منهجية للاستفادة من أنظمة الحاسب (CAM) في تنفيذ الحلي الزجاجية

Methodology to utilize CAM systems in execution of glass jewelry

أ. د/ حسام الدين نظمي حسني

الأستاذ بقسم الزجاج- كلية الفنون التطبيقية- جامعة حلوان

Prof. Hossam El-Deen Nazmy Hosny

Prof. in Glass Department, Faculty Of Applied Arts, Helwan University

Hossamnazmy6@Yahoo.com

أ. د/ ياسر سعيد محمد بنداري

الأستاذ بقسم الزجاج- كلية الفنون التطبيقية- جامعة حلوان

Prof. Yasser Said Mohamed Bendary

Prof. in Glass Department, Faculty Of Applied Arts, Helwan University

Yaser2hm@Yahoo.com

م. م/ دينا سعيد كامل سليمان

مدرس مساعد بقسم الزجاج- كلية الفنون التطبيقية- جامعة حلوان

Assist. Lect. Dina Said Kamel

Assistant Lecturer in glass Department, Faculty Of Applied Arts, Helwan University

Dinahappy84@Yahoo.com

الملخص:

حققت تكنولوجيا الحاسبات قدرًا هائلاً من النجاح في مواجهة المتطلبات التصميمية والإنتاجية في شتى فروع العلوم والفنون، حيث ساهمت في تطور وتقدم نظم التصميم والإنتاج بشكل عام، ويعد مجال الحلي الزجاجية أحد المجالات الهامة التي يمكن أن يكون للحاسب الآلي دوراً مؤثراً فيها على نطاق التصميم والإنتاج، وفي ضوء المستجدات التي ظهرت ببرامج التصميم والتصنيع وجب تغيير منهجيات التصنيع أو التنفيذ للاستفادة من إمكانات تلك البرامج أقصى استفادة وخاصة في مجال الحلي الزجاجية مثل بناء النماذج، تنفيذ قوالب التشكيل، التشكيل في الهيئة الخارجية للمنتج والتشكيل في مظهر السطح.

وظهرت **مشكلة البحث** فى: عدم الاستفادة من أنظمة الحاسب CAM في حل مشاكل وتطبيقات تنفيذ الحلي الزجاجية، و**هدف البحث** إلى تفعيل أنظمة الحاسب CAM في وضع منهجية لتنفيذ الحلي الزجاجية.

وافترض البحث أنه بتفعيل إمكانات أنظمة الحاسب CAM يمكن وضع الأسس والاعتبارات لتنفيذ الحلي الزجاجية ووضع منهجية للاستفادة من أنظمة الحاسب (CAM) في تنفيذها، وتأكدت **أهمية البحث** في تطوير وإثراء مجال تنفيذ وصناعة الحلي الزجاجية باستحدام أنظمة الحاسب.

وقد تناول البحث مجموعة من المحاور التي تضم مجالات استخدام أنظمة الحاسب CAM في تنفيذ الحلي الزجاجية بهدف وضع منهجية لتنفيذها باستخدام أنظمة الCAM وتنفيذ بعض منتجات من الحلي الزجاجية في ضوء المنهجية المقترحة للتنفيذ.

الكلمات المفتاحية:

منهجية تنفيذ- أنظمة الحاسب- الحلي الزجاجية.

Abstract

Computer technology has achieved tremendous success regarding design and productivity requirements in various branches of science and arts, contributing to the development and progress of design and production systems in general. The field of glass jewelry is one of the important fields in which computer can play an influential role in the design and production.

In context of the updates that have emerged in the design and manufacturing programs, it is necessary to change the manufacturing or implementation methods to take full advantage of these programs potentials, especially in the field of glass jewelry such as building models, forming molds, forming the external structure of the product and shaping the surface appearance.

The research problem was detected as the lack of use of CAM systems in solving the problems and applications of glass jewelry production. The objective of the research is to activate CAM systems in a methodological setting for the implementation of glass jewelry.

The research hypothesizes that by activating the potential of the CAM systems, the foundations and considerations for implementation of the glass jewelry can be established with the aim of reaching a methodology for utilizing the CAM systems in their implementation. The research is importance is developing and enriching the field of implementation and manufacture of glass jewelry using computer systems.

The research dealt with a number of axes which include the use of CAM systems in implementation of glass jewelry, aiming to a methodology for their implementation using CAM systems and producing some glass jewelry products in context of the proposed methodology for implementation.

Keywords:

Execution Methodology- Computer Systems CAM- Glass Jewelry

مقدمة:

تعتبر المنهجيات جزء متكامل من عملية التصميم، فالمنهجية هي الطريقة أو المسار الذي يتم اتباعه من أجل الوصول إلى هدف ما، أي أنها مجموعة الأدوات التي يتم استخدامها في تقديم البراهين والأدلة والحجج للتأكد من صحة أو عدم صحة فرضية معينة، لذلك فإن المنهجية تعتبر خطة منظمة للعديد من العمليات من خلال مجموعة من الإجراءات أو الآليات التي يمكن استخدامها للملاحظة والتحقيق من أجل اكتساب المعرفة والوصول للنتائج والحقائق. مرجع رقم (5) ص486 فوجود المنهجية يعمل على دعم التفكير في مشكلات التصميم؛ حيث يصبح التفكير أكثر شمولاً وأكثر استفادة من الأنشطة العقلية والمهارات الذهنية في التخطيط لمراحل التصميم، مرجع رقم (1) ص92 وترجع أهمية المنهجية في أنها توضح للمصمم أو فريق التصميم الهدف المرجو تحقيقه ومسار العمل المتبع.

وقد لاقت منظومة تنفيذ الحلي الزجاجية كثيراً من المعوقات وجب البحث في آليات لحلها، وتعتبر أنظمة الحاسب CAM هي أفضل السبل لحل تلك المعوقات (موضوع البحث)، وبما أن الحاسب يعتبر أداة تساعد المصمم في الوصول لحلول غير محدودة لبناء أفكاره للوصول بها إلى برامج التنفيذ (الإنتاج)، فهذه الحلول الغير محدودة لهذا النظام غيرت السمات التقليدية لنظم التنفيذ أو الإنتاج، فبناءًا على ذلك يقوم البحث بتقديم مقترح لكيفية الاستفادة من أنظمة الحاسب (CAM) في مجال تنفيذ الحلي الزجاجية.

1- بعض المفاهيم والمصطلحات الخاصة بالبحث:

- **مفهوم الـ (CAM)**

(CAM) هي اختصار (Computer Aided Manufacturing) وهو إشارة إلى الأساليب والنظم الخاصة باستخدامات الكمبيوتر في مجالات الصناعة، حيث أنه لتصنيع أي نموذج أو منتج ما عادة ما يتم استخدام ثلاثة أنواع من البرامج المختلفة:

- أولاً: برنامج CAD وهو المسئول عن التصميم الهندسي للمنتج.
- ثانيًا: برنامج CAM المسئول عن حساب مسارات ماكينة اتلشغيل استنادًا إلى التصميم.
- ثالثًا: برنامج التحكم المسئول عن قراءة المسارات والسماح للآلة بالتحرك فعليًا استنادًا على تلك المسارات، حيث يأتي برنامج التحكم مع آلة التشغيل. مرجع رقم (6)

- **التحكم الرقمي بالحاسب (Computer Numerical Control-CNC):**

التحكم الرقمي بالحاسب هو دخول الحاسب كأحد المكونات الأساسية في عملية التحكم الرقمي في الماكينات NC، فبعد التطور الذي حدث في مجال تصميم المنتجات ومتطلبات الإنتاج تم تطوير الماكينة من ماكينات التحكم الرقمي NC إلى التحكم الرقمي باستخدام الحاسب CNC، فهى تحتفظ بكل الأساسيات ومبادىء ماكينات التحكم الرقمي ولكن بإضافة الحاسب الآلي لوحدة التحكم الرقمي، والذي أضاف الكثير في نظم التحكم وأولها كتابة البرنامج وتخزينه في ذاكرة الحاسب مرجع رقم (3) ص67 ، لذا فالتحكم الرقمي بالحاسب هو نظم رقمية تعمل بالتحكم في تشغيل الآليات عوضًا عن التحكم الآلي واليدوي، ويقوم علي سلسلة من التعليمات المدونة (الشفرة) في صورة أرقام ورموز تستوعبها وحدة التحكم بالماكينة، وتحولها إلى نبضات كهربائية توجه المحركات الكهربائية لتنفذ العمليات الميكانيكية المطلوبة. مرجع رقم (4) ص138

- **ملفات (STL):**

اختصارًا لـ (Standard Tessellation Language) أو (Standard Triangle Language)، وهي نوع الملف القياسي ليس فقط لمجالات الطباعة ثلاثية الأبعاد ولكن لماكينات التحكم الرقمي بوجه عام، وتقوم ملفات STL بترجمة ملفات الكاد الخاصة بتصميم النموذج إلى البيانات التي تحتاجها ماكينات التحكم الرقمي؛ حيث يستخدم هذا النوع من الملفات سلسلة من المثلثات لتمثيل أسطح أي نموذج صلب، وجميع برامج CAD الحديثة تسمح بتصدير نسق ملفاتها الأصلي لصيغة ملفات STL، ثم يتم بعد ذلك تحويل النموذج الهندسي الثلاثي الأبعاد إلى لغة الآلة (G-Code) من خلال عملية تسمى بـ (Slicing) لتجعلها جاهزة للطباعة أو التنفيذ. مرجع رقم (7)

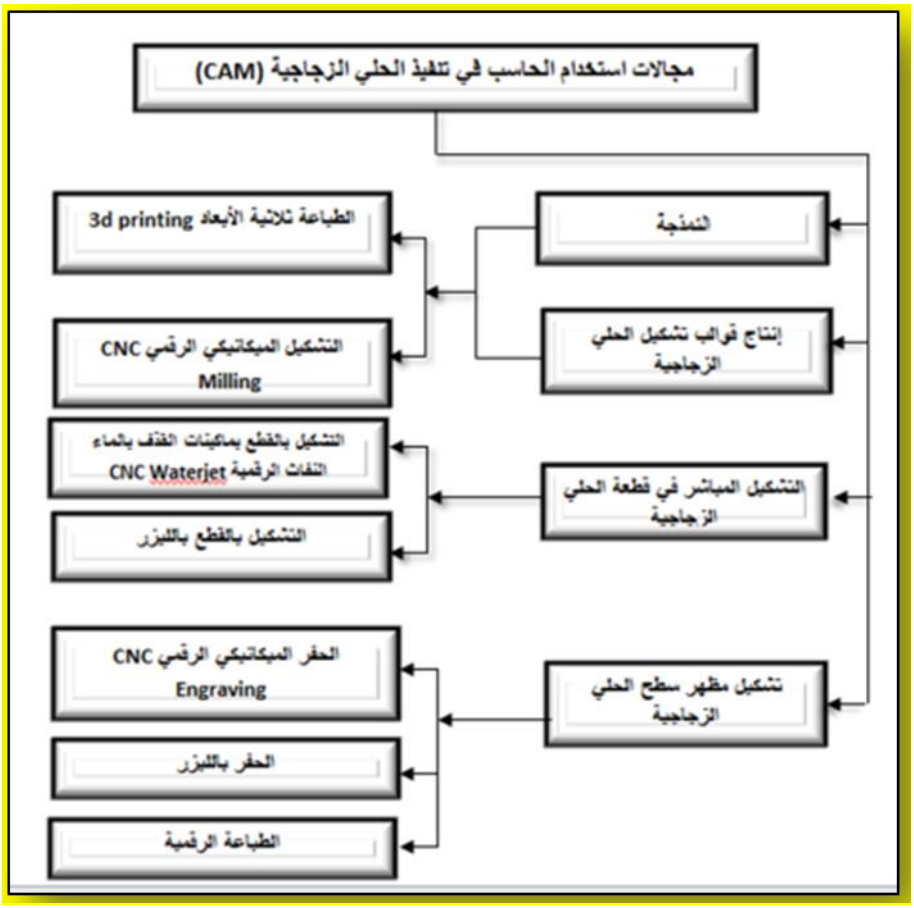
2- منهجية لتنفيذ الحلي الزجاجية باستخدام أنظمة الـ CAM:

يستخدم الحاسب الآلي كمساعد في التصنيع CAM في التحكم وتوجيه ماكينات التشغيل على اختلاف أنواعها كماكينات الحفر والثقب والتشكيل....وغيرها من الماكينات المستخدمة والتي يمكن توظيفها فى تنفيذ وتشكيل الحلي الزجاجية، ولقد تحقق التكامل بين التصميم والإنتاج بفضل وجود الحاسب فيما يسمى بنظم تكامل التصميم والتصنيع بمساعدة الحاسب، ويقوم العمل في هذه الأنظمة على استخدام المعلومات والبيانات الناتجة من عمليات التصميم بالحاسب CAD مباشرة في إجراءات التصنيع بالحاسب CAM، لذلك فإن التصميم والإنتاج الرقمي يمثل ضرورة أساسية لتطوير مجال الحلي الزجاجية،

وافترض البحث أنه بتفعيل إمكانات أنظمة الحاسب CAM وتوظيفها يمكن وضع الأسس والاعتبارات لتنفيذ الحلى الزجاجية **بتوظيف أنظمة الـ CAM من خلال العمليات التالية:**

- النمذجة
- إنتاج قوالب تشكيل الحلي الزجاجية
- التشكيل المباشر في قطعة الحلي الزجاجية
- تشكيل مظهر السطح للحلي الزجاجية

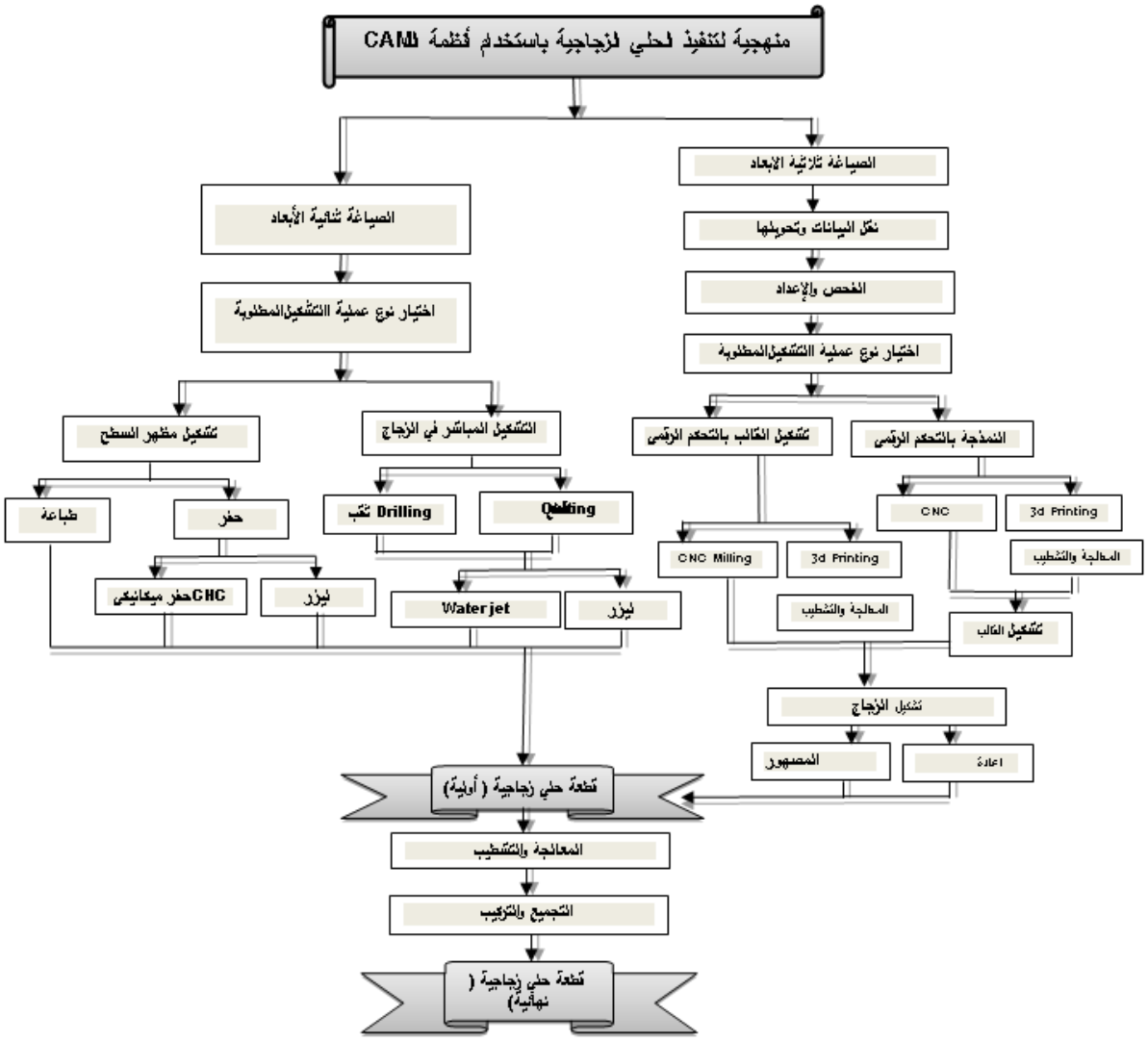
ومن خلال الشكل رقم (1) يمكن توضيح العمليات التي افترضها البحث **بتوظيف أنظمة الـ CAM** لوضع الأسس والاعتبارات لتنفيذ الحلى الزجاجية فى محاولة للوصول لبعض الحلول والبدائل لحل معوقات الطرق الإنتاجية التقليدية والنمطية بهدف الوصول للجودة والكفاءة والفاعلية لتنفيذ الحلي الزجاجية بالطرق المتنوعة.



شكل (1) رسم توضيحي لفرضية البحث فى توظيف (أنظمة الCAM) لتنفيذ الحلي الزجاجية باستخدام الحاسب

وبهدف التوصل لوضع منهجية للاستفادة من أنظمة الحاسب CAM في تنفيذ الحلي، وبناءًا على المفهوم الخاص بالمنهجية والذي يعني الطريقة أو المسار الذي يتم اتباعه من أجل الوصول إلى هدف ما، فإنه باتباع أي منهجية من خلال عدة خطوات متتابعة ومتكاملة فيما بينها يمكن الوصول للهدف المطلوب، **وعلى ذلك يقوم البحث باقتراح منهجية** من أجل تحقيق أقصى استفادة من التقنيات والنظم الرقمية للوصول إلى منتج متطور في مجال الحلي الزجاجية.

والشكل (2) يوضح رسم تخطيطي لخطوات المنهجية المقترحة للتنفيذ.



شكل (2) رسم توضيحي لمنهجية تنفيذ الحلي الزجاجية باستخدام الحاسب (أنظمة الCAM)

- وفيما يلي شرح لخطوات المنهجية المقترحة لتنفيذ الحلي الزجاجية باستخدام الحاسب:

(2-1) الصياغة ثلاثية الأبعاد:

وهي مرحلة إدخال البيانات، حيث تشير البيانات إلى المعلومات الإلكترونية المتطلبة لوصف النموذج المادي لقطعة الحلي من خلال بيانات ثلاثية الأبعاد، وتتم تلك العملية إما باستخدام نموذج رقمي أو نموذج مادي

(2-2) نقل البيانات وتحويلها:

هناك الكثير من أنواع ملفات CAD التي تحتوي على أسماء وتنسيقات خاصة بها، من ملفات STEP إلى STL، إلى IGES، وغيرها من الملفات، والذي يكون من الصعب التفريق بينهما ومعرفة أيهم أفضل للتحميل للطابعات ثلاثية الأبعاد أو ماكينات التحكم الرقمي بوجه عام. **وهناك ثلاثة أنواع رئيسية من الملفات المستخدمة في الطباعة:**

- IGES أو IGS اختصارًا لـ (Initial Graphics Exchange Specification):

تم إنشاء هذا النوع من الملفات بواسطة سلاح الجو الأمريكي وتم استخدامه لتبادل الملفات الهندسية CAD، وقد اعتمد من قبل المعهد الوطني الأمريكي للمعايير (ANSI).

ومواصفات هذا النوع أو خصائصه غير مدعومةSpecifications Unsupported نظرًا لقدمه، فهو يعتبر أقدم نوع من الملفات، ولن يتم تحديثها أو تغييرها أبدًا، لذا يفضل اعتبار هذا النوع من الملفات الخيار الثالث لملفات الطباعة.

- STL اختصارًا لـ (Stereolithograghy or Standard Tessellation Language):

وهو يعتبر ثاني أفضل خيار، حيث تم تطوير ملفات STL في الأصل من قبل شركة 3D Systems، خصيصًا لمجالات التصنيع بالإضافة، وتعتبر النوع الرئيسي في مجال الصناعة، ومع ذلك تحتوي ملفات STL على العديد من أوجه القصور، فعلى سبيل المثال، عند احتواء التصميمات على فتحات أو أجزاء غير مغلقة (Watertightness)، فإن ذلك يتسبب في وجود ثقوب وفجوات وحدوث مشكلات عند إنتاج النماذج، وهناك نوعان من ملفات STL، نوع يسمى (ASCII) وهو ملف ذو حجم كبير ولا يفضل استخدامه، ونوع (Binary) وهو ملف مضغوط وذو حجم صغير، ويصلح لعمليات حفظ ومشاركة الملفات. مرجع رقم (8)

- STEP اختصارًا لـ (Standard for Exchange of Product model data):

وهو يعتبر أفضل تنسيق ملف لنقل بيانات CAD، حيث تحمل ملفات STEP جميع البيانات البارامترية المطلوبة حتى يمكن للشركات المصنعة قراءة حجم وهندسة النموذج الذي تحتاجه بسهولة.

وهناك نوعان رئيسيان منها:

AP203: تم إنشاؤه في الأصل لصناعة الطائرات.

AP214: ويعتبر أحدث المعايير التي تم إنشاؤها في الأصل لصناعة السيارات.

(3-2) الفحص والإعداد:

يتم في تلك المرحلة فحص الملفات جيدًا والتأكد من خلوها من العيوب، حيث أنه قد تظهر في كثير من الأحيان بعض المشكلات بعد انتهاء عملية التشكيل (خاصة في مرحلتي بناء النماذج أو القوالب)، والتي تتمثل في ظهور ثقوب في هيكل النموذج (كالحفر أو الفجوات أو التصدعات، وهكذا)، لذا يجب معالجة الملفات قبل بدء عملية التشغيل من خلال مراجعة النقاط التالية:

- أن تكون المثلثات المحددة للشكل في صيغة STL مثلثات على هيئة أسطح مغلقة، وليست خطوط.

- أن تكون المثلثات مكتملة الرؤوس والزوايا تمامًا، وألا يكون هناك تقاطع بين المثلثات، ومتلاصقة تمامًا.

يمكن التحقق من مدى قابلية النموذج أو المنتج للتشكيل باستخدام برامج تحليل مثل **Meshmix** أو **Netfab** أو **Magics**، حيث تقوم تلك البرامج باكتشاف الأسباب التي قد تؤدي لظهور مشاكل أثناء عملية البناء أو التشكيل وتقوم بتقديم خيارات لكيفية إصلاح تلك العيوب أو المشاكل.

(4-2) اختيار نوع عملية التنفيذ المطلوبة:

2-4-1: النمذجة:

بعد تحديد التصميم المراد تنفيذه يتم تصدير نوع ملف التصميم الأصلي إلى نسق STL ليصبح الملف جاهز للطباعة أو التشكيل، ويمكن تشكيل النماذج باستخدام أنظمة الحاسب المساعدة في التصنيع CAM إما عن طريق التشكيل بالإضافة (الطباعة ثلاثية الأبعاد) أو عن طريق التشكيل بالإزالة (CNC Milling).

2-4-1-1 النمذجة بالطباعة ثلاثية الأبعاد: تختلف أنواع تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد طبقًا لنوع وهيئة الخامة المستخدمة في الطباعة، وأيضًا بحسب نوع طريقة التصنيع الخاصة بكل نوع، ويعتمد اختيار نوع الخامة المستخدمة في الطباعة على نوع التصميم المراد تنفيذه والغرض من النموذج: (هل هو للعرض والإظهار فقط أم سيدخل في مراحل التنفيذ،

وبناءًا على ذلك سيتم عرض أنواع تقنيات الطباعة الملائمة لنوع النموذج طبقًا للهدف منه وطبقًا لنوع تصميم النموذج كالتالي:

- **أنواع تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد طبقًا للغرض من النموذج:**

- **بالنسبة لأنواع النماذج المستخدمة للعرض والإظهار:** يمكن استخدام تقنيات مثل **SLA**، وذلك بسبب هشاشة النماذج الناتجة من تلك التقنيات مما يجعلها غير صالحة للدخول في مراحل الإنتاج ويكتفى باستخدامها للعرض والإظهار، كما يمكن استخدام تقنية **FDM** بسبب قلة تكلفتها الاقتصادية.

- **بالنسبة لأنواع النماذج المستخدمة في مراحل الإنتاج:** يمكن استخدام تقنيات **SLS** أو **DMLS**، وذلك نظرًا لقوة وصلابة ومتانة النماذج الناتجة عن تلك التقنيات مما يجعلها تتمتع بخواص ميكانيكة عالية تتيح للنموذج تحمل ظروف الإنتاج المختلفة.

- تقنية **DOD (Drop On Demand)**، وتستخدم لإنتاج النماذج الشمعية والتي يمكن استخدامها في تطبيقات الشمع المفقود وإنتاج القوالب.

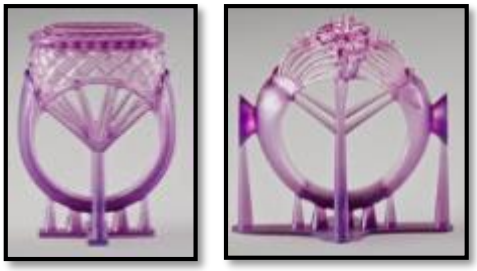
- **بالنسبة لأنواع النماذج المستخدمة كمنتج نهائي:** يمكن استخدام تقنية **Binder Jetting**، وذلك لاستخدامها الزجاج كأحد مواد البناء مما يجعلها مثالية في تشكيل قطعة الحلي الزجاجية.

- تقنيتي **DMLS/SLM** : وتستخدم لتنفيذ النماذج المعدنية، مما يجعلها ملائمة لتنفيذ المنتجات النهائية للحلي الزجاجية التي تحتوي على أجزاء معدنية كالخواتم.

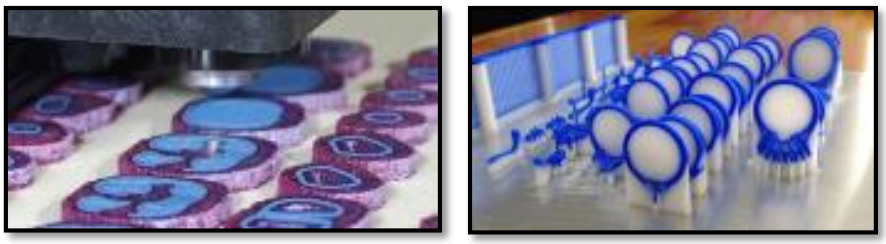
- **أنواع تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد طبقًا لنوع تصميم النموذج:** بالنسبة للنماذج التي تحتوي على نسب عالية من التفاصيل الدقيقة، فمن أنسب التقنيات التي يمكن استخدامها، تقنيات مثل **SLA**، DLP،**DOD** ، حيث يتم استخدام تلك التقنيات لقدرتها على تنفيذ التفاصيل المعقدة، وتقوم بإخراج نماذج دقيقة ذات أسطح ناعمة ملساء تلائم هذا النوع من النماذج.

المعالجة والتشطيب:

هي عملية يدوية وضرورية خاصة في حالة استخدام تقنيات التشكيل بالإضافة، حيث يتم فيها إزالة الدعامات أو الهياكل المساعدة في البناء باستخدام بعض الأدوات اليدوية كالمبارد والمقصات المخصصة لذلك، والشكل (3) يوضح نماذج لقطع حلي مطبوعة باستخدام تلك الهياكل الداعمة، ويجب أن تؤدى هذه العملية بدقة حتى لا تؤدي لتدمير النموذج، ومن التقنيات التي تعتمد على الاستعانة بالهياكل الداعمة في البناء تقنيات **SLM SLA,DLP,DMLS,** ، وهناك تقنيات أخرى في الطباعة تعتمد المعالجة فيها على استخدام المذيبات لإزالة الأجزاء الداعمة والغير مرغوب فيها في النموذج، حيث تقوم ماكينة الطباعة بطباعة الأجزاء الداعمة بمادة مختلفة عن مادة بناء النموذج، ودائمًا ما تكون تلك الأجزاء الداعمة مطبوعة بلون مختلف عن لون النموذج الأساسي، والشكل (4) يوضح أمثلة لهذا النوع من النماذج، وتتميز تلك الطريقة بتقليل الخطر الناتج عن التنظيف بالطرق اليدوية الأخرى أو الحد منه، ومن التقنيات المعتمدة على هذا النوع من المعالجة تقنيات **DOD, Material Jetting,.**



شكل (3) نماذج من الخواتم توضح الهياكل الداعمة التي يتم إزالتها في مرحلة المعالجة والتشطيب



شكل (4) نماذج من الخواتم توضح الأجزاء الداعمة وتظهر بلون مختلف عن النموذج ليتم إزالتها بالمذيبات

2-1-4-2 النمذجة ماكينات التحكم الرقمي الميكانيكية CNC:

والمقصود بها ماكينة التشكيل بالإزالة CNC Milling المتخصصة في تشكيل النماذج، ويعتمد اختيار نوع ماكينة التشكيل المستخدمة على نوع تصميم النموذج المراد، ففي حالة النماذج التي تحتوي على تشكيلات أو تفاصيل على وجه واحد أو اثنان على الأكثر، فيكفي استخدام أنواع الماكينات التي تعتمد على الحركة الخطية **3-Axis Machines**، أو ماكينات **3+1 or 3+2 Axis Machines** التي تقوم بنفس مهام ماكينات 3-Axis ولكن دون الحاجة للتدخل البشري في إعادة ضبط أو تثبيت النموذج.

ويتم استخدام انواع ماكينات الـ **4-Axis Machines** فى أنواع النماذج التي تحتوي على تصميمات ملفوفة حول بدن النموذج، أما ماكينات الـ **5-Axis Machines** فيتم استخدامها في تشكيل النماذج التي تحتوي على التفاصيل المعقدة والتجاويف المحجوبة (Under Cuts). شكل (5).

شكل (5) نموذج لأسورة تم تشكيلها باستخدام إحدى ماكينات 5-Axis Machining

تشكيل القالب:

يتم في تلك المرحلة استخدام أنواع النماذج التي يمكن أن تدخل في مراحل التشغيل التي تم تنفيذها باستخدام إحدى أنظمة التصنيع الرقمية CAM لاستخدامها في تشكيل قوالب تنفيذ الحلي الزجاجية، حيث تتنوع أنواع القوالب التي يعتمد تشكيلها على بناء النموذج أولاً، فمنها قوالب القطعة الواحدة، والقوالب المتعددة الأجزاء، وتعتمد هذه التقنية عادة على تنفيذ قوالب معدنية بالعتماد على نموذج تم تشكيله مسبقاً ويستخدم لتشكيل القالب في هذه الحالة مخارط البنتوجراف.

، كما يمكن استخدام هذه التقنية في تنفيذ القوالب الحرارية مباشرة بالنحت الرقمي في كتلة من خامة حرارية، ويضم هذا الأسلوب تنفيذ القوالب المفتوحة Open mold.

تشكيل الزجاج:

بعد تنفيذ القوالب يتم تشكيل الزجاج المستخدم في قطعة الحلي الزجاجية بأحد طرق التشكيل المعروفة، إما التشكيل من المصهور الزجاجي مباشرة ، أو باستخدام تقنيات إعادة التشكيل الحراري للزجاج (باستخدام الأفران المغلقة أو باستخدام التشكيل بالمشعل الحراري).

2-4-2: تشكيل القالب بالتحكم الرقمي:

بعد اختيار التصميم المراد تنفيذه يمكن البدأ بتنفيذ قالب التشكيل مباشرة بدلاً من تنفيذ النموذج المادي أولاً، وذلك عن طريق رسم القالب الرقمي باستخدام إحدى برامج النمذجة ثلاثية الأبعاد بنفس طريقة رسم النموذج، ثم يتم تصدير الملف لماكينة التحكم الرقمي لتنفيذ القالب الفعلي إما بالطباعة ثلاثية الأبعاد أو بماكينات التحكم الرقمي الميكانيكية.

المعالجة والتشطيب:

تعتمد عمليات المعالجة في تلك المرحلة على إزالة الدعامات والهياكل المساعدة باستخدام الأدوات الخاصة بذلك، ولا يتم استخدام طرق الإزالة بالمذيبات مع تقنيات الطباعة المستخدمة في تشكيل القوالب لاعتماد تلك التقنيات على خامات كالمعادن والسيراميك في التشكيل.

تشكيل الزجاج:

يتم في تلك المرحلة تشكيل الزجاج المستخدم في قطعة الحلي الزجاجية باستخدام القوالب التي تم تنفيذها باستخدام تقنيات وأنظمة التحكم الرقمي، حيث يمكن تشكيل الزجاج بإحدى التقنيات التي سبق ذكرها.

2-4-3 التشكيل المباشر في الحلي الزجاجية:

تعتمد عملية التشكيل المباشر في الزجاج باستخدام أنظمة التحكم الرقمي على تحديد اتجاهات محددة في تصميم الحلي الزجاجية تناسب عمليات التشكيل بالقطع والثقب، ويتم وضع أو معالجة أفكار التصميم باستخدام نظم التصميم بالحاسب CAD، ومن ثم يتم معالجة التصميم ليلائم الماكينات المستخدمة لإحداث القطع أو الثقب. ويرتبط التصميم في تلك الحالة على استخدام برامج تعتمد بشكل أساسي على نظم الرسم ثنائي الأبعاد كبرنامج الأوتوكاد.

2-4-3-1 التشكيل المباشر في الزجاج عن طريق القطع:

يتم في تلك التقنية تنفيذ عمليات القطع في الزجاج باستخدام إحدى تقنيات التحكم الرقمي الميكانيكية كتقنية القطع بالقذف النفاث للماء CNC Water Jet Cutting، أو تقنية القطع بالليزرLaser Cutting.

يمكن من خلال تلك التقنيات تنفيذ تشكيلات مختلفة لقطع الحلي الزجاجية التي تعتمد على التشكيل إما في الهيئة الخارجية لقطعة الحلي، شكل (6)، أو الهيئة الداخلية (تفريغ)، شكل (7)، حيث يمكن استخدام تلك التقنيات في تشكيل الدلايات الزجاجية وفصوص الخواتم والأقراط.

شكل (6) نموذج لقطعة زجاجية تعتمد على التشكيل في الهيئة الخارجية

شكل (7) نماذج من قطع زجاجية تعتمد على التشكيل في الهيئة الداخلية

2-4-3-2 التشكيل المباشر في الزجاج عن طريق الثقب:

يتم في تلك المرحلة تحديد أماكن الثقب المطلوب تنفيذها بقطعة الحلي من خلال التصميم المنفذ بالحاسب، حيث يمكن تطبيق تلك الثقوب بقطعة الحلي كمتطلب وظيفي بقطعة الحلي بهدف تعليق الدلاية الزجاجية مثلاً أو فصوص الأقراط المتدلية، أو يمكن تطبيقها في قطعة الحلي بهدف إثراء القيمة الجمالية للتصميم، من حيث اعتماد فكرة التصميم المطلوب على تطبيق تلك الثقوب.

ويمكن تنفيذ هذا النوع من التشكيل المباشر في الزجاج من خلال إحدى تقنيات التشكيل الرقمي، إما عن طريق ماكينات الثقب الميكانيكي الرقمية CNC Drilling أو الثقب باستخدام الليزرLaser Drilling.

2-4-4 تشكيل مظهر السطح للحلي الزجاجية:

هي أحد أنواع عمليات التشكيل في الزجاج التي تتم بعد مراحل التنفيذ الأولى التي سبق ذكرها قبل للوصول لمرحلة اختيار نوع عملية التشكيل المطلوبة، حيث يمكن في تلك المرحلة تشكيل مظهر سطح قطعة الحلي الزجاجية باستخدام إحدى أنواع تقنيات الحفر على الزجاج المختلفة وتقنيات الطباعة الرقمية:

2-4-4-1 تشكيل مظهر سطح الحلي الزجاجية عن طريق الحفر:

يمكن في تلك المرحلة استخدام تقنيات الحفر إما عن طريق الليزر أو الحفر الميكانيكي بالتحكم الرقمي.

2-4-4-2 تشكيل مظهر سطح الحلي الزجاجية عن طريق الطباعة الرقمية:

يتم في تلك المرحلة استخدام أنواع الطباعة الرقمية المختلفة على الزجاج مثل الطباعة الرقمية بالأشعة فوق البنفسجية UV Digital Printing، أوالطباعة الرقمية باستخدام أحبار المينا أو السيراميكCeramic Digital Printing ، حيث تتميز الطباعة بأحبار السيراميك عن الطباعة بالأشعة فوق البنفسجية بإمكانية التحكم في درجة شفافية وإعتام الصور، بعكس الطباعة بالأشعة فوق البنفسجية التي تفتقر نتائج طباعتها إلى الشفافية الخاصة بالزجاج.

(2-5) المعالجة والتشطيب:

تعتبر عملية تشطيب الأسطح خاصية تميز مظهر منتج عن آخر، فبعد عمليات التشكيل التي تتم لقطعة الزجاج، نادرًا ما تخرج لتكون جاهزة للتجميع والتركيب مباشرة؛ بل تتطلب معالجات خاصة بعد عمليات التصنيع، وتتحدد درجة ونوع تلك المعالجات طبقاً لنوع عمليات التشكيل المستخدمة في كل تقنية.

فعلى سبيل المثال فإن قطع الحلي الزجاجية الناتجة عن التشكيل باستخدام القوالب المنفذة بنظم التحكم الرقمي لا تحتاج إلى نفس كم المعالجات والتشطيب التي تحتاجها نظيرتها من قطع الحلي الناتجة عن القوالب اليدوية التقليدية، ويرجع ذلك إلى أن مستوى ودقة تشطيب القوالب الرقمية أعلى بكثير من القوالب التقليدية، وبالتالي تتمتع المنتجات المنفذة فيها بمستوى أعلى من الدقة والتشطيب، أما بالنسبة لقطع الحلي الزجاجية الأولية الناتجة عن تقنيات التشكيل المباشر في الزجاج (سواء كانت عمليات ثقب أو قطع) فهي لا تحتاج لإجراء أي معالجات أو تشطيبات عليها نظراً لدقة العمليات الناتجة عن استخدام ماكينات التحكم الرقمي CNC والليزر، أما بالنسبة لقطع الحلي الزجاجية الأولية الناتجة عن تشكيل مظهر السطح، فقد تحتاج لإجراء بعض عمليات التشطيب والمعالجات. وتنقسم أنواع عمليات المعالجة إلى قسمين، معالجات كيميائية، ومعالجات ميكانيكية، وفيما يلي شرح لأنواع المعالجة الخاصة بكل نوع:

2-5-1 المعالجات الميكانيكية:

يتم في المعالجات الميكانيكية إجراء عدة عمليات من التشطيب وهي التنظيف والتجليخ والتلميع.

2-5-2 المعالجات الكيميائية:

تستخدم المعالجات الكيميائية لإجراء عمليات التلميع الخاصة بالحلي الزجاجية، وتتم من خلال عدة طرق مثل:

- وضع قطعة الحلي الزجاجية في حوض من محلول مخفف من حمض الهيدروفلوريك وحمض الكبريتيك أو حمض النيتريك، وبعد خروج القطعة من المحلول الملمع يتم وضعها في حوض من الماء النظيف للشطف.

- باستخدام بعض أنواع الملمعات مثل بعض الزيوت الخاصة التي ترش على الزجاج لإكسابه اللمعان المطلوب، أو باستخدام بعض أنواع الخل والملمعات الأخرى الخاصة التي تحتوي على طلاءات زجاجية تثبت على الزجاج، أو بعض أنواع ملمعات الأكريليك Acrylic Spray. مرجع رقم (2) ص112

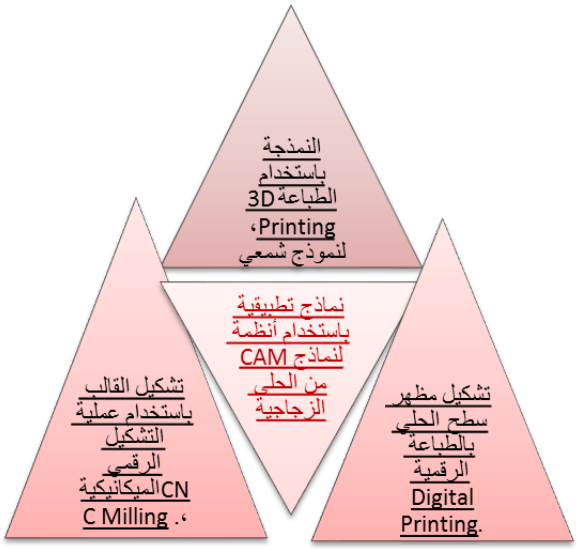
(6-2) التجميع والتركيب:

تشير عملية التركيب والتجميع في الحلي الزجاجية إلى طرق وأساليب تركيب ووصل القطعة الزجاجية أو الفص الزجاجي بباقي مكونات أو أجزاء قطعة الحلي، وتتعدد طرق الوصل والتجميع إلى عدة أساليب تعتمد بشكل أساسي على شكل المنتج النهائي المراد تنفيذه، ونوع الهيئة البنائية لقطعة الحلي، فيما إذا كانت هيئة بنائية مفردة أو تجميعية، والذي بدوره يحدد أنواع وطرق الوصل المستخدمة، وعلى ذلك تم تصنيف تلك الطرق طبقًا لنوع العملية المستخدمة في الزجاج المكوِّن لقطعة الحلي، ومن تلك الطرق ما يلي:

- الطريقة الأولى: ثقب الزجاج.
- الطريقة الثانية: تثبيت وحدة الوصل بإعادة تشكيل طبقات الزجاج.
- الطريقة الثالثة: تغليف شرائح الزجاج برقائق النحاس.
- الطريقة الرابعة: اللصق.
- الطريقة الخامسة: ثني الزجاج أثناء التشكيل.
- الطريقة السادسة: الوصل اليدوي بالأسلاك المعدنية.

3- نماذج تطبيقية للدراسة باستخدام أنظمة (CAM) لتنفيذ بعض نماذج من الحلى الزجاجية:

وتم فيها تنفيذ تصميمات لبعض منتجات من الحلي الزجاجية في ضوء المنهجية المقترحة للتنفيذ باستخدام الحاسب (أنظمة الـ CAM). وقد تم اختيار ثلاث محاور لتطبيق المنهجية المقترحة لتنفيذ بعض منتجات من الحلي الزجاجية باستخدام أنظمة الحاسب (CAM), وتتمثل تلك المحاور كما بالشكل رقم (8) في عمليات التشكيل الرقمية التالية:



شكل (8) نماذج تطبيقية تم اختيارها للدراسة باستخدام أنظمة (CAM) لتنفيذ بعض أشكال الحلي الزجاجية

– النمذجة باستخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد 3D Printing، من خلال تشكيل نموذج شمعي لاستخدامها في عمليات تشكيل القالب للخروج منها بقطعة من الحلي الزجاجية.

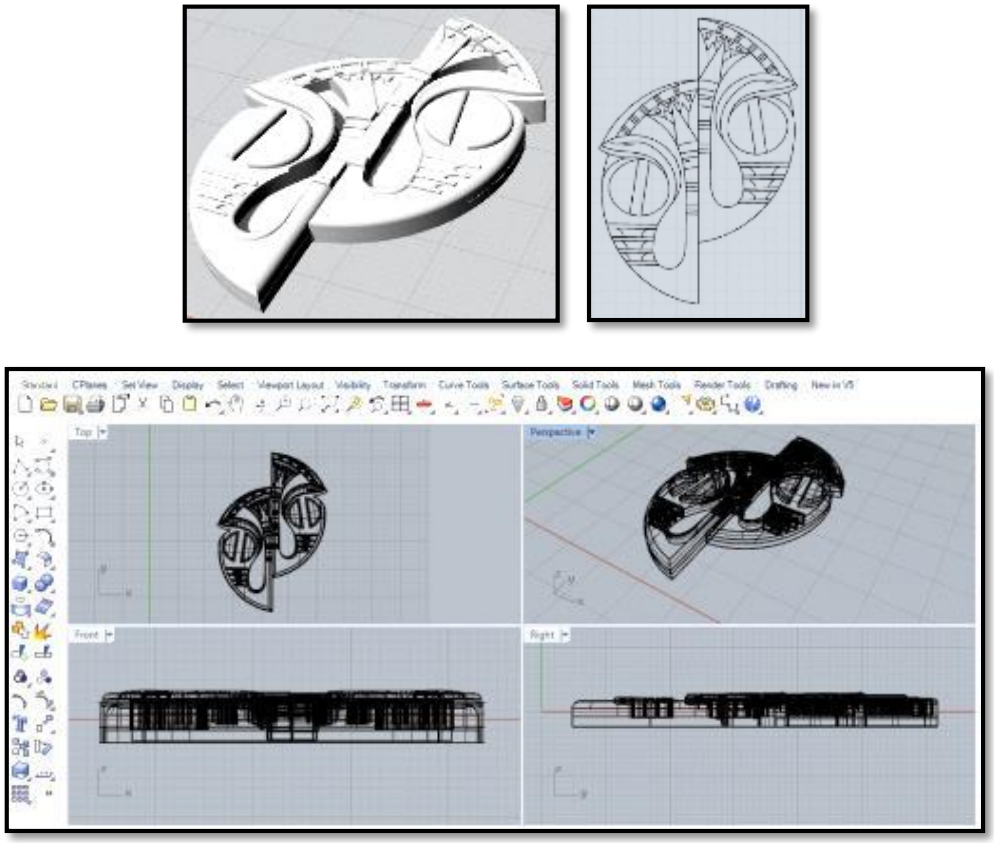
– تشكيل القالب باستخدام عملية التشكيل الرقمي الميكانيكيةCNC Milling، لاستخدامه في عمليات الصب والتشكيل للوصول لقطعة الحلي الزجاجية.

– تشكيل مظهر سطح قطعة الحلي باستخدام الطباعة الرقمية Digital Printing.

3-1 تنفيذ نموذج شمعي لقطعة من الحلي الزجاجية باستخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد:

المرحلة الأولي: الصياغة ثلاثية الأبعاد:

وقد تم في هذه المرحلة إدخال بيانات التصميم ثلاثية الأبعاد لوصف النموذج المادي لقطعة الحلي باستخدام برنامج النمذجة ثلاثى الأبعاد راينو Rhino 3d، كما هو موضح بالشكل (9). وتبلغ أبعاد ذلك النموذج 7 x 4.5سم وسمك 6.5 مم.



شكل (9) الصياغة ثلاثية الأبعاد للتصميم المختار باستخدام برنامج راينو من عمل الباحثة

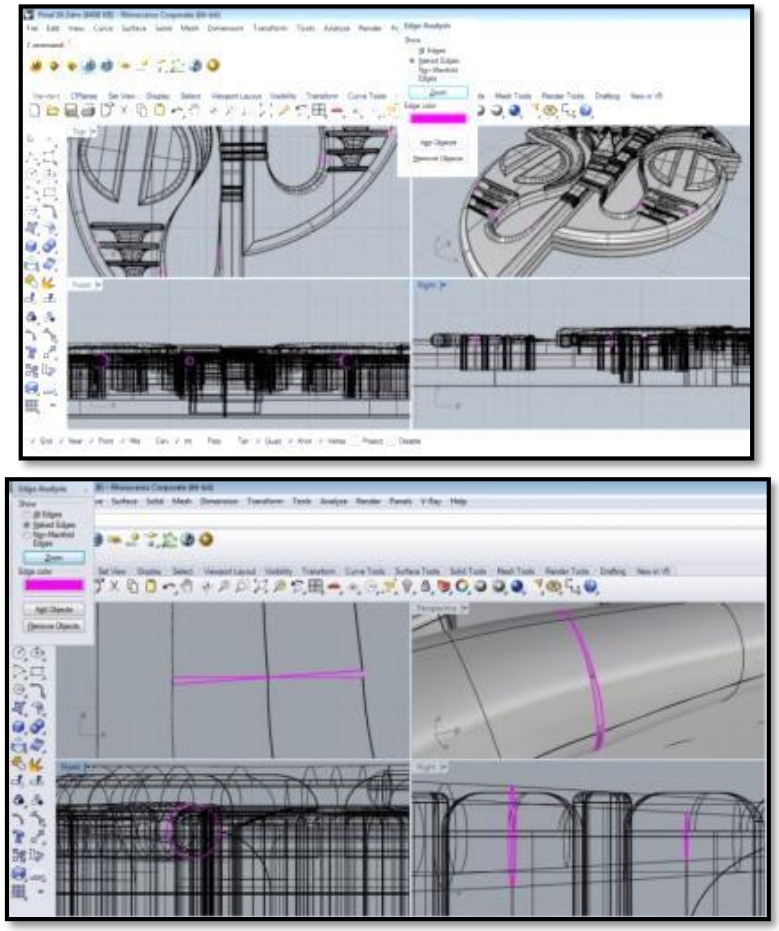
المرحلة الثانية: نقل البيانات وتحويلها:

تم تحويل تنسيق الملف إلى صياغة STL ليتم بعد ذلك تحويل النموذج الهندسي الثلاثي الأبعاد إلى لغة الآلة (G-Code) من خلال عملية تسمى بـ (Slicing) لتجعلها جاهزة للطباعة والتنفيذ.[1]، وتقوم الماكينة في تلك المرحلة بتقسيم النموذج الرقمي إلى شرائح مقطعية مع تحديد سمك الطبقات والتي تمثل 0.15مم في نوع الماكينة المستخدمة.

المرحلة الثالثة: الفحص والإعداد:

تم في تلك المرحلة فحص الملف جيدًا للتأكد من خلوه من العيوب التي تتسبب في ظهور الحفر والفجوات، وتتمثل عملية الفحص في التأكد من عدم وجود تقاطعات بين مثلثات الرسم واكتمال الزوايا، وعدم وجود أجزاء مفتوحة أو غير مغلقة

وهي ما تسمى بالـ Naked Edges أو open Polysurfaces فى برنامج الراينو، وهي ما يمثله اللون الأرجواني بالرسم الموضح بالشكل (10).



شكل (10) الأجزاء المفتوحة أو الغير مغلقة بالنموذج المعبر عنها باللون الأرجواني

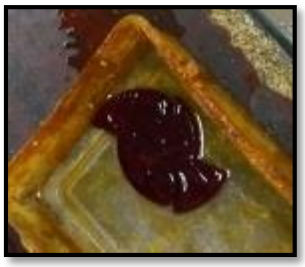
المرحلة الرابعة: عملية الطباعة ثلاثية الأبعاد:

وقد تم في تلك المرحلة استخدام ماكينات الطباعة الرقيمة ثلاثية الأبعاد 3D Printing وهي من أحدى أنواع تقنيات SLA Stereolethograph، والتي تعتمد على التشكيل أو البناء باستخدام الشمع فى الحالة السائلة، وفي ذلك التطبيق تم اختيار السائل الشمعي ذو اللون الأحمر الداكن لإظهار التفاصيل الدقيقة بالنموذج، شكل (11).

شكل (11) النموذج الشمعي بعد خروجه من ماكينة الطباعة مباشرة

المرحلة الخامسة: التشطيب والمعالجة (للنموذج):

لم يستلزم هذا النموذج إنشاء أي دعامات مساعدة أثناء عملية البناء، لذا اعتمدت عملية التشطيب على معالجات خاصة بالتنظيف والتلميع باستخدام بعض المحاليل الخاصة، كما هو موضح بالشكل (12). والشكل (13) يوضح شكل النموذج النهائي بعد عمليات التشطيب.



شكل (12) عملية تشطيب النموذج باستخدام محلول شطف ثم المرور بعملية التجفيف

شكل (13) النموذج الشمعي بعد عملية الطباعة ثلاثية الأبعاد

المرحلة السادسة: تشكيل القالب:

- تم إحاطة النموذج بسياج أو صندوق يمثل الإطار الخارجي للقالب الحراري، ثم تم تحضير خامات القالب وخلطها جيدًا والتي تتمثل في 50/50 من خليط الجبس والسليكا المطحونة، ثم بعد ذلك صب الخليط فوق النموذج حتى غطى منسوب الخليط النموذج تماماً.
- تم التخلص من الشمع باستخدام الحرارة ليتكون بالقالب فراغ يمثل شكل المنتج النهائي.
- تم بعد ذلك عزل القالب لوضع لمسحوق من الزجاج المطحون داخل الفراغ المشكل داخل القالب.

المرحلة السابعة: تشكيل الزجاج:

تمت عملية تشكيل الزجاج عن طريق صهر المسحوق الزجاجي عند درجة حرارة 850 درجة مئوية تقريبًا، حتى يصل الزجاج إلى أدق التفاصيل الموجودة بالقالب، وبعد الانتهاء من عملية الصهر والتبريد يخرج المنتج الزجاجي من القالب عن طريق تفتيت جسم القالب.

المرحلة الثامنة: المعالجة والتشطيب (لقطعة الحلي):

تم في تلك المرحلة تنظيف وتلميع قطعة الحلي الزجاجية بوضعها في حوض من الماء النظيف للشطف، حيث لم تستلزم تلك القطعة أي عمليات تجليخ أو معالجات أخرى.

المرحلة التاسعة: التجميع والتركيب:

تم في تلك المرحلة استخدام بيت الفص الإطاري في عملية تركيب أو وصل قطعة الحلي الزجاجية بباقي مكوناتها، ومثبت ببيت الفص إحدى أنواع حلقات الوصل المعدنية الثابتة المستخدمة في عملية التعليق كما هو موضح بالشكل (14)، وتم تثبيت الفص أو قطعة الحلي الزجاجية ببيت الفص الإطاري باستخدام اللصق بمادة الإيبوكسي الكيميائية. والشكل (15) يوضح الشكل النهائي لقطعة الحلي الزجاجية الناتجة عن تطبيق جميع مراحل المنهجية المقترحة في التنفيذ.

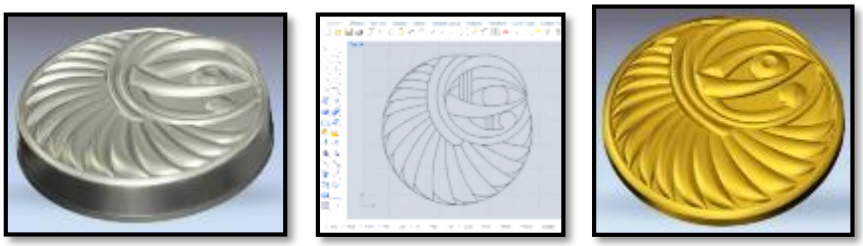
شكل (14) تثبيت الفص الزجاجي باستخدام بيت الفص الإطاري

شكل (15) الشكل النهائي لقطعة الحلي الزجاجية الناتجة عن تطبيق جميع مراحل المنهجية المقترحة

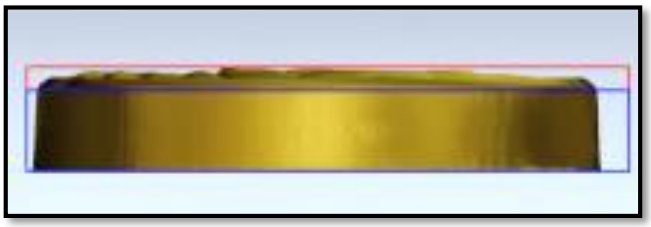
2-3 تنفيذ قالب من النحاس لقطعة من الحلي الزجاجية باستخدام ماكينة التشكيل الميكانيكي CNC Milling:

المرحلة الأولي: الصياغة ثلاثية الأبعاد:

وقد تم في هذه المرحلة رسم التصميم ثنائي الأبعاد باستحدام برنامج راينو، ثم إدخال بيانات التصميم ثلاثية الأبعاد لوصف النموذج المادي لقطعة الحلي باستخدام برنامج النمذجة ثلاثى الأبعاد أرت كام ArtCam، كما هو موضح بالشكل (16). ويبلغ قطر ذلك النموذج 6.5 سم، وسمك 6مم.، أما أبعاد القالب فيبلغ عمقه 12 مم، والمعبر عنها باللون الأزرق في الشكل (17)، بجانب 3 مم التي تمثل إجمالي بروزات التفاصيل والمعبر عنها باللون الأحمر.



شكل (16) نموذج ثلاثي الأبعاد باستخدام برنامج آرت كام لشكل التصميم المراد تنفيذ قالب له



شكل (17) رسم توضيحي يبين تفاصيل عمق القالب

المرحلة الثانية: نقل البيانات وتحويلها:

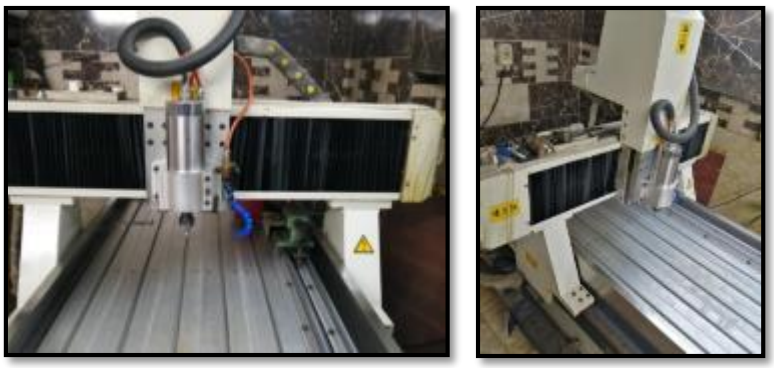
باستخدام برنامج Art CAM تم تحديد مادة القالب المستخدمة في التشكيل (والتي تمثل النحاس)، وحجمها وتحديد نوع العملية المطلوبة (التشكيل أو التفريز) وأنواع أدوات الحفر المستخدمة ومقاساتها المطلوبة لتنفيذ النموذج المطلوب، حيت تم اختيار أنواع أقلام حفر ذات سمك (6 مم) لنزول العمق 12 مم المطلوب والذي لا يحتوي على أي تفاصيل، ثم تم استخدام أقلام حفر أخرى ذات سمك 0.5 مم لحفر تفاصيل وتشكيلات النموذج الموجودة بقاع القالب. وبعد الانتهاء من اختيار عدد القطع وتحديد سرعتها ومقاساتها ونوع العملية، تم الانتقال إلى مرحلة معالجة التصميم وتحويله إلى لغة الماكينة (G-Code) لتحصل على الشفرة اللازمة لتشغيلها.

المرحلة الثالثة: الفحص والإعداد:

تم في تلك المرحلة فحص الملف جيدًا للتأكد من خلوه من العيوب التي تتسبب في ظهور الحفر والفجوات، وتتمثل عملية الفحص في التأكد من عدم وجود تقاطعات بين مثلثات الرسم واكتمال الزوايا، وعدم وجود أجزاء مفتوحة.

المرحلة الرابعة: عملية التشكيل الرقمي الميكانيكية CNC Milling:

تم في تلك المرحلة استخدام ماكينة التشكيل الرقمي الميكانيكة الموضحة بالشكل (18)، وهي ماكينة ثلاثية المحور 3-Axis Machine، وقد تم استخدام خامة النحاس في تشكيل القالب ليساعد على تشكيل التفاصيل الصغيرة كالموجودة بالنموذج.



شكل (18) ماكينة التشكيل الرقمي الميكانيكية CNC MIling Machineالمستخدمة في تنفيذ القالب

المرحلة الخامسة: التشطيب والمعالجة:

تم في تلك المرحلة تشطيب ومعالجة القالب من الداخل بطرق يدوية عن طريق استخدام بعض أنواع الفرش والصنفرة لتنعيم أسطح القالب الداخلية، شكل (19). كما تم بعد ذلك تشكيل مكبس يدوي للقالب مصنوع من الحديد الصلب، حيث يبلغ ارتفاع أو عمق الجزء الداخل القالب كالموضح بالشكل (20)، وذلك لاستخدامه في عمليات تشكيل الزجاج للحصول على سطح وحواف مستوية.

شكل (19) الشكل النهائي للقالب النحاس بعد عمليات التشطيب

شكل (20) المكبس اليدوي الخاص بالقالب النحاس

المرحلة السادسة: تشكيل الزجاج:

تم في تلك المرحلة تشكيل قطعة الحلي الزجاجية باستخدام تقنية الصب بالمصهور الزجاجي داخل القالب، وتم كبس المصهور الزجاجي داخل القالب باستخدام المكبس اليدوي لضمان خروج قطعة الزجاج متساوية السطح والحواف، كما في الشكل (21).

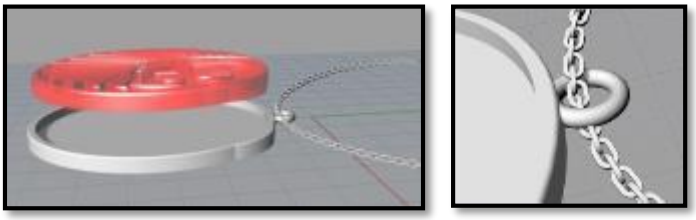
شكل (21) قطعة الحلي الزجاجية أثناء وبعد عملية التشكيل من المصهور الزجاجي بالكبس

المرحلة السابعة: المعالجة والتشطيب (لقطعة الحلي الأولية):

لم تستلزم تلك القطعة أي عمليات تجليخ أو معالجات.

المرحلة الثامنة: التجميع والتركيب:

تم في تلك المرحلة استخدام بيت الفص الخلفي في عملية تركيب أو وصل قطعة الحلي الزجاجية بباقي مكوناتها، ومثبت ببيت الفص إحدى أنواع حلقات الوصل المعدنية الثابتة المستخدمة في عملية التعليق كما هو موضح بالشكل (22)، وتم تثبيت الفص أو قطعة الحلي الزجاجية ببيت الفص الإطاري باستخدام اللصق بمادة الإيبوكسي.

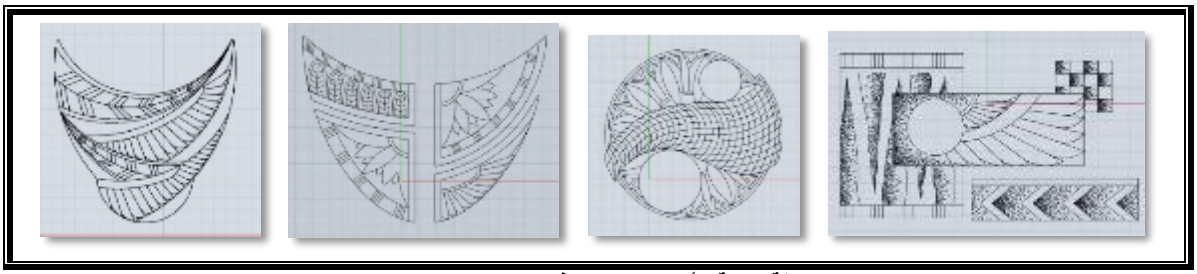


شكل (22) تثبيت الفص الزجاجي باللصق باستخدام بيت الفص الخلفي

3-3 تشكيل مظهر السطح باستخدام الطباعة الرقمية لقطع من الحلي الزجاجية:

المرحلة الاولي: الصياغة ثنائية الأبعاد:

وقد تم في هذه المرحلة إدخال بيانات التصميم ثنائي الأبعاد لوصف نموذج قطع الحلي باستخدام برنامج راينو، (يمكن استخدام برنامج رسم ثنائي الأبعاد مثل أوتوكاد) كما هو موضح بالشكل (23). حيث تم رسم أكثر من نموذج لتطبيق الطباعة الرقمية عليها، كما تم بعد ذلك إدخال تلك الصياغات على برنامج التعديل فوتوشوب Photoshopلعمل بدائل لونية لتلك التصميمات، والشكل (24) يوضح تلك البدائل اللونية.

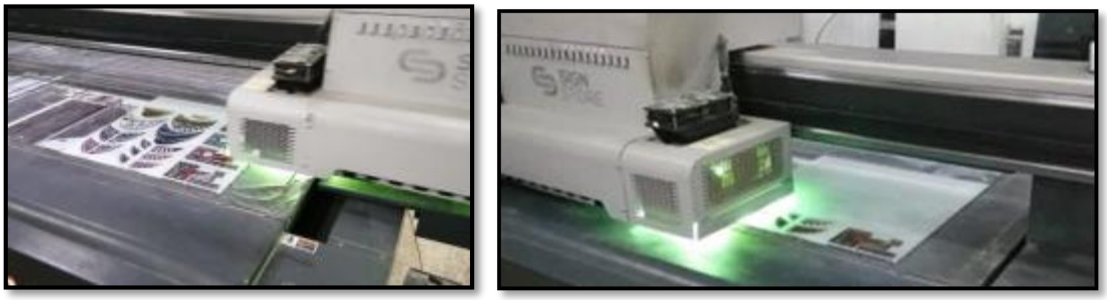


شكل (23) صياغة ثنائية الأبعاد لبعض نماذج من الحلي باستخدام برنامج راينو

شكل (24) بدائل لونية لتصميمات لنماذج من تصميمات الحلي باستخدام برنامج فوتوشوب

المرحلة الثانية: الطباعة الرقمية Digital Printing:

تم في تلك المرحلة طباعة النماذج التصميمية الملونة على قطعة من الزجاج المصنفر مقاس 50×50 سم، سمك 4مم، وقد تم تحويل أمر الطباعة من ملف الفوتوشوب إلى الماكينة مباشرة، والشكل (25) يظهرقطعة الزجاج أثناء عملية الطباعة على الماكينة، والشكل (26) يوضح قطعة الزجاج الناتجة بعد الانتهاء من عملية الطباعة.



شكل (25) قطعة الزجاج أثناء عملية الطباعة الرقمية على الماكينة

شكل (26) قطعة الزجاج بعد عملية الطباعة

المرحلة الثالثة: المعالجة والتشطيب (لقطعة الحلي الأولية):

بعد الإنتهاء من عملية الطباعة تم تقسيم قطعة الزجاج إلى ثلاث أجزاء لسهولة تقطيعها وتشطيبها، حيث تم تقطيع أجزاء كل قطعة باستخدام منشار القطع الكهربائي للحصول على كل قطعة منفردة، كما هو موضح بالشكل (27)، ثم المرور على مجلخ الزجاج الكهربائي Grinder لصنفرة ولتنعيم حواف كل قطعة.

شكل (27) قطع الحلي الزجاجية الأولية بعد عملية التقطيع والتشطيب

المرحلة الرابعة: التجميع والتركيب:

في تلك المرحلة تم اختيار ثلاث نماذج لاستكمال عمليات التركيب والتجميع للحصول على قطعة الحلي الزجاجية النهائية، وتم تركيب إطارات معدنية خلفية للقطع الزجاجية وتثبيت حلقات وصل ثابتة بكل منها، حيث تم تركيب حلقتي وصل لكل من النماذج أ، ج، الموضحة بالشكل (28)، عند طرفي الكوليه العلويين، وتم تثبيت حلقة واحدة فقط للدلاية الموجودة بالنموذج (ب)

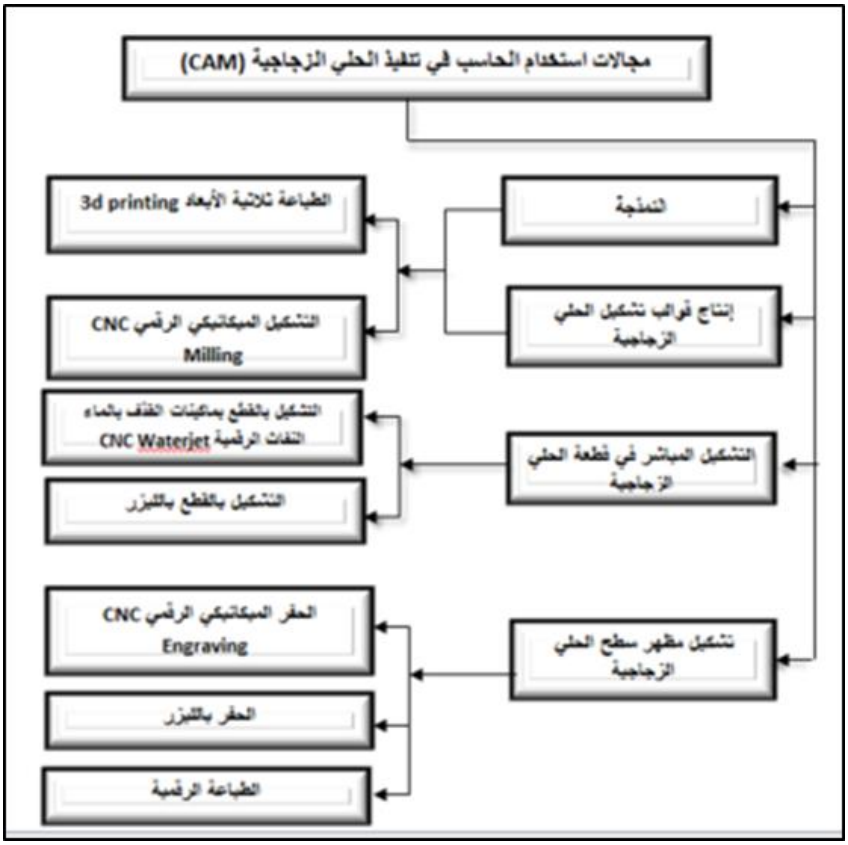
(ج) (ب) (أ)

شكل (28) ثلاث نماذج من قطع الحلي الزجاجية النهائية التي تم تجميعها وتركيبها

4- النتائج والتوصيات:

النتائج:

– أمكن الاستفادة من إمكانات الحاسب الرقمية في مجال تنفيذ الحلي الزجاجية ومدى التطور الذي يمكن أن تضيفه في هذا المجال **من خلال توظيف أنظمة الـ (CAM)في تنفيذ الحلي الزجاجية عن طريق العمليات التالية:** (النمذجة- إنتاج قوالب تشكيل الحلي الزجاجية- التشكيل المباشر في قطعة الحلي الزجاجية- تشكيل مظهر السطح للحلي الزجاجية) والشكل التالي يوضح تلك المجالات.



شكل رقم (28) توظيف أنظمة الـ ((CAMفى تنفيذ الحلى الزجاجية من خلال العمليات التالية:
(النمذجة- إنتاج قوالب تشكيل الحلي الزجاجية- التشكيل المباشر في قطعة الحلي الزجاجية- تشكيل مظهر السطح للحلي الزجاجية)

- **توصلت الدراسة إلى بعض النتائج لتنفيذ الحلى الزجاجية باستخدام أنظمة CAMوهي كما يلي:**

– بالنسبة للعرض والإظهار في الطباعة ثلاثية الأبعاد: يفضل استخدام تقنيات مثل SLA للعرض والإظهار بسبب هشاشة النماذج الناتجة فى عمليات الإنتاج وكذا تقنية FDM قليلة التكلفة.

– بالنسبة لأنواع النماذج المستخدمة في مراحل الإنتاج في الطباعة ثلاثية الأبعاد: يمكن استخدام تقنيات SLS أو DMLS، وذلك نظرًا لقوة وصلابة ومتانة النماذج الناتجة عن تلك التقنيات.

– بالنسبة لأنواع النماذج المستخدمة كمنتج نهائي في الطباعة ثلاثية الأبعاد: يمكن استخدام تقنية Binder Jetting، وذلك لاستخدامها الزجاج كأحد مواد البناء مما يجعلها مثالية في تشكيل قطعة الحلي الزجاجية الأولية. ويمكن أيضا استخدام تقنيتي DMLS/SLM حيث تستخدم لتنفيذ النماذج المعدنية، مما يجعلها ملائمة لتنفيذ المنتجات النهائية للحلي الزجاجية التي تحتوي على أجزاء معدنية كالخواتم.

– أنواع تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد طبقًا لنوع تصميم النموذج: بالنسبة للنماذج التي تحتوي على نسب عالية من التفاصيل الدقيقة، فمن أنسب التقنيات التي يمكن استخدامها، تقنيات مثل SLA، DLP،DOD ، حيث يتم استخدام تلك التقنيات لقدرتها على تنفيذ التفاصيل المعقدة ذات أسطح ناعمة ملساء

– تشكيل القالب: قامت الدراسة باستخدام إحدى أنظمة التصنيع الرقمية CAM لاستخدامها في تشكيل قوالب تنفيذ الحلي الزجاجية.

– المعالجة والتشطيب: توصلت الدراسة إلى التاكيد على أن مستوى ودقة تشطيب القوالب الرقمية أعلى بكثير من القوالب التقليدية وبالتالى تتمتع المنتجات الناتجة عنها بمستوى أعلى من الدقة والتشطيب، أما بالنسبة لقطع الحلي الزجاجية الأولية

الناتجة عن تقنيات التشكيل المباشر في الزجاج (سواء كانت عمليات ثقب أو قطع) فهى لا تحتاج لإجراء أى معالجات أو تشطيبات عليها.

- **تم تفعيل المنهجية المقترحة لتنفيذ الحلى الزجاجية باستخدام أنظمة CAM:** وذلك من خلال تنفيذ حلي زجاجية بتقنيات متنوعة تعتمد على استخدام أنظمة CAM في بعض مراحل التنفيذ: (تنفيذ نموذج بالطباعة ثلاثية الأبعاد - تنفيذ قالب تشكيل باستخدام ماكينة التشكيل الميكانيكي CNC Milling – الطباعة الرقمية على الزجاج).

التوصيات:

= الاهتمام بتفعيل أنظمة الحاسب المختلفة في عمليات تصميم وإنتاج الحلي الزجاجية.

= زيادة الأبحاث المهتمة بحل المشكلات في المنظومة الإنتاجية لتشكيل الزجاج اعتماداً على التطور التكنولوجي المتنامي في ذلك المجال.

= تطوير المناهج الدراسية لطلاب التخصص بالتدرب على نظم التصميم والإنتاج بمساعدة الحاسب الآلي& CAD CAM لمواكبة التطورات في سوق العمل.

6- المراجع:

1- أميرة فؤاد أنور محمد " وضع منهجية متطورة لتصميم الحلي لاستيعاب نظم الكاد بما لا يؤثر سلبًا على إبداع المصمم" رسالة دكتوراه، كلية الفنون التطبيقية، جامعة حلوان، 2010م.

-Amira Foad Anwar Mohamed "wade Mahageya Motatawera Le tasmem Al Holy Lesteab Nozom AL CAD bema LA yoather Salban Ala Ebdaa Al Mosamem. Reasat Doctorah, Koleyat Al Fonoon AL Tatbeeya, Gameaat Helwan, 2010.

2- إيمان عبد الله محمد " الأساليب التقنية في تصميم وتطبيق زجاج الحلي" رسالة ماجستير، كلية الفنون التطبيقية، جامعة حلوان، 2004م.

-Eman Abdulla Mohamed "Al Asaleeb Al Teqneya Fe Tasmeem Wa Tatbeeq Zogag Al Holy" Resalat Magesteer, Koleyat Al Fonoon AL Tatbeeya, Gameat Helwan,2004.

3- داليا محمود إبراهيم " أثر الإنتاج بالنظم الرقمية على تصميم منتج الأثاث المعدني" رسالة ماجستير، كلية الفنون التطبيقية، جامعة حلوان، 2009م

-Dalia Mahmoud Ibrahim "Athar AL Entag Bel Nozom Al Raqameya Ala Tasmeem Montag Al Athath Al Maadany, Resalat Magesteer, Koleyat Al Fonoon AL Tatbeeya, Gameaat Helwan, 2009.

4- محمد عبد الله طه " أثر المتغيرات التكنولوجية على تطور الفكر التصميمي لنظم الإنشاء المعدني" رسالة دكتوراه، كلية الفنون التطبيقية، جامعة حلوان، 2004 م

-Mohamed Abdullah Taha " Athar Al Motagayerat Al Technologeya Ala Tatawor Al Fekr AL Tasmeemy le Nozom Al Enshaa Al Maadany" Reasat Doctorah, Koleyat Al Fonoon AL Tatbeeya,Gameaat Helwan, 2004.

5- محمد محمد عطا الله هلال " وضع منهجية للتجميع الهيكلي للمكونات سابقة التجهيز في منتجات ونظم التأثيث والإنشاء المعدني" بحث منشور، مجلة العمارة والفنون والعلوم الإنسانية، الجمعية العربية للحضارة والفنون الإسلامية، العدد الثاني عشر، أكتوبر2018م.

-Mohamed Mohamed Atta Allah Helal " Wade Manhageya Lel Tagmey Al Haykaly Lel Mokawenat Sabeqat AL Tagheez Fe Montagat Wa Nozom AL Tatheeth Wa AL Enshaa Al

Maadany" Baath Mashoor, Magalat Al Emarah wal Fonoon Wal oloom Al Ensaneya, Al Gameya Al Arabeya Lel Hadara Wal Fonoon AL Eslameya, Al Adad Al Thany Ashar,October 2018.
6- httpswww.deskproto.comfilesuse-of-cam.pdf
https://www.3dhubs.com/knowledge-base/3d-printing-stl-files-step-step-guide7-
https://www.fictiv.com/hwg/design/how-to-prepare-cad-files-for-3d-printing8-

- https://www.3dhubs.com/knowledge-base/3d-printing-stl-files-step-step-guide[1]