مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية_ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (3) العدد (٦) 2019
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies- Engineering Sciences Series Vol. (3) No. (6) 2019

علاقة الخلوص بالسماكة وتأثيره على جودة تخريم صفائح فولاذية منخفضة الكربون (St37-2)

سليمان علي *
علي هتره **
إبراهيم محمود***

(تاريخ الإيداع ١١ / ٦ / ٢٠١٩ . قُبل للنشر ٢٤ / ١٠ / ٢٠١٩)

الملخص

تعدّ عملية التخريم من العمليات المهمة في مجال الصناعة، وتتم باستخدام آلية مؤلفة بشكل أساسي من سنبك وقالب وتطبيق قوة ضغط على السنبك، بهدف الحصول على صفائح مخرمة، تستخدم في مجالات عديدة كالغرابيل والمصافي وغيرها من الاستخدامات. تتعلق جودة سطوح التخريم بالخواص الميكانيكية للصفيحة، وأبعاد آلية التخريم ونوع آلة التخريم، ويعدّ طول النتوء من المعايير المهمة في تقييم جودة السطوح المخرمة، ولتحقيق ذلك جرى في هذه الدراسة التركيز على عامل الخلوص بين السنبك والقالب، بالإضافة إلى الخواص الميكانيكية للصفيحة.

ولتحديد العلاقة بين قيمة الخلوص وسماكة الصفيحة، جرى تحديد التركيب الكيميائي والخواص الميكانيكية للصفيحة، وبعد ذلك أجريت تجارب التخريم، باستخدام مكبس ميكانيكي يؤثر على سنبك مقطعه دائري قطره ٢٠ مم، وسماكة صفائح (mm) (5-4-3-2-1-0.5)، بخلوص تخريم يتراوح بين (٥-٢٨) %من سماكة الصفيحة المستخدمة.

وجرى قياس ارتفاع النتوء، واعتماداً على هذا المعيار تم إيجاد علاقة تربط الخلوص الأمثل بالسماكة.

$$C= (14+(S-1)) \%$$

C: الخلوص (mm).

S: سماكة الصفيحة(mm) .

حيث بينت النتائج وجود علاقة طردية بين سماكة الصفيحة والخلوص.

كلمات مفتاحية: السنبك-القالب-التخريم-الاقتطاع-الخلوص-النتوء.

---

*أستاذ مساعد في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية في جامعة تشرين.
**أستاذ مساعد في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية في جامعة تشرين.
***طالب دراسات عليا-ماجستير علم المواد وهندستها-جامعة تشرين.

مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية_ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (3) العدد (٦) 2019
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies- Engineering Sciences Series Vol. (3) No. (6) 2019

The relationship of clearance with thickness and its effect on the quality of the piercing of low carbon steel sheets (st37-2)

*** Suleiman Ali**
****Ali Hatra**
***** Ibraheem Mahmoud**

(Received 11 / 6 / 2019 . Accepted 24 / 10 / 2019)

Abstract

Piercing is an important process in the field of industry. It is done using a mechanic mainly composed of punch and die and applying pressure strength to the punch to obtain pierced sheets used in many fields such as screeners, filters and other uses. The quality of the piercing surfaces is related to the mechanical properties of the sheet, the dimensions of the piercing machine and the type of piercing machine. The length of the burr is important criteria in assessing the quality of the pierced surfaces. In this study, the focus is on the clearance between the punch and the die, in addition to the mechanical properties of the sheet.

To determine the relationship between the clearance value and sheet thickness, the chemical composition and mechanical properties of the sheet were determined to ensure that it was a low carbon steel plate. The piercing experiments were then carried out using a 20 mm diameter punch and sheet thickness (0.5-1-2-3-4-5) (mm) With a clearance (5-28)% of the thickness of the sheet used.

The height of the burr was measured and, based on this criterion, a correlation was found between optimal clearance and thickening. Where the results showed a positive relationship between plate thickness and clearance

$C = (14+ (S-1))\%$

C: Clearance (mm).

S: Thickness (mm).

Keywords:
Punch
die- piercing
-
burr- blanking- clearance-

*Assistant Professor at the Faculty of Mechanical and Electrical Engineering at Tishreen University.
**Assistant Professor at the Faculty of Mechanical and Electrical Engineering at Tishreen University.
***Graduate student - Master of Materials Science and Engineering - Tishreen University.

المقدمة:

تعدّ عملية تشغيل المعادن مثل التخريم والاقتطاع من العمليات المهمة جداً في مجال الصناعة، نظراً للاستخدام الكبير لها سواء في مجال صناعة السيارات أم في مجال صناعة الغرابيل.

وتتكون هذه العملية من سلسلة من الأطوار: الشكل (١).

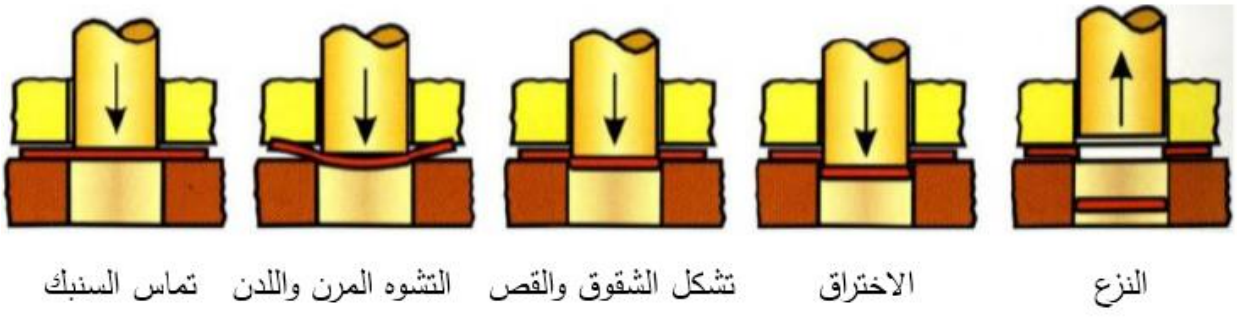
تماس السنبك (contact of the punch):

التشوه المرن واللدن (Elastic and plastic deformation):

تشكل الشقوق والقص (Shearing and crack formation):

الاختراق (Break through):

النزع (Stripping):



الشكل (١) مراحل عملية التخريم.

يمكن أن نميز على سطح القص المناطق الآتية: الشكل (٢).

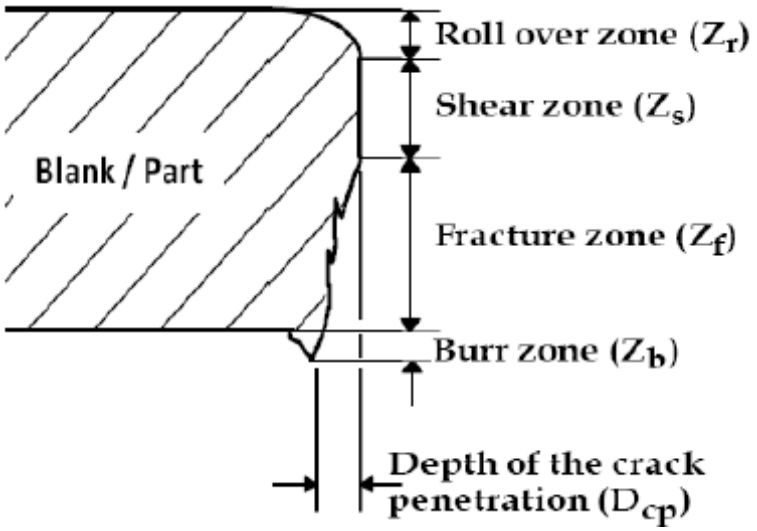
١-منطقة الاستدارة (Rollover Zone): تحدث نتيجة التشوه اللدن للمادة.

٢-منطقة القص (Shear Zone): تكون ناعمة ولماعة وتتشكل خلال قص المادة.

٣-منطقة الكسر أو التمزق (Fracture/Rupture Zone): وتكون خشنة وتتشكل بعد تشقق المادة.

٤-منطقة النتوء (Burr Zone): وتتشكل نتيجة التشوه اللدن.

٥-عمق شق الاختراق ((Depth of crack penetration (DCP): زاوية منطقة الكسر تعتمد بشكل رئيس على الخلوص.



الشكل (٢) أقسام الحافة المقطوعة

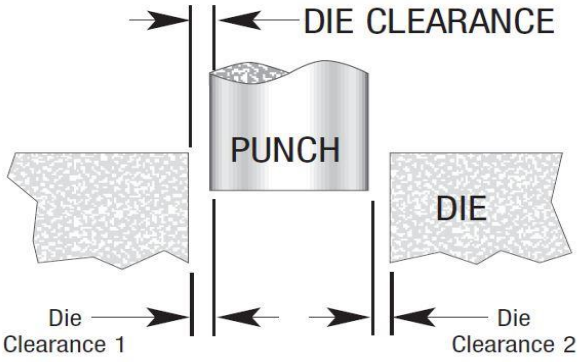
معدل الاختلاف بين هذه المناطق يتعلق بعدة عوامل مثل: الخلوص–نصف قطر زاوية السنبك –خصائص المعدن المراد تخريمه.

ونظراً للاستخدام الكبير للغرابيل في المجالات الصناعية والزراعية وأعمال الديكور والصناعات الغذائية وغيرها من المجالات الأخرى، جرى التركيز في هذه الدراسة على الحصول على الخلوص الأمثل بغية تحسين جودة عمليات التخريم.

ولأن جودة المنتج تعتمد على مقدار ارتفاع النتوء، وبحيث يجب أن يبقى خلوص بين السنبك والقالب، الشكل (٣) للحصول على عملية التخريم وإن هذا الخلوص له دور مهم في عملية التخريم، وفي تحديد ارتفاع النتوء، كان لابد من اختيار هذا الخلوص بشكل دقيق ومثالي.

وإن قيمة هذا الخلوص المثالي تتفاوت اعتماداً على سماكة الصفيحة وخواصها الميكانيكية، حيث كلما كان المعدن أقسى، كان الانفعال أقل، وتظهر الشقوق مبكراً، لذلك يجب أن يكون الخلوص أكبر بشكل مناسب، و كلما كانت الشريحة سميكة، يجب أن يكون الخلوص أكبر، لأنه في حال كان هذا الخلوص أقل من المثالي، يؤدي إلى تدفق وسحب قليل للمعدن في فجوة القالب، ويسبب الالتصاق بين المعدن والسنبك والقالب، وهذا الشيء يسبب زيادة الاحتكاك، ويسهم في زيادة الحمل اللازم للتخريم، ويسهم في زيادة تشكل النتوءات عن طريق تشكل الشقوق الثانوية، وزيادة تركز الإجهادات في القالب مما يؤدي إلى إنقاص عمره.

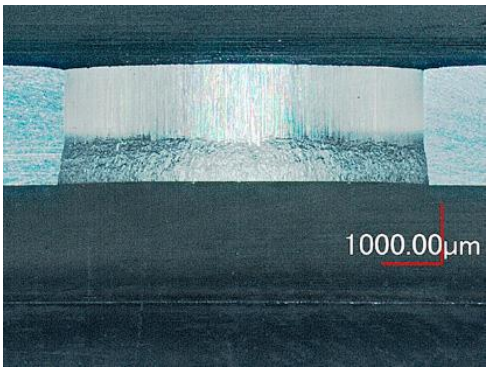
أما الخلوص الزائد يسبب حدوث قدر زائد من التشوه اللدن، وعند حدوث التشقق النهائي، لا يلتقي الشقان الناتجان فيتأخر الانفعال، ويتكون النتوء ويبرز لخارج الحافة المقطوعة، فتتكون حافة حادة تعمل على تركز الإجهادات وتكون سبباً لحدوث الفشل أو التكسر في أثناء عمليات التشكيل اللاحقة.



الشكل (٣) الخلوص بين السنبك والقالب.

في أثناء عمل أدوات التخريم يزداد الخلوص نتيجةً لاهتراء الأسطح الجانبية للسنبك والقالب، وإذا أخذنا هذا بعين الاعتبار، يجب أن نصنع أدوات التخريم بخلوص أصغر من الخلوص المثالي يدعى بالخلوص العادي، ويسمح هذا الإجراء بزيادة عمر آلية التخريم حيث تكون ظروف التخريم قريبة من المثالية ليعطي الخلوص العادي سطح تخريم أقل نعومة، ويتطلب كذلك قوة تخريم أكبر بعض الشيء.

إن الثقب الناتج لا يملك شكلاً اسطوانياً على الارتفاع، ولكنه يبدأ بالتوسع اعتباراً من نقطة محددة باتجاه الداخل الشكل (٤)، عندما نتكلم عن قطر هذا الثقب نقصد بذلك القطر الصغير، وبالتالي قطر الثقب عند المنطقة التي تشكلت في مرحلة الخضوع، وإذا أهملنا الارتداد المرن للمعدن بعد إخراج السنبك، يمكن أن نعتبر أن قطر الثقب سيساوي قطر السنبك، بينما قطر القالب يجب أن يكون أكبر من قطر السنبك بمقدار الخلوص المطلوب عند التخريم.



الشكل (٤) يظهر اختلاف قطر الثقب من الجهتين.

من ناحية ثانية ينقص من ميل السطح الجانبي للمقصوصات ويبدو هذا بشكل واضح عند إنتاج المقصوصات السميكة، حيث إن ميل السطوح الجانبية للمقصوصات، يؤدي إلى اختلاف أبعادها من الجهتين.

ويمثل الخلوص(Clearance) أهم البارامترات المؤثرة على جودة التخريم وقوى القص، إلا انه لا يوجد أية علاقة عامة ثابتة تعطي قيمة لخلوص التخريم، بحيث تؤمن سطوح تخريم ذات جودة عالية لا تحتاج إلى عمليات تشغيل لاحقة مكلفة اقتصادياً. يظهر الشكل (٥) عينتين تم إجراء عملية تخريم عليهما إحداهما جيدة والأخرى سيئة.

B A

الشكل(٥) مقارنة بين منتجين جيد (B) وغير جيد(A).

حيث تتضمن الدراسات المرجعية عدداً كبيراً من العلاقات التجريبية، والتي تربط بين السماكة ومتانة القص أو متانة الشد لنوع محدد من الصفائح، والتي تبين أنها لا تصلح لغيرها من الصفائح ذات الخواص المختلفة وذات التركيب الكيميائي المختلف. للحكم على جودة سطوح التخريم أو الاقتطاع، جرى التركيز في الدراسات المرجعية على مجموعة من المعايير القابلة للقياس مثل ارتفاع النتوء (Burr) في السطح المعاكس للصفيحة المقصوصة على حواف الثقب الشكل (٢).

ولقد تضمنت المراجع العلمية الكثير من الجداول والعلاقات، التي تساهم في تحديد الخلوص [1] يوضح الجدول (١) كيفية تحديد الخلوص اعتماداً على سماكة الصفائح وعلى نوع الصفيحة المعدنية، سواء كانت فولاذية (منخفضة أو متوسطة الكربون) أو الفولاذ المقسى أو من النحاس وسبائكه، يبين هذا الجدول وجود علاقة طردية خطية بين الخلوص والسماكة لأي نوع من الصفائح المعدنية.

الجدول (١) يبين قيم الخلوص لبعض أنواع الصفائح المعدنية تبعاً للسماكة

المادة	سماكة المعدن (مم)				
	<1.0	١ إلى ٢	٢,١ إلى ٣	٣,١ إلى ٥	٥,١ إلى ٧
فولاذ منخفض الكربون	٥	٦	٧	٨	٩
نحاس	٥	٦	٧	٨	٩
فولاذ متوسط الكربون	٦	٧	٨	٩	١٠
نحاس قاسي	٦	٧	٨	٩	١٠
فولاذ قاسي	٧	٨	٩	١٠	١٢

كما يبين الجدول (٢) مجموعة من الدراسات المرجعية قام بها الباحثون على صفائح فولاذية كربونية بهدف الوصول إلى الخلوص الأمثل كنسبة مئوية من السماكة، ونلاحظ من هذا الجدول تفاوت القيم المثلى للخلوص (٢-٢٥) %بحسب كل باحث، الأمر الذي يجعل من الصعوبة الاعتماد على قيمة محددة لهذا الخلوص؛ مما يستدعي عملية البحث في هذا الخصوص.

الجدول(٢) القيم المثلى للخلوص كنسبة مئوية من السماكة:

نوع المعدن	السماكة (mm)	قيمة الخلوص (% من السماكة)	رقم الدراسة المرجعية
AISI 304	١	%(١٢-١١)	[2]
Mild Steel	٢	%(١٠-٢)	[3]
low carbon steel	٨	%١٠	[4]
A high-strength steel sheet	١,٦	%(٢٠-٥)	[5]
AA6111-T4	١	%٢٠	[6]

أهمية البحث وأهدافه:

نظراً لإقبال البلد إلى مرحلة إعادة الإعمار، والحاجة الماسة للغرابيل في صناعة الإسمنت والبلوك وكسارات الحجر، التي لها دور كبير في عملية تعبيد الطرق، بالإضافة إلى استخدام الغرابيل في المجال الزراعي من خلال الدرّاسات التي تؤمن مختلف أنواع الحبوب (قمح _ شعير فول _ بازلاء _ حمص .....).

وكذلك استخدام الغرابيل في المطاحن، لإنتاج الطحين الصالح للاستخدام البشري، أو لإنتاج المواد العلفية المستخدمة في المجال الحيواني الحيواني، واستكمالاً لهذا الموضوع فإن هذه الدراسة تهدف:

إلى إيجاد علاقة تضبط الخلوص بحسب سماكة الصفيحة المراد تخريمها، وذلك من خلال الاعتماد على ارتفاع النتوء كمعيار لجودة التخريم؛ وذلك بهدف التخلص من النتوءات والسطح الخشن الناتجين عن عملية التخريم والاستغناء عن إجراء عمليات تشغيل لاحقة، لإزالة هذه النتوءات مما يوفر الوقت والجهد.

طرائق البحث ومواده:

•التحليل الطيفي لمعدن الصفيحة موضوع الدراسة:

جرى تحليل عينة الاختبار باستخدام جهاز التحليل الطيفي (Foundry-Master) الموجود في مخبر مقاومة المواد في كلية الهندسة التقنية بطرطوس؛ بهدف الحصول على التركيب الكيميائي.

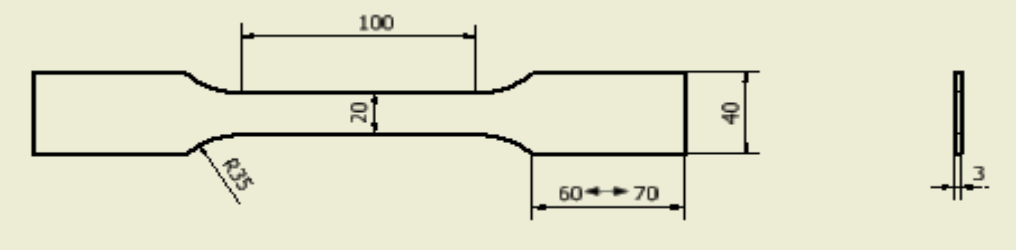
فأظهرت نتائج التحليل أن المعدن المستخدم هو فولاذ (ST37-2) كما في الجدول (٣).

الجدول (٣) التركيب الكيميائي للصفائح المستخدم في دراسة علاقة سماكة الصفيحة بالخلوص:

Cu	Al	Ni	Mo	Cr	S	P	Mn	Si	C	Fe
0.018	0.14	0.0113	0.0063	0.0262	0.029	0.003	0.331	0.0434	0.065	99.1

•اختبار الشد لمعدن الصفيحة موضوع الدراسة:

وجرى اختبار الصفيحة المراد تخريمها بواسطة جهاز الشد الموجود في مخبر مقاومة المواد في كلية الهندسة التقنية بطرطوس، وذلك بعد تجهيزها كما هو موضح بالشكل (٦) الذي يظهر عينة الاختبار؛ وذلك وفق المواصفة القياسية (iso 2566-2).



الشكل (٧) جهاز اختبار الشد وشكل وأبعاد عينة الاختبار.

فكانت نتائج اختبار الشد كما هو مبين في الجدول (٤).

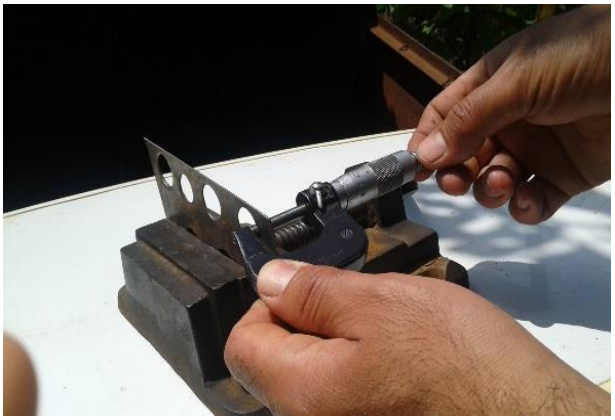
الجدول (٤) الخواص الميكانيكية للصفائح المستخدم في دراسة علاقة سماكة الصفيحة بالخلوص:

متانة الشد R_m (MPa)	**قوة الشد القصوى F_m (KN)**	**معامل المرونة E (MP_a)**	**متانة الخضوع الدنيا R_{eL} (MP_a)**	**متانة الخضوع العليا R_{eH} (MP_a)**	**الاستطالة**
٣٦٢,١	٢١,٧٣	٧٣١٢,٣	٢٦٧,١	٢٩٠,٨	%١٧,٣

•عمليات التخريم على الصفيحة موضوع الدراسة (أُجريت التجارب العملية لهذه الدراسة في منشأة الهادي لصناعة الغرابيل في منطقة صافيتا في عام ٢٠١٩).

أُجريت تجربة تخريم على ست صفائح بسماكات (٠,٥-١-٢-٣-٤-٥) مم بقطر تخريم (٢٠مم) للسنبك ذي الرأس المسطح ومجال خلوص (٥-٢٨) % من السماكة.

•قياس ارتفاع النتوء باستخدام الميكرومتر كما هو مبين في الشكل (٧).

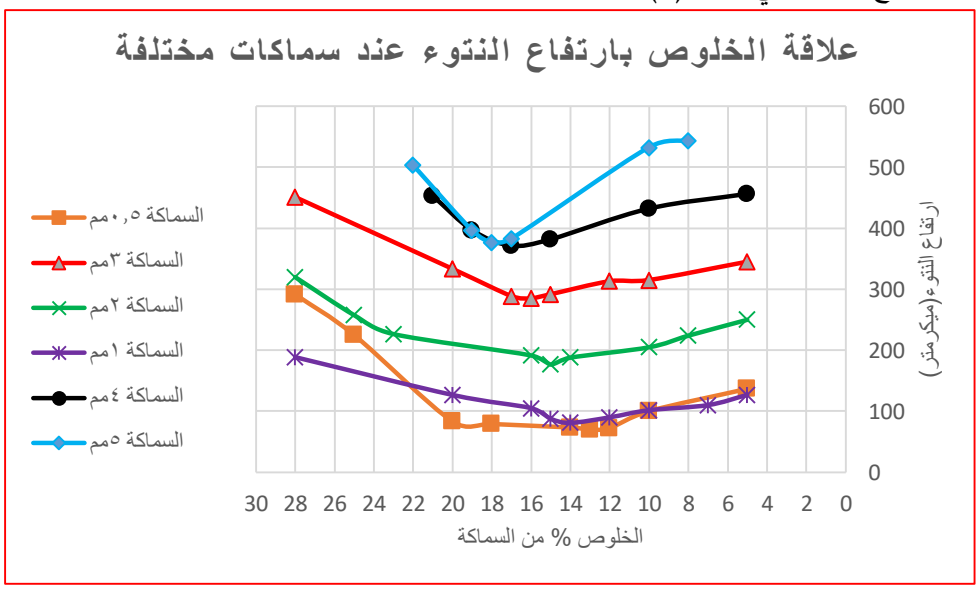


الشكل (٧) طريقة قياس ارتفاع النتوء.

النتائج والمناقشة:

بعد إجراء عملية التخريم العملية للصفائح بسماكات (٠,٥-١-٢-٣-٤-٥) مم، جرى قياس ارتفاع النتوء ثلاث مرات بأماكن مختلفة من الحافة المقطوعة، باستخدام الميكرومتر لكل سماكة من السماكات.

فكانت النتائج كما هو في الشكل(٨)



الشكل (٨) علاقة الخلوص بارتفاع النتوء عند سماكة مختلفة.

من الشكل (٩) نلاحظ أن:

أقل ارتفاع للنتوء عند تخريم صفائح بسماكة (٠,٥مم) كان عند خلوص (١٣) % من السماكة.

$C=14+ (0.5-1) =13.5\ \%$

أقل ارتفاع للنتوء عند تخريم صفائح بسماكة (١مم) كان عند خلوص (١٤) % من السماكة.

$C=14+ (1-1) =14\%$

أقل ارتفاع للنتوء عند تخريم صفائح بسماكة (٢مم) كان عند خلوص (١٥) % من السماكة.

$C=14+ (2-1) =15\%$

أقل ارتفاع للنتوء عند تخريم صفائح بسماكة (٣مم) كان عند خلوص (١٦) % من السماكة.

C=14+ (3−1) =16%

أقل ارتفاع للنتوء عند تخريم صفائح بسماكة (٤مم) كان عند خلوص (١٧) % من السماكة.

C=14+ (4−1) =17%

أقل ارتفاع للنتوء عند تخريم صفائح بسماكة (٥مم) كان عند خلوص (١٨) % من السماكة.

C=14+ (5−1) =18%

ومنه يمكن أن نستنتج العلاقة الآتية:

$$C= (14+(S-1)) \%$$

C: الخلوص كنسبة مئوية من السماكة.

S: سماكة الصفيحة المراد تخريمها.

وذلك عند تخريم صفائح سماكتها ١مم أو أكثر أم عند تخريم صفائح سماكتها أقل من ١مم فنختار خلوص ١٣% من السماكة.

ويمكن تفسير هذه النتيجة بأن عملية التخريم تترافق مع ظاهرة التصلد الانفعالي بالقرب من سطح التخريم، وبالتالي زيادة قساوة هذه المنطقة وانخفاض حد الخضوع مقارنة مع بقية المناطق، الأمر الذي يتطلب خلوصاً أكبر.

عند زيادة السماكة تتناقص مقاومة القص، مع ثبات بقية المواصفات الميكانيكية للمعدن المقصوص؛ ويمكن تفسير هذه الظاهرة بأن المعدن ذا السماكة الكبيرة يملك مطاوعة أكبر، وقساوة أقل من المعدن القليل السماكة.

وحيث إن الخلوص القليل يسبب تدفقاً وسحباً قليلاً للمعدن في فجوة القالب، ويسبب التصاقاً بين المعدن والسنبك والقالب، وهذا الشيء يسبب زيادة الاحتكاك، ويسهم في زيادة الحمل اللازم للتخريم ويسهم في زيادة تشكل النتوءات عن طريق تشكل الشقوق الثانوية.

أما الخلوص الزائد فيسبب حدوث قدر زائد من التشوه اللدن، وعند حدوث التشقق النهائي لا يلتقي الشقان الناتجان فيتأخر الانفعال ويتكون النتوء ويبرز لخارج الحافة المقطوعة، فتتكون حافة حادة تعمل على تركز الإجهادات وتكون منشأً لحدوث الفشل أو التكسر في أثناء عمليات التشكيل اللاحقة.

الاستنتاجات والتوصيات:

١-الاستنتاجات:

من التجارب السابقة التي أُجريت في هذه الدراسة نستنتج:

- الخلوص الأمثل لعملية تخريم صفائح فولاذية من نوع (ST37-2)، وذات سماكات مختلفة أكبر من (١مم) يعطى بالعلاقة (١):

$$C= (14+(S-1)) \% \qquad (1)$$

٢ –التوصيات:

نوصي بما يأتي:

- ضرورة معرفة الخواص الميكانيكية للصفيحة المراد تخريمها من خلال تجربة الشد، ومعرفة التركيب الكيميائي للصفيحة بتحليلها طيفياً.
- دراسة العوامل الأخرى التي تؤثر على جودة السطوح الناتجة عن عملية التخريم مثل الشكل الهندسي للسنبك.
- دراسة عامل الاهتراء في السنبك وقالب التخريم وتأثيره على تغير الخلوص وبالتالي جودة عملية التخريم.
- الاستفادة من البرامج الحاسوبية لإجراء محاكاة لعملية التخريم اختصاراً للجهد والوقت.
- اختيار سرعة مناسبة لعملية التخريم تجمع بين ارتفاع نتوء قليل ومعدل اهتراء قليل.

المراجع:

1.AMOL, T; RAHUL, N; SAGAR, B (2013). *An Overview of Factors Affecting In Blanking Processes*. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering.* Volume **3**, Issue 3.

2.QUAZI,T,Z;SHAIKH, R,S. *(2012). An Overview of Clearance Optimization in Sheet Metal Blankin Process*.*International Journal of Modern Engineering Research (IJMER).* Vol.**2**, Issue.6, Nov-Dec. 2012 pp-4547-4558.

3.J, A, SOARES; M, L, GIPIELA; S, F, LAJARIN; P, V, P, MARCONDES. (2013). *Study of the punch–die clearance influence on the sheared edge quality of thick sheets*. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. ISSN 0268-3768.Volume **65**.

4.LE, Q,B; DEVRIES, J,A; GOLOVASHCHCHENKO, S,F; BONNEN, J,J,F.(2014) *Analysis of sheared edge formability of aluminum*, *Journal of Materials Processing Technology*, 214, 876-891**.**

5.T, YASUTOMI; S, YONEMURA; T, YOSHIDA; M, MIZUMURA; S HIWATASHI. (2017). *Blanking Method with Aid of Scrap to Reduce Tensile Residual Stress on Sheared Edge*. *36th IDDRG Conference – Materials Modelling and Testing for Sheet Metal Forming. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 896*.

6.X, H, HU; X, SUN; S, F, GOLOVASHCHENKO. (2016). *An integrated finite element-based simulation framework: From hole piercing to hole expansion*. Journal. www.elsevier.com/locate/finel.