استخدام غاز الآركون لتحسين عملية تثقيب المعادن بليزر النيديميوم-ياك النبضي

سندس قحطان عبد الرزاق

قسم العلوم التطبيقية - الجامعة التكنولوجية

الخلاصة:

في هذا البحث، جرى استخدام ليزر النيديميوم-ياك النبضي (طاقة خارجة = 5J, أمد نبضة =300µsec) لتثقيب عينات من معادن الرصاص والفولاذ المقاوم للصدأ 304 و البراص والنحاس والألمنيوم. تم إجراء عملية التشعيع في الهواء ومن ثم في حاوية ملائمة يمكن التحكم بالضغط في داخلها حيث تم دراسة تأثير الضغط على عملية التثقيب. جرى بعد ذلك ضخ غاز الآركون إلى داخل الحاوية ودراسة تأثير ذلك على عملية التثقيب وقد لوحظ ازدياداً ملحوظاً في عمق التثقيب باستخدام الغاز مقارنة بالتشعيع في الهواء أو التشعيع تحت ضغوط منخفضة داخل الحاوية. كذلك جرى دراسة تأثير موقع بؤرة حزمة الليزر على عمق التثقيب مع تغير الضغط داخل الحاوية لبناء نموذج رياضي لوصف العملية.

ABSTRACT:

In this work, a pulsed Nd:YAG laser(out put energy=5J and pulse duration=300µsec) was used to perform drilling in samples of lead, stainless steel 304, brass, copper and aluminum. Laser irradiation was carried out in both air and in a suitable chamber of controlled pressure inside. The effect of pressure inside the chamber on the drilling process was investigated. Then, the chamber was filled with argon gas to investigate its effect on drilling process where an enhancement in drilling depth was observed compared to that in case of irradiation in air and chamber of air pressure. As well, the effect of focus position on the process was studied with the pressure varying inside the chamber in order to construct a mathematical model describing such process.

المقدمة:

شاع استخدام الليزرات في التطبيقات الصناعية خلال العقود الثلاثة الماضية بسبب الميزة الأكثر بروزاً لاستخدامها وهو عدم التماس بين مصدر الطاقة (شعاع الليزر) وعينة العمل. كما أن إمكانية تركيز شعاع الليزر إلى حجم صغير جداً أعطى فائدة أخرى و هي محدودية منطقة العمل إذ يمكن تحديد منطقة التفاعل وتقليل التشوهات أو الأضرار الناتجة في المناطق المجاورة إلى أقل حد ممكن. كذلك سمحت تقنيات النبضات القصيرة (Short Pulses) بإنجاز العمليات الصناعية الدقيقة خلال فترة زمنية قصيرة جداً وهذا طبعاً لا يعطي الفرصة لانتقال طاقة شعاع الليزر إلى المناطق المجاورة لمنطقة التفاعل وبالتالي تحدث منطقة التأثير الحراري (Heat Affected Zone) (HAZ). علاوة على ذلك، فقد أدى استخدام الليزرات إلى اختزال حجم الأيدي العاملة المطلوبة لإنجاز العمل وزيادة الدقة في الإنتاج وتقليل نسبة الخطأ بسبب إمكانية استخدام تقنيات السيطرة والبرمجة للعمليات الصناعية مع منظومات الليزر وبشكل كفء.

تعد عملية تثقيب المواد أحد أكثر التطبيقات الصناعية لليزرات شيوعاً بسبب الحاجة إلى إنجاز هذه العملية في أي عملية صناعية وبشكل مطلق. تتلخص ميكانيكية إنتاج الثقوب في المادة باستخدام الليزر بامتصاص المادة لطاقة شعاع الليزر الساقط على سطحها وهذا يزيد من الطاقة الاهتزازية والإلكترونية للتركيب ألجزيئي للمادة لقيم أعلى من قيم الاتزان. يؤدي ذلك إلى ارتفاع سريع لسطح المادة وصولاً إلى درجة الانصهار وبسبب عدم كفاية الوقت لانتشار الحرارة وتوسيع منطقة الانصهار وزيادة امتصاص الطاقة فإن سطح المادة يصل إلى درجة الغليان. يسبب ذلك تبخر جزء من المادة وتطايره خارج منطقة الانصهار ليتكون الثقب المطلوب على السطح. مع استمرار سقوط شعاع الليزر على منطقة الثقب فإن استمرار امتصاص الطاقة يزيد من اختراق الشعاع للمادة وتبخير الأجزاء المنصهرة وهذا يزيد من عمق الثقب باتجاه سقوط شعاع الليزر [1-7].

تعتمد عملية التثقيب بالليزر على عاملين أساسين هما شدة شعاع الليزر الساقط وزمن التشيع بالإضافة إلى اعتمادها على الخواص البصرية والحرارية للمادة نفسها. تعتمد شدة شعاع الليزر الساقط على قدرة شعاع الليزر ومساحة تبئير الشعاع، فيما يتحدد زمن التشعيع بأمد نبضة الليزر المستخدم أو زمن تشعيع سطح المادة إذا كان شعاع الليزر مستمراً. يكون مقدار شدة شعاع الليزر الملائم لعمليات تثقيب المواد المعدنية بحدود ($10^7 W/cm^2$) فيما يتراوح أمد نبضة الليزر الملائم لعمليات التثقيب ما بين (100µsec-1msec) [2,6-7].

أما خواص المادة التي تحدد عملية التثقيب فهي الخواص البصرية كالامتصاصية عند الطول ألموجي لليزر المستخدم وانعكاسية سطح المادة وكذلك الخواص الحرارية كالتوصيلية الحرارية والإنتشارية الحرارية إذ كلما كان مقدار الإنتشارية الحرارية عالياً فإن اختراق الحرارة داخل المادة يكون كبيراً، كما أن الحرارة الكامنة للانصهار والحرارة الكامنة للتبخر والسعة الحرارية النوعية والكثافة ودرجة حرارة الانصهار والتبخر كلها تعد عوامل مؤثرة على عملية تفاعل شعاع اللي زر مع المادة.

يمكن حساب أقصى عمق (d) لتبخر مادة الهدف بالعلاقة الآتية [1]:

$$d=E_o/\{A\rho[c\,(T_B-T_o)+L]\} \qquad (1)$$

حيث E_o طاقة شعاع الليزر (J) و A المساحة المتأثرة بشعاع الليزر (cm^2)، ρ كثافة مادة الهدف (kg/cm^3)، c السعة الحرارية النوعية للمادة (J/kg.K)، T_B درجة غليان سطح المادة (K)، T_o درجة الحرارية الابتدائية للمادة و L الحرارة الكامنة للانصهار (J/kg).

يمكن تمثيل أقصى عمق للتثقيب بأقصى مقدار للمادة المزالة من منطقة التفاعل وقد لوحظ عملياً أن عمق الثقب وقطره يتأثران بعدة عوامل منها خسائر طاقة شعاع الليزر نتيجة الانعكاس عن السطح والتوصيل الحراري إلى داخل المادة كما أن عمق التثقيب يتأثر بكمية المادة المنصهرة والتي لم تتبخر بشكل كلي [6-7].

يؤثر نفث بعض الغازات إلى منطقة التفاعل بين شعاع الليزر والمادة على عملية التفاعل إذ أن نفث بعض الغازات مثل الأوكسجين يضيف كمية من الطاقة إلى منطقة التفاعل بسبب الحرارة المتولدة نتيجة الحرق أو الأكسدة وإن مقدار الطاقة المضافة يتغير تبعاً لنوع مادة الهدف إذ تبلغ نسبة الطاقة المضافة في حالة الفولاذ المقاوم للصدأ حوالي (60%) [4-5] فيما تبلغ (90%) في حالة التيتانيوم [4].

لقد وجد أن نوعية الثقب تتحسن بزيادة ضغط الغاز الذي يتم نفثه إلى منطقة العمل، ومع ذلك فإن نوعية الثقب تصبح واطئة مع زيادة ضغط الغاز عند تثقيب عينات ذات سمك كبير. وإن استخدام الأوكسجين يعطي نتائج تثقيب جيدة وكذلك فإن استخدام نسبة من غاز

الهليوم أو الأركون يعطي نتائج أفضل مع اختيار هذه النسب بشكل ملائم [2, 4, 7-9].

في هذا البحث، جرى مقارنة نتائج تثقيب عينات معدنية باستخدام ليزر النيديميوم-ياك النبضي من خلال التشعيع في جو الغرفة أو داخل حاوية ملائمة تحت ضغوط منخفضة وكذلك في حالة وجود غاز الأركون داخل الحاوية.

الجزء العملي:

استخدم ليزر النيديميوم-ياك النبضي نوع (JK2000) لتشعيع العينات المعدنية وهو يعمل بطول موجي (1.06μm) وطاقة خارجة تصل إلى (5J) بأمد نبضة (300μs) إذ يصل مقدار ذروة قدرة الليزر الخارجة إلى حوالي (16.66kW) بتردد تكرارية (10Hz). بلغ أعظم مقدار لشدة شعاع الليزر عند موقع تبئيره حوالي ($12.82MW/cm^2$). جرى استخدام عينات من الفولاذ المقاوم للصدأ304، البراص، النحاس، الألمنيوم والرصاص بأبعاد ($2x2cm^2$) وجرى تنظيفها بالكحول لإزالة الدهون والأوساخ من على سطحها.

تم تشعيع العينات المعدنية بالليزر في جو الغرفة وعند مواقع مختلفة من تبئير شعاع الليزر وبمعدل نبضة واحدة. بعد ذلك وضعت العينة المراد تشعيعها في حاوية مصنعة لهذا الغرض تحت ضغوط واطئة وعند مواقع مختلفة من تبئير شعاع الليزر أيضاً. أخيراً، جرى ضخ غاز الأركون إلى داخل الحاوية وأجريت عملية تشعيع العينات لبيان تأثير وجود الغاز على عملية التثقيب.

تم استخدام المجهر الضوئي optical microscope مصنع من قبل شركة Leitz لقياس عمق الثقب.

حيث توضع العينة على قاعدة المجهر ويتم تغيير ارتفاعها حتى نحصل على أوضح صورة للسطح, وتسجل القراءة.وبتغيير الارتفاع ثانية يتم الحصول على أوضح صورة للقعر ويعطى عمق الثقب بأخذ الفرق بين القراءتين.

النتائج والمناقشة:

يوضح الشكل (1) تغير عمق الثقوب المنتجة في العينات المعدنية مع تغير شدة شعاع الليزر عند التشعيع في جو الغرفة وعند موقع تبئير شعاع الليزر. يلاحظ أن عمق الثقوب يزداد مع زيادة شدة شعاع الليزر وبشكل مستمر، كما أن العمق الأكبر يتم الحصول عليه في عينة الرصاص ثم يقل في عينات الفولاذ المقاوم للصدأ304، البراص، الألمنيوم والنحاس على التوالي. إن الرصاص يمتلك أقل انعكاسية للطول الموجي (1.06μm) مقارنة بالمواد الأخرى وبالتالي فإنه يمتلك امتصاصية أعلى لهذا الطول الموجي أي أن له القابلية على تحويل الطاقة عند هذا الطول الموجي بمقدار أكبر من بقية المواد.

يوضح الشكل (2) علاقة عمق التثقيب ببعد العينة عن موقع تبئير شعاع الليزر عند تشعيع العينات في جو الغرفة. يلاحظ أن أكبر عمق تثقيب يتم الحصول عليه عند العمل في موقع تبئير شعاع الليزر حيث تكون شدة الشعاع أعظم ما يمكن. وكما لوحظ في الشكل (1) فإن عينات الرصاص تظهر أكبر امتصاصية لطاقة شعاع الليزر من خلال أكبر عمق تثقيب متحقق فيها. إن البلازما المتكونة على سطح العينة يمكن أن تؤدي إلى إعاقة وصول كامل طاقة شعاع الليزر إلى منطقة التفاعل لذا يستوجب استبعاد البلازما المتكونة باستخدام تيار هوائي لضمان عدم ضياع جزء من طاقة شعاع الليزر بسبب الامتصاص من قبل البلازما. كذلك فإن بعض مكونات الهواء يمكن أن تتفاعل مع المادة المنصهرة في منطقة التفاعل وهذا يؤدي إلى تكوين مركبات تؤثر على نوعية الثقب سلباً أو إيجاباً إذ أن احتراق بعض مكونات الهواء مثل النيتروجين والهيدروجين يمكن أن يسبب تكوين حافات هشة وغير منتظمة داخل منطقة الثقب فيما يعمل الأوكسجين على إضافة طاقة حرارية عند احتراقه إلى منطقة التفاعل. ولغرض التعرف إلى تأثير مكونات الهواء على نوعية وعمق الثقب فقد تم اللجوء إلى تشعيع العينات المعدنية داخل حاوية يمكن تفريغها من الهواء.

يوضح الشكل (3) نتائج عملية تشعيع العينات المعدنية بالليزر عند ضغط ($2x10^{-2}$mbar) للهواء داخل الحاوية من خلال علاقة عمق التثقيب ببعد العينة عن موقع تبئير شعاع الليزر. يلاحظ أن عمق التثقيب يزداد بشكل ملحوظ مقارنة بالتشعيع في جو الغرفة ولعل السبب هو التخلص من التأثيرات السلبية لمكونات الهواء على عملية التشعيع نتيجة تفاعل هذه المكونات مع المادة المنصهرة أو المتطايرة عند التشعيع في الهواء. وكما ذكر سابقاً، فإن العمق الأكبر يتحقق في عينات الرصاص ومن ثم الفولاذ المقاوم للصدأ 304 فالبراص والألمنيوم فيما يكون أقل عمق متحقق في عينات النحاس.

لغرض التعرف إلى تأثير الضغط داخل الحاوية على عمق التثقيب، فقد جرى تشعيع العينات المعدنية داخل الحاوية عند ضغوط مختلفة وعند موقع تبئير شعاع الليزر حيث أقصى شدة له. يلاحظ من الشكل (4) الزيادة في عمق التثقيب مع تقليل الضغط داخل الحاوية إلى حد (10^{-2}mbar) حيث تكون الزيادة ضئيلة مع الاستمرار بتقليل الضغط وصولاً إلى ($8x10^{-3}$mbar) إذ يبدأ العمق بالهبوط قليلاً، وهذا يبين تأثير تقليل الضغط من خلال التخلص من مكونات الهواء التي تؤثر سلباً على عملية التشعيع.

جرى ضخ غاز الأركون إلى داخل الحاوية من أجل استبعاد البلازما المتكونة عند منطقة التفاعل وكذلك المواد المتطايرة والمخلفات والغازات التي قد تتواجد فوق سطح المادة وداخل منطقة الثقب إذ يمتاز الأركون بطاقة تأين عالية وسعة حرارية عالية وحجم ذرات كبير.

يوضح الشكل (5) تأثير وجود غاز الأركون على عمق التثقيب المقاس بدلالة بعد العينة عن موقع تبئير شعاع الليزر إذ يزداد عمق التثقيب بنسبة (55%) تقريباً بالمقارنة بالتشعيع في جو الغرفة وبنسبة (30%) تقريباً بالمقارنة مع التشعيع عند ضغط ($2x10^{-2}$mbar) داخل الحاوية وهذه الزيادة تعزى إلى دور غاز الأركون في إبعاد البلازما والمادة المتطايرة والمخلفات والغازات عن منطقة التفاعل وبالتالي تحويل جميع طاقة الليزر تقريباً إلى منطقة التفاعل وتقليل الخسائر.

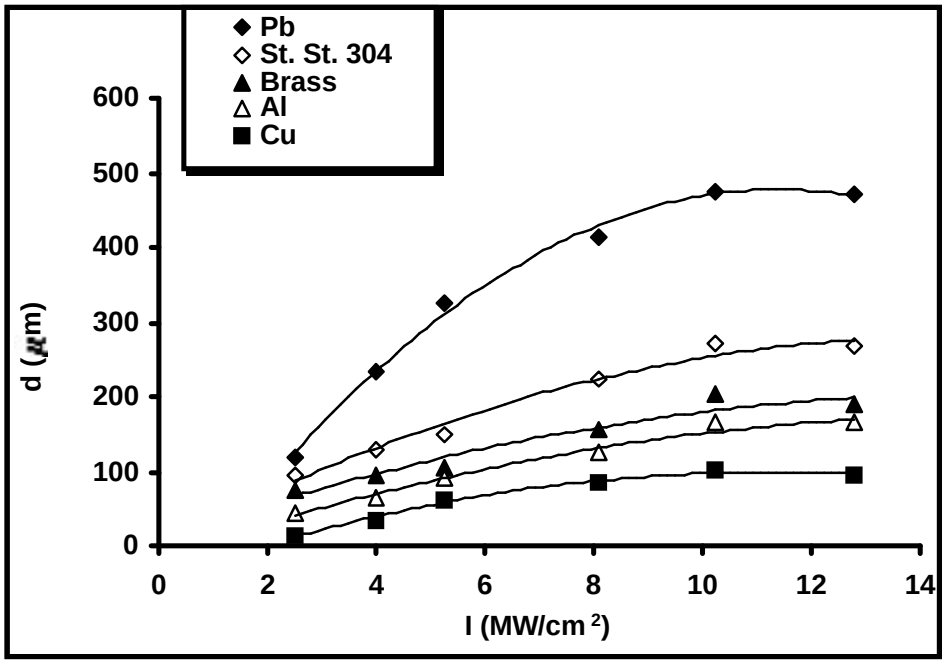
الاستنتاجات:

اعتماداً على النتائج المقدمة في هذا البحث، يمكن استنتاج أن عملية تثقيب المعادن بالليزر تتأثر بشدة بضغط الهواء المحيط بمنطقة التفاعل إذ أن تأثير بعض مكونات الهواء يظهر على العملية سلباً أو إيجاباً كما أن تكوين البلازما فوق منطقة التفاعل يحد من عمق التثقيب من خلال امتصاص جزء من طاقة شعاع الليزر ومنع وصولها إلى منطقة التفاعل. كذلك أوضحت النتائج أن عمق التثقيب يزداد بشكل ملحوظ عند ضخ غاز الأركون إلى منطقة التثقيب إذ يعمل على التخلص من البلازما والمواد المتطايرة والمخلفات والغازات بعيداً عن منطقة التفاعل وهذا ما أكده تشعيع العينات عند ضغوط واطئة داخل الحاوية. يمكن التحكم بعمق التثقيب من خلال التحكم ببعد العينة عن موقع تبئير شعاع الليزر وكذلك ضغط ونوع الغاز المستخدم لتحسين عملية التثقيب.

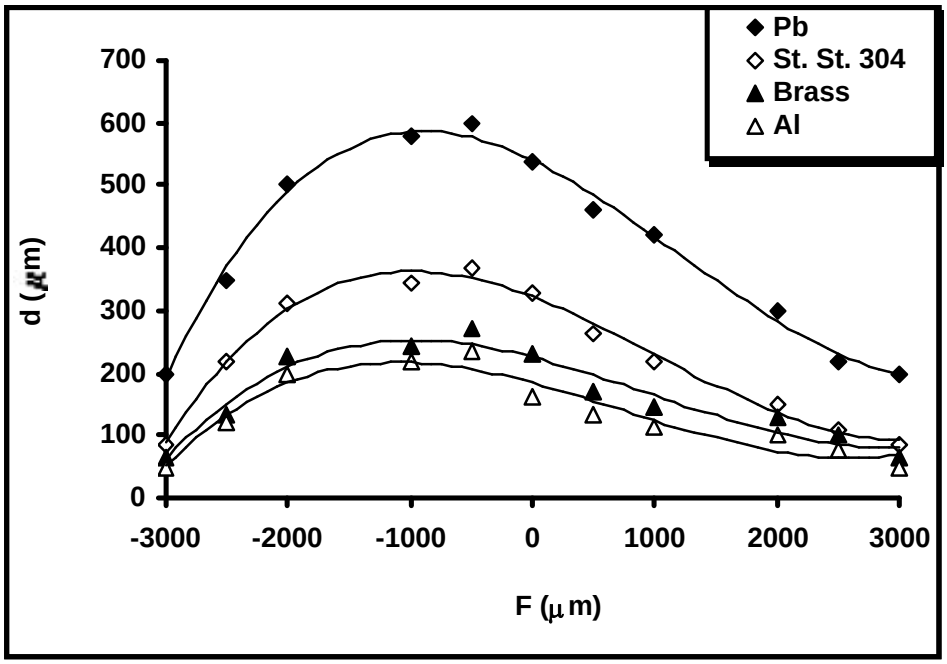
REFERENCES:

1. Charchan, S., "Lasers in Industry", Von Nostrand-Reinhold Co., Ch.3,4, 1972.
2. Ready, J., *Proceeding of IEEE*, Vol.70, No.6, 1982, pp533-544.
3. Hoffman, C., *J. Appl. Phys.*, Vol.45, No.5, 1974.
4. Steen, W., "Laser Material Processing", Northland-Holland Pub. Co., 1991.
5. Powell, J. and Menzies, I., "Principles and Applications of CO_2 Laser", Proc. of 2nd Conf. on Materials Engineering (London), 5-7 Nov. 1985, p. 206.

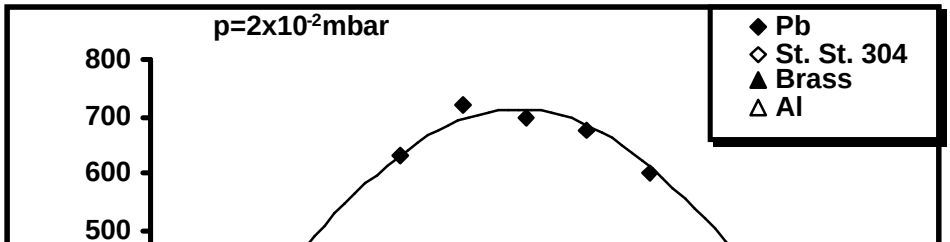
6. Hamoudi, W. and Rasheed, B., Int. J. Joining Mat., Vol.7, No.1, 1995, p.31.
7. Hamoudi, W. and Rasheed, B., *Int. J. Joining Mat.*, Vol.7, No.2-3, 1995, p.63.
8. Voisey, K. et al., "Effects of assist gas in the laser drilling of thermal barrier coated superalloys", University of Cambridge (UK), Private Communications, 1999.
9. Duley, W., "CO_2 Lasers, Effects and Applications", Academic Press (NY), 1976.



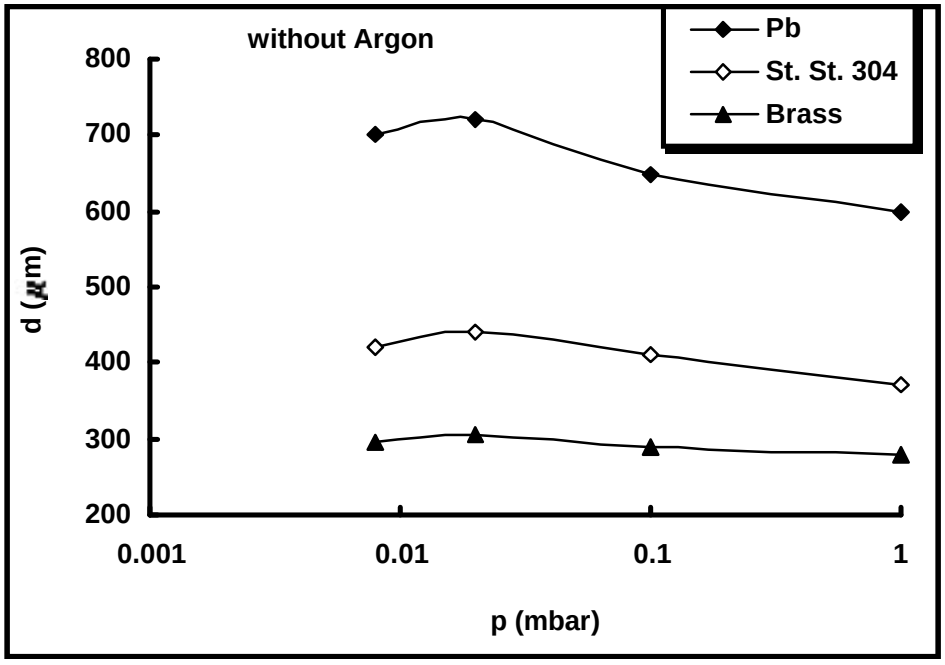
شكل (1)



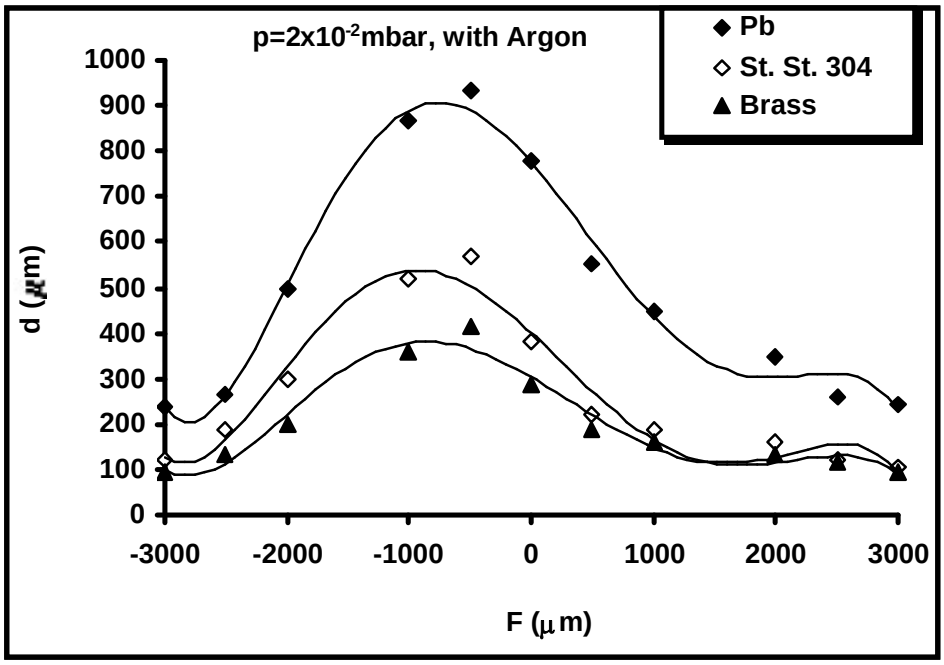
شكل (2)



شكل (3)


without Argon
Pb
St. St. 304
Brass
800
700
600
500
400
300
200
d (μm)
0.001
0.01
0.1
1
p (mbar)

شكل (4)


p=2x10-2mbar, with Argon
Pb
St. St. 304
Brass
d (μm)
F (μm)
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
-3000
-2000
-1000
0
1000
2000
3000

شكل (5)