مقارنة تجريبية بين تأثير التآكل على الخصائص الميكانيكية للصفائح المعدنية المشكلة على البارد المغلفنة بالزنك الساخن وغير المغلفنة

*عبد الحكيم شيخو **عبد القادر تومة**

(الإيداع 31 كانون الثاني 2018، القبول 29 أيار 2018)

الملخص:

في الآونة الأخيرة ازدادت الدراسات والأبحاث التي تمت لحماية المنشآت المعدنية من التآكل وذلك لضمان استمرارية المتانة العالية لهذه المنشآت على الزمن البعيد ، ولتقليل الكلفة الاقتصادية الناجمة عن الصيانة والإصلاحات المستمرة للمنشآت المعدنية ، وكانت نتائج معظم هذه الأبحاث والدراسات قد بينت أن عملية الغلفنة بالزنك الساخن Hot–Dip Galvanizing لهذه المقاطع المعدنية هي الحل الأمثل الذي يؤدي إلى تخفيض تكاليف الصيانة والإصلاحات في المنشآت المعدنية وبالتالي استمرارية المتانة العالية للمنشآت المعدنية .

يهدف هذا البحث لدراسة الأثر الإيجابي للغلفنة بالزنك الساخن للمقاطع المعدنية المشكلة على البارد في تحسين مقاومتها للتآكل من خلال المقارنة بين ثلاثة أنواع من الصفائح المشكلة على البارد : صفائح غير محمية بأي مواد حماية وصفائح مطلية يدوياً بمواد مانعة للصدأ وصفائح معالجة بالغمر بالزنك الساخن وذلك من خلال إجراء تجارب مخبرية بشد الصفائح ومعرفة الخواص الميكانيكية للنماذج الثلاثة . ومن خلال النتائج التي حصلنا عليها وجدنا أن العينات المغلفنة بالزنك الساخن لم تتأثر تقريباً بالغمر بالماء بينما انخفضت قيم اجهاد الخضوع والمقاومة القصوى على الشد للعينات الخام بنسب متفاوتة.

الكلمات المفتاحية: الغلفنة – حماية الفولاذ من التآكل – تجربة الشد – التآكل.

*رئيس قسم الهندسة الإنشائية، كلية الهندسة المدنية، جامعة حلب

**طالب دراسات عليا (ماجستير)

experimental comparison between the corrosion effect on the mechanical properties of hot galvanized zinc-coated non-galvanized cold-formed sheet metal

*Abdulhakim Shikho **Abdulkader Toma

(Received 31 January 2018, Accepted 29 May 2018)

Abstract:

Recently, the studies and researches carried out to protect the steel structures against corrosion have increased from corossion to ensure the continuity of the high durability of these installations over the long run and to reduce the economic cost resulting from the maintenance and continuous repairs of the steel structures.

The results of most of these researches and studies indicate that Hot-Dip Galvanizing These steel sections are the optimum solution that reduces the cost of maintenance and repairs in the steel structures and thus the continuity of the high durability of the steel structures.

The objective of this research is to provide an overview of the economic advantages of hot zinc galvanization for cold-formed steel sections by comparing three types of cold sheeting: non-shielded sheets with protective materials and hand-painted sheets with paint and hot zinc immersed sheets by conducting experiments Laboratory testing of plate tensile, therefore,knowledge of the mechanical properties of the three samples, The results showed that zinc-hot galvanized samples were almost unaffected by water immersion, while samples coated with paint and non-shielded samples decreased the values of yield stress and Refraction stress by different rates.

Key words: Galvanizing – Protect steel from corrosion – Tensile test - corrosion

*Dept of Structural, Faculty of Civil Engineering, University of Aleppo

1– مقدمة:

تتأثر مواد الحديد والفولاذ بالعوامل المحيطة ويطرأ عليها تغيرات باللون والخصائص وهذا يدعى بالصدأ، وهناك طرق عديدة لحماية المقاطع المعدنية من الصدأ كالطلاء بالدهان أو الغلفنة الكهربائية أو الغمر بالزنك البارد أو الغمر بالزنك الساخن وغيرها.

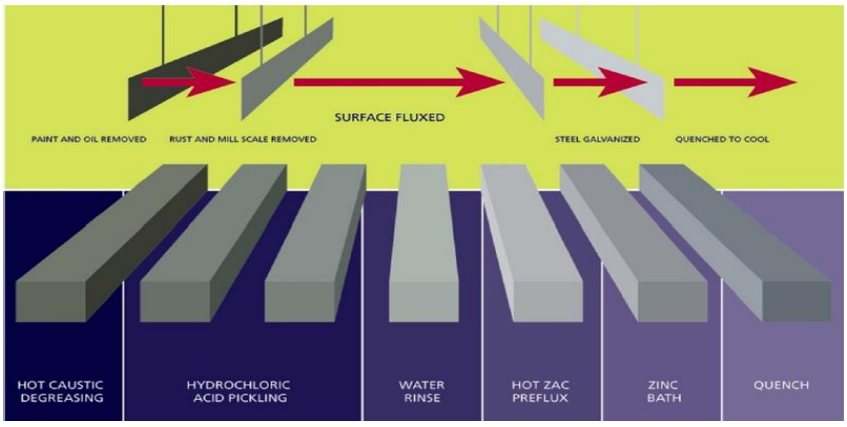
بينت الدراسات والأبحاث العديدة أن الطريقة المثلى لحماية المقاطع المعدنية من التآكل هو غمر المقاطع المعدنية بالزنك الساخن Hot–Dip Galvanizing **[1].**

مراحل الغلفنة بالغمر بالزنك الساخن Hot–Dip Galvanizing:[4]

تتكون مراحل غمر المقاطع الفولاذية بالزنك المصهور بطريقة Hot–Dip من أربعة مراحل رئيسية هي:

- التعليق: حيث يتم تعليق المقاطع المعدنية الخام على حمالات خاصة بالأسلاك الحديدية أو بالسلاسل، وطوال مراحل التشغيل كلها يتم نقل وتحريك الحمالات لنقل المقاطع الخام.
- التنظيف الكيميائي ومعالجة السطوح : في هذه المرحلة يتم غمر المقاطع المعدنية الخام في أحواض كيميائية لإزالة الشوائب والشحوم والزيوت المترسبة على سطح المعدن(Hot Caustic Degreasing) والناتجة عن عمليات التصنيع التي تمر بها المشغولات ، ثم يتبع هذا الغمر في حوض مزيل الصدأ الحامضي لإزالة طبقة الصدأ والتآكل (Pickling) ليصبح سطح المقاطع المعدنية الخام عبارة عن طبقة معدنية صلبة ونظيفة كيميائياً ، ثم يتبع هذه العملية غمر المقاطع في حوض الفلكس(Fluxing) وهو عبارة عن خليط سائل يتكون من محلول كلوريد الزنك وكلوريد الأمونيوم الذي يساعد على إزالة الأكاسيد وإضافة طبقة على سطح المقاطع المعدنية تحميها من الأكسدة قبل غمرها في حوض الزنك المصهور ثم يتم تجفيف المقاطع المعدنية تماماً في غرفة المجفف عند حوالي 110 درجة مئوية للتأكد من أن سطح المقاطع المعدنية أصبح جاهزاً لإستقبال طبقة الزنك .
- تطبيق الغلفنة في حوض الزنك المنصهر: في هذه المرحلة يتم نقل المقاطع المعدنية الخام المشكلة على البارد من غرفة المجفف إلى غرفة حوض الزنك ويتم غمرها في الزنك المصهور بدرجة حرارة حوالي 455 درجة مئوية (Zinc Path Hot–Dip) لمدة (5–7) دقائق وأثناء هذه العملية يبدأ التفاعل بين الحديد والزنك وتتكون طبقة رقيقة من الزنك على الطبقات السطحية للمقاطع المعدنية تعمل على حمايتها من الصدأ.
- الإرواء والتبريد والتشطيب: يتم تبريد المقاطع المعدنية الخام (Quench) في حوض ماء وهذا يعمل على إيقاف التفاعل بين الحديد والزنك وكذلك مد السطح بمظهر لامع، ثم يتم تنظيف المقاطع المعدنية المغلفنة من الزوائد الناتجة عن عملية الغلفنة.

ويوضح الشكل التالي مراحل الغلفنة بالزنك الساخن Hot–Dip Galvanizing.



الشكل رقم (1): مراحل الغلفنة بالزنك الساخن Hot–Dip Galvanizing [4]

تتمتع الغلفنة الساخنة والتي هي عبارة عن طبقة حماية مضادة لتآكل للفولاذ الإنشائي بالميزات التالية: **[1]**

- المحافظة على البيئة.
- طبقة الزنك ليست قابلة للاشتعال عكس طبقة الطلاء.
- التأثير الطفيف على طبقة الفولاذ، وهذا يرجع إلى طبيعة طبقة الزنك، فالغلفنة الساخنة تخلق رابطة قوية جداً بين طبقة الزنك والفولاذ، تدعى الرابطة المعدنية.
- يمكن إعادة تدوير واستخدام مواد الزنك والفولاذ المغلفن، في حين أن استخدام الطلاء لحماية الفولاذ من التآكل يؤدي إلى تراكم بقايا دائمة في البيئة.
- من وجهة نظر اقتصادية، تعتبر الغلفنة الساخنة من أكثر الطرق اقتصادية مقارنة مع بقية الطرق حيث أنه بالرغم من ارتفاع كلفة الإنتاج إلا أن الغلفنة تزيد من عمر المنشأ الفولاذي إلى أكثر من 70عاماً مما يؤدي إلى توفير كبير في أعمال الصيانة والإصلاح. وبالتالي فإن انخفاض عدد التدخلات للصيانة والإصلاح للمنشأة المعدنية المغلفنة بالزنك الساخن يساهم بشكل فعال في زيادة العمر الاستثماري للمنشأ المعدني. وبالتالي توفير الكثير من الوقت والمال لأعمال الصيانة والإصلاحات، وبالتالي تحقيق ربح أعلى.

2- الهدف من البحث:

إن الهدف من هذا البحث هو معرفة الأثر الإيجابي للغلفنة بالزنك الساخن للمقاطع المعدنية المشكلة على البارد في تحسين مقاومتها للتآكل بإجراء التجارب على ثلاثة أنواع من الصفائح المشكلة على البارد من خلال غمرها بالماء لمدة شهر ومقارنة النتائج المتعلقة بالخواص الميكانيكية مع عينات غير مغمورة بالماء.

المراجعة البحثية:

-قام الباحث Somadasa عام 2005 بإجراء إختبار الشد لصفائح فولاذية من ثلاثة أنواع هي: G300,G500,G550 ولكل منها اجهاد خضوع fy=340,fy=500,fy=550 Mpa على التوالي، وتم اختيار لكل من هذه الأنواع سماكات مختلفة، ولكل سماكة عينتين،وتم حساب إجهاد الخضوع fy وإجهاد الإنقطاع fu لهذه الصفائح ، كما أن هذه العينات تمت حمايتها من التآكل والصدأ بطريقة Hot–Dip وبنوعين من طبقة التغطية الأولى بطبقة الزنك المصهور فقط Galvanized والثانية بطبقة الزنك مع الألمنيوم Zincalume كماهوموضح بالجدول (1). **[2]**

الجدول رقم (1): أنواع وسماكات العينات لتجربة الشد التي قام بها العالم Somadasa [2]

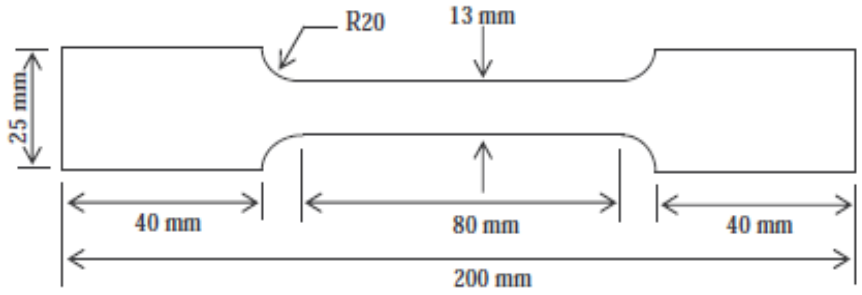
Steel Grade	Nominal BMT (mm)	Coating type	Measured (mm)		Calculated CT (mm)
			TCT	BMT	
G300	0.55	Zincalume (AZ150)	0.603	0.543	0.060
	0.80	Zincalume (AZ150)	0.860	0.800	0.060
	1.20	Zincalume (AZ150)	1.255	1.192	0.063
	1.90	Galvanized (Z275)	1.923	1.882	0.041
G550	0.55	Zincalume (AZ150)	0.617	0.553	0.064
	0.75	Galvanized (Z350)	0.800	0.748	0.052
	0.95	Zincalume (AZ150)	1.012	0.947	0.065
G500	1.15	Galvanized (Z350)	1.190	1.148	0.042

TCT: total coated thickness (السماكة الكلية)

BMT: Based metal thickness (سماكة المعدن الرئيسية)

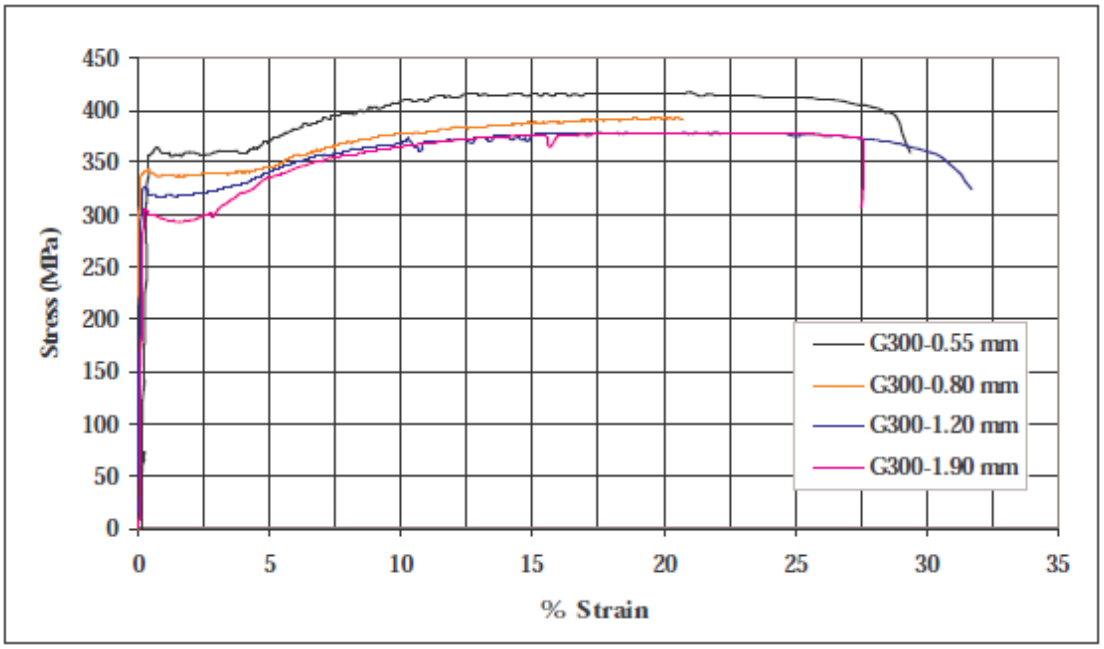
CT: coated thickness (سماكة التغطية)

إن أبعاد العينات المستخدمة من قبل الباحث موضحة بالشكل التالي:



الشكل رقم (2): أبعاد العينات لتجربة الشد التي قام بها العالم Somadasa. [2]

تم تطبيق قوة شد على هذه العينات تتزايد بشكل تدريجي وتم رسم علاقة الإجهاد–الإنفعال لكل من الأنواع الثلاثة كما هو موضح بالشكل (5) من أجل G300على سبيل المثال:



الشكل رقم (3): تمثيل بياني لنتائج تجربة الشد التي قام بها العالم Somadasa. [2]

يبين الجدول التالي قيم نتائج اجهاد الخضوع وإجهاد الإنقطاع للعينات:

الجدول رقم (2): النتائج المخبرية لتجربة الشد التي قام بها العالم Somadasa [2]

Test No	Grade	Nominal Thickness (mm)	f_y (MPa)		f_u (MPa)		E (GPa)		f_u/f_y
			Msd.	Ave.	Msd.	Ave.	Msd.	Ave.	
1	G300	0.55	357	354	409	402	207	207	1.15
2		0.55	351		395		207		1.13
3		0.80	336	332	392	389	203	203	1.16
4		0.80	328		386		203		1.17
5		1.20	327	320	378	377	201	201	1.16
6		1.20	313		375		201		1.19
7		1.90	298	296	374	373	207	207	1.25
8		1.90	294		373		207		1.26
9	G550	0.55	647	652	659	668	226	226	1.02
10		0.55	658		677		226		1.03
11		0.75	648	650	653	663	224	224	1.01
12		0.75	653		672		224		1.03
13		0.95	618	614	656	648	217	217	1.06
14		0.95	610		639		217		1.05
15	G500	1.15	590	583	621	611	223	222	1.05
16		1.15	575		601		221		1.05

نلاحظ من الجدول السابق أنه كلما ازدادت سماكة الصفائح الفولاذية تنخفض قيمة fy وذلك من أجل الأنواع الثلاثة.

-كما قامت جمعية الغلفنة الأميركيةAmerican Galvanizers Association **[3]** بإجراء مقارنة بين حماية الفولاذ بالغلفنة بالزنك الساخن مع حماية الفولاذ بواسطة الدهان وتوصلت إلى النتائج التالية:

- طبقات الحديد مع الزنك تكون أقسى من الفولاذ لذلك فهي لا تتأثر بالصدمات أثناء الشحن والتنقل في حين تتأثر الطلاءات بالصدمات والإحتكاك.
- نادراً ما يحتاج الفولاذ المغلفن إلى عملية إصلاح بعكس الفولاذ المطلي بالدهان فهو يحتاج لعملية إصلاح دورية.
- تؤمن الغلفنة بالزنك الحار حماية للفولاذ في مختلف البيئات لمدة تتجاوز 75 عام، بينما الطلاء المستخدم لحماية الفولاذ لا يؤمن ذلك باعتبار أنه عبارة عن حاجز يسمح بالتآكل عند حدوث تشقق أو خدش في الفولاذ.
- الإلتحام بين الفولاذ والزنك أقوى بعشر مرات من إلتحام الطلاء بالفولاذ.

وقد نشرت الجمعية صوراً للمقارنة بين حماية الفولاذ بالطلاء والغلفنة بالزنك الحار كما في الشكل (4) حيث نلاحظ من الشكل أن الفولاذ المغلفن بالزنك الحار والمطلي بالدهان له نفس المظهر الخارجي اللامع، لكن بعد مرور أربع سنوات فقط نلاحظ أن الفولاذ المطلي بالدهان قد ظهرت عليه اثار الصدأ، وبالتالي يحتاج إلى إعادة طلائه ثانية. بينما لم يتأثر الفولاذ المغلفن بالزنك الحار بالعوامل الخارجية ولم تظهر عليه اثار الصدأ بعد مرور ثلاثين عاماً.

الشكل رقم (4): مقارنة بين الفولاذ المغلفن بالزنك لحار والمطلي بالدهان حديثاً وبعد مرور الزمن [3]

كما أجرت الجمعية مقارنة بين حماية الفولاذ بالطلاء والغلفنة بالزنك الحار من حيث خصوصية التعامل والمتابعة والوضعية والتأثر بالطقس ومدى درجة الحرارة المقبولة والحماية من التآكل ومدة الخدمة وغيرها...كما هو موضح بالجدول (3):

الجدول رقم (3): مقارنة بين حماية الفولاذ بالطلاء والغلفنة بالزنك الحار [3]

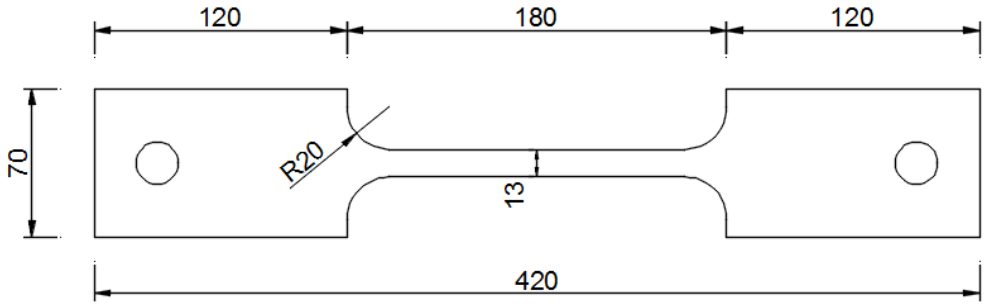
حماية الفولاذ باستعمال الدهان	مقابل	حماية الفولاذ بالزنك الساخن
قطع خشبية، أقمشة وغيرها	استعمال خاص	لا يوجد
مطلوبة	متابعة ميدانية	غير مطلوبة
المصنع أو الورشة	مكان الإنجاز	المصنع
تعتمد على الطقس	الإعتماد على الطقس	لا يوجد
< 200 F	مدى درجة الحرارة المطلوبة	(-75)F to (392) F
حاجز	حماية التآكل	حاجز وحماية قطبية سالبة
مختلفة	سماكة التغطية	> 0.0039 mm
300-600 psi	قوة التلاحم	3600 psi
مختلفة حسب نوعها	الصلابة ومقاومة التآكل	179 to 250 DPN
سنة 15 -12	عمر الخدمة	سنة 75

3- مواد البحث وطرائقه:

تم في هذا البحث إجراء تجربة الشد على صفائح فولاذية مشكلة على البارد بسماكة 1.2 mm مؤلفة من ثلاثة أنواع:

- صفائح غير محمية بأي مادة مقاومة للصدأ.
- صفائح تم طلاؤها بالدهان المانع للصدأ (زيرقون).
- صفائح محمية بطبقة من الزنك المصهور بطريقة Hot-Dip Galvanizing.

تم اختيار أبعاد العينات بما يتوافق مع جهاز شد الصفائح الموجود في مخبر تجريب المواد في كلية الهندسة المدنية جامعة حلب وهي موضحة بالشكل التالي:



الشكل رقم (5): أبعاد العينات لتجربة الشد في هذا البحث

وقد تم قص 12 صفيحة بالأبعاد السابقة بواسطة جهاز قص الفولاذ بالسلك الكهربائي الذي يعمل باستخدام الكمبيوتر بدلاً من القص اليدوي لكي نحصل على أبعاد دقيقة ومطابقة للأبعاد في الشكل (5).

الشكل رقم (6): النماذج الثلاث للعينات في المخبر

تمت تجربة الشد على أربعة صفائح من كل نوع من الأنواع السابقة وبالسماكات المتوفرة في السوق حالياً، حيث تم غمر صفيحتين من كل نوع بالماء لمدة شهر، ثم تم ترسيم جذع النماذج كل 4سم لمعرفة قيمة التطاول وترقيم العينات وتمت مقارنة النتائج بين العينات المغمورة بالماء والعينات غير المغمورة.

تم قياس سماكات الصفائح قبل الغمر بالماء وبعد الغمر بالماء وكانت السماكات كما هو مبين بالجدول التالي:

الجدول رقم (4): سماكات الصفائح قبل الغمر بالماء وبعد الغمر بالماء

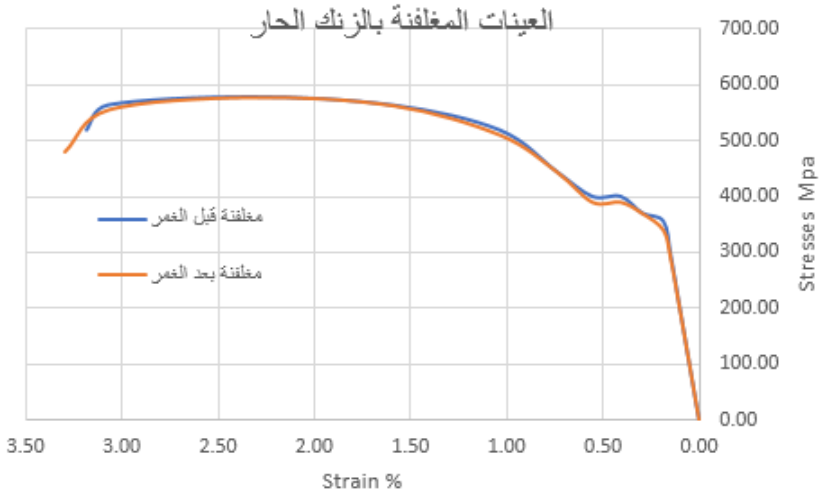
نوع الصفيحة	سماكة الصفيحة بعد الغمر بالماء	سماكة الصفيحة قبل الغمر بالماء
مغلفنة بالزنك(Galvanizing)	1.11 mm	1.11 mm
مطلية بالدهان(Painted)	1.21 mm	1.31 mm
خامية (Row)	1.21 mm	1.26 mm

حيث لوحظ أن العينات المغلفنة حافظت على سماكتها بعد الغمر بينما أزيلت طبقة الدهان بعد الغمر بالنسبة للصفائح المطلية وتشكلت طبقة من الصدأ مما أدى إلى تناقص سماكة الصفيحة بعد إزالة الصدأ، أما بالنسبة للعينات الخامية والغير محمية فقد تشكلت طبقة من الصدأ على الصفيحة حيث تم إزالة طبقة الصدأ لقياس سماكة العينة بعد الغمر كما هو موضح بالصور التالية:

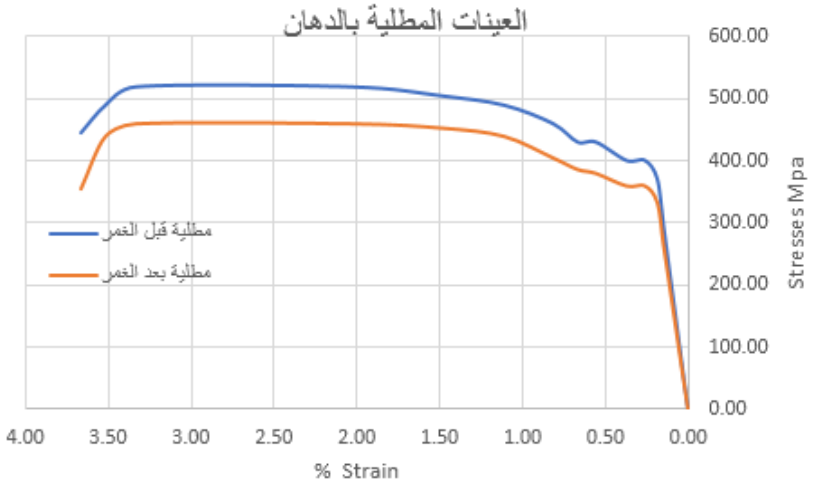
الشكل رقم (7) :يوضح إختلاف سماكة العينات الخامية قبل وبعد الغمر نتيجة تشكل الصدأ

ونتيجة لإختلاف نوع الفولاذ المستخدم من قبل الباحث عن الفولاذ المستخدم في تجربتنا فقد تم إجراء تجارب على الأنواع الثلاثة من العينات قبل الغمر بالماء وبعد شهر من الغمر بالماء لمعرفة قيم إجهاد الخضوع fy والمقاومة القصوى على الشد الأولية fu.

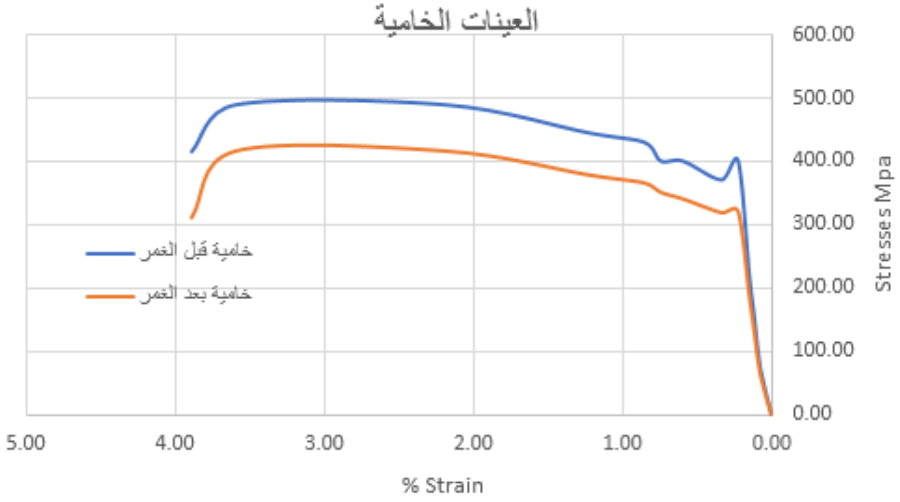
وقد حصلنا على النتائج المبينة في المنحنيات البيانية إجهاد – انفعال للنماذج الثلاث من الصفائح وهي موضحة بالأشكال (8–10):



الشكل رقم (8): منحني الإجهاد – الإنفعال للعينات المغلفنة بالزنك الحار



الشكل رقم (9): منحني الإجهاد – الإنفعال للعينات المطلية بالدهان



الشكل رقم (10): منحني الإجهاد – الإنفعال للعينات الخامية

تبين الجداول التالية (5–7) النتائج التي حصلنا عليها ونسب الاختلاف بين العينات المغمورة بالماء وغير المغمورة من حيث إجهاد الخضوع fy والمقاومة القصوى على الشد fu:

الجدول رقم (5): نتائج تجربة الشد على العينات قبل الغمر

العينات قبل الغمر بالماء						
النموذج	السماكة(mm)	fy (Mpa)		fu (Mpa)		fu / fy
		المقاسة	المتوسطة	المقاسة	المتوسطة	
العينات المغلفنة	1.11	370	370	570	573	1.548
		370		575		
العينات المطلية	1.31	400	390	520	520	1.333
		380		520		
العينات الخامية	1.26	390	390	495	493	1.264
		390		490		

الجدول رقم (6): نتائج تجربة الشد على العينات بعد الغمر

العينات بعد الغمر بالماء						
النموذج	السماكة(mm)	fy (Mpa)		fu (Mpa)		fu / fy
		المقاسة	المتوسطة	المقاسة	المتوسطة	
العينات المغلفنة	1.11	370	370	575	570	1.54
		370		565		
العينات المطلية	1.21	370	360	465	465	1.291
		350		465		
العينات الخامية	1.21	320	318	415	415	1.305
		315		415		

الجدول رقم (7) المقارنة بين نتائج تجربة الشد قبل الغمر بالماء وبعده

النموذج	الحالة	fy (Mpa)	نسبة الإختلاف	fu (Mpa)	نسبة الإختلاف
العينات المغلفنة	قبل الغمر بالماء	370	0%	573	0.50%
	بعد الغمر بالماء	370		570	
العينات المطلية	قبل الغمر بالماء	390	8.30%	520	11%
	بعد الغمر بالماء	390		465	
العينات الخامية	قبل الغمر بالماء	390	22.60%	493	18%
	بعد الغمر بالماء	318		415	

نلاحظ من الجداول السابقة أهمية الغلفنة بالزنك الساخن في الحفاظ وبنسبة كبيرة على الخصائص الهندسية للفولاذ وبالتالي التقليل من عمليات الصـــيانة للمنشـــآت المعدنية، حيث تتعرض هذه المنشـــآت خلال فترة الخدمة إلى الرطوبة والتي تؤثر بشكل كبير على الخواص الهندسية للمنشأ من خلال التآكل نتيجة تشكل الصدأ.

4 -الإستنتاجات والتوصيات:

- العينات المغلفنة بالزنك الحار لم تتأثر بالغمر بالماء فكانت قيمة إجهاد الخضوع نفسها تماماً وانخفضت قيمة إجهاد الإنكسار بنسبة 0.5% وهي قيمة صغيرة جداً.
- العينات المطلية بالدهان قد تأثرت بالغمر بالماء حيث انخفضت قيمة إجهاد الخضوع بنسبة 8.3%وكانت قيمة إجهاد الإنكسار أقل بعد الغمر بالماء بنسبة 11%.
- العينات الخامية قد انخفضت قيمة إجهاد الخضوع لها بعد الغمر بالماء بنسبة 22.6% وانخفضت قيمة إجهاد الإنكسار بعد الغمر بالماء بنسبة 18%.
- كما نستنتج أن الفولاذ المغلفن بالزنك الحار Hot-Dip Galvanizing يقاوم العوامل الخارجية بشكل أكبر بكثير من الفولاذ المطلي بالدهان، حيث لم تتأثر طبقة الزنك بينما أزيلت طبقة الدهان بعد الغمر بالماء، كما يحافظ بشكل كبير على خواصه الميكانيكية كما ورد سابقاً.
- لا يحتاج الفولاذ المغلفن بالزنك الحار Hot-Dip Galvanizing إلى أعمال صيانة مستمرة، في حين نلاحظ أن طبقة الدهان للعينات المطلية بالدهان قد أزيلت بعد شهر من الغمر بالماء وتشكلت طبقة من الصدأ على الفولاذ.

كما نوصي للأبحاث القادمة الأخذ بعين الإعتبار الأمور التالية:

ننصح بإجراء تجارب على الفولاذ المغلفن بالزنك الحار Hot-Dip Galvanizing لمعرفة حماية الفولاذ ضد العوامل الجوية لفترات طويلة، وذلك من حيث تأثر طبقة الزنك والحاجة لصيانة الفولاذ ان تطلب الأمر وكذلك تأثر الخواص الميكانيكية للفولاذ، من خلال الغمر بالماء لفترات طويلة، ومقارنة النتائج مع نتائج هذا البحث والأبحاث المتوفرة.

5- المراجع:

1- Hegyi, A., (2010), Economical Adventages of Corosion Protection by Hot-Dip Galvanizing of Steel Structures, ECONOMY AND MANAGEMENT, PP:252

2- Wanniarachchi. S., (2005), Flexural Behaviour and Design of Cold- Formed Steel Beams with Rectangular Hollow Flanges, phD Thesis, Queensland University, pp: 89-94.

3- American Galvanizers association, Hot-Dip Galvanized Steel vs. Paint, (2015), pp 1-2.

4- Galvanizers Association of Australia, ,(2012) , The Basics of Hot Dip Galvanized Steel Dip Galvanized Steel,pp 6-7