

تصنيع جهاز قياس التعرية للمواد البوليمرية ومتراكباتها مع بعض النتائج التجريبية

عبدالحق عبدالقادر حامد**

abdulhaqqhamid@yahoo.com

طالب ماجستير، قسم الهندسة الميكانيكية، جامعة الموصل، موصل/ العراق. *

قسم الهندسة الميكانيكية، جامعة الموصل، موصل/ العراق. **

احمد وليد خالد*

awk_meceng@yahoo.com

تاريخ القبول: 2020-2-24

تاريخ الاستلام: 2019-10-13

الخلاصة

تم تصنيع منظومة فحص سلوك التعرية بالحبيبات الحاكة (*Solid Particle Erosion*) مختبرياً وحسب مواصفات (*ASTM G76*) ذي الوضعية الأفقية بمغذي من النوع اللولبي (*feederscrew*)، إذ تتكون المنظومة من الأجزاء الرئيسية: ضاغطة هواء، منظم فولتية، وخرطوم توصيل مطاطية. وإجزاء أساسية للجهاز: القاذف، واللولب، ومحرك تيار مستمر، وانايبب نقل، ومنصة تثبيت. فقدتم صناعة القاذف (*nozzle*) من سبيكة الفولاذ المنخفض (*low alloy steel*) وتمت تقسيته بطريقة (*water-quenching*)، وتم عمل تجويف القاذف الداخلي مخروطي الشكل ليعمل على ادخال الرمل الى ماسورة القاذف. وتم اختيار السماحة (*tolerance*) بين اللولب والاسطوانة عملياً بسماحة (*4 mm*) من اصل سماحتين تمت تجربتهما (*2,4 mm*)، فتم اختيار السماحة على اساس الحبيبات المستعملة (*erodent*) بمديات مختلفة (*150-350 μm*)، (*350-500 μm*) و (*500-710 μm*)، فافضل سماحة التي تعطي سلاسة بدوران اللولب. ومن اهم الامور التي يجب مراعاتها هي ثبات معدل تدفق الرمل، ومسألة التدفق العالي (*over flow*) او العكس هو حدوث توقف للتدفق، ومراعاة المعايير بين دوران اللولب وضغط الهواء المسلط. واخذ بنظر الاعتبار احجام حبيبات الرمل المستخدم لتحديد عدة امور منها السماحة وقطر ماسورة القاذف والسرعة التي يمكن اخذها. وتمت تجربة الجهاز لنماذج من البولستر الغير المشبع ومتراكباته معززة بنسبة (*5 wt. %*) من كربيد السيليكون، حيث تمت التجربة عند سرعة صدم (*25.2 m/s*) وزوايا صدم (*30°, 60°, 90°*) بحجم حبيبات حاكة من رمل السيليكا بحجم (*350-500 μm*)، فكانت النتائج ان البولستر اعطى اعلى معدل تعرية عند الزاوية (*90°*) مما يدل على سلوكه الهش، بينما اعطى متراكبه اعلى معدل تعرية عند الزاوية (*60°*) مما يدل على سلوكه الشبه مطلي. ومن مقارنة النتائج المستحصل عليها مع بحوث سابقة تبين ان الجهاز اعطى نتائج ايجابية، ويمكن ان يقيس معدل التعرية للمواد البوليميرية ومتراكباتها.

الكلمات الدالة:

بولستر غير مشبع، التعرية بالحبيبات الحاكة (*SPE*)، معدل التعرية، مغذي لولبي.

<https://rengj.mosuljournals.com>

Email: alrafidain_engjournal1@umosul.edu.iq

1- المقدمة (electrical spark) [1]. والتعرية بالحبيبات الحاكة (*SPE*) -

(*Solid Particle Erosion*) تعدأحد أنواع التعرية وهي عملية نزع لجزء من المادة المعرضة للصدمجسيمات حاكة عند ظروف وشروط معينة [2][3]، فالشروط الواجب توفرها لحصول التعرية هو وجود جسيمات صلبة ووجود وسط مانع لحمل الجسيمات (سائل، غاز) وبسرعة كافية لحدوث قوة صدم لسطح المادة [4]. وجهاز التعرية غالباً ما يتكون من الأجزاء الأساسية: وعاء المادة الحاكة (*vessel*)، المغذي (*feeder*)، حجرة الخلط (*mixing*)

تُعد التعرية من الظواهر المؤثرة بشكل سلبي على عمل أجزاء المكنات والمعدات الميكانيكية حيث تعمل على تقليل العمر التشغيلي للألة أو العدة، وكذلك تعمل على زيادة كلفة صيانة الآلات. وتعرف التعرية بانها حصول فقدان تدريجي من سطح المادة نتيجة اصطدام أجسام صلبة أو سائلة أو فقاعات (غازية أو بخارية) بسطح المادة أو تعرضها لشرارة كهربائية

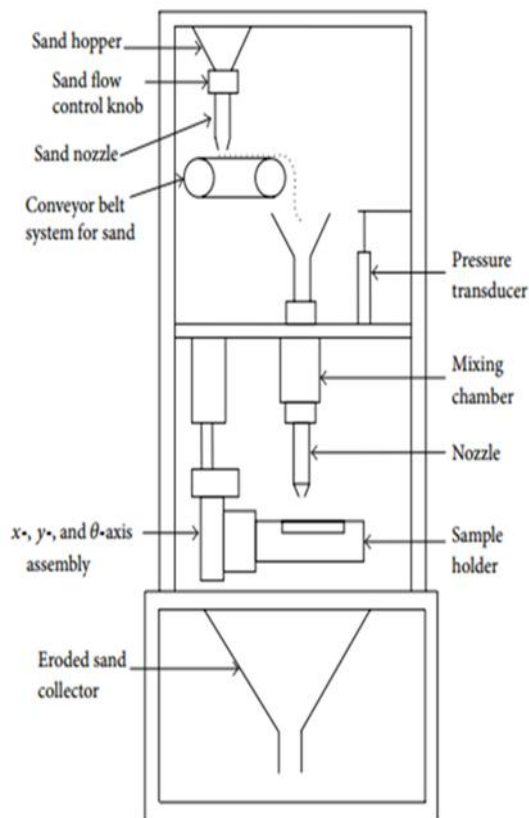
2- أنواع طرق فحص التعرية

يتم فحص التعرية للمواد بطريقتين، الطريقة الأولى تسمى بالفحص الساكن (static test) وتكون عندها القطعة ثابتة وتُقصف القطعة بسيل من الحبيبات الحاكة، أما الطريقة الثانية (dynamic test) فتكون القطعة مثبتة على قرص دوار ويتم قصفها بواسطة القاذف [20].

لإجراء عملية التعرية هناك عدة طرائق وسنتطرق الى جزء من هذه الطرائق :

1.2- طريقة سقوط الرمل (Falling Sand Method)

يتم هذا الفحص حسب نظام (ASTM D673)، وتستخدم هذه الطريقة في فحص الطلاءات، حيث تثبت القطعة المراد فحصها تحت مجرى الرمل بزوايا (45°) ، ويتم الفحص بزمن محدد، الغرض من هذا الفحص هو عمل ترتيب لمجموعة من المواد على حسب مقاومتها للتعرية كما موضحة في الشكل (3) [21].



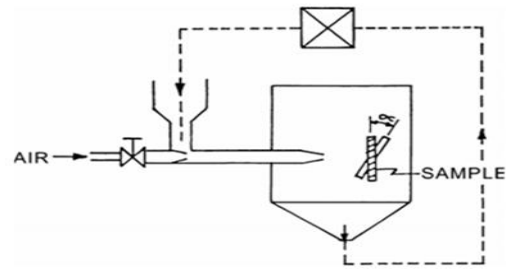
شكل (1): جهاز فحص التعرية بالوضع العامودي. [5]

(chamber)، القاذف (nozzle) ومنصة التثبيت (sample holder).

حيث يمكن تصنيف جهاز التعرية حسب وضعية الجهاز إما عامودياً أو فقي، فقد تم استخدام الوضع العامودي الذي يكون فيه العينة المراد فحصها (specimen) أسفلاً للقاذف، كما في بحوث كل من الباحثين (et. al. 2014) Jyoti R. Mohantyet. al. [5] والباحثين (et. al. 2009) Amar Patnaik [6] وكذلك الباحثين (Ken Tsuda) [7] والمبين بالشكل (1)، وفي بعض البحوث تم استخدام الوضعية الأفقية الذي تكون فيه العينة المراد فحصها موازية للقاذف، كما في بحث (et. al. 2008) Tamer [8] وكذلك استخدمه الباحثين (Basava and Sinmazc, elik) [8] وكذلك (Harirao) [9] والمبين بالشكل (2)، وكذلك صنف حسب نوع الوسيط الناقل (غازي، سائل)، حيث قام الباحثون (et. al. 2002) Tewari [10] باستخدام وسط غازي لإجراء عملية التعرية، ويلاحظ أن أغلب البحوث تستخدم الهواء كوسط الناقل للمادة الحاكة، وبعض البحوث استخدموا السائل كوسط الناقل للحبيبات الحاكة وتسمى هذه الطريقة بطريقة كوريوليس (Coriolis slurry erosion method)، فقد قام الباحثون (Yongsong Xie et. al. 2019) [11] باستخدام السائل كوسط الناقل للمادة الحاكة، وكذلك يمكن تصنيفه غذائياً إلى أداة الحاكة البانواع أحادية عمليته: أولاً الحزام الناقل (conveyor belt) والذي يستخدم مع المواد الحاكة ذات الحجم الخشن [12]، كما يلاحظ استخدامه في بحث (Srivastava and Pawar 2006) [13]، ثانياً الهزاز (vibrator) والذي يستخدم مع المواد الحاكة ذات الحجم الناعم [12]، ثالثاً لولب التغذية (screw feed) كما يلاحظ استخدامه في بحث (Gochour et. al. 1990) [14]، ولأقطار القاذف بمقاييس مختلفة حسب التركيز للمادة الحاكة وقطر المادة الحاكة المستخدمة، في بحث (Yadram Singh and Deepak) [15] تم استخدام قاذف بقطر (1.5 mm)، وفي بحث (Parvesh Antil 2018) [16] تم استخدام قاذف بقطر (3.5 mm)، وفي بحث (Kumar Padhia and) [17] تم استخدام قاذف بقطر (5 mm)، وفي بحث (Limin Bao et. al. 2010) [18] تم استخدام قاذف بقطر (6 mm)، وفي بحث (G. Arena et. al. 2015) [19] تم استخدام قاذف بقطر (10 mm). وإن الهدف من البحث هو بناء منظومة فحص التعرية وإجراء تجربة عملية لمادة بوليمرية.

3- منظومة فحص التعرية (Erosion Rig)

تتكون منظومة فحص التعرية من وحدة التعرية، وضاعطة هوائية حجم (250 liter)، ومنظم فولتية، وخرطوم توصيل. إذ تم صناعة الجهاز (وحدة التعرية) مختبرياً حسب مواصفات (ASTM G76) لحساب مقدار التعرية الحاصل نتيجة التعرض للحبيبات الحاكة والشكل (5) يبين اجزاء جهاز التعرية، والشكل (6) يوضح اجزاء منظومة فحص التعرية.



شكل (2): جهاز فحص التعرية بالوضع الأفقي. [10]

1.3- اختيار وعاء الرمل (Choose a Sand Vessel)

حيث يتكون الجهاز من وعاء رمل مغلق يكون أعلى الجهاز وهو عبارة عن قنينة مغلقة يوضع فيها رمل التعرية (erodent) وتم اختيار القنينة على اساس مقاومتها لضغط الهواء الحاصل والذي لا يتجاوز (5 psi).

2.3- خرطوم التوصيل وملحقاتها (Connecting Hoses and Attachments)

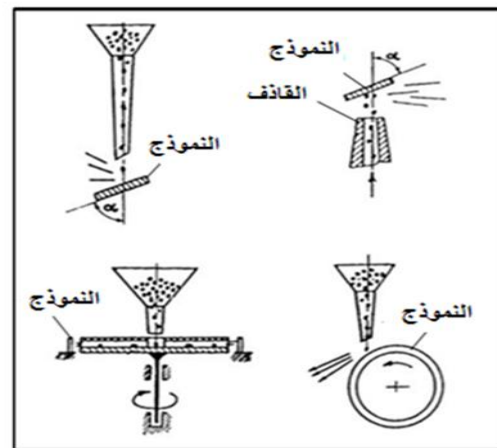
ويتصل الوعاء بخراطومين مطاطيين يكونان مقاومان للضغط، أحدهما يُدخِل الهواء المضغوط القادم من الضاعطة الهوائية ويتم التحكم بضغط الهواء الداخل عن طريق صمام منظم ضغط الهواء، ويحتوي أيضاً على مرشحات الهواء (filters) لمنع دخول الأتربة والرمل من داخل الوعاء الى منظومة التحكم بالضغط، ويحتوي أيضاً على صمام أحادي الاتجاه (one way valve) لمنع الضغط الأرجاعي للهواء من داخل الوعاء الى الضاعطة وصمام قفل إضافة الى مقياس ضغط. أما الخرطوم الثاني فيعمل على خروج الهواء من داخل وعاء الرمل (القنينة) الى الخارج لعمل توازن للضغط داخل الوعاء من خلال وجود صمام ضغط هواء في نهاية الخرطوم، ويكون قابل للمعايرة حسب الضغط المطلوب داخل الوعاء، فإذا كان الضغط داخل الوعاء اكبر من ضغط الهواء المسلط على القاذف سيؤدي الى زيادة تدفق الرمل من القاذف بمعدل عشوائي وغير ثابت وإذا كان ضغط الهواء داخل الوعاء أقل من ضغط الهواء المسلط على القاذف سيؤدي الى حدوث إرجاع للرمل بالاتجاه المعاكس ويؤدي الى توقف تدفق الرمل، وكذلك يحتوي الخرطوم الثاني على مرشحات هواء وصمام أحادي الاتجاه ومقياس ضغط وصمام قفل هواء لاستخدامه عند الحاجة أو لغرض إجراء الصيانة.

2.2- طريقة القذف بالغاز (Gas Jet Erosion Method)

ويتم هذا الفحص طبقاً لنظام (ASTM G76)، الذي يستخدم الهواء المضغوط لقذف النموذج بالرمل، وتحدي هذا الفحص هو السيطرة على كمية الرمل المتدفق (معدل الرمل) [21]. وكذلك النظام القياسي الألماني (DIN 50332) الذي يستخدم الغاز المضغوط أيضاً وطرائق أخرى مثل الطرد المركزي وطريقة سقوط الرمل كما موضحة في الشكل (4) [22].



شكل (3): عملية سقوط الرمل. [21]



شكل (4): طرائق فحص التعرية حسب النظام القياسي

الألماني. [22]

3.3- لولب التغذية (screw feeder)

الحاكة ويعطي مسافة صدم عن النموذج المثبت على منصة التثبيت بحوالي (2 cm).

ومنصة التثبيت تكون قابلة للدوران حول محور معين لغرض اختيار زاوية الصدم، وكذلك تكون قابلة للرفع والخفض لغرض ضبط القطعة امام القاذف بواسطة سكة حديدية متحركة كما موضح في الشكل (10).

وصمامات القفل المستخدمة التي تكون على مسار الرمل يجب أن تكون من نوع (ball valve) لضمان حصول سد كامل للصمام أثناء إجراء فحوص التعرية، ولكن أحد عيوب هذا الصمام هو البلى السريع مقارنةً مع صمام البوابة (gate valve).

وقد تم تأريض الجهاز للتخلص من الكهرباء الساكنة الناتجة من تحرك الرمل داخل أنابيب النقل.

5.3- ملحقات منظومة الهواء (Pneumatic Attachment)

تم استخدام منظم ضغط (pressure regulator) على طريق خرطوم الادخال والخروج للحصول على ضغط ثابت اثناء العمل. وكذلك مرشحات الهواء من الرمل والأتربة للحفاظ على اجهاز منظومة الهواء، والصمامات احادية الاتجاه التي سبق ذكرها.

4- طريقة معايرة جهاز التعرية

تتم معايرة الجهاز قبل اختبار التعرية، في البداية نقوم بمعايرة سرعة الهواء التي ستعد هي نفسها سرعة الحبيبات الحاكة [22]، ويتم حساب سرعة الهواء بالاعتماد على مقياس الضغط وجهاز قياس سرعة الهواء (Testo) ألماني المنشأ، موديل (416) إذ يتكون المقياس من قارئ الكتروني ومجس عبارة عن ريشة صغيرة تدور بسرعة الهواء المار خلالها. أو يتم استخدام (pitot tube) لقياس سرعة الهواء بدل ذلك [23] ويتم المعايرة من خلال معرفة سرعة الهواء عند كل ضغط.

فيعد أخذ أربع قراءات لكل ضغط وما يقابله من سرعة هواء ورسم العلاقة بينهما كما موضح في الشكل (11)، لكي يمكن استخراج قيمة اي سرعة ضمن هذا المجال. وبعد ذلك يتم معايرة كمية الرمل المتدفقة (g/s) بالاعتماد على منظم الفولتية بحسب المقدار المطلوب.

ويتصل الوعاء من الأسفل بلولب التغذية الذي يقوم بعملية تغذية الرمل عن طريق انابيب حديدية بقطر (3/4") والتي تعمل على نقل الرمل بين أجزاء الجهاز.

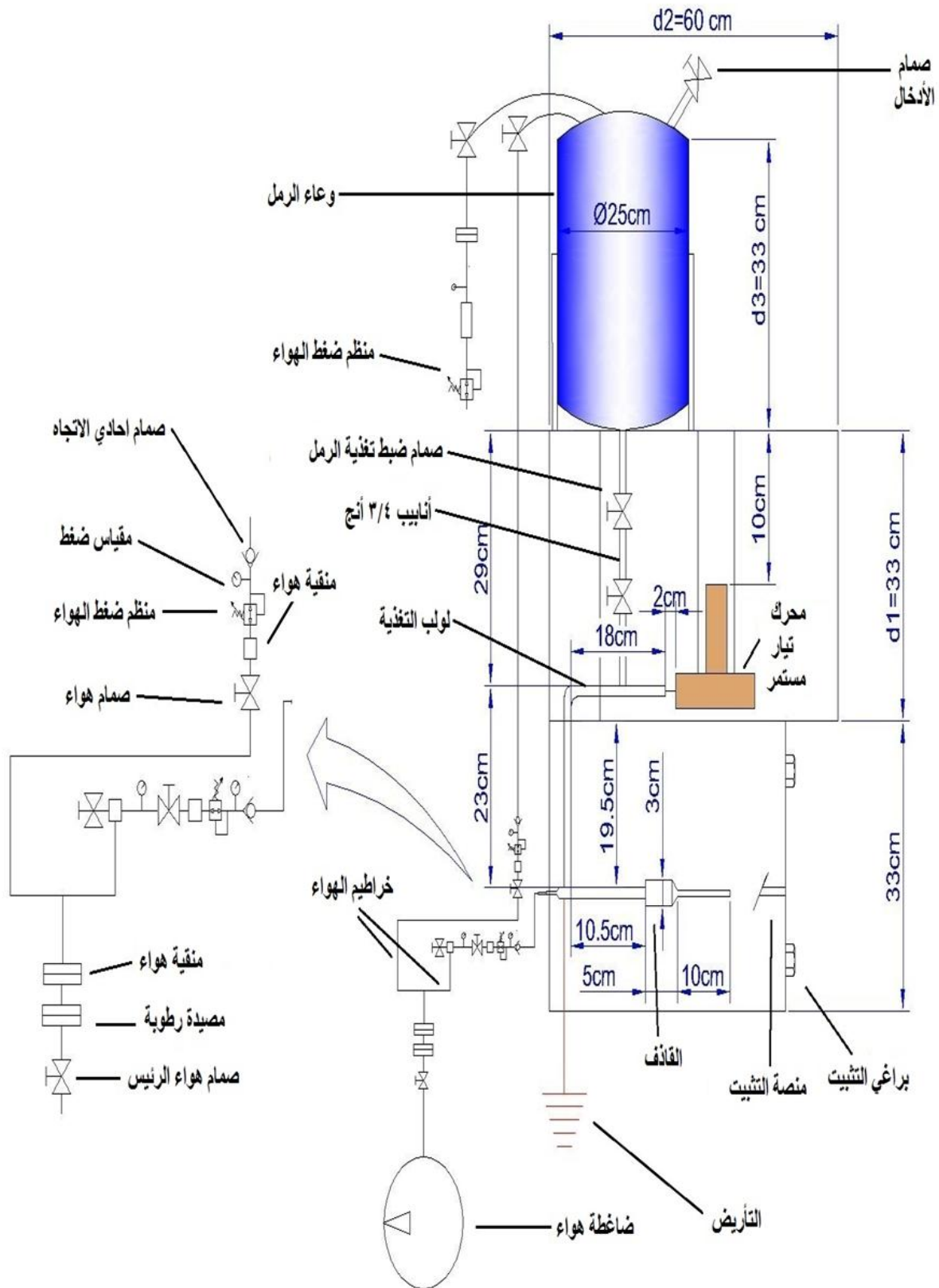
يتكون لولب التغذية من اسطوانة اللولب ولولب (مسنن)، حيث تم اختيار اللولب على اساس مسافة السماح بين الاسطوانة (case) واللولب، من بين لولبان يصنعان سماحة (2 mm) ويتم اختيار اللولب الذي يصنع سماحة (4 mm) الذي اعطى دوران اللولب بشكل سلس بدون حشر عند استخدام حجم حبيبات رمل بمديات مختلفة (150-350 μm) و (350-500 μm) و (500-710 μm) والشكل (7) يبين اجزاء المغذي اللولبي مع منطقة السماح بين الاسطوانة واللولب. والشكل (8) يبين شكل اللولب المستخدم.

حيث يقوم اللولب بدفع الرمل القادم من الوعاء الى الجزء السفلي من الجهاز الذي يحتوي على القاذف، ويتم تحريك اللولب بواسطة محرك كهربائي ذو تيار مستمر مسيطر عليه بواسطة دائرة تحكم كهربائية (منظم الفولتية) مكونة من محولة وقنطرة ومقاومة متغيرة للتحكم بمعدل التغذية.

4.3- القاذف (Nozzle)

أما الجزء السفلي من الجهاز فيتضمن القاذف المصنع محلياً من سبائك الفولاذ المنخفض (low alloy steel) حيث تم تشغيله على ماكينة الخراطة وتم أخذ نسب تركيبته الكيميائية مختبرياً والجدول (1) يبين نسب التركيب الكيميائي للقاذف، لاختيار درجة المعاملة الحرارية المناسبة لإجراء عملية التصليد بالماء (quenching-water)، حيث تم تسخين القطعة الى درجة حرارة (870°C) ثم تم تبريدها بماء نقي (fresh water) عند درجة حرارة الغرفة، فالغرض من التصليد هو تقليل عملية البلى التي سيتعرض لها القاذف أثناء إجراء فحص التعرية. حيث تم تصميم القاذف بتجويف مخروطي لكي يجبر الرمل الحاك على الدخول الى ماسورة القاذف كما موضح في الشكل (9)

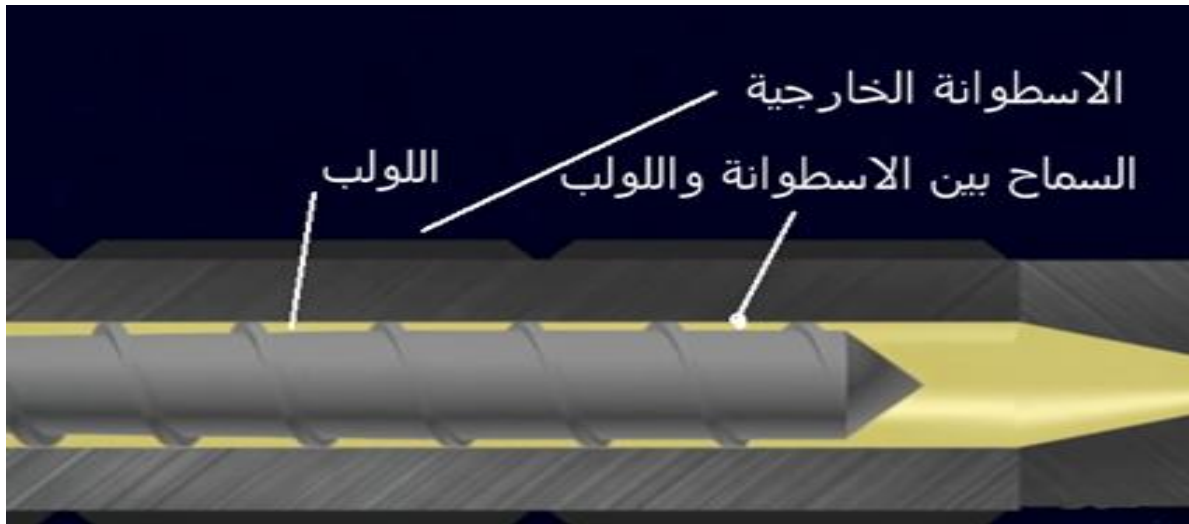
وتم اختيار ماسورة القاذف بطول (10 cm) وقطر داخلي (0.6 cm)، والمسافة بين نهاية القاذف ومنصة تثبيت قطع الفحص حوالي (2 cm)، يتم اختيار اطول ماسورة ممكن لتوفير تعجيل للحبيبات الحاكة دون ان يسبب حشر للحبيبات



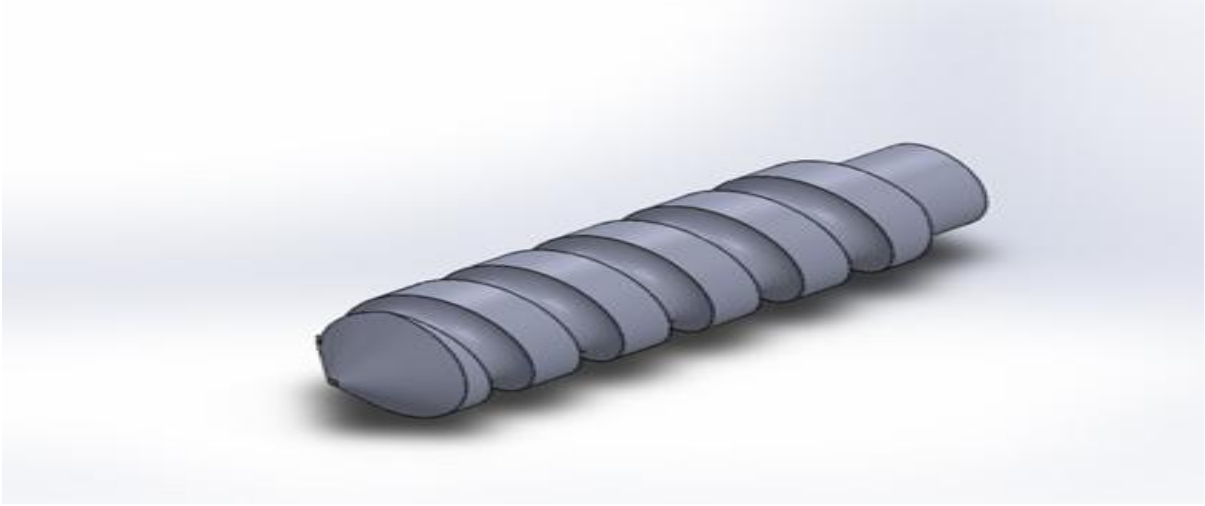
شكل (5): الرسم التخطيطي لجهاز فحص التعرية وأجزائه المهمة.



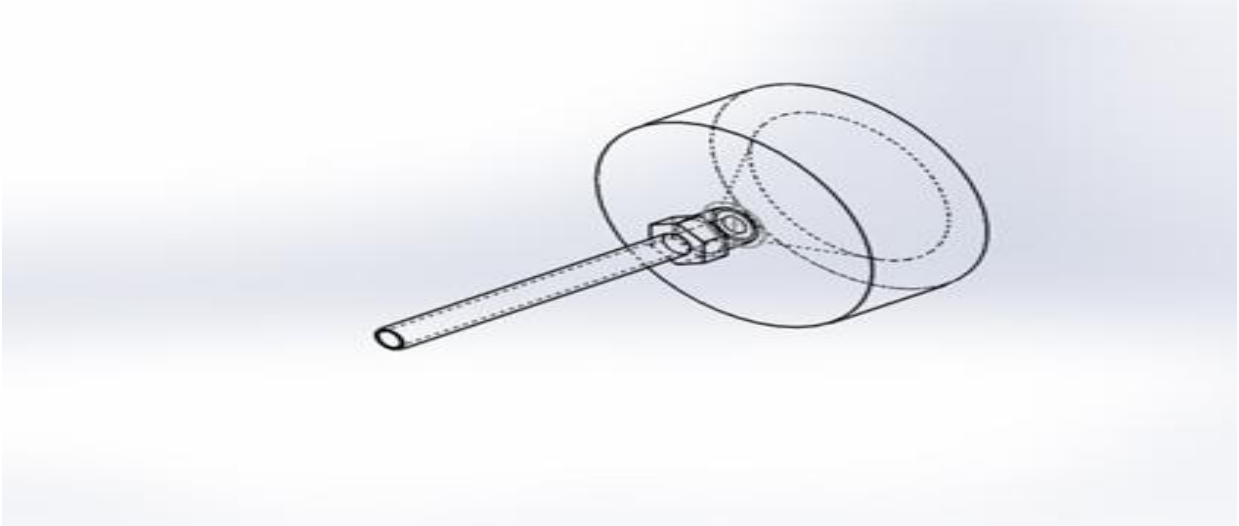
شكل (6): صور فوتوغرافية توضح أجزاء منظومة فحص التعرية.



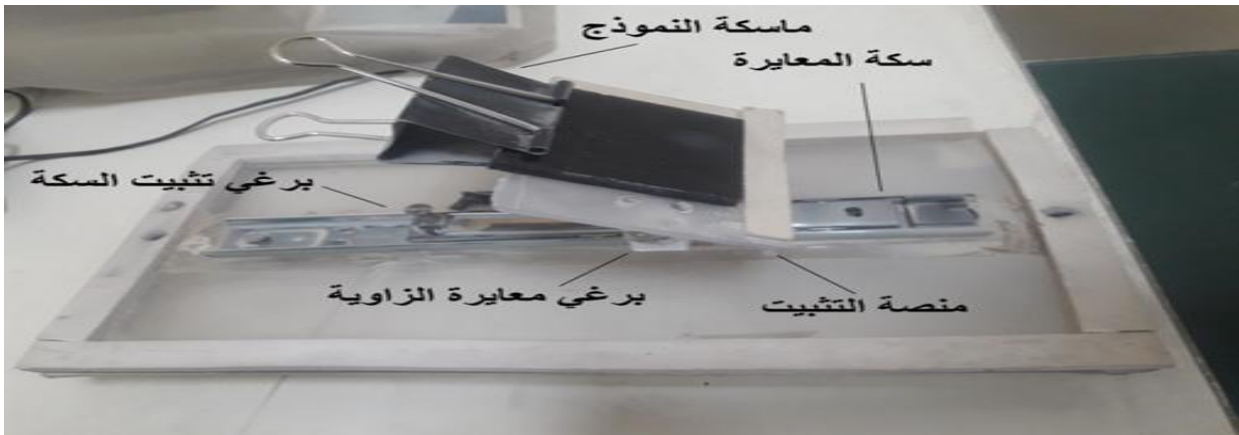
الشكل (7): يوضح منطقة السماح بين الأسطوانة واللولب.



الشكل (8): شكل اللولب المستخدم.



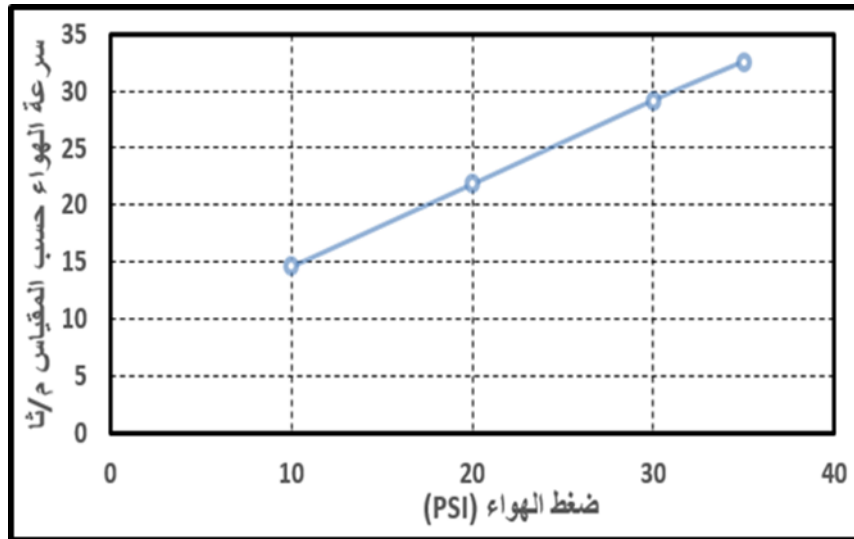
الشكل (9): مخطط توضيحي للقاذف.



شكل (10): منصة تثبيت القطع المفحوصة.

جدول (1) يبين التركيب الكيميائي للقاذف.

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
1	96.35	0.606	0.413	0.729	<0.002	0.084	0.207	0.023
2	96.35	0.597	0.383	0.681	<0.002	0.095	0.193	0.028
3	96.38	0.588	0.362	0.676	0.021	>0.116	0.194	0.031
Avg	96.36	0.597	0.386	0.695	0.007	>0.098	0.198	0.027
SD	0,0176	0,0091	0,0257	0,0293	0,0124	0,0164	0,0076	0,0041
RSD	0,0182	1,5309	6,6709	4,2143	173,20	16,712	3,8517	14,944
	Ni	Al	B	Co	Cu	Nb	Sn	Ti
1	0.121	0.017	>0.0692	0.082	0.265	<0.002	0.106	0.003
2	0.113	0.034	>0.0724	0.083	0.305	<0.002	0.110	0.003
3	0.125	0.021	>0.077	0.08	0.318	<0.002	0.111	0.003
Avg	0.120	0.024	>0.0728	0.082	0.296	<0.002	0.109	0.003
SD	0,006	0,0089	>0,004	0,0019	0,0279	0,0000	0,003	0,0001
RSD	5,0495	37,543	5,4301	2,2931	9,407	0,0000	2,7192	4,3446
	V	W	Ca	Pb	Zn			
1	<0.002	>0.619	>0.0099	0.175	0.018			
2	<0.002	>0.651	0.0028	0.181	0.018			
3	<0.002	>0.613	0.0028	0.161	0.017			
Avg	<0.002	>0.628	0.0052	0.173	0.018			
SD	0,0000	0,0201	0,0041	0,0102	0,0003			
RSD	0,0000	3,2087	79,306	5,9133	1,6526			



شكل (11): علاقة تجريبية لضغط الهواء مع سرعته عند نهاية القاذف.

5- تجربة عملية لجهاز فحص التعرية

1.5- المواد المستخدمة

جدول (2): قيم ومواصفات البولستر حسب الشركة المصنعة.

الخاصية	قيمتها أو وصفها
الكثافة	1.15 – 1.20 g/cm ³
اللزوجة	350 – 500 N.S/m ²
نسبة المونومر	31 – 36 wt. %
نوع الحامض	اورثوفثاليك orthophthalic
نوع الكلايكل	كلايكل قياسي

تم تحضير عينات من البولستر غير المشبع (unsaturated polyester) ومترابكها الخبيبي بأبعاد (5 cm*5 cm) وفحصها تحت تأثير التعرية والجدول (2) يبين مواصفات البولستر غير المشبع المستخدم والمصنعة من قبل شركة (TURKUAZ POLYESTER) التركية. حيث تم اختيار خبيبات كربيد السيليكون كمادة معززة، والجدول (3) يبين مواصفات كربيد السيليكون المستخدم من المصنع المشتركة (Avonchem) البريطانية، وتمت إضافة خبيبات كربيد السيليكون بنسبة (5 wt. %).

جدول (5): قيم العوامل والمتغيرات.

الخاصية	قيمتها أو وصفها
نوع الحبيبات الحاكة	رمال السيليكا
شكل الحبيبات الحاكة	غير منتظم
زوايا الصدم	(30°, 60°, 90°)
نسبة المعزز	كربيد السيليكون 5 wt. %
سرعة الصدم	25.2 m/sec
معدل تغذية الرمل	10 g/min
فترة الفحص	كل دقيقتين

3.5- معدل التعرية حسب كمية المادة الحاكة

يتم حساب معدل التعرية بدلالة كتلة المادة الحاكة، فمعدل التعرية يساوي حاصل قسمة كتلة المادة المفقودة الى كتلة المادة الحاكة (الحبيبات) [24].

1.3.5- معدل التعرية للبولستر النقي

فالشكل (12) يوضح العلاقة بين وزن الرمل التراكمي ومعدل التعرية للبولستر النقي عند سرعة صدم (25.2 m/s²) وحجم حبيبات رمل (350-500 μm) وزوايا صدم مختلفة (30°, 60°, 90°). حيث يلاحظ أن أقل تعرية للبولستر عند الزاوية (30°) وأعلى تعرية له تكون عند الزاوية (90°)، مما يدل على السلوك الهش للبولستر، حيث أن أغلب المواد الصلدة حرارياً تظهر سلوكاً هشاً عند تعرضها للتعرية [25][26][27].

2.3.5- معدل التعرية لمترابكات كربيد السيليكون المعززة بنسبة (SiC 5 wt.%)

والشكل (13) فيوضح العلاقة بين وزن الرمل التراكمي ومعدل التعرية لمترابكات كربيد السيليكون المعززة بنسبة (5 wt.%) المعرض لسرعة صدم (25.2 m/s) وحجم حبيبات رمل (350-500 μm) وزوايا صدم مختلفة (30°, 60°, 90°)، فيلاحظ السلوك الشبه مطلي للمترابك، حيث يتبين أن أعلى معدل تعرية يكون عند الزاوية (60°) وأن أقل معدل تعرية يكون عند الزاوية (30°) [29].

جدول (3): مواصفات كربيد السيليكون حسب الشركة المصنعة.

الخاصية	قيمتها
نسبة كربيد السيليكون	98.5 – 99.4 wt. %
نسبة Fe ₂ O ₃	0.05 – 0.1 wt. %
الكثافة	3.2 g/cm ³
صلادة	9.15 (Mohs)
قطر الحبيبة	150-210 μm

2.5- إجراء التجربة

وزن النموذج المراد فحصه بميزان رقمي دقيق ذو ثلاث مراتب ألماني المنشأ شركة (DENVER INSTRUMENT)، موديل (214). وسجلت قيمة الوزن ثم ثبت النموذج على منصة التثبيت وبعدها ضخ الهواء بالضغط المطلوب (25 psi) حسب السرعة (25.2 m/s) ثم يتم التغذية بالرمل لمدة دقيقتين بمعدل (10 g/min)، ثم وزنا النموذج مرة أخرى لحساب مقدار الفرق في الوزن، ومما يذكر أنه يجب تنظيف النموذج بمحلول الاسيتون للتخلص من الأتربة العالقة للوصول الى وزن دقيق، وتمت التجربة عند سرعة صدم (25.2 m/s) وزوايا صدم (30°, 60°, 90°) ومادة حاكة من رمل السيليكا بأحجام (350-500 μm)، والجدول (4) يبين خواص الرمل المفحوص مختبرياً. وتمت التجربة بظروف معينة كما مبينة في الجدول (5).

جدول (4): خواص رمل التعرية المستخدم في البحث الحالي.

الخاصية	قيمتها
مكونات الرمل	رمل السيليكا، مسحوق الحصى (gravel)، أملاح، ثلاثي اوكسيد الكبريت (SO ₃)
الأملاح	2.4 wt. %
ثلاثي اوكسيد الكبريت	0.30016 wt. %
كثافته	2.727 g/cm ³
صلادته	5-6 (Mohs) [28]

6- المناقشة

ومن محددات الجهاز هو حجم (قطر) المادة الحاكة، فقطر المادة الحاكة يحدد نوع مغذية المادة الحاكة (feeder). وكذلك كثافة المادة الحاكة التي تحدد الحد الأدنى للسرعة، فكتلة المادة الحاكة العالية تحتاج الحدسرع هواء أعلى لتعمل على حمل المادة الحاكة. ومن المحددات أيضاً هو حجم لولب التغذية الذي يحدد الحد الأدنى من معدل التغذية للمادة الحاكة، وكذلك يفضل تقليل المدى بين أحجام حبيبات الرمل المستخدمة لكي يقلل من التذبذب الحاصل في بعض الأحيان أثناء قذف الرمل.

أثناء العمل ظهرت مشكلة صعقة الكهرباء الساكنة والتي يتم التخلص منها عن طريق التأريض كما موضحة في الشكل (5).

ومن التجربة العملية لفحص أداء الجهاز يمكن ملاحظة ما يلي، مطابقة سلوك البولستر للبحوث السابقة، فمن الشكل (12) يتبين أن أعلى معدل تعرية للبولستر يكون عند الزاوية (90°) وأقل معدل تعرية يكون عند الزاوية (30°)، حيث يعد هذا السلوك سلوكاً هشاً [27]. فمن المعلوم أن المواد التي يكون أقصى معدل تعرية لها عند الزاوية (30°) تعد مطيلية (ductile) والمواد التي يكون أقصى تعرية لها عند الزاوية (90°) تعد مواد هشة [30]. أما المواد التي يكون أقصى معدل تعرية يكون عند الزاوية (60°) فتعد مواد شبه مطيلية (semi-ductile) [31]. ويلاحظ حدوث قفزات (jumps) لمنحنى التعرية ويعزى ذلك للتغير اللحظي بمعدل تدفق الرمل وكذلك تأثير تغير حجم الرمل بسبب استخدام مدى من أحجام الرمل، أو حصول انهيار مفاجئ لراتنج البولستر، أو انحسار للحبيبات الناعمة داخل الحفرة المعرضة للتعرية مما يسبب تخميد بسيط للحبيبات الصادمة القادمة وخاصة عند الزاوية الصدم (90°).

أما متراكبات كربيد السيليكون المعززة بنسبة (5 wt.%) حيث يتبين أن أعلى معدل تعرية يكون عند الزاوية (60°) وأن أقل معدل تعرية يكون عند الزاوية (30°) عند سرعة صدم (25.2m/s) ويعزى ذلك إلى صلادة المتراكب التي يظهر تأثيرها عند الزوايا المنخفضة. كما يلاحظ تقارب في معدل التعرية بين الزاوية (60°) والزاوية (90°) وذلك بسبب هشاشة المتراكب وحدثت انخلاعات للحبيبات مما يزيد من معدل التعرية عند الزاوية (90°).

7- الأستنتاجات

1- من خلال البحث الحالي يمكن فحص معدل التعرية والتعرف على سلوك المواد البوليمرية.

في المناقشة سوف نتطرق إلى الأمور التي يجب مراعاتها أثناء تصنيع الجهاز وعمله والمشاكل التي ظهرت.

حجم اسطوانة ضغط الهواء يجب مراعاتها أثناء اختيارها لاند حجم اسطوانة وضغط الهواء هما منيحددان وقت الفحص.

ومننا الأمور التي يجب مراعاتها أيضاً هو مقدار السماحة بين اللولب الاسطوانة ليتم ملائمتها مع حجم حبيبات الرمل التي سيتم استخدامها.

أما ما يخص حجم شق اللولب المسؤولة عن كمية الرمل المتدفقة خلال دورة الواحدة فممكننا الاستعاضة عنها بالتحكم بسرعة محرك التيار المستمر.

وخلال المرحلة التصميمية كان التحكم بمعدل التغذية الرملية يعد تحدياً حقيقياً أثناء اختيار نوع المغذيو طريقة تناسق المغذيمعقبة أدوات التحكم للجهاز (صمامات التحكم بضغط الهواء) وهذا التحدي يعد أصعب جزء في تصميم الجهاز [21]. والتحدياً الآخر هو السيطرة على معدل لولب القاذف ومراقبة واستبدال المسورة القاذف بعد قياس قطرها الداخلي.

ومما يشار إليه أيضاً هو اللميدخل المسار القاذف تحت تأثير ثلاث عوامل : أولاً تأثير دفع لولب التغذية الذي يعمل على دفع الرمل لداخل المسار القاذف، ثانياً تحت تأثير فنشوري (venturi) والذي يعتمد على سرعة الهواء المار، لذلك يجب ضبط معدل التغذية اللولب معك لتغيير حاصل سرعة الهواء، ثالثاً تأثير وزن الرمل الذي يكون تأثيرها أقل مقارنة مع عاملينا السابقين.

ومن الأمور التي يجب مراعاتها أثناء العمل هي معايرة سرعة دوران محرك التيار المستمر مع مقدار ضغط الهواء داخل الوعاء، فعند تغير مقدار ضغط الهواء بسبب الحاجة لتغيير مقدار سرعة الهواء، يؤدي إلى تغير الضغط داخل الوعاء وبالتالي يجب تغيير سرعة المحرك للوصول إلى معدل التدفق المطلوب.

ومعايرة سرعة الهواء مع ضغط الهواء من الأمور التي يجب مراعاتها خصوصاً عند تغيير في جزء من مقاطع مرور الهواء.

ومن الأمور التي يجب مراعاتها أثناء الفحص هي ترتيب قفل صمامات المرمل لكي لا يحدث تراكم المرمل عند منطقة معينة، وكذلك تفريغ الجهاز من المرمل قبل البدء بعملية التعرية لتخلص المرمل المتراكم نتيجة ترك الجهاز.

حيث اعطى أقصمعدل تعرية عند الزاوية (60°)، واعطى مقاومة تعرية أفضل عند الزاويتان (30°, 90°).

2- صعوبة جعل معدل التغذية الرمل عامل من العوامل المؤثرة على معدل التعرية لصعوبة التحكم به بصورة متغيرة، حيث يمكن تثبيت معدل التغذية عند معدل ثابت مع باقي عوامل التعرية مثل سرعة الصدم ومسافة الصدم... الخ. وربما يمكن علاج هذه المشكلة باستخدام مغذينوع (conveyor belt) الذي يمتلك القدرة على التحكم بمعدل التغذية مع تغير سرعة الهواء.

3- من التجربة العملية يثبت تطابق سلوك البولستر ومتراكبه المعزز بكربيد السيليكون مع باقي البحوث السابقة مما يعطي مؤشر على إجراءات الفحوص الصحيحة.

4- يجب مراقبة قطر ماسورة القاذف بعد عدد معين من فحوص التعرية لأستبدالها بماسورة أخرى.

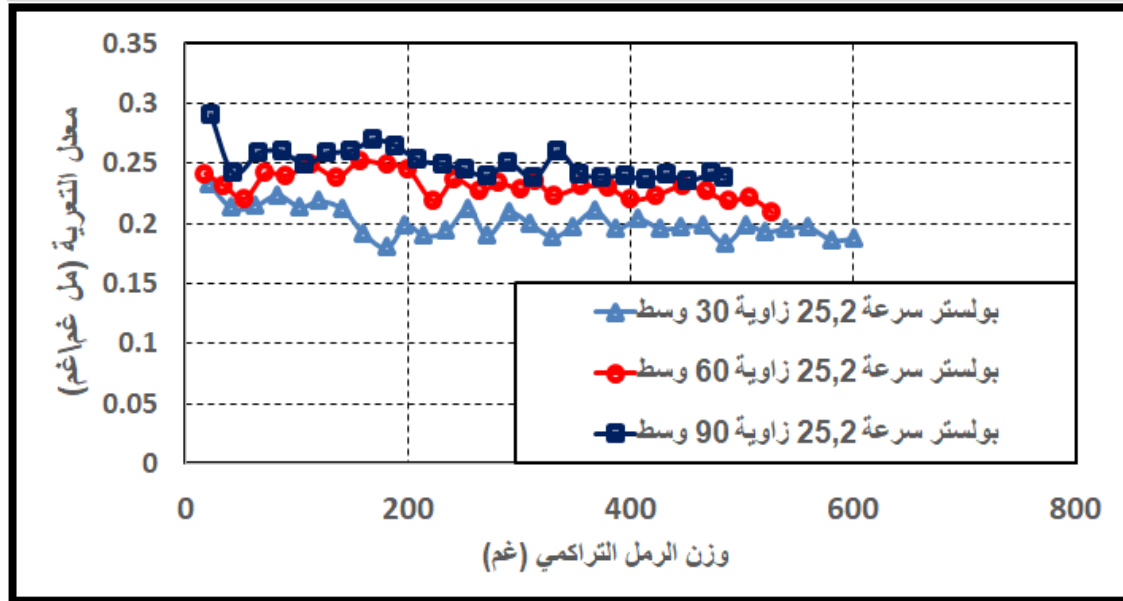
5- الامور التي يجب مراعاتها هي حجم حبيبات الرمل التي سيتم استخدامها لكي يتم ملائمتها مع اجزاء الجهاز، فحجم الحبيبات الحاكة تحدد مقدار السماحة بين اللولب والاسطوانة، وقطر ماسورة القاذف، والحد الأدنى لسرعة الصدم، يحدد نوع مغذية المادة الحاكة (feeder)، وكذلك يجب مراعاة سرعة دوران محرك التيار المستمر مع مقدار ضغط الهواء داخل الوعاء. ويجب مراعاة ترتيب قفل صمامات الرمل عند الانتهاء من الفحص لكي لا يحدث تراكم للمعدن عند منطقة معينة.

6- التحدي الأبرز اثناء صناعة الجهاز هو السطرة على معدل تدفق الرمل وجعله ثابتاً.

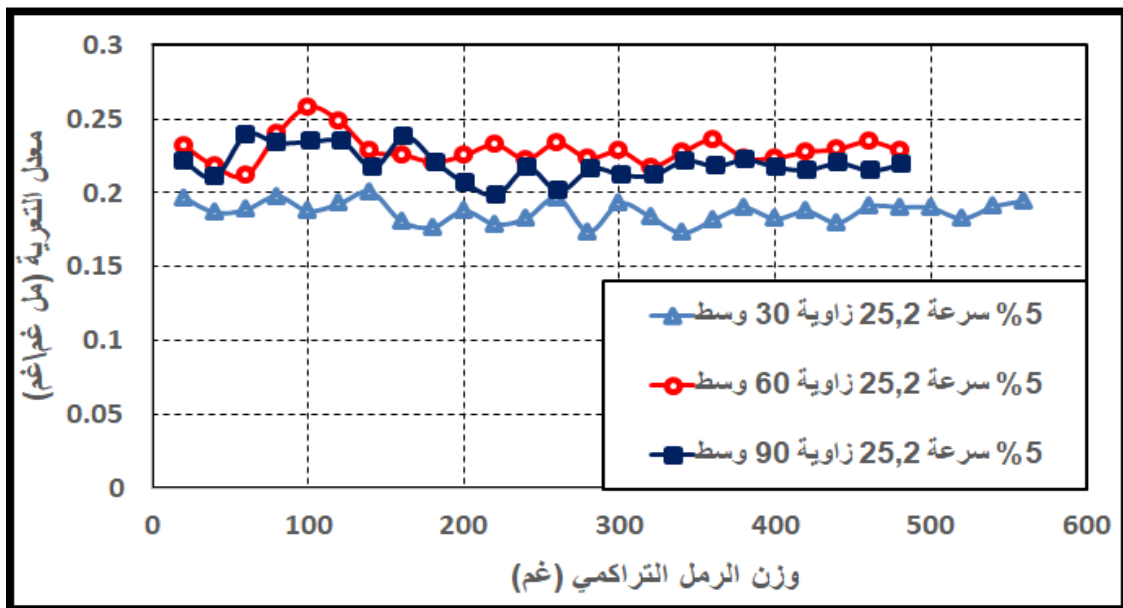
7- يفضل تقليل مدى احجام حبيبات الرمل المستخدمة (اي مدى الاحجام المستخدمة يفضل ان يكون متقارب) مثلاً المدى (150-350 µm) يفضل ان يوحّد بفرق احجام اقل، لتقليل التذبذب الحال اثناء قذف الرمل.

8- تم اختيار السماحة بين اللولب والاسطوانة (case) عملياً عن طريق تجربة قيمتين من السماحة من خلال تغيير قطر اللولب، هما (2, 4 mm) وتم اختيار (4 mm)، ومما يشار اليه ان هناك حرية اكبر في اختيار السماحة بسبب عدم وجود قوة دفع عالية معاكسة لاتجاه دفع اللولب.

9- اما ما يخص عملية تجربة، فيلاحظ ان سلوك البولستر هو سلوك هش اي اقصى تعرية له عند الزاوية (90°) وأقلمعدل تعرية يكون عند الزاوية (30°)، وان متراكبه المعزز بكربيد السيليكون بنسبة (5 wt.%) اظهر سلوك شبه مطيبي



شكل (12): معدل التعرية للبولستر النقي عند سرعة صدم (m/s25.2) وزوايا صدم مختلفة.



شكل (13): معدل التعرية للمترابجات الحبيبية المعززة بنسبة (5 wt.%) من كربيد السيليكون عند سرعة صدم (m/s25.2) وزوايا صدم مختلفة.

experimental design,” Mater. Des., vol. 30, no. 8, pp. 2841–2853, 2009.

- [3] A. Patnaik , A. Satapathy , S. S. Mahapatra, and R. R. Dash, “Erosive wear assesment of glass reinforced polyester-flyash composites using taguchi method,” Int. Polym. Process., vol. 23, no. 2, pp. 192–199, 2008.

References

- [1] G. W. Stachowiak , Wear: materials, mechanisms and practice. John Wiley & Sons, 2006.
- [2] S. Biswas and A. Satapathy , “Tribo-performance analysis of red mud filled glass-epoxy composites using Taguchi

- [14] S. Gochnour , J. D. Bright , D. K. Shetty, and R. A. Cutler, "Solid particle erosion of SiC-Al₂O₃ ceramics," *J. Mater. Sci.*, vol. 25, no. 7, pp. 3229–3235, 1990.
- [15] Y. Singh and D. Kumar , "A Study on Mechanical Characterization and Solid Particle Erosion Response of Glass Fiber Epoxy Based Composite with Filler SiC."
- [16] P. Antil, S. Singh , and A. Manna , "SiC p/glass fibers reinforced epoxy composites: wear and erosion behavior," 2018.
- [17] P. Kumar Padhi and A. Satapathy , "Solid particle erosion behavior of BFS-filled epoxy-SGF composites using Taguchi's experimental design and ANN," *Tribol. Trans.*, vol. 57, no. 3, pp. 396–407, 2014.
- [18] L. Bao , Y. Sato , D. Qian, S. Simakawa, S. Hinata, and Z. Pan, "Dry sand erosion damage characteristic of fibers induced by solid particle impact," *Text. Res. J.*, vol. 80, no. 16, pp. 1675–1681, 2010.
- [19] G. Arena et al., "Solid particle erosion and viscoelastic properties of thermoplastic polyurethanes," *Express Polym. Lett.*, vol. 9, no. 3, 2015.
- [20] S. Biswas , A. Satapathy , and A. Patnaik , "Erosion wear behavior of polymer composites: a review," *J. Reinf. Plast. Compos.*, vol. 29, no. 19, pp. 2898–2924, 2010.
- [21] K. G. Budinski, *Guide to friction, wear and erosion testing*. ASTM international West Conshohocken, PA, 2007.
- [22] I. Kleis and P. Kulu , *Solid particle erosion: occurrence, prediction and control*. Springer Science & Business Media, 2007.
- [23] N. H. Yang and H. Nayeb-Hashemi , "The effect of solid particle erosion on the mechanical properties and fatigue life of fiber-reinforced composites," in *ASME 2006 International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, 2007, pp. 293–299.
- [24] J. A. C. Humphrey , "Fundamentals of fluid motion in erosion by solid particle impact," *Int. J. heat fluid flow*, vol. 11, no. 3, pp. 170–195, 1990.
- [4] A. Patnaik, "Development, characterization and solid particle erosion response of polyester based hybrid composites." 2008.
- [5] J. R. Mohanty , S. N. Das , H. C. Das, T. K. Mahanta, and S. B. Ghadei, "Solid particle erosion of date palm leaf fiber reinforced polyvinyl alcohol composites," *Adv. Tribol.*, vol. 2014, 2014.
- [6] A. Patnaik , A. Satapathy , and S. S. Mahapatra, "Study on erosion response of hybrid composites using Taguchi experimental design," *J. Eng. Mater. Technol.*, vol. 131, no. 3, p. 31011, 2009.
- [7] K. Tsuda , M. Kubouchi , T. Sakai , A. H. Saputra, and N. Mitomo, "General method for predicting the sand erosion rate of GFRP," *Wear*, vol. 260, no. 9–10, pp. 1045–1052, 2006.
- [8] T. Sinmazçelik , S. Fidan , and V. Günay , "Residual mechanical properties of carbon/polyphenylenesulphide composites after solid particle erosion," *Mater. Des.*, vol. 29, no. 7, pp. 1419–1426, 2008.
- [9] T. Basava and A. N. Harirao , "Development of graphite particles filled epoxy resin composite material and its erosive wear behavior," *Int. J. Manuf. Mater. Sci.*, vol. 1, no. 2, p. 28, 2011.
- [10] U. S. Tewari , A. P. Harsha , A. M. Häger , and K. Friedrich, "Solid particle erosion of unidirectional carbon fibre reinforced polyetheretherketone composites," *Wear*, vol. 252, no. 11–12, pp. 992–1000, 2002.
- [11] Y. Xie , J. J. Jiang , and M. A. Islam , "Elastomers and plastics for resisting erosion attack of abrasive/erosive slurries," *Wear*, vol. 426, pp. 612–619, 2019.
- [12] R. H. Telling , G. H. Jilbert , and J. E. Field , "Erosion of aerospace materials by solid-particle impact," in *Window and Dome Technologies and Materials V*, 1997, vol. 3060, pp. 56–67.
- [13] V. K. Srivastava and A. G. Pawar , "Solid particle erosion of glass fibre reinforced flyash filled epoxy resin composites," *Compos. Sci. Technol.*, vol. 66, no. 15, pp. 3021–3028, 2006.

- [29] Z. L. Lu, Z. G. Xing, H. Xie, and Y. X. Zhou, "Effect of SiC Particle Sizes on Erosion Wear Behaviour of SiC/Epoxy Resin Composite," 2010, vol. 658, pp. 368–371.
- [30] A. Patnaik, A. Satapathy , N. Chand , N. M. Barkoula , and S. Biswas , "Solid particle erosion wear characteristics of fiber and particulate filled polymer composites: A review," *Wear*, vol. 268, no. 1–2, pp. 249–263, 2010.
- [31] A. P. Harsha and A. A. Thakre , "Investigation on solid particle erosion behaviour of polyetherimide and its composites," *Wear*, vol. 262, no. 7–8, pp. 807–818, 2007.
- [25] N.-M. Barkoula and J. Karger-Kocsis , "Effects of fibre content and relative fibre-orientation on the solid particle erosion of GF/PP composites," *Wear*, vol. 252, no. 1–2, pp. 80–87, 2002.
- [26] S. Arjula and A. P. Harsha , "Study of erosion efficiency of polymers and polymer composites," *Polym. Test.*, vol. 25, no. 2, pp. 188–196, 2006.
- [27] A. Patnaik, A. Satapathy , S. S. Mahapatra, and R. R. Dash, "A modeling approach for prediction of erosion behavior of glass fiber–polyester composites," *J. Polym. Res.*, vol. 15, no. 2, pp. 147–160, 2008.
- [28] www.gritco.com "Moh's scale of relative hardness".

Manufacturing of Erosion Measuring Rig for Polymers and Their Composites with some Experimental Results

Ahmed W. Khalid*
awk_meceng@yahoo.com.

Abdullhaqq A. Hamid **
abdullhaqqhamid@yahoo.com.

*M.Sc. research student, Mechanical Engineering, College of Engineering, University of Mosul, Mosul-IRAQ.

** Department of Mechanical Engineering, College of Engineering, University of Mosul, Mosul-IRAQ.

Abstract

Solid Particle Erosion System was manufactured as a laboratory and according to the ASTM G76 specifications in a horizontal position with a feeder screw, as the system consists of the main parts: air compressor, voltage regulator, and rubber connection hoses. And the main parts of the rig: nozzle, screw, DC motor, transmission pipes, and Installation platform. The nozzle was made of low alloy steel and hardened by water-quenching, and the conical nozzle cavity was made to insert sand into the nozzle barrel. Tolerance was chosen between the screw and cylinder in practice, with a tolerance of (4 mm) out of two experiments that were tried (2, 4 mm). So, the tolerance was chosen based on the used particles (erodent) in different ranges (150-350 μm), (350-500 μm) and (500-710 μm), preferably a tolerance that gives a smooth spin rotation. One of the things to consider is the stability of the sand flow rate and the issue of overflow or vice versa is the occurrence of a stop flow, and taking into consideration the calibration between the spin rotation and the pressure of the air. Also, the sizes of sand particles used can determine several things, including tolerance, the diameter of the nozzle barrel, and the velocity of particles that can be taken. The rig was tested for specimens of unsaturated polyester (UP) and its composites reinforced with (5 wt. %) of silicon carbide, where the experiment was carried out at an impingement velocity (25.2 m / s) and impingement angles (30°, 60°, 90°) and the size of the erodent from sand Silica has a size of (350-500 μm), so the results showed that the polyester gave the highest erosion rate at the angle (90°), which indicates its brittle behavior, while its composites gave the highest erosion rate at the angle (60°), which indicates its semi-ductile behavior. It is comparing the results obtained with previous research that shows that the rig gave positive results, and it can measure the rate of erosion of polymeric materials and their composites.

Key words:

Unsaturated Polyester, Solid Particles Erosion (SPE), Rate of Erosion, Screw Feeder.