Journal of
Design Sciences and Applied Arts

"تفعيل الطباعة ثلاثية الأبعاد فى تشكيل الزجاج باستخدام النموذج الشمعي"

وليد فاروق على [١] وليد أنسي الحمامصى [٢] هاجر سعيد حفناوى [٣]

١ باحث دكتوراه
٢ أستاذ مساعد بقسم الزجاج - كلية الفنون التطبيقية – جامعة حلوان .
٣ أستاذ مساعد بقسم الزجاج - كلية الفنون التطبيقية – جامعة حلوان.

Submit Date: 2023-09-11 21:50:37 | Revise Date: 2024-08-01 01:33:18 | Accept Date: 2024-09-13 12:41:07

DOI: 10.21608/jdsaa.2024.235408.1377

ملخص البحث:-

لعبت الطباعة ثلاثية الأبعاد دورًا بارزًا في تطوير المنتجات، عبر النماذج الأولية "الشمعية"، وذلك من خلال اختبار الوظائف المختلفة للمنتج، ما منح المصممين والشركات فرصة إجراء تغييرات كاستجابة لعمليات الاختبار والتقييم، حتى يفي باحتياجات المستخدمين، ويتوافق مع متطلبات السوق. ويمثل النموذج الشمعي المنفذ بالطباعة ثلاثية الأبعاد، دورًا هامشيًا في تصنيع المنتج الزجاجي، حيث يعتمد الزجاج على الطباعة ثلاثية الأبعاد في تصميم وإنتاج قوالب معدنية تستخدم في تشكيل الزجاجية، دون استغلال النموذج الشمعي في العملية الإنتاجية.

الكلمات المفتاحية:-

الزجاج – الطباعة ثلاثية الأبعاد – التصنيع بالإضافة – البلمرة الضوئية – نظم CAD/ CAM

المقدمة:

تعد الطباعة ثلاثية الأبعاد أو التصنيع بالإضافة عملية إنتاج أجسام صلبة من ملف رقمي ثلاثي الأبعاد منفذ من خلال برامج النمذجة CAD، والتي اتجهت إليها الشركات الصناعية، لتصميم وإنشاء نماذج أولية افتراضية، تسهم في تطوير المنتج، وتتيح إمكانية اختبار حركته وملاءمته وقيامه بالوظائف المختلفة، ما يسمح للمصممين بإجراء تغييرات استجابة للاختبار والتقييم، بما يفى باحتياجات المستخدمين، ويتوافق مع متطلبات السوق.

في حين يعد النموذج الأولي "النموذج الشمعي" تمثيلًا ماديًا للتصميم المقترح للمنتج الزجاجي في شكل ثلاثي الأبعاد، ووسيلة لتوضيح الفكرة واختبارها إرجونوميًا وتحسين أداءها الوظيفي، كما يمثل حلقة الوصل بين التصميم والمنتج النهائي، ويمكن أن يدخل النموذج الشمعي كمرحلة وسيطة في إنتاج وتشكيل الزجاج كميًا، حيث يعتمد تشكيل الزجاج على الطباعة ثلاثية الأبعاد في تصميم وإنتاج قوالب معدنية تستخدم في تشكيل المنتجات الزجاجية، دون استغلال النموذج الشمعي في العملية الإنتاجية.

ومن ثم يحاول البحث الكشف عن إمكانية توظيف النموذج الشمعي المنفذ بالطباعة ثلاثية الأبعاد، كجزء من العملية الإنتاجية لتشكيل المنتج الزجاجي.

مشكلة البحث : تكمن مشكلة البحث في الكشف عن إمكانية توظيف "النموذج الشمعي" المنفذ بالطباعة ثلاثية الأبعاد في إنتاج وتشكيل الزجاج.

هدف البحث: توظيف النموذج الشمعي المنفذ بالطباعة ثلاثية الأبعاد في إنتاج وتشكيل الزجاج.

أهمية البحث : وتكمن أهمية البحث في :-

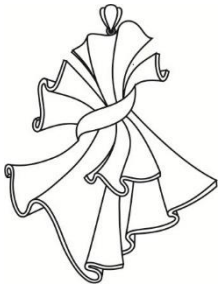
- الكشف عن وظائف الطباعة ثلاثية الأبعاد وتطبيقاتها في مجال الزُجاج.
- إثراء الدراسات العلمية الخاصة بتصميم وتشكيل الزُجاج.
- يسهم البحث في تنمية المشروعات الزُجاجية الصغيرة.

فرض البحث: أن توظيف "النموذج الشمعي" المنفذ عبر الطباعة ثلاثية الأبعاد، في إنتاج وتشكيل الزجاج، يسهم في إنتاج منتجات معقدة التشكيل بصور تكرارية وكمية.

وينقسم البحث إلى عدة محاور، تشمل:

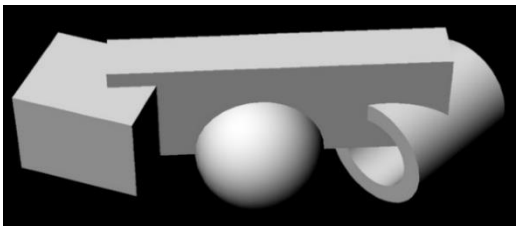
المحور الأول: تصميم الزجاج من خلال برامج التصميم ثلاثية الأبعاد:

تُستخدم برامج التصميم ثلاثية الأبعاد في تصميم المنتج الزجاجي من خلال مجموعة من البرامج من بينها Rhino و Matrix ، وتبدأ عملية التصميم بإنشاء رسومات خطية ثنائية الأبعاد للمنتج، كما في شكل (١) تُعرف هذه العملية باسم "Drafting "، ثم تحول الخطوط ثنائية الأبعاد إلى نموذج ثلاثي الأبعاد، وتعد مرحلة النمذجة هي أهم مرحلة في عملية التصميم، حيث يُنشئ المستخدم تمثيل ثلاثي الأبعاد للمنتج. (إبراهيم – ٢٠٠٧).

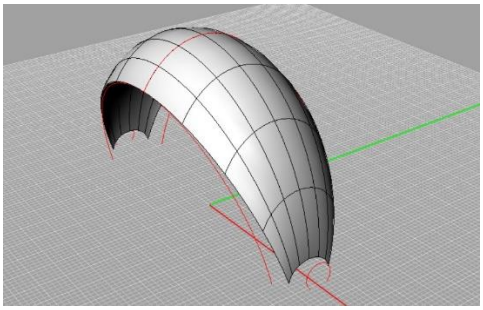


شكل (١) رسم تخطيطي ثنائي الأبعاد لقطعة زجاجية مصممة على برامج التصميم CAD – من تصميم الباحث

تتمتع برامج التصميم ثلاثية الأبعاد باستخدام أساليب مختلفة في بناء وتشكيل النموذج الأولي للمنتج، من بينها نمذجة الأشكال المصمتة Solid Modeling ، والتي تتضمن أشكالًا هندسية متنوعة كالدائرة، والمربع, والمستطيل، تعمل بأسلوب الجمع والطرح، والموضح في شكل (٢)، بينما يتمتع أسلوب Surface Modeling بحرية أكبر في بناء الأشكال، حيث يعتمد تكوين الشكل على بناء مخطط تفصيلي وفقًا للمنتج، مع قابليتها للتحول من نموذج مفرغ إلى نموذج مصمت، كما في شكل (٣)، وكلا الأسلوبين في التصميم يمكن استعراضهما كمنتج نهائي ثلاثي الأبعاد افتراضي، ولاتمام عملية الطباعة يحفظ التصميم بملف جديد بامتداد STL ليكن قابلًا للطباعة كنموذج أولي واقعي، من خلال طابعات ثلاثية الأبعاد. (أحمد، ٢٠٠٤).



شكل (٢) بناء الأشكال من خلال أسلوب Solid Modeling – من تصميم الباحث



شكل (٣) أسلوب نمذجة Surface Modeling يعتمد على مخطط تفصيلي للشكل – من تصميم الباحث

تسهم النمذجة الأولية للمنتج الزجاجي في نقل التفاصيل الدقيقة ثلاثية الأبعاد، بالإضافة إلى اختبار الوظيفة الاستخدامية، حيث اعتمدت النمذجة الأولية في تصميم المنتجات بصفة عامة، على توظيف النموذج الشمعي ضمن مراحل دورة حياة المنتج، والتي أدت إلى دمج أكثر من خطوة إنتاجية، بالإضافة إلى الدقة الفائقة في تنفيذ القطع، وتوفير الوقت والجهد مقارنة بالطرق التقليدية.

-نظم CAD: وتمثل التصميم بمساعدة الكمبيوتر؛ وهي برامج تصنع نماذج افتراضية للمنتجات المخطط تنفيذها لاحقًا.

- نظم CAM: وتمثل التصنيع بمساعدة الكمبيوتر؛ البرامج التي توجه التصنيع الفعلي للمنتج من خلال طباعة ثلاثية الأبعاد، أو تصنيع يتم التحكم فيه رقميًا (NC) .

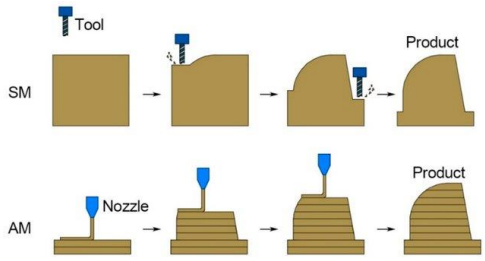
تقوم برامج التصنيع بمساعدة الكمبيوتر، بطباعة المنتج الذي تم تصميمه عبر نظم CAD إما من خلال طابعات ثلاثية الأبعاد في صورة نموذج من الشمع يدخل كوسيط في العملية الإنتاجية للوصول للمنتج النهائي، أو من خلال ماكينات CNC فى صورة قوالب معدنية تستخدم في تنفيذ المنتج النهائي. (كامل، ٢٠١٩).

ثانيًا: عمليات التصنيع بالكمبيوتر:

تعتمد عملية التصنيع باستخدام الكمبيوتر على اتجاهين أساسيين: الاتجاه الأول: (التصنيع بالإزالة أو التصنيع الطرحي) فيما يعرف التشكيل الميكانيكي الرقمي CNC Milling ، والاتجاه الثاني (التصنيع بالإضافة) فيما يعرف باسم الطباعة ثلاثية الأبعاد 3D Printing. والموضحة في شكل (4). (Yubo T.- 2020).

-التصنيع الطرحي Subtractive Manufacturing:
يستخدم في تشكيل النماذج الأولية من خلال عملية الطرح من القوالب الشمعية عبر مخارط يتم التحكم فيها رقميًا ، أو من خلال تصنيع قوالب تشكيل من الطرح والحفر على المعادن المختلفة، كالزهر والاستيل ستيل، ويتم ذلك من خلال ماكينات CNC.

- التصنيع بالإضافة Additive Manufacturing:
يستخدم في تنفيذ الأشكال المعقدة، والتي يصعب تنفيذها بالطرق التقليدية، من خلال تكوين الشكل عبر طبقات فوق بعضها، طبقة تلو الأخرى من المادة الراتنجية، باستخدام طابعة ثلاثية الأبعاد، وتنفذ المنتجات بصورة مباشرة وفقًا لأشكال مصممة عبر برامج التصميم ثلاثية الأبعاد، والموضحة في صورة (١)، وتتضمن تقنيات التصنيع بالإضافة، تقنية الطباعة الحجرية المجسمة (SLA)، وتقنية نمذجة الترسيب المنصهر (FDM)، وتقنية الاندماج الجزئي بالليزر (LM) والتلبيد الانتقائي بالليزر (SLS).



شكل (4) رسم إيضاحي للفرق بين التصنيع بالطرح باستخدام ماكينات الخراطة CNC Milling والتصنيع بالإضافة باستخدام ماكينات الطباعة الرقمية ثلاثية الأبعاد ٣D Printing

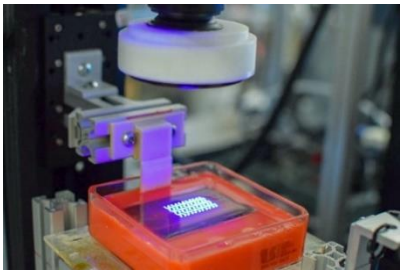
صورة (١) نماذج شمعية لمفردات من الحلي منفذ بالتصنيع بالإضافة عبر الطباعة ثلاثية الأبعاد

المحور الثاني: عمليات التصنيع بالإضافة والطباعة ثلاثية الأبعاد:

تسهم تقنيات التصنيع بالإضافة، في إمكانية تصنيع الأشكال الأخف وزنًا والأكثر تعقيدًا، وتوجه من خلال تصميمات منفذة عبر برامج التصميم ثلاثية الأبعاد، لتشكيل طبقات فوق بعضها، طبقة تلو الأخرى، حتى تصنيع النماذج الأولية ثلاثية الأبعاد.

طورت الجمعية الأمريكية للاختبار والمواد مجموعة من المعايير التي تصنف عمليات التصنيع بالإضافة من بينها **"البلمرة الضوئية Vat Photopolymerisation ".**

تعد "البلمرة الضوئية، أقدم تقنيات التصنيع بالإضافة، والتي تختص بتشكيل أجسام ثلاثية الأبعاد، من خلال المعالجة الانتقائية لمواد راتنجية سائلة، بتعريضها لضوء الأشعة فوق البنفسجية، الذي يقوم بتقوية طبقة رقيقة من الراتينج السائل، لتكوين طبقة صلبة، بينما تقوم منصة التشكيل بتحريك الشكل الذي يتم إنشاؤه إلى أسفل بعد معالجة كل طبقة متتالية، صورة (٢).



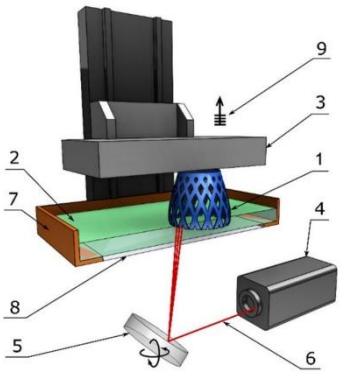
صورة (٢) تقنية البلمرة الضوئية لتشكيل أجسام ثلاثية الأبعاد - https://www.vt.edu

أكثر تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد للبلمرة الضوئية شيوعًا:

تصنف البلمرة الضوئية فيما يتعلق بطريقة المعالجة، والتي تستخدم الليزر (SLA)، والإسقاط الرقمي (معالجة الضوء الرقمي (DLP))، والصمامات الثنائية الباعثة للضوء (LEDs) والأكسجين (المعالجة الرقمية المستمرة للضوء (CDLP)، (d.- 2022).

- الطباعة الحجرية المجسمة (SLA) Stereolithograph:

تعد الطباعة الحجرية المجسمة، أو" استيريو ليثوجرافي "، أقدم أشكال التصنيع بالإضافة، حيث تصنع أجسام ثلاثية الأبعاد عن طريق ترسيخ المادة الراتنجية السائلة بشكل انتقائي من خلال تفاعل البلمرة الضوئية، وبناء الأشكال طبقة تلو الأخرى، شكل (5). (Pagac- ٢٠٢١).



شكل (5) مكونات جهاز SLA النموذجي: ١ - الجزء المطبوع، ٢ - الراتينج السائل، ٣ - منصة البناء، ٤ - مصدر الليزر للأشعة فوق البنفسجية، ٥ - مرآة عاكسة رقمية XY، 6 - شعاع الليز ، ٧ - خزان المادة الراتينجية، ٨ - النافذة، و٩ — طبقات الطباعة - (Pagac- ٢٠٢١)

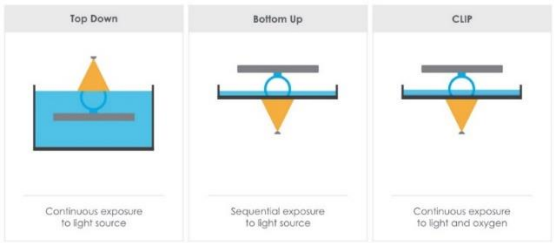
أساليب الطباعة ثلاثية الأبعاد:

تؤثر طريقة تكوين الشكل عبر الطباعة ثلاثية الأبعاد بصورة مباشر على إنتاجية العملية وموثوقيتها، وتتضمن طريقة تكوين الشكل أسلوبين، الطباعة من أعلى إلى أسفل، والطباعة من أسفل إلى أعلى، ويمكن أن يحقق اتجاه تكوين الشكل من "أسفل إلى أعلى" دقة أفضل ومعدل تكوين أعلى الشكل، والموضحة في الشكل (٦) والشكل (٧).- Frey (2017)

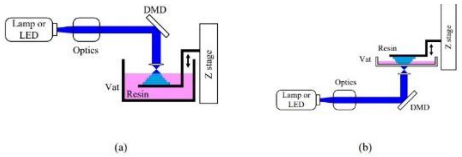
- **أسلوب الطباعة من الأسفل إلى الأعلى:** وفيه تتم معالجة المادة الراتينجية من خلال نافذة في وعاء المادة الراتنجية بواسطة مصدر ضوء من الأسفل، حيث يتم رفع منصة التشكيل من الوعاء، ومن الضرورة إجراء خطوة "تقشير" بين كل طبقة لفصل المادة المعالجة من قاع الحوض، وتمثل خطوة "التقشير" الجزء الأبطأ في عملية الطباعة الحجرية المجسمة SLA مع معظم مصادر الضوء الحديثة. (Frey -2017)
- **أسلوب الطباعة من أعلى إلى أسفل:** وفيه تتم معالجة المادة الراتينجية بمصدر ضوء أعلى الوعاء المحتوي على المادة الراتنجية، حيث يتم إنزال منصة التشكيل إلى الوعاء، و يعتمد هذا الأسلوب على التعرض المستمر للضوء (مثل الفيلم) لمعالجة الراتنج، ويمكنه تحقيق سرعات طباعة بفعل انعدام خطوة "التقشير."

أسلوب الإنتاج المستمر للواجهة السائلة (CLIP):
وفيه يتم معالجة المادة الراتينجية من خلال طبقة نفاذة للأكسجين في قاع الحوض بواسطة مصدر ضوء من الأسفل، حيث تمنع طبقة الأكسجين الموجودة فوق النافذة الراتنج من الالتصاق بالوعاء. (Pagac- ٢٠٢١).

-



شكل (٦) أنماط اتجاهات طرق التشكيل في الطباعة ثلاثية الأبعاد – (Frey -2017)



شكل (٧) مقارنة (A) الطباعة الحجرية المجسمة المعتمدة على تكوين الشكل من أعلى إلى أسفل ؛ (B) الطباعة الحجرية المجسمة المعتمدة على تكوين الشكل من أسفل إلى أعلى Farzad (2014)

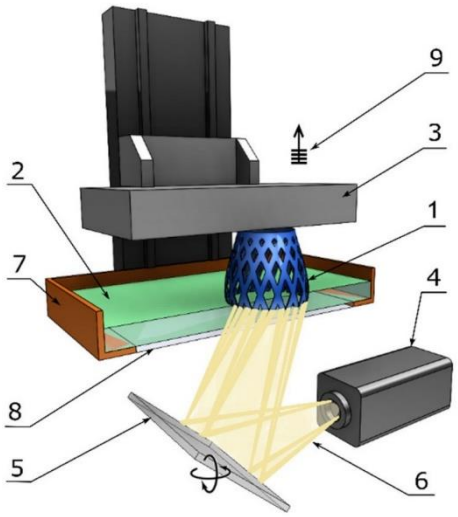
يوضح الشكل (٧)- (A) تقنية الطباعة الحجرية المجسمة المعتمدة على طريقة تكوين الشكل من "أعلى إلى أسفل"، حيث يُكون الشكل من خلال تصلب المادة الراتنجية طبقة تلو الأخرى، باستخدام شعاع ليزر يتحكم فيه من خلال جهاز عرض ضوئي رقمي، وبعد معالجة الطبقة الأولى، تُحرك

المنصة لأسفل، وإعادة تعريض السطح للمادة الراتنجية السائلة مرة أخرى، ومن ثم تتكرر هذه العملية حتى يتم الانتهاء من تكوين الجسم الصلب بالكامل.

يوضح الشكل (٧)- (B) تقنية الطباعة الحجرية المجسمة المعتمدة على طريقة تكوين الشكل من "أسفل إلى أعلى"، تستخدم أنظمة SLA المطورة جهاز المرآة الدقيقة الرقمية DMD كمصدر للضوء، ويكون هذا المصدر تحت وعاء الراتنج، نتيجة لذلك، يسقط الضوء على لوح شفاف يمثل الجزء السفلي من وعاء الراتينج من الأسفل، حيث تُغمس المنصة في الراتنج من الجزء العلوي، ويتم معالجة الطبقة الأولى في الفجوة بين المنصة وقاع الحوض ويتم لصقها بالمنصة، بعد تصنيع كل طبقة، تتحرك المنصة أولاً لأعلى بمقدار h ثم تنخفض لأسفل لسمك الطبقة h ، حيث تتدفق المادة الراتينجة إلى الفجوة مرة أخرى، لبناء الطبقة التالية.

- **معالجة الضوء الرقمي Digital Light Processing (DLP):**

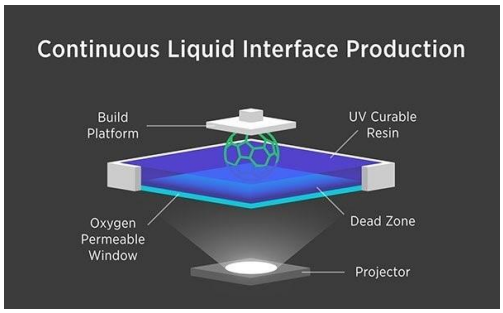
تقوم هذه التقنية بتشكيل النماذج ثلاثية الأبعاد بالطريقة نفسها التي تعمل بها تقنية "ستيريوليثجرافي" SLA، وبدلًا من استخدام الليزر، تستخدم شاشة جهاز عرض ضوئي رقمي، تومض صورة واحدة لكل طبقة وتصلب الأجزاء المرادة مرة واحدة، شكل (٨). -(٢٠٢١ -Pagac)



شكل (٨) مكونات جهاز DLP النموذجي: ١ - الجسم المطبوع، ٢ – المادة الراتنجية السائلة، ٣ - منصة البناء، ٤ - مصدر الضوء، ٥ - جهاز العرض الرقمي، ٦ - شعاع الضوء، ٧ - خزان المادة الراتنجية، ٨ - النافذة، و ٩ – طبقات الطباعة -(٢٠٢١ -Pagac)

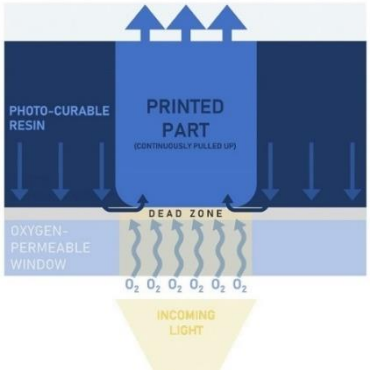
تقنية الواجهة السائلة المستمرة Continuous Liquid Interface Production

تعد تقنية إنتاج الواجهة السائلة المستمر(CLIP) كما الشكل (٩) ، والتي تعرض فيها المادة الراتنجية السائلة لضوء الأشعة فوق البنفسجية حتى يتصلب مكونًا الشكل المطلوب، وتختلف CLIP عن SLA وDLP ، في أنها عملية مستمرة ومتصلة في بناء وتكوين الأشكال، حيث تزيل الخطوات المنفصلة لتقنيات الطباعة السابقة.



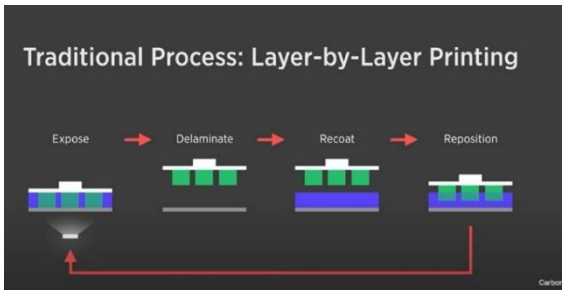
شكل (٩) رسم تخطيطي مبسط للمكونات الوظيفية لطابعة CLIP - Kslow (2016)

تتكون أرضية وعاء المادة الراتنجية السائلة من غشاء شفاف يسمح بمرور كل من الضوء الوارد والأكسجين إلى المادة الراتنجية، بينما لا تتم معالجة الراتينج "المؤكسد" في وجود الضوء ويشكل ما يسمى بـ "المنطقة الميتة"، ويعد الغشاء الشفاف القابل للنفاذ، المكون الرئيسي لتقنية CLIP نظرًا لأن الجزء يتم رفعه ببطء من الوعاء، فإن المنطقة الميتة السائلة تسمح للمادة الراتنجية بالتدفق أسفل الجزء بمعدل ثابت مع منعه من المعالجة على النافذة، ثم يعالج الضوء الوارد المادة الراتينجية خارج المنطقة الميتة حيث يتم سحب الجزء لأعلى، مما يؤدي إلى تكوين أجسام مطبوعة ثلاثية الأبعاد، شكل (١٠).Kslow (2016)

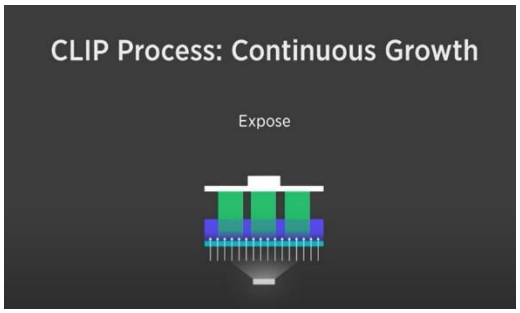


شكل (١٠) : يوضح المقطع العرضي عن قرب للواجهات بين الوعاء والمادة الراتنجية، يلاحظ المنطقة الميتة، وكذلك تدفق الأسهم من الراتنج إلى الجزء المطبوع -Kslow (2016)

ويكمن مفهوم هذه التقنية في وجود طبقة منفذة للأكسجين تخلق منطقة "ميتة" أسفل الجزء (المعروف باسم واجهة السائل الثابتة)، مما يسمح بمعالجة مستمرة حيث يتم بناء الشكل من المادة الراتنجية، بصورة مستمرة بدلاً من نهج "طبقة تلو طبقة"، وتزود هذه التقنية بجهاز عرض رقمي لعرض تسلسل متغير للصورة المقطعية للنموذج ثلاثي الأبعاد، مما يؤدي إلى طباعة الجسم بدون طبقات، والموضحة في شكل (١١)، وشكل (١٢).Kslow (2016)



شكل (١١) تقنيات الطباعة التي تعتمد على بناء الشكل بأسلوب طبقة تلو الأخرى - Kslow (٢٠١٦)



شكل (١٢) بناء الشكل بأسلوب تقنية الإنتاج المستمر للواجهة السائلة - Kslow (٢٠١٦)

المحور الثالث: مراحل إنتاج الزجاج بالطباعة ثلاثية الأبعاد عبر النماذج الشمعية.

تتضمن مراحل إنتاج نماذج شمعية " نموذج أولي للمنتج الزجاجي" من خلال الآتي:

- وضع فكرة التصميم للقطعة الزجاجية.
- تنفيذ الفكرة التصميمية على برامج التصميم ثلاثي الأبعاد مثل الرينو والماتريكس، لتحويل الفكرة في إطار نموذج تصوري.
- في حالة طباعة "نموذج الشكل" تحول بيانات التصميم إلى امتداد ملف STL وتحول للطباعة عبر الطابعات ثلاثية الأبعاد، وفي حالة طباعة "قالب الشكل" تحول بيانات الملف لامتداد لتكون قابلة للطباعة عبر الطابعات ثلاثية الأبعاد.
- طباعة التصميم خلال طابعة ثلاثية الأبعاد للحصول على نموذج شمعي، مع تنظيفه وتشطيبه، وفصله من الدعامات الملتصقة به خلال عملية الطباعة.
- يوظف النموذج الشمعي في مراحل الإنتاج، عبر إعادة تشكيل الزجاج حراريًا في الأفران الكهربائية المغلقة، حيث يصب قالب حراري من الجبس على النموذج الشمعي، ثم ملئ القالب الحراري بكسر الزجاج، وصهره بتقنية kiln casting.
- حفر التصميم على ماكينات CNC للحصول على "قالب معدني" يستخدم في الحصول على منتج كمي تكراري، من خلال تقنيات تشكيل الزجاج المختلفة، مثل النفخ والصب.

أبرز تطبيقات استخدام أنظمة CAD/CAM في الزجاج تعتمد على توظيف التصميم CAD في إنتاج قوالب من المعادن المختلفة لإنتاج الزجاج، حيث لا يمكن توظيف النماذج الشمعية كمرحلة وسيطة في إنتاج المنتج الزجاجي، كما يحدث في بعض تقنيات إنتاج المعادن، حيث توظف النماذج الشمعية في إنتاج المشغولات الذهبية على سبيل المثال، من خلال ما يسمي بالتشجير وعبر تقنية الشمع المفقود، ويرجع ذلك إلى الاعتقاد في صعوبة توظيف النماذج الشمعية في إنتاج الزجاج بصورة مباشرة. (إبراهيم – ٢٠١٨).

يمكن توظيف النموذج الشمعي المنفذ عبر الطباعة ثلاثية الأبعاد، بصورة مباشرة في إنتاج القطعة الزجاجية، من خلال تقنية "الشمع المفقود Lost Wax " داخل الأفران الكهربائية المغلقة، ومن خلال الخطوات التالية.

مراحل التنفيذ:

- بناء النموذج الأولي للفكرة التصميمية عبر برامج التصميم ثلاثية الأبعاد.
- طباعة النموذج الشمعي للمفردة الزجاجية من خلال طابعة ثلاثية الأبعاد.
- توظيف النموذج الشمعي في تنفيذ المنتج الزجاجي عبر إعادة تشكيل الزجاج حراريًا في الأفران الكهربائية المغلقة بتقنية "الشمع المفقود"، من خلال إضافة دعامات من الشمع supporting أسفل وعلى جوانب التصميم، حيث تمثل هذه الدعامات قنوات لخروج الشمع عند إذابته في درجات الحرارة، ومدخل للزجاج المنصهر.
- تثبيت النموذج الشمعي داخل قالب معدني، لصب قالب الجبس الحراري على النموذج الشمعي، ووضعه داخل فرن كهربي، وتسخينه لإذابة الشمع، وتكوين فراغ يمثل شكل المنتج الزجاجي النهائي.
- بعد إذابة الشمع، يوضع كسر الزجاج داخل القالب، وإعادة تشكيله حراريًا عند ٨٥٠ درجة مئوية.
- تبريد الزجاج بعد إنتهاء عملية الصهر.
- إخراج المنتج الزجاجي، وإزالة الجبس من على المنتج، ثم تشطيبه، مع التأكد من عدم وجود أي زوائد تضر المستخدم خلال الاستخدام.

صورة (٣) توظيف النموذج الشمعي المنفذ عبر الطباعة ثلاثية الأبعاد باستخدام تقنية الشمع المفقود في إنتاج وتشكيل الزجاج -https://n-e-r-v-o-u-s.com

النتائج:

- إمكانية توظيف النموذج الشمعي المنفذ بالطباعة ثلاثية الأبعاد في إنتاج وتشكيل الزجاج.

التوصيات:

- ضرورة التوسع في تطبيقات الطباعة ثلاثية الأبعاد في تشكيل وإنتاج الزجاج.

أولًا: المراجع العربية:

١- أحمد، عصام عودة- (٢٠٠٤)- **"الأبعاد الفلسفية والإجرائية في تصميم وبناء العينة الأولي في جمال التصميم الصناعي"**، رسالة دكتوراه، كلية الفنون التطبيقية، ٢٠٠٤.

٢-إبراهيم، شيماء سلامة – (٢٠١٨)– تنمية القدرة الإبتكارية لمصمم الزجاج في تصميم منتجاته باستخدام برنامج الرينو – بحث منشور- العدد العاشر- مجلة العمارة والفنون.

٣-إبراهيم، وسام أنسي – (٢٠٠٧)- **إعداد قاعدة علمية لبناء وتقيم النموذج الأول لتحقيق المتطلبات التصميمية والإنتاجية المتقدمة في المنتجات المعدنية** – رسالة دكتوراه – كلية الفنون التطبيقية – جامعة حلوان.

٤-كامل، دينا سعيد- (٢٠١٩)، **"منهجية لتصميم وتنفيذ الحلي الزجاجية باستخدام الحاسب"** - رسالة دكتوراه، غير منشورة- قسم الزجاج - كلية الفنون التطبيقية - جامعة حلوان .

٥-محمد، كندة درويش(٢٠٠٥) – **تطويع نظم الكاد كام CAD/CAM لتصميم وإنتاج عبوات المنتجات الزراعية لتعظيم القدرة التصديرية** – رسالة دكتوراه – كلية الفنون الطبيقية - جامعة حلوان.

ثانيًا: المراجع الأجنبية:

٦- A. Al Rashid, S.A. Khan, S.G. Al-Ghamdi, M. Koç -(2020)- **Additive manufacturing: technology, applications, markets, and opportunities for the built environment** - Autom. Constr .

٧ -A.T. Cullen, A.D. Price- (2019) - **Fabrication of 3D conjugated polymer structures via vat polymerization additive manufacturing** -Smart Mater. Struct.

٨ -B. Yilmaz, A. Al Rashid, Y. Ait, Z. Evis, M. Koç -(2021) -**Bioprinting: a review of processes, materials and applications Bioprinting.**

٩-Farzad L., Zhou C., Zhou S., Sonjoy D. – (٢٠١٤) **Separation Force Analysis based on Cohesive Delamination Model for Bottom-up Stereolithography Using Finite Element Analysis-** Conference: Solid Freeform Fabrication Symposium.

١٠- Pagac P., Jiri O**.,** (2021) **- A Review of Vat Photopolymerization Technology: Materials, Applications, Challenges, and Future Trends of 3D Printing-** Applications of 3D Printing for Polymers-MDPI.

11-Yubo T., Qing Y. and Peng L.,- (2020) **An Additive Manufacturing Method Using Large-Scale Wood Inspired by Laminated Object Manufacturing and Plywood Technology-** MDPI journals – Switzerland.

Web sites:

12-Ed Edwards - **Types of 3D Printing Technologies-**articles thomas company :www.thomasnet.com.(5/12-20٢2).

Web sites:

13- Frey S. – (2017) - Bottom-Up vs Top-Down vs CLIP 3D Printing –URL: https://theorthocosmos.com – (05-11-2022)

14- Kslow T. (2016)- **Carbon Finally Unveils First Commercial CLIP 3D Printer – Article - :https://3dprintingindustry.com/news/carbon3d-finally-unveils-first-commercial-clip-3d-printer-75675/-(06-02-2021).**

15- What is Carbon Digital Light Synthesis?:URL:https://www.carbon3d.com – (02/10/2021).

16- DREAMS Lab- Novel Additive Manufacturing Processes- Vat Photopolymerization-URL: https://www.vt.edu –(04-11-2022)

١٧-https://n-e-r-v-o-u-s.com – (29-12-2022)