



## دراسة تأثير تركيز المحلول الساكن في عملية التشغيل الكيميائي على الخشونة السطحية ومعدل الازالة المعدنية للفولاذ منخفض الكربون

نسرین داخل فهد\*

قسم هندسة المواد، كلية الهندسة، جامعة الكوفة

### ARTICLE INFO

Received: 27/10/2016

Accepted: 14/3/2017

### الكلمات المفتاحية

التشغيل الكيميائي، الفولاذ منخفض الكربون، الخشونة السطحية، معدل الازالة المعدنية.

### الخلاصة

تعتبر عملية التشغيل الكيميائي من طرق التشغيل الغير تقليدية، ومن الضروري دراسة الاسس الرئيسية للعملية و العوامل المؤثرة على الطريقة. تم في هذا البحث الوصول الى اعلى نعومة سطحية و باقل معدل تآكل عند تشغيل احد سبائك الفولاذ منخفض الكربون الواسعة الاستخدام. تم استخدام هذه السبيكة لتشغيلها كيميائيا باستخدام محلول المحفر ( Ferric chloride  $FeCl_3$ ). العوامل المؤثرة التي تم دراستها: زمن التشغيل وتركيز المحفر حيث تمت دراسة ثلاث تراكيز للمحفر (٢٠، ٤٠، و ٦٠%) كل عينة تم تشغيلها بازمان مختلفة (١، ٣، ٥، ٧ و ٩دقيقة). معدل الازالة المعدنية تم حسابه بالاعتماد على الفقدان بالوزن كونالية التشغيل الكيميائي تعتمد على التآكل. اجريت فحوصات الصلادة والخشونة السطحية والفحص بمجهر القوة الذرية لسطوح العينات المشغلة كيميائيا قبل عملية التشغيل الكيميائي وبعدها. اوضحت النتائج ان اقل خشونة سطحية سجلت في النموذج المشغل كيميائيا عند تركيز المظهر (٦٠%) و زمن (١) دقيقة. وتبين من بين العوامل المستخدمة في الدراسة تركيز المظهر كان التأثير الاهم على معدل الازالة المعدنية والخشونة السطحية للسطح المشغل.

©2017 AL-Muthanna University. All rights reserved.

## Studying effect of static concentration for chemical machining on surface roughness and metal removal rate for low carbon steel

### ABSTRACT

Chemical machining is one of non traditional machining methods. It is necessary to study the main foundations of the process and the parameters affecting this process. In this research worked to reach the higher surface smoothness and lowest metal removal when a low carbon steel alloy was machined. Been using this alloy of chemically machined using etchant solution (Ferric chloride  $FeCl_3$ ). Factors that have been studied: machining time and concentration of etchant where three concentrations were studied (20, 40 and 60%). Each sample was machined by different times (1, 3, 5, 7 and 9 min). Metal removal rate was calculated depending on weight loss due to chemical machining based on corrosion mechanism. Performed tests hardness, surface roughness and an atomic force microscope examination of the surfaces of the samples chemically machined before the process and after it. Results showed that minimum surface roughness recorded in chemical machining when concentration of etchant (60%) and time (1) min. Among the factors used in the study concentration of etchant was the most important influence on metal removal rate and surface roughness.

### Keywords

Chemical machining, low carbon steel, surface rufness, Metall Removal Rate (MRR)

\*Corresponding author.

E-mail addresses: nasreend.aboghnim@uokufa.edu.iq

©2017 AL-Muthanna University. All rights reserved.

DOI:10.52113/3/eng/mjet/2017-05-01/22-26

## المقدمة

توصف عمليات التشغيل بانها لا تقليدية لعدم استخدامها عدد القطع الاعتيادية (Conventional Tools)، اذ تعتمد على الطاقة بشكلها المباشر، عليه فان عمليات التشغيل اللاتقليدية تصنف وفقا الى نوع الطاقة المستخدمة للتشغيل [1]. تتميز عمليات التشغيل اللاتقليدية عموما بمعدل إزالة (Metal Removal Rate) منخفضة وطاقات محددة عالية مقارنة مع عمليات التشغيل التقليدية. امكانيات تحديد الابعاد في عمليات التشغيل اللاتقليدية والانهاء السطحي تختلف على نطاق واسع، بعض من هذه العمليات توفر دقة عالية وانهاء سطحي جيد. بعض من هذه العمليات تنتج اضرار ميتالورجية قليلة جداً تحت سطح العمل مباشرة، بينما البعض الآخر (معظمها العمليات الحرارية) القيام بأضرار كبيرة على السطح [2،3]. عمليات التشغيل غير تقليدية تستخدم على نطاق واسع لتصنيع الأجزاء المعقدة هندسيا والأجزاء الصغيرة والدقيقة والصناعات الفضائية والسيارات والإلكترونيات. بالإضافة الى أجزاء مصممة بأشكال هندسية مختلفة مثل تجاويف داخلية عميقة والإلكترونيات الدقيقة فقط يمكن أن تنتج في عمليات التشغيل اللاتقليدية. يستخدم ايضا على نطاق واسع لإنتاج المكونات الدقيقة لمختلف التطبيقات الصناعية مثل النظم الكهروميكانيكية وجميع المعادن الشائعة بما فيها الألومنيوم والنحاس والزنك، الصلب، الرصاص والنيكل حيث يمكن تشغيلها كيميائيا [4].

يستند مبدأ عمل جميع عمليات التشغيل الكيميائي على ازالة المادة من السطح المطلوب تشغيله بتعريضه لمحضر كيميائي، اذ يتفاعل معه منتجا مركبات كيميائية يمكن ازالتها بسهولة كما في التآكل الكيميائي او الاذابة الكيميائية [5]. تدخل عمليات التشغيل الكيميائي في الكثير من العمليات الصناعية ضمن مدى واسع، فهي تستخدم لتشغيل اجزاء متناهية في الصغر كالعديد من اجزاء الدوائر الالكترونية كذلك لتشغيل اجزاء كبيرة جدا كما في صناعة الطائرات. انخفاض العمق يتراوح بين ٢,٥٤ إلى ١٢,٢٧ ملم [6]. تستخدم في عملية التشغيل الكيميائي مادتين اساسيتين هما مادة القناع (maskant) و محلول المحفر (Etchant). المحفر هو محاليل حامضية او قاعدية بتركيب كيميائي ودرجة حرارة محددة. القناع هو مواد بوليمرية مصممة بشكل خاص وبخصائص خاصة للعمل في التشغيل الكيميائي [7].

## ١. المواد المستخدمة في الدراسة

## أ. السبيكة قيد الدراسة

استخدمت صفائح من سبيكة فولاذ منخفض الكربون مع التركيب الكيميائي الموضح في الجدول (1). أجريت تحليلات للتركيب الكيميائي في "كلية الطب" في جامعة الكوفة.

جدول (1) التركيب الكيميائي للسبيكة المستخدمة

Low carbon steel	%C	Mn	Ph	S	Fe
	0.230	0.25	0.040	0.01	Bal

## ب. مادة القناع (Maskant)

مادة القناع الذي تم استخدامها كانت من البولييمر (تم تحضيرها من methylethylketone peroxid) نسبة الى السبيكة المستخدمة [8].

## ت. محلول المحفر (Etchant)

استخدم محلول كلوريد الحديدك (FeCl<sub>3</sub>) بثلاثة تراكيز (٢٠%، ٤٠% و ٦٠%) بسبب السبيكة المستخدمة هي واحدة من سبائك الفولاذ منخفض الكربون [٩].

## ٣. تحضير العينات لعملية التشغيل الكيميائي

## أ. السبيكة الأساسية

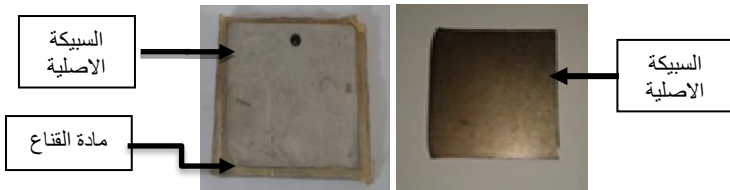
تم استخدام صفائح من سبائك الفولاذ منخفض الكربون، قطعالي عينات بأبعاد (٣,٥ \* ٣,٥ \* ١ ملم).

## ب. تحضير العينات لعملية التشغيل الكيميائي

قبل تغطية العينات بمادة القناع، نظفت العينات من التراب والغبار والدهون والزيوت والمركبات العضوية باستخدام الكحول (الإيثانول ٩٨ ٪) ثم جففت بمجفف الهواء وتم غسلها بالماء وجففت بمجفف الهواء مرة أخرى. استخدم قالب زجاجي مصمم خصيصا لتغليف العينات بمادة القناع. ووضعت مادة الفازلين لدهن القالب لتسهيل ازالة العينة من القالب صب مادة القناعالبوليمريةفي القالب بعد وضع العينة في قاعدة القالب لتغليفها بثلاث وجوه وترك الوجه الاسفل بدون تغليف، أبقاء القالب في غرفة في ٢٥ درجة مئوية لمدة ٦٠ دقيقة لتجفيف مادة القناع. وقد ترك جانب واحد فقط (الوجه) من العينات دون طلاء (تغليف) ويمثل هذا الوجه المساحة المراد تشغيلها كيميائيا. بقيت العينات بقطر (2 ملم) لكل العينات لغرض تعليقها في محلول المحفر (etchant) باستخدام خيوط مطاطية اثناء عملية التشغيل الكيميائي. شكل (1) يوضح النماذج قبل وبعد تغليفها بمادة القناع. انجزت عملية التشغيل الكيميائي بواسطة جهاز ثرموستات محرك مغناطيسي (magnetic stirrer thermostat) حيث يحتوي على ثرموستات لتنظيم درجة الحرارة وضبط السرعة لمحلول المحفر اثناء عملية التشغيل الكيميائي كما موضح في شكل (2).

## ٤. التشغيل الكيميائي

النماذج السبائكية تم تشغيلها كيميائيا بالاعتماد لبرنامج يحتوي على ظروف تشغيل مختلفة. ثلاثة تراكيز للمحفر (20 و 40 و ٦٠ ٪) لكل منها ازمان تشغيل (1، 3، 5، 7 و 9 دقيقة) استخدمت كظروف تشغيل. سجلت خشونة السطح (Ra) باستخدام جهاز (Surface roughness tester TR200) وبدقة ٠,٠٠١ ملم، وفقدان الوزن بعد كل عملية تشغيل. تم حساب معدل الإزالة المعدنية (MRR) مستندة على فقدان الوزن بعد كل تجربة. وتم قياس الوزن عن طريق الميزان الحساس و بدقة (±0,٠٠٠١) (ACCULAB Balance). كما هو مبين في الجداول (٣ و ٤ و ٥).



أ. عينة قبل التغطية ب. عينة بعد التغطية

شكل (1) عينات قبل التغطية بمادة القناع وبعدها

النتائج و المناقشة

أ . نتائج اختبارات الصلادة

نفذت اختبارات الصلادة للنماذج السبائكية قبل عملية التشغيل الكيميائي وبعدها بطروف تشغيل مختلفة (اختلاف في تراكيز المحفر (٢٠ ، ٤٠ ، ٦٠) % و زمن التشغيل (١ ، ٣ ، ٥ ، ٧ ، ٩) دقيقة. اوضحت الاختبارات النتائج التالية:

- قيم صلادة فيكرز للعينات (الفولاذ منخفض الكربون) قبل عملية التشغيل الكيميائي (88 HV) تقريبا مطابقة لقيمتها النظرية (86 HV)

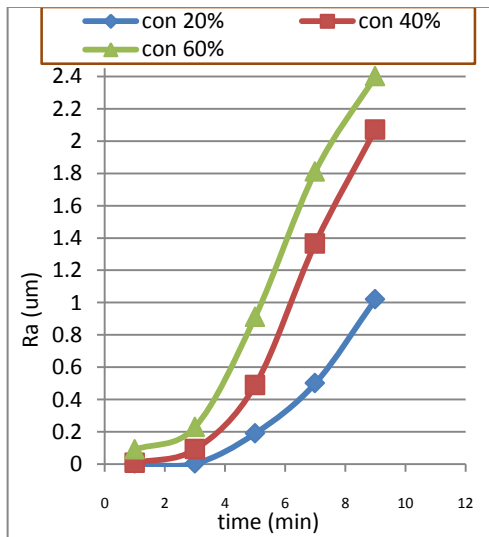
- قيم الصلادة لكل العينات (لجميع ظروف التشغيل الكيميائي) لم تتأثر بعملية التشغيل الكيميائي ربما يعود السبب الى عدم حدوث تغيير في التركيب البلوري للعينات اضافة الى ان درجة حرارة العملية لا تغير البنية المجهرية وبالتالي عدم تغير الخواص الميكانيكية .

ب . تأثير زمن التشغيل على الخشونة السطحية و معدل الازالة المعدنية

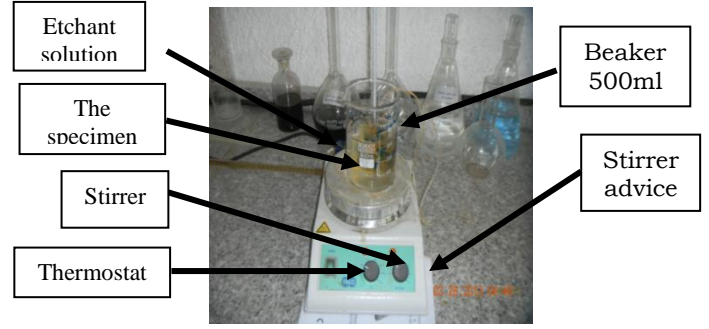
الاشكال (٣،٤) توضح تأثير زمن التشغيل على الخشونة السطحية و معدل الازالة المعدنية للعينات المشغلة بتراكيز مختلفة للمحفر في درجة حرارة الغرفة ، اوضحت الاشكال:

- من الواضح (لكل العينات) زيادة زمن التشغيل يؤدي الى زيادة الخشونة السطحية (Ra) وذلك ربما بسبب اختلاف عناصر التركيب الكيميائي للسبيكة حيث زيادة زمن التشغيل يزيد من تحلل السبيكة الى ايونات معدنية فالايون الفعال يتأكل (اتود) بمعدل اسرع والايون الخامل (كاتود) يتأكل بمعدل ابطا ويتشارك الاثنان في التفاعل الكيميائي مع مركبات المحفر .

- معدل الازالة المعدنية تنخفض مع زيادة زمن التشغيل وفجأة ترتفع ثم تنخفض مرة اخرى لنفس درجة الحرارة وتركيز المحفر ربما بسبب زيادة انحلال الايونات المعدنية وتركيزها في محلول المحفر .



شكل (٣) تأثير زمن التشغيل على الخشونة السطحية



شكل (٢) منظومة التشغيل الكيميائي

جدول (٣) نتائج التشغيل الكيميائي عند تركيز محفر ٢٠ % (g/l) و 25 °C

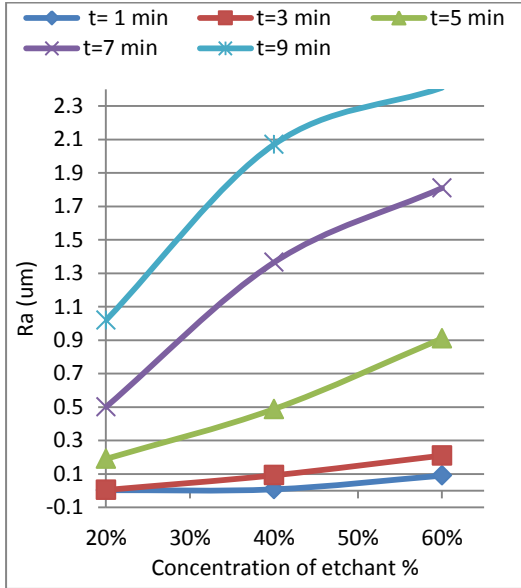
No	time (min)	Surface roughness (μm)	Metal removal rate (g/min)
1	١	0.0030	0.033
2	٣	0.0039	0.0089
3	٥	0.21	0.0048
4	٧	0.499	0.0199
5	٩	1.0189	0.0019

جدول (٤) نتائج التشغيل الكيميائي عند تركيز محفر ٤٠ % (g/l) و 25 °C

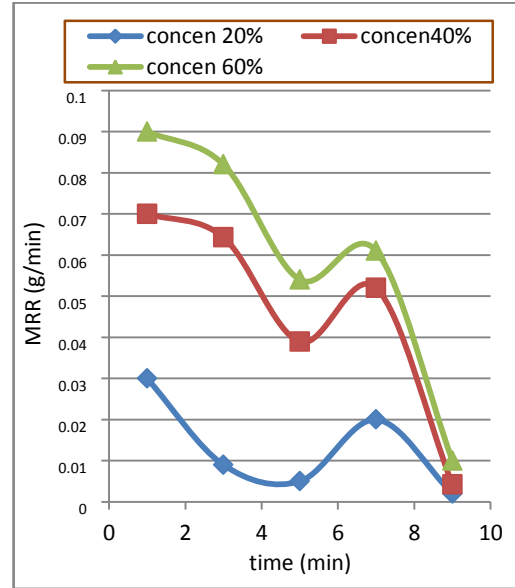
No	time (min)	Surface roughness (μm)	Metal removal rate (g/min)
1	١	0.00801	0.07
2	٣	0.0921	0.064
3	٥	0.49	0.039
4	٧	1.366	0.054
5	٩	2.0723	0.0044

جدول (٥) نتائج التشغيل الكيميائي عند تركيز محفر ٦٠ % (g/l) و 25 °C

No	time (min)	Surface roughness (μm)	Metal removal rate (g/min)
1	١	0.088	0.0899
2	٣	0.228	0.0819
3	٥	0.901	0.0539
4	٧	1.799	0.0591
5	٩	2.390	0.011



شكل (٦) تأثير تركيز المحفر على معدل الازالة المعدنية

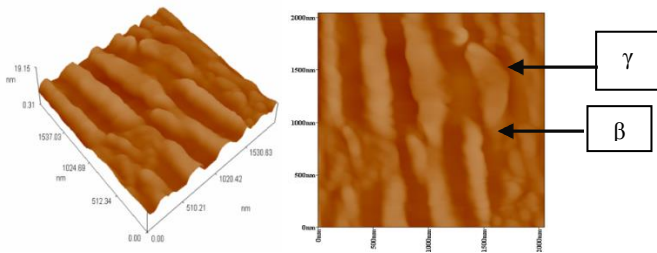


شكل (٤) تأثير زمن التشغيل على معدل الازالة المعدنية

### ث. اختبارات Scanning Probe Microscope

تم استخدام فحص SPM للحصول على البنية المجهرية وتضاريس السطح و الخشونة السطحية للعينات قبل التشغيل الكيميائي وبعده كما موضح في الاشكال (٧).  
١٠) بتركيز مختلفة للمحفر. الصور المأخوذة من الفحص توضح:

- معدل الخشونة السطحية للعينات قبل التشغيل الكيميائي باستخدام مجهر القوة الذرية (SPM) ( $1.11 \mu\text{m}$ ) مقارنة مع النتائج العملية ( $Ra=1.17 \mu\text{m}$ ). بينما معدل الخشونة السطحية للعينات المشغلة كيميائيا بتركيز محفر ٢٠% باستخدام تقنية (SPM) ( $3.78 \mu\text{m}$ ) اما في النتائج المختبرية ( باستخدام جهاز الخشونة السطحية) كانت الخشونة السطحية ( $Ra=1.2 \mu\text{m}$ ). معدل الخشونة السطحية للعينات المشغلة كيميائيا بمحفر بتركيز ٤٠% باستخدام تقنية (SPM) ( $5.055 \mu\text{m}$ ) بالمقارنة مع الخشونة السطحية من التجارب العملية ( $Ra=2.12 \mu\text{m}$ ). اما بالنسبة للعينات المشغلة بتركيز محفر ٦٠% فان الخشونة السطحية باستخدام (SPM) ( $6.01 \mu\text{m}$ ) في حين الخشونة في التجارب العملية لنفس نسبة التركيز ( $Ra=2.2 \mu\text{m}$ ).



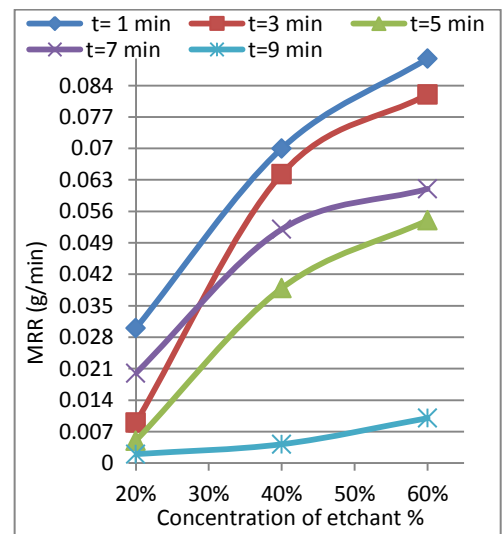
3D cross section and roughness Microstructure

شكل (٧) الخشونة السطحية والبنية المجهرية للعينات قبل تشغيلها كيميائيا

### ت. تأثير تركيز المحفر على الخشونة السطحية و معدل الازالة المعدنية

تبين الاشكال (٥،٦) تأثير تركيز المحفر على الخشونة السطحية و معدل الازالة المعدنية للعينات المشغلة بأزمان تشغيل مختلفة

- زيادة تركيز المحفر يؤدي الى زيادة الخشونة السطحية وذلك بتعبير اخر زيادة معدل التآكل نتيجة زيادة تركيز العامل المؤكسد و حركة الايونات ستزداد مقارنة بالتركيز الاقل معدل التآكل اقل
- زيادة معدل الازالة المعدنية مع زيادة تركيز المحفر لنفس زمن التشغيل بسبب التركيز الاعلى ينتج خشونة سطحية اعلى نتيجة معدل الحفر يكون اعلى بالمقارنة مع التراكيز الاقل.

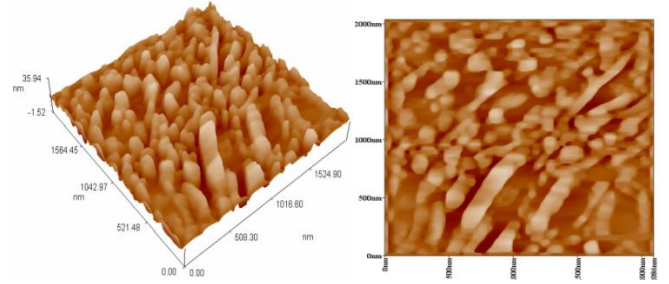


شكل (٥) تأثير تركيز المحفر على الخشونة السطحية

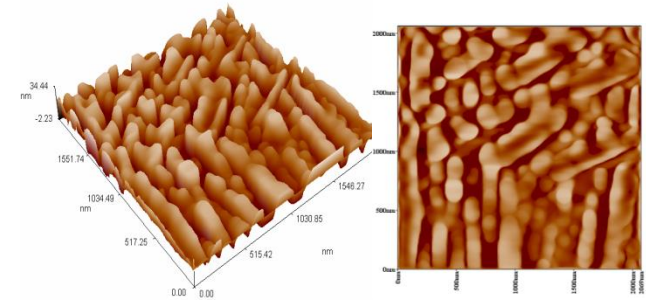
- معدل الازالة المعدنية للأجزاء المشغلة كيميائيا تنخفض مع زمن التشغيل وتزداد بشكل مفاجئ ثم تنخفض مرة اخرى
- معدل الازالة المعدنية تزداد مع تركيز المحفر

## References

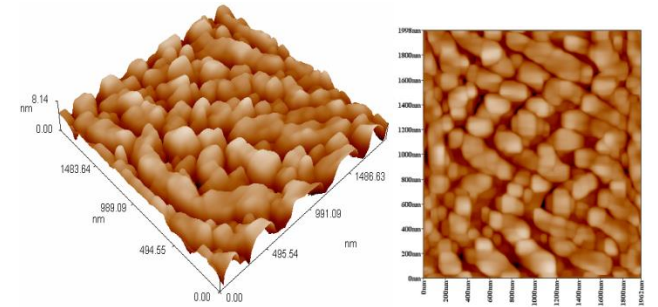
1. SeropeKalpakian, 2006 "Manufacturing Engineering and Technology", Fifth Edition, ISBN 0-13-14-965-8.
2. Bendict G.F, 1987"Non-traditional Manufacturing Processes", Marcel Decker Inc .Newyork , USA.
3. Çakir.O, 2007"Chemical Machining", Archives of Materials Science and Engineering, Vo. 28 no. 8.
4. Me Geough .J.A, 1988"Advanced Method of Machining", Chapman and Hall Lid., London,uk,.
5. H.A.G El- Hofy, 2005 "Advanced machining processes", Mcgraw-Hill companies,.
6. العذاري د. حيدر ٢٠١٣، " تشغيل المواد الهندسية " ، جامعة بابل – الحلة.
7. Brown1998, "Advanced Machining Technology hand book", New York: Me Graw-Hill.
8. Rao.K.V.P, 2012"Advanced Manufacturing Technology", Khanna publishers, Delhi..
9. Dr.M.Adithan, 2008"Modern Machining Methods", Khanna publishers, first edition .



3D cross section and roughness Microstructure  
شكل (٨) الخشونة السطحية والبنية المجهرية للعينات بعد التشغيل الكيميائي بتركيز محفر 20%



3D cross section and roughness Microstructure  
شكل (٩) الخشونة السطحية والبنية المجهرية للعينات بعد التشغيل الكيميائي بتركيز محفر 40%



3D cross section and roughness Microstructure  
شكل (١٠) الخشونة السطحية والبنية المجهرية للعينات بعد التشغيل الكيميائي بتركيز محفر 60%

## الاستنتاجات

- من خلال النتائج التي تم الحصول عليها، يمكن ان نستنتج:
- زمن التشغيل وتركيز المحفر من المتغيرات المهمة المؤثرة على عملية التشغيل الكيميائي. ويعتبر تركيز المحفر العامل الاكبر تأثير على الخشونة السطحية و معدل الازالة المعدنية وزيادة قيم كل منهما بالمقارنة مع المتغيرات الاخرى.
  - الخشونة السطحية للعينات المشغلة كيميائيا تزداد مع زيادة زمن التشغيل وتركيز المحفر للعينة