Journal of Engineering Sciences and Information Technology
Volume (3), Issue (4) : 30 Dec 2019
P: 42 - 54

ISSN: 2522-3321

مجلة العلوم الهندسية وتكنولوجيا المعلومات
المجلد (3)، العدد (4) : 30 ديسمبر 2019 م
ص: 42 - 54

Improve Surfaces properties of ABS Products fabricated by fused deposition modeling (FDM) 3D Printing

Suleiman Ibrahim Yousef

Mahmoud Al-Assad

Maher Al-Ibrahim

Faculty of Mechanical and Electrical Engineering || Al-Baath University || Syria

Abstract: FDM (fused deposition modeling) 3D printing products often suffer from high surface roughness and low durability compared to conventional methods.

In this paper, the effect of surface treatment after printing and coating with a layer of metal on its properties has been studied, The mechanical surface treatment methods (sandpaper) and chemical (solvent treatment) were compared and their effect on the adhesion strength of the deposited metal layer on the surface. The surface of the ABS product was coated with a layer of metal, the effect of both treatment and coating on the mechanical properties of printing products was studied.

The results showed a clear decrease in surface roughness after surface treatment, where surface roughness decreased by 92%, and the best result was when grinding with sandpaper (2000 Grit) was Ra 0.35 µm. The tensile strength after acetone surface treatment was improved by 50% and after coating the product with a layer of metal by 56.25%. The adhesion test of the surface-deposited metal (CROSS-CUT) was conducted, and the result showed that the best adhesion durability was when the surface was treated with acetone vapor before coating.

Keywords: 3D Printing, FDM, plastics, surface modification, Chemical processes, coating, corrosion.

تحسين خواص الأسطح المصنعة عن طريق الطباعة ثلاثية الأبعاد بتقنية نمذجة ترسيب المنصهر FDM لمنتجات ABS

سليمان إبراهيم يوسف

محمود الأسعد

ماهر الإبراهيم

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية || جامعة البعث || سوريا

الملخص: قد تعاني منتجات الطباعة ثلاثية الأبعاد بتقنية نمذجة ترسيب المنصهر FDM (fused deposition modeling) من ارتفاع خشونة السطح الناتج وانخفاض المتانة مقارنة بالطرق التقليدية.

في هذا البحث تمت دراسة تأثير معالجة السطح بعد الطباعة وطلائه بطبقة من المعدن على خواصه، وتمت المقارنة بين طرق معالجة السطح الميكانيكية (ورق شحذ) والكيميائية (معالجة بالمذيبات) ومدى تأثيرها على متانة التصاق طبقة المعدن المترسبة على السطح، ثم طلاء سطح المنتج المصنع من ABS بطبقة من المعدن، ودراسة تأثير كل من المعالجة والطلاء على الخواص الميكانيكية للمنتجات المصنعة بالطباعة.

أظهرت نتائج البحث انخفاضاً واضحاً بخشونة السطح بعد معالجة السطح، حيث انخفضت خشونة السطح بمقدار 92%، وكانت أفضل نتيجة عند الشحذ بورق الصنفرة (2000 Grit) حيث بلغت (μm) 0.35 Ra، وتحسنت مقاومة الشد بعد معالجة السطح بالأسيتون 50%، وبعد تلبيس المنتج بطبقة من المعدن بنسبة 56.25%. وأُجري اختبار التصاق للمعدن المترسب على السطح (CROSS-CUT)، وأظهرت النتائج أن أفضل متانة التصاق عندما تم معالجة السطح ببخار الأسيتون قبل الطلاء.

الكلمات المفتاحية: الطباعة ثلاثية الأبعاد، نمذجة ترسيب المنصهر، البلاستيك، تحضير السطح، معالجة كيميائية، تلبيس، تآكل.

مقدمة:

تعتمد نظم النمذجة السريعة على تصنيع المنتجات بأسلوب اضافة جزيئات المادة وذلك بالبناء باستخدام طبقات رقيقة جدا Adding Material Particles وتراكمها من المادة الخام التي تكون سائلة أو صلبة أو حتى في شكل مسحوق ذي حبيبات دقيقة، وإحدى تقنيات النمذجة السريعة هي الطباعة ثلاثية الأبعاد[1].

الطّباعة ثلاثيّة الأبعاد هي التقنية التي يتم من خلالها بناء مجسم ملموس من نموذج رقمي ثلاثي الأبعاد، حيث يمكن الحصول على هذا المجسم من خلال ماسح ضوئي ثلاثي الأبعاد(3D Scanner)، أو من خلال تصميمه باستخدام أحد برامج الحاسوب (Computer Aided Design "CAD") الخاصة بالتصميم ثلاثي الأبعاد مثل Solid works ,AutoCAD ويتم تشكيل هذا النموذج عن طريق طباعة مجموعة من الطبقات المتتالية بعضها فوق الآخر حتى يتم الحصول على الشكل النهائي وهو ما يعرف بنظام التصنيع بالإضافة(Additive Manufacturing)، ويختلف هذا النظام عن نظامي القولبة والنّحت اللذين يبددان أكثر من 90 %من المادة المستخدمة في التصنيع[2].

وتعتبر تقنية FDM إحدى أنواع الطباعة وفي هذه التكنولوجيا يتم تزويد الطابعة بمادة الطّباعة على شكل أسلاك أو خيوط، تتصل برأس مدبب دقيق فيه فوهة، يسخن هذا الرأس ليذيب مادة الطّباعة، وعند حركته أفقيا ورأسيا يخرج المادة حسب الشكل المطلوب، وحال خروج المادة من الرأس تبرد في درجة حرارة الغرفة وتتصلب، وتعتبر نمذجة ترسيب المنصهر(Fused Deposition Modeling (FDM من أشهر تقنيات الطباعة حيث اخترعها سكوت كرمب في نهاية الثمانينات من القرن الماضي، ومن أكثر المواد المستخدمة في هذه التقنية هي اللدائن الحرارية[3].

ونتيجة للتقدم العلمي جعل الأنظار تتجه إلى إمكانية استخدام المواد البلاستيكية كبديل لبعض القطع المعدنية التي يمكن الاستغناء عنها بشكل جزئي أو بشكل كلي وخاصة بعد التقدم في التلبيس المعدني الكهربائي وخاصة في مجال اللدائن[4].

يهدف تلبيس المواد البلاستيكية بالمعادن إلى:

- الاهتمام بالناحية الجمالية التزيينية.
- التوفير بالوزن باستعمال اللدائن وشمل هذا التوفير كلفة التغليف والشحن.
- تحسين بعض الخواص الميكانيكية ومقاومة التآكل.

ومما ساعد على انتشار هذه التقنية إظهار القطع الجديدة من اللدائن المطلية بالمعدن مقاومة ضد الاحتكاك مع احتفاظها بمظهر معدني جذاب لا يفرقها عن القطع المعدنية الحقيقية، وزاد من اعتبارها كلدائن ومن خصائصها الميكانيكية مثل زيادة معامل مقاومتها للانحناء مثلاً[5].

مشكلة البحث:

تعاني منتجات الطباعة ثلاثية الأبعاد بتقنية FDM من ارتفاع خشونة السطح الناتج وانخفاض المتانة مقارنة بالمنتجات المصنعة بالطرق التقليدية (بثق، حقن)، مما يحد من استخدامها في كثير من التطبيقات، وللتغلب على هذه الظاهرة تم اجراء عمليات لاحقة لمنتجات الطباعة ثلاثية الأبعاد مثل معالجة السطح بالمذيبات وتلبيس السطح بطبقة من المعدن، لتحسين بعض الخواص الميكانيكية بحيث يصبح المنتج أكثر منافسة في السوق ويزيد من أمكانية استخدامه في الكثير من المجالات.

وسنلخص فيما يلي بعض الدراسات المرجعية المتعلقة بموضوع البحث:

قام الباحث Kumar Raja، 2016، بدراسة العمليات التي تجرى لتحضير سطح العينات المصنعة من ABS بطريقة الطباعة 3d، قام الباحث بالتلبيس بالأحواض الكيميائية، واستنتج الباحث تحسن بمقامة التآكل لسطح العينة بعد التلبيس وتحسن بعض الخواص الميكانيكية[3].

ودرس الباحث Clayton Neff، 2016، تأثير معالجة وتحضير السطح على الخواص الميكانيكية للعينات البلاستيكية المصنعة من ABS عن طريق الطباعة 3d، أظهرت النتائج بتحسن بنعومة السطح حيث انخفضت الخشونة من Ra=37.18 µm إلى Ra=10.13 µm واجهاد الشد الأعظمي ارتفع من 14 MPa إلى 21 MPa [6].

قام الباحث Kensuke Takagishi، 2016، بدراسة لتحسين خواص منتجات الطباعة ثلاثية الأبعاد، استخدم الباحث عملية الشحذ ثم المذيبات العضوية لتنعيم السطح بعد الطباعة، ولاحظ الباحث تحسن واضح بمتانة الكسر وصلت 200%، وتحسن بإجهاد الشد الأعظمي من [MPa] 6.89 إلى [MPa] 14.01 [7].

ودرس الباحث Siti Nur Humaira Mazlan، 2018، أيضاً امكانية تحسين منتجات الطباعة ثلاثية الأبعاد من خلال المعالجة بالمذيبات(methyl-ethyl-ketone)، وتوصل الباحث إلى نتائج جيدة من حيث نعومة السطح حيث انخفضت الخشونة من 12.00µm إلى 0.5 µm. ولكن التأثير على اجهاد الشد لم يكن كبيراً[2].

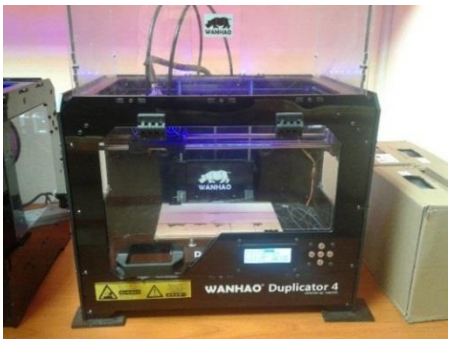
ودرس الباحث Justin White، 2018، تأثير طرق معالجة السطح لمنتجات الطباعة ثلاثية الأبعاد وتأثيرها على الترسيب بالتبخير الفيزيائي، حيث جرب الباحث المعالجة ببخار الأسيتون، ورق الصنفرة، المعالجة بالأسيتون السائل، المعالجة بالبلازما، ولاحظ الباحث أن أفضل نتائج متانة الالتصاق كانت عند استخدام ورق الشحذ 2000 Grit مقارنة بباقي الطرق[8].

هدف البحث:

دراسة تأثير معالجة السطح (ميكانيكياً وكيميائياً) للمنتجات البلاستيكية المصنعة بالطباعة ثلاثية الأبعاد بطريقة FDM على متانة التصاق طبقة المعدن المترسبة على هذه المنتجات وعلى الخواص الميكانيكية للسطح.

مواد البحث وطرائقه:

- أولاً سيتم طباعة العينات ثم يتم بعدها تحضير السطح ومعالجته، وبعد ذلك تلبيس السطح بطبقة من المعدن(النحاس) بالطريقة الكيميائية، ثم تجرى اختبارات الخشونة والشد والالتصاق لدراسة مدى تأثير المعالجة على كل من متانة الالتصاق والخصائص الميكانيكية.
- تم تجهيز العينات عن طريق الطابعة ثلاثية الأبعاد من نوع (WANHAO) في مخبر التشغيل المبرمج CNC في قسم هندسة التصميم والانتاج بكلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية الشكل (1)، حيث كانت العينة على شكل متوازي مستطيلات (50 mm*40 mm*5 mm) من مادة الأكريلونيتريل بوتادين ستايرين (ABS).



الشكل (1) يوضح الطابعة ثلاثية الأبعاد المستخدمة نوع WANHAO

تحضير السطح:

ان مادة الأكريلونيتريل بوتادين ستايرين (ABS) المستخدمة في الطابعة FDM تعتبر صعبة الطباعة مقارنة مع مواد لدنة حراريا أخرى مثل PLA، وينتج سطح خشن نوعا ما وأحيانا بعض التشوه، واذما تغلبنا على هذه العيوب يمكن أن تصبح تقنية FDM منافسة بشكل أكبر[1].

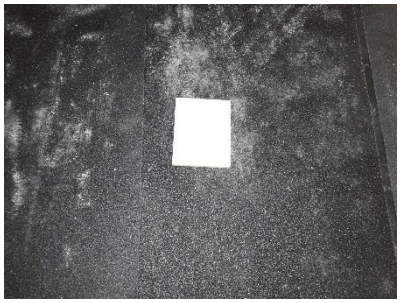
يمكن تعريف الانهاء السطحي على أنه عملية يتم تطبيقها على سطح مادة (معدنية، غير معدنية) من أجل إعطائها خصائص أو مظهرًا لا تملكه المادة في شكلها "غير المكتمل"، قد يعني ببساطة تلميع لجعلها ناعمة، قد يتم تطبيق طلاء على السطح لتغيير مظهره وخصائصه[9].

اعتمدنا في هذا البحث على طريقتين لتحضير السطح الشحذ الميكانيكي أو المعالجة الكيميائية بمواد مذيبة(الأسيتون).

طرق تحضير السطح:

1- الطريقة الميكانيكية:

تم في هذه الطريقة شحذ العينات بورق شحذ صنفرة (grit sandpaper) كما موضح بالشكل (2) وتم استخدام ورق شحذ (250-400-600-800-1000-1500-2000).



الشكل (2) استخدام ورق الشحذ لتنعيم السطح

تم تجريب الشحذ للرقم 1500، وللرقم 2000 كما موضح بالجدول(1):

جدول (1) المراحل التي تم الشحذ اليها

رمز العينة	حجم الحبيبات التي تم الشحذ اليها
A	1500
B	2000

2- الطريقة الكيميائية:

تم في هذه الطريقة معالجة سطح العينات بعد الطباعة بالمذيبات العضوية (Solvent Clean) حيث استخدمنا حمام الأسيتون لمعالجة السطح[10].

تم تعليق العينات في بيشر(دورق) سعة 250 مل واغلاقه من الأعلى بإحكام برقائق ألمنيوم لمنع خروج البخار بعد وضع الأسيتون بكميات محددة كما موضح بالشكل(3) ثم رفع درجة الحرارة للدرجة 90°C ليتم تبخير الأسيتون والإبقاء لمدة أسبوع ليجف السطح تماما [1].

الشكل (3) يوضح وضع العينات بحمام من الأسيتون

تم استخدام الكميات التالية الموضحة بالجدول (2):

جدول رقم (2) كميات الأسيتون والحرارة المستخدمة

رمز العينة	المرجع	كمية الأسيتون (ml)	درجة الحرارة (°C)	الزمن (دقيقة)
C	9	100	90	30
D	6	100	90	45
E	-	100	90	60

تلبيس السطح بطبقة من المعدن:

بعد الانتهاء من طرق التحضير السابقة تم ترسيب طبقة من المعدن على سطح القطعة البلاستيكية باستخدام الطريقة الكيميائية حيث تم الترسيب الكيميائي على سطح البلاستيك بواسطة محاليل كيميائية تحتوي على شوارد أملاح منحلة وباستخدام مرجعات مناسبة، أُجريت الطريقة بالمراحل التالية[11]:

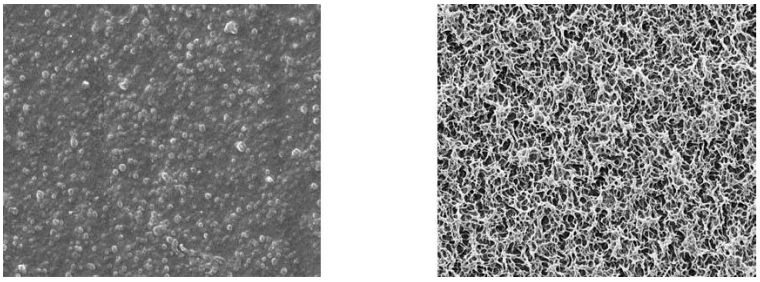
تحضير السطح: تم التحضير باستخدام الطريقة الميكانيكية أو الكيميائية.

1- **تخريش السطح:** يتم تخريش السطح من خلال إزالة البوتادين من التركيب البنائي للسطح حيث يتشكل ثقوب كما موضح بالشكل(4)، هذه الثقوب تكون صلة الوصل الميكانيكية بين الطبقة المعدنية الرقيقة والأرضية البوليميرية حيث سينتشر الفيلم المعدني الأولي ضمنها تم التخريش باستخدام كلا من حمض الكروميك وحمض الكبريتيك بالنسب التالية:

حمض الكبريت 180 ملم/لتر

حمض الكروميك 430 غ/لتر

ثم تسخين المحلول لمدة 30 دقيقة بدرجة حرارة 65 مئوية.



(a) (b)

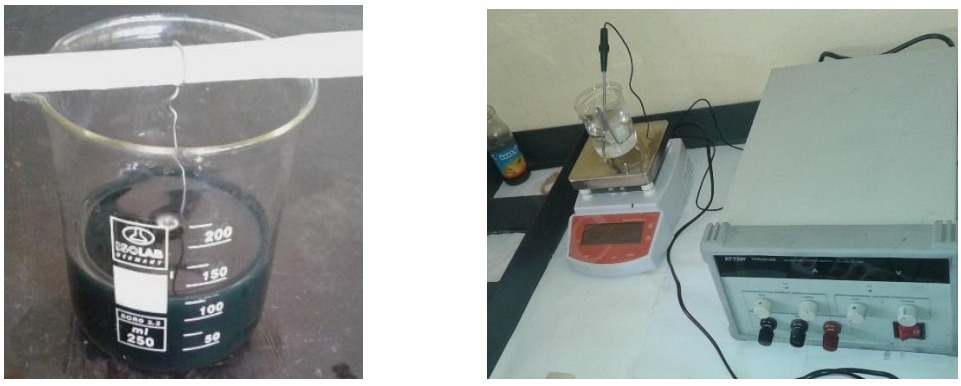
الشكل (4) شكل العينة قبل التخريش(a) وبعد التخريش(b)

2- **معادلة السطح**: بعد تخريش القطع تمر عبر المعادل (neutralizer) لإزالة كل بقايا الكروم تحضيراً للعملية اللاحقة، عند هذه النقطة يصبح السطح هيدروفيلي (جاذب للماء)، حيث يستخدم كل من كلوريد القصدير وحمض كلور الماء.

3- **تنشيط السطح**: تم تنشيط السطح باستخدام محلول من نترات الفضة والأمونيا لكي يصبح ناقلا قبل عملية الترسيب اللاحقة كما موضح بالشكل(5).

4- **حوض ترسيب النحاس على السطح:** يحتوي المحلول على أملاح النحاس (كبريتات النحاس) بالإضافة إلى عنصر إرجاع مثل الفورمالدهيد، وعلى عنصر مثبت، ومسرعات مثل(طرطرات) التي تزيد من معدل ترسيب المعدن كما موضح بالشكل(5)، تم استخدام النسب التالية[12]:

- 10 gr/l هيدروكسيد الصوديوم.
- 34 gr/l سلفات النحاس.
- 70 ml/l فورم الدهيد.
- 94 gr/l ملح روشيل (طرطرات البوتاسيوم والصوديوم)



(a) (b)

الشكل(5) -(a)يوضح عملية تنشيط السطح باستخدام نترات الفضة، (b) يوضح حوض الترسيب الحاوي على كبريتات النحاس

ويوضح الشكل (6) بعض العينات بعد التلبيس بالنحاس

الشكل (6) يوضح بعض العينات بعد التلبيس بالنحاس

الاختبارات:

تم اجراء الاختبارات الميكانيكية التالية:

قياس الخشونة، اختبار الالتصاق CROSS-CUT TEST، اختبار الشد (Tensile Test)، اختبار الانحناء Bend Test.

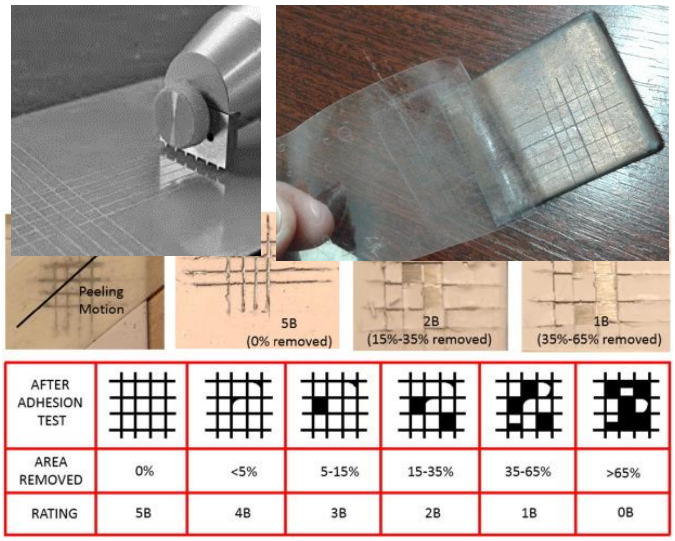
قياس الخشونة:

تم قياس خشونة سطح العينة باستخدام جهاز محمول (RT110) كما موضح بالشكل (7).

الشكل(7) يوضح جهاز قياس خشونة السطح

اختبار الالتصاق:

تم إجراء اختبار التصاق كل عينة باستخدام اختبار ASTM D3359 المعياري " CROSS-CUT TAPE TEST "، تم خدش العينات لإنتاج شبكة بخطوط متقاطعة وسط العينة ثم استخدام شريط لاصق لاختبار الالتصاق، تحدد نسبة قشر المعدن والتصاقها بالشريط ضمن المقاطع درجة ASTM لكل عينة، مثلا ASTM grade 5 التصاق مثالي تماماً حيث لا يوجد قشر، بينما ASTM grade 0 لم يتم التصاق أي طبقة ويعبر عن فشل الالتصاق(ASTM) كما موضح بالشكل(8):



الشكل (8) يوضح آلية اختبار الالتصاق وفق ASTM D3359 [13]

اختبار الشد (Tensile Stress Test):

تم اجراء الاختبار وفق ASTM D 638، كما موضح بالشكل (9) حيث نقوم باختبار الشد للعينة بعد الطباعة وبعد تحضير السطح وبعد التلبيس بالمعدن[14].

الشكل (9) يوضح جاز اختبار الشد

اختبار الانحناء (Bend Test):

للتأكد أيضا من متانة التصاق طبقة المعدن يجرى هذا الاختبار:

أولاً نقوم بثني العينة المطلية على محور حتى تتوازى أطرافها، قطر المحور يجب أن يساوي أربع أضعاف سماكة العينة، يلي ذلك الفحص البصري للمكان المشّوه تحت تكبير منخفض (4X) تقشر الطلاء عن السطح هو الدليل على ضعف الالتصاق بينهما لكن لا يمكن اعتبار تشقق طبقة الطلاء إشارة كافية على ضعف الالتصاق إلاّ في حال كان من الممكن قشر طبقة الطلاء عن السطح باستخدام أداة حادّة، غالباً ما يحدث تشقق لطبقة الطلاء في منطقة اللّي في حالة الطلاءات القاسية أو القصفة.

النتائج:

نتائج قياس خشونة السطح

تم قياس خشونة سطح العينة بعد الطباعة مباشرة وبعد تحضير السطح والقيم موضحة بالجدول(3) بعد أخذ أكثر من قراءة وحساب المتوسط الحسابي:

جدول رقم (3) يوضح قيم متوسط الخشونة للعينات

رمز العينة	المرحلة	متوسط قيمة الخشونة Ra (μm)
N	بعد الطباعة مباشرة	4.5
A	بعد التجليخ الميكانيكي	0.75
B		0.35
C	بعد المعالجة ببخار الأسيتون	1.2
D		0.8
E		2.3

نتائج اختبار الالتصاق:

بعد اجراء الاختبار كما في الشكل(8) حصلنا على النتائج التالية الموضحة في الجدول(4):

الجدول (4) نتائج اختبار الالتصاق وفق ASTM D3359

طريقة تحضير السطح	رمز العينة	طريقة التلبيس	نتيجة الاختبار وفق ASTM	
			grade	نسبة القشر %
الشحذ الميكانيكي	A	تلبيس كيميائي	4B	5
	B		5B	0
المعالجة ببخار الأسيتون	C		4B	4
	D		5B	0
	E		3B	5

نتائج اختبار الشد:

- يوضح الجدول (5) نتائج اختبار الشد التي تم الحصول عليها بعد تحضير السطح:

الجدول (5) نتائج اختبار الشد(MPa) بعد معالجة السطح

طريقة تحضير السطح	رمز العينة	طريقة التلبيس	نتيجة الاختبار وفق ASTM
بعد الطباعة	N	-	16
الشحذ الميكانيكي	A	تلبيس كيميائي	17
	B		18
المعالجة ببخار الأسيتون	C		22

طريقة تحضير السطح	رمز العينة	طريقة التلبيس	نتيجة الاختبار وفق ASTM
	D		24
	E		20

- يوضح الجدول (6) نتائج اختبار الشد بعد تلبيس السطح بالمعدن:

الجدول (6) نتائج اختبار الشد(MPa) بعد تلبيس السطح

طريقة تحضير السطح	رمز العينة	طريقة التلبيس	نتيجة الاختبار وفق ASTM
بعد الطباعة	N	-	16
الشحذ الميكانيكي	A	تلبيس كيميائي	20
	B		21
المعالجة ببخار الأسيتون	C		23
	D		25
	E		21

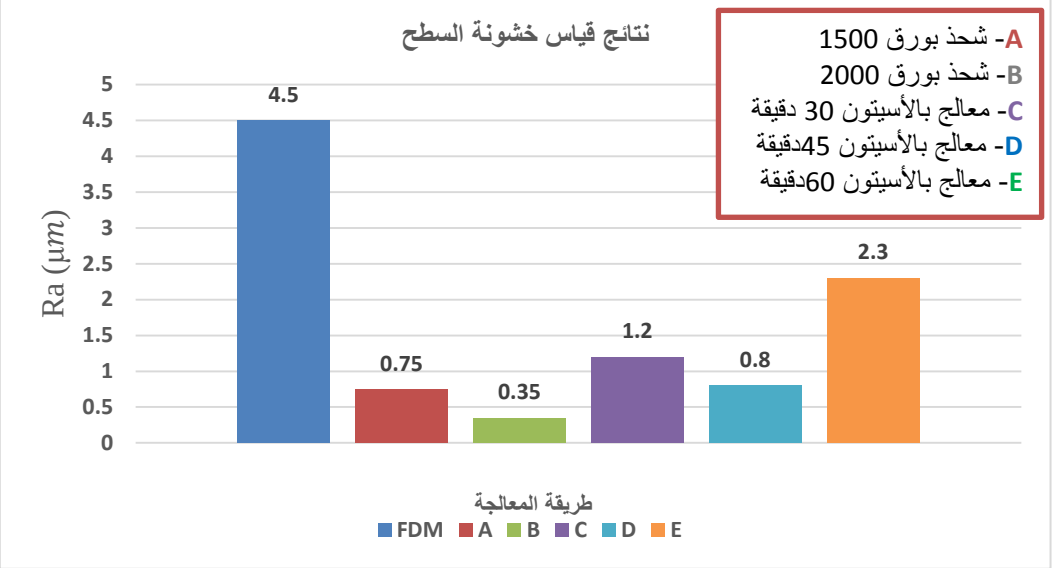
نتائج اختبار الانحناء:

- يوضح الجدول (7) نتائج اختبار الالتصاق بعد اختبار الانحناء:

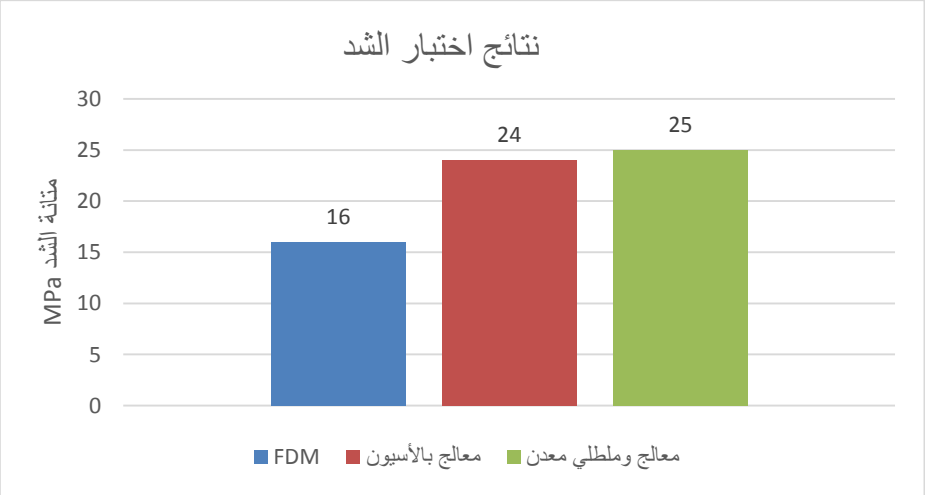
الجدول (7) نتائج اختبار الالتصاق وفق اختبار الانحناء

طريقة تحضير السطح	رمز العينة	طريقة التلبيس	نتيجة الاختبار وفق ASTM (نسبة القشر%)
الشحذ الميكانيكي	A	تلبيس كيميائي	8
	B		2
المعالجة ببخار الأسيتون	C		3
	D		1
	E		8

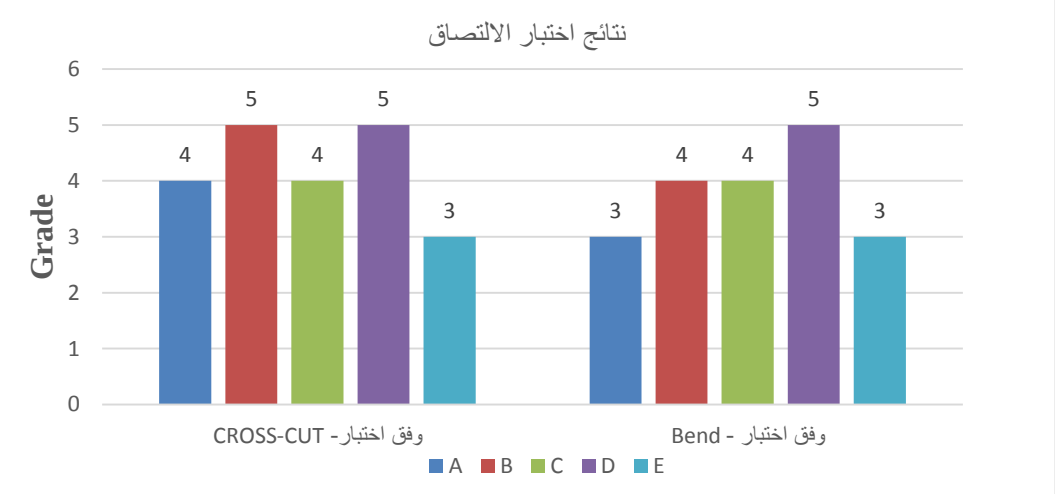
ملخص النتائج: يوضح كل من مخطط 1و2و3 ملخص النتائج المعروضة بالجداول السابقة:



المخطط(1) نتائج قياس خشونة السطح



يوضح المخطط (2) نتائج اختبار الشد



يوضح المخطط (3) نتائج اختبار متانة الالتصاق

الاستنتاجات:

ان استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد للحصول على المنتجات تتم بوقت قصير جداً وكلفة منخفضة مقارنة بالطرق التقليدية، إلى أن خواص السطح الناتج يتميز بخواص ميكانيكية أقل وخشونة أعلى.

حيث تم في هذا البحث من خلال معالجة السطح تخفيض نسبة خشونة السطح بمقدار 92%، حيث كانت أفضل نتيجة عند تحضير السطح بالشحذ الميكانيكي (2000 Grit) حيث انخفضت الخشونة من (4.5 Ra μm) إلى (0.35 Ra μm)، وتحسنت بعض الخواص الميكانيكية بعد المعالجة مثل مقاومة الشد بنسبة 50%، حيث تم الحصول على أفضل مقاومة شد من خلال معالجة السطح بالأسيتون (العينة D) حيث ارتفعت من 16 MPa الى 24 MPa، ونلاحظ بعد تلبيس المنتج بالمعدن تحسن مقاومة الشد بنسبة 56.25%، حيث بلغت مقاومة الشد 25 MPa.

بالنسبة لالتصاق المعدن كانت أفضل طريقة أثناء المعالجة بالأسيتون (العينة D) حيث حصلنا على التصاق ممتاز (grade 5B).

الخلاصة:

ان معالجة السطح ببخار الأسيتون له تأثير كبير على انهاء أسطح منتجات الطباعة ثلاثية الأبعاد، حيث تم تخفيض متوسط الخشونة بشكل كبير، وأتاح التلميع جمالية وسطح أملس لمنتجات ABS بطريقة FDM، بالإضافة لتحسن الخواص الميكانيكية مما يتيح للمنتج الاستخدام في مجالات أوسع وتطبيقات اضافية، ولكن يجب الأخذ بالاعتبار فيما يتعلق بمدة التلميع حيث أن الإفراط في التلميع سوف يؤدي لتشوه السطح ويسبب مشاكل بالأبعاد النهائية (كما في العينة E)، وتعتمد نتائج العملية على إجمالي الأسيتون المستخدم وحجم الدورق المستخدم وزمن التعرض للبخار.

التوصيات:

- نوصي باستخدام طرق معالجة أخرى للسطح مثل استخدام الليزر والبلازما.
- نوصي بتلبيس السطح بطبقات معدن أخرى مثل النيكل والكروم.

المراجع:

[1] Bojan Banjanin, Gojko Vladić, Magdolna Pál, Consistency analysis of mechanical properties of elements produced by FDM additive manufacturing technology, revista Matéria,2018, v. 23, no 4.

[2] Siti Nur Humaira Mazlan, Mohd Rizal Alkahari, Surface Finish and Mechanical Properties of FDM Part After Blow Cold Vapor Treatment, ournal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences48, Issue 2 (2018) 148-155.

[3] Kumar Raja, A review on Chemical Processes for Plastics substrates used in engineering industries, International Journal of ChemTech Research, 2016, Vol.9, No.07 pp 354-365.

[4] Al Homsi, Mohammad Zuhair, Encyclopedia of Plastics, 1980, Damascus

[5] The Hong Kong Polytechnic University Industrial Centre, Surface Finishing, IC Professional Training, 2012.

[6] Clayton Neff, Matthew Trapuzzano, Impact of Vapor Polishing on Surface Roughness and Mechanical Properties for 3D Printed ABS, University of South Florida, 2016.

[7] Kensuke Takagishi1 & Shinjiro Umezu, Development of the Improving Process for the 3D Printed Structure, 2016, Scientific Reports | 7:39852 | DOI: 10.1038/srep39852.

[8] Justin White, Christopher Tenore, environmentally benign metallization of material extrusion technology 3D printed acrylonitrile butadiene styrene parts using physical vapor deposition, Additive Manufacturing 22 (2018) 279–285.

[9] L.M. Galantucci , F. Lavecchia, G. Percoco, Experimental study aiming to enhance the surface finish of fused deposition modeled parts, Manufacturing Technology 58 (2009) 189–192Manufacturing Technology 58 (2009) 189–192.

[10] Stratasys Direct Manufacturing-2016, Finishing for FDM and PolyJet.

[11] S.Kannan, D.Senthilkumaran, Investigating the Influence of Electroplating Layer Thickness on the Tensile Strength for Fused Deposition Processed ABS Thermoplastics, International Journal of Engineering and Technology (IJET) Vol 6 No 2 Apr-May 2014

[12] Dr.T.A. Al Saffar, A. N. AL-Mumayez, Electroless copper Deposition on plastic, Iraqi Journal of Chemical and petroleum Engineering, Volume 9 Issue 4(2008).

[13]ASTM D3359 – 09′2, Standard Test Methods for Measuring Adhesion by Tape Test1, 2010.

[14] ASTM D 638-02a, Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics -2003.

[15] Shine Joseph, Stella Quiñones, Effect of Surface Preparation Methods on Mechanical Properties of 3D Structures Fabricated by Stereolithography and 3D Printing for Electroless Ni Plating, University of Texas at El Paso, Texas 79968.

[16] Bharat Bhushan Chivukula, A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Industrial Engineering, University of Arkansas, 2016.

[17] Munish Gupta, Gustavo Medina-Sánchez, Surface Quality Enhancement of Fused Deposition Modeling (FDM) Printed Samples Based on the Selection of Critical Printing Parameters, Journal of materials, 2018, 11, 1382.

[18] Mohammad S. Alsoufi, Abdulrhman E. Elsayed, Surface Roughness Quality and Dimensional Accuracy—AComprehensive Analysis of 100% Infill Printed Parts Fabricated by a Personal/Desktop Cost-Effective FDM 3D Printer, Materials Sciences and Applications, 2018, 9, 11-40.

[19] Tai, Min Fee,Lee, Swee Kah, Adhesion Enhancement for Electroless Plating on Mold Compound for EMI Shielding with Industrial Test, Materials Sciences and Applications, 2018, 11-40.

[20] Azhar Equbal, Asif Equbal, A.K.Sood, Metallization on FDM Processed Parts Using Electroless Procedure, Department of Manufacturing Engineering, NIFFT,Ranchi,India, 2014.