



الجمهورية العربية السورية

جامعة البعث

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

قسم هندسة التصميم والإنتاج

**زيادة العمر الاستثنائي لقوالب النفخ البلاستيكية المصنعة من مواد لدائنية بطريقة
النمذجة السريعة عن طريق تعزيز التصاق مادة الطلاء السطحي بمادة القالب**

دراسة أ.د. لنيل درجة الدكتوراه في هندسة التصميم والإنتاج

إعداد المهندس: سليمان إبراهيم يوسف

إشراف:

المشرف المشارك:

د.م. ماهر الابراهيم

أستاذ مساعد في قسم هندسة التصميم والإنتاج

المشرف العلمي:

أ.د. محمود الأسعد

أستاذ مساعد في قسم هندسة التصميم والإنتاج

1443هـ-2022

ملخص البحث:

إنّ صناعة قوالب نفخ البلاستيك بالطرائق التقليدية يُعدُّ مُكلفاً، يستغرق وقتاً كبيراً وينجم عنه هدر كمية كبيرة من المعدن (رايش)، في الوقت الراهن تنتظر الصناعة تقنية جديدة تعرف باسم الأدوات السريعة (RT) rapid tool، ومن أهم عمليات هذه التقنية تكنولوجيا التشغيل بالإضافة Additive Manufacturing (AM)، لإنتاج قوالب النفخ البلاستيكية بشكل أسرع وبتكلفة أقل، حيث يُصمّم القالب على برامج CAD ثم يرسل إلى الطباعة ثلاثية الأبعاد.

يَهْدَفُ البحث الحالي إلى تصنيع قالب نفخ عن طريق الطباعة ثلاثية الأبعاد 3D printing من مادة بلاستيكية ABS باستخدام الطباعة بتقنية النمذجة بتموضع المصهور (FDM)، ثم البحث في زيادة العمر الاستثماري للقالب عن طريق معالجة وطلاء سطح القالب بطبقة من المعدن وتحسين التصاق طبقة المعدن بالقالب.

تَمَّت عملية ترسيب طبقة من معدن النحاس كيميائياً (Electroless Plating) على سطح منتجات الطباعة ثلاثية الأبعاد ودراسة تأثير كلٍّ من درجة حرارة الترسيب، وقيمة الأس الهيدروجيني للمحلول (PH)، وزمن الترسيب في معدل الترسيب.

أظهرت نتائج البحث انخفاضاً واضحاً بخشونة السطح بعد معالجة السطح وتليسه بالنحاس، حيث انخفض متوسط خشونة السطح (Ra) من $4.5 \mu\text{m}$ إلى $0.12 \mu\text{m}$.

وأفضل التصاق كان عند ترسيب النحاس بالطريقة الكيميائية مقارنة مع طرق أخرى، اعتماداً على نتائج اختبار الالتصاق (CROSS-CUT) وفق المواصفة ASTM 3359.

أظهرت النتائج بأن أعلى معدل ترسيب كان $9.26 \mu\text{m/h}$ عند الشروط: زمن ترسيب 10min، درجة الحرارة 30°C ، وقيمة الأس الهيدروجيني (PH = 13).

أظهرت عملية تجريب القالب المصنّع عن طريق الطباعة والملبس بطبقة من النحاس على آلة نفخ عبوات البلاستيك، نجاح قالب النفخ المنتج بطريقة الطباعة FDM.

كلمات مفتاحية: الطباعة ثلاثية الأبعاد، تقنية FDM، قوالب النفخ، الطلاء الكيميائي، بلاستيك ABS

Abstract:

Conventional Tool Making for blow-molded plastics is expensive, time consuming, and results in the waste of a large amount of metal.

Presently, industry is waiting for what is commonly referred to as Rapid Tooling (RT). The greatest opportunity for RT implementation would be the use of Additive Manufacturing (AM) technology to produce injection molds of rapid quote products which can drastically reduce those costs and time frame. Functional prototype molds were developed and analyzed with CAD software, then printed by a 3D Printer.

The present research aims to manufacture a Blow Mold by 3D printing of ABS plastic using Fused Deposition Modeling (FDM) printing technology, and then researching to increase the investment life of the mold by processing, coating the mold surface with a layer of metal and improving the adhesion of the metal layer to the mold.

The following process (Electroless Plating) depositing a layer of copper metal on the surface of the 3D printing products, studying the effect of the deposition temperature, the pH value of the solution (PH), and the deposition time on the deposition rate.

The results showed a clear decrease in surface roughness after surface process and coating with copper, with the result that the average surface roughness (Ra) decreased from 4.5 μm to 0.12 μm .

The best adhesion happened when copper was deposited by Electroless Plating compared to other methods, the adhesion has depended on the results of the adhesion test (CROSS-CUT) according compared with ASTM 3359.

The results showed that the highest deposition rate was 9.26 $\mu\text{m}/\text{h}$ under the conditions: deposition time 10 minutes, temperature 30 $^{\circ}\text{C}$, and pH 13.

The process of experimenting the mold manufactured by printing and coated with a layer of metal on the plastic blowing machine showed the success of the blow mold produced by the FDM printing method.

Keywords: 3D printing, Fused Deposition Modelling (FDM), blowing molds, Electroless Plating, ABS plastic.

❖ مقدمة:

تُعدُّ صناعة القوالب من أدق الصناعات الميكانيكية وأرقاها، وهي إحدى الأسس التي تقوم عليها الصناعات الثقيلة في كل بلد حيث تتطلب من العاملين فيها امتلاك الخبرات العالية في مجالات التصنيع الميكانيكي، ولقد ساعدت البرامج الهندسية الحديثة وآلات التشغيل المبرمجة هذه الصناعة وبشكل كبير بحيث مكّنت من تطويرها، وإنتاج القوالب بدقة عالية مع إمكانية الاستفادة من هذه التقنيات في تشكيل كل من ذكر وأنثى القالب ومن ثم الحصول على إمكانيات تشغيل كان من الصعب جداً أو من غير الممكن تنفيذها بالتقنيات التقليدية.

زاد في الآونة الأخيرة الاهتمام باستخدام تقنية النمذجة السريعة Rapid Prototyping وتطبيقات الهندسة العكسية، ويرجع هذا الاهتمام إلى عدد من العوامل منها تخفيض الوقت والكلفة اللازمة لإنتاج المنتجات مقارنة بأنظمة التصنيع التقليدية، وهناك أيضاً حالات في الصناعة التحويلية حيث لم تعد الطرائق التقليدية اقتصادية وسريعة بما فيه الكفاية لتقديم منتجات جديدة إلى السوق بزمن قليل وكلفة منخفضة، وقد توجّهت الأبحاث الحديثة نحو الأدوات السريعة (Rapid tooling) والتصنيع السريع، وكلاهما تكنولوجيات ناشئة وكثير منها يتكيف مع تقنيات النماذج الأولية السريعة أو يستغلها جزئياً لتطوير نهج جديدة لإنتاج الأدوات والمنتجات. والفوائد الرئيسية لكلا التقنيتين هي فعاليتها من حيث التكلفة، والوقت القصير للتصنيع، وأقل هدر للمواد من طرائق التصنيع التقليدية.[1]

تعتمد معظم نُظم النمذجة السريعة على تصنيع المنتجات بأسلوب إضافة جزيئات المادة وذلك بالبناء باستخدام طبقات رقيقة جداً Adding Material Particles وتراكمها من المادة الخام التي تكون سائلة أو صلبة أو حتى على شكل مسحوق ذي حبيبات دقيقة، وإحدى تقنيات النمذجة السريعة هي الطباعة ثلاثية الأبعاد.[2]

الطباعة ثلاثية الأبعاد هي التقنية التي يتم من خلالها بناء مجسم فيزيائي 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 ("CAD" Computer Aided Design) الخاصة بالتصميم ثلاثي الأبعاد مثل AutoCAD، Solidworks 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 (Manufacturing)، ويختلف هذا النظام عن نظامي القولبة والتشغيل اللذين يبددان كمية كبيرة من المادة المستخدمة في التصنيع.

وتعدّ تقنية Fused Deposition Modeling (FDM) إحدى أنواع الطباعة وفي هذه التكنولوجيا يتم تزويد الطابعة بمادة الطباعة على شكل أسلاك أو خيوط تتصل برأس مدبب دقيق فيه فوهة، يُسخّن هذا الرأس ليذيب مادة الطباعة، وعند حركته أفقياً ورأسياً يبتثق المادة حسب الشكل المطلوب، وحال خروج المادة من الرأس تبرد في درجة حرارة الغرفة وتتصلب.[3]

ونتيجة للتقدم العلمي اتجهت الأنظار إلى إمكانية استخدام المواد البلاستيكية كبديل لبعض القطع المعدنية التي يمكن الاستغناء عنها بشكل جزئي أو بشكل كلي وخاصة بعد التقدم في الطلاء المعدني الكهربائي وخاصة في حقل الدائن.[4]

يهدف طلاء المواد البلاستيكية بالمعادن إلى:

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

ومما ساعد على انتشار هذه التقنية إظهار القطع الجديدة من الدائن المطلية بالمعدن مقاومة ضد الاحتكاك مع احتفاظها بمظهر معدني جذاب لا يفرقها عن القطع المعدنية الحقيقية، وزاد من عدها لدائن ومن خصائصها الميكانيكية.

ولا ننسى أنّ مقولبات الدائن المنتهية المصنعة في قوالب مصقولة ومطلية ذات مظهر هو في غاية الإتقان وخاصة سطحها الخارجي الظاهر مما لا يحتاج معه إلى أي تعامل ميكانيكي قبل الطلي الكهربائي لتحسينه كما هو الحال في المعادن، لذلك فإنّ تلبس الدائن بالمعادن يعطيها مظهراً معدنياً لامعاً أيضاً.[4]

❖ أهمية البحث في تطوير صناعة القوالب:

بما أنّ تقنية النمذجة السريعة مستخدمة حديثاً في صناعة قوالب حقن البلاستيك ونفخه، فإنّه لا بدّ من وجود بعض المشاكل التي ستعاني منها في بداية الأمر، وبما أنّ القالب سوف يُصنع من مواد لدائنية فإنّه سيتعرّض للحرارة والضغط، والسؤال هل يُمكن أن تحلّ القوالب المصنوعة بالنمذجة السريعة محلّ القوالب المعدنية التقليدية؟ في الوقت الراهن طبعاً لا يمكن أن تحل محلها ولكن تفضل في بعض الحالات التي يطلب فيها عدد محدود من المنتجات، وتبقى القوالب التقليدية (مصنوعة من الصلب، الألمنيوم) المفضلة في حال الإنتاج الكمي من المنتجات (أكثر من 10000 قطعة)، وأكدت أغلب الدراسات أن النمذجة تكون مثالية عند الإنتاج المحدود نظراً للتوفير الكبير في الوقت والكلفة، فمثلاً يتم تخفيض زمن صناعة القالب من أسبوع إلى 48 ساعة إضافة للتخفيض الكبير بالكلفة. [5]

وتتجه الأبحاث والدراسات حالياً لمعرفة العمر الاستثماري للقالب والبحث في إمكانية إطالة عمره قدر الإمكان (عدد الطبقات)، إن عمر القالب مرتبط بالإجهادات الميكانيكية والحرارية التي سيتعرض لها أثناء الاستثمار، طبعاً هناك العديد من المنتجات التي لا تحتاج بطبيعة الحال لضغط مرتفع (قوالب النفخ) لذلك تكون مثالية لاستخدام طريقة النمذجة، وتتجه الدراسات أيضاً لتطوير مواد لدائنية ذات متانة عالية لتحمل الضغط، وذلك عن طريق تطوير المواد اللدائنية نفسها وتدعيمها أو عن طريق طلاء المادة بمادة أخرى مثل نيكل والفوسفور في فجوة القالب حيث التعرض للضغط، وعمد بعض الباحثين إلى تعديل نظام حقن لتخفيض الضغط مثل زيادة عدد بوابات الحقن (gate)، أو زيادة قطر البوابة قدر الامكان.

أما بالنسبة لمشكلة الحرارة فمن المعروف أنّ المواد اللدائنية لا يمكنها أن تتحمل حرارة مثل المواد المعدنية، ويتجه الباحثون لإيجاد حل لمشكلة الحرارة إمّا عن طريق نظام تبريد لقالب الحقن، أو دراسة هندسة القالب وسماكة جدرانه، ومنهم من لم يستخدم نظام تبريد مطلقاً بل اكتفى بالتبريد بين الأشواط بتعريض القالب للهواء المبرد، طبعاً هذه الطريقة تزيد من وقت إنتاج القطعة كثيراً، ومن مشاكل عملية التبريد هو أنّ الناقلية الحرارية للمواد البلاستيكية منخفضة جداً لذلك فإنّ نظام التبريد لن يعمل بكفاءة إلاّ إذا تم تقريب نظام التبريد من سطح قالب الحقن (مسار الماء أو الهواء المضغوط) ولكن في هذه

الحالة سنتعرض لمشكلة ضعف سطح القالب وتخفيض مقاومته لضغط الحقن، لذلك هناك العديد من المشاكل يجب حلها لإطالة عمر قالب الحقن قدر الإمكان (عدد المنتجات قبل الانهيار). في أغلب الدراسات التي تطرقنا لها كان عدد الحقنات أو الأشواط (Shoots) من 10-800 حسب مادة قالب الحقن وضغط الحقن وشروط الحقن وتعقيد القالب، ومن المواد التي يصنع منها قالب الحقن بتقنية النمذجة طبعاً عن طريق الطباعة ثلاثية الأبعاد (Epoxy،ABS)، والبحث مستمر عن مواد تتحمل حرارة وضغط وأن يحافظ القالب على دقة الأبعاد قدر الإمكان قبل الانهيار. لذلك المشاكل المطروحة حالياً والتي يجب حلها:

1- الحرارة الناجمة عن المصهور البلاستيكي المحقون وكيفية التغلب عليها.

2- ضغط الحقن وكيفية التغلب عليه.

3- دقة إنهاء القالب ومدى إنتاج منتجات ضمن حدود التسامح المطلوبة.

4- عمر القالب (عدد المنتجات) وهو مرتبط بالعوامل السابقة.

من المعروف أنّ المواد البلاستيكية عازل للكهرباء، لذا فإنّه يجب معالجة سطحه أولاً بترسيب مادة معدنية عليه ليتمكن طلائه بالكهرباء بعد ذلك .

وتستخدم معدات مماثلة تماماً للمعدات العادية المستخدمة في الطلاء بالكهرباء العادية، ونجد مميزات عديدة للطلاء الكهربائي المعدني للمواد البلاستيكية، حيث يحتفظ المنتج بالخواص المميزة للبلاستيك مع إمكانية استخدامه كبديل للمعدن، وهذا ما نلاحظه بوضوح في الأدوات الصحية والأجهزة الصغيرة وكثير من الاجزاء المعدنية التي يمكن استبدالها ببلاستيك خفيف الوزن مطلي كهربائياً بالمعدن ليؤدي نفس الغرض الذي تؤديه كما في الأدوات المنزلية، أجزاء السيارات خاصة الفوانيس الخلفية، والشبكة الامامية، ومقابض الأبواب، ولوحات كتابة الاسماء .

وهذه الأجسام جميعها تتميز بخواص البلاستيك من خفة وزن ومقاومة عالية للتآكل إلى جانب مميزات المعدن من بريق لامع ومقاومة الاهتراء .

تكمّن مبررات البحث في تلبية الحاجة المتسارعة في السوق لمنتجات جديدة لزيادة المنافسة، وتوفير الوقت الكبير المستغرق في صناعة القوالب (قد يستغرق شهر) حسب درجة تعقيد القالب، والتوفير

الكبير في الكلفة والزمن ويوضح الجدول (1) الآتي الفرق الكبير بين الطريقة التقليدية في صناعة القوالب (تشغيل) والطريقة الحالية (الطباعة ثلاثية الأبعاد) من حيث الكلفة والوقت اللازم للصنع حسب دراسة أجرتها شركة (Stratasys) [5]:

الجدول (1) الفرق بين الكلفة والزمن بين طرائق صناعة القالب [5]

| الطريقة | زمن تصنيع القالب | الكلفة |
|--------------------|------------------|------------|
| تشغيل تقليدي (CNC) | 20 يوم | 5000 دولار |
| تصنيع بالنمذجة | 2 يوم | 280 دولار |
| نسبة التوفير | 90 % | 94 % |

| | |
|---|---|
| 4..... | مقدمة |
| 7..... | أهمية البحث في تطوير صناعة القوالب ومبرراته |
| الفصل الأول: البلاستيك وآليات تصنيعه | |
| 21..... | 1-1- مقدمة |
| 21..... | 2-1- المواد البلاستيكية |
| 22..... | 3-1- تعريف عام لمفهوم المواد البلاستيكية (الدائن) |
| 23..... | 4-1- التطور التاريخي للمواد البلاستيكية |
| 24..... | 5-1- الخواص الرئيسية للمواد البلاستيكية |
| 24..... | 6-1- بعض مساوئ المواد البلاستيكية |
| 24..... | 7-1- استعمالات المواد البلاستيكية |
| 25..... | 8-1- بنية المواد البلاستيكية وأنواعها |
| 26..... | 1-8-1- المكونات الأساسية للراتجات |
| 26..... | 1-8-1-1- المونومير (MONOMER) |
| 26..... | 1-8-1-2- البوليمير (POLYMER) |
| 26..... | 1-8-1-3- الكوبوليمير (COPOLYMER) |
| 27..... | 9-1- طرق الحصول على المواد البلاستيكية |
| 27..... | 1-9-1- مفهوم البلمرة (Polymerization) |
| 27.... | 2-9-1- التكاثف والتكاثف المركب (Condensation and Compound Condensation) |
| 28..... | 3-9-1- الإضافة (Addition) |
| 28..... | 10-1- تصنيف المواد البلاستيكية |
| 28..... | 1-10-1- التصنيف الحراري للمواد البلاستيكية |
| 29.... | 1-1-10-1- المجموعة الأولى: المواد البلاستيكية اللدنة حرارياً (THERMOPLAST) (TP) |
| 30.. | 2-1-10-1- المجموعة الثانية: المواد البلاستيكية المتصلبة حرارياً (THERMOSETS) (TS) |
| 31..... | 2-10-1- التصنيف الكيميائي للمواد البلاستيكية |
| 32..... | 3-10-1- التصنيف البنوي للمواد البلاستيكية |
| 33..... | 1-11- أنواع المواد البلاستيكية اللدنة حرارياً |

- 12-1-أنواع المواد البلاستيكية المقساة حرارياً.....33
- 13-1-طرائق تصنيع البلاستيك.....33
- 1-13-1-طرائق التصنيع الخاصة بالمواد البلاستيكية اللدنة حرارياً.....35
- 1-1-13-1-البثق (Extrusion).....35
- 2-1-13-1-الحقن (Injection).....36
- 3-1-13-1-النفخ (Blowing).....37
- 4-1-13-1-النفخ مع البثق.....37
- 5-1-13-1-النفخ مع الحقن.....38
- 6-1-13-1-التشكيل الحراري (Forming).....38
- 7-1-13-1-السكب (Casting).....39

الفصل الثاني: النمذجة السريعة والطباعة ثلاثية الأبعاد

- 1-2-النمذجة السريعة والطباعة 3d.....41
- 2-2-تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد.....43
- 1-2-2-تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد.....44
- 1-1-2-2-البلمرة الضوئية والتصليد الحراري.....45
- 2-1-2-2-الطباعة بالتلدين الحراري.....46
- 3-1-2-2-الطباعة باستخدام البودرة.....47
- 2-2-2-تحديات الطباعة ثلاثية الأبعاد.....49
- 1-2-2-2-التحديات في قطاع المواد.....49
- 2-2-2-2-استخدام مواد مختلفة.....49
- 3-2-2-2-دمج المواد وخلط أكثر من مادة مع بعضها البعض.....49
- 3-2-2-2-دقة الطباعة.....50
- 4-2-2-الوقت اللازم لإتمام الطباعة ثلاثية الأبعاد.....51
- 5-2-2-تكاليف الطباعة ثلاثية الأبعاد.....51
- 6-2-2-الاستخدامات المستقبلية للطباعة ثلاثية الأبعاد.....51
- 1-6-2-2-المجال الطبي.....52

- 53.....2-2-6-2-الطباعة العضوية.
- 54.....2-2-6-3-الطباعة الدوائية.
- 55.....2-2-6-4-الدفاع والطباعة ثلاثية الأبعاد.
- 55.....2-2-6-5-طباعة المركبات.

الفصل الثالث: صناعة قوالب حقن ونفخ البلاستيك

- 58.....1-3-مقدمة.
- 59.....2-3-الآلات المستخدمة في تصنيع القوالب.
- 59.....3-2-1-آلات التشغيل العامة.
- 59.....3-2-2-آلات التشغيل الخاصة (الآلات النوعية).
- 60.....3-3-المعادن المستخدمة في تصنيع القوالب.
- 61.....3-4-البنية العامة للقالب.
- 61.....3-4-1-الأجزاء الرئيسية للقالب.
- 61.....3-4-1-1-الطبعة.
- 61.....3-4-1-2-بلاطتا ذكر وأنثى القالب.
- 62.....3-4-1-3-جلبة الحقن.
- 62.....3-4-1-4-مجاري وبوابات التغذية.
- 62.....3-4-1-5-حلقة التوضع.
- 62.....3-4-1-6-المحاور والجلب الدليلية.
- 63.....3-4-1-7-الجزء المتحرك والجزء الثابت من القالب.
- 63.....3-4-1-8-نظام اللفظ في القالب.
- 63.....3-4-1-9-بلاطة التدعيم.
- 63.....3-5-بنية القالب.
- 66.....3-6-آلية عمل القالب.
- 67.....3-7-تكلفة القالب.
- 68.....3-7-1-عدد الطباعات في القالب.
- 68.....3-7-2-الدراسة الاقتصادية لتحديد عدد الطباعات في القالب.

| | |
|---------|--|
| 69..... | 3-7-3- توزيع الطباعات في القالب. |
| 71..... | 3-8- ذكر القالب. |
| 71..... | 3-9- انثى القالب. |
| 71..... | 3-10- المحاور الدليلية في القالب. |
| 73..... | 3-11- نظام اللفظ. |
| 74..... | 3-12- دارات التبريد. |
| 76..... | 3-13- اعتبارات تصميم القالب المرتبطة بمواصفات آلة الحقن. |

الفصل الرابع: عملية تلبيس البلاستيك بالمعادن

| | |
|----------|--|
| 79..... | 4-1- نظرة تاريخية. |
| 81..... | 4-2- الهدف من تلبيس المواد البلاستيكية بالمعادن. |
| 82..... | 4-3- الشروط الواجب توافرها للحصول على تلبيس ناجح. |
| 84..... | 4-3-1- من شروط التلبيس الناجح النظافة (أي نظافة المنتجات). |
| 86..... | 4-4- المواد البلاستيكية القابلة للتلبيس وطرائق تصنيعها وتطبيقاتها. |
| 86..... | 4-4-1- الأكريلونتريل بوتادين ستيرين (ABS). |
| 87..... | 4-5- التلبيس الكيميائي والكهربائي. |
| 89..... | 4-6- التلبيس الكيميائي. |
| 89..... | 4-6-1- العمليات الكيميائية. |
| 91..... | 4-6-2- عمليات التغطية التقليدية. |
| 91..... | 4-6-3- تنعيم السطح. |
| 92..... | 4-6-4- التخريش الكيميائي. |
| 96..... | 4-6-5- التلبيس الكيميائي للنحاس على البلاستيك. |
| 98..... | 4-6-6- حسنات التلبيس الكيميائي ومساوئه. |
| 99..... | 4-7- تصور لآليات التصاق المعدن بالبولىمير. |
| 99..... | 4-7-1- الغرس الميكانيكي. |
| 100..... | 4-7-2- نظرية ترموديناميك الطبقة السطحية. |
| 100..... | 4-7-3- نظرية الجزيئات الفيزيائية. |

| | |
|----------|--|
| 100..... | 4-7-4 التأثيرات الكيميائية المتبادلة..... |
| 100..... | 4-8-تلبيس المعادن بتخلية الهواء أو الترسيب المعدني بالتخلخل..... |

الفصل الخامس: الدراسات المرجعية المتعلقة بموضوع البحث

| | |
|----------|--|
| 104..... | 1-5- الدراسات المرجعية المتعلقة بموضوع البحث..... |
| 104..... | 5-1-1-الدراسات المرجعية التي بحثت في إمكانية استخدام القوالب المصنعة بالنمذجة..... |
| 110..... | 5-1-2- الدراسات المرجعية التي بحثت في عملية تحضير السطح وتلبيسه |
| 122..... | 5-1-3- الدراسات المرجعية التي بحثت في معدل الترسيب وسماكة الطبقة المترسبة..... |
| 125..... | 5-4- خلاصة الدراسات المرجعية..... |
| 126..... | 5-5- هدف البحث..... |
| 126..... | 5-6- منهجية البحث..... |

الفصل السادس: الدراسة العملية

| | |
|----------|---|
| 130..... | 6-1- خطة البحث..... |
| 130..... | 6-2- تحضير العينات..... |
| 132..... | 6-3- تحضير السطح: Surface Preparation |
| 132..... | 6-3-1- طرائق تحضير السطح..... |
| 134..... | 6-4- تلبيس السطح بطبقة من المعدن..... |
| 138..... | 6-5- إجراء التجارب..... |
| 141..... | 6-6- التلبيس بجو مفرغ من الهواء (PVD)..... |
| 142..... | 6-7- طلاء السطح بالأسيتون والغرافيت..... |
| 142..... | 6-8-الاختبارات..... |
| 142..... | 6-8-1- قياس الخشونة..... |
| 144..... | 6-8-2- اختبار الالتصاق..... |
| 144..... | 6-8-3- حساب معدل الترسيب..... |
| 145..... | 6-8-4- اختبار الشد..... |
| 147..... | 6-9- طباعة القالب وتجريبه..... |
| 147..... | 6-9-1- طباعة القالب..... |

| | |
|----------|----------------------------------|
| 148..... | 6-9-2- تحضير القالب للتلييس. |
| 149..... | 6-9-3- تلييس سطح القالب بالمعدن. |
| 149..... | 6-9-4- تجريب القالب. |

الفصل السابع: النتائج والمناقشة

| | |
|----------|--|
| 153..... | 7-1- نتائج قياس خشونة السطح. |
| 154..... | 7-2- نتائج قياس معدل الترسيب. |
| 155..... | 7-2-1- تأثير درجة الحموضة PH على معدل الترسيب. |
| 157..... | 7-2-2- تأثير زمن الترسيب على معدل الترسيب. |
| 160..... | 7-3- نتائج اختبار الالتصاق. |
| 163..... | 7-4- نتائج التلييس بالتبخير. |
| 164..... | 7-5- نتائج اختبار الشد. |
| 165..... | 7-6- الاستنتاجات والتوصيات. |
| 170..... | المراجع. |
| 176..... | الاختصارات. |

فهرس الأشكال والجداول

| فهرس الأشكال | | |
|---------------------|--|------------|
| رقم الشكل | محتوى الشكل | رقم الصفحة |
| الفصل الأول | | |
| 1-1 | أقسام المواد الهندسية | 21 |
| 2-1 | عملية تشكّل الكوبوليميرات | 27 |
| 3-1 | ارتباط المونوميرات لتشكيل البوليمير | 27 |
| 4-1 | البلمرة بالإضافة | 28 |
| 5-1 | التصنيف الحراري للمواد البلاستيكية | 29 |
| 6-1 | التصنيف البنيوي للمواد البلاستيكية | 32 |
| 7-1 | تصنيف الطرائق المستخدمة في تصنيع المواد البلاستيكية | 34 |
| 8-1 | بعض الأشكال لآلات البثق | 36 |
| 9-1 | آلة الحقن مع أجزائها المختلفة | 36 |
| 10-1 | آلية النفخ مع البثق وأحد أشكال قوالبها | 37 |
| 11-1 | آلية النفخ مع الحقن وأحد أشكال قوالبها | 38 |
| 12-1 | طرائق إنتاج القطع البلاستيكية المسطحة | 39 |
| الفصل الثاني | | |
| 1-2 | مقارنة بين كلفة وعدد المنتجات | 42 |
| 2-2 | مبدأ الطباعة ثلاثية الأبعاد | 43 |
| 3-2 | الطباعة بالبلمرة الضوئية | 46 |
| 4-2 | الطباعة بالتلدين الحراري | 47 |
| 5-2 | تقنية تليد الليزر الانتقائي | 48 |
| 6-2 | مقارنة بين تكلفة الطباعة ثلاثية الأبعاد والصناعة التقليدية | 50 |
| 7-2 | استخدام الطباعة في المجال الطبي | 53 |
| 8-2 | الطباعة العضوية | 54 |

| | | |
|--|---|------|
| 55 | طباعة القطع البديلة | 9-2 |
| 56 | أول سيارة مطبوعة بتقنية 3D | 10-2 |
| الفصل الثالث: صناعة قوالب حقن ونفخ البلاستيك | | |
| 62 | قالب حقن تقليدي حاوي على طبعتين | 1-3 |
| 64 | قالب حقن تقليدي حاوي على طبعتين مع أجزائه | 2-3 |
| 72 | تأثير انزياح بلاطتي الذكر والأنثى في القالب | 3-3 |
| 73 | الشكل التقليدي لكل من المحور الدليلي والجلبة الدليلية | 4-3 |
| الفصل الرابع: عملية تلبيس البلاستيك بالمعادن | | |
| 83 | القطع التي يمكن تلبيسها | 1-4 |
| 89 | بعض المنتجات البلاستيكية الملبسة | 2-4 |
| 93 | سطح البلاستيك قبل التخریش وبعده | 3-4 |
| 95 | مراحل عملية التلبيس الكيميائي لمادتي PP، ABS | 4-4 |
| 102 | بعض الأمثلة على تطبيقات الترسيب المعدني بالتخلخل | 5-4 |
| 103 | يوضح رسم تخطيطي لآلية التبخير في جو مفرغ | 6-4 |
| الفصل الخامس: الدراسات المرجعية المتعلقة بموضوع البحث | | |
| 108 | قالب نفخ مصنع بالطباعة وبعض المنتجات | 1-5 |
| 108 | شكل نصف قالب نفخ مطبوع | 2-5 |
| 109 | علاقة الانحراف بدرجة الحرارة لبعض مواد | 3-5 |
| 111 | تأثير المعالجة على خشونة السطح | 4-5 |
| 112 | تأثير المعالجة بالأسيتون في خشونة السطح | 5-5 |
| 113 | تأثير حمام بخار الأسيتون في خشونة السطح | 6-5 |
| 114 | عينات ملبسة بطريقة الترسيب بالتبخير | 7-5 |
| 114 | مراحل عملية التلبيس | 8-5 |
| 116 | تأثير كل من تركيز المحلول ودرجة الحرارة والزمن على قوة الالتصاق | 9-5 |
| 116 | تأثير التخریش في سطح البلاستيك | 10-5 |

| | | |
|------------------------------------|--|------|
| 117 | خطوات ترسيب النيكل | 11-5 |
| 118 | شكل العينة المختبرة بعد الخدش | 12-5 |
| 120 | تحضير الماء الأوزوني | 13-5 |
| 120 | تأثير طريقة تخريش السطح بقوة الالتصاق | 14-5 |
| 122 | عينة شد قياسية | 15-5 |
| 123 | تأثير تلبيس السطح في إجهاد الشد للبولي بروبيلين | 16-5 |
| 123 | تأثير مادة حوض الترسيب بسماكة الطبقة | 17-5 |
| 124 | تأثير كلا من ملح روشيل والفورمالديهيد على سرعة الترسيب | 18-5 |
| 125 | تأثير حموضة الحوض وزمن الترسيب على معدل الترسيب | 19-5 |
| 126 | تأثير درجة الحرارة ودرجة ورق الشد في معدل الترسيب | 20-5 |
| الفصل السادس: الجانب العملي | | |
| 131 | عينة اختبارية من ABS (50*40*5mm) بعد الطباعة مباشرة | 1-6 |
| 132 | شكل العينة بعد الطباعة | 2-6 |
| 133 | استخدام ورق الشد لتنعيم السطح | 3-6 |
| 134 | معالجة العينات بالأسيتون | 4-6 |
| 135 | العينة قبل المعالجة بالأسيتون وبعدها | 5-6 |
| 136 | تنظيف السطح بمحلول كربونات الصوديوم | 6-6 |
| 137 | تخريش السطح بالحمض | 7-6 |
| 138 | حوض التنشيط (نترات الفضة والامونيا) | 8-6 |
| 139 | يوضح حوض الترسيب | 9-6 |
| 140 | الميزان الالكتروني المستخدم | 10-6 |
| 140 | حوض كبريتات النحاس مع جهاز قياس الحموضة وجهاز التسخين | 11-6 |
| 141 | شكل القطعة بعد التلبيس بالنحاس | 12-6 |
| 142 | بعض العينات الملبسة تحمل لوحة اسمية بمتغيرات التلبيس | 13-6 |
| 142 | يوضح عينات ملبسة بجو مفرغ | 14-6 |
| 143 | طريقة طلاء السطح بالغرافيت والأسيتون | 15-6 |
| 144 | يوضح جهاز قياس خشونة السطح المستخدم | 16-6 |

| | | |
|--|--|------|
| 141 | يوضح آلية اختبار الالتصاق وفق ASTM D3359 ^[38] | 17-6 |
| 143 | أبعاد العينة القياسية التي تم اعتمادها في اختبار الشد | 18-6 |
| 146 | وضعية الطباعة لعينات الشد | 19-6 |
| 147 | جهاز اختبار الشد | 20-6 |
| 148 | يوضح شكل القالب والعبوة | 21-6 |
| 149 | يوضح طباعة القالب | 22-6 |
| 149 | تحضير السطح للتليبس | 23-6 |
| 150 | مراحل التليبس | 24-6 |
| 150 | تجريب القالب على آلة النفخ | 25-6 |
| 151 | شكل القالب بعد توصيل التبريد | 26-6 |
| 151 | بعض العبوات بعد عملية النفخ | 27-6 |
| الفصل السابع: النتائج والمناقشة | | |
| 155 | مخطط نتائج قياس خشونة السطح | 1-7 |
| 156 | تأثير درجة الحموضة في معدل الترسيب عند زمن 10 دقيقة | 2-7 |
| 157 | تأثير درجة الحموضة في معدل الترسيب عند زمن 20 دقيقة | 3-7 |
| 158 | تأثير درجة الحموضة في معدل الترسيب عند زمن 30 دقيقة | 4-7 |
| 159 | تأثير زمن الترسيب في معدل الترسيب عند حموضة 12 | 5-7 |
| 159 | تأثير زمن الترسيب في معدل الترسيب عند حموضة 12.5 | 6-7 |
| 160 | تأثير زمن الترسيب في معدل الترسيب عند حموضة 13 | 7-7 |
| 161 | تأثير زمن الترسيب في معدل الترسيب عند حموضة 13.5 | 8-7 |
| 163 | متانة الالتصاق عند زمن ترسيب 10 دقيقة | 9-7 |
| 163 | متانة الالتصاق عند زمن ترسيب 20 دقيقة | 10-7 |
| 164 | متانة الالتصاق عند زمن ترسيب 30 دقيقة | 11-7 |
| 165 | عينة ملبسة بالتبخير مختبرة للقشر | 12-7 |
| 165 | نتائج اختبار الشد وفق ASTM D638 | 13-7 |
| 166 | مخطط السلوك لـ ABS | 14-7 |
| 168 | بعض العبوات بعد عملية النفخ | 15-7 |
| فهرس الجداول | | |

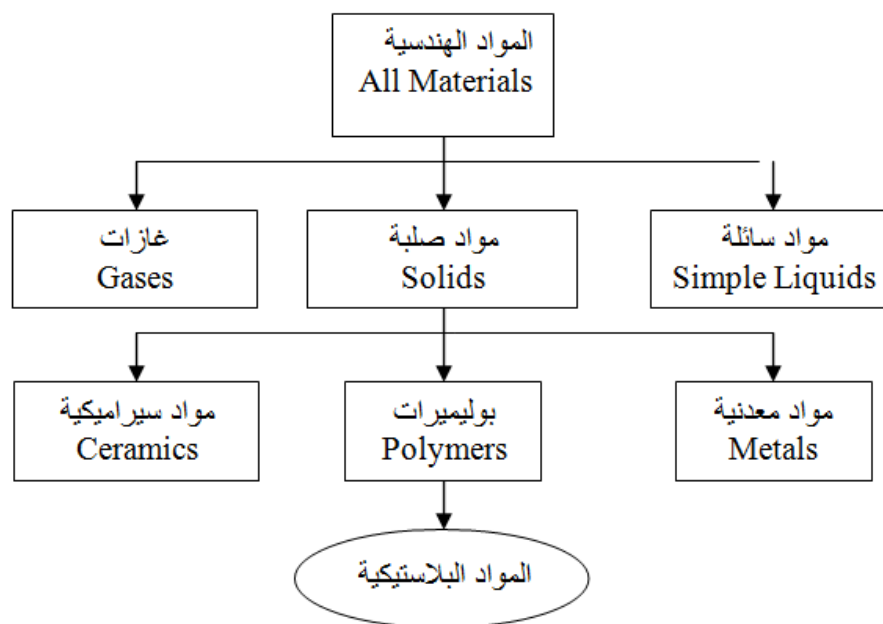
| رقم | محتوى الجدول | رقم الصفحة |
|------|--|------------|
| 1 | الفرق بين الكلفة والزمن بين طرائق صناعة القالب | 9 |
| 1-2 | نمو سوق الطباعة ثلاثية الأبعاد | 52 |
| 1-5 | يوضح اختلاف الأبعاد كنسبة مئوية بين منتج كل طريقة والقالب | 107 |
| 2-5 | متانة الالتصاق لكل طريقة تحضير للسطح | 114 |
| 3-5 | نتائج اختبار الالتصاق | 115 |
| 4-5 | نتائج اختبار الالتصاق لبعض العينات | 117 |
| 5-5 | تركيز العناصر المستخدمة للتنشيط | 117 |
| 6-5 | نوعين مختلفين من أحواض التنشيط | 121 |
| 7-5 | تراكيز العناصر في حوض الترسيب | 121 |
| 8-5 | نتائج اختبار التآكل | 123 |
| 9-5 | مكونات حوض الترسيب | 125 |
| 10-5 | سماكة طبقة النحاس المترسبة | 125 |
| 1-6 | مواصفات آلة الطباعة المستخدمة في البحث | 132 |
| 2-6 | متغيرات الطباعة المستخدمة في طباعة العينات | 132 |
| 3-6 | كميات الأسيتون والحرارة المستخدمة في البحث | 135 |
| 4-6 | يوضح المواد المستخدمة لتخريش السطح والنسب والحرارة المستخدمة | 136 |
| 5-6 | يوضح المتغيرات والمستويات المستخدمة في البحث | 139 |
| 6-6 | خصائص جهاز قياس الخشونة المستخدم | 144 |
| 7-6 | متغيرات الطباعة المستخدمة في طباعة عينات الشد | 147 |
| 8-6 | متغيرات الطباعة المستخدمة في طباعة القالب | 149 |
| 1-7 | يوضح نتائج قيم متوسط الخشونة للعينات | 154 |
| 2-7 | نتائج معدل الترسيب | 155 |
| 3-7 | يوضح نتائج اختبار الالتصاق للعينات المخرشة بالحمض | 161 |
| 4-7 | يوضح نتائج اختبار الالتصاق وفق ASTM D3359 للعينات الملبسة | 162 |
| 5-7 | يوضح نتائج اختبار الالتصاق لعينات التبخير | 164 |

الفصل الأول

البلاستيك وآليات تصنيعه

1-1- مقدمة:

تُقسم المواد الهندسية إلى ثلاثة أقسام: صلبة-سائلة-غازية، والنوع الصلب هو موضوع اهتمامنا حيث تقسم المواد الصلبة إلى: المعادن - المواد السيراميكية - اللدائن (POLYMERS). الشكل (1-1) يُوضح هذا التقسيم بشكل جيد.



الشكل (1-1): أقسام المواد الهندسية

2-1- المواد البلاستيكية:

هي عبارة عن مواد تركيبية وهي لا توجد حرة في الحالة الطبيعية وإنما وجدت هذه المواد عن طريق التحويل الكيميائي للمنتجات الطبيعية كالفحم، الملح، الحليب، الأخشاب، البترول ويتبع لهذه المنتجات أيضاً مواد عديدة منها المذيبات، المطريات، الإضافات، الأصبغة، المزلقات، المواد المائلة [3].

لقد تميّز النصف الثاني من القرن العشرين وبالأخص ما بعد الحرب العالمية الثانية بالتطور الهائل في دراسة المواد اللدنة والمطاطية والمركبة وطرائق إنتاجها وتطبيقاتها، حيث ظهر أنّ استعمالها واسعة الحدود ومختلفة ومتجددة الاتجاهات والأهداف حيث يستطيع بعضها أن يحل محل الفولاذ في تصنيع بعض القطع المعدنية.

1-3- تعريف عام لمفهوم المواد البلاستيكية (اللدائن):

إن أصل كلمة لدائن في اللغة العربية هو لدن وهي تعني صفة الليونة ويعبر عنها (PLASTICITY) ومنها اشتقت الكلمة (PLASTICS).

أول ظهور للمواد اللدنة هو من أصل عضوي ويطلق عليها اسم الصمغ، أو صمغ راتنجية أو راتنج التي كانت تتشكل على جذوع الأشجار وتسيل منها بواسطة النثر التلقائي أو بشق لحاء الشجرة وتتجمد بلامستها للهواء أو تنتج أيضاً عن طريق تكرير لبعض الزيوت الراتنجية بعد تبخر بعض المواد الطيارة منها.

لقد أطلق هذا التعريف على مجموعة كبيرة من الراتنجات التركيبية المشابهة بخصائصها اللدنة للراتنجات الطبيعية، وعلى مجموعة أخرى من المركبات الكيميائية التصنيعية المماثلة لها في هذه الخصائص.

من وجهة نظر بنيوية فإن جميع هذه الراتنجات هي عبارة عن مركبات ذات جزيئات كبيرة، وهي تشكل أساس المواد البلاستيكية، وبشكل أدق فإن جزيئاتها الكبيرة تسمى بالبوليميرات (POLYMERS) التي هي عبارة عن عدد كبير من المونوميرات. [4]

للحصول على المواد البلاستيكية انطلاقاً من هذه الراتنجات أو البوليميرات تجب إضافة بعض المواد المساعدة (ملدنات، مثبتات، مزلاقات، مواد مالئة، ملونات، أصبغه) وذلك من أجل تعديل بعض خواصها كالمقاومة الميكانيكية واللدونة ومقاومة الأكسدة وثبات الأبعاد وذلك لتسهيل عمليات التصنيع وكذلك الأداء المستقر ويمكن التعبير عن المقدمة السابقة بالمعادلة الآتية:



1-4- التطور التاريخي للمواد البلاستيكية:

لقد بدء تاريخ المواد البلاستيكية منذ عام 1869 إثر مسابقة هدفها إيجاد مادة لاستبدال العاج الطبيعي المستخدم في كرات البلياردو، سدد الأخوة HYATT الأنظار نحو السيلولويد أو نترات السيللوز المنتجة من أصل طبيعي نباتي (الخشب، القطن) وكانت تلك أول مادة بلاستيكية.

خلال أربعين عاماً بقيت السيلولويد هي المادة البلاستيكية الوحيدة حتى صنع كيميائي بلجيكي في عام 1909 أول مادة بلاستيكية تركيبية وسماها باسمه (بيكاليت)، وبذلك بدأت ولادة المواد البلاستيكية مع بدايات القرن الماضي حيث في نهاية القرن التاسع عشر لم يكن يوجد على المستوى الحرفي أو الصناعي إلا بعض المواد البلاستيكية من أصل طبيعي سوى السيلولويد، البيكاليت.

في عام 1920 نلاحظ انطلاقة واسعة لتطور هذه الريزينات المكثفة ومنها الفينول / فورمول وذلك لامتلاكها خواص العزل وبالتحديد العزل الكهربائي.

ولدت المادة الأولية اللدنة حرارياً في فرنسا وتزايدت في 1940 وهي الـ (PVC) استخدمت في أثناء الحرب العالمية الثانية محل المطاط والكاوتشوك الذي كان استيراده في تلك الفترة صعباً جداً.

أما في أمريكا فقد ظهر أول بولي أمين / النايلون / كبديل للألياف النسيجية الطبيعية وبشكل خاص كبديل عن الحرير.

بعد الحرب عام 1950 ساعد انتشار الـ (PVC) القاسي على ولادة الصناعة الكيميائية، وذلك من خلال مقاومته الكيميائية الجيدة للأحماض والقلويات أثناء استخدامه في درجات الحرارة العالية والمعتدلة منافساً بنجاح الفولاذ غير القابل للصدأ. [4]

إنّ تطور السيارات ووسائل النقل بشكل كبير أدى إلى ازدياد طلب البترول كمصدر للطاقة مما أدى إلى تطور الصناعات البتروكيميائية التي أدت إلى ولادات عديدة للمواد البلاستيكية اللدنة حرارياً والمشتقة من وقود الأوليفينيل الناتجة عن تقطير المواد البترولية كالإيثيلين، البنزين، البروبيلين، الفينول حيث تستخدم كل هذه المنتجات كأساس للعديد من المركبات التي تؤدي بشكل مباشر أو غير مباشر إلى مواد بلاستيكية.

1-5- الخواص الرئيسية للمواد البلاستيكية: [4]

- الوزن النوعي الخفيف: تتراوح كثافة المواد البلاستيكية بين (0.9-1.8) وفي معظم الأحيان تأخذ القيمة 1.
- المقاومة الميكانيكية: حيث تتغير المقاومة الميكانيكية بتغير التركيب الكيميائي للمادة وتكون القطع البلاستيكية أكثر مقاومة، أخف وزناً بالمقارنة مع القطع المعدنية التي تقوم بنفس العمل.
- الشفافية: حيث تمتلك معظم المواد البلاستيكية عامل شفافية للضوء قريب من عامل شفافية الزجاج والبعض منها يكون نصف شفاف أو قاتم كلياً.
- الثبات وعدم التغير: تقاوم المواد البلاستيكية المؤثرات الخارجية والعديد من المواد الكيميائية.
- الجمالية: إمكانية تشكيل سطوح وتصنيع قطع مختلفة قابلة للتلوين بألوان متعددة ونعومة السطوح ودقة الإنهاء تضمن مظهراً لائقاً للقطع.
- الكتامة: تضمن المواد البلاستيكية الحجز الجيد للسوائل والغازات.
- العزل: تعدّ هذه المواد من أجود العوازل الكهربائية والحرارية والصوتية.
- التزليق: تمتلك هذه المواد عوامل احتكاك ضعيفة.
- الصيانة والتنظيف: تعدّ المواد البلاستيكية من المواد سهلة الصيانة ولا تحتاج إلى معالجة خاصة للسطوح وتقاوم الاحتكاك.
- تعدد الأنواع: قاسي، متين، مقاوم، مرن، مقاوم للاهتراء، قابلية الالتصاق.
- أغلب الأنواع غير ضارة فيزيولوجياً.

1-6- بعض مساوئ المواد البلاستيكية:

- الاهتراء مع تقدم الزمن.
- التأثير بالأشعة الشمسية لبعض الأنواع.
- الشحن الكهربائي الساكن.

1-7- استعمالات المواد البلاستيكية:

نستطيع القول إننا نعيش في أيامنا هذه ضمن بيئة كاملة من البلاستيك وذلك لأننا نجدها مناسبة للاستهلاك في المجالات الآتية:

- الألبسة والمنسوجات: ألبسة من النايلون، الأكرليك، الجلد الصناعي.
- الجلديات والأحذية: الحقائق اليدوية والظهرية والسفر وأحذية الجلد الصناعي وأحذية التزلج.
- المفروشات: السجاد، الوسادات، المفروشات من رغوة البولي استر، تلبيس المفروشات
- الأدوات المنزلية: الأطباق غير القابلة للكسر، أدوات ذات استعمال مرة واحدة، أوعية النفايات.
- الرياضة والألعاب: ألعاب الأطفال، ألعاب الشواطئ، أجهزة التزلج، عصا القفز، عصا الصيد، الساعات غير القابلة للكسر.
- التغليف: A: الغذائي: أوعية وزجاجات وعلب.
- B: الصناعي: أغلفة القطع الصناعية وأكياس النفايات.
- النقل: الحاويات التي تستخدم في النقل البري، جدران البرادات الناقلة والحافلات وأرضيات بعض أنواع من السيارات.
- الصناعات الكهربائية والمنزلية: أجهزة القواطع الكهربائية، أغلفة بعض أجزاء التلفاز والحاسب، أجسام مضخات تستخدم في تخليق الهواء.
- الصناعات الكيميائية: تغليف الحجر، الأوعية، حجر التخزين.
- البناء: تلبيس الأرضيات والسطوح، سطوح وجسور تقوية، الدهانات الداخلية والخارجية، حمايات للسلالم والأدراج.
- الزراعة: أنابيب الري وتصريف المياه، أوعية النباتات والأزهار، مقاعد الحدائق.
- الطبية: المحاقن المعقمة ذات الاستعمال مرة واحدة، أوعية وأنابيب نقل الدم، الرضاعات للأطفال غير القابلة للكسر.

1-8-بنية المواد البلاستيكية وأنواعها:

لقد وجدنا سابقاً أن الراتنجات من وجهة نظر بنيوية هي عبارة عن مركبات هيدروكربونية ذات جزيئات كبيرة تسمى البوليميرات التي هي عدد من المونوميرات وللحصول على مادة بلاستيكية انطلاقاً من

هذه الراتنجات أو البوليميرات تجب إضافة بعض المواد المساعدة كالمذيبات والمطريات والأصبغة والمواد المائلة وكذلك مواد إضافية أخرى وذلك من أجل تسهيل عمليات التصنيع وضمان الأداء المستقر. [5]

1-8-1- المكونات الأساسية للراتنجات:

تتألف الراتنجات من سلاسل ضخمة تدعى البوليميرات وتضم آلاف الوحدات الجزيئية الصغيرة التي تدعى المونوميرات حيث ترتبط هذه الأخيرة مع بعضها البعض بعدة طرائق وهي البلمرة، التكاثف، بالإضافة وهذه المكونات هي: [6]

1-1-8-1- المونومير (MONOMER): هو أصغر مركب هيدروكربوني بسيط ويشكل الوحدة الأساسية للمادة البلاستيكية وتستطيع المونوميرات أن تتفاعل مع بعضها البعض أو أن تتفاعل مع مونوميرات مشابهة لها أو غير مشابهة.

1-2-1-8-1- البوليمير (POLYMER): هو مركب تفاعلت فيه المونوميرات عن طريق البناء نتيجة عمليات البلمرة وذلك لمونوميران من نفس النوع مشكلة ترابطات فيما بينها ولذلك فهي عبارة عن مجموعة جزيئات مترابطة من نفس النوع وكأنها جزيئات عملاقة وذات وزن جزيئي كبير وتضم عدد كبير من الذرات وقد يكون ارتباط المونوميرات مع بعضها بعضاً لتشكيل البوليميرات ارتباطاً عشوائياً أو على شكل سلاسل خطية.

1-3-1-8-1- الكوبوليمير (COPOLYMER): هو عبارة عن مونوميرات من نوعيات مختلفة المصدر مرتبطة مع بعضها البعض تدعى أحياناً بوليميرات مشتركة وهي تحضر على أساس تفاعل مونوميران أو أكثر من المونوميرات غير المتشابهة أو مونومير من نوع و مونومير من نوع آخر ذي وزن جزيئي منخفض وينتج عن التفاعل مجموعات من الجزيئات العملاقة المعقدة وذات أوزان ذرية أكبر وتمتلك هذه الكوبوليميرات صفات جديدة ومختلفة تماماً عن الأنواع المساهمة فيها. الشكل (2-1) يوضح تشكّل الكوبوليمير.



الشكل (1-2): عملية تشكل الكوبوليميرات

1-9-9- طرائق الحصول على المواد البلاستيكية: [6]

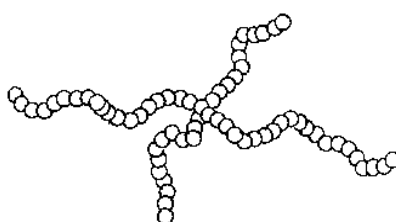
1- البلمرة.

2- التكاثف والتكاثف المركب.

3- الإضافة.

1-9-1 مفهوم البلمرة (Polymerization): هي العملية التي ترتبط فيها المونوميرات مع بعضها البعض لتشكيل البوليمير أو الكوبوليمير، ويدعى عدد الوحدات التي ارتبطت مع بعضها بعضاً بدرجة البلمرة، وتتم العملية بعدة طرائق سواء بواسطة مفاعلات أو دونها وبشكل صناعي أو طبيعي ويمكن أن تتم في مختلف أطوار المادة (غازية، سائلة) وبمختلف أنواع السوائل المعروفة مذابة أو مستحلبة أم معلقات أو أخيراً بالطور الجامد.

الشكل (1-3) يبين كيفية ارتباط المونوميرات مع بعضها لتشكيل البوليمير.



الشكل (1-3): ارتباط المونوميرات لتشكيل البوليمير.

1-9-2 التكاثف والتكاثف المركب (Condensation and Compound Condensation):

هو عبارة عن تفاعلات كيميائية ينضم فيها جزيئان أو أكثر من نوع كيميائي واحد أو من نوعين مختلفين، وينجم عن اتحادهما تشكيل سلاسل من جزيئات أكثر تعقيداً مع انفصال مواد بسيطة كالماء، الكحول، والأمونيا، كلوريد الهيدروجين. وهناك نوعان للتكاثف: [6]

2-تكاثر ثنائي أو ثلاثي البعد: ينتج عنه مواد بلاستيكية مقساة حرارياً (TS).

GRAFT TYPES: A-A-A-A-A-A-A-A-A-A-A-A-A-A-A-

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|--|--|---|---|--|---|
| | | | | | | | | | |
| B | B | B | B | | | | | | B |
| | | | | | | | | | |
| B | B | | | | | | B | | |
| | | | | | | : | | | |
| B | | | | | | B | | | |

10-1- تصنيف المواد البلاستيكية:

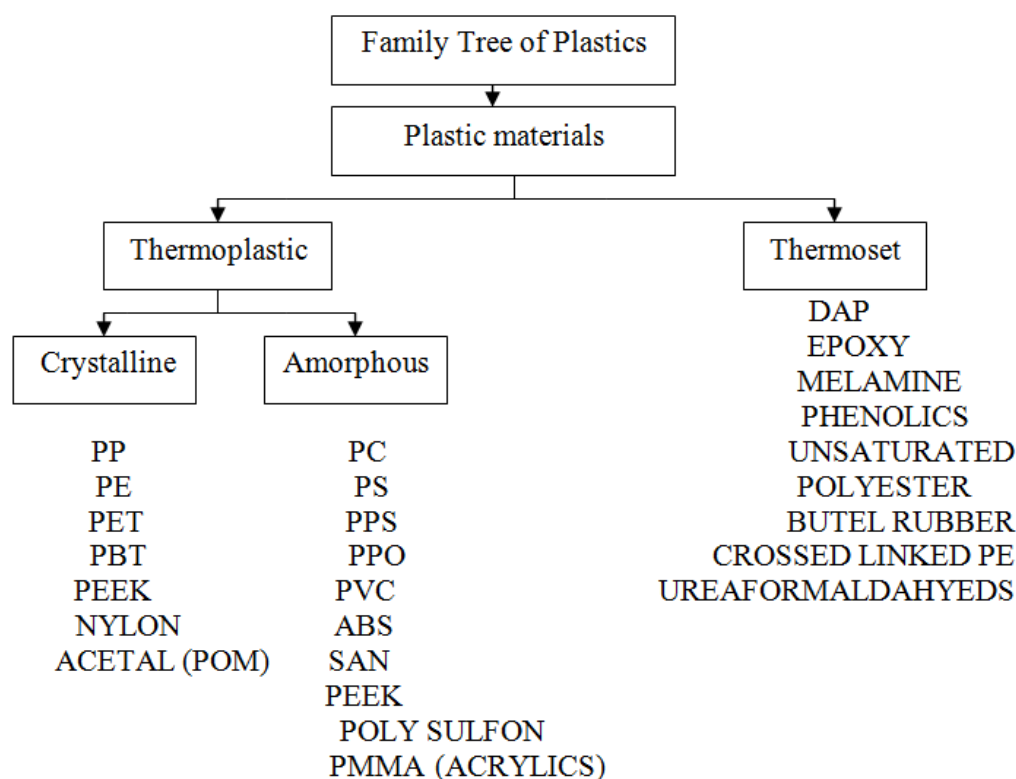
● التصنيف الحراري.

● التصنيف الكيميائي.

● التصنيف من وجهة نظر بنبوية.

1-10-1 التصنيف الحراري للمواد البلاستيكية:

من وجهة النظر الحرارية فإنّ المواد البلاستيكية تقسم إلى مجموعتين كبيرتين وذلك بحسب طبيعة سلوك تلك المواد تحت تأثير درجة الحرارة عليها. الشكل (1-5) يبيّن هذا التصنيف:



الشكل (1-5): التصنيف الحراري للمواد البلاستيكية [6]

1-1-10-1 المجموعة الأولى: المواد البلاستيكية اللدنة حرارياً (THERMOPLAST) (TP):

تتكون من جزيئات ومركبات ضخمة على شكل سلاسل طويلة جداً، وتتجمع هذه السلاسل مع بعضها بعضاً بواسطة قوى فاندرفالز (VANDERVALE) الضعيفة نسبياً، وتشبه هذه المواد في تركيبها كمية مبعثرة من خيوط من الصوف المتداخلة مع بعضها بعضاً.

عند تعرض هذه المواد للحرارة تضعف هذه القوى، وتصبح المادة طرية ولينة ومع ازدياد الحرارة تصبح مصهوراً لزجاً، وعند انخفاض درجة حرارة هذا المصهور أي تبريده، فإنّ المادة تعود إلى حالتها الأولى الصلبة ونظرياً وعملياً يمكن إعادة هذه الدورة لحياة المنتج البلاستيكي اللدن حرارياً عدد لا نهائي من المرات حيث:

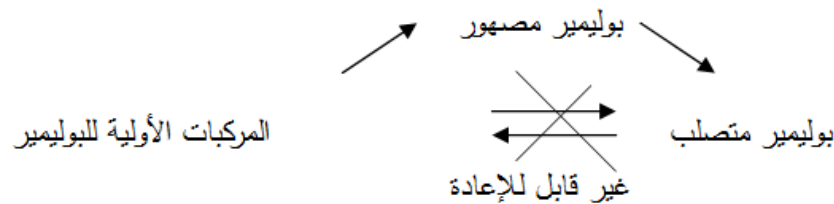
إذا كان لدينا بوليمير صلب فإنّ هذا البوليمير يتحول بالتسخين إلى بوليمير مصهور، وبالتبريد نحصل على بوليمير صلب وهكذا.

وبعدّ هذا المبدأ الأساسي العلمي والعملي لكل عمليات التشكيل المطبقة على المواد اللدنة حرارياً أثناء عمليات الإنتاج. علماً بأن عملية الصهر وإعادة التصلب لها بعض السلبات على المواصفات العامة للمادة البلاستيكية ولكن هذه السلبات قليلة نسبياً حيث إنّها لا تؤخذ بالاعتبار في جميع الحالات ومثال على هذه المواد: البولي إيثيلين، (PVC)، البولي بروبيلين (PP)، الأكرليك.

2-1-10-1 المجموعة الثانية: المواد البلاستيكية المتصلبة حرارياً (THERMOSETS) [7]:(TS)

غالباً ما يتم تحضير وإنتاج المواد البلاستيكية المتصلبة حرارياً اعتماداً على تفاعل كيميائي، وعلى مرحلتين تتضمن الأولى منها تحضير سلاسل جزيئية طويلة على غرار ما يحدث في المواد اللدنة حرارياً، ولكنّها لازالت تملك إمكانية تفاعل لاحق.

أما في المرحلة الثانية من التفاعل فيحدث تصادم بين تلك السلاسل في أثناء عمليات التشكيل وعادة ما تكون هذه المرحلة تحت شروط معينة من الضغط والحرارة في القالب نفسه ونحصل بالنتيجة وبعد تبريد المنتج على مادة صلبة وذات تركيب جزيئي ثلاثي الأبعاد وفي النهاية تكون المادة قد استقرت في أثناء عملية التشكيل هذه تتكون روابط قوية جداً بين السلاسل تؤدي إلى عدم إمكانية إذابة هذه المادة مرة أخرى باستعمال الحرارة وفي حال تعريض هذه المواد إلى مصدر حراري فإنّها تحترق وتتفكك لا يمكن إعادة تشكيلها من جديد حيث انطلاقاً من:



ولكن يعدّ هذا التصنيف ناقصاً وجافاً والسبب هو أن التقدم المخبري أنتج لدائن تركيبية كانت تصنف في أقسام، وأصبح من الممكن تطبيقها في أقسام أخرى فمثلاً أنتجت لدائن تركيبية وأصبح من غير الضروري لتشكيلها وقولبتها ومعاملتها بالحرارة والمثال على ذلك الدهانات.

كما أن بعض اللدائن المتصلبة حرارياً أو المقساة بالحرارة (TS) أصبح من الممكن قولبتها بشكل مستمر بنفس طرائق إنتاج المواد اللدنة حرارياً (TP).

وهناك أصناف أخرى من اللدائن لا يمكن إدخالها في إحدى الزمرتين السابقتين، فهي ليست بمواد لدنة قابلة لإعادة التشكيل، ولا هي من المواد المتصلبة التي تقسو بالحرارة، ولا يمكن إعادة تلدينها مرة أخرى ومثال على ذلك (تترا فلوريد ايتيلين).

هناك فوارق عديدة بين هذين الصنفين لكن نذكر الفارق الرئيس ألا وهو:

أن عملية تصنيع النوع الأول (TP) تتم بالتسخين حتى الوصول إلى اللدونة (حيث نحصل على الشكل المطلوب للقطعة في هذه المرحلة بطرائق مختلفة)، ومن ثم التبريد للحصول على الشكل النهائي.

هذا النوع من المواد البلاستيكية (TP) يمكن إعادة تصنيعه مرات عديدة، حيث يمكننا أن نصل إلى مرحلة اللدونة في كل مرة عن طريق التسخين.

أما تصنيع النوع الثاني (TS) فيتم بواسطة تفاعلات وعمليات كيميائية مرتبطة بعملية التشكيل نفسها، وبشكل عام في هذه المواد تحصل التقسية عن طريق الحرارة (إما المطبقة أو الناتجة عن التفاعلات).

لا يمكن في أي حال من الأحوال إعادة التصنيع لهذه المواد حيث تحافظ على شكلها حتى ولو تعرضت للحرارة، وذلك إلى حدود معينة تحترق بعدها المادة وتفقد جميع خواصها.

10-2-1 التصنيف الكيميائي للمواد البلاستيكية: [7]

حيث يعتمد التصنيف الكيميائي للمواد البلاستيكية على أشكال وأنواع المركبات الكيميائية لتلك المواد وبناء عليه تصنف المواد البلاستيكية إلى أربع فئات منفصلة:

الفئة الأولى: تتضمن هذه الفئة منتجات المكثفات والمكثفات المركبة، ومنتجات الإضافة المركبة سواء ما كان منها معدلاً أم غير معدل أو مبلمرة أو دون تبلمر بسلاسل خطية أو بدونها.

وتشتمل هذه الفئة منتجات لدائن الفينول، والدائن الأمينية والبولي استر غير المشبع، وبعض منتجات المواد المكثفة، ومنتجات الإضافة المركبة مثل البولي أميد بما في ذلك النايلون المستعمل لدائناً لا خيوطاً والبولي استر الخطي والراتنجات الصناعية الإيبوكسية والبولي أوريثان والسيليكونات.

الفئة الثانية: تتضمن منتجات البلمرة والبلمرة المركبة أو المشتركة مثل منتجات بلمرة الإيثيلين ومشتقاتها الهالوجينية والبولي ستيرين ومشتقات البولي فينيل والبولي أكريليك والبولي ميثاكريليك.

الفئة الثالثة: ومنها السللوز المجرد ونترات السللوز واسيتات السللوز ومشتقات كيميائية أخرى من السللوز وإن كانت ملدنة بمذيبات أو بمواد الطراوة كالألياف السيللوزية المكرنة.

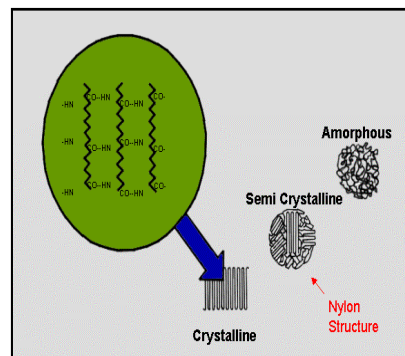
الفئة الرابعة: الراتنجات الطبيعية المحولة بالصهر /صموغ مصهورة/ راتنجات تركيبية ناتجة عن استرة راتنجات طبيعية أو الأحماض الراتنجية والمشتقات الكيميائية من المطاط الطبيعي.

1-10-3 التصنيف البنيوي للمواد البلاستيكية:

- المواد البلاستيكية ذات البنية نصف المنتظمة (SEMI CRYSTALLINE).
- المواد البلاستيكية ذات البنية العشوائية (AMORPHOUS).
- المواد البلاستيكية ذات البنية المنتظمة (CRYSTALLINE).

الشكل (1-6) يوضح التصنيف البنيوي للمواد البلاستيكية:

Basic Structure of Polymers



Honeywell

PEP 2: Plastics Materials Guide

June 2000

CONFIDENTIAL AND PROPRIETARY

الشكل (1-6) التصنيف البنيوي للمواد البلاستيكية [4]

في الواقع العملي لا يوجد بنية بلورية تامة (ذات توزيع منتظم للسلاسل البلورية نسبة لبعضها) أو عشوائية تامة، ولهذا أغلب البوليميرات لها بنية شبه بلورية، وهذا يعني أنّ جسم البوليمير مؤلف من مناطق بلورية وأخرى لا بلورية وتشارك السلسلة الواحدة في الموقعين معا كما يرينا الشكل السابق.

هنا يجب التأكيد بأن التركيب الكيميائي للمونومير له علاقة كبيرة في الطبيعة الفيزيائية لبنية البوليمير النهائية بعد عملية البلمرة، وهناك بوليميرات تكون دائماً عشوائية التركيب مثل الـ (PVC) والبولي ستيرين وهناك أيضاً بوليميرات ذات طبيعة بلورية عالية جداً مثل البولي إيثيلين (85%) والبولي بروبيلين (60%) وتتعكس هذه النسبة على كثير من الموصفات وأهمها درجة حرارة الانصهار، فالمواد عشوائية التركيب ليس لها درجة انصهار واضحة ولكن لها مجال للتدن، أما المواد البلورية فكما ارتفعت نسبة البلورات فيها كلما ظهر على مخطط الحرارة مجال أضيق لانصهار هذه المادة.

1-11- أنواع المواد البلاستيكية اللدنة حرارياً: [7]

لدائن المركبات الأليفاتية.

لدائن مركبات الستيرين.

لدائن الفينيل وكوبوليميرات الفينيل.

لدائن السيلولوز ومشتقاتها.

1-12- أنواع المواد البلاستيكية المقساة حرارياً:

اللدائن الفينولية.

لدائن أوكسيد الفينيلين المعدلة.

لدائن الإيتوكسيلين (الإيبوكسي).

1-13- طرائق تصنيع البلاستيك: [8]

هناك العديد من طرائق التصنيع (حقن، بثق، نفخ) وكل طريقة تختص بميزات وإمكانات محددة ومعروفة، كما تتميز كل طريقة بقدرتها على إنتاج نوع معين من القطع البلاستيكية. كيف نختار الطريقة الصحيحة لإنتاج قطعة بلاستيكية:

يمكن إنتاج بعض القطع البلاستيكية وفق عدة طرائق وعلى المهندس اختيار الطريقة الأنسب والأوفر وذلك تبعاً لعدة معايير أهمها [8]:

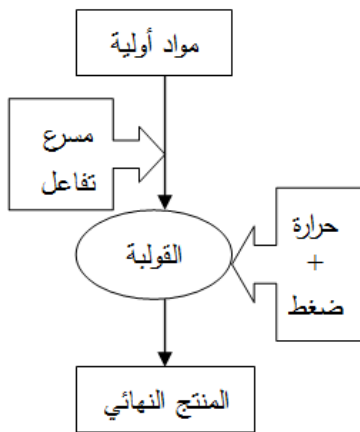
- شكل القطعة: شكل معقد أو بسيط، شكل مجوف أو مصمت.
- نوع المادة: ملدنة حرارياً، مقساء حرارياً.
- الكمية المطلوبة: إنتاج كمي ضخم، عدد محدود من القطع.
- جودة المنتج المطلوبة: هل هو للاستخدام العادي أم للاستخدامات الخاصة والدقيقة.

اختلاف التقنية حسب المادة المستخدمة: [8]

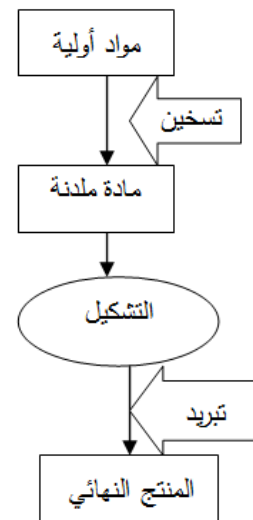
من خلال المخطط الموضح بالشكل (1-7) يمكن تمييز الاختلاف الجذري للطريقة المستخدمة حسب نوع المادة:

تصنيف الطرائق المستخدمة في تصنيع المواد البلاستيكية حسب المادة الأولية:

المواد المقساء حرارياً.



المواد اللدنة حرارياً.



الشكل (1-7) تصنيف الطرائق المستخدمة في تصنيع المواد البلاستيكية [8]

1) : طرائق تصنيع خاصة بالمواد البلاستيكية اللدنة حرارياً:

- البثق (Extrusion).
- الحقن (Injection).
- التشكيل الحراري (Forming).

• السكب (Casting).

• النفخ (BLOWING).

2) :طرائق تصنيع خاصة بالمواد البلاستيكية المقساة حرارياً:

• القولبة بالحقن (Injection Molding).

• القولبة بالحقن التفاعلي (Reactive Injection Molding).

• القولبة بالتحويل (Transfer Molding).

• القولبة بالضغط (Pressure Molding).

1-13-1-طرائق التصنيع الخاصة بالمواد البلاستيكية اللدنة حرارياً:

1-1-13-1-البثق (Extrusion) : [9]

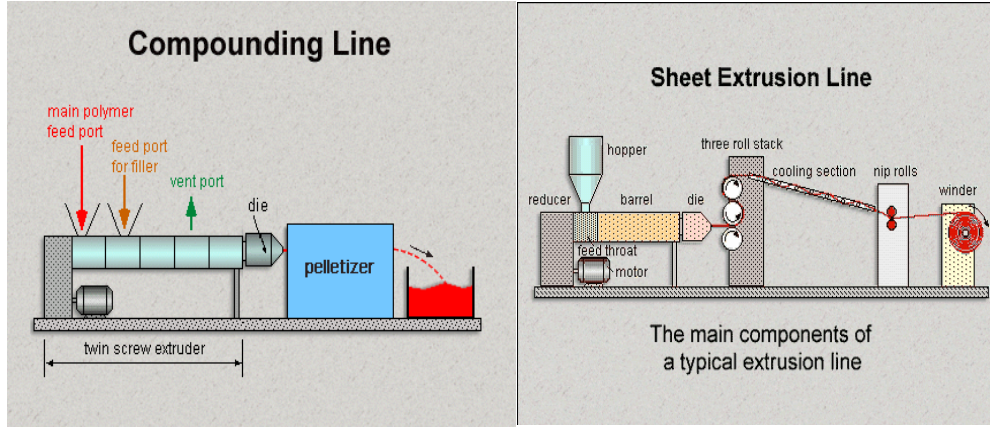
يعد أحد أهم طرائق تصنيع المواد البلاستيكية اللدنة حرارياً، حيث يعتمد مبدأ العمل في هذه الطريقة على دخول المواد الأولية التي غالباً ما تكون عبارة عن حبيبات صلبة من قمع التغذية لداخل الأسطوانة، ويتم تسخينها داخل الأسطوانة بواسطة وشائع التسخين الموجودة على جسم الأسطوانة من الخارج حتى تتلدن ثم يقوم اللولب بدفعها إلى فتحة القالب كما يقوم بمهمة المزج الجيد للمواد وتأمين التجانس الكيميائي والحراري، نحصل بعد ذلك على المصهور اللازم لعملية البثق الذي يخرج من رأس البثق الذي يحوي القالب، الذي يعطي الشكل المطلوب للقطع، ثم بعد ذلك يبرد المنتج عند خروجه بواسطة بخاخات ماء أو تيارات هواء ويمكن أن يبدأ التبريد ابتداءً من القالب، وتستخدم هذه الطريقة للحصول على منتجات طولية مستمرة من البروفيلات ذات المقاطع المختلفة [4].

إن تلدين المادة البلاستيكية ضمن آلة البثق ينتج من الحرارة الناتجة عن وشائع التسخين، وعن الحركة الميكانيكية للحبيبات ضمن اللولب التي تسبب الاحتكاك الذي تنتج عنه الحرارة أيضاً. لذلك يجب الانتباه جيداً إلى هذه النقطة فعندما يطلب تسخين مادة بلاستيكية إلى درجة حرارة معينة من أجل بثقها فيجب الأخذ بعين الاعتبار الحرارة الناتجة عن الاحتكاك وإلا أصبح لدينا تسخين زائد للمادة البلاستيكية ومن ثم تحدث مشاكل متعددة.

أهم المواد المستخدمة في عملية البثق:

(PVC-ABS – PS).

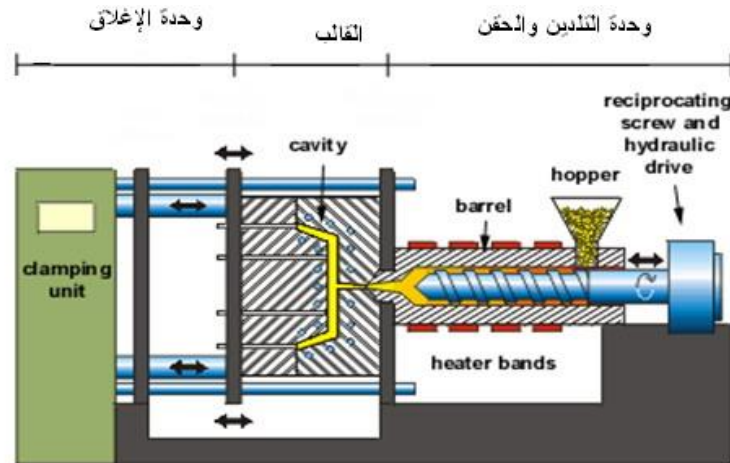
الشكل (8-1) يبين بعض الأشكال لآلات البثق:



الشكل (8-1): بعض الأشكال لآلات البثق [9]

2-1-13-1- الحقن (Injection):

تمكن هذه الطريقة من إنتاج القطع البلاستيكية المفردة والأشكال المعقدة، ذات الأبعاد الدقيقة، تعتمد هذه الطريقة في مبدأ عملها على تليدين المادة البلاستيكية بواسطة الحرارة ولولب الدفع استعداداً لحقنها ضمن الفراغ القالب تحت ضغط معين، ثم بالتبريد تتصلب المادة وتخرج من القالب على شكل قطعة بلاستيكية منتجة. الشكل (9-1) يوضح آلة الحقن مع أجزائها المختلفة:



الشكل (9-1): آلة الحقن مع أجزائها المختلفة [9]

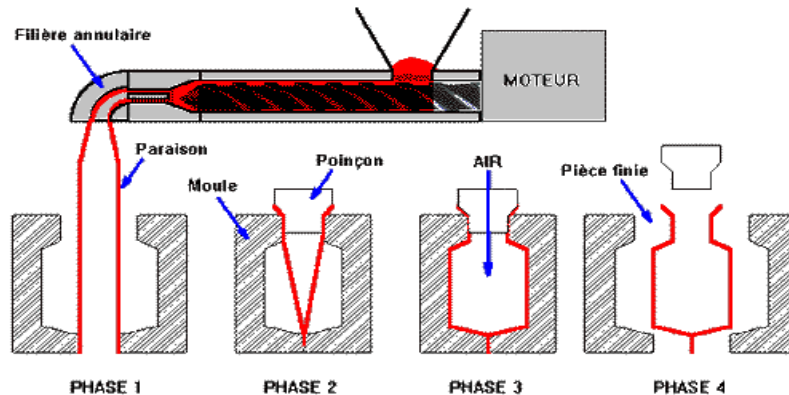
بعد إغلاق القالب تدخل المادة البلاستيكية للأسطوانة الساخنة ويدوران اللولب تتقدم المادة عبر الأسطوانة وتتلدن المادة البلاستيكية بفعل الحرارة والاحتكاك. وعند وصولها لرأس الحقن يتراجع اللولب للخلف لمسافة محددة ومن ثم يبدأ الحقن بحركة الحلزون الانسحابية نحو الأمام بمساعدة المكبس.

1-13-3- النفخ (Blowing):

النفخ هو طريقة تتعرض فيها المادة البلاستيكية المصهورة أو الملدنة لضغط داخلي يجعلها تأخذ شكل تجويف القالب. وهي تستخدم بشكل كبير لإنتاج القوارير والأوعية المجوفة بأشكالها المختلفة. وتقنية النفخ هي تقنية يمكن أن تستخدم مع أكثر من طريقة مثل البثق أو الحقن أو التشكيل:

1-13-4- النفخ مع البثق:

نحصل من آلة البثق على مقاطع مستمرة على شكل أسطواني تكون مفرغة من الداخل مثل صنع الأكياس البلاستيكية، وبعد عملية البثق تنزل هذه المادة بين جزئي قالب النفخ ثم إطباق جزئي قالب النفخ على بعضهما البعض. يغطي القالب بغطاء ينفذ عبره الهواء المضغوط ثم يتم ضخ الهواء من خلال هذا الغطاء ليتم تشكيل الفراغ المطلوب، وتبريد المنتج ومن ثم يفتح القالب وتنزع القطعة. الشكل (10-1) يوضح ذلك:



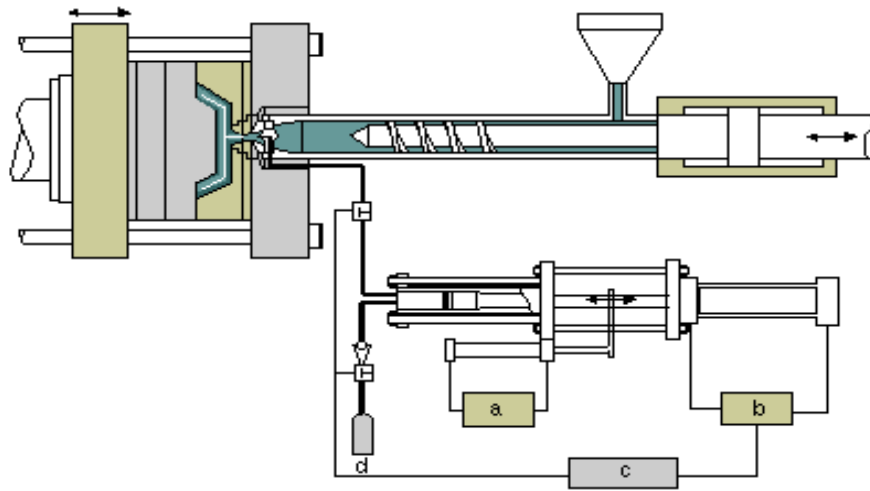
الشكل (10-1) يوضح آلية النفخ مع البثق [9]

1-13-5- النفخ مع الحقن:

نستخدم هنا الهواء المضغوط في عملية التشكيل، وهي تستخدم لإنتاج الأجسام المفرغة كما في (علب المطهر) ولإستخدام هذه الطريقة نتبع الخطوات الآتية:

المرحلة (A): يتم حقن نموذج القطعة الأولية في قالب معين ولا يوجد تبريد في هذه المرحلة حيث إنّ فراغ القالب يعطي الشكل الأولي.

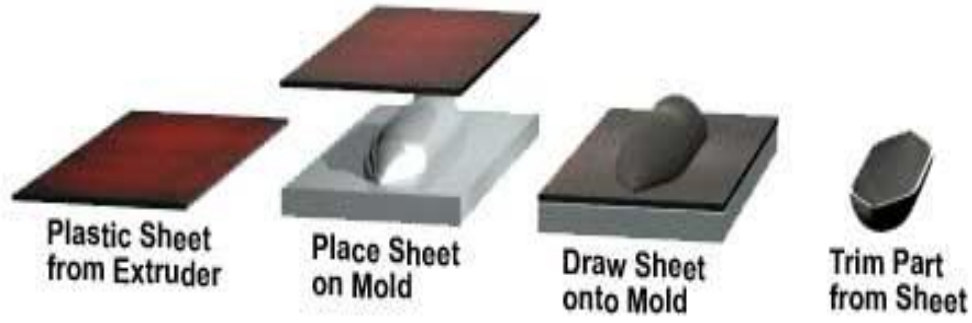
المرحلة (B): يتم تغيير القالب إلى قالب آخر له شكل المنتج النهائي، ونفخ الهواء المضغوط من فتحة جانبية حتى تأخذ المادة شكل القالب ثم يتم نزع القالب، كما موضح بالشكل (11-1). [10]



الشكل (11-1) يوضح آلية النفخ مع الحقن [10]

1-13-6- التشكيل الحراري (Forming):

تمكّن هذه الطريقة من إنتاج القطع البلاستيكية المسطحة، التي تحوي على تجاويف وتقعرات وفقاعات، وتعتمد هذه الطريقة في مبدأ عملها على إعادة تليدين الصفائح المعدّة كمنتجات نصف مصنعة، وذلك عن طريق تسخينها ثمّ كبسها على ذكر قالب أو عن طريق الأنثى وبالعكس، أو عن طريق سحب الهواء بينها وبين أنثى القالب أو ذكره، ثم تبرد في وضعها النهائي ثم تخرج من القالب وتشدّب بالشكل النهائي. الشكل (12-1) يوضح ذلك:



الشكل (12-1) يوضح طرائق إنتاج القطع البلاستيكية المسطحة [10]

1-13-1-7-السكب (Casting):[10]

تمكّن هذه الطريقة من إنتاج القطع البلاستيكية البسيطة، لكنها قليلة التطبيق بسبب تعقيد القطع البلاستيكية بشكل عام. وتعتمد في مبدأ عملها على تلدين المادة البلاستيكية بالحرارة، ثم سكبها في القوالب ثم تبرّد وتأخذ شكل القالب الذي سكبت فيه، ثم تخرج منه مشكلة.

الفصل الثاني

النمذجة السريعة والطباعة ثلاثية الأبعاد

Rapid Prototyping and 3D printing

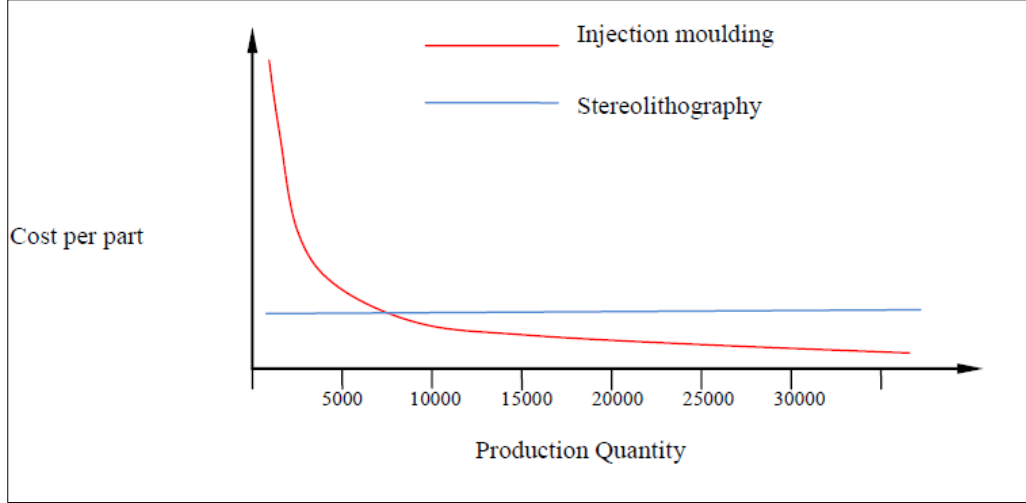
2-1- النمذجة السريعة والطباعة 3d:

زاد في الآونة الأخيرة الاهتمام باستخدام تقنية النمذجة السريعة Rapid Prototyping وتطبيقات الهندسة العكسية، ويرجع هذا الاهتمام إلى عدد من العوامل منها تخفيض الوقت والتكلفة لإنتاج المنتجات مقارنة بأنظمة التصنيع التقليدية، وهناك أيضاً حالات في الصناعة التحويلية لم تعد الطرائق التقليدية اقتصادية وسريعة بما فيه الكفاية لتقديم منتجات جديدة إلى السوق بزمن قليل وكلفة منخفضة، وقد توجّهت الأبحاث الحديثة نحو الأدوات السريعة والتصنيع السريع، وكلاهما تكنولوجيا ناشئة وكثير منها يتكيف مع تقنيات النماذج الأولية السريعة أو يستغلها جزئياً لتطوير نهج جديدة لإنتاج الأدوات والأجزاء. والفوائد الرئيسة للتقنيتين هي فعاليتهما من حيث التكلفة، والوقت القصير للتصنيع، الهدر الأقل للمواد من طرائق التصنيع التقليدية [11].

وقد وجد أنه في عام 1999، تم تصنيع أكثر من 99.99% من قوالب الحقن للمواد البلاستيكية إما عن طريق التحكم العددي بالكمبيوتر أو بآلات التفريغ الكهربائي (Hilton، 2000). ولا تزال عمليات التصنيع الطرحية (subtractive manufacturing) هي أساليب التصنيع السائدة.

حتى مع تقدم التكنولوجيا في أساليب التصنيع التقليدية، عملية التصنيع لا تزال تأخذ وقتاً طويلاً ويمكن أن تكون مكلفة للغاية، مثلاً ستة أشهر و 300,000 دولار أمريكي يمكن أن تصل كلفة القالب المعقد، ولذلك يجب استخدامه واستثماره لفترات طويلة لتعويض كلفة الإنتاج ونتيجة لذلك، فإن الكلفة تكون مرتفعة لكل منتج في حال كان عدد المنتجات قليلاً، وفي هذه الحالات يفضل استخدام النمذجة. [11]

وبين الشكل (2-1) الاختلاف في التكلفة لكل قطعة مقابل كمية الإنتاج لعملية قوالب الحقن والنمذجة على التوالي.



الشكل (1-2) مقارنة بين كلفة وعدد المنتجات [11]

نلاحظ الكلفة المرتفعة لقوالب الحقن التقليدية عندما يكون حجم الإنتاج منخفض، ولذلك كلفة كل منتج مرتفعة. من ناحية أخرى، تكلفة كل جزء يُنتج بالنمذجة ثابت باختلاف حجم الإنتاج. ولذلك فإن طريقة النمذجة هي أكثر اقتصادية في حال كان عدد المنتجات دون 10000 منتج.

تقوم معظم نُظم النمذجة السريعة على تصنيع المنتجات بأسلوب إضافة 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.

أو قد تكون أيضا في شكل رقائق أو شرائح ذات سمك ضئيل للغاية (يبلغ أحيانا ما هو أقل من ١٠٠ ميكرون) من المعدن أو البلاستيك أو بعض الخامات الأخرى. وبعد أن تضاف الطبقة تعمل الآلة على تصليدها وتماسكها مع الطبقات التي تسبقها بعدد من الوسائل منها الحرارة الموضعية العالية الناشئة عن شعاع ليزر أو بإضافة مصلبات Hardners راتنجية سريعة التأثير تنتج مع الطبقة التي تم بناؤها طبقة صلبة عالية Toolpath وفقا لمسار يرسمه الحاسب بدقة لأداة التشكيل. ووفقا للخامة المستخدمة يمكن تعريض المنتج الناتج للعمليات التشغيلية المناسبة أو حتى تعريضه للمعالجات الحرارية لتحسين خواصه الميكانيكية ومقاومته للتآكل والتلف وزيادة متانته [12].

➤ كيف تتم صناعة القالب باستخدام النمذجة السريعة:

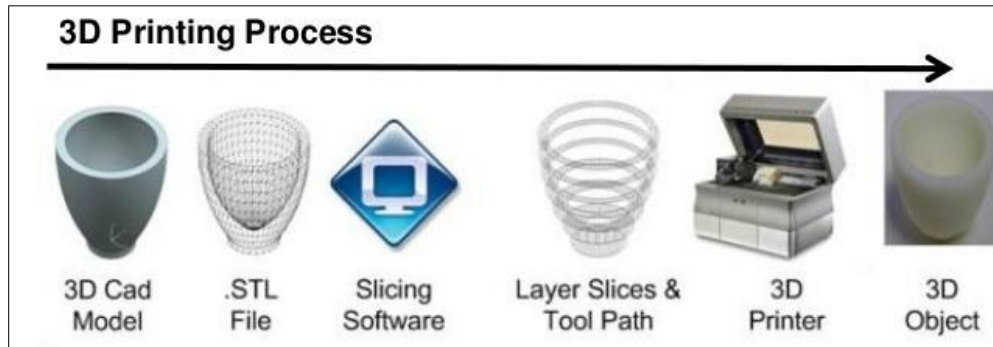
يتم صناعة قوالب النفخ المصنعة باستخدام تقنيات النمذجة السريعة عن طريق الطباعة ثلاثية الأبعاد 3D printing، ماهي الطباعة ثلاثية الأبعاد؟

2-2- تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد: 3D printing

الطباعة ثلاثية الأبعاد هي التقنية التي يتم من خلالها بناء مجسم ملموس من نموذج رقمي ثلاثي الأبعاد، 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 المضاف (Additive Manufacturing)، ويختلف هذا النظام عن نظامي القولية والنحت اللذين يبددان أكثر من 90% من المادة المستخدمة في التصنيع.[11]

الكثير من العلماء أبدوا اهتماما واضحا بالطباعة ثلاثية الأبعاد منذ الستينيات (1960) من القرن الماضي، أمثال كوداما وهلّ وكارل ديكارد، ولكن الظهور الأول لهذه التقنية كان في الثمانينات، عندما حصل هلّ على أول براءة اختراع على طابعته التي تعمل بنظام (SLA)، وتالت بعدها الاختراعات والأبحاث، وصدرت العديد من براءات الاختراع. وعدّ المتنبئ بالمستقبل جيرمي ريفكين الطباعة ثلاثية الأبعاد الثورة الصناعية الثالثة، بعد المكننة والتجميع في القرنين التاسع عشر والعشرين، حيث إنه يمكن إنتاج أيّ شكل ومهما كانت المادة المرادة للتصنيع، كما أنها مكّنت الأفراد من طباعة النماذج الخاصة بهم بأنفسهم دون الحاجة للمصانع تحت ما يسمى بـ " اصنعها بنفسك ".

يوضح الشكل (2-2) مبدأ الطباعة ثلاثية الأبعاد



الشكل (2-2) مبدأ الطباعة ثلاثية الأبعاد[13]

الخطوة الأولى لطباعة مجسم ثلاثي الأبعاد هو بناء النموذج ثلاثي الأبعاد أو ما يسمى ملف " STL " ، حيث يمكن الحصول عليه من الماسح الضوئي ثلاثي الأبعاد ، أو من خلال تصميمه بإحدى البرامج المخصصة لذلك مثل solid work ، ... Autocad وبعد ذلك تأتي الخطوة الثانية وهي فحص الملف من الأخطاء في التصميم مثل عدم اتصال النقاط ، حيث إنّ هذه الملفات بالعادة تحتوي العديد من هذه الأخطاء ، وخاصة تلك النماذج المأخوذة من الماسح الضوئي ثلاثي الأبعاد ، وتُسمى هذه العملية بعملية التصحيح، ومن ثم في الخطوة الثالثة يتم إرسال النموذج المصحح إلى ما يسمى بالمقطع "Slicer"، حيث يقوم هذا البرنامج بتقطيع النموذج إلى مجموعة كبيرة من الطبقات قد يتجاوز عددها ألف طبقة، ويسمى الملف الناتج من هذه العملية ملف "G-Code" ، وهو يحتوي على مجموعة من التعليمات والأوامر التي تساعد الطابعة على إنجاز العمل بالكفاءة المطلوبة. بعد ذلك يرسل الملف إلى الطابعة لتنفيذه بناءً على التكنولوجيا المستخدمة في الطابعة، وفي النهاية يدخل المجسم الناتج في عملية التنظيم والتنعيم لإزالة الحواف والأجزاء غير المرغوب بها.[13]

2-2-1-تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد:

تختلف التكنولوجيا المستخدمة في الطباعة ثلاثية الأبعاد من طابعة إلى أخرى من ناحية آلية العمل والمواد المستخدمة فيها، حيث تختلف طريقة بناء الطبقات بعضها فوق بعض، فبعض الطابعات تُذيب المادة البلاستيكية لتصبح لينة وقابلة للتشكيل وبعد تشكيلها تقوم بتبريدها، وطابعات تقوم باستخدام بوليمير حساس للضوء لبناء الطبقات، وأخرى تقوم باستخدام المواد على شكل بودرة، وقد صنفت الجمعية الأمريكية للفحص والمواد (ASTM-F42) التكنولوجيا المستخدمة في الطباعة ثلاثية الأبعاد إلى 7 فئات هي:[14]

الطباعة باستخدام البلمرة الضوئية والتصليد الحراري Vat Photo polymerization

الطباعة النقطية Material Jetting

الطباعة باستخدام المادة اللاصقة Binder Jetting

الطباعة بالتلدين الحراري Material Extrusion

الطباعة باستخدام بودرة الطباعة Powder Bed Fusion

الطباعة باستخدام الشرائح Sheet Lamination

الطباعة باستخدام الطاقة الكهربائية الموجهة Directed Energy Deposition

سننكم في الأقسام الآتية عن التكنولوجيا الأكثر استخدامًا وانتشارًا

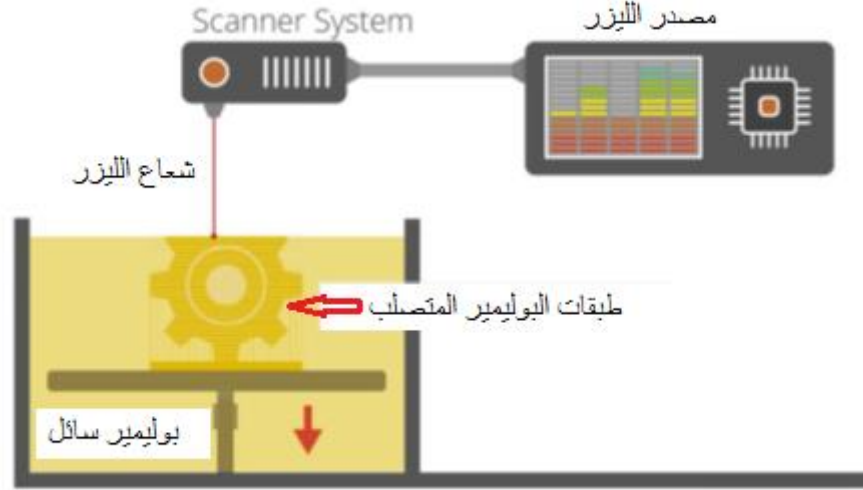
2-2-1-1-البلمرة الضوئية والتصليد الحراري: [13] Stereo lithograph (SL)

يُصنّف بصورة واسعة كأول طريقة للطباعة ثلاثية الأبعاد ومتوفر تجارياً برمز (SL) وتعتمد عملية الطباعة على الليزر التي تعمل مع البوليمير الضوئي الذي يتفاعل بوجود الليزر ويتصلب بصورة دقيقة مكونة قطعاً ذات دقة وجودة عاليتين. إنها عملية معقدة ولكن يمكن تبسيطها بوجود البوليمير الضوئي في حوض يحتوي على منصة متحركة ، يوجه شعاع الليزر بمحوري X, Y خلال سطح البوليمير حسب المعلومات للشكل ثلاثي الأبعاد و يؤدي إلى تصلب البوليمير و بالتحديد عند تعريض سطح حوض البوليمير لليزر وبصورة أدق على السطح الرقيق من البوليمير في الحوض، وعندما تنتهي الطبقة الأولى تهبط المنصة في الحوض باتجاه الأسفل مسافة قليلة باتجاه المحور Z لتكملة الطبقة التي تليها بواسطة شعاع الليزر حتى اكمال الشكل بالكامل و يمكن رفع المنصة فيما بعد من الحوض لفصل النموذج او الشكل المطبوع. [13]

بسبب طبيعة عمل (SL) تحتاج الأشكال المطبوعة بهذه الطريقة الدعم لبعض أجزائها على وجه التحديد كتلك التي تتدلي وتضعف وتحتاج إلى الإزالة اليدوية والتنظيف والمعالجة بواسطة آلة تشبه الفرن باستخدام ضوء مكثف لتقوية الراتنج.

يمكن اعتبار (SL) بشكل عام من أدق عمليات الطباعة ثلاثية الأبعاد وبأسطح نهائية ممتازة رغم وجود بعض العوامل المحددة منها بعض الخطوات الإضافية للمعالجة المطلوبة بعد الطباعة والحاجة إلى استقرارية المواد المطبوعة مع مرور الوقت التي يمكن أن تصبح هشة.

ويوضح الشكل (2-3) طريقة الطباعة بالبلمرة الضوئية:



الشكل (2-3) الطباعة باللمرة الضوئية [13]

2-2-1-2-2 الطباعة بالتدخين الحراري: [13] Material Extrusion

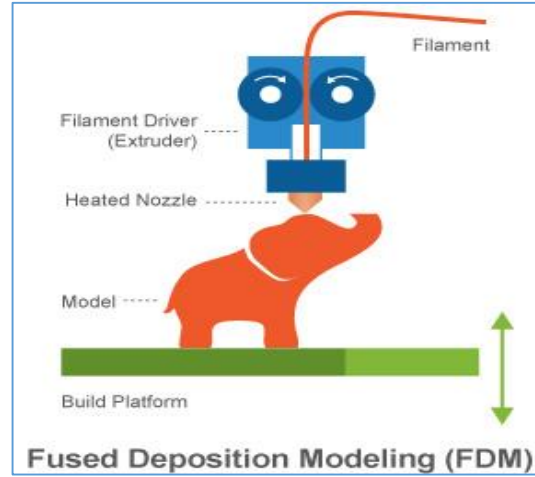
تستخدم في هذا النوع من الطباعة ثلاثية الأبعاد مواد بلاستيكية حرارية وذلك بنفثها خلال قاذف أو نافث وهي واسعة الانتشار وتسمى بشكل عام بنمذجة المترسب المنصهر (Fused Deposition Modelling) (FDM) وهذه التسمية التجارية المسجلة من قبل ستراتس (Stratasys) وهي الشركة الأصل التي طورتها.

ان تقنية (FDM) بدأت منذ أوائل عام ١٩٩٠ وانتشرت بصورة واسعة بعد سنة ٢٠٠٩ بعد إطلاقها كشكل حر للتصنيع (Free Form Fabrication) (FFF) مثل أجهزة الريب راب (Rep Rap) ولكن بصورة محدودة لكون براءة الاختراع حتى هذا الوقت ملك لشركة ستراتس (Stratasys).

تبدأ الطباعة بإذابة شعيرات البلاستيك الموضوعة في نافث مسخن يقوم بنفث مادة الطباعة طبقة بعد طبقة على منصة البناء من خلال معلومات الشكل ثلاثي الأبعاد، التي تُجهز بها الطابعة. حيث إن كل طبقة سوف تتصلب ويتم إيداع شعيرات بلاستيك جديدة في النافثة لضمان استمرارية الطباعة وبالنهاية تلتصق هذه الطبقات فيما بينها وتكون القطعة المطبوعة. شركة ستراتس (Stratasys) طورت عدد كبير من المواد التي تملكها صناعيا لطابعاتها من (FDM) التي تناسب إنتاج بعض التطبيقات. ولكن في مستوى الطابعات الموجودة في السوق حاليا هناك تحديد في المواد المستخدمة

رغم النمو الذي يشهده هذا القطاع حيث إن المواد شائعة الاستخدام في هذا النوع من الطابعات هي (ABS) و (PLA) والمتوفرة بالسوق بأنواع ومصادر مختلفة.

قد تحتاج طريقة (FDM) لدعم البنية أثناء الطباعة لتعليق الأشكال الهندسية للتطبيقات، وهذا يعد من إحدى مساوئها، على كل حال يتم تطوير وتحسين الطابعات من هذا النوع حالياً بوجود رأسين للنفث أو أكثر بحيث يمكن استخدام أكثر من لون ونوع من الشعيرات البلاستيكية من (ABS) و (PLA). كذلك عمليات الطباعة قد تكون بطيئة لبعض الأجزاء الهندسية للشكل الذي يتم طباعته، وقد تؤدي إلى سيلانها بشكل قليل، يمكن معالجتها فيما بعد باستخدام الأسيتون.



الشكل (4-2) الطباعة بالتلدين الحراري [13]

2-2-1-3- الطباعة باستخدام البودرة: Powder Bed Fusion [13]

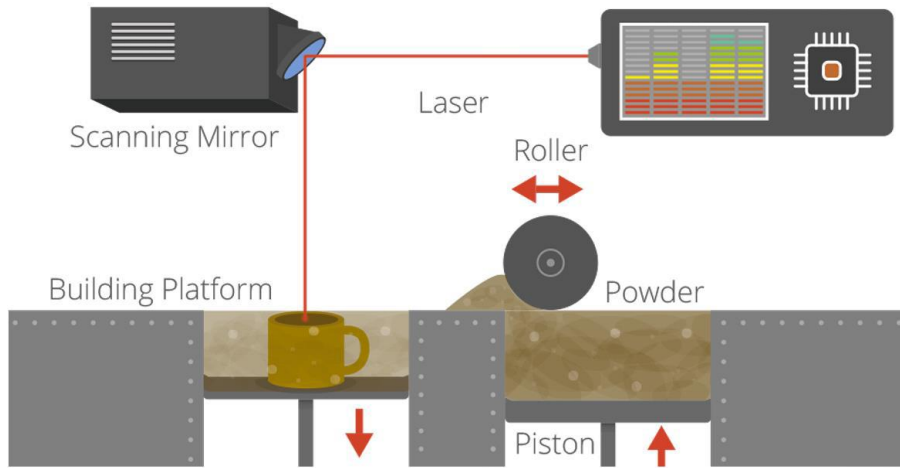
يستخدم في هذا النوع من الطباعة الليزر أيضاً، ولكن المادة التي يُطبع بها النموذج تكون بصورة بودرة، حيث يُوجه شعاع الليزر على طاولة من المواد المسحوقة والمضغوطة، وحسب بيانات النموذج ثلاثي الأبعاد، حيث تبدأ الطباعة على محاورين X,Y للطبقة الأولى من النموذج ويتفاعل الليزر مع سطح المسحوق ويؤدي إلى التصاقها ببعض ويُكوّن قطعة صلبة حسب التصميم، وبعد الانتهاء من الطبقة الأولى تمرر أسطوانة مع القليل من المواد المسحوقة لملء الفراغ الحاصل من هبوط منطقة الطباعة قبل أن يقوم شعاع الليزر بطباعة الطبقة الأخرى التي ترتبط بالطبقة التي تليها إلى أن تكتمل الطباعة وهكذا.

تكون غرفة البناء أو مكان مسحوق الطباعة معزولة بصورة جيدة للحفاظ على درجة الحرارة أثناء عملية الطباعة وذلك بالحفاظ على درجة انصهار مادة المسحوق، وبعد الانتهاء من الطباعة تتم إزالة المسحوق الزائد وإخراج القطعة المطبوعة.

من أهم مميزات هذه الطريقة من الطباعة ثلاثية الأبعاد هو أن المسحوق بمثابة هيكل دعم للقطع المطبوعة، التي يمنعها من أن تتدلى وتضعف. وبذلك يمكن طباعة أشكال معقدة بهذه الطريقة لا يمكن طباعتها بالطرائق الأخرى. على كل حال فإن عيوب هذه الطريقة هي درجة الحرارة العالية للتبديد والحاجة إلى وقت للتبريد بعد الطباعة حيث يجب أن تكون ضمن الاعتبار، علاوة على ذلك فإن المسامية تشكل مشكلة رئيسة لهذه الطريقة من طرائق الطباعة ثلاثية الأبعاد رغم التحسينات الكبيرة لجعل أجزائها أكثر كفاءة، علماً أن هناك بعض التطبيقات تتطلب إضافة مواد أخرى لتحسين الخصائص الميكانيكية.

التبييد بالليزر يمكن استخدامها مع البلاستيك والزجاج والرمل والمعادن، ولكن عند استخدامها للمعادن فإنها تحتاج إلى ليزر ذو طاقة عالية ودرجة حرارة عالية مع المعادن.

أشهر تقنية تستعمل هذه التكنولوجيا هي تقنية تبييد الليزر الانتقائي Selective laser sintering (SLS). موضحة بالشكل (5-2).



الشكل (5-2) تقنية تبييد الليزر الانتقائي [13]

2-2-2-2-تحديات الطباعة ثلاثية الأبعاد: [15]

نتيجة للتقدم التكنولوجي المستمر، ومحاولة استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد في أغلب المجالات، كان لا بد لهذه التقنية أن تواجه بعض الصعوبات والتحديات التي تمثلت في القطاعات الآتية: التحديات في قطاع المواد، التحديات في قطاع وقت الإنتاج والطباعة، التحديات في قطاع تكلفة الطباعة.

2-2-2-2-1-التحديات في قطاع المواد:

هناك الكثير من المواد التي تستخدم في الطباعة ثلاثية الأبعاد، مثل البلاستيك والمعادن، والبحث مستمر دائما من قبل الشركات المصنعة لمواد الطباعة لتطوير مواد جديدة للطباعة، وما زال قطاع مواد الطباعة يشكل تحديا كبيرا لتلك الشركات، والتحديات الآن في قطاع المواد يكمن في: استخدام مواد مختلفة، دمج المواد واستخدام أكثر من مادة في الصنيع، دقة الطباعة.

2-2-2-2-2-استخدام مواد مختلفة: [15]

أكثر المواد استخداما في الطباعة ثلاثية الأبعاد هي البلاستيك الحراري، لأنه سهل التلدين عند الطباعة، ويتصلب في درجة حرارة الغرفة العادية، مثل (ABS, PLA) المكونين من حمض "البوليلاكتيك" المستخرج من حمض اللاكتيك، ولكن المشكلة الأساسية في هذه المواد هي أنها تتقلص ويتغير شكلها وتتشوه عند تبريدها. ولهذا يبحث العلماء والباحثون عن المواد الأكثر استقرارا عند تسخينها أو تبريدها، كما أنهم يبحثون في موضوع طباعة المعادن، ويبحثون أكثر في مجال الطباعة العضوية لما له من أهمية واستخدامات كبيرة خاصة في المجال الطبي.

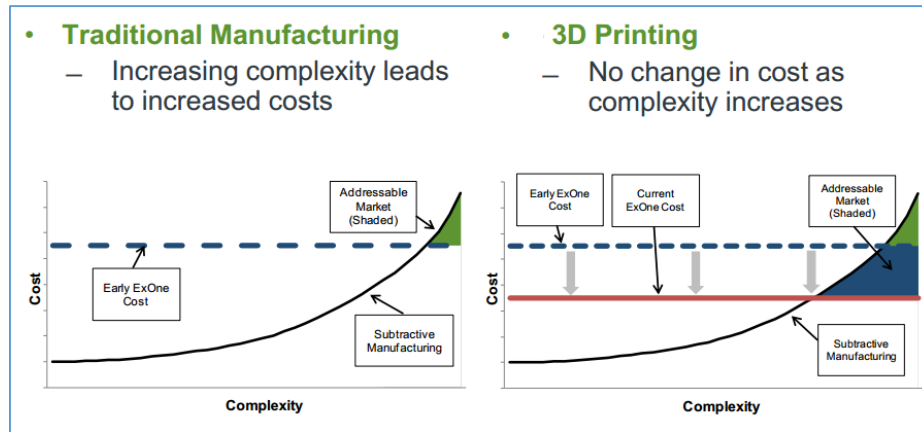
2-2-2-3-دمج المواد وخلق أكثر من مادة مع بعضها البعض:

لكل مادة خصائصها، ودمج أكثر من مادة مع بعضها البعض يعني أساليب وظروف وبيئات مختلفة للطباعة، والأسلوب السائد حاليا لطباعة مجسم يحتوي مواد مختلفة، هو العمل فيه على مراحل مختلفة، لكل مرحلة خصائصها وظروفها وأسلوبها المناسب للمادة المراد العمل بها. ولطباعة مجسم يحتوي على عدة مواد، يجب أن تكون لهذه المواد خصائص معينة تتناسب مع ظروف طباعة المادة التي تليها، كأن لا تذوب لو تعرضت لحرارة أعلى أو لا يتغير شكلها. حاليا استطاع الباحثون والمطورون العمل على أكثر من لون من نفس المادة، أو طباعة المجسم بأكثر من أسلوب، مثل طباعة القطع الإلكترونية الصغيرة، حيث يطبع البلاستيك على طابعة مخصصة لطباعة البلاستيك، ومن ثم على

طابعة أخرى مخصصة للمعادن تطبع المكونات المعدنية، العمل المستقبلي في هذا الإطار هو لتحديد متى وأين تطبع مادة معينة في المجسم على نفس الطابعة دون تحريك القطعة أو نقلها من مكان لآخر.

2-2-3- دقة الطباعة [15] :

دقة الطباعة هي سماكة كل طبقة في النموذج المراد طباعته، وتحدد دقة الطباعة بسماكة المادة الخارجة من رأس الطباعة، وتقاس بالميكروميتر. تتراوح دقة الطابعات في أيامنا هذه من 100 ميكروميتر إلى 0.1 ميكروميتر في الطابعات المتقدمة، ولكن هذه الدقة لن تكون كافية في المستقبل القريب، تبعاً لحجم المجسم المطبوع وخصائصه، فبعض المجسمات الدقيقة مثل أعضاء جسم الإنسان والقطع الإلكترونية بحاجة إلى دقة أعلى لتجسيم التفاصيل الصغيرة فيها. وبناء على هذا ما زال المطورون يعملون على تحسين دقة الطباعة، وأيضاً يجرون البحوث على المواد التي تحافظ على خصائصها وتبقى قوية كفاية عند الطباعة بتفاصيل أدق وأحجام أصغر، ويوضح الشكل (2-6) الفرق بين كلفة الطباعة والطريقة التقليدية حسب تعقيد المنتج، حيث نلاحظ لا تغيّر في كلفة المنتج في حال تعقيد شكل المنتج في الطباعة ثلاثية الأبعاد، بينما في التصنيع التقليدي تزداد كلفة التشغيل كلما ازداد تعقيد شكل المنتج.



الشكل (2-6) مقارنة بين تكلفة الطباعة ثلاثية الأبعاد والصناعة التقليدية [16]

2-2-4- الوقت اللازم لإتمام الطباعة ثلاثية الأبعاد:

خفّضت الطباعة ثلاثية الأبعاد مراحل التصنيع، بالإضافة إلى تخفيض الوقت اللازم للإنتاج، فالمنتج الذي كان يحتاج إلى أسبوعين أصبح ينجز خلال 48 ساعة، والتحدي الآن في تخفيض الوقت اللازم للطباعة بحيث يصبح أقل ما يمكن.

2-2-5- تكاليف الطباعة ثلاثية الأبعاد: [16]

أثبتت الطباعة ثلاثية الأبعاد أنها أقل تكلفة من الصناعة التقليدية، وتقسم التكاليف إلى قسمين، القسم الأول وهو تكلفة الطابعة ثلاثية الأبعاد، والثاني هو تكلفة المواد اللازمة للطباعة، وقد تبين أن تكلفة المواد أعلى بكثير من تكلفة شراء الطابعة نفسها، ومعظم الاستثمارات تتفق على تصنيع مواد الطباعة أو الأبحاث المتعلقة بها، انظر إلى الجدول الآتي (2-1) الذي يوضح الفروقات في تكلفة الإنتاج التقليدي وتكلفة الطباعة ثلاثية الأبعاد بالإضافة إلى الزمن اللازم لكل منهما.

المطورون مازالوا يعملون لتخفيض تكلفة الطباعة، وأصبح سعر الطابعات اليوم أقل من السابق، حيث وصل سعر الطابعة ثلاثية الأبعاد إلى \$400 وهو في متناول اليد، ولكن يجب أن نأخذ بعين الاعتبار أن أسعار الطابعات تختلف حسب المهمة المطلوب إنجازها، فالطابعات التي تستخدم في المجال الطبي أكثر تكلفة وأعلى سعراً من تلك الطابعات الشخصية.

هذا ويجب لفت النظر إلى أن تكلفة الصناعة التقليدية تزداد كلما ازداد تعقيد المنتج المطلوب، بينما كلفة الطباعة ثلاثية الأبعاد سيبقى ثابتاً، لأن الطابعة تستطيع أن تنجز العمل المطلوب مهما كانت درجة تعقيده خلال مرحلة واحدة.

2-2-6- الاستخدامات المستقبلية للطباعة ثلاثية الأبعاد:

استمر سوق الطباعة ثلاثية الأبعاد بالنمو منذ الإعلان عن براءة الاختراع الأولى، وزادت المساهمات في هذه السوق خلال السنوات السابقة، ففي عام 2013 وصلت إلى 2.5 بليون دولار أمريكي، وفي عام 2014 كانت 3.8 بليون دولار، في حين وصلت هذه المساهمات إلى \$16.2 عام 2018. ويوضح الجدول (2-1) نمو سوق الطباعة ثلاثية الأبعاد خلال الأعوام 2013 - 2018.

الجدول (1-2) نمو سوق الطباعة ثلاثية الأبعاد [16]

| Global 3D printing market | | | | |
|--|-------------------|------------------|------------------|-----------------------|
| Estimates and forecast of market value to 2018, in USD | | | | |
| Category | 2013 estimates | 2014 forecast | 2018 forecast | CAGR (2013 - 2018) |
| Total | \$2.5b | \$3.8b | \$16.2b | 45.7% |
| 3D printers | \$0.7b | \$1.3b | \$5.4b | 50.1% |
| Services and materials | \$1.8b | \$2.5b | \$10.8b | 43.8% |

Source: Canalys estimates and forecast, © Canalys 2014

هناك العديد من المجالات المفتوحة للطباعة ثلاثية الأبعاد، حيث المحددات الوحيدة الموجودة هي توفر الطباعة، أو تحديات برامج التصميم ثلاثية الأبعاد، من ناحية أخرى، يتوقع أن تمتلك الشركات خدمة الطباعة عند الطلب، لنقوم بتلبية الطلب على المنتجات المخصصة، حيث إن هذا الطلب سيستمر بالتزايد والنمو، موجهاً بتخصيص الطباعة وكفاءتها. هذا بالإضافة إلى إنتاج هذه المنتجات المخصصة محلياً، بدلاً من طباعتها أو إنتاجها في الخارج.

ذكرنا أن سوق الطباعة ثلاثية الأبعاد استمر بالنمو، وأن هناك العديد من المجالات التي تدخل فيها الطباعة ثلاثية الأبعاد وتساعد على تطويرها، مثل المجال الطبي، صناعة المركبات الفضائية، العربات ووسائل النقل، الدفاع والأسلحة، الحاسوب والإلكترونيات.

2-2-6-1- المجال الطبي:

يعدّ المجال الطبي من أكبر المجالات وأكثرها اهتماماً بالطباعة ثلاثية الأبعاد، حيث واجهت الصناعة الطبية التقليدية العديد من التحديات، بدءاً بوقت التصنيع وانتهاءً بالتكلفة العالية خصوصاً إذا كانت عدد القطع المطلوبة من المنتج قليلة أو مخصصة لشخص واحد. فقد زودت الطباعة ثلاثية الأبعاد العالم بأمل لحل هذه المشاكل، من خلال القدرة على إنتاج أي منتج مهما بلغت درجة تعقيده، بالإضافة إلى تكلفة الإنتاج المنخفضة والثابتة نسبياً، وتخفيض الوقت اللازم لتصنيع منتج معين والقدرة على تخصيص المنتجات.

استخدامات الطباعة ثلاثية الأبعاد في المجال الطبي

منتج مخصص لكل مريض: يوضح الشكل (2-7) قدم صناعية مصنوعة بالطباعة ثلاثية الأبعاد.



الشكل (2-7) استخدام الطباعة في المجال الطبي[15]

تقوم المشفى بجمع البيانات الخاصة بالمريض، مثل صور كسور العظام، وترسل هذه البيانات عن طريق الإنترنت إلى أحد مصنعي الأدوات الطبية المعتمدين في العالم، ليقوم بتصميم النموذج بناءً على البيانات المعطاة وطباعة هذا النموذج وإرساله أو بيعه إلى المستشفى مرة أخرى. وليس هذا وحسب، فقد تملك المستشفى الطابعة الخاصة بها في مختبر مجهز ومعقم، حيث تقوم بطباعة هذه النماذج بنفسها، وهذا قد يساعد في تشكيل نماذج تساعد في تدريب الأطباء للقيام ببعض العمليات الخاصة. أهمية أخرى في هذا المجال، يمكن للمشفى أن تقوم بجمع المعلومات والبيانات الخاصة بأحد الأعضاء لدى مريض معين وإرسالها لأحد المزودين الأساسيين للطباعة ثلاثية الأبعاد مثل Replica 3dm، التي تقوم بتشكيلها وطباعتها وإرسالها مرة أخرى للمشفى. وقد يحصل المريض مستقبلاً على ملف النموذج الخاص به من المشفى، بحيث يستطيع طباعته أو استخدامه في المستقبل، مثل ملف خاص بعضو معين لديه كالكلية أو أحد كسور العظام، كما يمكن للمشفى أن يرفع هذه الملفات إلى سحابة أو موقع مؤمن، يجمع العديد من المصنعين والمزودين لخدمة الطباعة ثلاثية الأبعاد، بحيث يمكن طباعة هذه النماذج أو الاستفادة منها من قبل مرضى آخرين في العالم.

2-2-6-2- الطباعة العضوية:

في هذه التقنية حاول العلماء والمطورون طباعة خلايا حية، حيث تطبع هذه الخلايا لتخرج في وسط هلامي أو وسط سكري طبقة تلو الأخرى حتى يكتمل الشكل النهائي ويوضح الشكل (2-8) طباعة بعض الأعضاء البشرية.



الشكل (2-8) الطباعة العضوية [15]

وقد يحتوي هذا العضو المطبوع على الأوعية الدموية، أول منتج لهذا النوع من الصناعات كان في عام 2009 مبنيا على طريقة " نوفو جن " Novo Gen" للطباعة العضوية، وفي عام 2013 قام علماء وباحثون صينيون بطباعة أعضاء من جسم الإنسان مثل أصابع ، وأذن وجلد ، وحتى الكلى، ، وفي نفس العام قام باحثون في جامعة هاسلت في بلجيكا بطباعة عظام فك لسيدة كبيرة في العمر، ومن المتوقع خلال العشر أو العشرين سنة القادمة أن يقوم الباحثون بطباعة أعضاء قادرة على العمل وإنجاز الوظيفة المطلوبة منها، تسمى هذه التقنية بالعديد من الأسماء مثل الطباعة العضوية ، طباعة الأعضاء ، هندسة الأنسجة بمساعدة الحاسب .

2-2-6-3- الطباعة الدوائية – طباعة أقراص الدواء

تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد المستخدمة في مثل هذه الصناعة هي الطباعة النقطية، حيث يطبع الجسم في صندوق من البودرة مصنوعة من الدواء نفسه المراد تصنيعه، وما تمتاز به هذه التكنولوجيا عن غيرها، أن الاقراص المطبوعة تكون مسامية أكثر، مما يسهل ذوبانها وامتصاصها ويزيد من فعاليتها، وأول دواء صنع بهذه الطريقة هو دواء لداء الصرع أثبتت فعاليته أكثر من الدواء المصنع بالطريقة التقليدية، وأول شركة قامت بمثل هذا النوع من الصناعات هي شركة (ابركيا-Aprecia) للصناعات الدوائية.

2-2-6-4- الطباعة ثلاثية الأبعاد في المجال العسكري:

يتمثل استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد في المجال العسكري بطباعة قطع بديلة عن تلك التالفة، حيث إن هذه القطع يجب أن تكون على درجة عالية من الصلابة والدقة، لأن أي خطأ فيها قد يكلف المئات من الأرواح كان لا بد من اللجوء إلى الطباعة ثلاثية الأبعاد، ولا تستخدم الطباعة ثلاثية الأبعاد فقط لطباعة قطع الغيار، وإنما أيضاً لطباعة مستلزمات التدريب المختلفة مثل المجسمات الخاصة بالتدريب العسكري من سواتر وغيرها، بالإضافة إلى صناعة المعدات مثل الطائرات بدون طيار. ويوضح الشكل (9-2) بعض تلك القطع:



الشكل (9-2) طباعة القطع البديلة [15]

خفّضت الطباعة ثلاثية الأبعاد كلفة الإنتاج من 100 ألف دولار للقطعة الواحدة إلى 40 ألف دولار، وساهمت في توفير أكثر من 3.8 مليون دولار خلال الفترة ما بين 2004 - 2009.

2-2-6-5- طباعة المركبات:

يوربي (Urbee) هي أول سيارة مطبوعة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد، أُنتجت في عام 2010 مع هيكل ونوافذ مطبوعة كلياً، ولكن بدون الأجزاء الداخلية، تلاها بعد ذلك طائرة "ايرباص A350 XWB" التي حوت أكثر من 1000 قطعة من القطع الداخلية للطائرة والمحرك، مصنوعة بواسطة الطباعة ثلاثية الأبعاد، ولم يتوقف الأمر عند هذا فشركة BMW لصناعة السيارات قامت بتصنيع الأدوات الخاصة بفنييها بطريقة الطباعة ثلاثية الأبعاد لتحصل على معدات أخف وزناً وأكثر فعالية، وبهذا زادت إنتاجية موظفيها.



الشكل (10-2) سيارة مطبوعة بتقنية 3D[13]

وجه آخر ساهمت به الطباعة ثلاثية الأبعاد في صناعة المركبات، هو التسويق، حيث أصبح من الممتع والأكثر جدوى إنتاج سيارات ثلاثية الأبعاد لعرضها كوسيلة للدعاية والإعلان، أكثر من عرض نموذج على الحاسوب فقط باستخدام أحد برامج التصميم ثلاثية الأبعاد.

الفصل الثالث

صناعة قوالب حقن البلاستيك ونفخه

3-1- مقدمة:

بعد الحرب العالمية الثانية قطعت صناعة البلاستيك في تطورها أشواطاً بعيدة بفضل الجهود التي بذلها رجال العلم والصناعة في الدول المتطورة، وأنفقت الأموال الطائلة في هذه الأبحاث ولقد صاحب هذا التطور الرائع في مجال تخليق المواد البلاستيكية واستخداماتها تطور آخر في سبيل تشكيلها ووسائل تصنيع السلع المختلفة منها في تلك المرحلة التي يطلق عليها عادة مرحلة التشغيل أو التشكيل، حيث يتم تحويل الخامات البلاستيكية إلى أعداد لا نهائية من السلع بطرائق مختلفة ومعدات خاصة بكل طريقة لتشكيل كل سلعة بما يناسبها. [17]

وكانت عمليات التشغيل هذه تتم في البداية باستخدام آلات مخصصة لأغراض خاصة، ثم بدأ الاهتمام بتوفير آلات خاصة بالبلاستيك على نطاق واسع مما أتاح المجال لانطلاقة جديدة في مجال تشغيل المواد البلاستيكية مع بدء التطور الفعلي في عمليات تصنيع اللدائن البلاستيكية بظهور معدات البثق لأول مرة في إيطاليا.

ثم قام بعد ذلك الألماني (هورسن هايدرنش) بإنتاج أول آلة خصيصاً لبثق البلاستيك عام 1931، حيث ظهرت في ألمانيا عام 1919 أول آلة خاصة لصب البلاستيك، وبعد الحرب العالمية الثانية بدأت التحسينات والتطورات على آلية صب وبثق المواد البلاستيكية.

صناعة قوالب حقن البلاستيك ونفخه:

بدأت صناعة القوالب في سورية بدايات متواضعة في القرن العشرين، وكانت تعتمد على ورشات صغيرة يديرها عمال مهرة اكتسبوا الخبرات المتراكمة من خلال سنين عملهم الطويلة، في العقد الأخير من القرن الماضي بدأت هذه الصناعة تتطور وبشكل كبير وظهرت العديد من الشركات الكبيرة التي تعمل في مجالات تصميم وتصنيع القوالب التي استخدمت الأساليب الحديثة والمتطورة من البرامج الهندسية إلى الآلات المبرمجة وتقنيات المعالجة الحرارية.

وهي تعدّ من أدق الصناعات الميكانيكية وذلك لأنها تتطلب سواء من المصمم أو المشغل الخبرة الكبيرة في مجال الصناعات الميكانيكية وخاصة فيما يتعلق بتوفر الخبرة الكبيرة والدقة العالية والمهارة الرفيعة باعتبار أن كل قالب هو عبارة عن تصميم منفصل ونادراً ما يطلب تصنيع قالبين متماثلين تماماً، كما وتعد هذه الصناعة إحدى الأسس التي تركز عليها الصناعات الثقيلة. [17]

يجب ان تتصف مادة قالب الحقن بالخواص الآتية:[18]

- مقاومة لدرجات الحرارة المرتفعة.
 - متانة عالية، للحفاظ على دقة القالب نتيجة ضغط المصهور ضمن القالب.
 - دقة إنهاء عالية للحصول على أسطح دقيقة.
- وسنذكر أهم الآلات المستخدمة في تصنيع القوالب، وكذلك أهم أنواع المعادن التي تستخدم في تصنيع قوالب حقن المواد البلاستيكية وأجزائها المختلفة.

3-2- الآلات المستخدمة في تصنيع القوالب:

يتم تقسيم الآلات المستخدمة في تصنيع القوالب إلى قسمين رئيسيين:

3-2-1- آلات التشغيل العامة

تستخدم آلات التشغيل العامة بشكل رئيسي في عملية تحويل الكتل المعدنية من شكلها الخام إلى الشكل المطلوب والموضوع في تصميم أجزاء القالب المختلفة، ويعتمد كل نوع من أنواع هذه الآلات على مبدأ خاص به في عمليات التشغيل وهو ينفذ نوعاً معيناً من أنواع التشغيل، فمنها يعتمد على مبدأ تدوير القطعة المشغلة مع تحريك أداة القطع بشكل خطي وذلك للحصول على القطع ذات المقطع الدائري، بينما تعتمد آلات أخرى على مبادئ مختلفة كتدوير أداة القطع وتحريك القطعة المشغلة بشكل خطي وذلك للحصول على سطوح مستوية، ويمكن الحصول على هذه السطوح أيضاً بطرائق أخرى مثل تحريك كل من أداة القطع والقطعة المشغلة بشكل خطي.

3-2-2- آلات التشغيل الخاصة (الآلات النوعية):

تستخدم بشكل عام في تنفيذ أعمال معينة لا يمكن تنفيذها باستخدام آلات التشغيل العامة أو تنفيذها يحتاج عند استخدام هذه الآلات إلى إجراء عمليات تركيب وتعيير مختلفة ويتطلب تنفيذها زمناً كبيراً، وغالباً ما تستخدم مثل هذه الآلات بشكل رئيسي في تنفيذ المعالم الخاصة في بلاطتي الذكر والأنثى في القالب.

وهذه الآلات الخاصة والعامة هي كالاتي:

1- آلات التشغيل العامة:

- المخرطة

- آلات جلدق القطع الأسطوانية
- المجالخ السطحية
- المقشطة
- آلات التفريز
- المثاقب

2- آلات التشغيل الخاصة (الآلات النوعية):

- الفارزات الناسخة
- آلات الحفر بالشرر
- آلات القص بالسلك
- مكبس تجربة القوالب
- آلة الثقب الدقيق

3-3- المعادن المستخدمة في تصنيع القوالب: [19]

الأنواع الرئيسية: يشكل الفولاذ الجزء الأعظم من بنية القالب أو كل هذه البنية وخاصة في قوالب حقن المواد البلاستيكية. هناك ثلاثة أنواع رئيسية من الفولاذ تستخدم في تصنيع هذا النوع من القوالب وهي:

i. **الفولاذ الإنشائي:** وهو يستخدم في تصنيع جزء كبير من جسم القالب وخاصة الأجزاء التي تكون مهمتها التدعيم أو الربط أو تحريك اللفظ، حيث يتميز هذا النوع من الفولاذ برخص ثمنه وسهولة تشغيله وأداؤه الممتاز للأجزاء المذكورة أعلاه.

3- **الفولاذ الخلائطي الخاص بتصنيع ذكر وأنثى القالب:** يطلب من هذه الأجزاء أن تحقق مواصفات محددة من حيث مقاومة الإجهادات والاهتراء نتيجة الاحتكاك مع المواد البلاستيكية.

4- **فولاذ خلائطي خاص بتصنيع الأجزاء المتحركة في قالب الحقن:** كالمحاور والجلب الدليلية واللوافظ.... الخ.... حيث يطلب من هذه الخلائط امتلاكها لخواص مناسبة لعملها من حيث مقاومة الاهتراء العالية نتيجة الاحتكاك مع قابلية تقسية سطحية وتنعيم عالية.

5- **الفولاذ المستخدم في تصنيع ذكر وأنثى القالب:** يتعرض كل من ذكر وأنثى القالب لضغوط حقن المواد البلاستيكية وكذلك للاحتكاك مع هذه المواد أثناء عملية الحقن وهي بحالتها المصهورة،

كذلك تتعرض لدرجات حرارة عالية نسبياً لذلك يمكننا أن نلخص أهم المواصفات المطلوبة في الفولاذ المستخدم في تصنيع ذكر وأنثى القالب على الشكل الآتي: [19]

- 1- إمكانية التشغيل بشكل اقتصادي.
 - 2- قابلية تشوه منخفضة عند المعالجة الحرارية.
 - 3- قابلية تنعيم وتلميع ممتازة.
 - 4- مقاومة عالية لضغوط الحقن.
 - 5- مقاومة صدأ عالية.
 - 6- مقاومة سطحية للتفاعلات مع المواد البلاستيكية.
- 3-4-البنية العامة للقالب:**

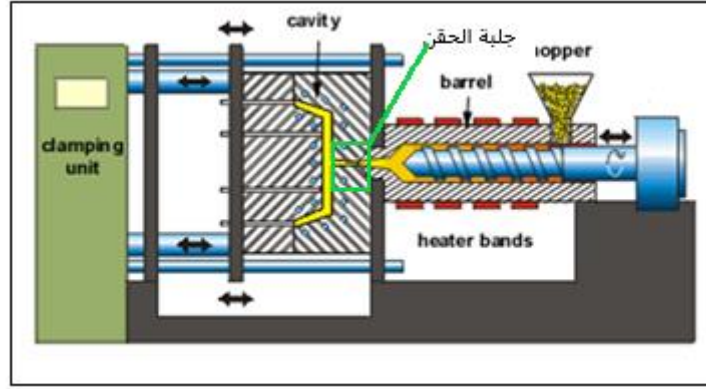
سوف يتم شرح بنية القالب وأجزائه الرئيسية وعمل كل منها كما يلي:

3-4-1-الأجزاء الرئيسية للقالب: [20]

3-4-1-1-الطبعة: يمكننا تعريف قالب حقن المواد البلاستيكية بأنه مجموعة من القطع المعدنية المختلفة والمشغلة بحيث إنه إذا تمّ تجميعها مع بعضها نحصل بداخلها على فراغ يدعى الطبعة أو فراغ الحقن. يكون شكل هذه الطبعة مطابقاً تماماً لشكل القطعة المنتجة من هذا القالب، أما أبعاد هذه الطبعة فتكون أكبر من أبعاد القطعة المنتجة بما يتناسب مع قيم تقلص المواد البلاستيكية التي سوف تحقن فيه.

3-4-1-2-بلاطتا ذكر وأنثى القالب: وتعدان الجزء الأساسي في القالب، وهما عبارة عن بلاطتان من الفولاذ تمّ تشغيلهما بشكل مناسب لتحقيق الطبعة في القالب، ويكون هذا التشغيل بشكل عام عبارة عن حفرة في بلاطة الأنثى وبروز في كتلة الذكر.

3-4-1-3-جلبة الحقن: وتمر خلالها المواد البلاستيكية المصهورة إلى داخل الطبعة من فوهة آلة الحقن، تصنع من فولاد سبائكي وموضحة بالشكل (3-1).



الشكل (1-3) قالب حقن تقليدي [20]

3-4-1-4-4-مجاري وبوابات التغذية: مجاري التغذية هي عبارة عن طريق لمرور المواد البلاستيكية إلى داخل تجويف الطبعة، ويتم تشكيل مجاري التغذية في بلاطتي الذكر والأنثى أو في احدهما، أما بوابة التغذية فهي عبارة عن تضيق في نهاية مجرى التغذية (لزيادة سرعة تدفق المصهور).

3-4-1-4-5-حلقة التوضع: وهي عبارة عن حلقة معدنية تثبت في القالب وتدخل في بلاطة الربط الثابتة لآلة الحقن وتستخدم بهدف ضمان توضع محور جلبة الحقن مطابقا لمحور فوهة حقن الآلة، وإن تطابق المحورين المذكورين أعلاه يسمح بمرور المواد البلاستيكية إلى داخل القالب بسهولة وبدون حدوث أية إعاقة أو تسرب إلى خارج القالب.

3-4-1-4-6-المحاور والجلب الدليلية: وتستخدم لتأمين التوضع الدقيق بين ذكر وأنثى القالب، وذلك لضمان الحصول على سماكة منتظمة لجران القطعة المحقونة باعتبار أن حدوث أي انزياح بين الذكر والأنثى يؤدي إلى عدم الانتظام في هذه السماكة.

يتم تثبيت الجلب الدليلية في إحدى بلاطتي القالب، بينما تثبت المحاور في البلاطة الأخرى وعند إغلاق جزأي القالب فإن تداخل المحاور مع الجلب الدليلية يؤدي لحدوث التوضع الصحيح لهاتين البلاطتان.

3-4-1-4-7-الجزء المتحرك والجزء الثابت من القالب: بعد إتمام عملية حقن المواد البلاستيكية إلى داخل الطبعة وتمازجها، يتوجب في هذه المرحلة إخراج القطعة المحقونة من القالب، وهذا يتطلب

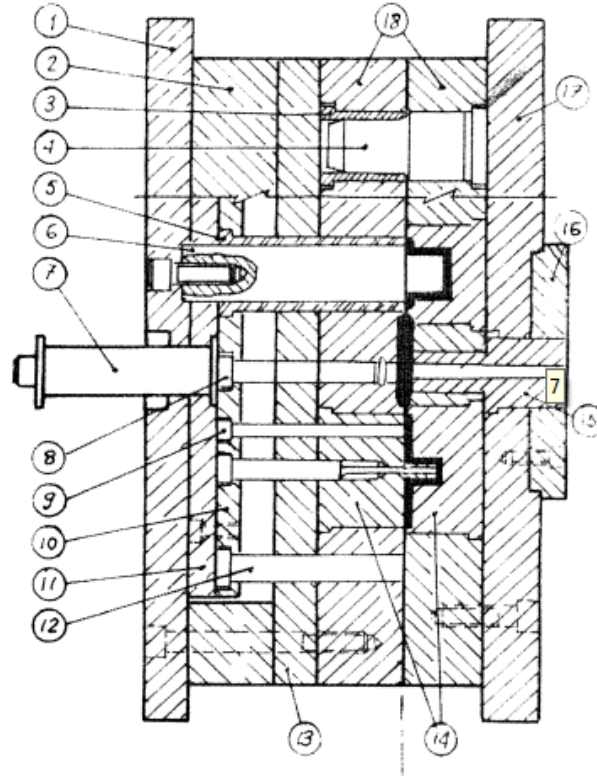
فتح القالب عن طريق إبعاد بلاطتي الذكر والأنثى عن بعضهما، لذلك تتم عملية الفتح عن طريق تثبيت بلاطة الأنثى على البلاطة الثابتة للربط في آلة الحقن أما بلاطة الذكر فتثبت على بلاطة الربط المتحركة لآلة الحقن، وعند تحريك الأخيرة تتم عملية الفتح.

3-4-1-8- نظام اللفظ في القالب: يتم لفظ القطعة إلى خارج القالب عن طريق دفعها بقوة بسبب تقلص المواد البلاستيكية على الذكر، ويتم تزويد القالب ببلاطات خاصة مهمتها تنفيذ هذه المهمة التي تدعى بنظام اللفظ، ويتم دفع القطعة المحقونة بشكل مباشر بواسطة اللواظ التي تثبت بين بلاطتين تدعيان بلاطة اللفظ وبلاطة ربط اللواظ، يقوم المصمم بتحديد المسافة اللازمة لحركة نظام اللفظ وحتى تمام تحرر القطعة من القالب بناء على ارتفاع القطعة ومجال فتح الآلة.

3-4-1-9- بلاطة التدعيم: وتستخدم من أجل تأمين تدعيم في البلاطة التي يوجد فيها نظام اللفظ، حيث إنه يتم تشكيل فراغ لحركة بلاطات اللفظ بواسطة كراسي اللفظ، وباعتبار أن كراسي اللفظ تتوضع على جانبي بلاطة الذكر وتؤمنان استناداً في هذه المنطقة فقط، فهناك احتمال كبير لحدوث انحناء في منطقة وسط هذه البلاطة بسبب عدم وجود تدعيم كاف فيها، وخاصة عند وجود ضغوط حقن عالية. ومن أجل تلافي هذه المشكلة يتم تركيب بلاطة إضافية خلف بلاطة الذكر، مهمتها تأمين تدعيم كاف للبلاطة الأخيرة من أجل مقاومة هذا الانحناء.

3-5- بنية القالب: [20]

بعد أن تمّ استعراض الأجزاء الأساسية للقالب بشكل مختصر سوف نقوم الآن بدراسة مفصلة لبنية قالب حقن تقليدي يحتوي على طبعتين مع شرح لبقية مكونات القالب التي لم يسبق التطرق إليها. يظهر الشكل (3-2) مقطعاً طولياً في قالب حقن تقليدي يحتوي على طبعتين لإنتاج شكلين مختلفين من القطع البلاستيكية، وسوف نستعرض أجزاء هذا القالب مع ذكر مواصفات كل منها بالتفصيل.



القسم المتحرك من القالب

القسم الثابت من القالب

الشكل (2-3) مقطعاً طولياً في قالب حقن تقليدي [20]

| الرقم | الوصف |
|-------|--|
| 1 | بلاطة الربط الخلفية ، يتم تصنيعها من الفولاذ الإنشائي . |
| 2 | كراسي اللفظ ، يوجد من هذه القطعة اثنتان أو أكثر في القالب وذلك حسب التصميم الموضوع وهي تصنع من الفولاذ الإنشائي . |
| 3 | الجلبة الدليلية ، يوجد في القالب منها أربعة جلب ، وهي تستخدم بهدف تأمين محور بين جزأي القالب أثناء الإنتاج عليه ، تصنع هذه الجلب من الفولاذ الخلائطي وتجرى عليها عملية تقسية سطحية . |
| 4 | المحور الدليلي ، ويوجد أيضا أربعة محاور في القالب لتأدية نفس المهمة التي تقوم بها الجلب الدليلية عند تداخلهما معا وتصنع من نفس الخلائط وتجرى عليها نفس المعالجة الحرارية . |
| 5 | لافظ قميصي ، وهو احد أنواع اللواظف المستخدمة بالقوالب وتجرى عليه عملية تقسية سطحية . |

| | |
|----|---|
| 6 | محور لحمل نواة ذكر القطعة الأولى ، ويصنع من الفولاذ الخلائطي المستخدم في تصنيع الذكر و الأنثى . |
| 7 | محور تحريك نظام اللفظ ، ويصنع من الفولاذ الإنشائي ويستفاد منه أيضا في عملية إرجاع بلاطتي اللفظ إلى وضعهما الأول إذا ما تم تركيب نابض مناسب عليه . |
| 8 | لافظ مركزي ، يستخدم لسحب البلاستيك المتجمد في جلبة الحقن بعد إجراء تشكيل مناسب عليه ، يستخدم أيضا لتشكيل بئر البلاستيك البارد |
| 9 | لافظ دائري ، مماثل للافظ المذكور في البند 5 . |
| 10 | بلاطة اللواظف ، و تصنع من الفولاذ الإنشائي . |
| 11 | بلاطة ربط اللواظف ، تصنع من الفولاذ الإنشائي أيضا . |

| | |
|----|--|
| 12 | محاور إعادة نظام اللفظ للخلف ، وهي عبارة عن لوافظ عادية تستخدم لهذه المهمة ، وتقوم بنفس العمل الذي يقوم به النابض المذكور بالبند 7 . |
| 13 | بلاطة التدعيم ، و تصنع من الفولاذ الإنشائي . وتكمن الاستفادة منها في هذا التصميم بالإضافة إلى عملية التدعيم في منع الولايج رقم 14 من العودة للخلف تحت تأثير ضغوط الحقن . |
| 14 | ولايج تشكيل ذكر و أنثى القالب (الطبعة) ، وتصنع من الفولاذ الخلائطي |
| 15 | جلبة الحقن ، وتصنع من الفولاذ الخلائطي أيضا ، كما وتجري عليها عملية تقسية سطحية . |
| 16 | حلقة التوضع ، و تصنع من الفولاذ الإنشائي . |
| 17 | بلاطة الربط الأمامية للقالب ، تصنع من الفولاذ الإنشائي وهي تقوم في هذا التصميم بمنع حركة ولايج تشكيل الطبعة للخلف . |
| 18 | بلاطتي الذكر والأنثى ، تصنعان من الفولاذ الخلائطي . |

3-6-آلية عمل القالب:[20]

سوف يتم شرح آلية عمل قالب حقن المواد البلاستيكية من خلال نفس المثال المذكور في البند السابق. عند البدء في عملية الحقن تنساب المواد البلاستيكية المصهورة من فوهة حقن الآلة إلى جلبة الحقن (15) ومجاري التغذية لتقوم بإملاء طبعتي القالب. وبعد اكتمال عملية الحقن وتجمد المواد البلاستيكية المحقونة داخل الطبعة والمجاري، تبدأ عملية لفظ هذه القطعة من القالب، حيث يبدأ القسم المتحرك من القالب (مجموعة الذكر) المثبت على البلاطة المتحركة لآلة الحقن بالحركة للخلف، ومع استمرار هذه الحركة يصطدم المحور (7) بمحور لفظ آلة الحقن (المثبت على الآلة) مما يؤدي إلى توقف حركة التراجع للخلف لبلاطتي اللفظ (10 و 11) واللواظ (5-8-9) وثباتها في مكانها بينما تستمر حركة بقية أجزاء القالب بالحركة للخلف حتى تتلامس بلاطة ربط اللواظ (10) مع السطح الخلفي لبلاطة التدعيم (13) ، عندها يتم تغيير آلة الحقن بحيث تتوقف حركة البلاطة المتحركة لآلة الحقن بشكل كامل، في هذه الوضعية تكون اللواظ قد برزت إلى خارج بلاطة ذكر القالب بشكل كامل دافعة معها القطعة المحقونة إلى خارجه. إن الالفاظ (5) عبارة عن قميص ينزلق على المحور (6) المثبت

على البلاطة (1) للفظ القطعة الأولى، بينما يقوم كل من اللافظ المركزي واللواظ المحيطة بدفع القطعة الثانية إلى الخارج أيضا، مع بروز اللواظ إلى خارج القالب تبرز أيضا محاور إعادة نظام اللفظ (12) باعتبار أنها مركبة على نفس بلاطتي اللفظ، تتوضع هذه المحاور بحيث سطحها مقطعا العلوي على نفس مستوي فتح القالب الحاصل بين بلاطتي الذكر والأنثى (وهذا يعني أنها أطول من أي لافظ آخر مركب في القالب). بعد الانتهاء من عملية اللفظ تبدأ آلة الحقن بإغلاق القالب من أجل البدء بشوط الحقن الآتي، حيث تبدأ بلاطة الآلة المتحركة بالتحرك إلى الأمام حاملة معها الجزء المتحرك من القالب، ومع استمرار هذه الحركة تبدأ محاور إعادة نظام اللفظ بالتلامس مع الجزء الثابت من القالب مسببة إيقاف حركة نظام اللفظ، بينما تستمر بقية أجزاء القالب في حركتها نحو الأمام حتى يتلامس جزأي القالب الثابت والمتحرك مع بعضهما. في هذه الحالة يكون قد حدث التماس أيضا بين السطح الخلفي للبلاطة اللفظ (11) والسطح الأمامي لبلاطة الربط الخلفية للقالب (1)، وتكون اللواظ قد عادت إلى موضعها الأساسي من أجل البدء بشوط الحقن التالي. وفي حال تركيب نابض على المحور (7) كما في هذا المثال فإنّ هذا النابض ينضغط نتيجة حركة الجزء المتحرك نحو الخلف وثبات بلاطتي اللفظ في مكانهما، عند بدء عملية إغلاق القالب يقوم هذا النابض بإعادة نظام اللفظ إلى وضعه الأول وقبل قيام محاور إعادة نظام اللفظ بعملها، وهي تعد عملية بديلة جيدة.

3-7- تكلفة القالب: [21]

إن تكلفة القالب بشكل عام مرتبطة بعدة عوامل ومن أهمها تكلفة المواد الأولية وتكلفة التصنيع، وإن هذه العوامل هي:

تكلفة المواد الأولية: ترتفع تكلفة المواد الأولية في حال تم تشغيل الذكر أو الأنثى من معدن ذي نوعية جيدة التي على الأغلب مرتفعة الثمن. أما في حال استخدام طريقة الولايج فان الولايج فقط هي التي سوف تصنع من هذه المواد أما الإطار الحاوي على هذه الولايج فيمكن تصنيعه من مواد اقل كلفة، وعليه فان تكلفة المواد الأولية بالحالة الأولى أعلى منها في الحالة الثانية.

تكلفة التشغيل: إن زمن تشغيل وتجميع القالب المشكل من كتلتين (الذكر والأنثى) فقط أقل من زمن تشغيل القالب في حالة الإطار والولائج، التي تؤدي إلى زيادة الكلفة بسبب الحاجة إلى الدقة في الصنع بين الولائج وأمكنة تركيبها.

3-7-1- عدد الطبقات في القالب:

من أجل تحديد عدد الطبقات الاقتصادي الذي يجب تنفيذه في قوالب الحقن الحاوية على أكثر من طبعة واحدة يجب الأخذ بعين الاعتبار عدد من النقاط المطلوبة والمرتبطة بأداء القالب التي من أهمها:

1. كلفة القطعة المنتجة.
 2. عدد القطع المطلوب إنتاجها.
 3. الزمن المطلوب لإنتاج الكمية المطلوبة.
- من حيث المبدأ لا يتم تصنيع قالب يحوي على أكثر من طبعة إذا كان عدد القطع المطلوب إنتاجها قليلاً، أو إذا كان حجم هذه القطع كبيراً، أو إذا طلب المستثمر تخفيض كلفة القالب إلى الحد الأدنى. باعتبار أن زيادة عدد الطبقات في القالب سوف يؤدي حتماً لارتفاع سعره، لكن بشكل عام يلجأ لتصنيع القوالب الحاوية على أكثر من طبعة إذا كان حجم القطع المطلوبة صغيراً أو متوسطاً، وكذلك في حال طلب إنتاج كمية كبيرة من القطع، أو طلب كمية معينة ضمن زمن قصير نسبياً.
- في حالات طلب تصنيع قالب يحوي على أكثر من طبعة، وكانت هذه الطبقات غير متماثلة فإنه يفترض أن تكون هذه الطبقات عائدة لنفس المشروع، أو أنها سوف تشترك بعملية تجميع واحدة، وأن تصنع من نفس المادة والكميات المطلوبة للإنتاج متماثلة تقريباً.

3-7-2- الدراسة الاقتصادية لتحديد عدد الطبقات في القالب: [21]

إن زيادة عدد الطبقات في القالب له ميزاته ومساوئه بأن واحد، لذلك عند تحديد عدد الطبقات يجب إجراء دراسة اقتصادية من أجل تحديد هذا العدد بحيث يتحقق أكبر قدر من الميزات وأقل عدد من المساوئ وبالنتيجة تتحقق أكبر فائدة اقتصادية ممكنة.

أهم الميزات التي يمكن الحصول عليها عند زيادة عدد الطبقات في القالب:

- 1- تخفيض في أجرة العامل على آلة الحقن التي سوف تنعكس على تكلفة القطعة المنتجة، باعتبار أن ذلك سوف يؤدي إلى إنتاج الكمية المطلوبة بزمن أقل.
 - 2- زيادة الكمية المنتجة من القطع في واحدة الزمن لذلك ينخفض زمن إنتاج القطعة الواحدة، وهذا سوف ينعكس أيضا بشكل ايجابي على تكلفة القطعة.
- أما مساوئ زيادة عدد الطبقات في القالب فهي:

- 1- زيادة حجم القالب بسبب زيادة عدد الطبقات ولذلك زيادة سعره.
- 2- زيادة عدد الطبقات يؤدي إلى زيادة تكاليف تشغيل القالب وارتفاع سعره.
- 3- إن زيادة حجم القالب تتطلب تركيبه على آلة حقن ذات حجم أكبر، التي تكون كلفتها أعلى مما يزيد من تكاليف إنتاج القطعة مع مراعاة أن معدل الإنتاج على آلة حقن كبيرة يكون أقل من الآلة الأصغر حجماً.

3-7-3- توزيع الطبقات في القالب: [21]

إن دراسة توزيع الطبقات في القالب لا تقل أهمية عن الدراسة الاقتصادية لعدد طبقاته، وهناك العديد من النقاط التي يجب أخذها بعين الاعتبار عند دراسة توزيع هذه القطع التي من أهمها:

- 1- يجب أن يتم التوزيع بحيث يحتل أقل مساحة ممكنة ضمن القالب.
 - 2- يجب تحقيق أقصر طول مجاري تغذية ضمن القالب.
 - 3- يجب تأمين توازن بين ضغط الحقن وضغط إطباق القالب.
- حجم القالب:** إن الحجم العام للقالب المشكل بالتشغيل من كتلة واحدة أصغر بكثير من حالة اللوائج، ولكن التعامل مع القطع الأصغر عند اللجوء للحالة الثانية ضمن المعمل أسهل من التعامل مع الكتلة الواحدة الكبيرة، وكذلك في هذه الحالة يمكن استخدام آلات ذات حجم أصغر.

المعالجة الحرارية: عند وجود حاجة لإجراء المعالجة الحرارية على كتلتي الذكر والأنثى بهدف إعطائها القساوة ومقاومة الاهتراء الضرورييتين فإنه يفضل اللجوء إلى التصنيع باستخدام اللوائج بسبب صغر حجمها وانخفاض إمكانية تشوهها بالمعالجة، باعتبار أن إمكانية تشوه الكتلة الكبيرة المشكلة في بلاطة

واحدة تكون أكبر نتيجة الإجهادات المشكلة من هذه العملية بالإضافة إلى الحاجة لاستخدام أفران ذات حجم أكبر.

استبدال القطع المعطوبة: في هذا المجال تفضل أيضا القوالب المصنعة بطريقة اللوائح بسبب وجود إمكانية للاستمرار بالإنتاج على القالب بعد إلغاء التغذية الواصلة للوليجة ريثما يتم تصنيع وليجة جديدة، أما في الحالات التي يصنع القالب فيها من كتلة واحدة فيتوجب إيقاف الإنتاج على القالب بشكل كامل حتى يتم تلافي المشكلة.

تشكيل نظام التبريد: في القوالب المشكلة من كتلة واحدة يمكن تشكيل نظام تبريد فعال وبسهولة أكبر من حالة القوالب المشكلة باللوائح نظراً لأن وجود اللوائح يفرض إمكانيات توزيع محدودة بتموضع هذه اللوائح وقد يؤدي ذلك الغرض إلى توزيع غير فعال للدارة، هذا بالإضافة إلى الصعوبات الإضافية التي تبرز في ضرورة تأمين عزل كل وليجة على حدة لمنع تسرب مياه التبريد منها الذي ينعكس في النهاية على زيادة تكلفة القالب. [21]

من خلال المناقشات السابقة وكذلك من خلال الخبرات العملية في تصنيع القوالب فإنه بشكل عام ينصح بالحلول التالية في تصنيع القوالب إلا إذا كانت الظروف العامة للتصميم لا تتناسب مع ذلك:

1- في حالة القوالب الحاوية على طبعة واحدة فإنه يفضل وبشكل دائم تصنيع كل من ذكر وأنثى القالب من كتلة واحدة، سواء كان شكل الطبعة معقداً أو بسيطاً. حيث أنه نحصل على قالب أكثر متانة، وأصغر حجماً، وأقل كلفة، ويكون مردود الإنتاج عليه أعلى بسبب إمكانية التحكم بتأمين دارة تبريد فعالة ضمنه. وفي الحالات التي يتطلب شكل القطعة استخدام ولائج محلية صغيرة في القالب، فإن استخدام هذه اللوائح يكون قراراً حكيماً ومساعداً، خاصة وأن ذلك سوف يؤدي إلى تخفيض حجم العمل المطلوب وتسهيله.

2- في القوالب الحاوية على أكثر من طبعة واحدة، فإن اتخاذ القرار بنوعية تشكيل الذكر والأنثى في كتلة واحدة أو ضمن ولائج يعتمد على الأولويات التي تفرضها طبيعة التصميم وظروف العمل من حيث إمكانيات الآلات الموجودة في المعمل وانعكاس ذلك على التكلفة النهائية للقالب.

3- يمكن اللجوء للحالات التي يصنع فيها أحد جزأي القالب من كتلة واحدة والجزء الآخر من كتلة واحدة مجمعة أو من ولائج بحال وجود إمكانية للاستفادة من ميزات هذه الطرائق معا.

3-8- ذكر القالب:

يمكن تشكيل ذكر القالب من كتلة واحدة أو من كتل مجمعة، كما أنه يمكن تشكيل الجزء البارز من الذكر على شكل وليجة حيث أنه يتم إدخال الوليجة ضمن بلاطة الذكر المفرغة بشكل مناسب، وقد تم استخدام هذا الحل بهدف تخفيض حجم التشغيل وكلفته.

3-9- أنثى القالب:

إن ما ذكر عن إمكانية تشكيل الذكر في كتلة واحدة أو ضمن ولائج أو بالتجميع ينطبق بشكل كامل على الأنثى، وبشكل عام يفضل تشكيل كتلة الأنثى ضمن كتلة واحدة أيضاً لأن متانتها سوف تكون أعلى بالإضافة إلى تلافي مشكلة ظهور علامات سطوح النقاء الكتل المختلفة على السطح الخارجي للقطعة المحقونة. يمكن تشغيل الأنثى في كتلة واحدة بواسطة طرائق التشغيل المعروفة، ويمكن أيضاً استخدام آلات النسخ بحال كان شكلها معقداً، حيث إنه في مثل هذه الحالات يتم تشكيل نموذج ذكر لفراغ الأنثى المطلوب تشكيله، ومن ثم تؤخذ طبعة عن هذا النموذج وبذلك نحصل على النموذج المناسب لعملية النسخ.

3-10- المحاور الدليلية في القالب: [21]

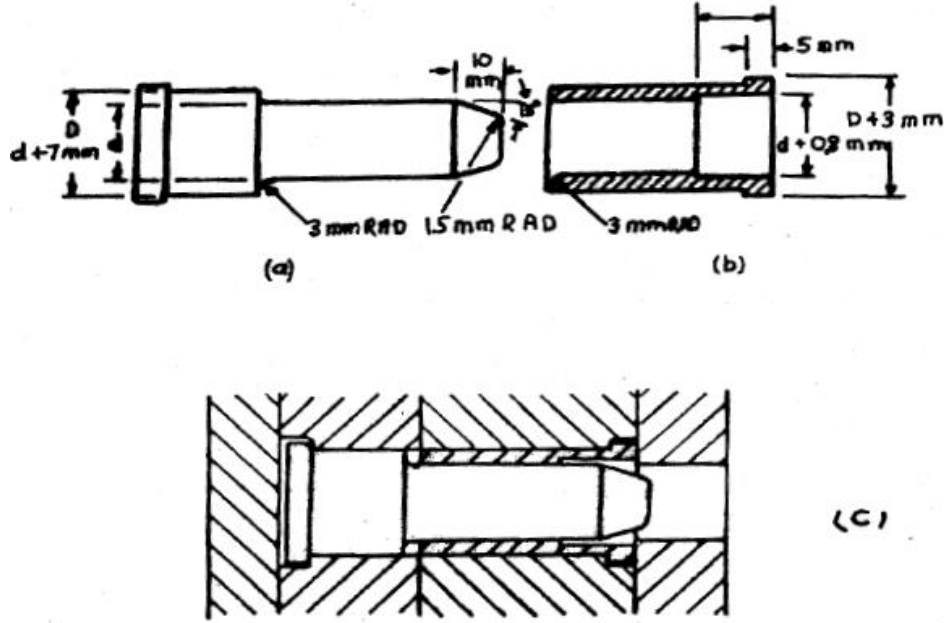
إن أهمية تركيب المحاور الدليلية في القوالب هو تأمين التمحور اللازم بين بلاطتي الذكر والأنثى، حيث عادة ما يتم تركيب هذه المحاور في بلاطة ذكر أو أنثى القالب بينما تتركب الجلب الدليلية التي سوف تتداخل معها هذه المحاور في البلاطة الأخرى عند إغلاق جزأي القالب، بحيث نضمن عدم حدوث أي انزياح نسبي بين هاتين البلاطتين لأن حدوث مثل هذا الانزياح سوف يؤدي إلى الحصول على قطعة بلاستيكية منتجة ذات سماكات جدران غير متساوية ومختلفة عما هو مطلوب إنتاجه. يوضح الشكل (3-3) تأثير انزياح بلاطتي ذكر وأنثى القالب عن بعضهما عما هو مفروض، وتظهر

الفروق في سماكات جدران القطعة في الشكل اليميني، أما الشكل اليساري فيوضح التشوه الذي يلحق بالقطعة.



الشكل (3-3) تأثير انزياح بلاطتي الذكر والأنثى في القالب [21]

إن فروق السماكات التي تظهر في الشكل اليميني حتى وإن كانت بسيطة في القالب فإنها يمكن أن تزداد أثناء الإنتاج على القالب تحت تأثير ضغوط الحقن، وذلك باعتبار أن المواد المحقونة عند دخولها القالب سوف تختار الطريق الأسهل لمرورها الذي هو في هذه الحالة السماكة الأكبر، مما يؤدي لدخول كمية أكبر من هذه المواد وهذا سوف يؤدي إلى حدوث ضغط أكبر من المواد المحقونة على الذكر باتجاه السماكة الأقل، في الحالات التي تكون فيها سماكة ذكر القالب قليلة فإن الضغوط العالية يمكن أن تؤدي لانحراف الذكر أو تشوّهه. يتم تزويد القالب عادة بأربع محاور وجلب دليليه وذلك لضمان توازن سليم ومتين لجزأي القالب مع بعضهما. يظهر الشكل التقليدي للمحور الدليلي في الشكل (3-4) الحالة a أو الذي يستخدم عادة في قوالب حقن المواد البلاستيكية، أما الحالة b فتبين شكل الجلبة الدليلية والحالة c تبين طريقة تداخلهما. يلاحظ من الشكل أن المحور الدليلي له ثلاثة أقطار متدرجة، القطر d هو القطر الذي يتداخل مع الجلبة الدليلية بازدواج خلوصي حيث يتم تحقيق قيم ازدواج H7/g6 ، أما القطر D فهو القطر الذي يتداخل فيه المحور مع بلاطة القالب حيث يتم تحقيق ازدواج تداخلي بسيط بين هذا القطر والثقب الذي يتداخل فيه بقيمة k6/H7.



الشكل (4-3) الشكل التقليدي لكل من المحور الدليلي والجلبة الدليلية [21]

3-11- نظام اللفظ:

يُضاف نظام اللفظ إلى البنية الأساسية للقالب بهدف تأمين وسيلة فعالة لإخراج القطع المحقونة إلى خارج القالب بعد تجمدها فيه. كما ذكرنا سابقاً فإن المواد البلاستيكية التي تم حقنها في القالب وهي في حالة منصهرة سوف تتجمد داخل الطبعة حيث يرافق عملية التجمد هذه تقلص هذه المواد على ذكر القالب مما يزيد في تماسكها عليه. عند دراسة نظام اللفظ في القالب الذي يتم تصميمه يتوجب على المصمم الأخذ بعين الاعتبار العديد من النقاط المهمة وهي:

1- توزيع وسائل اللفظ المستخدمة توزيعاً يؤدي إلى إخراج القطعة المحقونة بسلاسة وسهولة ودون حدوث أية تشوهات فيها أو تكسرها، وخاصة عند بدء عملية اللفظ باعتبار أن المواد البلاستيكية لا تكون قد تصلبت بشكل كامل.

2- تركيز وسائل اللفظ المستخدمة في المناطق التي يتوقع المصمم حدوث استعصاء البلاستيك ضمن الطبعة (مثل البروزات في القطعة)، مع الأخذ بعين الاعتبار أنه كلما زادت فعالية نظام اللفظ كلما زادت إنتاجية القالب.

3-تشكيل ميول على كامل جدران الطبعة المنتمية إلى الذكر والأنثى (يجب ألا تكون جدران الطبعة قائمة) وذلك لأنه بوجود مثل هذه الميول تصبح مهمة وسائل اللفظ في القالب إجراء عملية فك التصاق بين سطح معدن القالب وبين المواد البلاستيكية، بينما بحال عدم وجود مثل هذه الميول يتوجب على وسائل اللفظ تطبيق قوة كبيرة لمقاومة قوى الاحتكاك على كامل سطوح التماس بين المواد البلاستيكية ومعدن القالب.

4-تحديد شوط حركة اللفظ بقيمة أكبر من قيمة ارتفاع الذكر بحدود (3-4) سم وذلك لضمان خروج القطعة من القالب.

5-عند تصميم القالب يتوجب على المصمم الأخذ بعين الاعتبار الحاجة المستقبلية لإضافة لوافظ إلى القالب لزيادة فعالية اللفظ بحال تبين بعد تجربة القالب عدم كفاية وسائل اللفظ الموضوعة.

3-12-دارات التبريد:[22]

ذكرنا في فصل سابق أنه يتم حقن المواد البلاستيكية إلى داخل القالب وهي في حالة منصهرة وذلك حتى يبتنى لهذه المواد أخذ شكل الطبعة وإملائها بشكل كامل، ثم تتصلب هذه المواد داخلها وبعد ذلك تلتفظ إلى خارج القالب. يرافق انتقال هذه المواد من حالتها السائلة إلى حالتها الصلبة عملية تصريف للحرارة منها إلى جسم القالب، وتبين المعادلات الرياضية أن زمن تصلب هذه المواد يتناسب طردياً مع مربع سماكة جدران القطعة. بالحالة العادية فإنه يفترض أن الحرارة المتجمعة في القالب سوف يتم تصريفها منه بالإشعاع والانتقال إلى جسم آلة الحقن، لكن كمية التصريف الحراري بهاتين الطريقتين لن تكون كافية لتصريف كامل الحرارة التي يتم إدخالها للقالب مع استمرار عمليات الحقن فيه، ولذلك فإن درجة حرارته سوف ترتفع باستمرار مما ينعكس سلباً على زمن تجمد المواد البلاستيكية المحقونة، ويزيد من زمن الدورة الإنتاجية.

من أجل التغلب على هذه المشكلة وزيادة إنتاجية قوالب حقن المواد البلاستيكية يتم تزويدها بدارات للتبريد تقوم بسحب الحرارة المنقلة إليها من المواد البلاستيكية المنصهرة وتصريفها إلى خارجه.

بشكل عام يتم استخدام الماء في تبريد القوالب ولكن في بعض الحالات الخاصة جداً يتم استخدام الهواء في تبريد القوالب التي لا يسمح تصميمها بتشكيل دارات تبريد فعالة بالماء، أو عند حقن بعض

أنواع المواد البلاستيكية التي يؤدي تبريدها بالماء إلى تجمدها بشكل سريع وكبير وتقلصها بشكل كبير أيضاً مما يؤدي إلى تكسر القطع أثناء لفظها من القالب. عند استخدام الهواء في التبريد يتم توجيه الهواء المضغوط بشكل مباشر على القالب.

يتم تشكيل دارات التبريد بالماء في القالب عن طريق ثقب مجموعة ثقب تشكل مجاري لمرور المياه فيها، ويتم توزيع هذه المجاري بأشكال مختلفة وبما يتناسب مع شكل وحجم القطعة المحقونة والقالب (خطوط منفردة، شبكات على مستوٍ واحد أو على عدة مستويات ... إلخ).

عند تصميم توزيع خطوط التبريد في القالب يتوجب مراعاة تساوي المسافات فيما بينها قدر الإمكان حتى لا تحدث عملية تبريد غير متجانسة للمواد البلاستيكية في الطبعة، التي تؤدي إلى تجمدها في بعض المناطق قبل المناطق الأخرى، وهذا يؤدي إلى تشوه القطعة المحقونة عند لفظها أو تكسرها.

لبعض المواد البلاستيكية مجال درجة حرارة انصهار ضيق (مثل الأكريليك، النايلون وغيرها)، وعند إنتاج هذه المواد في قوالب مزودة بدارات تبريد بالمياه فإنّ نتائج عملية التبريد تؤدي للحصول على قطع غير مرضية وخاصة عند بداية الإنتاج كل يوم، نظراً لوجود حاجة إلى المحافظة على درجة حرارة القالب ضمن مجال محدد، لذلك يلجأ في بعض الأحيان إلى تسخين القالب من أجل الوصول إلى درجة محددة بدلاً من تبريده، وتستخدم المياه الساخنة أو بخار الماء أو الزيوت الساخنة وذلك حسب حجم القالب وظروف الإنتاج عليه. كما تقوم بعض الشركات بتسخين القالب صباحاً عند بدء الإنتاج عليه بواسطة المسخنات الكهربائية مع تأمين منظمات حرارية مناسبة وذلك من أجل الإسراع في بدء العمل في المعمل.

من النقاط المهمة الأخرى التي يتوجب مراعاتها عند تصميم دارة التبريد في القوالب ضرورة تأمين توازن حراري متجانس ضمن القالب ، فمثلاً تكون حرارة منطقة دخول البلاستيك المصهور أعلى بكثير من درجة حرارة أبعد نقطة في الطبعة ، لذلك يتوجب على المصمم تأمين تبريد إضافي في تلك المنطقة ، أو جعل مدخل التبريد قريباً من تلك المنطقة باعتبار أنّ درجة حرارة الماء عندها تكون منخفضة ، وعند وصول هذه المياه لأبعد نقطة تكون درجة حرارتها قد ارتفعت لدرجة مناسبة لتلك المنطقة وبذلك يكون قد تمّ تحقيق نوع من التوازن الحراري في القالب. إنّ تطبيق ما ذكر ليس بالأمر السهل باعتبار

أنَّ شكل القطعة المحقونة وتصميم القالب ومتطلبات اللفظ تلعب دوراً كبيراً في تحديد مسار دارة التبريد، هنا تلعب خبرة المصمم وحسه الهندسي دوراً كبيراً في تحديد أنسب مسار لتلك الدارة بحيث يتم تحقيق أكبر قدر ممكن من التوازن الحراري فيه.

إنَّ أكبر مشكلة تواجه المصمم عند تصميم دارة التبريد تكمن في إيجاد الحل المناسب الذي يسمح بتمرير أفضل دارة تبريد فيه وبشكل لا يتعارض خط سيرها مع نظام اللفظ الذي في كثير من الأحيان يفرض مناطق محددة لوضع اللواطف، باعتبار أنه كلما كان توزيع دارة التبريد أفضل كلما كان مردود الإنتاج على القالب أعلى.

عند تصميم دارة التبريد يتوجب الأخذ بعين الاعتبار المسافة التي تمر بها هذه الدارة عن جدران الطبعة، ففي حال كونها قريبة جداً من هذه الجدران يبرز خطر حدوث انهيار في جدرانها بسبب ضغط الحقن في الطبعة، بالإضافة إلى أنَّ تقريب الدارة كثيراً يمكن أن يؤدي لحدوث عدم تجانس في تبريد المواد البلاستيكية بحيث تتجمد المواد الموجودة قرب هذه المنطقة أسرع من تلك التي تبعد عنها مسافة بسيطة، بنفس الوقت فإنه إذا تمَّ تنفيذ خطوط التبريد بعيدة نسبياً عن الطبعة فإنَّ فعالية التبريد سوف تكون ضعيفة. ينصح بشكل عام ألا تقلَّ المسافة بين أقرب جدار للدارة وبين الطبعة عن 5 مم وألا تزيد عن 150 مم بأي حال من الأحوال، لأنها بهذه الحالة لن تكون فعالة أبداً، يلعب الحس الهندسي والخبرة عند المصمم دوراً كبيراً في تحديد البعد المناسب لهذه الدارة.

3-13- اعتبارات تصميم القالب المرتبطة بمواصفات الآلة: [22]

تختلف آلات حقن ونفخ المواد البلاستيكية بمواصفاتها وقياساتها وتصميمها حسب الشركات المصنعة لها اختلافاً كبيراً، وباعتبار أنَّ القالب بعد الانتهاء من تصميمه وتشغيله وتجميعه سوف يتم تركيبه على الآلة من أجل الإنتاج عليه، فإنَّ هناك العديد من النقاط المهمة التي يجب أخذها بعين الاعتبار عند تصميم القالب التي ترتبط بمواصفات الآلة التي سيركب عليها من أجل تنفيذ عملية الإنتاج المطلوبة بشكل جيد وبمردود عالٍ.

يمكننا تعداد أهم المتطلبات التي ينبغي على المصمم أخذها بعين الاعتبار عند تصميم القالب والمرتبطة بآلة الحقن أو النفخ على الشكل الآتي: [22]

1- دراسة حجم القالب من حيث الطول والعرض والسماكة ومقارنة ذلك مع قياسات آلة الحقن التي سوف يركب عليها.

2- دراسة إمكانية استخدام مجاري تثبيت القالب (أو الثقوب المقلوطة) الموجودة في بلاطات التثبيت في آلة الحقن لتثبيت القالب وفق أبعاده النهائية المتوقعة.

3- حساب ضغط الإطباق اللازم للقالب ومقارنته مع ضغط إطباق الآلة التي سوف تستخدم بالإنتاج.

4- دراسة طول القالب ومقارنته مع شوط فتح الآلة المختارة بعد تركيبه عليها وتحديد إمكانية لفظ القطع المحقونة منه بسهولة.

5- مقارنة وزن البلاستيك الذي تحقنه الآلة مع وزن القطعة المحقونة ومجاري التغذية.

6- دراسة معدل تلدين آلة الحقن أو النفخ (كمية المواد البلاستيكية التي تستطيع آلة الحقن تلدينها بالساعة) ومقارنة ذلك مع كمية الإنتاج المطلوبة بالساعة.

يجب على المصمم دراسة جميع النقاط السابقة بعد تحديد التصميم الأولي للقالب، وبناءً على نتائج هذه الدراسة يتم اتخاذ القرار باستخدام هذه الآلة أو استخدام آلة أخرى مناسبة أكثر للإنتاج بالمعدل المطلوب والمواصفات.

الفصل الرابع

عملية تلبيس البلاستيك بالمعادن

4-1- نظرة تاريخية:

يعد تلبيس المواد غير الناقلة كهربائياً بالمعادن معروفاً منذ القدم، أشهرها كان تلبيس رؤوس الرماح الخشبية بطبقة رقيقة من النحاس والمعروضة في المتاحف في بغداد والقاهرة ولكنه من غير المعروف حتى وقتنا الراهن بأي طريقة تمت عملية التلبيس وقتها.

في العام 1936 وجد عالم الآثار W.König وعاء من الفخار يحوي في مركزه على أسطوانة نحاسية وفي الوسط مسمار من الحديد، المسافة بين المعدنين تم تثبيتها بقطعة من الإسفلت. لكن تنقصنا دائماً المعلومات التي تشرح كيفية جعل هذه الطبقة السطحية ناقلة كهربائياً وإذا كان هدف التلبيس هذا يخدم نفس الغايات التي تستخدم في يومنا هذا. [5]

إذا جمع المرء هذا التصميم فيستطيع عندها وباستخدام الخل أو حمض الليمون أن يولد تياراً كهربائياً وهذا الذي يدعى بالخلية الغلفانية وتعمل تماماً حسب التصميم الذي طوره العالم فولت عام 1800 وكان عندها أول تصميم متطور.

صدفة أخرى قادت في العام 1835 إلى تلبيس الزجاج بالفضة حيث طلى العالم الكيميائي الشهير Justus von Liebig وبشكل غير مقصود الجدار الداخلي لأنبوب الاختبار وذلك عندما كان يجري تفاعلاً كيميائياً. هذا الاكتشاف وما أتبعه من تطور صناعي لاحق قاداً أخيراً إلى صناعة المرايا. يُرسب معدن الفضة على سطح الزجاج المستوي الذي يعد غير ناقل للكهرباء وذلك من خلال المحلول المائي لنترات الفضة وبمساعدة مادة مرجعة (مثل سكر العنب) كذلك يلبس البورسلان بالفضة بنفس هذا المبدأ. [5]

نُشرت أبحاث عديدة حول غلجنة المواد البلاستيكية في العقود الثلاثة الأولى من القرن الماضي، وكذلك تم تسجيل عدة براءات اختراع حول هذا الموضوع.

في العام 1938 تم توصيف عملية تلبيس المواد البلاستيكية التي كانت معروفة حينها بشكل مفصل وشامل.

بنفس الوقت تم نشر براءة اختراع توضح كيفية ترسيب فيلم معدني الكتروليمائياً على فيلم آخر موجود على المادة البلاستيكية وذلك بهدف تدعيمه.

أيضاً في العام 1992 تمّ نشر ملخص عمل يشرح فيه المعالجة الميكانيكية والحرارية وشدة الالتصاق لطبقة معدنية مُرسّبة على الطبقة السطحية لمادة بلاستيكية وذلك من خلال الترسيب الكيميائي الذي كان الأكثر انتشاراً حينها.

بدءاً من اكتشاف الـ ABS الذي أعطى إمكانية التخريش الكيميائي وذلك بمساعدة حمض الكبريت والكروم، هذا الذي مكّن من الحصول على التصاق جيد للطبقة المعدنية على البلاستيك، من هذه البدايات تمّ تطوير التقنيات التي تستخدم في يومنا هذا لتلبيس البلاستيك بالمعادن.

إن تقدم استعمال لدائن (ABS)، وكذلك كيماويات المعادن التي مكنت من الحصول على طبقات ميكروية منها جعل بالإمكان الحصول على مقولبات من اللدائن من الممكن توضع المعادن على أسطحها مع تماسك هذه المعادن وتلاصقها باللدائن بشكل كاف وأدى ذلك إلى مقاومة النتائج الفيزيائية السيئة المقترنة باستعمال اللدائن كما هي دون طلاء معدني.

وأصبح الآن حوالي (90%) من القطع المصنوعة من اللدائن المستعملة في صناعة السيارات من نوع من لدائن (ABS) الخاصة القابلة للتلبيس بالمعادن، إضافة إلى إمكانية تلبيس أنواع أخرى من اللدائن تشمل البولي سلفون المقوى أو غير المقوى ومركبات (البولي فينيلين أوكسيد مع لدائن أخرى مثل ABS) وبعض أنواع لدائن البولي بروبيلين المقواة وكذلك الفورم الدهيد والبولي أميد/6 المقوى ومثل هذا التوسع جعل بالإمكان شموله لللدائن الفينولية والبولي كربونات وغيرها. ولكن السعر والناحية التجارية هي التي تحدد دوماً إمكانية استعمال هذا النوع من اللدائن أو غيره لغايات التلبيس إضافة للنواحي الفنية الأخرى المتعلقة بغايات الاستخدام.

لقد احتلت لدائن (ABS) دوراً مهماً كبديل لبعض القطع المعدنية في السيارات أو لبعض اللوازم الشخصية أو للسباكة وغير ذلك، ومنذ أن أصبح بالإمكان صبغ أو تلوين اللدائن باستخدام الاخضاب أو الصبغات بدأ مثل هذا التغير، وحين توصل التقدم التقني إلى إمكان طلائها بالمعادن أصبح تصنيع واستخدام الحاجات من اللدائن وثيراً بالنظر إلى سهولة التكيف بالأشكال وإمكانية توفير أعداد لا حصر لها منها بسرعة أكبر وبكميات أضخم وبكلفة إنتاج أقل وبدأت تدخل تدريجياً تحتل مكان القطع المعدنية المماثلة لأشكالها مع احتفاظها بمقاومة معقولة.[5]

والواقع أن التلبس الكهربائي النهائي بمعدني الكروم أو النيكل ما هو إلا توضعات متتابعة للنحاس ثم النيكل ثم الكروم أو للنحاس ثم النيكل فقط، وهو عمل ذو تكلفة سواء كان ذلك على معدن أو على اللدائن المختلفة وهذا لا يمنع استعمال أنواع أخرى من التلبس المعدني الكهربائي الأخير من أنواع من النيكل أو النحاس المؤكسد أو الكروم الأسود الخ..... بالنسبة لبعض أنواع التزيينات، في حين أن النحاس أو خلائط النحاس والقصدير تستعمل في بعض القطع الكهربائية أو الإلكترونية.

وقد تستعمل في عمليات التلبس الكهربائي مواد حاجبة لهذا الطلاء وتوضعه على بعض المناطق من قطع اللدائن، حيث تلبس المناطق المكشوفة فقط، ومثل هذه الحالات تستعمل عند الحاجة لربط قطع اللدائن أو المناطق غير المطلية ببعضها بواسطة طرائق الالتحام المعروفة كالترددات فوق الصوتية أو غيرها، وكذلك لإبعاد التلبس المعدني عن الأقسام الداخلية غير المتوجب طلاؤها وخاصة في حال الرغبة بإبقائها مناطق عازلة للكهرباء في بعض الاستعمالات.

2-4 الهدف من تلبس المواد البلاستيكية بالمعادن: [5]

نتيجة للتقدم العلمي وظهور المواد البلاستيكية بكثرة وسهولة الحصول عليها وكذلك استخدامها كل ذلك 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 التلبس المعدني الكهربائي وخاصة في حقن اللدائن.

يهدف تلبس المواد البلاستيكية بالمعادن إلى:

- الاهتمام بالناحية الجمالية التزيينية.
 - توفير بالوزن باستعمال اللدائن ويشمل هذا توفير كلفة التغليف والشحن.
 - توفير قطع غير قابلة للصدأ.
 - التخلص من سوء التخزين على القطع المعدنية الجديدة.
- 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 للانثناء مثلاً.

ولا ننسى أن مقولبات اللدائن المنتهية المصنعة في قوالب مصقولة ومطلية ذات مظهر هو في غاية الإتقان وخاصة سطحها الخارجي الظاهر مما لا يحتاج معه إلى أي تعامل ميكانيكي قبل الطلي الكهربائي لتحسينه كما هو الحال في المعادن. لذلك فإن تلبيس اللدائن الكهربائي بالمعادن يعكس ظاهرة سطح اللدائن الناعم مما يعطيها مظهراً معدنياً لامعاً أيضاً.

4-3 الشروط الواجب توافرها للحصول على تلبيس ناجح: [23]

إن مقولبات اللدائن المعدة للغلطة تكون مهيأة لهذه الغاية إضافة لبعض الشروط المطلوبة منها: يجب أن تكون مساحة القطع المعرضة للطلاء أكثر من (6) سم² وألا تكون مسطحة تماماً لأن الغلطة في هذه الحالة تظهرها كأنها محدبة، ولذلك فإن إعطائها تحدياً مسبقاً غير محسوس يعطيها مظهر القطع المسطحة المستوية.

يجب تجنب التجاويف والمساحات الضيقة في الأطراف، إذ أنها إضافة لعدم غلفتها بشكل جيد فإنها لا تحتفظ باللمعان العام، كما أنها تؤثر على محلول الغلطة نفسه وتتقبل توزيع كميات زائدة من المعدن مما يزيد في تكاليف الغلطة.

إن جميع الزوايا والنهايات يجب أن تكون منحنية دون انكسارات أو زوايا حادة، ومثل هذا الانحناء الداخلي عوضاً عن الزوايا أو الانحناء الخارجي في النهايات يجب ألا يقل وتر قوسه عن (1.5) ملليمتر.

ومن الأفضل في الغلطة تجنب الثقوب أو السدات المهيأة للربط لعدم إمكان غلفتها جيداً حيث يمكن أن تتعرض لنفس النتائج المذكورة في الملاحظات السابقة.

الابتعاد عن غلطة السطوح المزينة أو ذات الحروف البارزة عن السطح لأنها تصبح أكثر بروزاً بعد الغلطة وقد تنطمس معالمها.

يجب ألا يدخل في التصميم ربط قطع اللدائن قبل اللحام، لأن جميع طرائق اللحام تؤثر على تفاعل اللدائن في جوار مناطق اللحام.

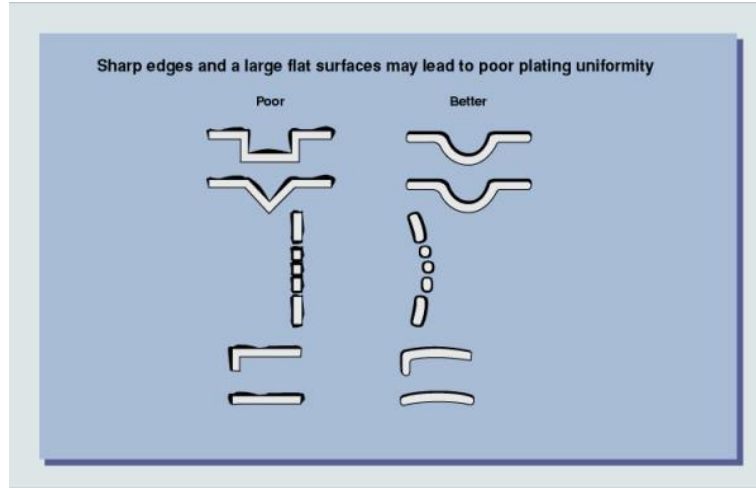
تهياً في المقولبات أمكنة غير ظاهرة عند الاستعمال ويسهل نزعها دون أن تؤثر على مظهر القطعة وذلك لتعليق القطعة من هذه الأمكنة أو هذه الزوائد خلال عملية الغلطة.

تصمم أشكال المقولبات بطريقة تمنع من التوائها حين يتم تعليقها خلال عمليات الغلفنة وخاصة أن حرارة الغلفنة تصل أحياناً إلى (70) م.

تنعم سطوح قوالب الغلفنة بمختلف الوسائل للوصول إلى أقصى درجة ممكنة من النعومة، علماً أن أقل أثر في السطح يظهر بوضوح أكبر بعد عملية الغلفنة.

تراعى في قولبة اللدائن المتوجبة الغلفنة مقاييس معينة سواء بالنسبة لنوع اللدائن أو الحرارة المطبقة بالنسبة للمواد أو القالب.

يتوجب استعمال المواد التي تسهل تحرير المقولبات من تجويف القالب مثل السوائل السيليكونية منعاً لإحداث خدوش ظاهرة به تؤثر على عملية الغلفنة. والشكل (4-1) يوضح شكل القطع التي يمكن أن تطلّى بالمعدن.



الشكل (4-1): القطع التي يمكن تلبسها [23]

ولتحضير اللدائن المقولبة للغلفنة يجب أن نلاحظ أن أغلب سطوح اللدائن هي غير ناقلة كهربائياً قبل الغلفنة لهذا فإنه يتم تحضيرها مسبقاً بإكسائها بمادة ناقلة كهربائياً قبل الغلفنة، لهذا فإن الالتصاق الجيد للمعدن يتبع بشكل أساسي التصاق مادة الإكساء الناقلة.

والتحضير يتم على خطوات، وعلى سبيل المثال نورد إحدى طرائق تحضير لدائن (ABS) وغلفتها مع تتابع العمليات في أحواض الغلفنة:

التنظيف، غسيل بالماء، تنظيف كيماوي، غسيل بالماء، حوض التعادل، غسيل بالماء، الحفار، غسيل بالماء، غلفنة كهربائية، غسيل بالماء، المواد المطلية جاهزة.

وقد يتطلب الأمر تبديلاً لبعض أنواع التحضير حسب نوع المركبات زيادة أو نقصاناً. فالغاية من التحضير إزالة المواد الغريبة من على سطح المقولبات، وتحضير التنظيف يمكن أن يكون حمضياً أو قلوياً أو سائلاً منظفاً حيادياً وهذا الأمر يتبع نوع اللدائن، وأغلب هذه السوائل لا تبلل بشكل عادي سطوح اللدائن لأنها هيدروفوبية طاردة للماء مما يتطلب زيادة في التنظيف والغسيل والمحافظة على النظافة في النقل بعدم مساسها بالأيدي، ومثل هذا الاحتياط يتوجب تنفيذه اعتباراً من عمليات القولبة لأبعاد تماس الزيوت والأيدي لها وحفظها بعيدة عن كل تلوث دهني أو أية أوساخ أخرى.

1-3-4 من شروط التلبيس الناجح النظافة (أي نظافة المنتجات): [23]

يوجد العديد من الأسباب التي تجعل الأجزاء البلاستيكية الملبسة لا تعمل بشكل جيد كما هو مخطط لها بعض هذه الأسباب تقني جداً والبعض الآخر يتعلق بتنظيف المنتجات. من المستحيل الحفاظ على سطح البلاستيك نظيفاً أثناء عمليات تشكيله، بعد التشكيل قد تتعرض بعض الأجزاء للتشذيب والمعالجة وغير ذلك من العمليات التي تؤدي غالباً إلى تعرض السطح للغبار والأوساخ والزيوت وتصبح ملوثة خلال التخزين والنقل، هذا يعني أننا نحتاج إلى تنظيف القطع قبل التلبيس المعدني.

يوجد ثلاث أنواع رئيسية من عمليات التنظيف:

(1): التنظيف بالماء المضغوط والمنظفات: إن هذه العملية هي عملية تنظيف شائعة ويجب أن تشترك مع نظام تجفيف فعال.

(2): الطريق الأكثر كلفة هي باستخدام محاليل إزالة الزيوت والشحوم ويمكن أن تتجزأ بالتغطيس المباشر (بوجود أو بدون وجود تهيج بالأمواج فوق الصوتية) ويمكن أيضاً أن تتجزأ بتكثيف البخار، محاليل محددة يمكن أن تحل مواد بلاستيكية محددة لذلك يجب اختيار المنظف الأنسب حسب نوع المادة البلاستيكية.

(3): يمكن أن تنظف القطع باستخدام تدفق من الهواء المضغوط ويوجد تحفظ واحد عند استخدام هذه الطريقة وهو أن ضواغط الهواء عموماً تكتف الرطوبة. لذلك يجب أن يجفف الهواء ويفلتر قبل

استخدامه في هذه الطريقة، التنظيف باستخدام الهواء لن يزيل الشحوم والزيوت العالقة على السطح لذلك يجب استخدام إحدى الطريقتين الأولى إزالة هذه المواد.

تتطلب بعض المواد البلاستيكية طبقة أساسية من الطلاء (base coat) قبل التلبيس المعدني لتغطية بعض العيوب مثل زوائد الصب أو الحفر إلخ. الطبقة الأساسية هذه هي الطبقة الأولى من ثلاث طبقات وهي مهمة جداً ويجب أن تلتصق بشكل جيد إلى القطعة البلاستيكية وتؤمن نعومة سطحية تحسن التصاق الطبقة المعدنية.

وبعد التلبيس المعدني توضع طبقة علوية لحماية الطبقة المعدنية المرسبة ولمنع اللمعان للقطعة المنتهية.

يتم وضع الطبقة الأساسية والطبقة العلوية باستخدام عملية طلاء والطريقتان الأكثر انتشاراً هما البخ والطريقة السائلة (flow coating).

الأوساخ في التلبيس أو الأجزاء المطلية يمكن تحديدها بكل أو أي من الملوثات بما في ذلك الغبار، الزغب، العناقيد الصغيرة في الأصبغة غير المزوجة بشكل جيد، جزيئات صغيرة من الطلاء المبخوخ الزائد. الزغب من أكثر الملوثات وجوداً فهو يوجد طبيعياً في مواد التغليف (بشكل خاص الورق المقوى) وفي الملابس وأوراق التغطية. الغبار يعد أيضاً مشكلة خطيرة وأحياناً من المستحيل تجنبه.

والغاية من التنظيف الكيميائي تحضير السطح ليكون ممتصاً للماء (هيدروفيل) ولاستبعاد أية مواد غريبة متبقية وكذلك لإيجاد تجاويف ميكرونية على هذا السطح بمواد تؤمن ذلك لتهيئتها لتقبل والتصاق المادة المتوسطة التي تحمل الطبقة المعدنية الخارجية الظاهرة.

أما حوض التعادل فالغاية منه إزالة بقايا أملاح الكروم التي يحضر بها السطح لكيلا تؤثر على تفاعل الخليط الكرومي المحدد للعملية أو للعمليات الكيميائية الأخرى السابقة لهذا التفاعل ولأن إزالة هذه الأملاح تمكن من الأكسء الكامل للحفاز ولذلك للمسرّع في المرحلة التالية. وفي أغلب الأحيان تجرب قطعة واحدة انتهت من التنظيف الكيميائي لمعرفة مقدار قلبها للعامل المساعد والمسرّع.

والعامل المساعد أو الحفاز يتألف من سوائيل حامضية قوية من القصدير وأملاح البالاديوم حيث تمتصها الطبقة السطحية من مقولبات اللدائن بشكل محدود ومراقب. فالقصدير يجتذب من قبل

المركبات العضوية السطحية ويسوق بالاديوم ليشكل معه الطبقة الملصقة التي تكون بمثابة طبقة وسيطة بين اللدائن والمعادن المغلفة التي تتوضع عليها. أما دور المسرع فهو يؤدي عملية التحرك للقصدير غير المرغوب الذي يمكن بواسطته تحديد توضع المعدن على اللدائن. واستعمال أحد أنواع معادن الغلجنة دون غيره لمقولات اللدائن يتعلق بحجم القطعة فمثلاً شبكة مقدمة السيارة تتطلب عادة غلفتها بالنحاس أو النيكل بطبقة كافية مقبولة الكلفة لتكون بمثابة ناقل كهربائي جيد للغلجنة النهائية، وهذه الغلجنة الأولية لا تقل سماكتها عن (25) ميكرون مضافاً إليها الغلجنة النهائية وتعطي الصلابة اللازمة لشبكات اللدائن هذه.

ولابد من الإشارة إلى أن تقنية الغلجنة بالنسبة لللدائن ليست بسيطة أو عادية، فهي إضافة للنواحي الفنية المطلوبة في عمليات التلبيس الكهربائي ترتبط بصورة أساسية بالشكل العام للقطعة المقولبة ووضعية السطوح وارتباط هذا كله بمقدار سماكة طبقة معادن الغلجنة.

4-4-المواد البلاستيكية القابلة للتلبيس وطرائق تصنيعها وتطبيقاتها:[24]

هناك العديد من المواد البلاستيكية التي يمكن تلبيسها بالمعادن وأهمها:

4-4-1-الأكريلونتريل بوتادين ستيرين (ABS) (Acrylonitrile Butadiene Styrene):

هو أحد المواد البلاستيكية المنتمية إلى عائلة الستيرين حيث يتألف من مونوميران الستيرين والأكرونتريل ومطاط البوتادين وهو يشكل كوبوليمير يتضمن هذا الكوبوليمير عائلة تتألف من حوالي (15) مجموعة مختلفة أو أكثر من المركبات الهندسية المشكلة أساساً من ثلاث مونوميرات هي الأكرونتريل والبوتادين والستيرين.

وهذه المونوميرات يمكن دمجها بنسب موزعة فيما بينها تؤدي للحصول على عدد من المجموعات التي لها خصائص مختلفة لتغطي حاجات عدد من التطبيقات اعتباراً من الهواتف المنزلية إلى أعمدة الخيام، فإن الأكرونتريل يعطي هذا الكوبوليمير مقاومة حرارية كما يعطيه البوتادين المقاومة للصدمات ونوعاً من حفظ الحرارة أما مونومير الستيرين فهو يقدم له النعومة واللمعان وسهولة التصنيع والصلابة.

وعائلة (ABS) تتضمن الأصناف ذات الاستعمال العام كما تتضمن الأصناف الممزوجة بإضافات لتحسين بعض شروطها مثل تحمل الحرارة العالية وزيادة الشفافية وموانع سريان اللهب وإمكانية معاملتها بأحواض تلبيس المعادن بالكهرباء وخاصة بسبب مظهرها اللامع وأخيراً تم التوصل إلى أصناف رغوية من هذا الكوبوليمير . ومن بعض خصائصه:

درجة حرارة التحول الزجاجي 105 مئوية.

درجة حرارة الصهر المستخدمة للحقن (204-238) درجة مئوية.

متانة الشد: 46 MPa

ويعد ABS من أفضل المواد قابلية للطلاء بالمعدن بالطريقة الكيميائية، مقارنة بالمواد الأخرى وذلك لاحتوائه على المطاط في التركيب (البوتادين) مما يسهل عملية التخریش وتشكل الثقوب المكروية مقارنة بباقي المواد.

4-5- التلبيس الكيميائي والكهربائي: [25]

إن المظهر الطبيعي للمواد البلاستيكية مقبول تماماً للعديد من التطبيقات ولكن أحياناً تكون هناك حاجة للحصول على قطع تملك سطوح عاكسة بشكل مشابه للمعادن. لهذا السبب ابتكرت العديد من الطرائق التي تؤمن أغشية معدنية فوق الأرضية البوليميرية، هذه الطرائق يمكن أن تتجزأ بالطلي المعدني أو بالتلبيس المعدني، ومن العدل القول إن الطلي الغلفاني يمكن أن يمنح متانة أعلى وترابط بين المعدن والمادة البوليميرية من بين طرائق التلبيس المختلفة ويمكن أن يكون مفضلاً في الاستخدامات مثل الأجزاء الخارجية للسيارات حيث المتطلبات الضرورية تتضمن مقاومة جيدة ضد التآكل والاهتراء والاحتكاك.



الشكل (4-2): بعض المنتجات البلاستيكية الملبسة [25]

طورت العمليات التجارية لطرائق الطلي الغلفاني للبلاستيك خلال الستينات، وبدأ يظهر الاهتمام الخاص في مجال صناعة المركبات وحالياً بدأ استخدام هذه التكنولوجيا في حقول أخرى. أي طريقة تلبيس معدني تعتمد على الطلي الغلفاني يمكن تطبيقها نظرياً على المواد البلاستيكية، ومن خلال الممارسة تمّ تحديد مجال للمعادن المستخدمة (الكروم-النيكل حيث أصبحت تحظى بأهمية كبيرة).

المشكلة المركزية التي يجب التغلب عليها أثناء تلبيس المواد البلاستيكية باستخدام هذه الطريقة (الطلي الكهربائي) هي أن المواد البلاستيكية مواد جيدة العزل الكهربائي وتفتقد لأية ناقلية كهربائية تذكر، على النقيض من ذلك فإن المواد المعدنية يمكن أن تنظف (وتعالج سطوحها حين الضرورة) وتغمس في محلول الترسيب وعند وصل تيار كهربائي مستمر فإن التغطية المطلوبة سوف تتم. من الضروري إذاً لتلبيس المواد البوليميرية تأمين فيلم (طبقة رقيقة) ناقلة على السطح كقاعدة للترسيب الكهربائي، والشرط المهم هو تأمين التصاق جيد للفيلم مع الأرضية البوليميرية، حيث أن جودة عملية التلبيس تعتمد على الطريقة التي تستخدم لتأمين هذا الالتصاق. يمكن استخدام عدة طرائق لتحضير الطبقة المعدنية الناقلة.

في المراحل المبكرة من تطور عمليات تلبيس البلاستيك كان السطح يخشّن بوسائل ميكانيكية أو بمعالجته بالمحاليل قبل تغطيته بطلاءات محتوية على الغرافيت أو الفضة، مثل هذه الطرائق كانت غير مناسبة للإنتاج بكميات كبيرة بالإضافة إلى الصعوبة في تحقيق نوعية (جودة) ثابتة.

في الستينات تم استخدام محلول حمضي كرومي لتخريش سطح البلاستيك وقد أعطت هذه الطريقة التصاقاً جيداً بين البوليمير والطبقة المعدنية.

في الوقت ذاته تمّ انجاز تقدم سريع في مجال تكنولوجيا الترسب اللاكهربائي (autocatalytic) للنكل والنحاس التي تستخدم مبادئها حتى يومنا هذا.

مؤخراً أصبح بالإمكان استخدام عملية جديدة كلياً تمكن من تلبس أجزاء محددة من سطح القطعة البلاستيكية المطلوب تلبسها، تعتمد هذه الطريقة على البخ (spraying) الذي بنتيجته يعطي طبقة ناقله كهربائياً يمكن تلبسها بعد ذلك بالمعدن بواسطة طرائق التلبس الكهروكيميائية التقليدية وهكذا يؤمن البخ سطحاً متماسكاً ضرورياً للعمليات اللاحقة.

4-6- التلبس الكيميائي: [25]

في التلبس الكيميائي يمكن أن تترسب طبقة معدنية فوق السطح البلاستيكي غير الناقل للكهرباء، وكما ذكرنا فإن النحاس والنكل من أكثر المعادن تلبساً باستخدام هذه الطريقة.

يخزّش سطح القطعة المراد تلبسها بواسطة محلول مؤكسد قوي يؤدي إلى إزالة بعض مكونات الطبقة البلاستيكية السطحية تاركاً ثقباً ميكروسكوبية على السطح، وبنتيجة ذلك يصبح سطح البوليمير هيدروفيلياً (hydrophilic)، مما يساعد على تحسين الالتصاق بين البلاستيك والمعدن المرسب، بعد التخريش تغمس القطعة في محلول معدني وتتشكل الطبقة المعدنية بواسطة تفاعل كيميائي بين المادة المرجعة الموجودة في المحلول وشوارد المعدن.

4-6-1 العمليات الكيميائية: [26]

يمكن تمييز الخطوات الآتية خلال عملية التلبس:

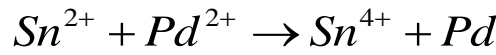
(1): التخريش الأولي (المعالجة بالمذيبات) يجب أن يستخدم أحياناً قبل المخرشات (etchants) لتحسين السطح البلاستيكي المترافق بعيوب صب أو إجهادات متبقية عالية، وهذا يتم بالملء الخفيف للسطح بمذيب يسمح للمخرش (etchant) بمهاجمة السطح بشكل موحد.

(2): إذا كانت القطعة تحوي في تركيبها على جزيئات البوتادين المطاطية، يمكن عندها أن يكون المخرش عبارة عن حمض كرومي، برمنغنات، أكسيد الكروم الثلاثي أو حمض الكبريت، حيث إن

البوتادين يزال بشكل انتقائي من تركيبة البلاستيك وهذا يترك ثقباً تكون هي مواضع التشبيك الميكانيكي بين المعدن والبلاستيك.

(3): بعد التخريش تغسل الأجزاء للتخلص من آثار الحمض المتبقية (neutralizer) ويمكن أن يستخدم هنا محلول لثاني كبريتات الصوديوم، ويجب التأكد من أن كل الجزيئات المخرشة قد أزيلت تماماً بدون آثار باقية في الثقوب لأن هذا يؤدي إلى تلبيس سيء إذا خرجت الجزيئات المخرشة من الثقوب خلال الخطوات اللاحقة.

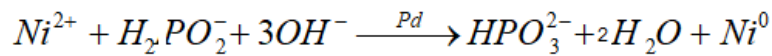
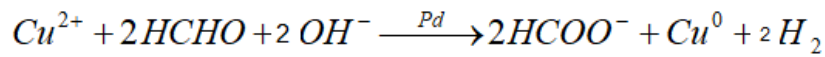
(4): في هذه الخطوة يتم تزويد المنشط (المحفز) عن طريق غمس القطعة في حمام غروي (صمغي) من البالاديوم والقصدير، وهكذا يترسب البالاديوم على السطح حسب التفاعل الآتي:



حيث يعمل البالاديوم كمحفز لترسيب النحاس أو النيكل.

(5): بعد الغسيل الذي يلي خطوة التنشيط يتواجد البالاديوم المعدني على سطح القطعة، ويجب التأكد من إزالة الفائض من هيدروكسيد القصدير الرباعي (stannous hydroxide) بواسطة حمام من حمض عضوي أو معدني قبل أن يقوم البالاديوم بدور المحفز.

(6): أخيراً، يرسم الفلم المعدني ويلتصق على سطح القطعة البلاستيكية بواسطة تفاعل إرجاع، وهذا يمكن انجازه باستعمال محلول شبه مستقر حاوي على أملاح معدنية، عنصر إرجاع، ومعدن معدني و مثبت. عندما يقدم السطح الحامل للبالاديوم إلى المحلول يحدث إرجاع كيميائي للمعدن في المواضع الذي يتواجد فيه البالاديوم، التفاعلات الرئيسية للنحاس والنيكل هي كالاتي:



يستخدم التلبيس الكيميائي بشكل واسع لإنتاج طبقة ناقلة رقيقة على سطح البلاستيك، التي تكون ضرورية لعمليات التلبيس الكهربائي اللاحقة.

4-6-2 عمليات التغطيس التقليدية: [26]

في هذه العمليات تعالج القطعة البلاستيكية في محلول التخریش لتوليد السطح الهيدروفيلي (الجاذب للماء) ولتشجيع الالتصاق بين هذا السطح والفلم المعدني، وبعدئذ ينشط السطح حيث يمكن بعد ذلك ترسيب طبقة رقيقة من النحاس أو النيكل بواسطة الترسيب الكيميائي (الالكهربائي). تنتج هذه الطبقات الرقيقة سطوحاً ناقلة التي يتم ترسيب المعدن عليها فيما بعد بعملية الترسيب الكهربائي التقليدية.

وكما ذكرنا فإننا نلجأ أحياناً إلى معالجة القطعة البلاستيكية بالمذيبات أولاً وهذا يحقق الأهداف الآتية:

- 1- إعطاء طراوة خاصة لسطح البلاستيك من أجل تسهيل العمليات الآتية الخاصة بالتلبيس.
- 2- يمكن أن تقيد في التخلص من الإجهادات العالية الناتجة عن عمليات التصنيع.
- 3- إزالة بعض البوليميرات ذات السلاسل القصيرة من أجل تحسين التصاق المعدن بالبلاستيك.

4-6-3 تنعيم السطح: [27]

1- التنعيم الميكانيكي:

يتم تنعيم المواد البلاستيكية باستخدام مواد حاكه مثل الزجاج الحبيبي، مسحوق المعادن، أو الرمل وتتم المعالجة بالقذف باستخدام هواء بضغط معين أو باستخدام البخار بدلاً من الهواء وذلك لتجنب تشكل الغبار وللتقليل من ضياع المواد الحاكه.

هذه الطريقة تؤمن توزيع وتصادم أفضل على كامل السطح بسبب مزج السائل مع المادة الحاكه وتحريك الهواء له عند ضغط (4-6) ضغط جوي.

تدعى هذه الطريقة بطريقة سائل الشد حيث يتم القذف على مسافة 50 سم وزاوية ميل 45 درجة ويجب عدم ظهور أية مناطق لماعة أو عاكسة بعد هذه المعالجة.

2- التنعيم باستخدام اسطوانة دوارة:

تستخدم هذه الطريقة الميكانيكية من أجل تنعيم القطع البلاستيكية الصغيرة وذلك في براميل خاصة وهي تستخدم للقطع المعقدة.

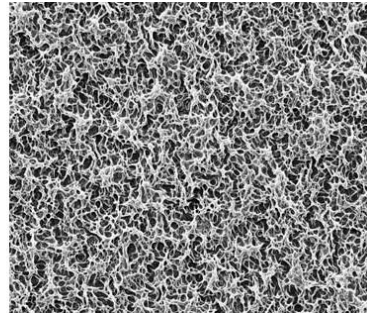
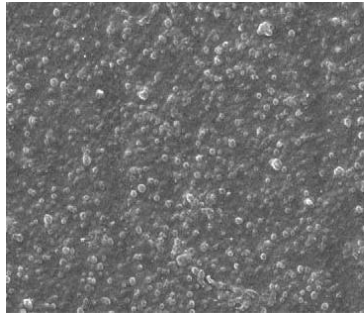
هناك نوعان من هذه الاسطوانات النوع الأول يستخدم من أجل تنعيم القطع المعدنية والنوع الثاني من أجل تنعيم القطع البلاستيكية وتكون هذه الأخيرة مصممة من الخشب ذات زوايا سداسية أو ثمانية وخالية من النتوءات وذات قطر (60-70 cm) وطول قدره (40-50 cm) تبطن عادة بالمطاط القاسي، تحدد سرعة الدوران بحوالي (30-40 دورة في الدقيقة) كما يتم تعبئتها حتى (35%-70%) من حجمها بالقطع البلاستيكية. تستخدم أحجار خاصة بالتنعيم كالزجاج البركاني مع استخدام بعض أنواع الزيوت، وعند انتهاء عملية التنعيم تفصل حجارة التنعيم من القطع البلاستيكية وتغسل وتجهز للتلبيس.

4-6-4- التخريش الكيميائي:

التكنولوجيا التي كانت متقدمة في الستينات (بداية عمليات التلبيس الكيميائي) تعتمد على تخريش القطعة المصنوعة من (اكريلونتريل - بوتادين - استيرين) واختصاراً ABS بواسطة محاليل من حمض كرومي.

هذه المحاليل شديدة الحمضية ومؤكسدة إلى حد كبير وتهاجم البلاستيك بطريقة موجهة، التركيب البنائي للأجزاء المكونة من ABS غير متجانس ولذلك فإن تأثير المحلول على السطح يكون بإعطاء حفر (ثقوب) ميكروسكوبية عديدة (من خلال إزالة البوتادين من التركيب البنائي للسطح) هذه الثقوب تكون صلة الوصل الميكانيكية بين الطبقة المعدنية الرقيقة والأرضية البوليميرية حيث سينتشر الفيلم المعدني الأولي ضمنها.

يبين الشكل (3-4) صورة مجهرية لمثل هذا السطح حيث تظهر الإزالة الانتقائية للبوتادين. [27]



الشكل (a-3-4): سطح البلاستيك قبل التخريش

الشكل (b-3-4): سطح البلاستيك بعد التخريش

تبقى آلية الالتصاق الحاصلة بين المعدن والبوليمر في هذه الطريقة كما ذكرنا محل نقاش. محاليل التخریش ذات الأساس الحمضي الكرومي متوفرة بعدد من الماركات المسجلة ببراءة اختراع، لكن المحلول الآتي يشير إلى النوع المائي:

- 430 غرام اوكسيد الكروم الثلاثي (CrO_3) لكل لتر ماء.
- 180 مل حمض الكبريت المركز لكل لتر.

يجب أن تغمس القطع البلاستيكية في محلول التخریش لفترة تتراوح بين ثلاث إلى ست دقائق عند درجة حرارة بين ($60^\circ\text{C} - 65^\circ\text{C}$). يجب العمل ضمن الشروط المحددة بدقة وذلك لأن الزيادة أو النقصان في عملية التخریش تقود إلى نتائج عكسية وغير مرغوب بها.

لا تسلك الأنواع المختلفة لـ ABS نفس السلوك وذلك لأن كمية وتوزع البوتادين في الأرضية له أهمية في تحديد هذا السلوك، ولهذا السبب تمّ تطوير درجات خاصة من الطلي الكهربائي التي يمكن أيضاً أن تتأثر النتائج باستخدام هذه الشروط.

تمّ تطوير محلول التخریش من الحمض الكرومي أصلاً لـ ABS ولكنه عدّل أثناء عمليات التغطية ليناسب مدى واسع من المواد، تخریش البولي كاربونات أكثر صعوبة باستخدام هذه الطريقة، والمادة يجب أن تعالج أولاً بمحلول حاوي على مذبذبات عضوية (التي تسبب انتفاخاً وشقوقاً ميكروية للسطح، وهكذا تتولد حساسية أكبر عند مرحلة التخریش).

تذوب محاليل المادة البلاستيكية بشكل تدريجي وتراكمي ومن فترة لأخرى يجب التخلص منها واستبدالها (عملية التخلص من هذه المحاليل تظهر صعوبات بيئية) ولهذا السبب اتجهت الجهود لايجاد محاليل مائية قلوية أكثر منها حامضية وقادرة على التخریش لكن لا تحتوي على الكروم.

بعد تخریش القطع تمر عبر المعادل (neutralizer) لإزالة كل بقايا الكروم تحضيراً للعملية اللاحقة، عند هذه النقطة يصبح السطح هيدروفيلي (جاذب للماء) ولكن يبقى غير قادر على ترسيب كل من النحاس أو النيكل.

لخلق المواقع التي سوف يتشكل المعدن عليها (الثقوب المنشطة) من الضروري ترسيب نوى من البالاديوم لتنشيط السطح، وهذا ينجز بخطوتين: غمس القطع في محلول حاوي على كلوريد القصدير الرباعي (stannous chloride) ثم نقلها إلى محلول من كلوريد البالاديوم (الذي سيترسب منه

المعدن). حالياً تدمج هاتين الخطوتين عن طريق غمس القطع في محلول غروي (صمغي) من كلوريد البالاديوم يحوي أيضاً أملاح القصدير الثنائي والرابعي، المحلول النوعي لهذا النوع سوف يشمل: [28]

- 1- 0.007 غرام كلوريد البالاديوم لكل ليتر.
- 2- 35 غرام كلوريد القصديري (SnCl_2) لكل ليتر.
- 3- 4 غرام كلوريد القصدير (SnCl_4) لكل ليتر .
- 4- 500 مل حمض كلور الماء لكل ليتر.

عادةً يتم التغطية لمدة ثلاث إلى ست دقائق عند درجة حرارة تتراوح بين ($25^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C}$) عندها سوف يكون كافياً لتنشيط السطح.

يكتف البالاديوم على سطح البلاستيك على شكل جزيئات منفصلة دقيقة التي تكون محمية وغير منشطة (غير قابلة للتفاعل) جزئياً بوجود القصدير، هذا الأخير يزال بالتغطية بمحلول من السرعات (مثل كلوريد الأمونيوم الثنائي) الذي يزيل القصدير ويعطي التأثير الكامل للبالاديوم.

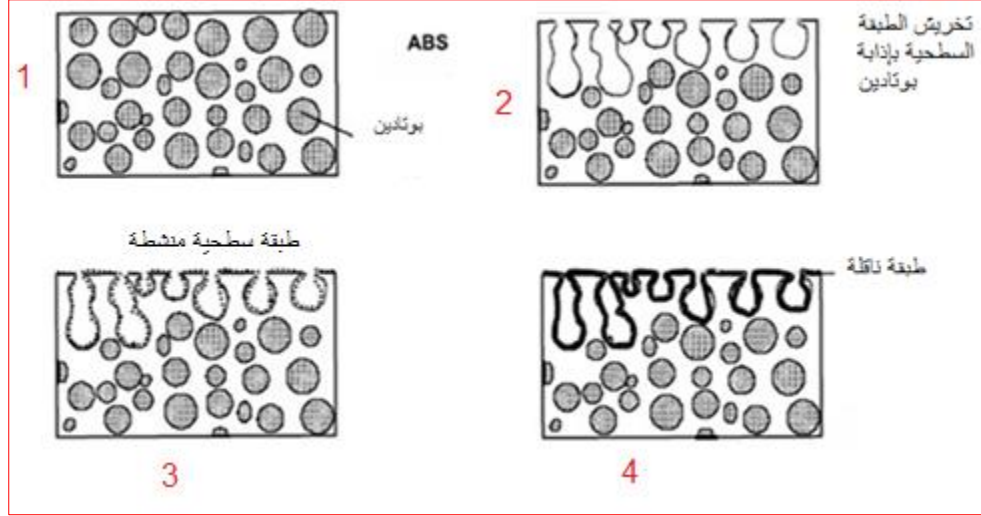
هذه العملية تتطور (تنمو) على مراحل وهكذا فإن جزيئات صغيرة من البالاديوم تترسب بانتظام جيد مما يؤدي إلى تحسين الالتصاق بين الطبقة المعدنية والأرضية.

اتجهت جهود التطوير نحو الحصول على تنشيط أفضل للمواد البلاستيكية غير الـ ABS حيث يوجد صعوبة حقيقية في معالجة بعض أنواعها بشكل مرضٍ، في هذه الحالات يستخدم التسطيح الأيوني (surfactants ionic) لترطيب السطوح وجعلها قابلة لإنتاج الطاقة الكهربائية وهذا يزيد تأثير التنشيط بشكل ملحوظ.

بعد التنشيط، يمكن وضع فلم معدني أولي ناقل للتيار الكهربائي، المعادن الناتجة عن أملاحها بالإرجاع الكيميائي وذلك عند الضغط النظامي ودرجة حرارة معتدلة. عملياً تستخدم ثلاثة معادن بشكل أساسي وهي النحاس والنيكل والفضة.

يستخدم معدن الفضة ولكن مع صعوبات في المعالجة وكلفة أكثر بالمقارنة مع باقي المعادن، لذلك فإن تطبيقاته في الوقت الراهن محدودة.

الشكل الآتي يوضح المراحل الأساسية لعملية الترسيب الكيميائي:



الشكل (4-4): مراحل عملية التلبيس الكيميائي لمادة ABS [28]

تحتوي محاليل معالجة النحاس على أملاح النحاس بالإضافة إلى عنصر إرجاع مثل الفورم الدهيد. تحتوي المحاليل الصناعية أيضاً على عنصر مثبت مثل (mercaptobenzothiazole) لمنع التمزق في المناطق غير المنشطة في القطعة المعالجة، ومسرعات مثل (Ethylenediamine-tetra-) (acetic acid) التي تزيد من معدل ترسيب المعدن.

وفي هذه المحاليل يجب تحقيق توازن بين التثبيت من جهة والترسيب السريع من جهة أخرى. محاليل النحاس تعطي معدلات مقبولة من الترسيب عند درجات حرارة أعلى قليلاً من درجة حرارة الغرفة. يستخدم هيدروفسفات الصوديوم بشكل شائع كعامل إرجاع لدى معالجة النيكل، الذي يتيح ترسيباً يشتمل على خليطة من النيكل والفوسفور أكثر من النيكل النقي وتكون المسرعات عموماً عبارة عن الفلوريدات. يمكن أن تصنف محاليل معالجة النيكل إلى مجموعتين: الأولى محاليل تعمل في شروط حمضية (ظروف حمضية) والثانية في بيئة قلوية معتدلة ($pH = 9$). عندما تستخدم المحاليل الحمضية عند درجة حرارة قريبة من ($90^{\circ}C$) فإنها غير مناسبة للمواد البلاستيكية، المحاليل القلوية يمكن أن تعد لدرجات حرارة أخفض من ($25^{\circ}C$) ولذلك فهي مفضلة. يكون معدل الترسيب في هذه المحاليل أقل منه في سابقتها ولكن لأن هذه المرحلة تتطلب تشكيل طبقة رقيقة من النيكل فقط، لذلك فإن الحاجة إلى سرعة ترسيب أعلى (سرعة ترسيب) لا تكون ملحة.

لبضع سنوات كان هناك نقاش حول حسنات وسيئات الترسيب الكيميائي للنحاس والنيكل على البلاستيك في التطبيقات التزينية، حيث قيل بما أن النحاس أكثر مرونة فسوف يكون لاصقاً أفضل ولكن البراهين الحديثة في التخریش والتشيط أدت إلى إلغاء هذه الأفكار.

يعطي النيكل وثوقية أعلى وأفضلية أكثر من حيث التكلفة وحالياً يعد هو الخيار الأفضل في عدة أغراض. بينما يعطي التلبس بالنحاس أداءً أفضل من النواحي الكهربائية ولكن على الأغلب (لحماية النحاس ضد التآكل والاهتراء) من الضروري استخدام طبقة علوية من النيكل.

4-6-5- التلبس الكيميائي للنحاس على البلاستيك: [28]

يتم الترسيب الكيميائي على البلاستيك بواسطة محاليل كيميائية تحتوي على شوارد أملاح منحلة وباستخدام مرجعات مناسبة، ويمكن استخدام المحلول الآتي:

الجزء الأول: - 34 gr/l ملح روشيل (طرطرات الصوديوم والبوتاسيوم).

- 10 gr/l هيدروكسيد الصوديوم.

- 2 gr/l سلفات النحاس.

- 6 gr/l كربونات الصوديوم.

الجزء الثاني: - 50 ml/l فورم الدهيد.

يستخدم في المحلول السابق سلفات النحاس أو نترات النحاس كمصدر لمعدن النحاس ويضاف ماءات الصوديوم لتعمل على وقاية المحلول. أما الفورم الدهيد فيعمل كمرجع، يمكن استخدام أملاح عضوية معقدة كعوامل إضافة مثل طرطرات الصوديوم والبوتاسيوم، كما يمكن إضافة مواد مضادة للتسمم الوسيطى وعوامل مرطبة.

إن محتوى المحلول من معدن النحاس يتراوح بين (1.5 – 6 gr/l) ويكفي غرام واحد من النحاس لتغطية (30 – 50 dm²) من سطح البلاستيك، وهذه الطبقة تكفي لتكون أساساً للترسيب الكهربائي اللاحق.

يجب ضبط كميات المواد المثبتة ومواد الترطيب لأنها يمكن أن تعيق الترسيب، يرسب المحلول السابق طبقة من النحاس سماكتها (0.025 – 0.25 µm).

- محلول آخر لترسيب النحاس بسماكة أكبر من 25 µm:

الجزء الأول: - 170 gr/l ملح روшил.

- 50 gr/l هيدروكسيد الصوديوم.

- 35 gr/l سلفات النحاس.

- 30 gr/l كربونات الصوديوم.

- EDTA 20 ml/l

الجزء الثاني: - 37% وزناً فورم الدهيد.

يستخدم المحلول بنسبة خمسة حجوم من الجزء الأول مع حجم من الجزء الثاني ويؤمن هذا المزيج ترسيباً للنحاس بمعدل ($20 - 30 \mu m$) عند درجة حرارة الغرفة، يجب ترشيح المحلول بشكل مستمر للحفاظ على أطول مدة تخزينية له ولتقليل الخشونة. يقسم المحلول إلى ثلاثة أجزاء الأول يحتوي على المعدن والثاني يحتوي على المواد القلوية والثالث يحتوي على الفورم الدهيد المرجع الذي يجب أن يكون منخفضاً لأن الزيادة منه تؤدي إلى زيادة معدل الترسيب كما أن الزيادة تعمل على تفكيك محتويات الحوض.

طريقة العمل بالمحلول السابق: [28]

نتيجة للتفاعلات الحادثة ينطلق غاز الهيدروجين بعد حوالي دقيقتين من غمر البلاستيك في المحلول وفي البداية يترسب النحاس بلون أسود على سطح البلاستيك ثم يميل ليصبح أحمر مائل للسواد وذلك تبعاً لتركيب المحلول ودرجة الحرارة. تظهر بعدها طبقة النحاس الملونة بعد حوالي ($5 - 20 \text{ min}$) وانتظام لون طبقة النحاس مؤشر على انتهاء العملية، وتتراوح سماكة الطبقة من ($0.25 - 1 \mu m$) وتجري العملية بدرجة حرارة ($18-22^\circ C$). يكون الحوض من الفولاذ المبطن بالبلاستيك (PVC) الناعم أو من الستانليس ستيل ويتم تغيير محتويات الحوض كل ثلاثة أشهر كما يمكن تزويد الحرارة عن طريق سخانات كهربائية معزولة بالبورسلان أما عملية تنظيف الحوض فتجري مرة في السنة بالماء والفرشاة وباستخدام حمض النتريك لإزالة الملوثات من جدار الحوض ثم يغسل بالماء ويعادل بمحلول قلوي تركيزه 5 % ويغسل مرة ثانية بالماء.

تتم المحافظة على المحلول بضبط إضافة المرجع حيث 4 gr من المرجع ترسب 1 gr من النحاس، والمحافظة على درجة pH ثابتة بإضافة محلول هيدروكسيد الصوديوم تركيزه (10 %) وزناً، وتجنب ارتفاع درجة الحرارة الذي قد يؤدي إلى إرجاع عضوي للنحاس.

4-6-6-حسنت ومساوي التلبس الكيمائي: [28]

مما لا شك فيه أن استخدام المحاليل الكيميائية في عمليات التلبس يعد طريقة مهمة للحصول على طبقة معدنية متجانسة فوق الأرضية المطلوبة وهي، كأى طريقة، لها مزايا مهمة ولكن بالمقابل يحد من استخدامها بعض الاعتبارات ومن المزايا المهمة لهذه الطريقة:

- (1): التلبس الكيمائي يرسم المعدن على المواد غير الناقلة مثل البلاستيك وهو يستعمل بشكل خاص لتأمين طبقة معدنية أولية رقيقة لازمة لأي عملية تلبس كهربائي لاحقة.
 - (2): أحواض التلبس الكيمائي بسيطة وتعمل في مدى واسع من درجات الحرارة و التراكيز.
 - (3): التجهيزات بسيطة نسبياً بالمقارنة مع عمليات ترسيب البخار المعدني الفيزيائية والكيميائية التي تتطلب مفاعلات متطورة مزودة بجو مفرغ وملفات تحريض وأجهزة أخرى.
 - (4): التلبس الكيمائي لا يعتمد على قوانين انتشار التيار الكهربائي وبذلك يمكن الترسيب على أي شكل بما في ذلك التجويف الداخلي للأنايب البلاستيكية بينما في الطريقة الكهربائية لا يمكن الترسيب إلا على السطح الخارجي فقط.
 - (5): التلبس الكيمائي يرسم طبقة رقيقة متماثلة الخواص من الفضة والبلاتين بنسبة نقاوة تصل إلى 99.9%
 - (6): في التلبس الكيمائي يمكن ترسيب طبقات متتالية حيث إن التفاعل لا يتوقف بترسيب طبقة واحدة بل يمكن تعزيز هذه الطبقة بطبقات أخرى.
- أما مساوي عملية الترسيب الكيمائي:

(1) : إن معدل سرعة العملية تابع لتراكيز العنصر المختزل على سطح الأرضية البلاستيكية، عندما يكون العنصر المختزل غير كافٍ يسبب ذلك بطئ الترسيب وبالمقابل زيادته تؤثر على الاستقرار الكيمائي للحوض.

(2) : المحلول يكون معقد التركيب لذلك يجب فرض رقابة كيميائية صارمة على العملية.

(3): إذا كانت المثبتات الكيميائية (chemical stabilizers) ناقصة فإن الحمام الكيميائي يمكن أن يشكل جزيئات معدنية حرة تغطي القطعة المعالجة فتسبب خشونة السطح، هذه الجزيئات المعدنية الحرة يمكن أن تتجمع على جدران حوض التغطيس أيضاً.

(4) : المواد الكيميائية المستخدمة في هذه الطريقة أعلى من المواد المستخدمة في طريقة التلبس الكهربائي، وفترة حياة الحوض تكون أقصر حيث إن النواتج الثانوية تتجمع وتؤثر على استقرار الحمام.

(5) : في هذه الطريقة من المحتمل أن يحصل ترسيب مشترك (ثنائي) co-deposition للشوائب مع المعدن.

7-4- تصور لآليات التصاق المعدن بالبوليمير: [29]

يطرح غالباً سؤال مركزي في موضوع تلبس البلاستيك بالمعادن وهو: هل يمكن أن نفترض أن التصاق المعادن بالبوليميرات ينتج فقط عن طاقة الروابط الكيميائية التي تؤدي إلى قوى التماسك العالية؟ الجواب سيكون طبعاً " لا ".

تجري محاولات عديدة لجعل قوى الالتصاق والتماسك هذه تحصل بنتيجة طاقة الروابط الكيميائية التي يمكن أن يحصل المرء بنتيجتها على تماسك عالي بين البوليمير والمعدن.

من هنا كيف يمكن للمرء تفسير عملية التصاق البوليميرات بالمعادن عملياً؟

للإجابة على هذا السؤال هناك عدة نظريات وهي:

7-4-1 الغرس الميكانيكي:

ويتم بجعل السطوح خشنة، تكبير الطبقة السطحية، تشكيل الجيوب.

7-4-2 نظرية ترموديناميك الطبقة السطحية:

تملك الذرات السطحية لجسم صلب ما، طاقة أعلى مما هي عليه الذرات الموجودة في داخل هذا الجسم. لهذا يعتقد بأن هذه الذرات هي ذرات غير مشبعة بالروابط، وعند اقتراب مادتين من بعضهما البعض حتى الوصول لدرجة التلاصق فعندها ستخفّض طاقة الذرات الموجودة على الطبقة السطحية الذي سيتم من خلال ذلك اشباع تكافؤ الذرات السطحية الحرة. بسبب النشاط التفاعلي العالي لذرات الطبقة السطحية فإنه لا يوجد طبقات سطحية ملاصقة للهواء نظيفة وبشكل كامل.

تدعو هذه النظرية إلى تفسير التبادل المشترك بين طورين مختلفين استناداً إلى مبادئ ومعطيات الترموديناميك للطبقات السطحية (مثل الطاقة السطحية النوعية).

اعتمدت النظريات الآتية على هذا التفسير: Wu، Good، Fowkes، Zesman، Dupré

4-7-3 نظرية الجزيئات الفيزيائية:

إن نظرية الاستقطاب (de Bruyne) تعتمد على نماذج الكهرباء الساكنة وتأثيرات قوى فاندرفالز على الطبقة الفاصلة بين الأطوار (Lifschitz). بالإضافة إلى ذلك هناك نظرية (Derjagins) التي تهتم بشكل رئيسي بانزياح الشحنة في الطبقة الكهربائية الثنائية.

4-7-4 التأثيرات الكيميائية المتبادلة:

يعد الامتزاز الكيميائي هو أساس مجال أبحاث استخدام الوسائط المحفزة وهو مجال كبير جداً ونتائج مضمونة. إن ما يجعل هذه النظرية محدودة هو أن الجزيئات البوليميرية الصغيرة والمتوسطة هي التي تكون فعالة فقط.

الالتصاق السيء بين الطبقة السطحية للبوليمير والمعدن لا تكون غالباً بسبب الفعالية المنخفضة للمعادن أو البوليمير ولكن تظهر الطبقة السطحية والنظيفة للمعادن فعالية جيدة بحيث إنه يتم تشكيل طبقة رقيقة جداً التي تلعب دور طبقة متوسطة تمنع التبادل المشترك بين المعدن والبوليمير. يتم دوماً دراسة وتقدير التبادل المشترك الذي يحصل بين المعدن والجزيئات البوليميرية.

4-8-تلبيس المعادن بتخلية الهواء أو الترسيب المعدني بالتخلخل (vacuum metallizing):

التلبيس بتخلية الهواء ويسمى أحياناً ترسيب البخار الطبيعي (Physical Vapor Deposition) (PVD) هو طريقة جديدة يمكن من خلالها توضع طبقة معدنية رقيقة على سلع لغايات ترزينة أو لاستعمالات عملية أخرى. يمكن بهذه الطريقة طلاء أنواع متعددة من السلع التي يمكن أن نذكر منها: مختلف أنواع اللدائن أو المعادن أو الزجاج أو الورق أو النسيج أو القطع المسكوبة من خلائط التوتياء. تعد هذه الطريقة رخيصة التكاليف ويمكن استخدامها لتلبيس بعض القطع اللازمة للمركبات والطائرات والألعاب وعلب أدوات التجميل وهدايا الأعراس والمرايا والحاجات الشخصية إلخ. [30]

طريقة العمل والتطبيقات:

يستعمل عادة معدن الألمنيوم لعمليات التلبيس المعدني لرخص ثمنه ولتشكيله لسطوح لامعة على لدائن مختلفة مثل الأكرليك والبولي ستيرين والبولي أميد/6 والمركبات الفينولية واسيتات السيلولوز وبوتيرات السيلولوز وكذلك على مختلف السلع المعدنية الأخرى، كما يمكن استخدام الذهب أو النيكل أو القصدير أو الكروم بالإضافة للألمنيوم. بشكل عام تكون اغلب الأجهزة المستعملة في هذه الطريقة ذات قياس واسع يسمح بإدخال القطع الكبيرة لإكمال تزيينها بالتلبيس المعدني كما أنها تتسع لعدد كبير من القطع الصغيرة مما يجعلها لذا طريقة زهيدة التكاليف. وقد تطلّى الطبقة الخلفية لبعض القطع المصنوعة من لدائن شفافة حيث تظهر طبقة المعدن عبرها، وهذه الطريقة تدعى التلبيس المعدني للسطح الثاني. أما حين تلبس الطبقة الأمامية، أي السطح الظاهر فتدعى هذه الحالة التلبيس المعدني للسطح الأول. تستعمل هاتان الطريقتان لتلبس السطوح لبعض الأدوات الشخصية وفي صناعة المركبات منذ سنين عديدة، وأهمية هذه الطريقة تتجلى بالمحافظة على سطح السلع بوقايتها بهذا التلبس المعدني من مختلف عوامل الاحتكاك أو العوامل الجوية، أما بالنسبة للقطع المقولبة أو المحفورة الشفافة وبعض قطع التزيين المماثلة في السيارات والأضواء فإن معالجتها تجري بطريقة طلي الطبقة الخلفية. يمكن أن يكون التلبس كاملاً، أو جزئياً باستعمال قناع للقطع المطلية يحجب الأجزاء غير المرغوب طلاؤها، وأغلب عمليات التلبس الجزئي تستعمل طلاء السطح الثاني، واستعمال هذه الطريقة بالنسبة للقطع الشفافة تعطي أحياناً منظراً ثلاثي الأبعاد لهذه السلع، وبصورة عامة فإن التلبس المعدني بتخلية الهواء يعطي سطحاً لامعاً أكثر من التلبس المعدني العادي الذي يتم الحصول عليه بالطرائق الأخرى.

يشمل استعمال التلبس المعدني على اللدائن بنوعيتها المدنة والمقساة سواء ما يصنع منها للاستعمال في السيارات أو غيرها، كما تطبق هذه التقنية في التلبس على القوارير وعلى سدادات القوارير وخاصة ما يستعمل منها للعطور أو لقوارير الشراب التزيينية وكذلك لبعض الأدوات للاستعمال الشخصي وبعض لوحات ألعاب الأطفال كالمسدسات من اللدائن وكذلك العاكسات الضوئية وغير ذلك.

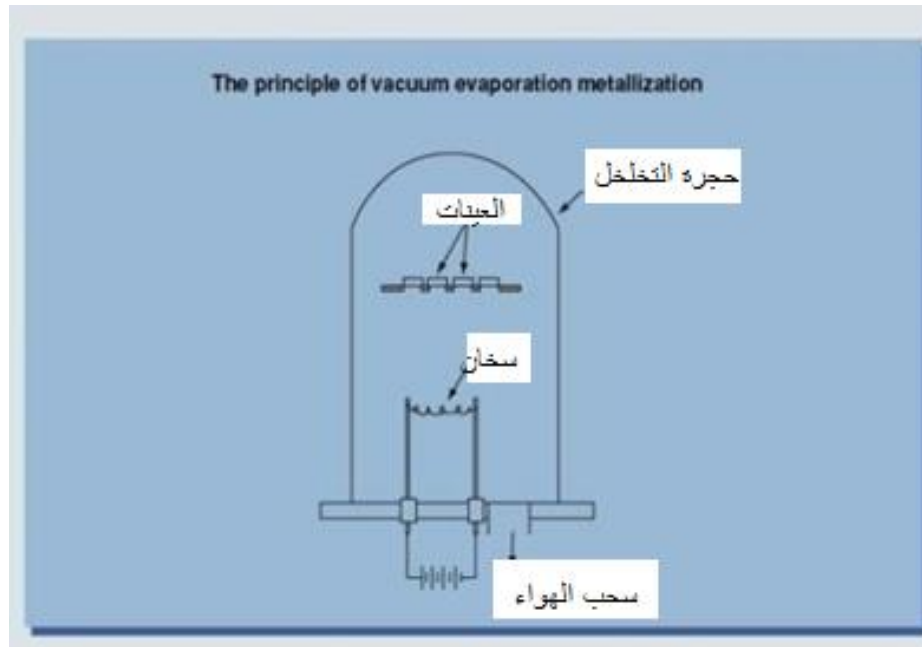
هناك حالتين خاصتين للترسيب المعدني في جو مفرغ هما التبخير في جو مفرغ (Vacuum evaporation) والتثقيب أو الرش المهبطي (Sputtering). الشكل (4-5) يوضح بعض الأمثلة على تطبيقات الترسيب المعدني بالتخلخل.



الشكل (4-5) بعض الأمثلة على تطبيقات الترسيب المعدني بالتخلخل [30]

ملاحظة:

أثناء تصميم المنتجات البلاستيكية التي ستطلى بطريقة الترسيب المعدني بالتخلخل، يجب تجنب السطوح ذات المساحات والحروف والزوايا الحادة، أو تكون بأنصاف أقطار، وسطوح دائرية. على أن نأخذ بعين الاعتبار أنه لا تنجح عملية الترسيب للسطوح المعقدة. الشكل الآتي يوضح رسماً تخطيطياً لآلية التبخير في جو مفرغ:



الشكل (4-6) يوضح رسم تخطيطي لآلية التبخير في جو مفرغ [30]

الفصل الخامس

الدراسات المرجعية المتعلقة بموضوع البحث

5-1-الدراسات المرجعية المتعلقة بموضوع البحث:

سنقوم بعرض موجز لأهم الدراسات المرجعية التي تناولت موضوع استخدام طريقة النمذجة السريعة في صناعة قوالب حقن ونفخ المواد البلاستيكية، حيث درس بعضها إمكانية استخدام قالب الحقن المصنوع من اللدائن ومدى قدرته على المنافسة والاستخدام، والبحث في عمر قالب النفخ وبعض الدراسات تناولت تلبيس المواد البلاستيكية بشكل عام بطبقة من المعدن وتضمّنت هذه الدراسات:

- أبحاث درست إمكانية استخدام قوالب مصنوعة بطريقة النمذجة السريعة.
- أبحاث درست موضوع تحضير سطح البلاستيك قبل التلبيس بالمعدن.
- أبحاث درست آلية تلبيس البلاستيك بالمعدن.
- أبحاث درست تأثير متغيرات الترسيب في معدل الترسيب.

5-1-1- مجموعة الدراسات التي بحثت في استخدام القوالب المصنعة بالنمذجة:

1- قام الباحث (Sean Derrick) عام 2013 من جامعة Western Michigan University

بدراسة إمكانية استخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد (SLS) في صناعة القوالب، وقام بصناعة قالب وإجراء مقارنة بين القالب المصنوع بالنمذجة من "ABS-Like" وبين قالب آخر مصنوع من الألمنيوم 6061-T6 من حيث عدد القطع المقبولة من حيث الأبعاد فكانت النتيجة: [31]

- نسبة القطع المقبولة في قالب الألمنيوم هي 99.8 %
- نسبة القطع المقبولة في قالب المصنوع بالنمذجة 83.5 %

حيث كان عدد القطع المنتجة بقالب الحقن 894 قطعة، وتوصل الباحث إلى أنه في حال كان المطلوب إنتاجه عدداً محدوداً من المنتجات يمكن استخدام طريقة النمذجة السريعة، أما في حال الإنتاج الكمي فيفضل استخدام قالب الألمنيوم التقليدي. [31]

ومن توصيات الباحث:

- ✓ دراسة تأثير درجة الحرارة على تشوه القطع
- ✓ دراسة تأثير عمليات التبريد.
- ✓ دراسة سماكة جدران القالب ودورها على عمر القالب.

2- قام الباحث (V.E.Beal) عام 2004 بدراسة إمكانية استخدام قالب مُصنَّع بطريقة الطباعة ثلاثية الأبعاد (التليد بالليزر) SLS من إيبوكسي وبحث في دقة المنتجات بعد الحقن، لاحظ الباحث أنه بعد عدد من الأشواط تغيرت أبعاد المنتجات نتيجة تشوه القالب، وتعرض الباحث لبعض المشاكل مثل التصاق المنتج بالقالب ويمكن التغلب على هذه الظاهرة باستخدام لوافظ، وتحدث عن زمن التبريد وأهميته وتأثيره على انكماش المنتج، وأوصى بتجنب الضغوط المرتفعة لزيادة عمر القالب، ومعالجة سطح القالب، وسرعة الحقن يجب أن تكون مناسبة لتجفيف القالب. [1]

3- جَرَّبَ الباحث Jorge Rodriguez وآخرون عام 2014 صناعة قالب حقن عن طريق النمذجة السريعة من مادة بلاستيكية حرارية، حيث قام الباحث بحقن مادتين Nylon،PE وقارن من حيث بارامترات الحقن: ضغط الحقن، زمن الانتظار بعد الحقن، التبريد، وتمّ تصنيع قنوات تبريد. [32]

من خلال التجارب تبين أنه باستخدام قنوات التبريد تحسن عدد القطع المنتجة ولكن ليس كثيرا وذلك لأن قنوات التبريد لم تعمل بفاعلية بسبب انخفاض معامل انتقال الحرارة لمادة القالب، حيث يجب أن تكون قنوات التبريد قريبة جداً من تجويف القالب وهذا بدوره يؤثر على سلامة القالب نتيجة ضغط الحقن. وتبين أن لنوع المادة المحقونة تأثيراً على عمر القالب حيث إنّ للبولي إيثيلين لزوجة أعلى من النايلون لذلك أصبح الحقن بحاجة لضغط أعلى.

وتبين من خلال البحث أنه يمكن استخدام هذه التقنية للقطع المحدودة العدد.

4- قام الباحث (JANAK) عام 2015 من جامعة Waikato (نيوزيلندا) بصناعة قالب باستخدام طريقة النمذجة السريعة من Epoxy ثم إجراء طلاء للقالب بطبقة من النيكل والفوسفور [11]

حيث تبين للباحث ازدياد القساوة السطحية لتجفيف القالب من 9.8 HV إلى 25.8 HV بعد الطلاء، وتمّ الحصول على 620 منتج عند ضغط 100 بار وحرارة 175 درجة مئوية ولكن عند زيادة ضغط الحقن إلى 120 بار بدأت تظهر بعض الشقوق على سطح القالب، وتوصل الباحث إلى تحسن في مقاومة التآكل بعد الطلاء.

وأوصى الباحث بدراسة قوة الالتصاق بين القالب ومادة الطلاء وسبل تعزيزها، وإمكانية إجراء معالجة حرارية للقالب بعد الطلاء.

5- قام الباحث John Ryan C. Dizon، عام 2020، بدراسة إمكانية استخدام طرائق ومواد طباعة ثلاثية الأبعاد مختلفة في إنتاج قوالب البوليمر لتطبيقات القولبة بالحقن.[33]

قام الباحث بتجريب ثلاث طرائق للطباعة (SLS,polyjet,FDM) لإنتاج قالب ينتج قطعة مكعبة الشكل.

وتوصل الباحث إلى أن الطريقتين polyjet،SLS أعطتا نتائج جيدة، بينما طريقة FDM نتيجة استخدام القالب بدأ ظهور تفكك بطبقات القالب. تم التحقق من دقة الأبعاد بالنسبة للقطع المنتجة.

الجدول (5-1) يوضح اختلاف الأبعاد كنسبة مئوية بين منتج كل طريقة والقالب[33]

Summary of Accuracy Measurements using Molds 3d-printed using Stereolithography and Polyjet Technologies

| | | Thickness [mm] | Variation from mold size [%] | Width [mm] | Variation from mold size [%] | Height [mm] | Variation from mold size [%] |
|----------------------|-----------|----------------|------------------------------|------------|------------------------------|-------------|------------------------------|
| Formlabs White Resin | Average | 14.36 | -4.1389 | 15.251 | -4.3224 | 14.527 | -2.1751 |
| | Std. Dev. | 0.2384 | 1.5916 | 0.3856 | 2.4191 | 0.2248 | 1.5141 |
| Polyjet RGD515 | Average | 14.61 | -1.7127 | 14.77 | -1.7686 | 14.49 | -2.3720 |
| | Std. Dev. | 0.1682 | 1.1319 | 0.2065 | 1.3728 | 0.2015 | 1.3577 |

يوضح الجدول قيم الانحراف المعياري لكل بعد عن البعد الأساسي المصمم، لاحظ الباحث من خلال الجدول السابق أن دقة العينات المحقونة كانت جيدة وأن انحراف أبعاد المنتج عن الشكل الأساسي لم تتجاوز الـ 5%. [33]

6- قام الباحث Gilberto Carrillo، عام 2020 بدراسة إمكانية تجريب قالب نفخ من مادة ABS عن طريق الطباعة ثلاثية الأبعاد بطريقة FDM وقارن الباحث نتائج 25 عبوة من القالب المنتج وقارن أبعادها بأبعاد القالب الأساس كما موضح بالشكل (5-1).[34]

لاحظ الباحث ظهور اختلاف بسيط في الأبعاد، وأوصى الباحث بدراسة وإجراء معالجات لسطح القالب لزيادة متانة القالب ولضمان جودة العبوة أطول وقت ممكن.

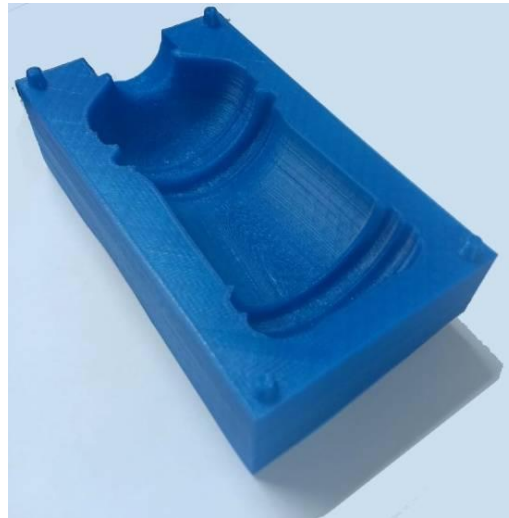


الشكل (1-5) قالب نفخ مصنع بالطباعة وبعض المنتجات [34]

7- قام الباحث Youssef R. Hassan، عام 2019 من جامعة حلوان. بصناعة قالب من PLA

بتقنية FDM.[35]

تمّت صناعة قالب نفخ لعبوة كما موضح في الشكل (2-5).



الشكل (2-5) شكل نصف قالب نفخ مطبوع [35]

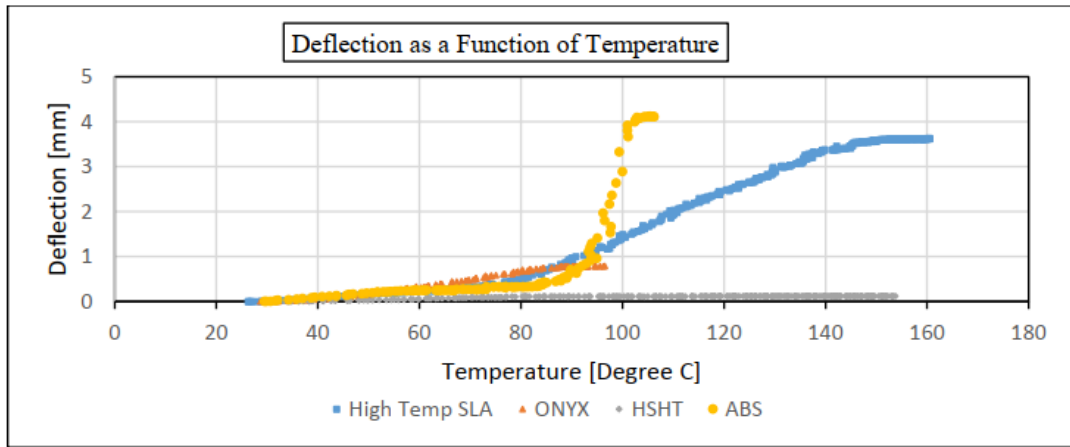
استنتج الباحث: أنَّ هذه الطريقة مجدية في عمليات الإنتاج المنخفض عندما يكون العدد المطلوب من القطع محدود.

8- قام الباحث Christopher D. Mullens, Faryar Etesami عام 2019 بمقارنة خصائص أربع مواد تستخدم في طباعة القوالب، وأجرى اختبار وقارن بين العينات من ناحية الانحراف. [36] تم استخدام عينة واحدة من كل مادة لإجراء اختبارات الانحناء والصلابة بثلاث نقاط كما موضح بالشكل (3-5).

تم اختبار العينات بتطبيق إجهاد قدره 1.82 Mpa في الألياف الخارجية وفق المواصفة ASTM-D648. تم تطبيق الحمل عند درجة حرارة الغرفة لمدة 5 دقائق لإجراء اختبار الزحف. ثم تشغيل الفرن حتى تجاوزت الانحرافات قيمة انحراف الحرارة 0.25 مم. تم وضع الفرن بحيث ترتفع درجة الحرارة حوالي 2 درجة مئوية في الدقيقة تلقائياً بما يتفق مع متطلبات الاختبار القياسي. المواد المستخدمة هي:

The materials and 3D printing processes used to create the mechanical properties curves are:

- ABS filament made with an FDM machine with solid fill pattern.
- High temperature resin from Formlabs [8] (online) made with an SLA process.
- Onyx filament from Markforged [9] (online) made on an FDM machine.
- High strength high temperature (HSHT) fiberglass-reinforced composite filament [10] (online) from Markforged made on an FDM machine



الشكل (3-5) علاقة الانحراف بدرجة الحرارة لبعض مواد [36]

نلاحظ من المنحني البياني السابق أن أقل انحراف كان للمادة المركبة المدعمة بألياف زجاجية HSHT

النتيجة: يتأثر أداء القوالب البلاستيكية المطبوعة ثلاثية الأبعاد بالخصائص الميكانيكية والحرارية لمادة القالب في درجات حرارة عالية. نظرًا لأن القوالب تفشل بعدة طرائق، فمن المهم تحديد الخصائص المسؤولة عن كل نمط من حالات الفشل. يمكن استخدام جهاز (MTD) Material Test Device الخاص لتوصيف الخصائص الميكانيكية للعينات المطبوعة ثلاثية الأبعاد بدقة وبسرعة وبتكلفة زهيدة. تظهر النتائج اختلافًا كبيرًا في كيفية استجابة هذه المواد للحمل ودرجة الحرارة والوقت. ومن الشكل السابق نرى أن أفضل مادة بين المواد الأربع هي:

High strength high temperature (HSHT) fiberglass-reinforced composite filament

9- قام الباحث ANDREI ZWETSCH عام 2007 بدراسة تأثير بعض المتغيرات على قالب حقن مصنوع من مادة Epoxy ومن هذه البارامترات: حرارة القالب، حرارة المصهور، قيمة الضغط. [37]

وتمّت دراسة معدل ملء القالب في أثناء الصب بقوالب للمنتجات الرقيقة والسميكة، بقالب مصنوع من الالايوكسي وقالب من الفولاذ.

النتائج: بالنسبة لظروف الصب وتأثيرها على الانكماش كانت النتائج متقاربة بين القالبين، ويجب الأخذ بالحسبان أثناء تصميم القالب عوامل الانكماش.

وبالنسبة للمنتجات الرقيقة والمواد ذات اللزوجة المرتفعة إنها تتطلب ضغطاً أكبر وهذا يمثل تحدي للقالب المصنوع من الالايوكسي.

بالنسبة لقوالب الحقن لم نلاحظ فرقاً بين المنتجات، إلا عند مشكلة المنتجات الرقيقة ويمكن عمل نمذجة ومحاكاة لعملية الصب للحصول على أفضل طرائق الحقن، ولدرجة حرارة المصهور دور في ملء تجويف القالب والضغط، ضمن الظروف التي يتحملها القالب. توصيات:

- 1- استخدام الحد الأدنى لضغط الحقن، بما يتناسب مع ملء القالب.
- 2- التصميم الأمثل للقالب للحصول على أقل ضغط حقن.
- 3- البحث في لزوجة المادة ودورها بملء القالب وتأثير الناقلية الحرارية للقالب عليها.

5-1-2- مجموعة الدراسات التي بحثت في عمليات تحضير وتلبيس السطح:

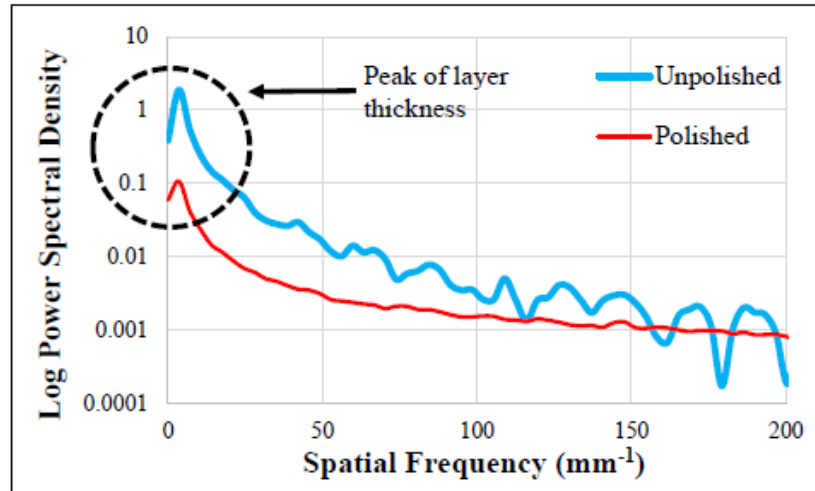
10- قام الباحث Kumar Raja، عام 2016، بمسح مرجعي لبعض الدراسات التي عملت على تحضير ومعالجة سطح العينات المصنعة من ABS بطريقة الطباعة 3d، قام الباحث بالتلبيس بالأحواض الكيميائية، واستنتج الباحث تحسناً بمقاومة التآكل لسطح العينة بعد التلبيس وتحسن بعض الخواص الميكانيكية. [38]

11- ودرس الباحث Clayton Neff، 2016، تأثير معالجة السطح بالأسيتون على الخواص الميكانيكية للعينات البلاستيكية المصنعة من ABS عن طريق الطباعة 3d، أظهرت النتائج تحسن نعومة السطح حيث انخفضت خشونة من $Ra=37.18 \mu m$ إلى $Ra=10.13 \mu m$ وإجهاد الشد الأعظمي ارتفع من 14 MPa إلى 21 MPa. [12]

كما موضح بالشكل (4-5)

Average roughness changes of post-processed specimens

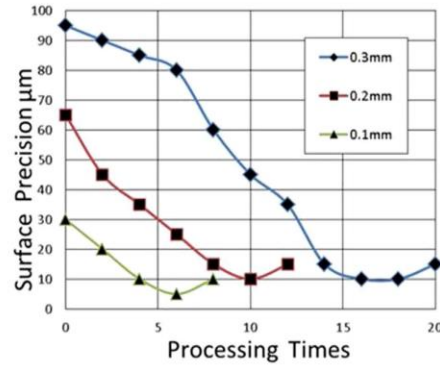
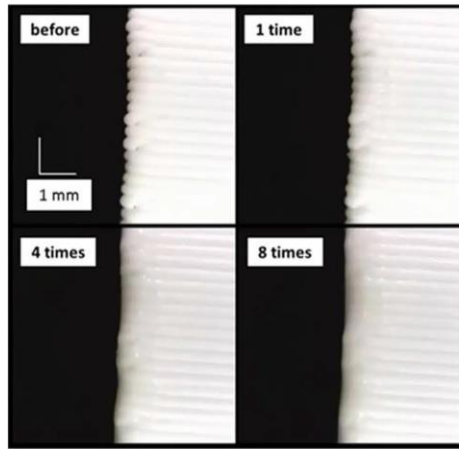
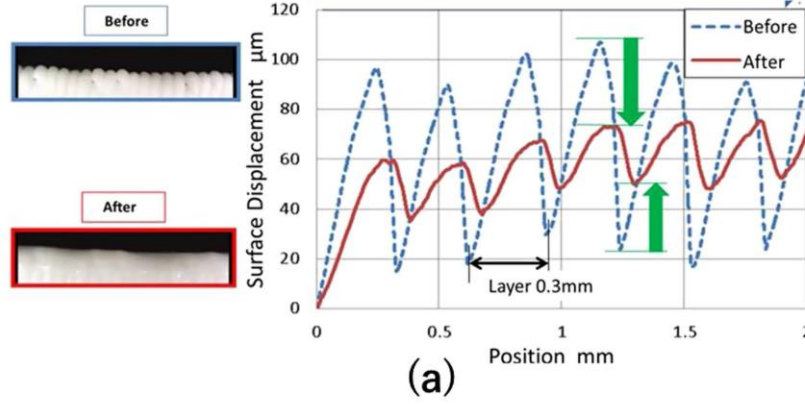
| | As-printed (μm) | Vapor polished (μm) |
|--------------------|------------------------|----------------------------|
| $R_a \pm St. Dev.$ | 37.18 ± 14.55 | 10.13 ± 8.23 |
| $R_q \pm St. Dev.$ | 44.41 ± 15.06 | 12.39 ± 8.86 |



الشكل (4-5) تأثير المعالجة على خشونة السطح [12]

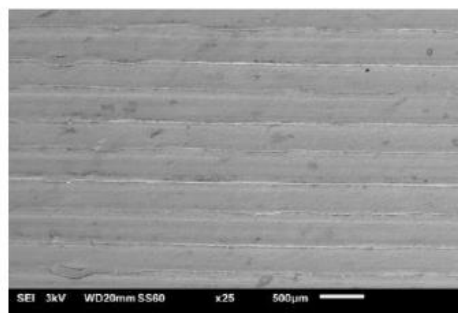
12- قام الباحث Kensuke Takagishi، عام 2016، بدراسة لتحسين خواص منتجات الطباعة ثلاثية الأبعاد، استخدم الباحث عملية الشد ثم المذيبات العضوية لتنعيم السطح بعد الطباعة،

ولاحظ الباحث تحسناً واضحاً بمتانة الكسر وصلت 200%، وتحسناً بإجهاد الشد الأعظمي من (6.89 [MPa] إلى 14.01 [MPa]). [39].
كما موضح بالشكل (5-5).

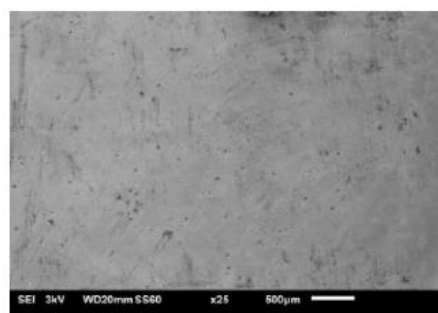


الشكل (5-5) تأثير المعالجة بالأسيتون في خشونة السطح [39]

13- درس الباحث Siti Nur Humaira Mazlan، عام 2018، أيضاً إمكانية تحسين منتجات الطباعة ثلاثية الأبعاد من خلال المعالجة بالمذيبات (methyl-ethyl-ketone)، وتوصل الباحث إلى نتائج جيدة في نعومة السطح حيث انخفضت الخشونة من 12.00μm إلى 0.5 μm. ولكن التأثير على إجهاد الشد لم يكن كبيراً. [3]
كما هو موضح بالشكل (5-6).

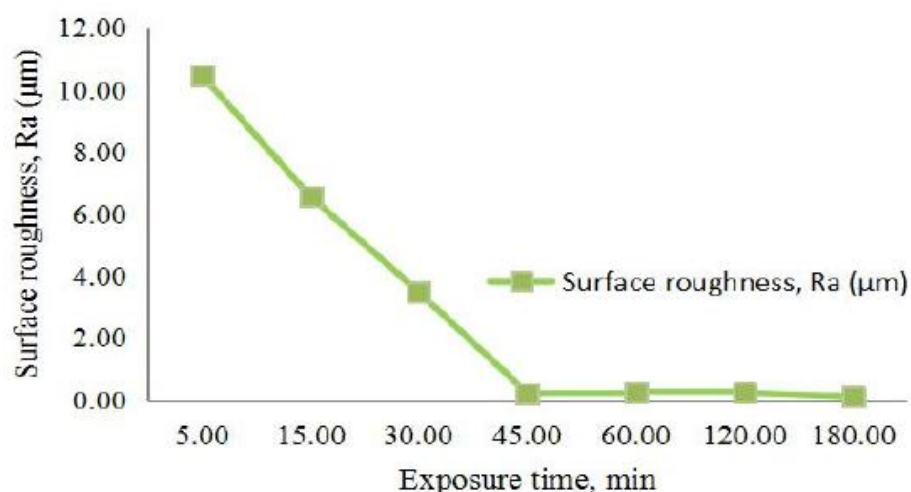


(a) Before treatment



(b) After treatment

Top surfaces of non-treated and treated sample



Effect of acetone vapor process on surface roughness

الشكل (5-6) تأثير حمام بخار الأسيتون في خشونة السطح [3]

14- قام الباحث Justin White عام (2018)، باستخدام الترسيب بالبخار الفيزيائي (PVD) في

هذا البحث بعد تحضير السطح بعدة طرائق (شذ ميكانيكي، معالجة بالأسيتون، معالجة بالبلازما)

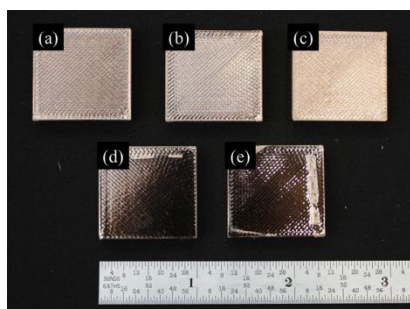
وتجريب متانة الالتصاق. [40]

أظهرت النتائج أن تحضير السطح بالمذيب ينتج عنه سطح أملس وجيد من الناحية الجمالية، لكن التصاق الفيلم المعدني ضعيف.

على العكس من ذلك، عند استخدام ورق صنفرة 2000 حبيبة رملية لتحضير الأسطح ميكانيكياً، تكون الأغشية الناتجة ضعيفة التوصيلية الكهربائية والانعكاس البصري، ولكن التصاق ممتاز.

معالجة السطح بالبلازما نتج عنه قوة التصاق فائقة وانعكاسية جيدة.

يوضح الجدول (2-5) متانة الالتصاق لكل طريقة تحضير للسطح:



Adhesion Testing Results. Average ASTM adhesion grade and standard deviation are shown for each surface treatment.

| Surface Treatment | Average Adhesion (ASTM Grade) | Standard Deviation | Percent Standard Deviation |
|--------------------|-------------------------------|--------------------|----------------------------|
| Control | 3.6 | 1.1 | 31.8 |
| Atmospheric Plasma | 5.0 | 0.0 | 0.0 |
| 2000 Grit | 5.0 | 0.0 | 0.0 |
| Acetone Vapor | 1.1 | 1.1 | 94.9 |
| Acetone Dip | 2.9 | 1.7 | 58.6 |

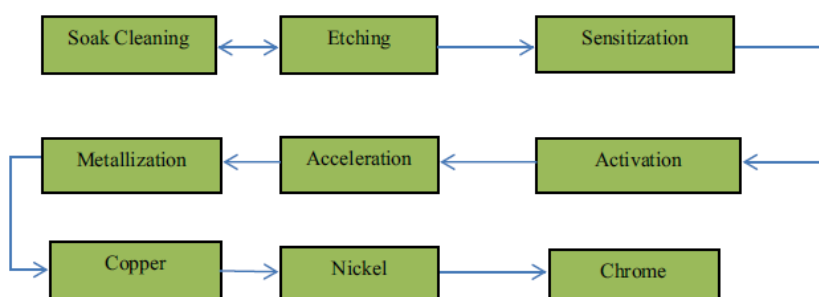
الشكل (5-7) عينات ملبسة بطريقة الترسيب بالتبخير [40]

15- قام الباحث Sharon Olivera عام 2016 بدراسة خواص ABS وإجراء عملية تلبس له

تم تجريب التلبس بالنحاس والنيكل، وتغير زمن الابقاء بأحواض التخرش، وتغير مواد التخرش

ومقارنة خواص كل نوع من التلبس بالاختبارات الميكانيكية. [41]

كما موضح بالشكل (5-8)، مراحل عملية التلبس:



الشكل (5-8) مراحل عملية التلبس [41]

كمية المواد المستخدمة في كل مرحلة:

^a Etching by $\text{CrO}_3\text{-H}_2\text{SO}_4$

^b 20 min etching by $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-MnO}_2$ with $[\text{H}_2\text{SO}_4] = 12.3 \text{ M}$

^c 40 min etching by $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-MnO}_2$ with $[\text{H}_2\text{SO}_4] = 12.3 \text{ M}$

^d 10 min etching with $\text{MnO}_2\text{-H}_3\text{PO}_4\text{-H}_2\text{SO}_4$ with $[\text{H}_2\text{SO}_4] = 10.9 \text{ M}$ and $[\text{H}_3\text{PO}_4] = 3.8 \text{ M}$, MnO_2 content = 70 g/L

^e $\text{SnCl}_2/\text{PdCl}_2$ activator is employed

^f 20 min etching by $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-MnO}_2$ with $[\text{H}_2\text{SO}_4] = 12.3 \text{ M}$, MnO_2 content = 30 g/L, dimethylamine borane acts as catalyst replacement for $\text{SnCl}_2/\text{PdCl}_2$

^g No colloid adsorption

^h Physical vapor deposition prior to plating

ⁱ 5 % PEEA

نتائج اختبار متانة الالتصاق موضحة بالجدول (5-3):

الجدول (3-5) نتائج اختبار الالتصاق [41]

| Sl no | Material composition | Type of coating | Average roughness (Ra) (nm) | Adhesion strength (peel strength) (KN/m) |
|-------|-----------------------|--------------------|-----------------------------|--|
| 1 | ABS | Electroless copper | 510 | 1.42 |
| 2 | PC/ABS | Electroless copper | - | 1.04 |
| 3 | ABS | Ni-P alloy/MWCNT | 397 | 3000 N/cm ² |
| 4 | ABS | Cu/MWCNT | - | 2800 N/cm ² |
| 5 | ABS | Electroless Nickel | - | 199 Kg/m |
| 6 | ABS/PEEA _i | Electroless Nickel | - | 9 N/cm |

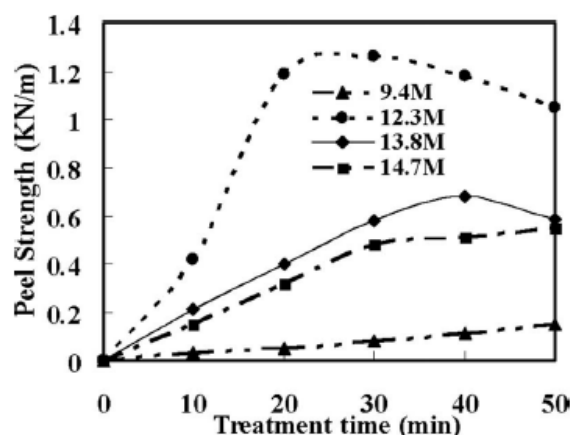
نلاحظ من الجدول أن أفضل قوة التصاق كانت (3000 N/cm²) للعينة رقم 3 حيث كان الطلاء بالنيكل والفوسفور .

16- قام الباحث Dong Ho Kang من جامعة korea،Yonsei University عام 2010 بتطوير طريقة للتخفيز صديقة البيئة بدلاً من حوض التخفيز المستخدم عادة (حمض الكروميك، حمض الكبريت) ليتم تخريش السطح من أجل تحسين عملية الطلاء، تم استخدام رغوة كيميائية (methanol and deionized water). تم الحصول على قوة التصاق جيدة بعد استخدام الطريقة الجديدة. [42]

17- استخدم الباحثون، and Zhixiang Wang، Yue He،z Zhixin Li،Zenglin Wang كلاً من حمض الكبريت وأوكسيد المغنيزيوم H₂SO₄-MnO₂ لتخريش السطح بدلاً من حمض الكروميك. [43]

تمت دراسة تأثير كل من تركيز حمض الكبريت في المحلول ودرجة الحرارة والزمن على قوة الالتصاق كما موضح بالشكل (5-9).

وصلت قوة الالتصاق بين المادة الأساس ABS والنحاس المرسب كيميائياً إلى 1.19 KN m⁻¹



الشكل (9-5) تأثير تركيز حمض الكبريت والزمن على قوة الالتصاق [43]

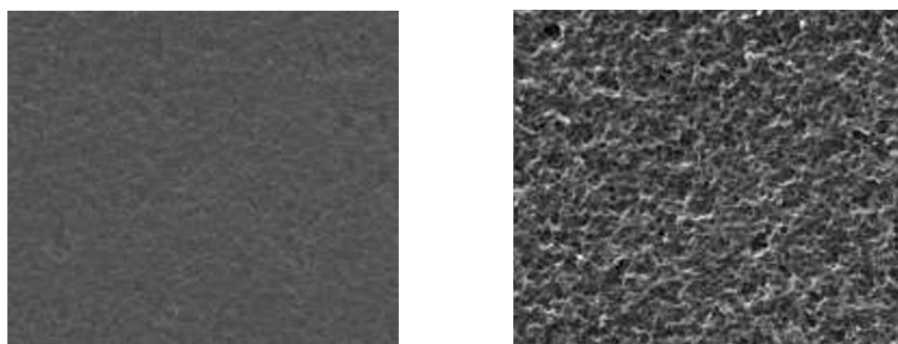
نلاحظ من المنحنيات السابقة أن أفضل قوة التصاق كانت عند تركيز حمض الكبريت 12.3M (مول).

18- قام الباحثون Zhang Cheng، Miao Zhuang، Wang Xu أيضاً بالتحفيز

بطريقة صديقة للبيئة بدون حمض الكروميك، حيث استخدم الباحثون أكسيد المنغنيز وحمض

الكبريت $H_2SO_4-MnO_2$ لتخريش السطح. [44]

وكانت نتائج التخريش جيدة كما موضح بالشكل (10-5):



الشكل (10-5) تأثير التخريش في سطح البلاستيك [44]

19- قام الباحث Azhar Equbal وآخرون عام 2014 بدراسة طلاء طبقة من النحاس

على مادة ABS مصنعة بطريقة FDM. [45]

تم استخدام ثلاث طرائق لتخريش السطح قبل الطلاء:

a. تخريش السطح باستخدام حمض الكروميك قبل الطلاء.

b. تخريش السطح باستخدام حمض الكبريتيك قبل الطلاء.

C. طلاء السطح بمعجونة المنيوم قبل الطلاء.

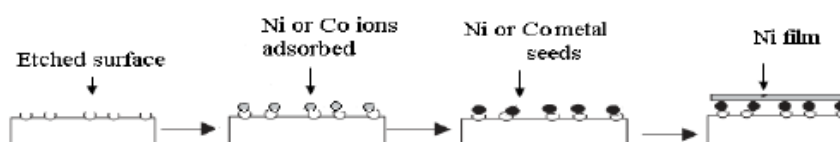
ثم استخدم بعدها أربعة أحواض لترسيب النحاس كبريتات النحاس كما يوضح المخطط:
تم إجراء عدة اختبارات لمعرفة خواص الطلاء بالنسبة لقوة الالتصاق تم استخدام الاختبار وفق المواصفة ASTM D 3359-02 (سيتم شرحها بالتفصيل في الفصل 6) ويوضح الجدول (4-5) النتائج التي تم الحصول عليها:

الجدول (4-5) نتائج اختبار الالتصاق لبعض العينات [45]

| Deposition condition | Bath | | | |
|----------------------|------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------|
| | HF | H ₂ SO ₄ | H ₃ PO ₄ | CH ₃ COOH |
| Scale | 5 | 5 | 5 | 4 |

يظهر جدول النتائج بأن قوة الالتصاق ممتازة، اما بالنسبة لأحواض التحفيز كانت طريقة طلاء المادة بمعجونة الالمنيوم أفضل الطرائق الثلاث.

20- وقام الباحث Pimpan DECHASIT باستخدام طريقة لتنشيط السطح قبل التلييس خالية من البالاديوم، حيث استخدم الباحث كلا من أسيتات النيكل $(CH_3CO_2)_2Ni$ وكلوريد الكوبالت $(CoCl_2)$. وكانت نتائج الالتصاق لطبقة النيكل المترسبة جيدة كما موضحة بالشكل (11-5). [46].



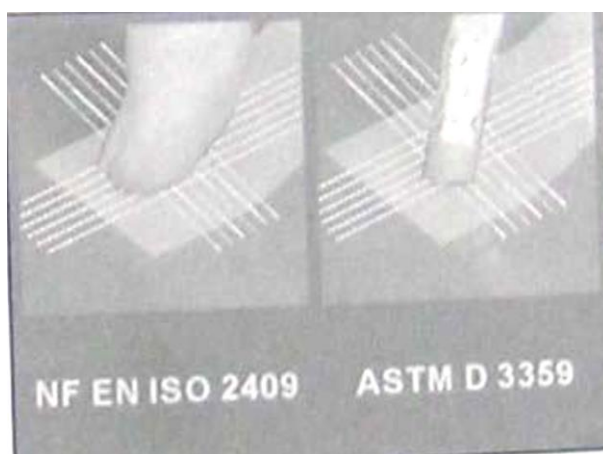
الشكل (11-5) يوضح خطوات ترسيب النيكل [46]

تم في هذه الطريقة استخدام طريقة للتحفيز بدلا من البالاديوم Pd، حيث تم استخدام $Ni(CH_3CO_2)_2$ و $CoCl_2$ ، التي تحوي على تراكيز مبينة بالجدول (5-5) وكانت النتائج جيدة من حيث الالتصاق وفق المواصفة القياسية ASTM D3359

الجدول (5-5) تراكيز العناصر المستخدمة في حوض الترسيب [46]

| Activator or catalyst | $(\text{CH}_3\text{CO}_2)_2\text{Ni}$ | | | CoCl_2 | | |
|-----------------------|---------------------------------------|-------|-------|-----------------|-------|-------|
| | 1 g/L | 3 g/L | 5 g/L | 1 g/L | 3 g/L | 5 g/L |
| Metal ions (ppm) | 1.30 | 2.50 | 3.90 | 0.55 | 1.50 | 2.40 |

ويوضح الشكل (5-12) شكل العينة بعد إجراء اختبار الالتصاق وخدشها بشكل متعامد.



الشكل (5-12) يوضح شكل العينة المختبرة لاختبار متانة الالتصاق بعد الخدش

21- قام الباحث Mohit Garg عام 2017 بإجراء عملية تلبيس بالمعدن، حيث استخدم الباحث العناصر والتراكيز الآتية حسب كل مرحلة: [47]

1- تخريش السطح:

1. CrO_3 (75 g/L) and H_2SO_4 (250 ml/L)
2. $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (90 g/L) and H_2SO_4 (600ml/L)
3. CrO_3 (50 g/L)• H_2SO_4 (100 ml/L) and HF (100ml/L)

2- تحسيس sensitizing:

1. SnCl_2 (10 g/L)
2. HCl (40 ml/L)

3- تنشيط السطح:

1. PdCl_2 (0.25 g/L)
2. HCl (2.50 ml/L)

4- التلبيس بالنحاس:

- a) $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (15 g/l)
- b) NaHCO_3 (10 g/l)
- c) $\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (30 g/l)
- d) HCHO (100 ml/l)

5- تلبس بطبقة نيكل:

- a) $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (30 g/l)
- b) Sodium citrate (100 g/L)
- c) NH_4Cl (50 g/l)
- d) $\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (10 g/l)
- e) NH_4OH (to a pH of 10.5)

لاحظ الباحث تحسناً في المظهر وبعض الخواص الميكانيكية.

22- قام الباحث Azhar Eqbal وآخرون عام 2015 بدراسة طلاء طبقة من النحاس

على مادة ABS مصنعة بطريقة FDM [48].

تم استخدام طريقتين قبل الطلاء:

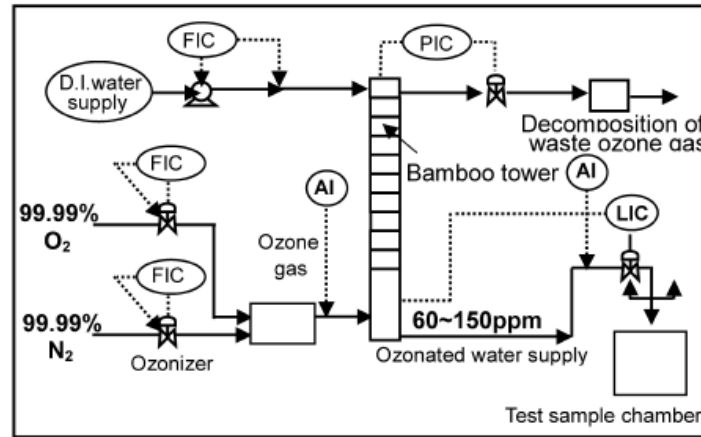
- تحفيز السطح باستخدام حمض الكروميك قبل التلبس.
- طلاء السطح بمعجونة المنيوم قبل التلبس.

الاستنتاجات المهمة المستخلصة من الدراسة هي: (1) يتم تحقيق ترسب النحاس من خلال كل من الطرائق المستخدمة؛ (2) في طريقة Al-C ، تم الحصول على المقاومة في جميع النقاط المقاسة ولكن لم يتم الحصول على قيم المقاومة في جميع النقاط المقاسة في طريقة حامض الكروميك (Eqbal et al.2014)، بعد مرحلة ترسيب للكهرباء تظهر عينات Al-C المطلوبة أفضل أداء بالمقارنة مع طريقة حامض الكروميك من حيث التوصيل الكهربائي وترسيب النحاس. والسبب في التوصيلية الأفضل في عينات Al-C هو التوزيع الموحد للألومنيوم الموجود في المعجون المطبق [48].

23- قام الباحث Takeshi Besso وآخرون 2006 بتجريب حوض من ozonated

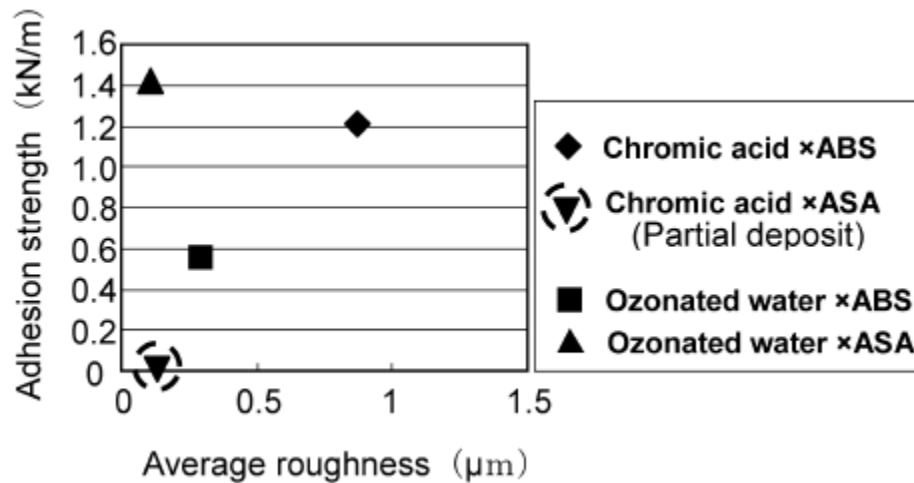
water بدلاً من حمض الكروميك المستخدم للتشيط، قبل الطلاء بالنيكل، ويتم الحصول عليه

بالطريقة الموضحة بالشكل (5-13): [49]



الشكل (5-13) تحضير الماء الأوزوني [49]

وبعد التنشيط والطلاء بالنيكل تمت دراسة قوة الالتصاق فكانت النتائج:



الشكل (5-14) تأثير طريقة تخريش السطح بقوة الالتصاق [49]

نلاحظ من الشكل السابق أن استخدام ozonated water قبل الطلاء أعطى نتائج أفضل بالنسبة لقوة الالتصاق بين المادة الاساس ASA وطبقة النيكل.

24- قام الباحث O.O. Ajibola عام 2016 باختبار طلاء PP بطبقة من النيكل وإجراء اختبارات

حرارية وميكانيكية. [50]

في الحالة الأولى قام الباحث بطلاء PP بطبقة من النيكل Electroless-nickel استخدم حوض هيبوفوسفيت الصوديوم، تم إخضاع العينات المغطاة بالنيكل لاختبار التآكل بالجلخ من 1750، 3500، 7000 و 14000 دورة؛ واختبارات التصاق الدورة الحرارية، وقوة الشد واختبارات الزحف.

تم وضع العينات بنوعين مختلفين من أحواض الترسيب كما هو موضح بالجدول (5-8):

الجدول (5-6) نوعين مختلفين من أحواض الترسيب

| Baths | pH | Temp (°C) | Time (min) | Film Wt (gmm ⁻²) | Ave. thick. (mm) |
|----------|------|-----------|------------|------------------------------|------------------|
| Acid | 5.0 | 80 | 5 | 0.000327 | 0.012 |
| Alkaline | 11.5 | 80 | 5 | 0.000345 | 0.013 |

ويوضح الجدول (5-9) تراكيز العناصر المستخدمة في حوض الترسيب:

الجدول (5-7) تراكيز العناصر في حوض الترسيب

| Bath | Media | Conc (g/l) | Temp (°C) | Time (min) |
|---------------|----------------------------|--------------|-----------|------------|
| EN Plating | Nickel Chloride | 30 | 80 | 5 |
| | Sodium Hypophosphite | 40 | | |
| | Sodium citrate | 25 | | |
| | Ammonium chloride | 50 | | |
| | PdCl ₂ | 0.02 | | |
| pH regulators | NaOH or NH ₄ OH | Add to level | | |

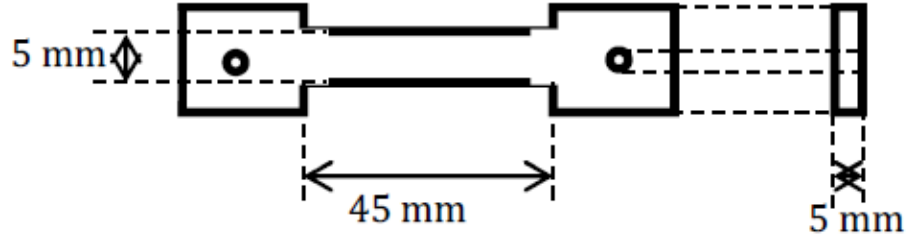
تم إجراء الاختبارات وفق المواصفات، ASTM D4541 / D7234 ISO 4624 ومن الاختبارات: اختبار الدورة الحرارية: يتم وضع العينات بالفرن عند 80 درجة، لمدة 60 دقيقة ثم توضع في درجة حرارة الغرفة لمدة 15 دقيقة، ثم توضع في جو بارد (-10، -125)، لمدة 60 دقيقة ثم إلى درجة حرارة الغرفة لمدة 15 دقيقة، ثم تكرر العملية 9، 12، 15، 18 مرة وتعرض العينة لجلخ ناعم ويتم قياس الوزن قبل الجلخ وبعده.

اختبار التآكل: تُعرض العينة لعدد متغير من دورات الجلخ ويحسب الفقد بالوزن.

اختبار الشد: تُعرض العينة المختبرة لقوة شد 5 كغ وحساب الاستطالة وفق المواصفة

D785، D638، ASTM E-873 موضحة بالشكل (15-5).

اختبار القشر B535 لطبقة الطلاء، D451

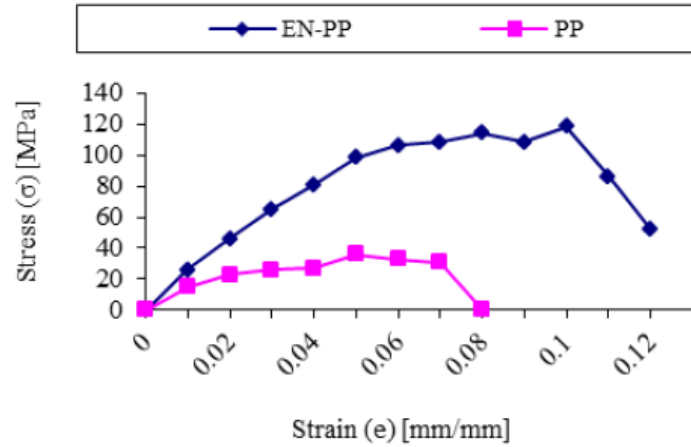


الشكل (15-5) عينة شد قياسية [50]

اختبار الزحف: يتم قطع عينات بأبعاد طول 45 مم وسماكة 3 مم وتعرض العينات لقوة سحب ودرجات حرارة متغيرة وحساب الفرق في الاستطالة

$$\varepsilon = \frac{(L_f - L_i)}{L_i}$$

أظهرت النتائج تحسناً في متانة الشد من 36 (MPa) إلى 118 (MPa) بعد الطلاء كما موضح بالشكل (16-5).



الشكل (16-5) تأثير تلبس السطح في إجهاد الشد للبولي بروبيلين [50]

ويوضح الجدول (8-5) نتائج اختبار التآكل:

الجدول (5-8) نتائج اختبار التآكل [35]

| Time (sec) | Wear (cycle) | Wear loss (g) | Thickness loss (mm) | Wear rate (g/sec) | Observation & Remark |
|------------|--------------|---------------|---------------------|-------------------|----------------------------------|
| 7.5 | 1750 | 0.0014 | 0.001 | 1.9E-4 | Tenacious film, Good adhesion |
| 15.0 | 3500 | 0.0017 | 0.001 | 1.1E-4 | |
| 30.0 | 7000 | 0.0021 | 0.004 | 7.0E-5 | |
| 60.0 | 14000 | 0.0032 | 0.009 | 5.3E-5 | |

5-1-3- مجموعة الدراسات التي بحثت في معدل الترسيب وسماكة الطبقة المترسبة:

25- قام الباحث S. AHMAD AND A. KHAN, INAM UL-HAQUE جامعة

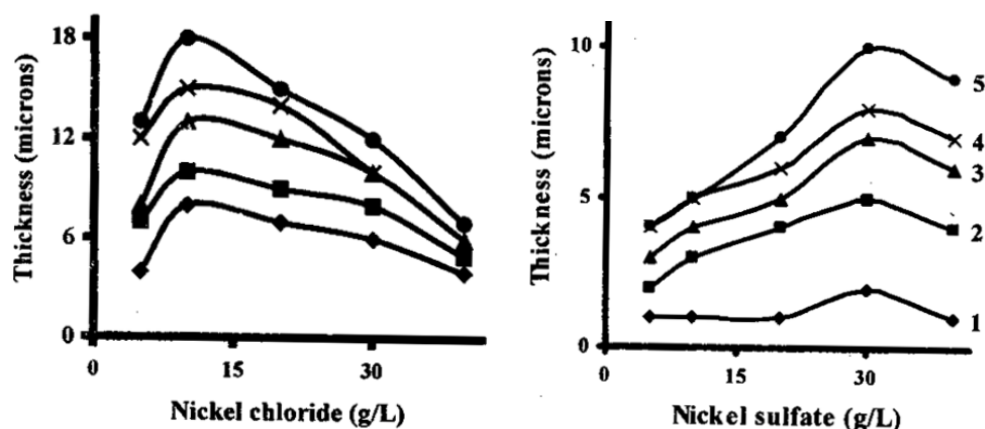
لاهور - باكستان - عام 2005

بطلاء ABS بطبقة من النيكل بحوضين مختلفين: [51]

26- كبريتات النيكل $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, INCO,

27- كلوريد النيكل $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, INCO,

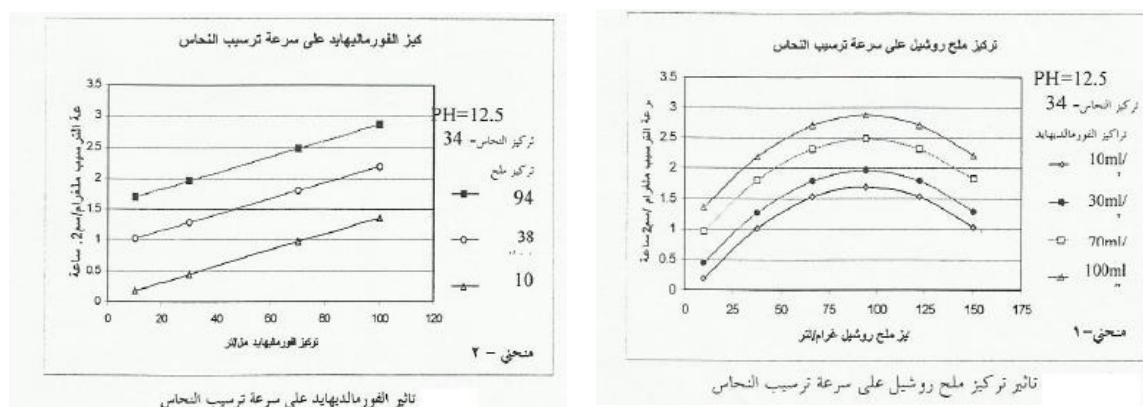
من خلال الدراسة تبين أن استخدام حوض كلوريد النيكل أفضل من كبريتات النيكل من ناحية سماكة الطبقة المترسبة، كما يوضح الشكل (5-17).



الشكل (5-17) تأثير مادة حوض الترسيب بسماكة الطبقة [51]

أظهرت نتائج الدراسة أن استخدام كلوريد النيكل أفضل من حيث سماكة طبقة الطلاء، ومن حيث الالتصاق بين الطلاء والمادة الأساس.

- قام الباحث Dt.T.A.Al-saffar عام 2006، بدراسة تأثير ملح روшил (طرطرات البوتاسيوم والصوديوم) على معدل ترسيب النحاس على ABS واستخدم نترات الفضة والفورمالين للتنشيط [52] وتوصل الباحث للنتائج الموضحة بالشكل (5-18):

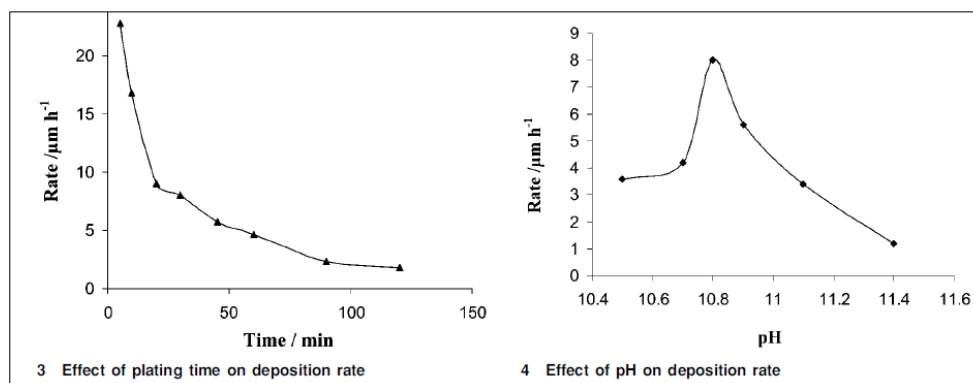


الشكل (5-18) تأثير كلا من ملح روшил والفورمالديهايد في سرعة الترسيب [52]

نلاحظ من المخططات أن أفضل نتيجة لمعدل الترسيب هي استخدام ملح روшил بمعدل 90 غ/لتر والفورمالين 70 مل/لتر.

- قام الباحث M. Selvam، عام 2010، بدراسة ترسيب الفضة على بلاستيك ABS، تمّ استخدام الأمونيا ونترات الفضة لتنشيط السطح، وتمّ استخدام كلوريد الكوبالت في حوض الترسيب. [53]

درس الباحث تأثير حموضة الحوض وزمن الترسيب ودرجة الحرارة في معدّل الترسيب الموضح بالشكل (5-19):



الشكل (5-19) تأثير حموضة الحوض وزمن الترسيب على معدل الترسيب [53]

• قام الباحث M. Bazzaoui عام (2013). [54]

بتعدين (ABS) باستخدام طلاء مباشر جديد، العملية تتكون من معالجة سابقة بواسطة بولي بيرول (PPy) لتحويل السطح البلاستيكي لموصل، تليها عملية طلاء النحاس الكهربائي المباشر. تم الوصول إلى ترسب PPy على عينات ABS كيميائياً في محلول البيرول وكلوريد الحديد (III) كمؤكسد. يوضح الجدول (5-9) مكونات حوض الترسيب:

الجدول (5-9) مكونات حوض الترسيب [54]

Electrolytic conditions for copper electroplating on PPy/ABS.

| | |
|---------------------------------------|-----------------------|
| CuSO ₄ . 5H ₂ O | 215 g/l |
| H ₂ SO ₄ | 60 g/l |
| CUFLEX 500 MU BASE | 1.6 ml/l |
| CUFLEX 500 brightness | 0.8 ml/l |
| Temperature of the bath | 23-26 °C |
| Anode | Copper plate |
| Cathode | PPy/ABS sample |
| Current density | 33 mA/cm ² |

حصل الباحث على سماكات مختلفة لطبقة النحاس المترسبة بتغير الزمن كما موضح بالجدول (5-10):

الجدول (5-10) يوضح سماكة طبقة النحاس المترسبة [54]

Experimental and calculated thickness of copper plating on PPy/ABS.

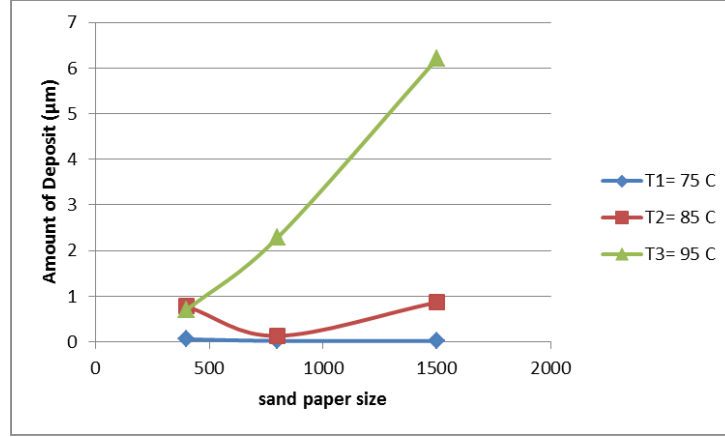
| Electrolysis time/min | Experimental $\theta/\mu\text{m}$ | Theoretical $\theta/\mu\text{m}$ |
|-----------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| 15 | 9 | 11 |
| 30 | 14 | 17 |
| 45 | 36 | 38 |

• درس الباحث Ege University، Canan Uraz، عام 2017 تأثير كل من حجم حبيبات

ورق الشد، ودرجة حرارة الحوض، والزمن في سماكة الطبقة المترسبة من النيكل: [55,56]

ويوضح الشكل (5-20) نتائج سماكة الطبقة المترسبة.

أكبر سماكة عند حرارة 95 مئوية، وورق شد 1500 وزمن 60 دقيقة.



الشكل (5-20) تأثير درجة الحرارة ودرجة ورق الشد في سماكة الطبقة المترسبة [55]

5-4- خلاصة الدراسات المرجعية:

نلاحظ من خلال الدراسات المرجعية السابقة أنّ أغلب الأبحاث تلخصت بالآتي:

- ❖ إمكانية استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد في صناعة القوالب.
- ❖ المقارنة بين كلفة القالب المصنع بطريقة النمذجة والطرائق التقليدية.
- ❖ إنّ استخدام طريقة الطباعة بتقنية الـ FDM هي حديثة في مجال صناعة القوالب (بعد عام 2019).
- ❖ أوصت الدراسات بتحسين الظروف التي يعمل بها القالب، مثل محاولة تخفيض ضغط الحقن (في حالة الحقن التي تحتاج ضغوط مرتفعة)، أو تحسين ظروف التبريد (في قوالب النفخ لا يوجد ضغط كبير مقارنة بالحقن).
- ❖ أوصت بعض الدراسات بإجراء بعض المعالجات لسطح القالب لزيادة عمره التشغيلي.
- ❖ طريقة تلبس القالب بطبقة من المعدن لم تستخدم من قبل لتحسين خواص القالب ماعدا دراسة واحدة فقط عام 2015 استخدم الباحث قالباً من ايبوكسي.

بعد التعرف على الدراسات المتعلقة بموضوع البحث تُبيّن هدف البحث:

5-6- هدف البحث:

البحث في زيادة العمر الاستثماري لقوالب النفخ البلاستيكية المصنعة من مواد لدائنية بطريقة النمذجة السريعة عن طريق معالجة السطح بعد الطباعة ثلاثية الأبعاد وترسيب طبقة من المعدن على السطح الداخلي للقالب.

وذلك من خلال:

- ✓ البحث عن أفضل الطرائق المتبعة للطباعة ثلاثية الأبعاد للحصول على أفضل خصائص ميكانيكية للقالب قبل إجراء عملية الطلاء.
- ✓ البحث عن أفضل الطرائق لمعالجة السطح كيميائياً قبل الطلاء وذلك لتعزيز الالتصاق والحصول على أعلى مقاومة لطبقة الطلاء.
- ✓ طلاء سطح القالب بطبقة من المعدن (نحاس).

5-7- منهجية البحث:

نوضح فيمايلي خطوات العمل التي سنتبعها لإجراء البحث:

- ✓ تجهيز عينات اختبارية بأبعاد (50mm*40mm*5mm) من مادة القالب (ABS) مصنوعة عن طريق الطباعة ثلاثية الأبعاد لاعتمادها عينات أثناء التجارب والاختبارات موضحة بالشكل (5-16).
- ✓ إجراء معالجات لسطح العينة قبل عملية الطلاء لتحسين عملية الطلاء (كيميائياً أو ميكانيكياً).
- ✓ إجراء عملية الطلاء بطبقة من المعدن (النحاس).
- ✓ إجراء الاختبارات المعتمدة وفق ASTM (شد، قشر، خشونة).

✓ طباعة القلب.

✓ تلبیس سطح القلب.

✓ تجريب القلب ان أمكن.

✓ مناقشة النتائج.

الفصل السادس

الدراسة العملية

يتلخص القسم العملي للبحث بمايلي:

- ✓ تأمين المواد اللازمة للبحث.
- ✓ طباعة عينات من مادة ABS على الطابعة ثلاثية الأبعاد.
- ✓ تحضير سطح العينات قبل التلبيس بالمعدن.
- ✓ تلبيس سطح العينة البلاستيكية بطبقة من المعدن.
- ✓ إجراء التجارب وفق خطة البحث.
- ✓ إجراء الاختبارات اللازمة.
- ✓ طباعة قالب النفخ بالأبعاد المطلوبة.
- ✓ تلبيس السطح الداخلي للقالب.
- ✓ تجريب القالب.

الخطوة الأولى هي تأمين المواد والأجهزة اللازمة لإجراء البحث:

- طابعة ثلاثية الأبعاد (3D printer) والمادة البلاستيكية التي ستتم منها صناعة القالب (ABS)، (متوفر في مخبر التشغيل المبرمج CNC).
- تأمين المواد اللازمة لتحضير العينة قبل التلبس (أوراق شحذ وأسيتون لمعالجة السطح قبل التلبس).
- تأمين الأجهزة والمواد الكيميائية اللازمة لعملية التلبس وهي:
 - 1- جهاز تسخين وتحريك لحوض التلبس.
 - 2- منظم كهربائي للتحكم بشدة التيار.
 - 3- جهاز قياس درجة الحموضة PH.
 - 4- ميزان الكتروني حساس.
 - 5- مواد كيميائية لازمة لعملية التلبس بالمعدن:
- بعض الأحماض (حمض الكبريت، حمض الآزوت، حمض كلور الماء، حمض الكروميك).
- كبريتات النحاس وبعض العناصر الأخرى اللازمة لعملية التلبس.
- جهاز قياس متانة الالتصاق (القشر) تمّ تصنيعه على آلة القص بالسلك بالاعتماد على المواصفة ASTM D3359.
- مقياس خشونة للسطح لفحص خشونة السطح قبل الطلاء، ومعرفة تأثيرها.
- إجراء عملية التلبس بالمعدن بالطرائق الممكنة والمقارنة بين الطرائق.
- اختبارات السطح بعد الطلاء ومعرفة مدى التصاق الطبقة المعدنية بسطح العينة البلاستيكية (جهاز لاختبار القشر، والخشونة).

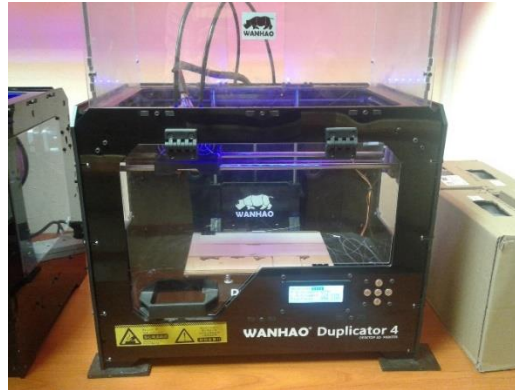
6-1- خطة البحث:

سنقوم في هذا العمل بصناعة قالب نفخ من البلاستيك ABS عن طريق الطباعة ثلاثية الأبعاد وإجراء عملية تلبيس بالمعدن للوجه الداخلي للقالب، بالبداية سوف يتم طباعة عينات تجريبية من مادة البلاستيك ABS باستخدام تقنية FDM المتوفرة في مخبر التشغيل المبرمج، ثم معالجة سطحها وترسيب طبقة من المعدن على سطحها، وسنبحث في طرائق تلبيس مختلفة منها الكيميائية والكهربائية وترسيب البخار، ونقارن بين تلك الطرائق من حيث متانة الالتصاق بين سطح القطعة وبين المادة المعدنية المترسبة (نحاس).

أولاً قبل القيام بأية عملية تلبيس هناك عمليات تحضيرية لسطح القطعة قبل عملية التلبيس مثل الشد والمعالجة بالمذيبات، والتخريش، وتنشيط السطح. كلّ هذه العمليات يجب إجراؤها بدقة قبل عملية التلبيس للحصول على تلبيس ناجح، وسيتم تحضير السطح وفقاً لدراسات مرجعية ومعايير متعارف عليها ومواصفات قياسية عالمية، في كل دراسة من الدراسات استخدم الباحثون طرائق ومواد مختلفة لعمليات تحضير السطح والتنشيط وأحواض الترسيب، وسنقوم في هذه الدراسة بالبحث عن طرائق جديدة للحصول على أفضل قوة التصاق بين سطح القطعة والطبقة المعدنية المترسبة.

6-2- تحضير العينات:

تم تجهيز العينات عن طريق الطباعة ثلاثية الأبعاد من نوع (Duplicator 4X) في مخبر التشغيل المبرمج CNC، الموضحة بالشكل (1-6).



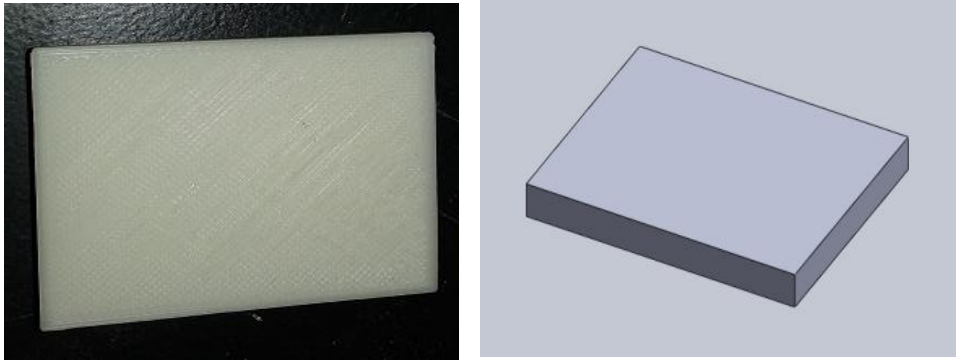
الشكل (1-6) الطباعة ثلاثية الأبعاد المستخدمة لطباعة العينات

ويوضح الجدول (1-6) خصائص آلة الطباعة المستخدمة في البحث:

الجدول (1-6) مواصفات آلة الطباعة المستخدمة في البحث

| المواد الممكن طباعتها | سمائة الطبقة المطبوعة [mm] | سرعة الطباعة الأعظمية [mm Sec] | حجم الطباعة الأعظمي [cm ³] |
|--------------------------|----------------------------------|---|--|
| ABS-PLA PETG-TPU | (0.05 – 0.25) | $v_{\max} = 120$ | $V = 15 \times 23 \times 15$ $V = 5175$ |

حيث كانت العينة على شكل متوازي مستطيلات بالأبعاد الآتية (50 mm*40 mm*5 mm) من مادة (ABS)، ويوضح الشكل (2-6) شكل العينة بعد الطباعة.



الشكل (2-6) شريحة من ABS (50mm*40mm*5mm) بعد الطباعة مباشرة

تمت عملية ضبط الطابعة بما يتناسب مع مادة الطباعة ABS حيث تعرف هذه المادة بصعوبة الطباعة مقارنة بالمواد البلاستيكية الأخرى، تم ضبط الطابعة على المتغيرات الآتية:

الجدول (2-6) متغيرات الطباعة المستخدمة في البحث

| نسبة الملء للطبقة السطحية (سمائة 1mm) | نسبة الملء للطبقات الداخلية | سمائة الطبقة | سرعة الطباعة | حرارة رأس البثق | درجة حرارة طاولة الطباعة |
|--|--------------------------------|--------------|--------------|--------------------|-----------------------------|
| 100% | 40% | 0.1 mm | 40 mm/sec | 220 °C | ABS-110 °C |

عدد الطبقات = سمائة العينة/سمائة كل طبقة = 5 mm/0.1mm = 50 طبقة

الخيوط البلاستيكية المستخدمة من مادة ABS هي بقطر 1.75mm

3-6- تحضير السطح: Surface Preparation

تعاني المنتجات المصنعة بطريقة FDM من بعض العيوب مثل خشونة السطح وضعف الترابط بين الطبقات، هذه العيوب حدّت من استخدامها في العديد من التطبيقات التي يمكن أن نستفيد منها بهذه الطريقة، إنّ مادة الأكريلونيتريل بوتادين ستايرين (ABS) المستخدمة في الطباعة FDM تعدّ صعبة الطباعة مقارنة مع مواد أخرى لدنة حرارياً مثل PLA، وينتج سطح خشن نوعاً ما وأحياناً بعض التشوه، وإذا تغلبنا على هذه العيوب يمكن أن تصبح تقنية FDM أكثر منافسة. [57]

يمكن تعريف الإنهاء السطحي على أنه عملية يتم تطبيقها على سطح مادة (معدنية، غير معدنية) من أجل إعطائها خصائص أو مظهراً لا تملكه المادة في شكلها "غير المكتمل"، قد يعني ببساطة تلميعاً لجعلها ناعمة، قد يتم طلاء السطح لتغيير مظهره وخصائصه.

اعتمدنا في هذا البحث على طريقتين لتحضير السطح الشد الميكانيكي أو المعالجة الكيميائية بمواد مذيبة.

3-6-1 طرائق تحضير السطح:

1- الطريقة الميكانيكية: Mechanical Surface Preparation

تمّ في هذه الطريقة شذ العينات بورق شذ صنفرة (grit sandpaper) كما موضح بالشكل (3-6) وتمّ استخدام ورق شذ (250-400-600-800-1000-1500-2000).



الشكل (3-6) استخدام ورق الشذ لتنعيم السطح

2- الطريقة الكيميائية: Chemical Surface Preparation

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

إنّ الأسيتون مركّب كيميائي عضوي يتبع لعائلة الكيتونات (CH_3COCH_3 , acetone)، ويعدّ أبسط ممثل لهذه العائلة، الأسيتون سائل عديم اللون قابل للاشتعال (درجة غليانه 56.53°C ويتم تسخينه للدرجة 90°C للتبخير) [40]. يذوب الأسيتون في المياه والكحول ويعدّ الأسيتون مذيباً عضوياً مهماً. تمّ استخدام أسيتون مخبري بدرجة نقاوة 99%.

تمّ تعليق العينات في بيشر (دورق) سعة 250 مل وإغلاقه من الأعلى بإحكام برقائق ألومنيوم لمنع خروج البخار بعد وضع الأسيتون بكميات محددة كما موضح بالشكل (4-6) ثم رفع درجة الحرارة للدرجة 90°C ليتم تبخير الأسيتون والإبقاء لمدة 30min، ثم تركه ليجف السطح تماماً. [58]



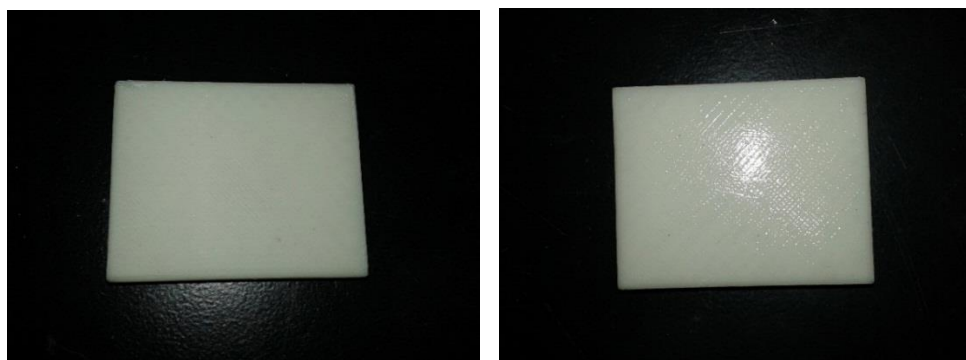
الشكل (4-6) معالجة العينات بالأسيتون

تمّ تجريب الكميات الآتية المستخدمة في الدراسات المرجعية الموضحة بالجدول (3-6):

الجدول (3-6) كميات الأسيتون المستخدمة في البحث

| رمز العينة | المرجع | كمية الأسيتون (ml) | درجة الحرارة (°C) | الزمن (دقيقة) |
|------------|--------|--------------------|-------------------|---------------|
| C | 31 | 100 | 90 | 30 |
| D | 35 | 100 | 90 | 45 |

ويوضح الشكل (5-6) شكل العينات قبل وبعد المعالجة بالأسيتون.



الشكل (a-5-6) العينة بعد المعالجة بالأسيتون الشكل (b-5-6) العينة قبل المعالجة بالأسيتون

الشكل (5-6) شكل العينة قبل المعالجة بالأسيتون وبعده

4-6- تلبس السطح بطبقة من المعدن:

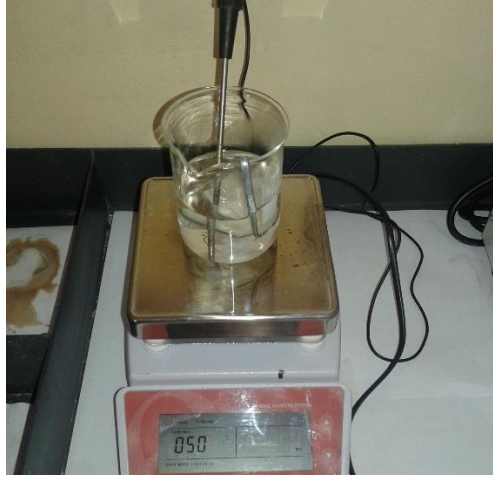
بعد الانتهاء من مراحل التحضير السابقة تم ترسيب طبقة من المعدن على سطح القطعة البلاستيكية باستخدام الطريقة الكيميائية حيث تم الترسيب الكيميائي على سطح البلاستيك بواسطة محاليل كيميائية تحتوي على شوارد أملاح منحلة وباستخدام مرجعات مناسبة، أُجريت الطريقة بالمرحل الآتية:

أولاً-تحضير السطح:

تم التحضير باستخدام الطريقة الميكانيكية أو الكيميائية السابقة.

ثانياً-تنظيف السطح:

تمّت عملية التنظيف من الزيوت على السطح والأوساخ والمواد الغريبة كما موضح بالشكل (5-6) باستخدام محلول كربونات الصوديوم، حيث يتم وضع العينة في المحلول عند درجة حرارة 50 مئوية لمدة 5 دقائق ثم تغسل بماء مقطر، وتُجفف. [52]



الشكل (5-6) تنظيف السطح بمحلول كربونات الصوديوم

ثالثاً-تخريش السطح: etchant

يُخَرَّش سطح القطعة المراد تلبسها بواسطة محلول مؤكسد قوي يؤدي إلى إزالة بعض مكونات الطبقة البلاستيكية السطحية تاركاً ثقوباً ميكروية على السطح. تمّ استخدام حمض الكبريت وحمض الكروميك: [59] حمض الكروميك 100-300 غرام لكل لتر. حمض الكبريت 180 مل/لتر، عند درجة حرارة 65°C لمدة 10 دقيقة، ثم غسل بماء مقطر والتجفيف، ويبين الشكل (6-6) عملية التخريش وشكل العينات بعد تخريش السطح. [52]

تمّ تخريش السطح بعد تحضيره من خلال إزالة البوتادين من التركيب البنائي للسطح حيث يتشكل ثقوب ميكروية، هذه الثقوب تكون صلة الوصل الميكانيكية بين الطبقة المعدنية الرقيقة والأرضية البوليميرية حيث سينتشر الفيلم المعدني الأولي ضمنها تمّ التخريش باستخدام كل من حمض الكروميك وحمض الكبريتيك حسب الجدول (4-6):

| الجدول (4-6) يوضح المواد المستخدمة لتخريش السطح والنسب والحرارة المستخدمة | | | |
|---|----------|-----------------------------|-------------|
| المادة المستخدمة | الكمية | درجة الحرارة المستخدمة (°C) | الزمن (min) |
| حمض الكبريت H_2SO_4 | 180 ml/l | 65 | 10 |
| حمض الكروميك H_2CrO_4 | 300 g/l | 65 | 10 |
| حمض الكبريت+حمض الكروميك | 100+300 | 65 | 10 |

ويوضح الشكل (6-7) شكل العينات بعد عملية التخريش بالأحماض:



الشكل (6-7) تخريش السطح بالحمض

رابعاً- المعادل (neutralizer):

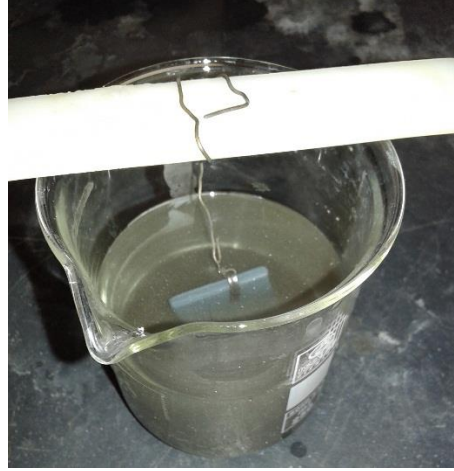
في هذه الخطوة يتم التخلص من بقايا الكروم المتبقية ضمن الثقوب الميكروية، ويتم من خلال وضع القطعة في محلول حمض كلور الماء وكلوريد القصدير لمدة 3 دقائق وتم استخدام الكميات:

. $SnCl_2$ (10 g/L)

. HCl (40 ml/L)

خامساً- تنشيط السطح:

وهذه خطوة مهمة قبل ترسيب المعدن، وذلك من خلال تنشيط السطح من خلال استخدام نترات الفضة والأمونيا، كما موضح بالشكل (6-8) حيث تترسب ذرات الفضة ضمن الثقوب الميكروية وتشكل قاعدة لترسيب النحاس اللاحق، تم التنشيط عند درجة حرارة الغرفة (22°C) لمدة 5 دقائق. [53]



الشكل (6-8) حوض التنشيط (نترات الفضة والامونيا)

بعدها تجفف القطعة بالهواء ثم تنقل لحوض الترسيب.

سادساً-حوض ترسيب النحاس على السطح:

يحتوي المحلول على أملاح النحاس (كبريتات النحاس) بالإضافة إلى عنصر إرجاع مثل الفورمالدهيد، وعلى عنصر مثبت، ومسرعات مثل (طرطرات الصوديوم والبوتاسيوم) التي تزيد من معدل ترسيب المعدن كما موضح بالشكل (6-8)، تم استخدام المواد الآتية: [52,59,60,61]

- هيدروكسيد الصوديوم.
- سلفات النحاس.
- فورم الدهيد.
- ملح روشيل (طرطرات البوتاسيوم والصوديوم).
- تجربة 1:
- أغلب الدراسات المرجعية استخدمت كلوريد القصدير وكلوريد البلاتينوم لتنشيط السطح قبل التلييس بالمعدن، ولكن كلفة هذه المواد مرتفعة لذلك تم البحث عن بدائل.
- تم تجريب نترات الفضة للتنشيط، وحوض نحاس للترسيب. تم اختيار النسب بالاعتماد على بعض الدراسات السابقة حتى تم التوصل لتلييس ناجح بعد عدة محاولات فاشلة، يوضح الشكل (6-9) مراحل عملية التلييس:



الشكل (6-9) يوضح تسلسل أحواض التلبيس

- بعد الحصول على تلبيس ناجح بعد عدة محاولات وتجارب سنعمل على وضع مخطط لمراحل العمل ومتغيرات البحث و تأثيرها على معدل الترسيب (ميكروميتر/ساعة) ومتانة الالتصاق:
- طريقة تحضير السطح (معالجة كيميائياً أو ميكانيكياً).
- درجة الحموضة **PH** حيث يمكن تجريب حوض قلوي أو حمضي ضمن المجال (7-14)، ويمكن التحكم بدرجة الحموضة من خلال إضافة هيدروكسيد الصوديوم NaOH .
- درجة حرارة الحوض سوف يتم تجريب (20-30-40) مئوية.
- زمن الترسيب (10-20-30) دقيقة.

5-6- إجراء التجارب:

تم استخدام المتغيرات الموضحة في الجدول (5-6) لإجراء التجارب:

الجدول (5-6) يوضح المتغيرات والمستويات المستخدمة

| القيم | | | | المتغيرات |
|-------|----|------|----|-----------------------------|
| 13.5 | 13 | 12.5 | 12 | PH (درجة الحموضة) |

| | | | |
|-------------|----|-----|--------------------|
| 40 | 30 | 20 | T°C (الحرارة) |
| 30 | 20 | 10 | t (min) (الزمن) |
| بخار أسيتون | | شحن | معالجة السطح |

تم إجراء التجارب في مخبر الكيمياء في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، وتم حساب معدل الترسيب لكل عينة بعد الترسيب وذلك بالاعتماد على وزن العينة قبل الترسيب وبعده بدقة باستخدام ميزان الكتروني حساس بدقة (0.0001g)، في مخبر الكيمياء. كما موضح بالشكل (6-10):



الشكل (6-10) الميزان الالكتروني المستخدم

ويوضح الشكل (6-11) جانب من عمليات الترسيب:



الشكل (6-11) حوض كبريتات النحاس مع جهاز قياس الحموضة وجهاز التسخين

تمّ تجريب التلبيس بأحواض مختلفة وفقاً للجدول السابق، وكانت نتائج التلبيس مختلفة تبعاً لمعطيات كل قيم من المتغيرات المعتمدة (درجة حموضة، زمن، حرارة)، فجزء من العينات كان تلبس جزئياً بالمعدن وجزء آخر يُلبس كلياً، واختلف معدل الترسيب من عينة لأخرى، وتمّ تدوين النتائج التي حصلنا عليها ضمن جدول، تمّ حساب معدل الترسيب بالاعتماد على القانون السابق (1)، وتمّ حساب وزن النحاس المترسب من خلال فرق الوزن للعينة قبل الترسيب وبعده مع مراعاة التجفيف جيداً قبل كل عملية وزن.

يوضح الشكل (6-12) القطعة الملبسة بالنحاس بعد إخراجها من حوض الترسيب:



الشكل (6-12) شكل القطعة بعد التلبيس بالنحاس

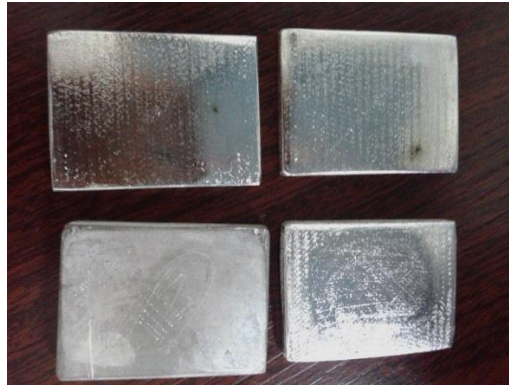
تمّ استخدام المتغيرات الموضحة بالجدول السابق (6-2)، بالنسبة لدرجة الحموضة PH تمّ تجريب درجة حموضة من 5 و 8 و 11 ولم يحدث ترسيب للمعدن إلا بعد الرقم 11، وتمّ تجريب المجال بين 11 و 13.5 آخر مجال تصل إليه درجة الحموضة، وتمّ تغيير درجة الحرارة والزمن عند كل درجة للحموضة لمعرفة تأثيرها في معدل الترسيب، ويوضح الشكل (6-13) تسمية العينات ووضع جدول لكل عينة تمّ تلبسها واختبارها وظروف التلبس.



الشكل (6-13) بعض العينات الملبسة تحمل لوحة اسمية بمتغيرات التلبيس

6-6- التلبيس بجو مفرغ من الهواء (PVD):

تمّ تجريب تلبيس بعض العينات بطريقة الترسيب بالبخر الفيزيائي في معمل المعصراني في المدينة الصناعية بعدرا، وذلك بترسيب طبقة من الألمنيوم عن طريق التبخير في جو مفرغ من الهواء عند ضغط تخلخل $0.266 \times 10^{-6} \text{ bar}$ ، ودرجة حرارة للصهر 982°C ، وذلك للمقارنة بين طريقة الترسيب الكيميائي والترسيب بالتبخير من حيث متانة الالتصاق، ويوضح الشكل (6-14) صور العينات بعد التلبيس بالتبخير:



الشكل (6-14) يوضح عينات ملبسة بجو مفرغ

تمّ تجريب التلبيس بالتبخير وفق الحالات الآتية:

| العيّنة | طريقة التبخير |
|---------|---------------|
|---------|---------------|

| | |
|---|---|
| 1 | تلبيس القطعة بدون طبقة أساس |
| 2 | تلبيس القطعة بوجود طبقة ورنيش أساس |
| 3 | بخ القطعة ورنيش قبل التلبيس وبعده بالألومنيوم |

6-7- طلاء السطح بالأسيتون والغرافيت:

تم في هذه الطريقة تجريب طلاء العينة بعد الطباعة بخليط من الأسيتون والغرافيت (على شكل بودرة) باستخدام فرشاة صغيرة كما موضح بالشكل (6-15)، وبعد أن يجف السطح تماماً بعد ساعتين تم إزالة الغرافيت الزائد على السطح من خلال الحفّ بخيوط من الصوف، وتبقى الطبقة الملتصقة فقط على السطح حيث يصبح السطح ناقلاً للتيار، وجاهزاً للتلبيس الكهربائي المباشر.



الشكل (6-15) يوضح طريقة طلاء السطح بالغرافيت والتلبيس الكهربائي

وبعد التجفيف والتلبيس بحوض يحوي كبريتات النحاس حصلنا على سطح مطلي بالنحاس وجاهز للاختبارات اللاحقة.

6-8- الاختبارات:

بعد الانتهاء من عمليات التلبيس وفق الطرائق السابقة التي استخدمناها في التجارب تم إجراء الاختبارات الآتية:

قياس الخشونة، اختبار الالتصاق CROSS-CUT TEST، حساب معدل الترسيب.

6-8-1- قياس الخشونة:

تم قياس خشونة سطح العينة باستخدام جهاز محمول (RT110) كما موضح بالشكل (6-16).



الشكل (6-16) يوضح جهاز قياس خشونة السطح المستخدم

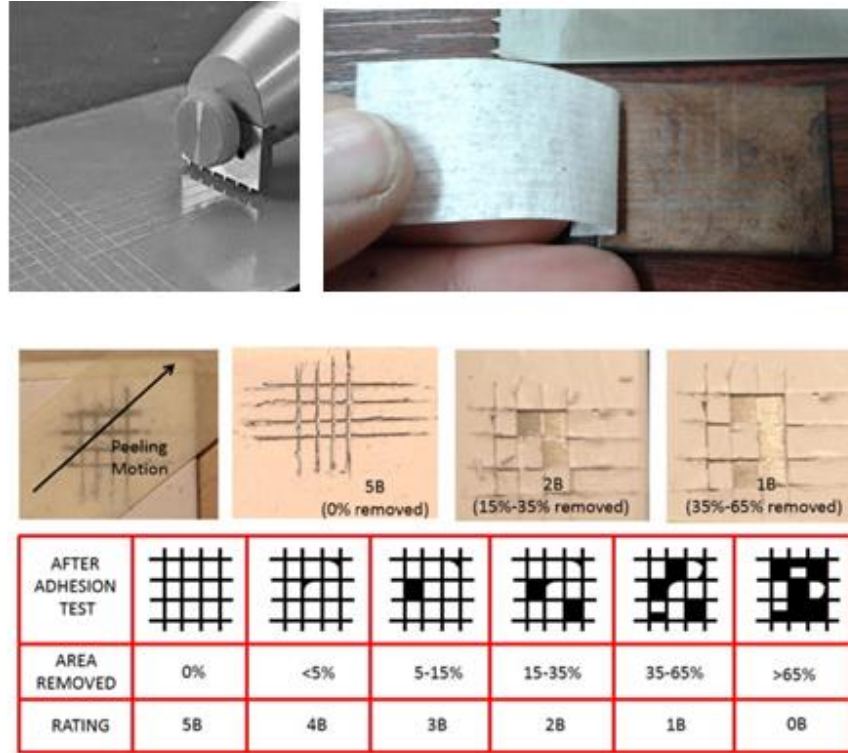
يوضح الجدول (6-6) بعض الخصائص الفنية لجهاز قياس الخشونة المستخدم وهو حاصل على شهادة الأيزو 9001.

الجدول (6-6) يوضح بعض الخصائص الفنية لجهاز قياس الخشونة

| الخصائص الفنية | | | |
|--|-------|--|--------------------------------------|
| النموذج | TR100 | TR110 | التسليم النموذجي |
| مقياس الخشونة | | (R_t, R_A, R_z, R_q) | الوحدة الرئيسية عدد 1 |
| امتداد متقفي الأثر | | 6 mm | غطاء واقى لضغط الإشارة عدد 1 |
| سرعة تقفي الأثر | | 1mm/sec | عينة R_a عدد 1 |
| طول المسافة المقطوعة | | 2.5mm-0.8mm-25 mm | الشاحن عدد 1 |
| طول مسافة التقييم | | 25mm-4.0mm-5.0mm | وثيقة شراء عدد 1 |
| مجال القياس | | $R_a: 0.05-10.0\mu m$ $R_z: 0.1-50\mu m$ | دليل التعليمات عدد 1 |
| التسامح | | أصغر أو يساوي +15% | بطاقة الكفاءة عدد 1 |
| التكرار | | أصغر من 12% | ملحقات اختيارية |
| التصفية (الفلتر) | | RC متناظرة | عينة R_a متنوعة مع قيم |
| لاقط الإشارة | | كهربيائي ضغطي | R_a : |
| نصف القطر و زاوية نقطة ابرة التسجيل بالاسطوانة | | نصف قطر كرة القاعدة ($10 \pm 2.5\mu m$) زاوية $90^\circ \pm 5^\circ$ أو 10° | (-0.8-0.4-0.2-0.1) (3.2 μm) |
| درجة حرارة العمل | | $0-40^\circ$ | |
| الرطوبة | | الرطوبة أصغر من 80% | |

6-8-2-اختبار الالتصاق:

تم إجراء اختبار التصاق (Measuring Adhesion) 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، مثلاً (ASTM grade 5) التصاق مثالي تماماً حيث لا يوجد قشر، بينما (ASTM grade 0) لم يتم التصاق أية طبقة ويعبر عن فشل الالتصاق كما موضح بالشكل (6-6-17). [62]



الشكل (6-17) يوضح آلية اختبار الالتصاق وفق ASTM D3359 [62]

6-8-3-حساب معدل الترسيب:

تم حساب معدل الترسيب بالاعتماد على وزن النحاس المترسب على العينة، حيث تم وزن العينة قبل التلييس وبعده بميزان حساس ذو دقة (0.0001 g)، وذلك من خلال القانون الآتي: [53]

$$\text{Deposition rate} = \frac{W \times 10^4 \times 60}{A \times D \times t} \quad (\mu/h)$$

حيث:

W: وزن النحاس المترسب (g).

A: مساحة السطح المرسب عليها (cm²).

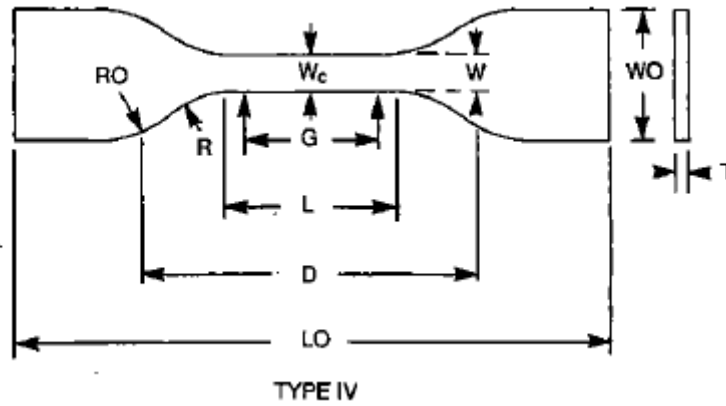
D: كثافة النحاس وهي (8.96 g/cm³).

t: زمن الترسيب (min).

6-8-4-اختبار الشد:

بالنسبة لاختبار الشد فقد تمّ انجازه باستخدام جهاز شد Universal Testing Machine من شركة OSLEN الإنكليزية، بالنسبة لمعدل التحميل تمّ اعتماد القيم الموصى بها في المواصفة Type IV ASTM D 638 وهي V= 5 mm/min.

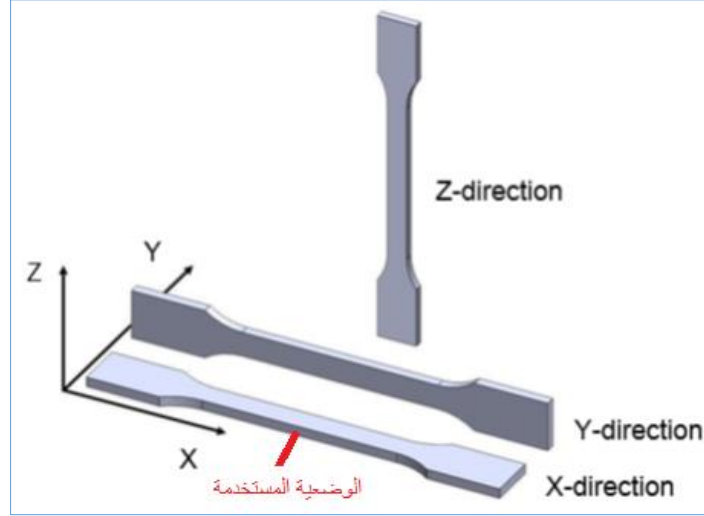
تمّ إجراء الاختبار وفق المواصفة، ASTM D 638 Type IV، كما موضح بالشكل (6-18).



| الرمز | RO | R | D | G | LO | WO | T | L | W |
|----------|----|----|----|----|-----|----|---|----|---|
| البعد mm | 25 | 14 | 65 | 25 | 115 | 19 | 4 | 33 | 6 |

الشكل (6-18) أبعاد العينة القياسية التي تمّ اعتمادها في اختبار الشد

يمكن طباعة عينات الشد بأحد الوضعيات (شاقولياً أو أفقياً) تمّ طباعة العينات بالشكل الأفقي الأفضل بالنسبة لعينات الشد (بالاعتماد على المرجع [63]) الموضح بالشكل (6-19).



الشكل (6-19) يوضح وضعية الطباعة لعينات الشد

حيث نقوم باختبار الشد للعينة بعد الطباعة وبعد تحضير السطح وبعد التلبيس بالمعدن ويوضح الشكل (6-20) جهاز الشد المستخدم.



الشكل (6-20) يوضح جاز اختبار الشد

يوضح الجدول الآتي (6-7) مواصفات آلة الطباعة المستخدمة في عينات الشد:

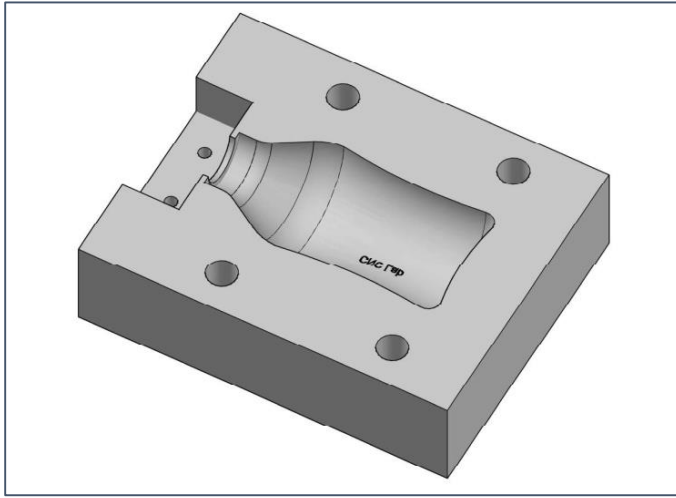
الجدول (6-7) متغيرات الطباعة المستخدمة في عينات الشد

| | | | |
|------------------------|-----------------------|--|--------------------|
| $\xi = 100\%$ | نسبة الملء | $v = 40 \left[\frac{mm}{Sec} \right]$ | سرعة الطباعة |
| $h_{Layer} = 0.1 [mm]$ | سمائة الطبقة المطبوعة | $t = 220 [C^o]$ | درجة حرارة الطباعة |

6-9- طباعة القالب وتجريبه:

بعد الانتهاء من إجراء التجارب ومعرفة أفضل الطرائق للحصول على ترسيب والتصاق ناجح، بدأنا بتصنيع قالب النفخ عن طريق طباعة ثلاثية الأبعاد تمّ تحديد شكل المنتج المطلوب وأبعاده وأبعاد القالب وذلك بعد زيارة أحد المصانع في محافظة حمص (شركة الأبرش) لمعرفة أبعاد القالب بهدف تجربته بعد الانتهاء من تصنيعه وتجهيزه.

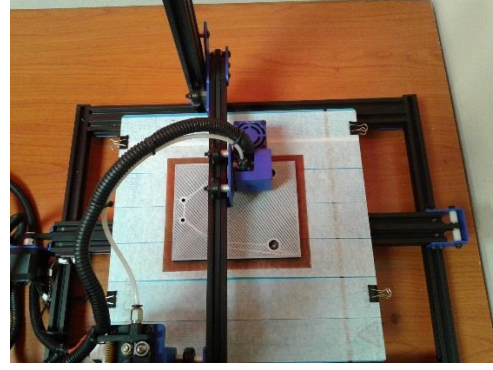
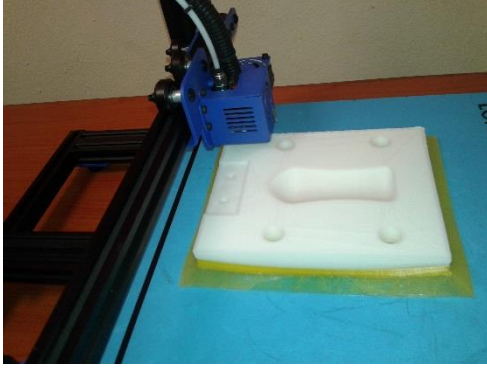
شكل المنتج عبارة عن عبوة (حليب مُنكّه) صغيرة ذات سعة 125 mm^3 ، مصنوعة من البولي إيثيلين عن طريق النفخ. يوضح الشكل (6-21) الآتي قالب النفخ:



الشكل (6-21) يوضح شكل القالب والعبوة

6-9-1- طباعة القالب:

تمّت طباعة القالب في مخبر التشغيل المبرمج، على طباعة من نوع FDM، من مادة ABS، بسبب حجم القالب الكبير واجهنا صعوبة في البداية بطباعة مادة ABS فهي مادة معامل انكماشها مرتفع وتحتاج إلى طباعات احترافية، وتمّ التغلب على هذه الظاهرة بطباعة قاعدة القالب من مادة PLA فهي مادة سهلة الطباعة على طابعات FDM ومن ثمّ تمّ إكمال طباعة القالب من مادة ABS. ويوضح الشكل الآتي (6-22) طباعة القالب:



الشكل (22-6) يوضح طباعة القالب

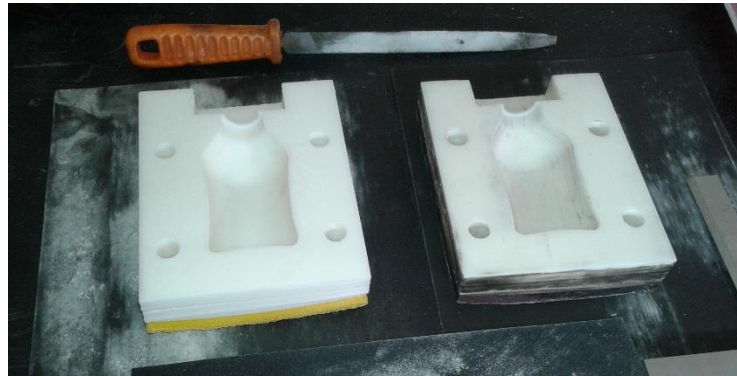
ويوضح الجدول (8-6) بارامترات الطباعة المستخدمة لطباعة القالب.

الجدول (8-6) بارامترات الطباعة المستخدمة لطباعة القالب

| درجة حرارة طاولة الطابعة | حرارة رأس البثق | سرعة الطباعة | سماعة الطبقة | نسبة الملء للطبقات الداخلية | نسبة الملء للطبقة السطحية (سماعة 5mm) |
|-----------------------------|--------------------|--------------|--------------|--------------------------------|--|
| ABS-110 °C PLA-60 °C | 220 °C | 40 mm/sec | 0.1 mm | 40% | 100% |

6-9-2- تحضير القالب للتلييس:

بعد الانتهاء من طباعة القالب، تمّ التحضير وتجهيز سطحه للتلييس بعد شحذ وتنعيم السطح، ويوضح الشكل (23-6) شحذ وتنعيم السطح بورق شحذ بقياسات متعددة (200-400-800-1000-1500-2000):

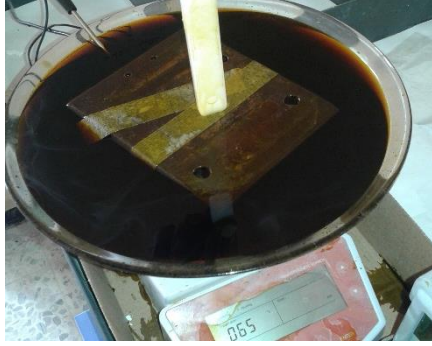


الشكل (23-6) تحضير السطح للتلييس

6-9-3- تلبيس سطح القالب بالمعدن:

بعد الانتهاء من تجهيز سطح القالب وشحذه، تمّت عملية تلبيس سطحه بالمعدن ضمن المراحل التي تمّ ذكرها سابقاً (تنظيف، تخريش، معادل، تنشيط، ترسيب).

يوضح الشكل (6-24) مراحل تلبيس القالب:



تخريش السطح



تنظيف السطح



القالب بعد التلبيس بالمعدن



تلبيس القالب

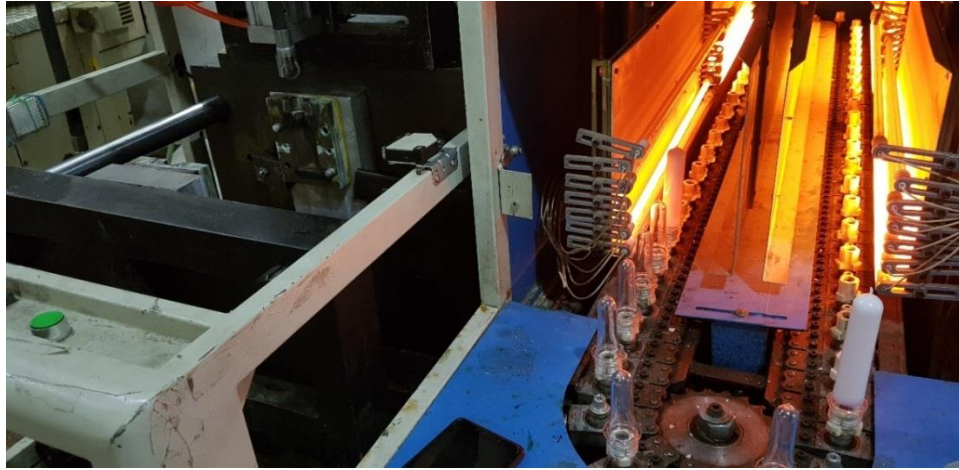
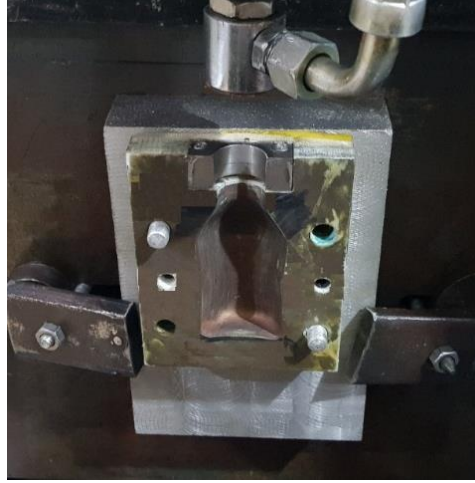
الشكل (6-24) مراحل التلبيس

6-9-4- تجريب القالب:

المرحلة الأولى بدون استخدام تبريد:

بعد الانتهاء من تلبيس القالب، تمّت عملية تجريب القالب على آلة نفخ بعد تركيب القالب على بلاطات الدعم على الآلة وتثبيتته بالمكان المناسب.

والشكل الآتي (25-6) يوضح بعض صور تجربة القالب:



الشكل (25-6) تجريب القالب على آلة النفخ

نلاحظ من الصور السابقة التسخين الأولي للعبوات نصف المصنعة (preform) من مادة PET في فرن تسخين بالقرب من آلة النفخ، حيث يتم تسخين العبوات لدرجة حرارة بين 90 و 105 درجة مئوية.

المرحلة الثانية استخدام تبريد:

في هذه المرحلة تمّ تجريب القالب بعد تجهيزه بمجاري لوسائل التبريد(ماء) لمعرفة مدى تأثير التبريد في عمر القالب كما موضح بالشكل (26-6).



الشكل (6-26) تركيب القالب على الآلة بعد استخدام التبريد

ويوضح الشكل (6-27) بعض العبوات بعد عملية النفخ.



الشكل (6-27) بعض العبوات بعد عملية النفخ

الفصل السابع

النتائج والمناقشة

النتائج والمناقشة: Results and Discussion

بعد إجراء التجارب كما تمّ التوضيح في الفصل السابق حصلنا على النتائج الموضحة في الجداول والمخططات الآتية:

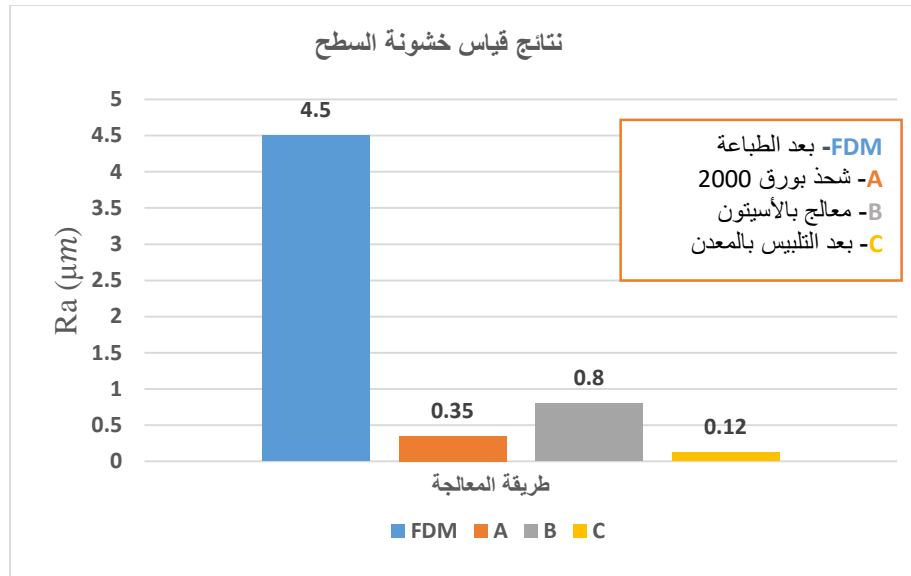
7-1- نتائج قياس خشونة السطح:

تمّ قياس خشونة سطح العينة بعد الطباعة مباشرة على جهاز محمول (RT110)، وبعد تحضير السطح وتلبيسه بالنحاس، ويوضح الجدول (7-1) القيم بعد أخذ أكثر من قراءة وحساب المتوسط الحسابي:

| جدول رقم (7-1) يوضح قيم متوسط الخشونة للعينات | | |
|---|--|----------------------------|
| رمز العينة | المرحلة | متوسط قيمة الخشونة Ra (μm) |
| N | بعد الطباعة مباشرة | 4.5 |
| A | في حال الشد بوزن 2000 بعد الطباعة | 0.35 |
| B | في حال المعالجة ببخار الأسيتون بعد الطباعة | 0.8 |
| C | بعد التلبيس بطبقة معدن | 0.12 |

نلاحظ من الجدول السابق انخفاضاً بخشونة السطح بعد معالجته، وتحسناً كبيراً بنعومة السطح كان عند تلبيسه بالمعدن.

بالنسبة للشد تمّ استخدام ورق شد 2000 لجميع العينات، وبالنسبة للأسيتون بعد إجراء التجربة على حمام الأسيتون تبين أنّ أفضل نتيجة لحمام البخار عند الزمن 30 دقيقة ودرجة حرارة 90 مئوية. لأن الإفراط في التبخير (أكثر من 30 دقيقة) سوف يؤدي لتشوه السطح ويسبب مشاكل بالأبعاد النهائية، وتعتمد نتائج العملية على إجمالي الأسيتون المستخدم ودرجة الحرارة وحجم الدورق المستخدم وزمن التعرض للبخار. ويوضح الشكل (7-1) نتائج قياس الخشونة.



الشكل (1-7) مخطط نتائج قياس خشونة السطح

7-2- نتائج معدل الترسيب:

بعد حساب معدل الترسيب بالاعتماد على وزن النحاس المرسب ومساحة سطح القطعة حصلنا على

النتائج الموضحة بالجدول (2-7):

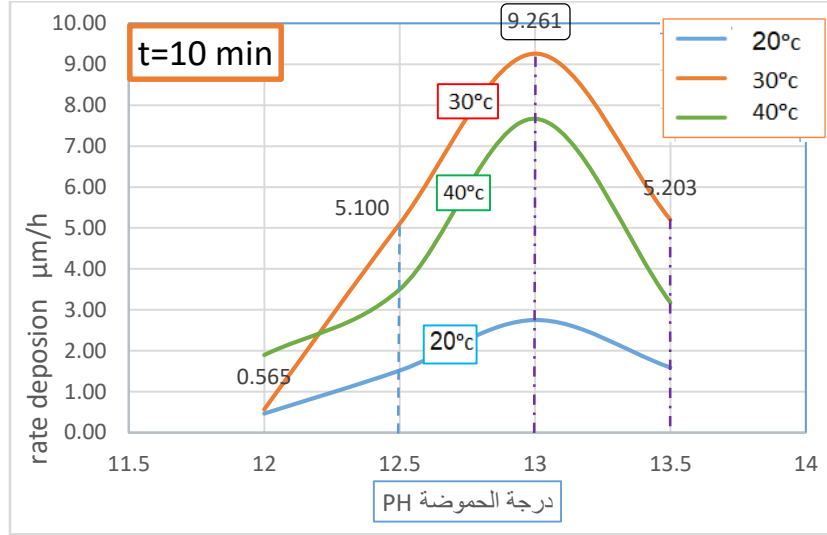
| deposition rate $\mu\text{m/h}$ | | | | | |
|---------------------------------|-------|-------|-------|------|---------|
| PH | | | | T °C | t (min) |
| 13.5 | 13 | 12.5 | 12 | | |
| 1.590 | 2.752 | 1.516 | 0.464 | 20 | 10 |
| 1.758 | 2.492 | 1.388 | 0.770 | 20 | 20 |
| 1.228 | 1.678 | 1.098 | 0.701 | 20 | 30 |
| | | | | | |
| 5.203 | 9.261 | 5.100 | 0.565 | 30 | 10 |
| 2.692 | 6.456 | 4.971 | 1.132 | 30 | 20 |
| 2.885 | 4.690 | 4.028 | 0.633 | 30 | 30 |
| | | | | | |
| 3.179 | 7.669 | 3.497 | 1.896 | 40 | 10 |
| 1.818 | 6.018 | 1.572 | 0.757 | 40 | 20 |
| 1.980 | 4.442 | 1.486 | 0.848 | 40 | 30 |

نلاحظ من الجدول السابق أن أعلى معدل ترسيب كان $9.261 \mu\text{m/h}$ عند درجة حموضة 13 ودرجة حرارة 30 مئوية وزمن 10 دقيقة.

تم رسم المنحنيات الآتية اعتماداً على نتائج معدل الترسيب كما وردت في الجدول السابق (2-7):

7-2-1 تأثير درجة الحموضة PH في معدل الترسيب مع تغيير الزمن:

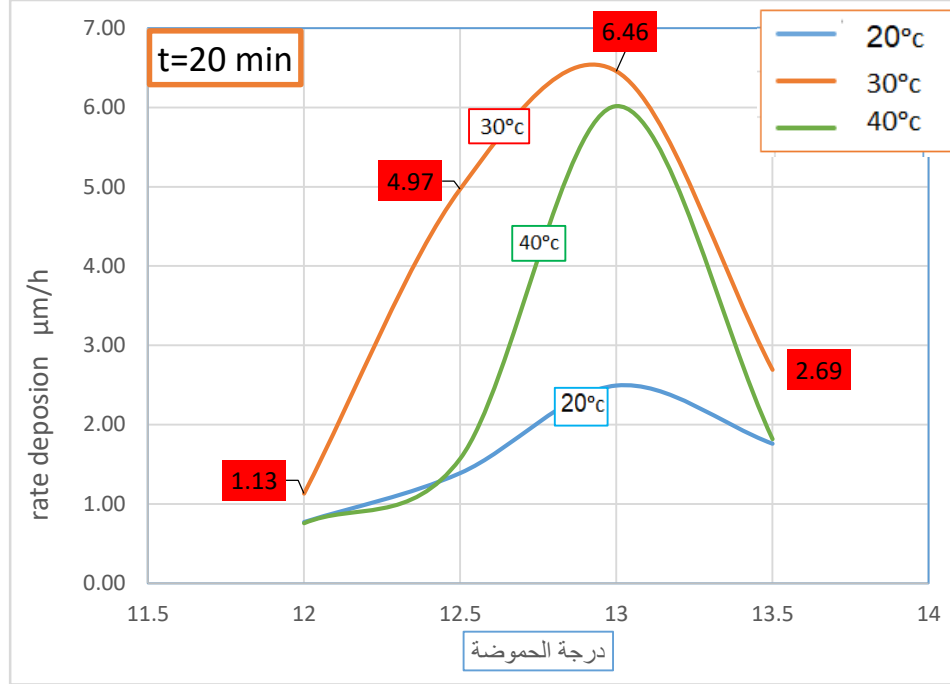
يوضح الشكل (2-7) تأثير درجة الحموضة في معدل الترسيب بعد 10 دقائق من بدء الترسيب.



الشكل (2-7) تأثير درجة الحموضة في معدل الترسيب عند زمن 10 دقيقة

نلاحظ من خلال المنحنيات الموضحة في الشكل السابق أن أعلى معدل للترسيب كان $9.261 \mu\text{m/h}$ عند درجة حموضة 13 ودرجة حرارة 30 مئوية وزمن 10 دقيقة حيث في بداية التفاعل مازال المحلول نشطاً ومعدل الترسيب مرتفع.

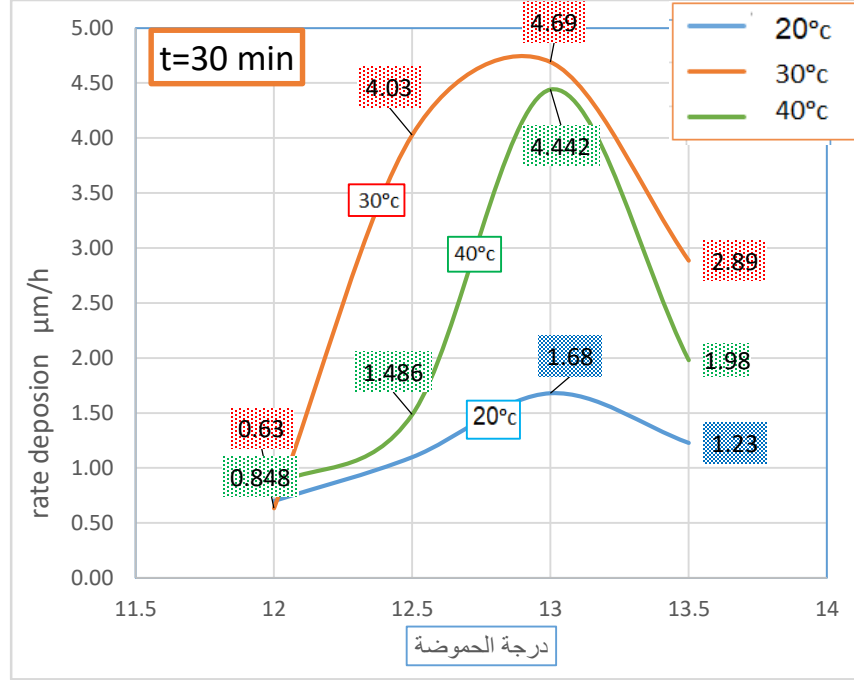
يوضح الشكل (3-7) تأثير درجة الحموضة في معدل الترسيب بعد 20 دقيقة من بدء الترسيب.



الشكل (3-7) تأثير درجة الحموضة في معدل الترسيب عند زمن 20 دقيقة

نلاحظ من خلال المنحنيات الموضحة في الشكل السابق أنّ أعلى معدل للترسيب كان عند درجة حموضة 13 ودرجة حرارة 30 مئوية ، ونلاحظ أنّه بزيادة زمن الترسيب يضعف نشاط المحلول ويقل معدل الترسيب.

يوضح الشكل (4-7) تأثير درجة الحموضة في معدل الترسيب بعد 30 دقيقة من بدء الترسيب.



الشكل (4-7) تأثير درجة الحموضة في معدل الترسيب عند زمن 30 دقيقة

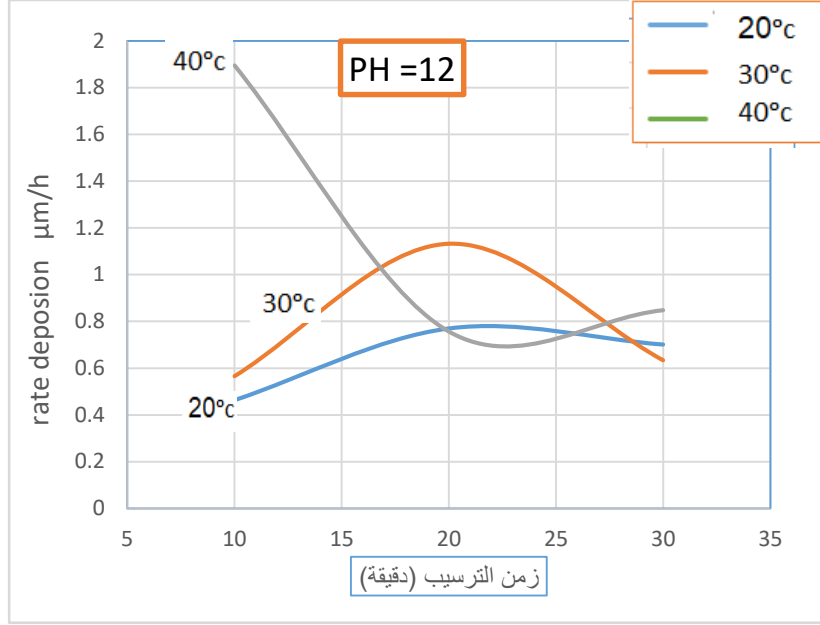
نلاحظ من خلال المنحنيات الموضحة في الشكل السابق أنّ أعلى معدل للترسيب كان عند 4.69 $\mu\text{m/h}$ عند درجة حموضة 13 ودرجة حرارة 30 مئوية ، ونلاحظ أنّه بزيادة زمن الترسيب يضعف نشاط المحلول ويقل معدل الترسيب.

نلاحظ من المخططات السابقة أنّ أعلى معدل ترسيب عند حموضة 13 في جميع الأزمنة 10،20،30 دقيقة. وكلّما زاد زمن الترسيب انخفض معدل الترسيب مع الزمن.

7-2-2- تأثير زمن الترسيب في معدل الترسيب عند ثبات درجة الحموضة:

في هذه الحالة تمّ تثبيت قيم درجة الحموضة في كل حالة من الحالات ودراسة تأثير الزمن والحرارة في معدل الترسيب.

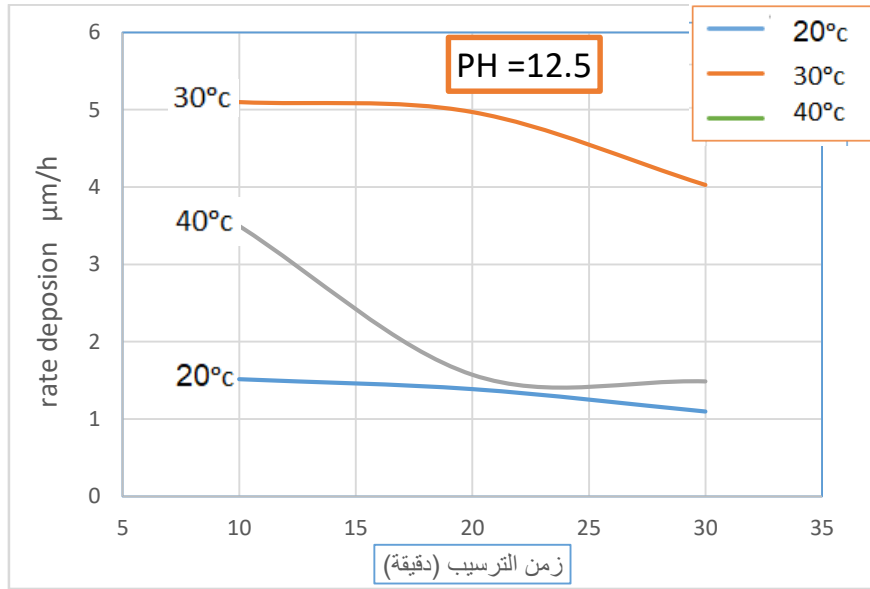
يوضح الشكل (5-7) تأثير زمن الترسيب في معدل الترسيب عند درجة الحموضة 12



الشكل (5-7) تأثير زمن الترسيب على معدل الترسيب عند حموضة 12

نلاحظ من المنحنيات البيانية السابقة انخفاض معدل الترسيب عند درجة حرارة 40 مئوية أكثر من الدرجات الأخرى، وهذا يرجع لأنّ عند الحرارة الأعلى يزداد نشاط المحلول بشكل أكبر، ويبدأ بمعدل ترسيب أعلى في البداية إلى أن يضعف نشاط المحلول.

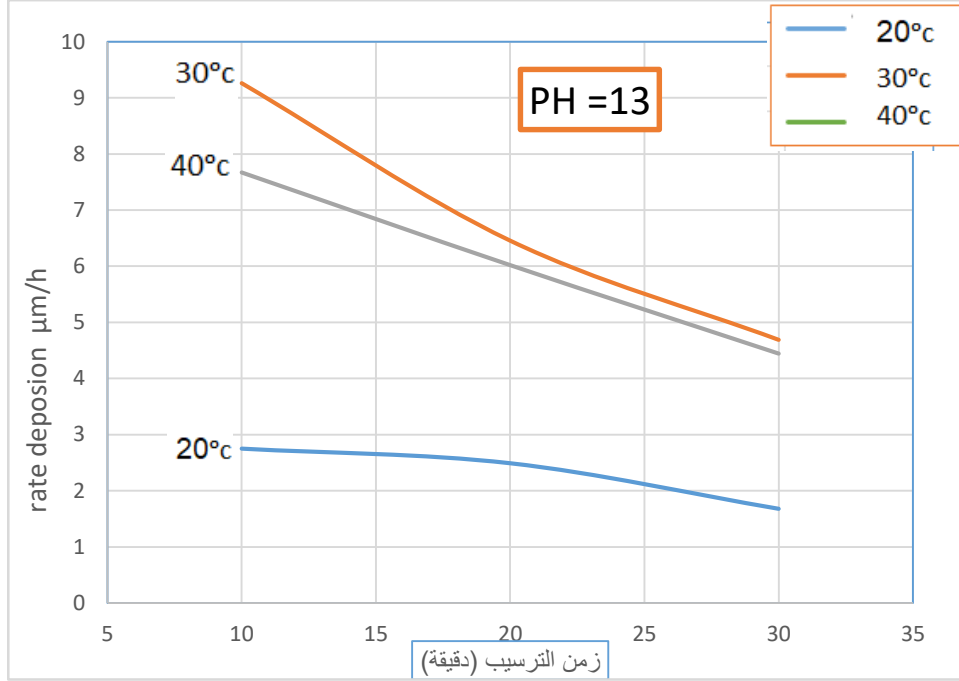
ويوضح الشكل (6-7) تأثير زمن الترسيب في معدل الترسيب عند درجة الحموضة 12.5



الشكل (6-7) تأثير زمن الترسيب على معدل الترسيب عند حموضة 12.5

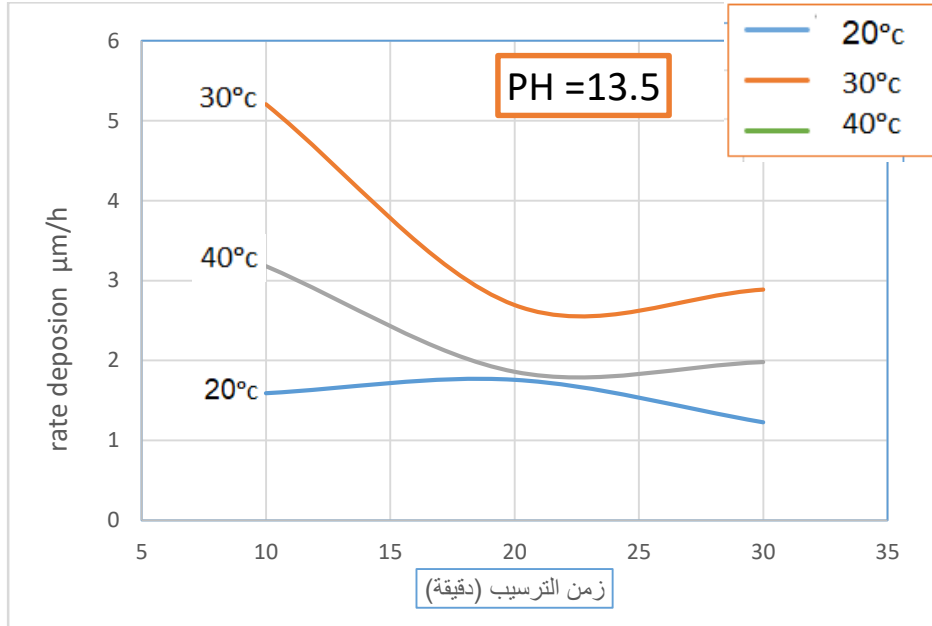
نلاحظ من المنحنيات البيانية السابقة انخفاض معدل الترسيب عند جميع درجات الحرارة.

ويوضح الشكل (7-7) تأثير زمن الترسيب في معدل الترسيب عند درجة الحموضة 13



الشكل (7-7) تأثير زمن الترسيب على معدل الترسيب عند حموضة 13

ويوضح الشكل (8-7) تأثير زمن الترسيب في معدل الترسيب عند درجة الحموضة 13.5



الشكل (8-7) تأثير زمن الترسيب على معدل الترسيب عند حموضة 13.5

نلاحظ أيضاً من المنحنيات البيانية السابقة انخفاض معدل الترسيب مع مرور الزمن.

من خلال ما سبق نستنتج أنّ معدل الترسيب يكون مرتفعاً في بداية التفاعل حيث نشاط التفاعل مرتفع والتصادمات بين العناصر الكيميائية مرتفعة، ما أن يلبث بالانخفاض مع مرور الزمن، لذا قمنا باختيار الزمن المناسب لعملية الترسيب وهو 20 دقيقة، حيث نكون خلال هذا الزمن حصلنا على طبقة النحاس المترسب بحدود 6 µm وبمتانة التصاق ممتازة، وقمنا بزيادة هذه الطبقة بالطلاء الكهربائي إلى 25 ميكرون.

7-3- نتائج اختبار متانة الالتصاق:

بعد إجراء اختبار الالتصاق بالاعتماد على المواصفة ASTM D3359، حصلنا على النتائج الموضحة بالجدول (7-3) بالنسبة لطريقة تخريش السطح:

| جدول رقم (7-3) يوضح نتائج اختبار الالتصاق وفق ASTM D3359 | | | | |
|--|-------|----------------------------|---------------|----------------------------|
| نتيجة الاختبار وفق ASTM | | طريقة التخرّيش etching | رمز العينة | طريقة تحضير السطح |
| نسبة القشر % | grade | | | |
| 7 | 3B | حمض الكبريت | A1 | الشحذ الميكانيكي |
| 4 | 4B | حمض الكروميك | A2 | |
| 0 | 5B | حمض الكبريت+ حمض الكروم | A3 | |
| 4 | 4B | حمض الكبريت | B1 | المعالجة ببخار الأسيتون |
| 3 | 4B | حمض الكروميك | B2 | |
| 0 | 5B | حمض الكبريت+ حمض الكروم | B3 | |

نلاحظ من الجدول السابق أنّ أفضل طريقة لتخريش السطح هي للعينات (A3، B3) عند التخرّيش بكلا الحمضين معاً (حمض الكروميك وحمض الكبريت).

وبالنسبة لطريقة تحضير السطح كانت نتائج الالتصاق جيدة للسطح المعالج بالأسيتون والسطح المشحوذ بورق شحذ 2000، لذلك اعتمدنا في باقي العينات طريقة الشحذ.

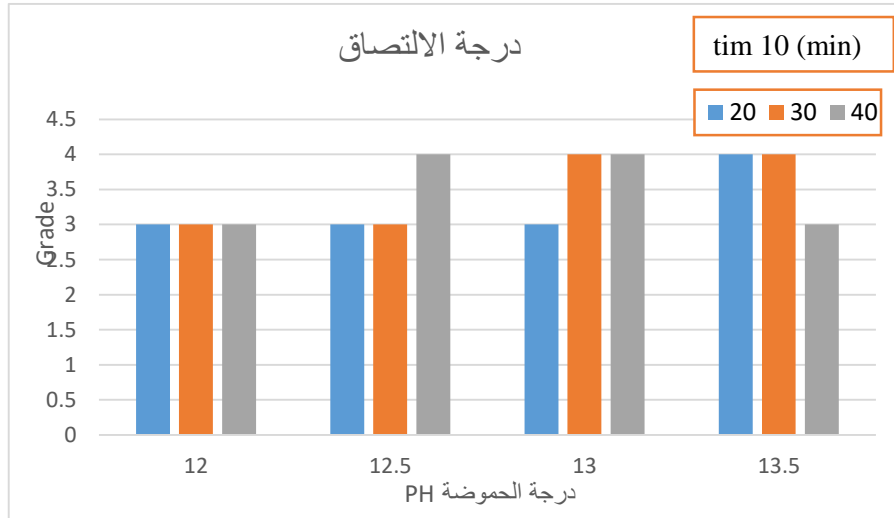
والجدول الآتي (7-4) يوضح نتائج اختبار الالتصاق للعينات المدروسة في البحث والمطلية بالطريقة الكيميائية:

الجدول (4-7) يوضح نتائج اختبار الالتصاق وفق المواصفة ASTM D3359

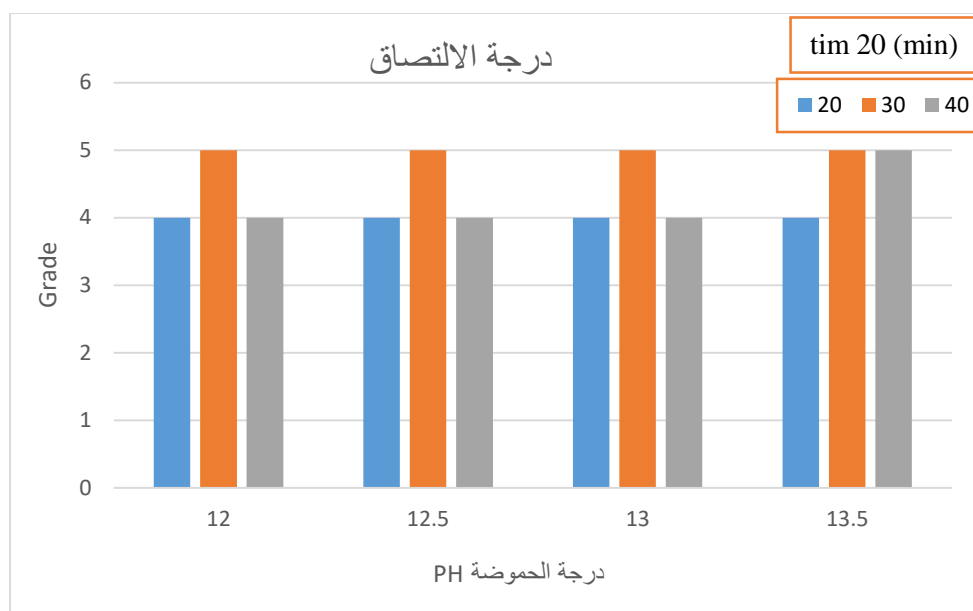
| Grade 0B-5B (نسبة القشر %) | | | | | |
|----------------------------|--------|---------|---------|------|---------|
| PH | | | | T °C | t (min) |
| 13.5 | 13 | 12.5 | 12 | | |
| 4B (2) | 3B (6) | 3B (9) | 3B (7) | 20 | 10 |
| 4B (1) | 4B (3) | 4B (1) | 4B (2) | 20 | 20 |
| 5B (0) | 4B (2) | 5B (0) | 4B (1) | 20 | 30 |
| | | | | | |
| 4B (4) | 4B (4) | 3B (10) | 3B (8) | 30 | 10 |
| 5B (0) | 5B (0) | 5B (0) | 5B (0) | 30 | 20 |
| 4B (3) | 5B (0) | 5B (0) | 4B (4) | 30 | 30 |
| | | | | | |
| 3B (8) | 4B (3) | 4B (4) | 3B (14) | 40 | 10 |
| 5B (0) | 4B (2) | 4B (3) | 4B (4) | 40 | 20 |
| 4B (2) | 5B (0) | 4B (4) | 3B (7) | 40 | 30 |

نلاحظ من خلال الجدول السابق أنّ متانة الالتصاق تزداد عند الوصول للزمن 20 دقيقة في جميع الحالات، ذلك كون الطبقة المترسبة تكون قد اكتملت على كامل السطح وبسماكة كافية حوالي $6 \mu m$.

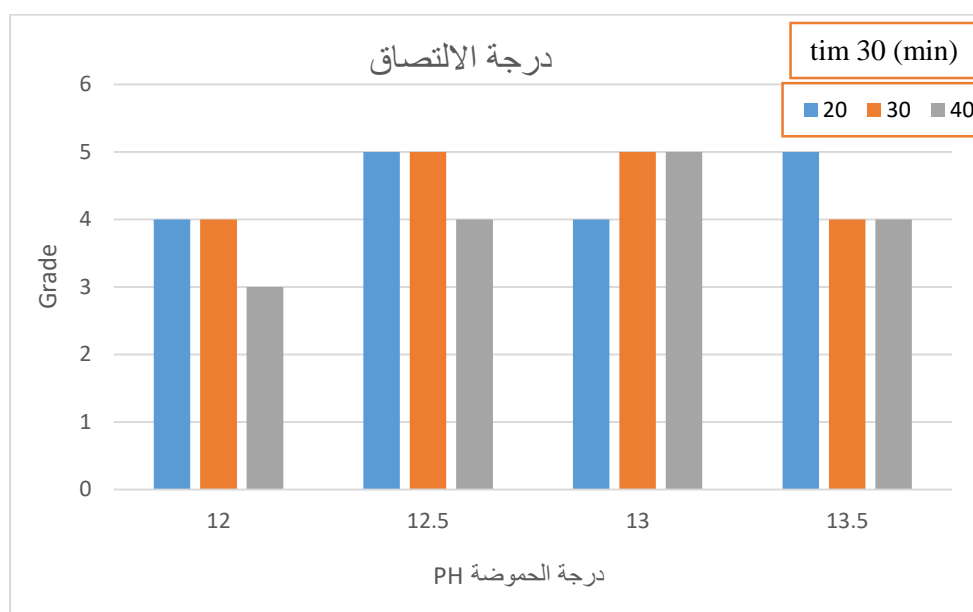
توضح المخططات الآتية نتائج اختبار الالتصاق للقيم الواردة في الجدول (4-7):



الشكل (9-7) متانة الالتصاق عند زمن ترسيب 10 دقيقة



الشكل (7-10) متانة الالتصاق عند زمن ترسيب 20 دقيقة



الشكل (7-11) متانة الالتصاق عند زمن ترسيب 30 دقيقة

نلاحظ من المخططات السابقة عن زمن 10 دقيقة من بدء الترسيب كانت متانة الالتصاق منخفضة في أغلب الحالات وبعد زمن 20 دقيقة أصبحت متانة الالتصاق جيدة.

7-4- نتائج التلبس بالتبخير:

بعد إجراء اختبار متانة الالتصاق بالاعتماد على المواصفة ASTM D3359 حصلنا على النتائج الموضحة بالجدول (5-7):

الجدول (5-7) نتائج اختبار متانة الالتصاق للعينات المطلية بالتبخير الفيزيائي

| العينة | طريقة التبخير | Grade |
|--------|--|-------|
| 1 | تلبس القطعة بدون طبقة أساس | 1B |
| 2 | تلبس القطعة بوجود طبقة ورنش أساس | 1B |
| 3 | بخ القطعة ورنش قبل وبعد التلبس بالألومنيوم | 2B |

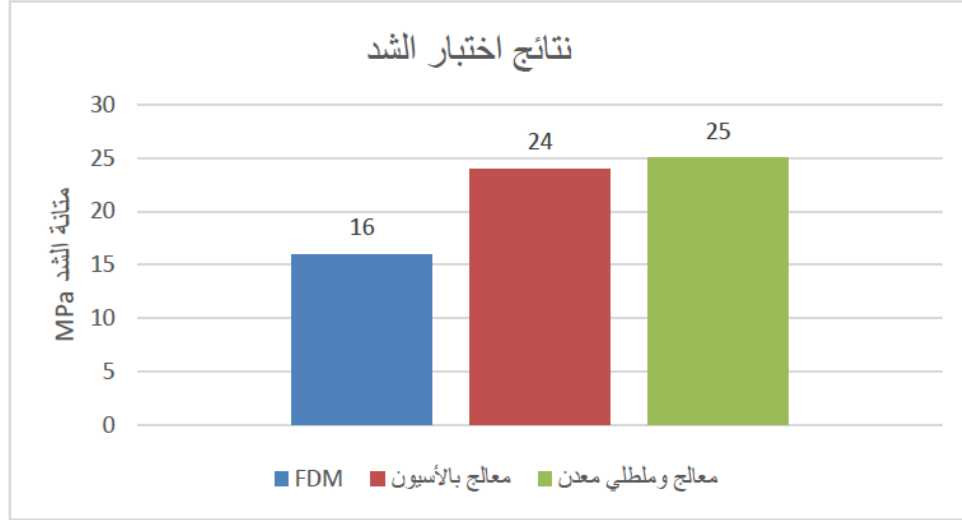


الشكل (7-12) عينة ملبسة بالتبخير مختبرة للقشر

نلاحظ من الشكل السابق أنّ نسبة القشر كبيرة في عينات التبخير، أي أنّ متانة الالتصاق كانت ضعيفة بين طبقة الألومنيوم المبخرة والسطح الأساس لـ ABS .

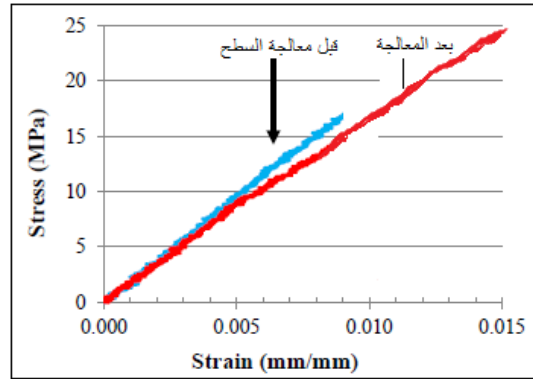
7-5- نتائج اختبار الشد:

تمّ إجراء اختبار متانة الشد (تمّ عرض تفاصيلها في الفصل السابق) لمعرفة مدى تأثير معالجة السطح وتليسة بطبقة من النحاس في خواص الشد لعينات ABS المصنعة عن طريق الطباعة، ويوضح الشكل (7-13) نتيجة اختبار الشد وفق المواصفة ASTM D638.



الشكل (7-13) نتائج اختبار الشد وفق ASTM D638

ويوضح الشكل (7-14) مخطط السلوك لمادة ABS بعد الطباعة مباشرة وبدون معالجة وبعد المعالجة بالأسيتون:



الشكل (7-14) يوضح مخطط السلوك لمادة ABS

بعد القيام بالاختبارات والحصول على النتائج السابقة، تمّ تلبيس القالب عند أفضل النتائج لمتانة الالتصاق ومعدل الترسيب، ثم تجريب القالب بعد تجهيزه ليتناسب مع آلة النفخ في أحد معامل نفخ البلاستيك، تمّ التجريب في البداية بدون تلبيس بالمعدن لم نحصل على نتائج جيدة نتيجة التصاق العبوات بجدار القالب، ثم في المرحلة الثانية بعد التلبيس بالنحاس تمّ أولاً تجريب القالب بدون استخدام سائل تبريد للقالب، ومن خلال نفخ بعض العينات حصلنا على نسبة (10%) من العبوات تحوي تشوهاً بسيطاً من أحد أطرافها، تمّ البحث في أسباب هذا التشوه الحاصل، قمنا في التجربة ثانيةً بتوصيل

سائل تبريد بعد تجهيز القالب بمجاري للمياه ضمن القالب، وتمت إعادة تجريب القالب، حصلنا على تحسن بتخفيض نسبة التشوه بعد التبريد ولكن ليس بالشكل المطلوب بسبب انخفاض الناقلية الحرارية للبلاستيك، وبقيت نسبة قليلة تمت معالجتها من خلال ضبط متغيرات الآلة بشكل أفضل (ضغط، تسخين مسبق). تم تجريب القالب وحصلنا على 50 عينة من القالب من دون أي تأثير للقالب من ناحية درجة الحرارة.

تمّ البحث في تأثير درجة حرارة التسخين المسبق في مقدار التشوه:

إنّ التأثير الكبير لدرجة الحرارة على سلوك البوليمر معروف جيداً وزيادة بمقدار 10 درجات مئوية يمكن أن يؤدي إلى تقليل اللزوجة بالقرب من درجة حرارة التحول الزجاجي بمقدار 10 مرات. [45] ولضغط الحقن أيضاً دور في نوع المنتج النهائي لعبوات النفخ، طبعاً التجربة خير برهان للتأكد فيما إذا كان الضغط والحرارة التي يعمل بها القالب المعدني هي نفسها يعمل بها القالب المصنوع بالطباعة أو أنه بحاجة لحرارة وضغط أقل.

6-6- الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

إنّ استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد للحصول على المنتجات تتم بوقت قصير جداً وكلفة منخفضة مقارنة بالطرائق التقليدية، إلا أنّ خواص السطح الناتج يتميز بخواص ميكانيكية أقل وخشونة أعلى. إنّ شحذ ومعالجة السطح ببخار الأسيتون له تأثير كبير على إنهاء سطح مادة ABS، تمّ تخفيض متوسط الخشونة بشكل كبير، ولكن يجب الأخذ بالاعتبار فيما يتعلق بمدة المعالجة حيث إنّ الإفراط في المعالجة (أكثر من 30 دقيقة) سوف يؤدي لتشوه السطح ويسبب مشاكل بالأبعاد النهائية، وتعتمد نتائج العملية على إجمالي الأسيتون المستخدم ودرجة الحرارة وحجم الدورق المستخدم وزمن التعرض للبخار.

حيث تمّ في هذا البحث من خلال معالجة وتلبيس السطح بطبقة نحاس تخفيض متوسط خشونة السطح (Ra) من 4.5 µm إلى 0.35 µm بعد شحذ السطح بورق شحذ (2000)، وانخفضت

الخشونة إلى $0.8 \mu\text{m}$ بعد المعالجة بالأسيتون، وأفضل نتيجة كانت بعد تلبيس السطح بطبقة من النحاس حيث انخفضت الخشونة حتى $0.12 \mu\text{m}$.

بالنسبة لمعدل ترسيب المعدن بعد دراسة تأثير بارامترات عملية الترسيب وهي:

- درجة الحموضة PH تمّ استخدام القيم الآتية (13.5،13،12.5،12).
- درجة الحرارة $^{\circ}\text{C}$ (40،30،20).
- الزمن (10-20-30 min).

تمّ الحصول على أعلى معدل ترسيب وهو ($9.262 \mu\text{m/h}$) كان للعينة رقم (22)، عند درجة الحموضة 13، وبعد 10 دقائق من بداية الترسيب، ودرجة حرارة 30 مئوية.

بزيادة درجة الحرارة تزداد حركة الجزيئات في المحلول لذلك تزداد حركة التصادمات بين الجزيئات ويزداد معدل الترسيب.

في بداية التفاعل يكون معدل الترسيب أعلى لأنّ نشاط التفاعلات يكون أعلى وما يلبث أن ينخفض نشاط التفاعل مع مرور الوقت، لذلك ينخفض معدل الترسيب مما يجعلنا نزيد وقت التلبيس لفترة إضافية لاستكمال الترسيب للحصول على سماكة طبقة جيدة.

إنّ أفضل زمن لعملية الترسيب وهو **20 دقيقة**، حيث نكون خلال هذا الزمن حصلنا على طبقة النحاس المترسب بحدود $6 \mu\text{m}$ وبمتانة التصاق ممتازة، وتمّ زيادة هذه الطبقة بالطلاء الكهربائي إلى 25 ميكرون.

تمّت ملاحظة أنه عند زيادة درجة الحرارة عن 40 مئوية فإنّ المحلول يفقد خواصه ويتفكك إلى مركبات متجمعة فيما بينها.

بالنسبة لمتانة التصاق المعدن كانت النتائج جيدة عند الشدّ بورق شحذ 2000، وعند معالجة السطح بالأسيتون أيضاً، حيث حصلنا على التصاق ممتاز Grade5 في أغلب الحالات، وتمّت ملاحظة أنّه عند زيادة زمن الترسيب لأعلى من 15 دقيقة تزداد متانة الالتصاق، وذلك لكون طبقة النحاس تكون قد اكتملت على سطح البلاستيك.

وبالنسبة لتخريش السطح قبل التلبيس (etching) أفضل طريقة كانت عند التخريش بكل من حمض الكروميك وحمض الكبريت معاً.

بالنسبة لتلبيس السطح عن طريق التبخير تمّ تجريب 4 عينات، وتمّ تلبيس السطح بطبقة من الألمنيوم عن طريق التبخير، ولكن متانة التصاق طبقة المعدن كانت سيئة مقارنة بالترسيب الكيميائي.

بالنسبة لتجريب القالب:

بالمرحلة الأولى تمّ تجريب القالب بدون تلبيس بالمعدن ولم نحصل على نتائج جيدة، بعض العينات التصقت بالسطح الداخلي للقالب، ثم قمنا بتلبيس السطح الداخلي للقالب بطبقة من النحاس وتمّ التجريب في البداية بدون استخدام تبريد، وتمّ الحصول على عبوات جيدة ويوجد بعض العبوات تحوي على تشوه بسيط نسبتها حوالي 10%. بعد تجريب القالب حصلنا على 50 عينة من القالب من دون أي تأثير للقالب من ناحية درجة الحرارة.

ويوضح الشكل (7-15) صور بعض العينات بعد الطباعة.



الشكل (7-15) صور بعض العينات بعد الطباعة

في المرحلة الثانية تمّ استخدام سائل تبريد (الماء) بعد تجهيز القالب ولاحظنا عدم تأثر القالب كثيراً بالتبريد بسبب الناقلية المنخفضة للبلاستيك.

إنّ استخدام طريقة نمذجة ترسيب المنصهر FDM التي استخدمناها في طباعة القالب في هذا البحث أعطت نتائج جيدة بعد المعالجة اللاحقة للقالب.

نستنتج أن طريقة الطباعة ثلاثية الأبعاد في صناعة القوالب يمكن استخدامها في صناعة قوالب النفخ.

أغلب الدراسات المرجعية السابقة كانت تعتمد على الطباعة الليزرية وتستخدم الـايوكسي.

إنّ استخدام طريقة الطباعة FDM في صناعة القوالب لم تكن مستخدمة من قبل، ونلاحظ أنّه تمّ استخدامها بعد عام 2019، وأثبتت نجاحها في صناعة القوالب ويمكن أن تتنافس الطرائق الأخرى إضافة لتمييزها برخص التكاليف والبساطة.

تتميز طريقة النمذجة السريعة بسرعة الحصول على القالب مهما بلغت درجة التعقيد وانخفاض التكاليف مقارنة بالطريقة التقليدية.

إنّ الطريقة التقليدية مازالت هي المستخدمة وينصح بها في حال الإنتاج الكمي للقطع (عند آلاف القطع).

إنّ التطور الحاصل في الطباعة ثلاثية الأبعاد ومواد الطباعة سينتج عنه تطور في صناعة القوالب حكماً وستصبح منافسة حتى في الأعداد الكبيرة للمنتجات.

التوصيات:

- تجريب مواد أخرى للطباعة غير ABS في حال توفر مواد متطورة للطباعة.
- تجريب طرائق أخرى لتحضير السطح ومعالجته قبل التلييس مثل الليزر.
- تجريب استخدام تلييس أكثر من طبقة من المعدن.
- استخدام مكونات أخرى لأحواض الترسيب.
- ضبط بارامترات آلة النفخ بشكل جيد قبل تجريب القالب لأنّ له أثراً كبيراً في تشوه المنتجات.

الخلاصة:

يمكن استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد بتقنية (FDM) التي تتميز برخص التكاليف في صناعة قوالب النفخ، وإنّ مادة ABS ذات قابلية جيدة للتلبيس بالمعدن، كانت نتائج تلبيس منتجات الطباعة ممتازة أضافت تحسن بالخواص لمنتجات الطباعة وتحسن بالمظهر، إنّ طريقة صناعة القوالب عن طريق الطباعة تتميز بالتوفير الكبير بالكلفة والوقت اللازم لصناعة القالب إلا أنّها لا يمكن أن تستخدم في الأعداد الكبيرة والإنتاج الكمي (الألاف)، لاتزال الأبحاث مستمرة لتطوير آلات الطباعة ومواد الطباعة حيث أصبح من الممكن طباعة المعادن عن طريق الطابعات ثلاثية الأبعاد، وإنّ التطور السريع في مجال النمذجة السريعة سيجعلها تحل محل الصناعة التقليدية في أغلب مجالات الصناعة، مما يعني توفيراً كبيراً بالكلفة والزمن وبسرعة توفير النماذج والأشكال الجديدة للمنتجات وطرحها بالسوق بوقت قصير، مما يجعلها أكثر منافسة في تلبية الحاجات المتزايدة للسوق وبحسب الدراسات المرجعية تخفيض الكلفة والوقت بنسبة 90% عن الصناعة التقليدية لأعداد المنتجات بين 1000 و 5000 منتج.

نهاية المشروع

References:

- [1] V. E. Beal and C. H. Ahren, The Use of Stereo Lithography Rapid Tools in the Manufacturing of Metal Powder Injection Molding Parts, J. of the Braz. Soc. of Mech. Sci. & Eng. Vol. XXVI, No. 1 / 43 , 2004.
- [2] Bojan Banjanin, Gojko Vladić, Consistency analysis of mechanical properties of elements produced by FDM additive manufacturing technology, revista Matéria, 2018, v. 23, no 4.
- [3] Siti Nur Humaira Mazlan, Mohd Rizal Alkahari, Surface Finish and Mechanical Properties of FDM Part After Blow Cold Vapor Treatment, Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences48, Issue 2 (2018) 148-155.
- [4] Al Homsy, Mohammad Zuhair, Encyclopedia of Plastics, Publisher: Damascus House, 1991, Damascus.
- [5] Stratasys Direct Manufacturing-2016, Finishing for FDM and PolyJet.
- [6] Manas Chanda,Plastics Technology Handbook, Fifth Edition, Boca Raton, FL : CRC Press, Taylor & Francis, 2018. | Series: Plastics.
- [7] CHARLES A. HARPER, Timonium, Maryland, HANDBOOK OF PLASTIC PROCESSES, published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, Published simultaneously in Canada, 2006.
- [8] Vannessa Goodship, Bethany Middleton,Handbook of Design and Manufacture of Plastic Components for Multifunctionality, Structural Composites,Injection Molding, and 3D Printing, 2016, www.elsevier.com/permissions.
- [9] Philip E. Mitchell, CMfgT, Handbook Editor, TOOL AND MANUFACTURING ENGINEERS HANDBOOK, PLASTIC PART MANUFACTURING, VOLUME VIII, 1996.
- [10] Dominick V. Rosato, Donald V. Rosato, Matthew V. Rosato, Plastic Product Material and Process Selection Handbook, Publisher: Elsevier Science & Technology Books,2004.
- [11] Janaka chandraguptha rajaguru, 2015, perfactory electroless rapid tool for injection moulding, a thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, The University of Waikato.
- [12] Clayton Neff, Matthew Trapuzzano, Impact of Vapor Polishing on Surface Roughness and Mechanical Properties for 3D Printed ABS, University of South Florida, 2016.
- [13] 3d printing book, 3dprintingindustry.com
- [14] ASTM F42, Additive Manufacturing Technologies, 2009.
- [15] 3D Printing and the Future of Manufacturing, CSC LEADING EDGE FORUM, 2012.

- [16] Kutz M. (ed.) Applied Plastics Engineering Handbook. Processing and Materials [Plastics Design Library Handbook Series, second edition, 2011.
- [17] Mold industry in Syria, <https://syriamold.wordpress.com/>.
- [18] Mehdi Moayyedean, Intelligent Optimization of Mold Design and Process Parameters in Injection Molding, Doctoral Thesis accepted by University of South Australia, Adelaide, Australia, 2019.
- [19] Douglas M. Bryce, Plastic Injection Molding, mold design and construction fundamentals, Volume III: *Fundamentals of Injection Molding* series, 1998.
- [20] David O. Kazmer, Injection Mold Design Engineering, 2nd Edition, Hanser Publishers, Munich, 2016.
- [21] David O. Kazmer, Injection Mold Design Engineering, Publishers, Munich, 2007.
- [22] Herbert Rees, Understanding Injection Mold Design, Distributed in the USA and in Canada by Hanser Gardner Publications, Inc, 2001.
- [23] ABD AL RAHMAN IKHLAS, ELECTRO-CHEMICAL PLATING OF PLASTIC MATERIALS, A Thesis Submitted to the College of Engineering of Nahrain University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Chemical Engineering, 2007.
- [24] K.L.Mittal, Handbook Metallized Plastics Fundamentals and Application, New York, 1993.P 85-110.
- [25] Mallory O, Hajdu JB. Handbook Electroless Plating: Fundamentals and Applications. AESFS: Orlando,FL; 1990.
- [26] K.L. Mittal, editor, Handbook "Metallized Plastics 2: Fundamental and Applied Aspects", Plenum Press, New York, 1991.
- [27] Faiz Redza Ramli, Surface Finish and Mechanical Properties of FDM Part After Blow Cold Vapor Treatment, Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences 48, Issue 2 (2018) 148-155
- [28] K.L. Mittal, editor, Handbook "Metallized Plastics 3: Fundamental and Applied Aspects", Plenum Press, New York, 1992.
- [29] W. Sha, X. Wu and K. G. Keong, Handbook Electroless copper and nickel-phosphorus plating Processing, characterisation and modelling, Woodhead Publishing Limited, 2011.
- [30] W. BIALOJAN M. GEISLER, Plating on Plastic (vacuum metallizing plastic), Hanau, Germany, 1992.
- [31] Sean Derrick, 2013, Use of Polymer Rapid Tools as Functional Injection Mold Tooling, Western Michigan University.

- [32] Jorge Rodriguez, Charles Crouch, 2014, Mold Design for Injection Molding Using Additive Manufacturing, Western Michigan University.
- [33] John Ryan C. Dizon¹, Arnaldo D. Valino, Lucio R. Souza. (2020). 3D Printed Injection Molds Using Various 3D Printing Technologies, Materials Science Forum Vol. 1005, pp 150-156, DOI: [10.4028/www.scientific.net/MSF.1005.150](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1005.150).
- [34] Carrillo, G.; Nuila, C. and Laínez, J. (2020). «Rapid prototyping in the manufacture of 3D printed molds for plastic blowing». Ingenius. N.º 24, (july-december). pp. 28-35. doi: <https://doi.org/10.17163/ings.n24.2020.03>.
- [35] Youssef R. Hassan, El Farahaty, Mohamed A.; Ibrahim, Saber Ibrahim; and Nassar, Mona A. (2019) "Design and producing blowing mold using Additive manufacturing," International Design Journal: Vol. 9: Iss. 4, Article 6.
- [36] Faryar Etesami, Christopher D. Mullens, Ramsey G. Sahli, Improving the Performance of 3D Printed Molds for Plastic Injection Molding, CATA 2019 (EPIc Series in Computing, vol. 58), pp. 438-443
- [38] 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.
- [39] Kensuke Takagishi¹ & Shinjiro Umezu, Development of the Improving Process for the 3D Printed Structure, 2016, Scientific Reports | 7:39852 | DOI: [10.1038/srep39852](https://doi.org/10.1038/srep39852).
- [40] 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.
- [41] Sharon Olivera, Handanahally Basavarajaiah Muralidhara, 2016, Plating on acrylonitrile–butadiene–styrene (ABS) plastic: a review, Article in Journal of Materials Science .
- [42] Dong Ho Kang and Jin Chul Choi, 2010, An Environment-Friendly Surface Pretreatment of ABS Plastic for Electroless Plating Using Chemical Foaming Agents, Department of Physics, Yonsei University, Wonju, Korea.
- [43] Zenglin Wang, Zhixin Li, Yue He, Study of an Environmentally Friendly Surface Etching System of ABS for Improving Adhesion of Electroless Cu film, Journal of The Electrochemical Society, 158 (11) D664-D670 (2011).
- [44] Wang Xu, Miao Zhuang, Zhang Cheng, Environmentally Friendly Copper Metallization of ABS by Cu-Catalysed Electroless Process, Science Direct, Rare Metal Materials and Engineering, 2016, 45(7): 1709-1713.

- [45] Azhar Equbal, Asif Equbal, A.K.Sood, Metallization on FDM Processed Parts Using Electroless Procedure, Department of Manufacturing Engineering, NIFFT, Ranchi, India, 2014.
- [46] Pimpan DECHASIT, Ni Electroless Plating of ABS Polymer by Palladium and Tin-free Process, Journal of Metals, Materials and Minerals, Vol.21 No.2 pp.19-27, 2011.
- [47] Mohit Garg, Dr. N.M. Suri, PLATING OF ABS PLASTIC SUBSTRATE: A REVIEW, National Institute of Technical Teachers Training & Research, Chandigarh, India (ESHM-17) gr June 2017, www.conferenceworld.in, ISBN: 978-94_86171-269
- [48] Azhar Equbal, Anoop Kumar Sood, Electroless metallisation of ABS plastic: a comparative study, International Journal of Rapid Manufacturing · January 2015, DOI: [10.1504/IJRAPIDM.2015.074806](https://doi.org/10.1504/IJRAPIDM.2015.074806).
- [49] Takishe Bessho, pretreatment of Nichel plating ASA Resin Using ozonated water as replacement for chromic Acid Etching, research paper, vol 57. No 9, 2006.
- [50] O.O. Ajibola, Evaluation of Electroless-Nickel Plated Polypropylene under Thermal Cycling and Mechanical Tests , Federal University Oye Ekiti , Oye Ekiti 371104 , Nigeria , Published by Faculty of Engineering , Vol. 38, No. 3 (2016) 412-424.
- [51] INAM UL-HAQUE, S. AHMAD AND A. KHAN, 2005, Electroless Nickel Plating on ABS Plastics from Nickel Chloride and Nickel Sulfate Baths, Lahor University.
- [52] 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).
- [53] M. Selvam, Electroless silver deposition on ABS plastic using Co (II) as reducing agent, Institute of Metal Finishing Published by Maney on behalf of the Institute, 2010, DOI [10.1179/002029610X12694310988964](https://doi.org/10.1179/002029610X12694310988964).
- [54] M. Bazzaoui, J.I. Martins, A simple method for acrylonitrile butadiene styrene metallization, Surface & Coatings Technology 224 (2013) 71–76.
- [55] Canan Uraz, ELECTROLESS NICKEL PLATING ON ABS PLASTIC BY USING ENVIRONMENTALLY FRIENDLY CHEMICALS, International Conference on Technology, Engineering and Science(ICONTES), 2017 Published by ISRES Publishing: www.isres.org.
- [56] Canan Uraz, Electroless Cu Plating on ABS Plastic by Using Environmentally Friendly Chemicals , Dokuz Eylul University-Faculty of Engineering , Journal of Science and Engineering, Volume 20, Issue 59, May, 2018.

- [57] The Hong Kong Polytechnic University Industrial Centre, Surface Finishing, IC Professional Training, 2012.
- [58] Vineet Pandey, Copper Plating on ABS plastic, International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), Volume: 03 Issue: 04 | Apr-2016, www.irjet.net.
- [59] Atsushi Ishikawa, Taiki Kato, Selective Electroless Plating of 3D-Printed Plastic Structures for Three-Dimensional Microwave Metamaterials, Department of Electrical and Electronic Engineering, Okayama University, 3-1-1 Tsushimanaka, Kitaku, Okayama 700-8530, Japan.
- [60] Azhar Equbal, Anoop Kumar Sood, Investigations on metallization in FDM build ABS part using electroless deposition method, Journal of Manufacturing Processes 19 (2015) 22–31
- [61] Heng Zhang, Zhixin Kang, Surface metallization of ABS plastics for nickel plating by molecules grafted method, [Science Direct](#), Surface & Coatings Technology 340 (2018) 8–16.
- [62] ASTM D3359 – 09'2, Standard Test Methods for Measuring Adhesion by Tape Test1, 2010.
- [63] Al-Asaad Mahmoud, Makki Al-Mohanned, Studying the effect of planning filling paths and filling ratio in 3D printing using FDM technology for PETG On the property of specific resistance and the total cost of printed pieces, Al-Baath University Journal of Medical, Engineering, Basic and Applied Sciences, 2018.
- [64] ANDREI ZWETSCH CAVALHEIRO, Influence of molding parameters on the structure and property of thick and thin walled isotactic polypropylene parts injected in prototype molds manufactured by epoxy resin casting, FEDERAL UNIVERSITY OF SANTA CATARINA, to obtain the degree of DOCTOR IN MECHANICAL ENGINEERING, 2007.
- [65] Luiz Alberto Cesar Teixeira, Surface conditioning of ABS for metallization without the use of chromium baths, Journal of Materials Processing Technology 170 (2005) 37–41.
- [66] B. Luan, M. Yeung, W. Wells, X. Liu, Chemical surface preparation for metallization of stereolithography polymers, [Elsevier Science](#), Applied Surface Science 156 2000 26–38.
- [67] Luc Chevalier, On Induced Properties and Self Heating during Free Blowing of PET Preform, International Polymer Processing Journal of the Polymer Processing Society · July 2019, DOI: [10.3139/217.3759](https://doi.org/10.3139/217.3759).

- [68] S. Karthikeyan, T. Vasudevan, K.N. Srinivasan & S. John, Studies on Formaldehyde-free Electroless Copper Deposition, Plating & Surface Finishing • July 2002.
- [69] Tanu Sharma, Properties of electroless Cu films optimized for horizontal plating as a function of deposit thickness, Contents lists available at [ScienceDirect](#), Microelectronic Engineering 140 (2015) 38–46.
- [70] Azhar Equbal, Electroless Plating on Plastic, International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 4, Issue 8, August-2013.
- [71] 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.
- [72] Azhar Equbal * and Anoop kumar Sood, Metallization on FDM Parts Using the Chemical Deposition Technique, Journal of Coatings 2014, 4, 574-586; [doi:10.3390/coatings4030574](#).
- [73] Ruchi Karania, Low Volume Plastics Manufacturing Strategies, Journal of Mechanical Design, 2007, Vol. 129 / 1225.

Abbreviation:

RT: rapid tooling

AM: Addictive Manufacturing

RP: Rapid Prototyping

RE: reverse engineering

CAD: Computer Aided Design

ABS: Acrylonitrile butadiene styrene

HDPE: High-density polyethylene

RHDPE: Recycled high density polyethylene

MFI: Melt flow index \

PLA: Polylactide or po\ly (lactic acid)

SL: Stereolithography

SLS. Selective laser sintering

SLM: Selective Laser Melting

FDM: Fused deposition modelling

FFF: Fused filament fabrication

Riprap: Self-replicating rapid prototype

PVD: Physical Vapor Deposition

TP: THERMOPLAST

TS: THERMOSETS

EP: Epoxy

PET: Poly (ethylene terephthalate)