

## قطع البلاستيك المدعم بالألياف باستخدام ليزر ثنائي أكسيد الكربون المستمر

جيهان آدمون سيمون عدي عطا حمّادي

وحدة أبحاث الليزر – الجامعة التكنولوجية – بغداد – العراق

### الخلاصة:

في هذا البحث، جرى استخدام ليزر ثنائي أكسيد الكربون المستمر لقطع عينات من البلاستيك المدعم بالألياف ولثلاث أنواع مختلفة هي البلاستيك المدعم بالألياف البوليمرية (الأرامايد) والبلاستيك المدعم بالألياف الزجاجية والبلاستيك المدعم بالألياف الكربونية. جرى دراسة نتائج عملية القطع من خلال تغير بعض معاملات عملية القطع وتأثير ذلك على نوعية القطع وكذلك تأثير ضخ غاز حامل إلى منطقة التفاعل ومن ثم استخدام مقطع لشعاع الليزر بهدف تحسين نوعية القطع. أظهرت النتائج المستحصلة إمكانية الحصول على نوعية جيدة لقطع مثل هذه المواد باستخدام الليزر من خلال التحكم بمعاملات وظروف عملية القطع بشكل جيد.

## Cutting of Fiber-Reinforced Plastics by a CW CO<sub>2</sub> Laser

### ABSTRACT:

In this work, a CW CO<sub>2</sub> laser was used for cutting samples of the fiber-reinforced plastics (FRP) of three different types of reinforcing material; aramide, glass and carbon. Cutting process was investigated throughout the variation of some parameters of cutting process and their effects on cutting quality as well as the effect of an inert gas exist in the interaction region and finally using a mechanical chopper in order to enhance the cutting quality. Results obtained explained the possibility to perform laser cutting with high quality in these materials by good control of the parameters and conditions of the process.

### المقدمة:

عرض منطقة القطع وهذا يقلل كمية المادة المزالة، كما أن حافات القطع تكون مستقيمة وليست منحنية كما في عملية القطع الحراري التقليدية. تكون منطقة القطع باستخدام الليزر نظيفة وملساء وبذلك فإنها لا تحتاج إلى معاملة أو تنظيف ما بعد القطع. كذلك تكون المنطقة المتأثرة حرارياً والمحيطة بمنطقة القطع ضيقة جداً بسبب محدودية منطقة التأثير. أيضاً، يمكن التحكم بعمق الاختراق والقطع من خلال التحكم بمعاملات عملية القطع مثل قدرة

قادت الدراسات التي تناولت عملية القطع بالليزر خلال العقود التي تلت اكتشاف الليزر إلى ازدياد استخدامه كمصدر حراري مهم في التطبيقات الصناعية المتنوعة. تتم عملية قطع بعض المواد غير المعدنية باستخدام شعاع الليزر المستمر من خلال إزالة المادة من منطقة القطع بشكل بخار ومواد منصهرة مقذوفة تتميز عملية القطع باستخدام الليزر بمزايا عدة تتمثل بضيق

إن التركيب المعقد للمواد المركبة يوضح سلوك هذه المواد أثناء عمليات التشغيل والمعالجة التقليدية إذ أن المواد المركبة تنتج سطوح ذات نوعية واطئة عند قطعها بسبب الالتفاف والتداخل ما بين الألياف المكونة للتركيب. إن هذا النمط من الفشل لا يظهر في عمليات تشغيل المعادن إذ إن ميكانيكية حصول التشوهات تختلف تماماً وكذلك التأثير المتبادل ما بين المادة وأداة القطع [17-18].

لقد تم تصميم أدوات ومعدات خاصة للمعالجة والتشغيل الميكانيكيين للمواد المركبة وكذلك تصميم وبناء منظومات للتحكم بالعمليتين، إلا أن مشكلة الحصول على سطوح معالجة ذات نوعية واطئة بقيت تمثل مشكلة وأمرأ واقعاً يفرض نفسه وخاصة في عمليات قطع البلاستيك المدعم بالألياف (Fiber-Reinforced Plastics) (FRP) الذي يصعب قطعه بالوسائل الميكانيكية بسبب مطيلية (Ductility) التركيب والترابط الضعيف ما بين الألياف والقالب (Matrix) [19].

#### الجزء العملي:

جرى استخدام عينات من ثلاثة أنواع من البلاستيك المدعم بالألياف هي البلاستيك المدعم بالألياف البوليمرية (الأرامايد) (AFRP) والبلاستيك المدعم بالألياف الزجاجية (GFRP) والبلاستيك المدعم بالألياف الكربونية (CFRP)، على شكل ألواح. في الأنواع الثلاثة من العينات يمثل اللاصق نوع (POLYESTER-593) مادة القالب (Matrix) وتتخذ الألياف شكلاً نسيجياً (Fabric) وتكون (50%) من الألياف تقريباً ذات اتجاهات ملتوية. تباينت العينات المستخدمة في هذا البحث في قيم السمك لكل نوع من الأنواع الثلاثة من خلال التحكم بالعدد الكلي للطبقات المؤلفة للتركيب. تراوحت قيم السمك لعينات البلاستيك المدعم بالألياف البوليمرية (الأرامايد)

الليزر وسرعة القطع وموقع تبئر شعاع الليزر وغيرها. إن عملية القطع باستخدام الليزر لا تتطلب ماسكات ميكانيكية للعينة أثناء القطع إذ إن تلك الماسكات يمكن أن تسبب اجهادات موضعية للمادة وقد تحدث كسراً للمواد الهشة بينما تمتاز تقنية القطع بالليزر بعدم التماس ما بين أداة القطع والمادة المراد قطعها. تعد مشكلة التآكل (Corrosion) أو البلى (Wear) من أهم المشكلات في تقنيات القطع التقليدية وهي تختفي في حالة استخدام الليزر وكذلك يمكن السيطرة على عملية القطع بالليزر بصورة رقمية وبدقة متناهية. توفر تقنية القطع بالليزر إمكانية إجراء عملية القطع بأي اتجاه والبدء من أية نقطة على العينة وهذا يتيح قطع الأشكال المعقدة بسهولة [11-1]. على الرغم من كافة المزايا التي ذكرت أنفاً، فإن كلفة استخدام الليزر في عملية القطع، وعموم العمليات الصناعية، تعد عالية مقارنة بالطرائق التقليدية. ومع أن موضوع الكلفة يمكن أن يعتبر أمرأ حرجاً في عمليات قطع المعادن بالليزر، فإن استخدام الليزر في عمليات قطع المواد غير المعدنية التي تفشل العديد من تقنيات القطع التقليدية في قطعها أو تحقيق نوعية قطع عالية، تعد تقنية مثالية تقريباً، ومن هذه المواد السيراميك والزجاج والبلاستيك والمواد المركبة وغيرها [11-15].

في المواد المركبة، يتم تجميع عدد من الطبقات الليفية ذات الاتجاهية المختلفة سوية وربطها لتكوين هيكل صلد. تكون الألياف في الطبقة الواحدة متوازية بالنسبة لبعضها الآخر تغطيها مادة لاصقة مقاومة للحرارة (Thermoset) لتشكل قالباً (Matrix) يحتوي هذه الألياف. من وجهة النظر الميكانيكية، يمتاز الليف بمتانة عالية وتماسك كبير خلاف القالب وهذا يجعل التركيب غير متجانس (Inhomogeneous) وغير متناظر (Anisotropic) [16-18].

على امتصاص الطاقة الحرارية بشكل كبير مما يجعلها تحتاج قدرات اكبر أو سرعة قطع اقل لتحقيق الاختراق. كذلك فإن نمط الامتصاص غير المنتظم لعينات البلاستيك المدعم بالألياف الزجاجية (GFRP) بسبب احتوائها على الألياف الزجاجية يعيق تحقيق عمق اختراق كبير بسبب

التشوه الحاصل في منطقة القطع وتكون

منصهر يعيق وصول مقدار أكبر من طاقة شعاع الليزر الساقط إلى داخل العينة. إن قلة التشوه في منطقة القطع لعينات البلاستيك المدعم بالألياف البوليميرية (الأرامايد) (AFRP) مقارنة بالتشوه في عينات البلاستيك المدعم بالألياف الكاربونية (CFRP) وعينات البلاستيك المدعم بالألياف الزجاجية (GFRP) يفسر دور مواد التدعيم في عملية قطع البلاستيك المدعم باستخدام شعاع ليزر ثنائي أكسيد الكربون وتأثير الاحتراق الحاصل في حجب وصول الشعاع إلى منطقة القطع.

واستناداً إلى ما ذكر سابقاً وكما يبين الشكل (2) الذي يوضح العلاقة ما بين عمق الاختراق (d) وقدرة شعاع الليزر (P)، فإن القدرة اللازمة لأحداث قطع أو اختراق أكبر في عينات البلاستيك المدعم بالألياف البوليميرية (الأرامايد) (AFRP) تكون اقل من القدرة اللازمة لتحقيق نفس النتيجة في عينات البلاستيك المدعم بالألياف الكاربونية (CFRP) وعينات البلاستيك المدعم بالألياف الزجاجية (GFRP).

وفي محاولة لتقليل التشوه الحاصل في منطقة القطع نتيجة الاحتراق، فقد تم اللجوء إلى ضخ غاز الأركون إلى منطقة التفاعل أثناء عملية القطع لمنع حدوث الاحتراق وقد لوحظ ازدياد عمق الاختراق لعينات الأنواع الثلاثة وكما مبين في الشكل (3). إن الزيادة في عمق الاختراق لعينات البلاستيك المدعم بالألياف البوليميرية (الأرامايد) (AFRP) بلغت ضعفي عمق الاختراق لنفس العينات في

(AFRP) ما بين (2-10mm) ولعينات البلاستيك المدعم بالألياف الزجاجية (GFRP) ما بين (2-12mm) ولعينات البلاستيك المدعم بالألياف الكاربونية (CFRP) ما بين (1.5-9mm)، ولجميع العينات بلغ المحتوى الحجمي للألياف حوالي (50%).

جرى استخدام منظومة ليزر ثنائي أكسيد الكربون (CO<sub>2</sub>) مستمر تعطي قدرة خرج قصوى (40W) وتعمل بالنمط الكاوسي (TEM<sub>00</sub>). أستخدمت عدسة من مادة سيلينيد الخارصين (ZnSe) ذات بعد بؤري (5cm) لتبئير شعاع الليزر على سطح المادة وقد بلغ أعظم مقدار لكثافة قدرة شعاع الليزر حوالي (4x10<sup>4</sup>W/cm<sup>2</sup>). أستخدمت منصة متحركة (Translated Stage) ذات محرك خطوة يتحرك بمقدار (1mm) في الخطوة الواحدة لتحريك العينة أمام شعاع الليزر المستمر إذ يتم تحديد سرعة حركة العينة. تم استخدام المجهر الضوئي نوع (Leitz-Metallux 3) لقياس عمق الاختراق لشعاع الليزر داخل العينة وكذلك التعرف على مقطع منطقة القطع.

### النتائج والمناقشة:

يبين الشكل (1) عمق الاختراق (d) كدالة لسرعة القطع (v) للأنواع الثلاثة من العينات المستخدمة في هذا البحث. وكما يلاحظ من الشكل فإن عمق الاختراق في عينات البلاستيك المدعم بالألياف البوليميرية (AFRP) يكون أكبر مما في عينات البلاستيك المدعم بالألياف الزجاجية (GFRP) والتي يكون عمق الاختراق فيها أكبر مما في عينات البلاستيك المدعم بالألياف الكاربونية (CFRP) عند نفس القيمة لقدرة شعاع الليزر وسرعة القطع. إن سبب ذلك يمكن أن يكون احتواء عينات البلاستيك المدعم بالألياف الكاربونية (CFRP) على الكربون (الكرافيت) الذي له القدرة

عمق الاحتراق بمقدار (30%) تقريباً. لذا يتوجب إجراء تسوية ما بين معاملات عملية القطع مجتمعة من أجل تحقيق أكبر عمق احتراق بأفضل نوعية لمنطقة القطع وخاصة في التطبيقات التي تتطلب ذلك، أما إذا كان الهدف الأساس من استخدام الليزر هو احتراق أكبر سمك ممكن للعينة فإن مشكلة النوعية الواطئة لمنطقة القطع لا تبدو عائقاً حقيقياً. والشكل (4) يبين نتائج استخدام المقطع الميكانيكي من خلال العلاقة ما بين عمق الاحتراق وقدرة شعاع الليزر المستخدم.

عموماً، فإن استخدام شعاع ليزر ثنائي أوكسيد الكربون لقطع البلاستيك المدعم بالألياف يعد حلاً رائعاً لمشاكل معالجة هذا النوع من البلاستيك الذي يحظى بأهمية صناعية متزايدة نظراً للمزايا الميكانيكية والتركيبية والاقتصادية التي تميزه على غيره من المواد غير المعدنية بصورة عامة والأنواع الأخرى من البلاستيك بصورة خاصة.

#### الاستنتاجات:

من خلال النتائج المستحصلة في هذا البحث، يمكن استنتاج أن تحقيق عملية القطع للبلاستيك المدعم بالألياف تتطلب قدرات أكبر من تلك التي تحتاجها عملية القطع للبلاستيك غير المدعم ويعزى ذلك إلى دور الألياف المستخدمة في التدعيم في تقوية تركيب البلاستيك وزيادة مقاومته لعملية الاحتراق. أمكن تحقيق القطع وبشكل كفاء باستخدام شعاع ليزر ثنائي أوكسيد الكربون وأوضحت النتائج أن لمادة التدعيم تأثير كبير على عمق الاحتراق كما أن تحقيق أفضل مواصفات لعملية القطع ومقطع منطقة القطع من حيث عمق الاحتراق وانتظام المقطع يتحدد باختيار معاملات عملية القطع بشكل دقيق. كذلك بينت النتائج تأثير نفث غاز يمنع الاحتراق في منطقة الاحتراق وتقطيع شعاع الليزر المستمر بيزيد من عمق الاحتراق أو النوعية منطقة القطع بشكل يتطلب

حالة عدم استخدام غاز الأركون، فيما كانت الزيادة لعينات البلاستيك المدعم بالألياف الكربونية (CFRP) وعينات البلاستيك المدعم بالألياف الزجاجية (GFRP) عند استخدام غاز الأركون أقل من الضعف عما في حالة عدم استخدامه. إن سبب ذلك هو أن تأثير الاحتراق على عمق الاحتراق يكون أكبر في عينات البلاستيك المدعم بالألياف البوليمرية (الأراميد) (AFRP) مما في عينات البلاستيك المدعم بالألياف الكربونية (CFRP) أو عينات البلاستيك المدعم بالألياف الزجاجية (GFRP) بسبب الطبيعة البوليمرية للتركيب والقابلية الأكبر على الاحتراق من الكربون (الكرافيت) أو الزجاج. لذلك، أدى إبعاد تأثير الاحتراق عن منطقة القطع إلى استثمار مقدار أكبر من قدرة الليزر لزيادة الاحتراق داخل العينة. وعلى الرغم من الزيادة الحاصلة في عمق الاحتراق لعينات الأنواع الثلاثة فقد أظهرت الفحوصات المجهرية حصول تشوهات ميكانيكية في منطقة القطع نتيجة عدم انتظام امتصاص شعاع ليزر ثنائي أوكسيد الكربون من قبل عينات البلاستيك إذ أن مسار شعاع الليزر المستمر فوق سطح العينة (ويشكل أدق، مسار العينة أمام شعاع الليزر المستمر) يسبب إجهادات ميكانيكية تمثل أحد أسباب التشوهات الناتجة.

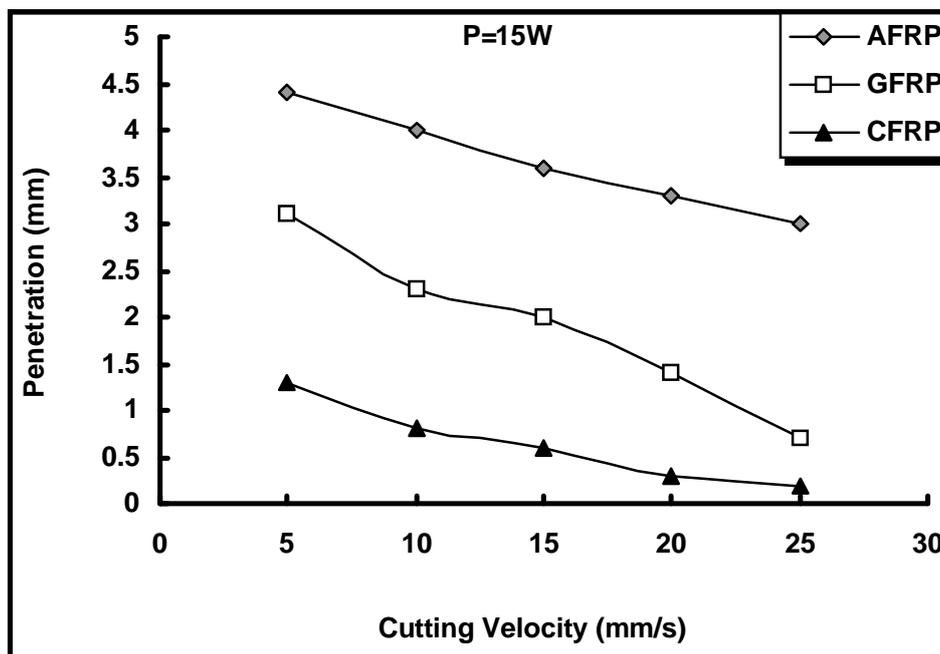
بناءً على ذلك، تم اللجوء إلى تقطيع شعاع الليزر المستمر باستخدام مقطع ميكانيكي (Chopper) أثناء حركة العينة أمام شعاع الليزر مع تحديد سرعة حركة العينة بشكل يسمح بتداخل ضربات الليزر فيما بينها إذ يتم تقليل الإجهاد والشد الميكانيكيين الناجمين عن حركة شعاع الليزر المستمر فوق سطح العينة إذ تصبح الحالة شبيهة باستخدام نبضات من الليزر لاحتراق السطح. أوضحت نتائج استخدام المقطع الميكانيكي حصول انتظام في مقطع منطقة القطع للعينات من الأنواع الثلاثة ولكن على حساب تقليل

إجراء تسوية ما بين هذه المعاملات لتحسين عملية القطع.

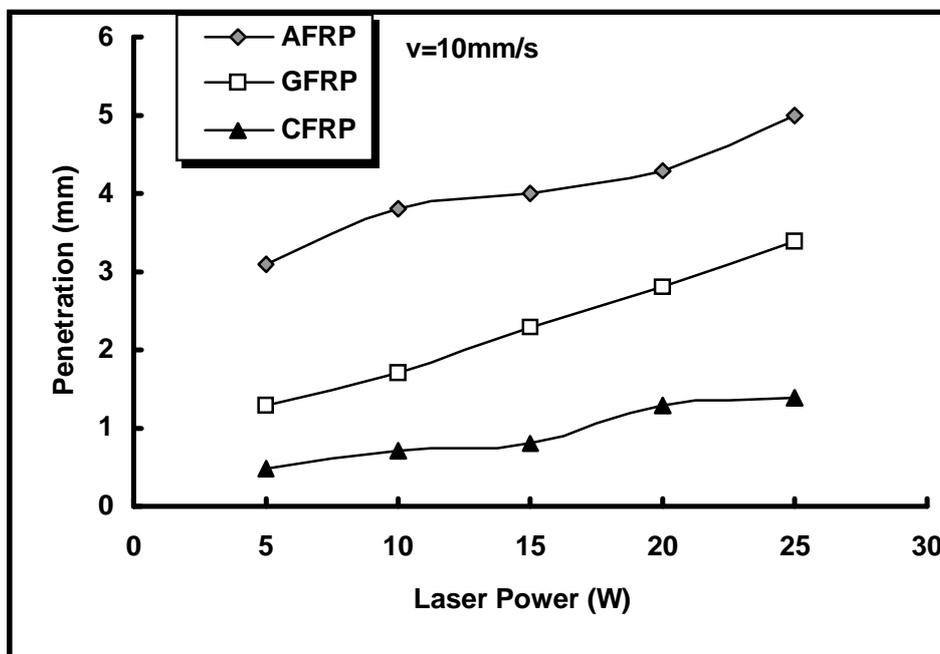
10. Migliore, L., "**Laser Materials Processing**", Marcel-Dekker Inc. (New York), 1996, ch.6.
11. Biermann, S., Geiger, M. and Nuss, R., *SPIE Proc.*, 801, 1987, pp.322-326.
12. Lepore, M. et al, ICALEO'83 Proceeding (Los Angeles), Vol.38, 1983, November 14-17.
13. Ready, J., *Proc. IEEE*, Vol.70, No.6, 1982, pp.533-540.
14. Russel, D., *Weld. Int. Res. Bull.*, Vol.16, No.12, 1975, pp.345-350.
15. Powell, J., "**CO<sub>2</sub> Laser Cutting**", Springer-Verlag (London), 1993, p.103-114.
16. Kuzhukharov, V., Dimitrov, D. and Toncher, D., *Infrared Phys.*, Vol.29, No.2-4, 1989, pp.415-422.
17. Pilletteri, V., Case, E. and Negas, T., *J. Mat. Sci. Lett.*, Vol.9, 1990, p.133-136.
18. Shingematsu, I. et al, *J. Ceram. Soc. Jpn.*, Vol.101, No.5, 1993, p.604-606.
19. Tagliaferri, V. et al, *Composites*, Vol.16, 1985, p.326.

#### REFERENCES:

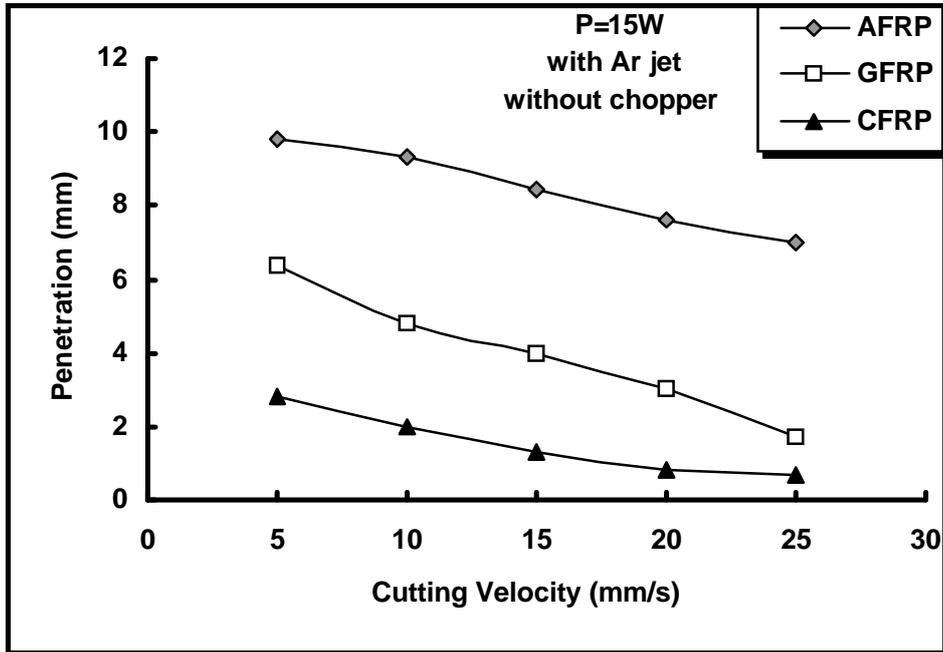
1. Sullivan, B. and Houldcroft, T., *British Welding J.*, August 1967, p.443.
2. Belforte, D. and Levitt, M., "**The Industrial Laser Handbook**", Springer-Verlag (London), 1993, pp.2-36.
3. Steen, W., "**Laser Material Processing**", Springer-Verlag (London), Ch.3, 5, 1991.
4. Steen. W. and Kamalu, J., "**Laser Cutting**", Northland Pub. Co., 1983, p.15-97.
5. Duley, W., "**CO<sub>2</sub> Lasers, Effects and Applications**", Academic Press (London), 1976, pp.271-274, 333-351.
6. Ready, J., "**Industrial Applications of Lasers**", Academic Press (London), 1996.
7. Bass, M., "**Laser Material Engineering**", Northland Pub. Co. (Oxford), 1982.
8. Schoucker, D. and Abel. W., *SPIE Proc.*, 455, 1983, p.88.
9. Harry, J., "**Industrial Lasers and Their Applications**", McGraw-Hill (England), 1974, pp.120-124.



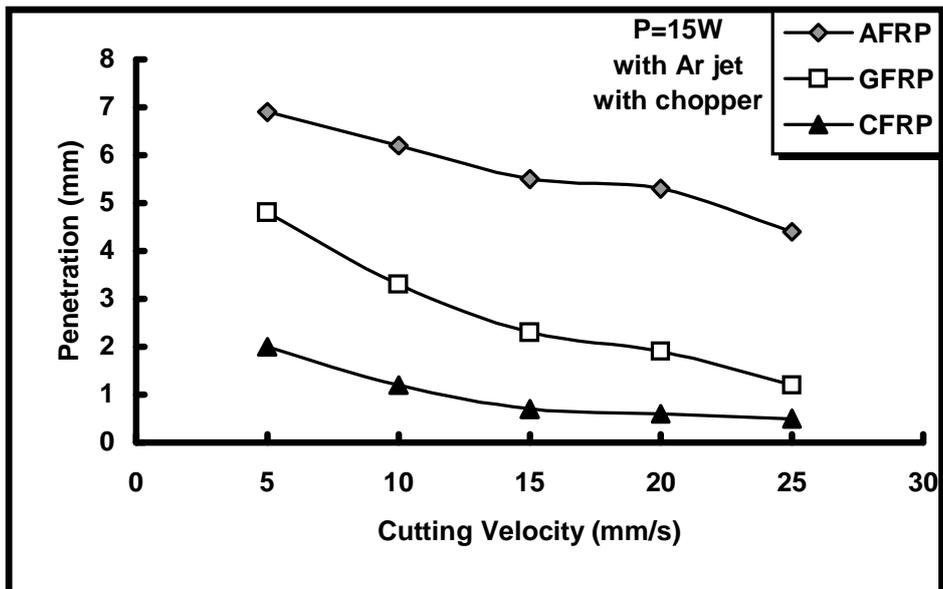
شكل (1)



شكل (2)



شكل (3)



شكل (4)