



دراسة الخواص الميكانيكية لراتنج البولي استر غير المشبع المدعم بالألياف الزجاجية

فائق حماد عنتر هند صلاح حسن

جامعة الانبار / كلية العلوم

جامعة الانبار / كلية التربية للعلوم الصرفة

الخلاصة:

تم في هذا البحث تحضير مواد متراكبة ذات اساس بوليمري بطريقة القولبة اليدوية (Hand lay – up) من راتنج البولي استر غير المشبع كمادة اساس المدعم بالألياف الزجاجية المحاكاة بشكل حصيرة او العشوائية نوع (E-glass) وبكسر حجمي مقداره 25%. البحث تضمن دراسة خاصية الكلال لعينة البولي استر غير المدعمة والمدعمة بطبقة واحدة وطبقتين وثلاث طبقات من الالياف الزجاجية المحاكاة بشكل حصيرة او العشوائية في الحالتين الجافة والرطبة وبدرجة حرارة الغرفة. اظهرت نتائج فحص الكلال بان عدد دورات الكلال لحد الفشل يقل مع زيادة عدد طبقات التدعيم ولكافة العينات الجافة او المغمورة بالماء. وان عدد هذه الدورات في العينات المغمورة بالماء يكون اقل مما للعينات الجافة.

معلومات البحث:

تاريخ التسليم: 2013/00/00

تاريخ القبول: 2014/5/6

تاريخ النشر: 2022 / /

DOI: 10.37652/juaps.2014.123984

الكلمات المفتاحية:

الخواص الميكانيكية ،
راتنج البولي استر غير المشبع المدعم
بالألياف الزجاجية.

1 المقدمة Introduction

ان دراسة الخواص الميكانيكية للمواد الهندسية تعتبر من الامور المهمة التي يجب اخذها بنظر الاعتبار لأنها تحدد سلوكية المواد تحت تأثير الاجهاد المسلط عليها [1]. تصنف الخواص الميكانيكية للمواد اعتمادا على طبيعة القوى المسلطة عليها الى خواص ميكانيكية ساكنة وخواص ميكانيكية متحركة ومنها خاصية الكلال (Fatigue) [2].

ان المواد المتراكبة هي عبارة عن بناء مكون من مادتين او اكثر مرتبطة مع بعضها بطريقة معينة لتعطي خصائص افضل من خصائص المواد الداخلة في تركيبها فيما لو استخدمت بشكل منفرد، وتتميز بخفة الوزن والعزل الحراري والكهربائي الجيد [3]، وتتكون المواد المتراكبة من طورين هما المادة الاساس (Matrix Material) ومادة التقوية (Reinforced Material) ويرتبط هذان الطوران مع بعضهما عن طريق سطح رابط يدعى السطح البيني (Interface) [4].

في هذا البحث تم تحضير عينات من مواد متراكبة ذات اساس بوليمري مدعمة بألياف الزجاج ودراسة خواصها الميكانيكية في حالة الحركة مثل خاصية الكلال.

* Corresponding author at:
E-mail address:

ان الكلال هو نوع من انواع الفشل الذي يحدث في المواد عند تعرضها لإجهادات دورية تؤدي الى حصول شقوق سطحية قابلة للنمو حتى حصول الكسر، وهو السبب الاكبر في فشل 90% من المواد سواء اكانت معدنية او سيراميكية او بوليميرية، ولم يتم التوصل لحد الان الى فهم اساسي لأسباب فشل الكلال في المواد على الرغم من وضع تصور لألية نشوء الشقوق وتطورها [5]. يؤدي الكلال الى ظاهرة الكسر الهش من دون تشكيل تشوه لدن عند الكسر، وان سطح الكسر يكون عموديا على اتجاه اجهاد الشد الرئيسي، ويتميز هذا النوع من الفشل بإمكانية حصوله بإجهاد دوري اقل من اجهاد الخضوع اللازم لحدوث الكسر في حالة الاختبار الثابت (الاستاتيكي) القصير الامد [6]. نظرا لإحلال المتراكبات البوليميرية محل المعادن في الكثير من التطبيقات الصناعية، فقد تم الاهتمام بدراسة خاصية الكلال لهذه المتراكبات البوليميرية، لأنها تحدد سلوكية هذه المواد تحت تأثير الاجهاد المسلط عليها وكذلك تأثير درجة الحرارة والضغط [1,7].

2. الجزء العملي Experimental part

2.1.1 المواد المستخدمة Used Materials

2.1.1.1 المادة الاساس (Matrix Material) : ان المادة

البوليميرية الاساسية في هذا البحث هي راتنج البولي استر غير المشبع (Unsaturated polyester resin)، والمصنع من

بالماء، واعطاء الرمز (D_{Pr}) للعينات العشوائية الجافة والرمز (W_{Pr}) للعينات العشوائية المغمورة بالماء وكما موضح بالشكل رقم (1).

2.4 الاجهزة المستخدمة

تم اجراء الفحوصات المختبرية لكافة العينات سواء في الحالة الجافة او المغمورة بالماء باستخدام جهاز فحص الكلال نوع (Alternating Bending Fatigue Machine) والمصنع من شركة (Hi-Tech) البريطانية . اما تقنية الفحص المجهرى فقد تم تنفيذها باستخدام مجهر ضوئي من نوع (Nikon) المصنع من قبل شركة (Nikon) اليابانية. تم فحص العينات بعد اجراء فحص الكلال لتحديد اماكن الفشل والتشققات الطبقية ومناطق الانسلاخ للألياف الزجاجية.

3. النتائج والمناقشة

3.1 نتائج اختبارات الكلال

3.1.1 اختبارات الكلال للعينات المنتظمة

الفحوصات والنتائج المختبرية لعينات البولي استر غير المشبع الجافة الغير المدعمة والمدعمة بطبقة واحدة او طبقتين او ثلاث طبقات من الالياف الزجاجية المنتظمة ($0^\circ - 90^\circ$) موضحة بالجدول (1). اما النتائج المختبرية لهذه العينات بعد غمرها بالماء فأنها موضحة بالجدول (2)، حيث نلاحظ من الجدولين اعلاه بان عدد دورات الكلال تقل مع زيادة عدد طبقات التدعيم ولكافة النماذج وللحالتين الجافة والمغمورة بالماء وهذا موضح بالشكل (2). ومن مقارنة نتائج الجدولين اعلاه في الشكل (2). نجد ان عدد دورات الكلال في الحالة الجافة للعيينة ذات الطبقة الواحدة من التسليح المنتظم هو (1528071) دورة عند حمل مقداره (N6.5) وانحراف (18mm) في حين نجد ان عدد دورات الكلال لحد الفشل لنفس العينة بعد غمرها بالماء لمدة (21) يوما هو (929864) دورة تحت الحمل (5.4N) وانحراف (18 mm). اما بالنسبة لعينة ذات الطبقتين الجافة فدارت لحد الفشل (1128071) دورة عند حمل (10.5 N) وانحراف (10 mm) في حين عدد الدورات لنفس العينة اعلاه بعد غمرها بالماء لمدة (21) يوم هو (605997) دورة عند حمل (9.2N) وانحراف (10 mm). اما بالنسبة للعينة ذات الثلاث طبقات من التسليح العشوائي في الحالة الجافة فان عدد دورات الكلال لحد الفشل هو (862640) دورة عند

قبل شركة (SIR) السعودية، ويكون هذا الراتنج على شكل سائل لزج شفاف وردي اللون عند درجة حرارة الغرفة وهو احد انواع البوليمرات المتصلدة حراريا (Thermosetting)، وتخلط مع المصلد عند درجة حرارة الغرفة بإضافة 2gm من المصلد لكل 100 gm من الراتنج.

2.1.2 مواد التقوية (Reinforcement Material) : تم

استخدام الياف زجاجية نوع (E-glass) المحاكاة بشكل حصيرة (Woven roving W.R) واليااف زجاجية عشوائية (Random) والمصنعة من قبل شركة (Mowing ltd)، uk

2. تحضير العينات

حضرت عينات المواد المتراكبة من البولي استر غير المشبع والمدعم بألياف الزجاج ويكسر حتمي مقداره 25% بطريقة القولية اليدوية (Hand lay – up molding) لأنها بسيطة الاستخدام ويمكن الحصول من خلالها على عينات بأشكال وأبعاد مختلفة. جرى تقطيع الياف الزجاج بشكل طبقات وبنفس ابعاد القالب المستخدم الذي جرى تحضيره من الواح الزجاج وتم تغليف جوانبه وقاعدته من الداخل بورق حراري مصنع من مادة البولي فينيل الكحول (PVA) وذلك لضمان عدم التصاق العينة بالقالب وسهولة استخراجها، والعيّنات التي تم تحضيرها في هذا البحث هي :

1. عينة من البولي استر غير المشبع بدون تدعيم

2 . عينة البولي استر غير المشبع المدعمة بطبقة واحدة من

الالياف الزجاجية المحاكاة بشكل حصيرة او العشوائية.

3 . عينة البولي استر غير المشبع المدعمة بطبقتين من

الالياف الزجاجية المحاكاة بشكل حصيرة او العشوائية.

4 . عينة البولي استر غير المشبع المدعمة بثلاث طبقات من

الالياف الزجاجية المحاكاة بشكل حصيرة او العشوائية.

2.3 تقطيع وترقيم العينات

لغرض اجراء اختبارات الكلال (Fatigue tests) فقد تم تقطيع العينات بأبعاد قياسية (1.0 × 10 × 0.4 cm)، فتحة ولغرض تثبيت العينة في جهاز الكلال فقد تم ثقب فتحة في احد طرفيها قطرها (4mm) وتبعد (3mm) عن الجوانب و (4mm) عن نهاية العينة. ثم جرى بعد ذلك تنعيم العينات وترقيمها. حيث تم اعطاء الرمز (D_p) للعينات المنتظمة الجافة والرمز (W_p) للعينات المنتظمة المغمورة

3.2 نتائج الفحص المجهرى

نتائج الفحص المجهرى للعينات الجافة والمغمورة بالماء موضحة بالشكل (4) ، حيث تبين الصور المجهرية للعينة ذات الطبقة الواحدة من التسليح العشوائي الموضحة بالشكل (4-b) ظهرت التشققات الطبقية والانسلاخ في الالياف الزجاجية العشوائية نتيجة امتصاص الماء في حين لم نلاحظ مثل هذا الانتفاخ على العينة الجافة الشكل (4-a) .

عند مقارنة الصور المجهرية للعينات المدعمة بطبقتين من الالياف الزجاجية العشوائية في الحالتين الجافة والمغمورة بالماء بعد اجراء عمليات الكلال عليها (4-c) نلاحظ وجود كسر وقطع للألياف على العينة الجافة الشكل في حين نلاحظ انسلاخ الالياف وانسلاها نتيجة لانتفاخ العينة بسبب امتصاصها للماء الشكل (4-d)

اما بالنسبة للعينة ذات الثلاث طبقات من التسليح العشوائي فأنا نلاحظ تشقق وانكسار المادة الرابطة والياف التدعيم على العينة المغمورة بالماء الشكل (4-f) في حين نلاحظ قطع وتكسر الالياف الزجاجية العشوائية والمادة الرابطة في العينات الجافة الشكل (4-e) .

الاستنتاجات Conclusion

1. إن عدد دورات الكلال لحد الفشل للعينات المغمورة بالماء هو اقل من عدد دورات الكلال لحد الفشل للعينات الجافة سواء اكانت مدعمة بالألياف الزجاجية المنتظمة او العشوائية. وان هذا العدد يقل مع زيادة عدد طبقات التدعيم.
2. تزداد مرونة العينات ذات التسليح العشوائي والمنتظم بعد غمرها بالماء.
3. ان عدد دورات الكلال لحد الفشل للعينات العشوائية الجافة او المغمورة بالماء يكون اقل من عدد الدورات لحد الفشل للعينات المنتظمة الجافة او المغمورة بالماء لنفس الطبقة من التسليح.

المصادر:

1. Marc Andrew Mergers, Krishna Kumar Chalwla " Mechanical behavior of materials",prentice,Hall New jersey , 1999.
2. Dodd Coordination Draft, " polymer matrix composite materials properties",USA, 1996.

حمل (25N) وانحراف (5 mm) في حين يكون عدد دورات الكلال لحد الفشل لهذه العينة في حالة الغمر بالماء (312641) دورة عند حمل مقداره (20N) وانحراف مقداره (5mm) .

ومن هنا نستنتج بان عدد دورات الكلال لحد الفشل لكافة العينات تتناقص مع زيادة عدد طبقات التسليح المنتظم. كما يلاحظ ايضا بأن عدد دورات الكلال للعينات في الحالة الجافة هو اكثر من عدد دورات الكلال للعينات المغمورة بالماء ولكافة طبقات التسليح، كما نلاحظ ان الحمل المسلط على العينات المغمورة بالماء هو اقل من الحمل المسلط على العينات في الحالة الجافة. وهذا بالتأكيد ناتج من تأثير امتصاص العينات للماء الذي يسبب لدونة العينة وبالتالي زيادة مرونتها وفشلها بعدد اقل من عدد دورات الكلال للعينات الجافة وكما موضح بالشكل (2) .

3.1.2 اختبارات الكلال للعينات العشوائية

النتائج والفحوصات المختبرية للعينات الجافة والمغمورة بالماء موضحة بالجدولين (3) ، (4) على التوالي. من الجدول (3) نجد ان العينة الجافة ذات الطبقة الواحدة من التسليح العشوائي قد وصلت لحد الفشل بعدد من دورات الكلال مقداره (964997) دورة عند حمل مقداره (5.5 N) والذي سبب انحرافاً مقداره (18 mm) . وعند مقارنة هذه العينة مع العينة المغمورة بالماء جدول (4) ولنفس عدد ونوع التسليح نجد ان العينة المغمورة بالماء قد وصلت لحد الفشل بعدد من دورات الكلال مقداره (900000) دورة عند حمل مقداره (5 N) وانحراف مقداره (18 mm) . ومن هنا نستنتج بأن العينة المغمورة قد وصلت لحد الفشل بعدد من دورات الكلال اقل مما للعينة الجافة من نفس النوع وعند حمل اقل مما للعينة الجافة ايضاً. نلاحظ من الجدولين ايضاً بأن عدد دورات الكلال يقل مع زيادة عدد طبقات التدعيم للعينات الجافة والمغمورة وان عدد دورات الكلال للعينات الجافة هو اكبر مما للعينات المغمورة. وان الحمل المسلط على العينات المغمورة ولمختلف طبقات التدعيم يكون اقل مما للعينات الجافة وكما موضح بالشكل (3) ويعزى السبب الى زيادة امتصاص العينات للماء مع زيادة عدد طبقات التدعيم بسبب كثرة الشقوق والفنوات الشعرية وهذا يؤدي بدوره الى زيادة لدونة المادة وبالتالي مرونتها وفشلها بعدد من دورات الكلال اقل مما للعينات الجافة [8].

312641	605997	929864
113.11	70.95	45.44
5	10	18
20	9.2	5.4
2.05	1.73	1.58
3	2	1
W _{P4}	W _{P3}	W _{P2}

جدول (3) يوضح اختبارات الكلال للعينات العشوائية الجافة

عدد الدوريات N	الاجهاد Q (Mpa)	الانحراف δ _r (mm)	الحمل P(N)	السمك d (mm)	عدد طبقات التسليح	رقم ورز العينه
6982	43.27	5	4.5	1.28	بدون تسليح	D _{P1}
964997	48.75	18	5.5	1.48	1	D _{P2}
708953	86.81	10	11	1.71	2	D _{P3}
614749	116.09	3	20	2.03	3	D _{P4}

جدول (4) يوضح اختبارات الكلال للعينات العشوائية المغمورة بالماء

عدد الدوريات N	الاجهاد Q (Mpa)	الانحراف δ _r (mm)	الحمل P(N)	السمك d (mm)	عدد طبقات التسليح	رقم ورز العينه
4320	35.78	5	3.5	1.28	بدون تسليح	W _{P1}
900000	40.95	18	5	1.48	1	W _{P2}

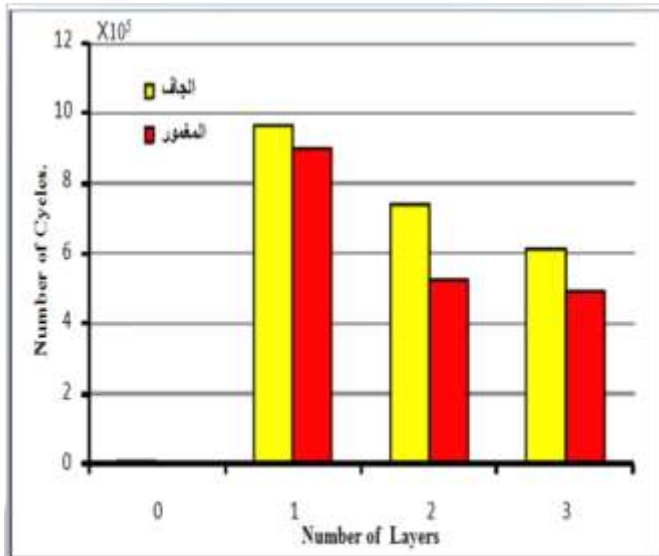
- W. D. Callister, "Material Science and Engineering, An Introduction", John Wiley sons, Inc.,, 2003.
- لميس علي خلف " دراسة الخصائص الميكانيكية والفيزيائية لمتراكبات البولي استر غير المشبعة والمدعمة بألياف الزجاج والنايلون، رسالة ماجستير، قسم هندسة المواد، الجامعة التكنولوجية، 2006.
- Duggen, T.V and Byrne, J, "Fatigue as a design Criterion", The Macmillan press Ltd, pp., (113-120), 1979
- P.A.Tornton, V. J. Co Langelo, "Fundamentals of Engineering Materials", Hall, Inc., 1985.
- Y. Rieter and S. Minco, J. of American chemical society, Vol.127, No. 45, PP. (1568- 1588) 2005. ، عبد اللطيف صالح نجم، "دراسة خاصية الانثناء لبولي مثيل ميثا اكرليك المدعمة بالألياف الزجاجية، رسالة ماجستير، كلية العلوم، جامعة بغداد، 2007.

جدول (1) يوضح اختبارات الكلال للعينات المنتظمة الجافة

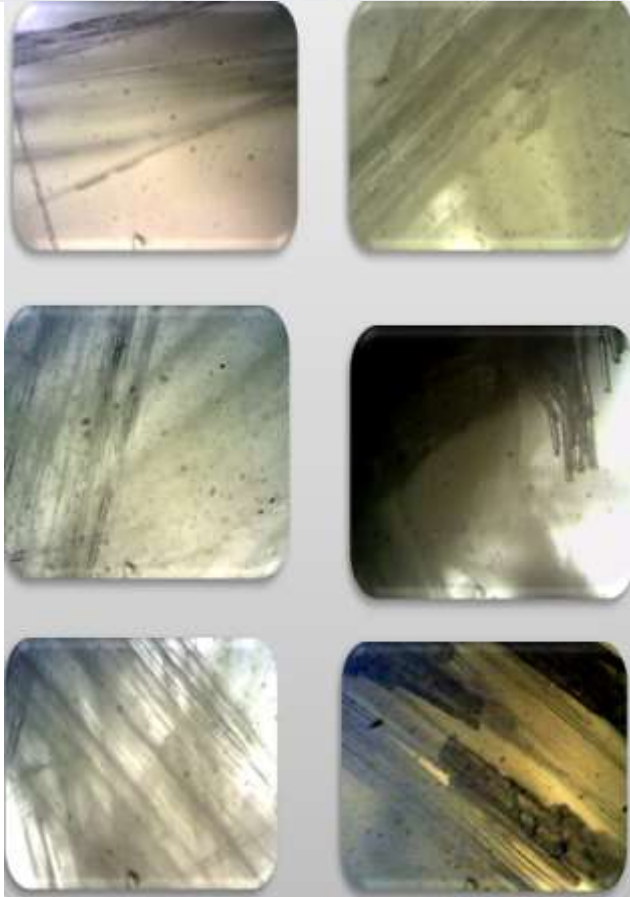
عدد الدوريات N	الاجهاد Q (Mpa)	الانحراف δ _r (mm)	الحمل P(N)	السمك d (mm)	عدد طبقات التسليح	رقم ورز العينه
6982	43.27	5	4.5	1.28	بدون تسليح	D _{P1}
1528071	54.70	18	6.5	1.58	1	D _{P2}
1128071	80.98	10	10.5	1.73	2	D _{P3}
862640	141.39	5	25	2.05	3	D _{P4}

جدول (2) يوضح اختبارات الكلال للعينات المنتظمة المغمورة بالماء

عدد الدوريات N	الاجهاد Q (Mpa)	الانحراف δ _r (mm)	الحمل P(N)	السمك d (mm)	عدد طبقات التسليح	رقم ورز العينه
4320	35.78	5	3.5	1.28	بدون تسليح	W _{P1}



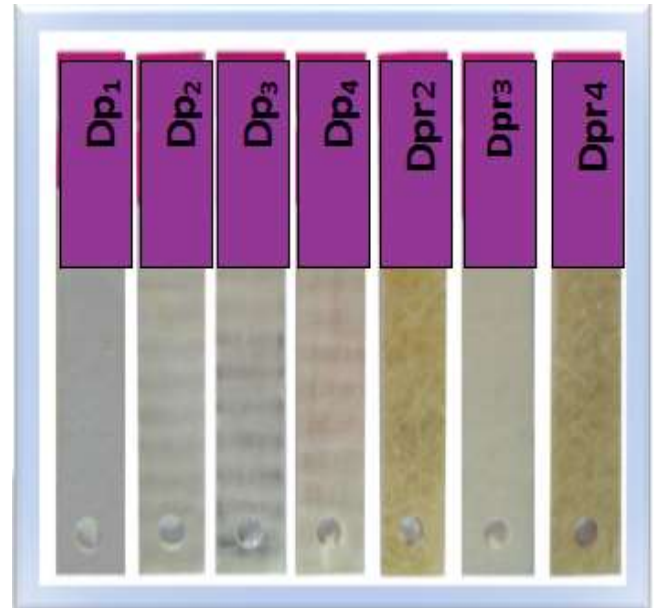
الشكل (٢) يوضح مقارنة بين عدد دورات الكلال لحد الفشل وعند طبقات التسليح لسترات البوليستر غير المشبع المدعمة بالألياف الزجاجية العشوائية الجافة والمغمورة بالماء



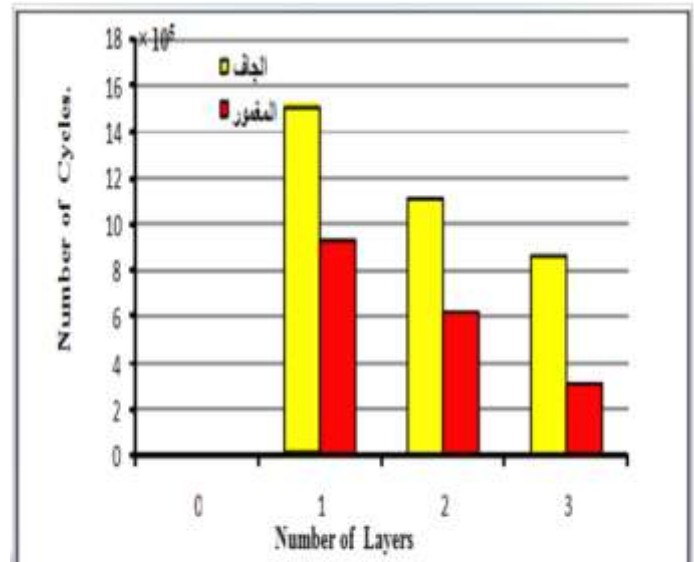
شكل (4) يوضح الصور المجهرية للعشوائية الجافة والمغمورة بالماء بعد إجراء اختبارات الكلال (10X)

- (a) العينات العشوائية الجافة المدعمة بطبقة وطبقتين وثلاث طبقات من الألياف الزجاجية العشوائية على التوالي .
(b) العينات العشوائية المغمورة بالماء المدعمة بطبقة وطبقتين وثلاث طبقات من الألياف الزجاجية العشوائية على التوالي.

529536	63.13	10	8	1.71	2	W _{Pr3}
492376	98.68	3	17	2.03	3	W _{Pr4}



شكل (1) يوضح عينات راتنج البوليستر غير المشبع بدون تدعيم ومتراكباته المدعمة بالألياف الزجاجية بنوعها المنتظم والعشوائي



الشكل (٢) يوضح مقارنة بين عدد دورات الكلال لحد الفشل مع عدد طبقات التدعيم لعينات البوليستر غير المشبع المدعم بالألياف الزجاجية المنتظمة الجافة والمغمورة بالماء

STUDY OF MECHANICAL PROPERTIES FOR UNSATURATED POLYESTER REINFORCED WITH GLASS FIBER

DR.FAIK H. ANTER HIND SALAH HASSAN

ABSTRACT :

The work focuses on the preparation of polymer matrix composite materials by Hand lay –up method from unsaturated polyester resin (UPE) as a matrix reinforced by woven Roven or random glass fiber kind (E-glass) with volume fraction 25%. This work includes the unreinforced (UPE) and its composites which are reinforced by (one, two and three) layers of woven Roven (W.R) or random glass fiber in the dry and wet cases at room temperature. Results of the work show that the number of fatigue cycles to failure decrease with increasing the number of reinforcing layers for all samples in the dry and wet cases. Also the number of these cycles for the samples immersed in water is less than that of the same dry samples.