

# دراسة عمليات إنهاء الأسطح لصلب العدد AISI D2 ومدى تأثيرها على مقاومة البلى

محمود هامل ومحمد مختار عتيق\*

شركة التقنيات الهندسية - طرابلس

\*قسم الهندسة الميكانيكية والصناعية- كلية الهندسة جامعة الفاتح  
البريد الإلكتروني: ategm@hotmail.com

## ABSTRACT

Dry hard turning is a more beneficial practical process compared to a grinding operation, according to recent studies, hard turning increases quality, reduces cost and lead-time for machined parts. In this study, effects of workpiece hardness, feed rate, depth of cut and cutting speed on surface roughness were studied using chamfered and honed CBN inserts. Effects of machining conditions on surface roughness in finish hard turning of AISI D2 tool steel are investigated experimentally and analytically. Four factors (hardness, depth of cut, feed rate and cutting speed) were considered and two level fractional experiments were conducted and analysis of the variance was performed by using MINITAB Software. Furthermore the effects of grinding of heat treated AISI D2 specimens on surface roughness were conducted and a comparison took place with hard turning.

Due to wear rate being considered an important factor affecting workpiece life (cutting tools, dies, punches, and molds) the block-on-ring wear test was used to evaluate machined parts and the effect of surface roughness on wear resistance was investigated and plotted.

## الملخص

اعتمادا على بحوث ودراسات أجريت حديثا حول الإنهاء السطحي للمعادن الصلدة على الجاف (Dry Finish Hard Turning) وجد أن للخراطة الصلدة مزايا عدة مقارنة بالطرق التقليدية الأخرى مثل عمليات التجليخ (Grinding) من بينها زيادة جودة المنتج وخفض الوقت المستهلك في الإنتاج وانخفاض التكلفة للوحدة المنتجة وزيادة الإنتاجية. في هذه الورقة تم اختيار عدة عوامل تؤثر على جودة ونعومة سطح المنتج لمعدن (AISI-D2)، حيث تمت دراسة صلادة المعدن وظروف التشغيل (سرعة القطع ومعدل التغذية وعمق القطع) على خشونة السطح بطريقتين، الأولى باستخدام تقنيات الإنهاء السطحي عن طريق الخراطة الصلدة (Finish Hard Turning Technique) باستخدام أداة قطع من نيتريد البورون المكعب (CBN) والثانية باستخدام تقنيات الإنهاء السطحي عن طريق التجليخ (Soft Machining Hardening Technique) حيث تم قياس خشونة السطح على محيط العينات وأخذ متوسط القراءات، حيث استخدم برنامج (MINITAB Software) كأداة لتعيين عدد التجارب وتداخل العوامل ومن ثم توضيح تأثير هذه العوامل بيانيا على خشونة السطح. كما تمت دراسة تأثير معدل البلى على أسطح العينات وذلك باستخدام (Block-on-Ring Test) حيث تم دراسة تأثير خشونة السطح على مقاومة البلى ورسمها بيانيا.

**الكلمات المفتاحية:** الخراطة الصلدة؛ عوامل التشغيل، صلب العدد AISI D2؛ الإنهاء السطحي، معدل البلى

## المقدمة

إن التطور المستمر في مجال التصميم والصناعة جعل كفاءة الأجزاء الهندسية لا تعتمد فقط على خواص المعدن ولكنها تعتمد أيضا على جودة السطح، حيث يعتبر البحث في تقنيات الإنهاء السطحي للحصول على الجودة المطلوبة من أهم فروع البحوث التطبيقية. وبمقارنة تقنيات الإنهاء السطحي باستخدام الخراطة الصلدة مع تقنيات الإنهاء السطحي باستخدام التخليخ وجد إن الطريقة الأولى توفر العديد من المزايا التي تجعل الفنيين يسعون إلى تطبيقها لما توفره من وقت وجهد. وتطبيق هذه التقنية يكون صعبا بعض الشيء خصوصا باستخدام الآلات التقليدية لأنه يحتاج إلى سرعة عالية وقوة تثبيت عالية حيث يكون تطبيقه على الآلات المبرمجة بالحاسوب (CNC) أكثر فعالية [6-1].

تتأثر تقنيات الإنهاء السطحي باستخدام الخراطة الصلدة بعدة عوامل منها ما يتعلق بأداة القطع أو المادة الخام المراد تشغيلها أو الآلة المستخدمة أو طريقة تثبيت العينة، فكل ذلك يؤثر على جودة السطح ودقة الأبعاد والتي تعتبر من أهم عناصر المنافسة [7-9]. تستخدم أداة القطع لقم من نيتريد البورون المكعب (CBN) عادة في الإنهاء السطحي باستخدام الخراطة الصلدة وذلك لعدة اعتبارات منها أنها تحافظ على متانتها في درجات الحرارة العالية تعتبر ذات صلادة عالية جدا قريبة إلى الماس مما يساعد كثيرا على تشغيل المعادن الصلدة [10-12]، والشكل (1) يبين رسم توضيحي لتقنية الخراطة الصلدة.

### خواص معدن العينة (الصلادة)

تعتبر الصلادة ومقاومة المعدن للبلى والتشكيل من أهم الخواص التي تؤثر في وظائف السطح وخصوصا في إنتاج القوالب المعدنية والبلاستيكية التي تعتمد كثيرا على نعومة سطح عالية، لذلك فإن طريقته تشغيل المعادن الصلدة تختلف من حيث ظروف التشغيل، وللحصول على نعومة وجودة سطح عالية يجب اختيار سرعة القطع ومعدل التغذية وعمق القطع اختيارا مناسباً. درس في بحث سابق [13-15] العوامل التي تؤثر على تقنيات الإنهاء السطحي باستخدام الخراطة الصلدة حيث استنتج انه كلما زادت الصلادة زادت خشونة السطح لصلب العدد (AISI H13) كما أكدتها بحوث سابقة [16-19] أظهرت آثار سلبية للصلادة العالية على وظائف وجودة السطح وكذلك مقاومة البلى لأداه القطع.

### أداة القطع

أنتجت أداة القطع من مادة تسمى (Cubic Boron Nitride) (CBN) وهي مادة صناعية تلحم في اطراف الكريبيدات لها مميزات كثيرة فهي علاوة عن كونها ذات متانة وصلادة عالية فان لها القدرة على مقاومة التآكل وعلى تحمل درجات الحرارة العالية ( $1300^{\circ}\text{C}$ ) قبل أن تنهار مما يحد من استخدام سوائل التبريد. تصنع هذه الأداة في شكل بلورات بواسطة مادة رابطة حيث يوضع الخليط عند درجة حرارة ( $1446^{\circ}\text{C}$ ) تحت ضغط يعادل 947.340 Psi. لفترة زمنية معينة وينتج عن ذلك لقم متينة وصلدة وتحمل قوة الضغط أثناء القطع حسب الشكل الهندسي المطلوب. أستنتج في دراسة سابقة أنه كلما كان نصف قطر حافة القطع كبير زاد من تركيز الاجهادات على السطح وأعطى فرصة لظهور الطبقات البيضاء (White Layers) على السطح [20]، وفي دراسة اخرى أثبتت هذه الدراسة أن الشكل الهندسي لأداة القطع له تأثير فعال على جودة السطح الناتج [21]، كما قام Qzel [23] بتحليل الاجهادات على أداة القطع باستخدام طريقة العناصر

المتناهية (Finite element)، كما درس Choy [22] تأثير نسبة (CBN) على تآكل اللقم أثناء التشغيل وكذلك تأثير نسبة الكريبيدات في المعدن على أداة القطع.

### ظروف التشغيل

حيث إن صلادة المعدن مرتفعة (50-65HRC) في تقنيات الإنهاء السطحي باستخدام الخراطة الصلدة هذا مما يؤثر على أداء أداة القطع نتيجة الظروف القاسية أثناء التشغيل والذي يعتمد على عوامل منها خواص المعدن المشغل وصلادته وكذلك على ظروف التشغيل مثل سرعة القطع ومعدل التغذية وعمق القطع خصوصا في حالة التشغيل على الجاف للحد من التأثيرات الجانبية لسوائل التبريد الغير مرغوب فيها تقنيا وبيئيا.

وُجد في تطبيقات عملية أن سرعة القطع ومعدل التغذية وعمق القطع لها تأثير فعال على جودة السطح عند تشغيل المعادن الصلدة وتؤثر أكثر على عمر أداة القطع (Tool life) حيث وجد انه كلما زادت سرعة القطع ومعدل التغذية زادت خشونة عند استخدام صلب العدة AISI 52100 [22]. وجد في بحث اخر انه كلما زاد معدل التغذية كلما زادت خشونة السطح خصوصا عند قيمة الصلادة المرتفعة عند استخدام صلب العدد AISI H13 [25].

### العوامل التي تؤثر في حساب خشونة السطح.

تقاس خشونة السطح بإحدى طريقتين وهما الأكثر شيوعا:

### متوسط الخشونة (Ra (Roughness average

ويعبر عنه بالقيمة الحسابية المتوسطة للخشونة (AA) أو (CLA) متوسط خط الوسط .

$$Ra = \frac{1}{L} \int |y(x)| dx = \frac{1}{N} \sum |y_i| \quad (1)$$

الجذر التربيعي لمتوسط الخشونة (Rq (Root – Mean – Square

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{N} \int y^2(x) dx} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum y_i^2} \quad (2)$$

حيث (Ra) هي المتوسط الحسابي للانحراف عن الخط الأساسي.

L = هو طول العينة.

Y = هو المحور الراسي للمنحنى الجانبي ويعبر على المتوسط الحسابي للابتعاد عن خط الأساسي.

متوسط الخشونة Ra، تعتبر الأكثر استخداما و لسهولة حسابها للتعبير عن نعومة وجودة السطح تم

استخدامها في هذه الورقة.

### معادلة خشونة السطح

كما هم معروف أن معادلة خشونة السطح تعتمد على معدل التغذية وكذلك نصف قطر حافة أداة القطع وتتغير خشونة السطح بتغير مربع معدل التغذية ولكن هذا النموذج يكون صالحا في خراطة معادن غير صلدة أما بالنسبة للمعادن الصلدة فان اعتبارات وعوامل أخرى تؤثر في خشونة السطح مما يتطلب دراسة هذا النموذج وإمكانية تطبيقه في الخراطة المعادن الصلدة [1].

$$Ra = \frac{f^2}{32re} \quad (3)$$

حيث:

Ra = خشونة السطح (مم)

f = معدل التغذية (مم)

re = نصف قطر حافة الأداة (مم)

## أسلوب وطريقة التجارب

### أهداف الدراسة

تهدف الدراسة إلى فهم التقنية الحديثة في مجال تنعيم الأسطح التي تعتبر من أهم الخطوات الإنتاجية التي يعتمد عليها جودة المنتج وخاصة في إنتاج القوالب بأنواعها. تهدف هذه الدراسة أيضا إلى تحليل ودراسة العوامل التي تؤثر في جودة السطح مثل صلادة المادة الخام و ظروف التشغيل في المعادن الصلدة باستخدام تقنيات الإنهاء السطحي باستخدام الخراطة الصلدة عند استخدام صلب العدد (AISI D2)، حيث تم بحث وتحليل تداخل هذه العوامل مع بعضها وتأثيرها على السطح وكما تم دراسة تأثير عمليات التنعيم على مقاومة البلى للمعدن صلب العدد (AISI D2) الذي تم اختياره في هذه الدراسة لما له من أهمية في صناعة القوالب وعدد القطع.

### تصميم التجارب

تم استخدام (Minitab Software) وذلك لتحديد عدد التجارب التي ستجرى باستخدام تقنيات الإنهاء السطحي باستخدام الخراطة الصلدة وكذلك إجراء التداخل بين جميع العوامل وهي الصلادة وسرعة القطع ومعدل التغذية وعمق القطع. حيث إن من أهم مميزات software Minitab ليس فقط إيجاد أفضل تداخل بين العوامل بل كذلك إمكانية تحليل ورسم النتائج بعد رصدها لتسهيل عملية الفهم وإظهار تأثيرها على نعومة وجودة السطح على شكل منحنيات توضح علاقاتها مباشرة مع جودة السطح ولإمكانية مقارنة النتائج مع التجليخ. الجدول (1) يوضح هذه العوامل وقيم المستويات لها حيث تمت الخراطة حسب قيم ظروف التشغيل الموضحة في الجدول وذلك بعد تثبيت العينة في المخرطة، وقد تمت الخراطة حيث تعرضت القطع لنفس عدد مشاوير القطع على طول العينة تقريبا ثم تم قياس خشونة السطح لكل عينة عدة مرات بشكل عشوائي على المحيط وحساب المتوسط

الجدول 1: العوامل التي استخدمت في الدراسة ومستوياتها

متوسط نعومة السطح (Ra) $\mu m$	الصلادة 51-56 HRC	عمق القطع 0.1-0.25 mm	سرعة القطع 100-200 (m/min)	التغذية 0.05-.15 rev/min
.72	1	1	-1	1
.82	1	-1	1	1
.41	-1	-1	1	-1
.36	-1	1	-1	-1
.40	-1	-1	-1	1
.37	1	-1	-1	-1
.48	-1	1	1	1
.68	1	1	1	-1

بعد ذلك أجريت عملية التجليخ على المجموعة الثانية بظروف تشغيل ثابتة حيث كانت سرعة دوران حجر التجليخ حوالي 30.000 rpm و 150 rpm للعينة ومعدل تغذية ثابت وعمق قطع ثابت

حوالي 0.05 مم. قيست الصلادة عشوائياً على السطح ثم عرض نتائج الخراطة بيانياً ومقارنتها مع نتائج عملية التجليخ. أخذت العينات بعد ذلك للفحص المجهرى لبيان تأثير السطح نتيجة ارتفاع الحرارة أثناء التنعيم واستخدام المجهر الالكتروني (SEM) لذلك.

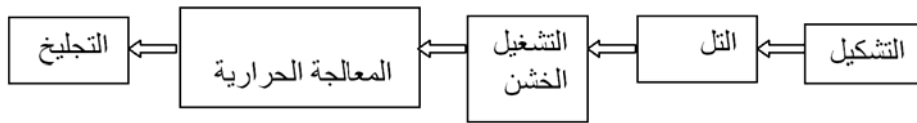
### تجهيز العينات

تمت عملية قص العينات من معدن (AISI D2) بقطر 40 مم وبطول 80 مم وتم تقسيم العينات إلى مجموعتين المجموعة الأولى سيتم عليها تقنيات الإنهاء السطحي باستخدام الخراطة الصلدة والمجموعة الثانية سيتم عليها تقنيات الإنهاء السطحي باستخدام التجليخ. تقسم العينات إلى مجموعتين من حيث الصلادة حيث يتم رفع صلادة المجموعة الأولى إلى حوالي (50HRC) والثانية إلى (55HRC) وذلك بوضعها في فرن المعالجة الحرارية، بعد الانتهاء من المعالجة تم قياس الصلادة عشوائياً على سطح العينات وتم حساب متوسط القيم فوجدت 51HRC للمجموعة الأولى و56HRC للمجموعة الثانية وذلك باستخدام مقياس ركويل، والجدول (2) يوضح الخطوات التي تمت لإجراء رفع صلادة العينات .

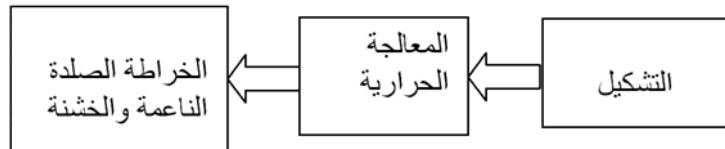
عند إجراء التنعيم بواسطة تقنيات الإنهاء السطحي باستخدام التجليخ فان العينة تمر بمراحل تبدأ من إزالة الاجهادات (Annealing) ثم الخراطة الخشنة (rough machining) تنتقل بعد ذلك إلى المعالجة الحرارية (hardening) لرفع صلابتها ثم إلى التجليخ للحصول على نعومة ودقة في الأبعاد كما في الشكل (1-1) بينما لإجراء تقنيات الإنهاء السطحي باستخدام الخراطة الصلدة فان العينة يتم رفع الصلادة لها مباشرة ثم تتم الخراطة الصلدة الخشنة والتنعيم في عملية واحدة لضمان نعومة سطح عالية ودقة في الأبعاد كما في الشكل (1-ب)، الشكل (1-ج، د) يوضح عملية تثبيت وإجراء التنعيم للعينات.

الجدول 2: خطوات ومراحل إجراء الصلادة للعينات

العملية	درجة الحرارة (°C)	الزمن (min)	وسط التبريد	الصلادة (HRC)
تسخين مبدئي	600	60		
التصليد	1040	2.5/1mm	الزيت	64-62
التبريد المفاجئ	60-50			
الغسيل	90		ماء ساخن	
المراجعة	200	60	تبريد بالهواء	51
	300			56



الشكل 1-أ: تقنيات الإنهاء السطحي باستخدام التجليخ



الشكل 1-ب: تقنيات الإنهاء السطحي باستخدام الخراطة الصلدة



(د) تنعيم باستخدام الخراطة الصلدة

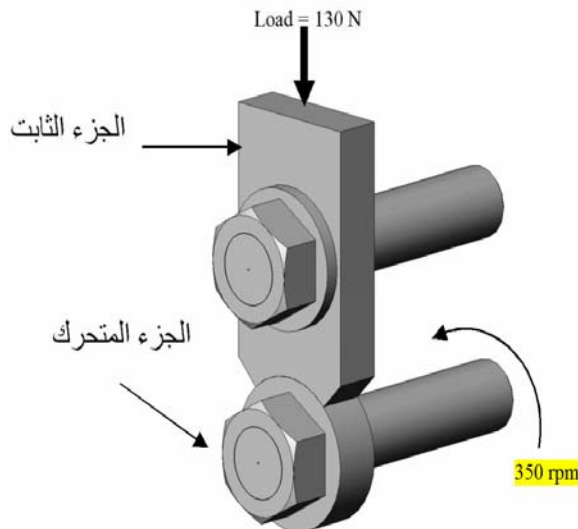


(ج) عملية التنعيم (التجليخ)

الشكل 1: تقنيات التنعيم المستخدمة

### إجراء اختبار البلى (block-on-ring test)

بعد الانتهاء من قياس نعومة السطح وتدوين النتائج تجهز العينات لاختبار البلى باستخدام تقنية اختبار البلى Block-on-ring test شكل (3). تتم عملية قص العينات التي تم اجراء التنعيم لها لانتاج الحلقة ( الجزء المتحرك ). لملائمتها واستخدامها في اختبار البلى وتدور بسرعة ثابتة 350 دورة/دقيقة، وتم استخدام تقنية القطع بالسلك لانتاج الشكل الحلقى في الجزء الثابت الذي يثبت عموديا ويضغط على الحلقة بقوة 130 نيوتن ويكون من نفس المعدن وبنفس الخواص، وقبل بداية الاختبار يجب أن تكون العينات نظيفة وجافة وخالية من الشوائب. ولقياس معدل البلى يستخدم ميزان رقمي حساس حيث يتم وزن الحلقات قبل وبعد انتهاء فترة كل اختبار.

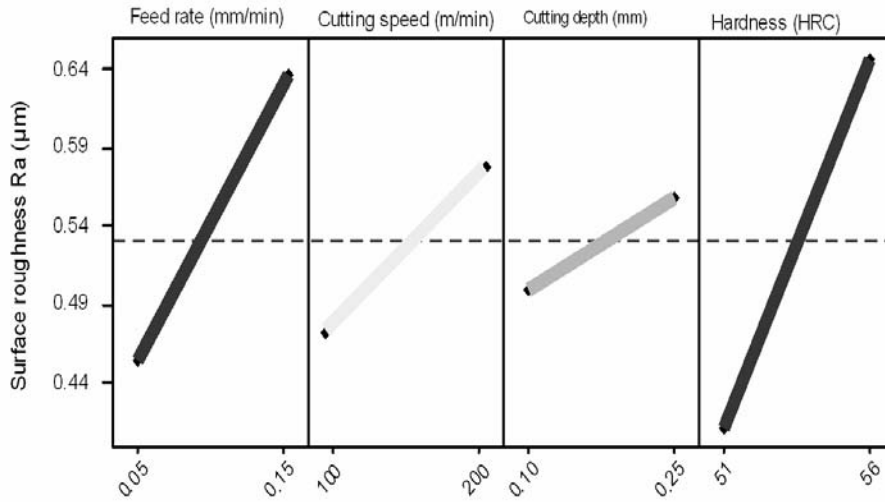


الشكل 11: تقنيات اختبار البلى المستخدمة (Block-on-ring test)

## النتائج وتحليل الاختبارات

### تأثير العوامل الأساسية على جودة السطح

تظهر نتائج ( MINITAB Software ) خشونة السطح Ra باستخدام تقنيات الإنهاء السطحي باستخدام الخراطة الصلدة وقد تم بيان تأثير كل عامل على خشونة السطح. في شكل (3) عرض تأثير تداخل ظروف التشغيل مع صلادة المعدن وبيان تأثير انخفاض وارتفاع الصلادة مع كل عامل من عوامل التشغيل على جودة السطح حيث نلاحظ إن صلادة المعدن ومعدل التغذية لها أكبر تأثير على جودة السطح ، أما سرعة القطع كانت تأثيرها بسيط ويكاد يكون مهملاً بالنسبة لتأثير عمق السطح، حيث كلما زادت الصلادة زادت خشونة السطح و كلما زاد معدل التغذية زادت خشونة السطح.



الشكل 3: تأثير ظروف التشغيل على نعومة السطح باستخدام تقنية الخراطة الصلدة (AISI D2, Ø30x80mm)

### نتائج وتحليل اختبارات البلى

#### مناقشة نتائج اختبارات البلى

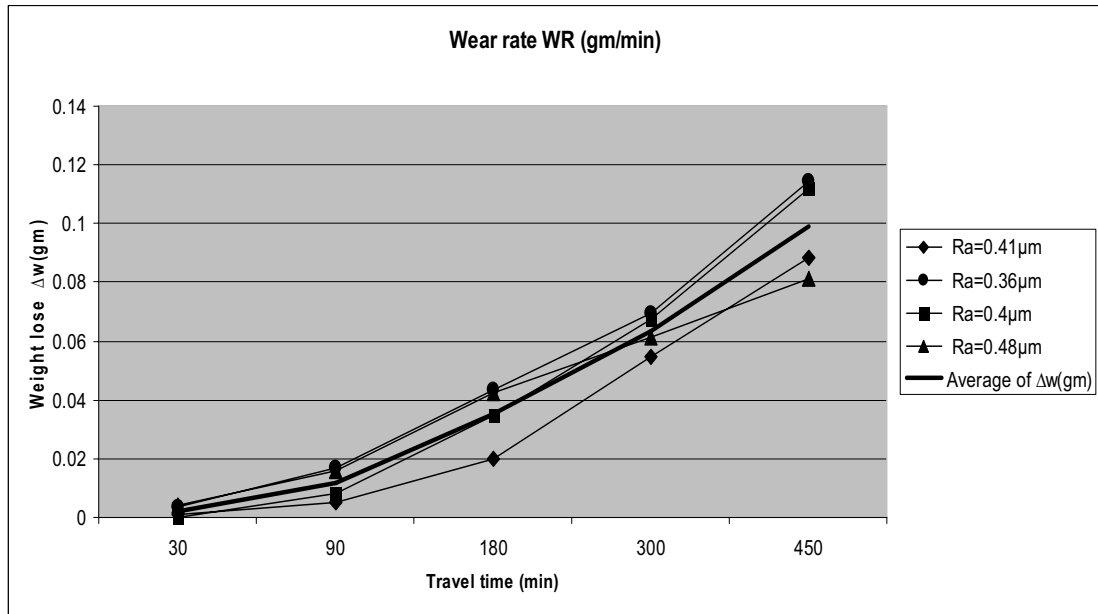
#### تأثير خشونة السطح على معدل البلى (عينات الخراطة ذات صلادة 51HRC)

الجدول (3) يعرض نتائج الاختبارات للعينات ذات الصلادة الأقل بحساب فقد الوزن مقابل الزمن، بالمقارنة يمكن ان يلاحظ نفس السمة لمعدل البلى مع مرور الزمن،

#### الجدول 3 : نتائج العينات ذات الصلادة الأقل (51HRC) بحساب الخسارة في الوزن بالنسبة للزمن

Travel time (min)	$\Delta w$ (gm) Ra=0.41µm	$\Delta w$ (gm) Ra=0.36µm	$\Delta w$ (gm) Ra=0.4µm	$\Delta w$ (gm) Ra=0.48µm	Average of $\Delta w$ (gm)
30	0.001	0.0036	0	0.0039	0.002125
90	0.005	0.0171	0.0084	0.0156	0.011525
180	0.0198	0.0435	0.0345	0.0424	0.03505
300	0.0545	0.0697	0.0673	0.0611	0.06315
450	0.0882	0.1144	0.112	0.0814	0.099

الشكل (4) يوضح العلاقة بيانياً لنفس الجدول. نتيجة لانخفاض خشونة السطح الناتجة ذلك يؤثر على انخفاض فقد الوزن نتيجة الاحتكاك بين الجزء الثابت والمتحرك في الفترة الزمنية الأولى ويعطى مقاومة حسنة للبلى. تأثير درجة الصلادة لوحظت في العينات 51HRC حيث المعدل عالى لفقد الوزن بالنسبة للزمن.



الشكل 4: معدل البلى كملاقة بين الخسارة في الوزن و الزمن لعينات الخراطة (51HRC)

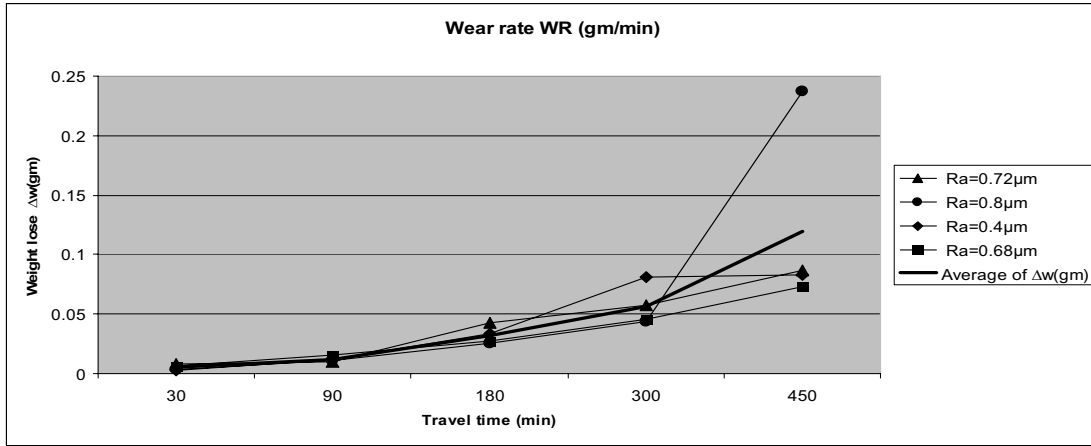
تأثير خشونة السطح على معدل البلى (عينات الخراطة ذات صلادة 56HRC) الجدول (4) يعرض نتائج الاختبارات للعينات ذات الصلادة الاعلى 56HRC وذلك بحساب فقد الوزن بالنسبة للزمن. بالمقارنة يلاحظ نفس سمة معدل البلى بالنسبة للزمن

الجدول 4: نتائج العينات ذات الصلادة الاعلى (56HRC) بحساب الخسارة في الوزن بالنسبة للزمن

Travel time (min)	Δw(gm) Ra=0.72μm	Δw(gm) Ra=0.8μm	Δw(gm) Ra=0.4μm	Δw(gm) Ra=0.68μm	Average of Δw(gm)
30	0.0082	0.004	0.003	0.0066	0.00545
90	0.0103	0.0107	0.012	0.0156	0.01215
180	0.0426	0.0252	0.034	0.0275	0.032325
300	0.0577	0.0436	0.081	0.0454	0.056925
450	0.0871	0.2368	0.083	0.0726	0.119875

الشكل (5) يوضح بيانياً النتائج وهذه السمة نتيجة لارتفاع خشونة السطح في بداية الاختبار مما أدى إلى فقد اكبر للوزن نتيجة الاحتكاك مما أدى إلى مقاومة اقل للبلى. تأثير الصلادة لوحظ وتبين إن الصلادة الأعلى تسبب في زيادة مقاومة البلى.





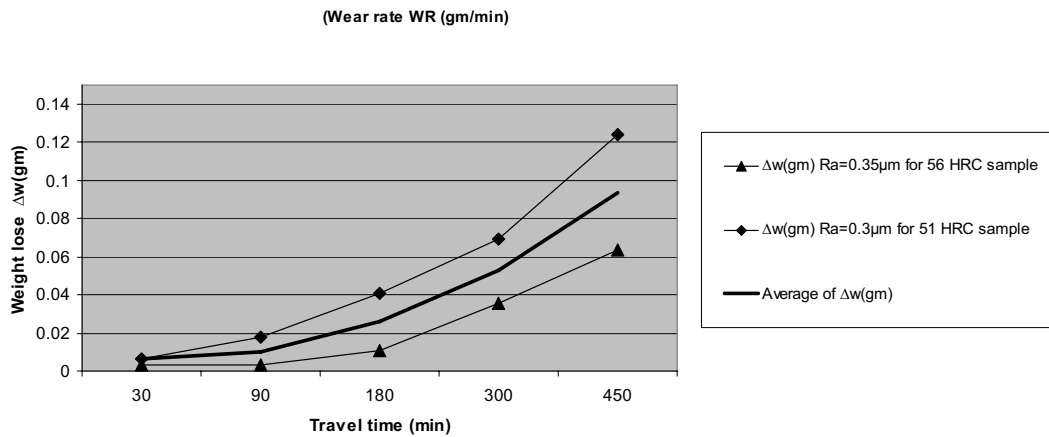
الشكل 5 : معدل البلى كعلاقة بين الخسارة فى الوزن و الزمن لعينات الخراطة (56HRC)

### تأثير خشونة السطح على معدل البلى (عينات التجليخ)

الجدول (5) يعرض نتائج الاختبارات للعينات التجليخ لكل من الصلادة الاعلى والاقل بحساب فقد الوزن بالنسبة للزمن. بالمقارنة يمكن ان نلاحظ ان البلى بالنسبة للزمن قد حسب بالوزن. الشكل (6) يوضح العلاقة بيانيا هذه الخصائص للعينات التجليخ ذات الصلادة 56 HRC و 51HRC و خشونة سطح 0.34 مم و 0.4 مم على التوالى، حيث فى بداية الزمن لوحظ فقد اقل للوزن نتيجة الاحتكاك مما يدل على مقاومة اعلى للبلى. هذه النتائج تؤكد ان استخدام الخراطة الصلدة فى تشغيل AISI D2 بطروف تشغيل ملائمة يحسن جودة السطح ومقاومة البلى.

الجدول 5 : نتائج العينات التجليخ (51-56HRC) بحساب الخسارة فى الوزن بالنسبة للزمن

Travel time (min)	Δw(gm) Ra=0.35µm for 56 HRC sample	Δw(gm) Ra=0.3µm for 51 HRC sample	Average of Δw(gm)
30	0.003	0.0065	0.0065
90	0.003	0.0179	0.01045
180	0.0111	0.0405	0.0258
300	0.0357	0.0692	0.05245
450	0.0633	0.1238	0.09355



الشكل 6: معدل البلى كعلاقة بين الخسارة فى الوزن و الزمن للعينات التجليخ (51-56HRC)

## الخلاصة

- عوامل وظروف التشغيل لها تأثير مباشر على جودة السطح عند استخدام الإنهاء السطحي باستخدام الخراطة الصلدة حيث كلما قلت الصلادة و قل معدل التغذية تحصلنا على أفضل نعومة للسطح (0.36  $\mu$  m).
- كلما زادت الصلادة أكثر من 50 HRC زادت خشونة السطح وهذه نتيجة موافقة لدراسات أجريت سابقا.
- عند العينات ذات الصلادة الاقل وخشونة سطح اقل كانت مقاومة البلى اعلى بينما كلما زادت خشونة السطح زاد معدل البلى.
- التذبذب فى منحنى البلى فى التنعيم التقليدى مؤشر على انخفاض مقاومة البلى
- نظراً لما تمثله تقنيات الإنهاء السطحي باستخدام الخراطة الصلدة من نقلة مميزة في عالم التشغيل للمعادن الصلدة أصبح من الضروري فهم التقنية ودراستها وتبنيها من قبل الجامعات والمراكز التخصصية.ولزيادة الفائدة من هذا البحث يوصي بإيجاد مقارنة بين تقنيات الإنهاء السطحي باستخدام الخراطة الصلدة و تقنيات الإنهاء السطحي باستخدام التجليخ وذلك بتعيين نسبة النقص في الزمن المستهلك وبالتالي إيجاد الفرق في تكلفة الإنتاج بين الطريقتين. إيجاد نموذج هندسي يحوي هذه العوامل المؤثرة على خشونة السطح وإيجاد معادلة يمكن من خلالها توقع معدلات البلى بالإعتماد على نوع المعدن وطريقة التشغيل.

## المراجع

- [1] Friction, Lubrication, and Wear Technology Vol. 18. ASM Handbook, ASM International, 1992.
- [2] BAYER RG, Mechanical Wear Prediction and Prevention. Marcel dekker, 1995.
- [3] Steve F- Krar ALbrt F check "technology of machine tools" fifth addition MCGRAW-HILL (1997).
- [4] George Krauss "steel heat treatment and processing principles" ASM (2000)
- [5] Raoland A Walsh MCGRO "Machining and metal working" -HILL (1997)
- [6] Milton, C. chaw "Metal cutting principles" Clarendon press, Oxford (1994)
- [7] Andreas Packeisen & Werner Theisen "Turning And Grinding Of Hard Alloys" Advanced Engineering Material 1999, 1, No 1.
- [8] Guo, Y.B, Sahni J. "A comparative study of hard turned and cylindrically ground white layers" International Journal of Machine Tools & Manufacture. 44 (2004) 135-145
- [9] Jack Feng C. X. and Wang X. "Development of Empirical Models for Surface Roughness Prediction in Finishing Turning" Int. J Adv Mamuf Technol (2002) 20 348-356.
- [10] Anselmo Eduardo Diniz, Ricardo Micaroni "Cutting conditions for finish turning process aiming: the use of dry cutting" International Journal of Machine Tools & Manufacture. 42 (2002) 899-904

- [11] Rech, J, Moisan A. "Surface integrity in finish hard turning of case-hardened steels" *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. 43 (2003) 543-550
- [12] Gérard Poulachon, B.P. Bandyopadhyay "Wear behavior of CBN tools while turning various hardened steels" *Wear* 256 (2004) 302-310
- [13] DeJong, J. T., Frost, J. D., and Saussus, D. R., "Measurement of Relative Surface Roughness at Particulate-Continuum Interfaces," *Journal of Testing and Evaluation*, JTEVA, Vol. 30, No. 1, Jan. 2002, pp. 8-19.
- [14] Carrie, K. Harris, Justin P. Broussard and Jerry K. Keska "DETERMINATION OF WEAR IN A TRIBO-SYSTEM" *Industrial Technology Department, College of Engineering Lafayette, Louisiana 70504, USA*
- [15] Aaron Vernon, Tugrul Özel, IE "Factors Affecting Surface Roughness In Finish Hard Turning" *Working Paper: 03-104*
- [16] Narutaki, Y N Yamane, "Tool wear and cutting temperature of CBN tools in machining of hardened steels", *Annals of the CIRP*, Vol. 28/1, 1979, pp. 23-28.
- [17] Hodgson, T, Trendler P.H.H and Michelletti G. F, "Turning hardened tool steels with Cubic Boron Nitride inserts", *Annals of CIRP*, Vol. 30/1, 1981, pp. 63-66.
- [18] Chou, Y. S, and Barash M. M, "Review on hard turning and CBN cutting tools", *SME Technical Paper, Proceedings of 1st International Machining and Conference*, MR95-214, 1995, pp. 951-962.
- [19] Matsumoto Y, Hashimoto F, and Lahoti G, "Surface integrity generated by precision hard turning", *Annals of the CIRP*, Vol.48/1, 1999, pp. 59-62.
- [20] Thiele, J. D, Melkote S. N, Peascoe R. A, Watkins T. R, "Effect of cutting-edge geometry and workpiece hardness on surface residual stresses in finish hard turning of AISI 52100 steel", *ASME Journal of Manufacturing Science and Engineering*, Vol. 122, 2000, pp.642-649.
- [21] Thiele, J. D, Melkote S. N, "Effect of cutting edge geometry and workpiece hardness on surface generation in the finish hard turning of AISI 52100 steel", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 94, 1999, pp. 216-226.
- [22] Chou, Y.K, Evans C.J, Barash M. M, "Experimental investigation on CBN turning of AISI 52100 steel", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 134, 2003, pp. 1-9.
- [23] Özel, T, "Modeling of hard part machining: effect of insert edge geometry in CBN tools", *Journal of Materials Processing Technology*, in press, 2003.
- [24] Toenshoff H. K, Arendt C, R. Ben Amor, "Cutting hardened steel", *Annals of the CIRP*, Vol. 49/2, 2000, pp. 1-19.
- [25] Tugrul Özel, Tsu-Kong Hsu, Erol Zeren "Effects of cutting edge geometry, workpiece hardness, feed rate and cutting speed on surface roughness and forces in finish turning of hardened AISI H13 steel" *Department of Industrial and Systems Engineering Rutgers, The State University of New Jersey, New Jersey 08854 USA*
- [26] Kopac, J, Bahor M, "Interaction of the workpiece material's technological past and machining parameters on the desired quality of the product surface roughness", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 109, 2001, pp. 105-111.

- [27] Koenig W, Komanduri R, Toenshoff H. K, G. Ackeshott, “Machining of hard metals”, Annals of CIRP, Vol.33/2, 1984, pp. 417-427
- [28] Davies, M. A, Burns, T. J, Evans C. J, “On the dynamics of chip formation in machining hard metals”, Annals of the CIRP, Vol.46/1, 1997, pp.25-30
- [29] Andreas Packeisen and Werner Theisen “turning and grinding of hard alloys” Journal of advanced engineering materials 1999, 1, No.1
- [30] EL-Wardany, T. I and Kishawy, H. A. “Surface integrity of die material in high speed hard machining “Journal of Manufacturing Science and Engineering, November, 2000. Vol., 122