لتحمّل الأحمال المسلطة عليه من الفولاذ غير المجلفن والشكل (22) يبين مخطط نتائج التحليل.

من المعروف أنّ الصّلادة هي مقاومة المعدن للخدش ومن خلال نتائج اختبار الصّلادة الموضّحة بالجدول (7) اتّضح لنا أنّ للفولاذ المجلفن مقاومة أقل من الفولاذ غير المجلفن، حيث كانت للفولاذ المجلفن (67 HRB)، في حين كانت للفولاذ غير المجلفن (75 HRB). وهذا النقص يرجع إلى التّغير البسيط في البنية المجهرية. والشكل (23) يوضّح مخطط لقيم الصلادة.

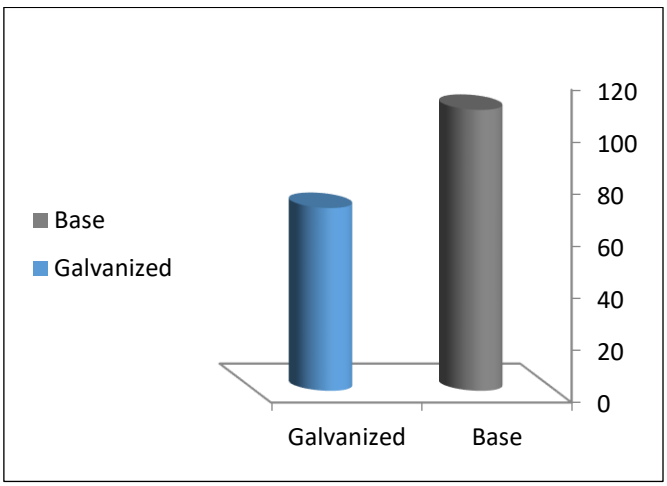


شكل (22): مخطط نتائج إختبار الشد.



شكل (23): مخطط نتائج إختبار الصلادة.

من خلال نتائج اختبار الصّدم الموضحة بالجدول (6) اتّضح لنا أنّ الفولاذ المجلفن انخفض بقيمة كبيرة عن الفولاذ غير المجلفن، وهذا بسبب التغير في البنية المجهرية. والشّكل (24) يبين مخطط قيم اختبار الصدم.



شكل (24): مخطط نتائج اختبار الصدم.

أظهرت الفحوصات المجهرية بالشكل (20) للفولاذ غير المجلفن الذي التي تكون بنيته على شكل حبيبات كبيرة موزعة طوليا بشكل مجرى غير متساوي المحاور، وبالمقابل فإنّ الفحوصات المجهرية بالشكل (21) للفولاذ المجلفن؛ فنلاحظ أنّ الحبيبات موزعة بشكل طولي غير منتظم وغير متجانسة نوعاً ما من ناحية الحجم، ويظهر تكوين البرلايت (لونه رصاصي) كجزء أساسي من الخلفية مع ظهور السمنتايت (ذو اللون الرصاصي الغامق) مع توزع الكربون والعناصر الكيميائية الأخرى بشكل جلي في التّركيب، وهذا يفسر انخفاض قيمة الصّلادة نتيجة تكوّن البرلايت.

المحور السادس: الخاتمة

أثبتت الجلفنة كفاءة عالية في تحسين مقاومة الفولاذ المنخفض الكربون للتآكل، مما يجعلها عملية أساسية في البيئات القاسية مثل التطبيقات الخارجية والصناعات البحرية. وعلى الرغم من التأثير الطفيف على الخصائص الميكانيكية مثل قوة الشد والمرونة، إلا أن هذه التأثيرات لم تكن كبيرة بما يكفي للحد من استخدام الفولاذ في التطبيقات الهندسية الشائعة. لذا، تظل الجلفنة واحدة من أهم عمليات الحماية المستخدمة لزيادة عمر الفولاذ المنخفض الكربون، مع ضرورة تحسين التقنيات المستخدمة لتقليل التأثيرات الجانبية على الخصائص الميكانيكية.

أولاً: النتائج

من خلال إجراء الاختبارات على الفولاذ المجلفن وغير المجلفن تم التوصل إلى النتائج الآتية:

1. أظهرت النتائج تحسّن في قيمة الشد للفولاذ المجلفن ومقاومة انفعال أفضل.
2. بينت النتائج انخفاضاً بسيط لقيمة الصّلادة بالنّسبة للفولاذ المجلفن بسبب تغير في البنية المجهرية.
3. كشفت النتائج عدم تحسّن في البنية المجهرية للفولاذ المجلفن وظهور البرلايت بشكل واضح ممّا أدّى إلى انخفاض قيمة اختبار الصّدم.
4. أظهرت العينات المغطاة بطبقة من الزنك تحسناً كبيراً في مقاومة التآكل مقارنة بالعينات غير المعالجة. أدى الطلاء إلى تشكيل حاجز يحمي الفولاذ من الصدأ والتآكل الناجم عن الرطوبة.
5. انخفضت قوة الشد بشكل طفيف بعد عملية الجلفنة، إلا أن هذا الانخفاض كان ضمن الحدود المقبولة ولم يؤثر بشكل كبير على الاستخدامات الهندسية للفولاذ.
6. أثرت الجلفنة بشكل طفيف على مرونة الفولاذ، حيث لوحظ انخفاض طفيف في قابلية العينات للتشكيل بعد الجلفنة.
7. لوحظ زيادة طفيفة في صلابة العينات المعالجة بالجلفنة، نتيجة تأثير الطلاء على الطبقة السطحية للفولاذ.

ثانياً: التوصيّات

1. إجراء المزيد من الاختبارات لضمان جودة عملية الجلفنة مثل اختبار التجانس (Homogenous test) واختبار السمك (Thickness test) .
2. إجراء المزيد من الاختبارات الميكانيكية مثل اختبار الكلال. (Fatigue test) .
3. إجراء معالجة حرارية للفولاذ قبل عملية الجلفنة لمعرفة مدى تغيّر الخواص الميكانيكية بعد عملية الجلفنة.
4. تغيير سمك العيّنات ودراسة تغيّر الخواص الميكانيكية.
5. تغيير زمن غمر العيّنة داخل حوض الزنك.
6. تغيير زمن سحب العيّنة من حوض الزنك

قائمة المراجع:

1. أبو زهرة، محمد. "الفولاذ واستخداماته في الصناعات المختلفة: دراسة معملية، مجلة آفاق للبحوث والدراسات، المجلد [8]، العدد [4].
2. العلي، سامي (2021)، تكنولوجيا الجلفنة: الأسس والتطبيقات الصناعية، دار وائل للطباعة والنشر، عمان، الأردن.
3. باوندي، أحمد مصطفى (2022)، التطبيقات المتقدمة لتقنيات الجلفنة في الصناعة، مجلة الاقتصاد والصناعة، المجلد 12، العدد 4، (سبتمبر – ديسمبر)، 2022.

المراجع الأجنبية

1. Smith, J. & Patel, A. (2019). Enhancing Corrosion Protection for Low Carbon Steel Through Galvanization, Metallurgical Engineering Journal, 33(4), 112-124.
2. Thompson, R. & Wang, L. (2020). Galvanization and Its Effects on Low Carbon Steel Performance.
3. Najafabadi, Pournamazian , Heidarpour, Amin , and Arashpour, Mehrdad (2021), Effects of galvanization on the mechanical properties of high and ultra-high strength steel tubes, ce/papers Volume 4, Issue 2-4:1606-1611, DOI:10.1002/cepa.1462
4. Jorado, E. Fillip, (2020), Engineering Materials: Properties and Selection of Irons, Steels, and Advanced Alloys, Jhone Willey ans Sons, USA,