دور التقنيات الحديثة في تطور تنفيذ المستنسخات النحتية

The Role of Modern Techniques in the Development of the Implementation of Sculptural Reproduction

م.د/غادة محمد السيد محمد شطا
مدرس بكلية الفنون التطبيقية – جامعة دمياط
Dr/ Ghada Mohamed Elsayed Mohamed Shata
Lecturer of the Faculty of Applied Arts – Damietta University
Dr.ghadashata@gmail.com

الملخص:

قد وظف النحات الابتكارات المتتالية في العلوم التقنية والميكانيكية للتسهيل والإسراع في عملية استنساخ النماذج النحتية، وخصوصاً بعد الثورة التكنولوجية والتي دخلت في شتي مجالات الحياة والمتمثلة في تقنية الحاسب الالي، فآثر ذلك بشكل قوي وفعال في الوسائط الإبداعية للنحات، فأصبحت تعطى النحات دفعة في سبيل ما يصبو اليه من خلال استغلال كافة الإمكانات المتاحة، ومع التطور السريع وظهور الجيل الثالث في العمليات التكنولوجية للإنتاج تنوعت تطبيقات النظم في العديد من مجالات التصميم والتصنيع والذي سعى للاستفادة من تقنيات الحاسب الألى والبرمجيات وتطبيقها في عملية التصميم، كما امتدت التقنيات الرقمية الي التصنيع الذي سعي لتحويل الإنتاج اليدوي الي الإنتاج التقني الذي اعتمد على القدرة الذهنية واختصار العمل اليدوي الي مفهوم التصنيع بالحاسب، والذي يضم كافة الأنشطة التي تدخل في عملية التخطيط والتحكم بالإنتاج مثل التحكم الرقمي في الحاسب.

وتقوم الباحثة بعرض مفهوم استنساخ العمل النحتى، وبعض التقنيات الحديثة المستخدمة في انتاج المستنسخات النحتية مثل (تقنية الترسيب الكهربي – تقنية الاستنساخ بالسباكة – تقنية البانتو جراف – تقنية التحكم الرقمي – تقنية الفورمتوجرافي)، كما تناولت الباحثة طرق تحديد التقنيات المتوافقة لاستنساخ النماذج النحتية، وتكمن مشكلة البحث فيما هو أثر التقنيات الحديثة قي تطور تنفيذ المستنسخات النحتية، وتقوم الباحثة باستخدام المنهج الوصفي التحليلي، وتقوم الباحثة بعرض النتائج:

١- التوصل الي أفضل تقنية متوافقة لاستنساخ العمل النحتى بجودة عالية مع خفض التكاليف وكثافة الإنتاج.

٢- إمكانية الحصول على مستنسخات كبيرة وصغيرة الحجم من العمل الأصلي، مما يوفر وقت ومجهود كبير علي النحات.

٣- استخدام التقنية المناسبة في عملية الاستنساخ يؤدي الي تفادى الكثير من العيوب والمشاكل التي قد تؤثر علي المنتج النهائي.

٤- من خلال استخدام التقنيات الرقمية يمكن للنحات ان يحول النموذج النحتى الي أي خامة سواء خامة صلبة كالرخام او خامة ضعيفة كالشمع.

الكلمات المفتاحية:

التقنيات الحديثة، المستنسخات النحتية، التحكم الرقمي، الفورمتوجرافي.

Abstract:

The sculptor has employed successive innovations in technical and mechanical sciences to facilitate and accelerate the process of reproducing sculptural models, especially after the technological revolution that entered various areas of life, represented by computer technology. This had a strong and effective impact on the sculptor's creative media, and it began to give the

sculptor an impetus for what They aspire to it by exploiting all available capabilities, With the rapid development and emergence of the third generation in technological processes of production, systems applications diversified in many areas of design and manufacturing, which sought to benefit from computer and software technologies and apply them in the design process. Digital technologies also extended to manufacturing, which sought to transform traditional production into lean production that relied on capacity. mentality and shortening manual work to the concept of computer manufacturing, which includes all the activities involved in the process of planning and controlling production, such as digital computer control. The researcher presents the concept of reproducing sculptural work, and some of the modern techniques used in the production of sculptural reproductions such as (electrodeposition technique - plumbing reproduction technique - pantograph technique - digital control technique - formatography technique). The research problem lies in what is the impact of modern techniques on the development of the implementation of sculptural reproductions, and the researcher presents the results:

1- Finding the best compatible technology for reproducing sculptural work in high quality while reducing costs and production intensity.

2- The possibility of obtaining large and small-sized copies of the original work, which saves the sculptor a lot of time and effort.

3- Using appropriate technology in the cloning process leads to avoiding many defects and problems that may affect the final product.

4- Using digital technologies, the sculptor can transform the sculptural model into any material, whether a strong material such as marble or a weak material such as wax.

key words:

Modern technologies, Sculptural Reproductions, Digital Control, Formtography.

مقدمة

قد تأثر فن النحت بمعطيات التكنولوجيا والتقدم العلمي لارتباطه بالعديد من المستجدات في التقنيات والأساليب الأدائية حيث استفاد النحات من الآلات الكهربائية والإلكترونية في تطويع الوسائط التقنية إلى إمكانات تعبيرية لإثراء ابداعه، فكان الأكثر تأثراً بالتكنولوجيا والبرمجيات الرقمية، فأصبحت التكنولوجيا أداه إبداعية وليست وسيلة، حيث ظهرت دورها في بلورة وترجمة الخطوط والعناصر محتوى الفكرة إلى هيكل وبناء وجسد تم تشكيله وصياغته بتقنية فائقة عبرت بوضوح عن الفكرة التي صاغها الفنان عبر منظومة من الخطوط والمساحات والكتل والفراغ.

واستخدام التقنيات الحديثة في مجال الاستنساخ يحقق العديد من الطفرات على مستوي الأداء والانجاز والتحكم وأصبحت الأعمال الإنتاجية منظومة متكاملة تعتمد على التكامل بين تكنولوجيا التصميم وتكنولوجيا التصنيع بهدف تحقيق أعلي مستويات الإنتاجية والتحكم والدقة.

مشكلة البحث

يمكن صياغة مشكلة البحث في الاتي:

- ما هو آثر التقنيات الحديثة في تطور تنفيذ المستنسخات النحتية؟

أهمية البحث:

١- القاء الضوء على أحدث التقنيات المستخدمة في عمل المستنسخات النحتية.

٢- التأكيد على مدى أهمية التقنيات الحديثة في توفير الوقت والمجهود للنحات، وتوفير الدقة العالية والجودة للمستنسخات النحتية.

أهدف البحث:

١- الاستفادة من التقنيات التكنولوجية المختلفة للوصول إلى الأسلوب التقني المناسب لإنتاج المستنسخات النحتية.

٢- عرض وتحليل دور التقنيات الحديثة في حل المشاكل التنفيذية للمنتجات النحتية التي يصعب تنفيذها بالطرق التقليدية.

فروض البحث:

يفترض البحث أن:

١- تطويع التقنيات التكنولوجية الحديثة لإنتاج المستنسخات النحتية يحقق منتج أقرب ما يكون للمنتج الأصلي.

٢- للتقنيات الحديثة دور فعال في حل المشاكل التنفيذية للتصميمات النحتية المعقدة والتي يصعب تنفيذها بالطرق التقليدية.

منهجية البحث:

يعتمد البحث على المنهج الوصفي التحليلي.

أولاً: مفهوم الاستنساخ:

الاستنساخ في مجال الفن عامة ومجال الفن خاصة يعنى انتاج أكثر من نسخة طبق الأصل من النسخة الأصلية متطابقة معها في جميع الصفات، وذلك من خلال ما يسمى بالقالب، حيث ان فكرة القالب والنسخة قديمة كقدم الطبيعة ذاتها فإن الحفريات التي نجدها كالأصداف والأسماك والنباتات قد نشأت نتيجة لقوى طبيعية قامت بتغطية هذه المواد مثل الرمل والطمي حيث شكلت بفعل ملايين السنين قالباً صخرياً من هذه المواد وأصبح الأصل لهذه العناصر حفرياً بمثابة النموذج الذي يشكل القالب بصفاته، ومن ثم فانه بشق هذه الصخرة تعد طبقة سالبة ويكون النموذج ايجابياً وحينئذ يكون الاستنساخ ممكناً وذلك بصب مادة أخري في الطبقة السلبية للصخرة. (عوض ٢٠١٨م) [١]

والاستنساخ في فن النحت يعني عملية تكرار انتاج نفس أدوات العمل الفني بكل مواصفاته، أي أنها نفس النسخة مكررة عدة مرات عند انتاجها من النسخة الأصلية عن طريق القالب، كما يعد الاستنساخ أحد الأساليب واسعة الانتشار في مجال فن النحت، حيث يشكل مرحلة مهمة وضرورية من مراحل انجاز العمل الفني بالرغم من كونه مرحلة ثانوية بالنسبة للفنان عند ابتكاره لعمله، حيث يزيد من الأداء المهاري الذي يسمح للفنانين بالسيطرة على وسائل التنفيذ المتصلة بهذه الأعمال، ويقوم الاستنساخ على أساس ثابت يرتبط ارتباطاً جوهرياً بالنموذج الأصلي للعمل الفني وتتابع مراحل تنفيذه. (إسماعيل ٢٠٠٦)

ثانياً: بعض التقنيات الحديثة المستخدمة في عملية استنساخ النماذج النحتية:

١- تقنية الاستنساخ بالترسيب الكهربي:

تطورت الدراسات في مجال البوليمرات، وقدمت لفن النحت والاستنساخ الكثير من اللدائن ، والتي كان لها الاثر الأكبر في اثراء الرؤية التشكيلية لدى الفنان المعاصر، والمتابع للمتغيرات الفنية التي أحدثتها التقنيات الحديثة يكشف أنها جاءت لتفاعل الفنانين وحماسهم لهذه الخامات والتي أتاحت لهم أفاق ممتدة أنها طبيعة الابتكار وقوة الابداع وهي التي جعلت الفنانين يتطورون أكثر من المتوقع وأهتموا بالخامة النحتية أكثر من اهتمامهم بالبحث عن الصيغة الاسلوبية مثل التكعيبية أو المستقبلية أو البنائية، ففي العصر الحديث استحدت الكثير من تقنيات استنساخ الخامات بالترسيب الكهربي. (إسماعيل ٢٠٠٦م) [٢]

وتعد تقنية الترسيب الكهربي من أهم التقنيات التي تستخدم في إنتاج المنتجات المعدنية واستخدمت في تحسين مظهر سطح المنتج أو الخواص الميكانيكية للمنتج، ولكن خلال الأربعين عاماً الماضية قد تم تطبيق الترسيب الكهربي في العديد من مجالات الصناعة، حيث تتميز هذه التقنية بالبساطة الفريدة في التنفيذ والتكلفة المنخفضة لرأس المال والبراعة العالية ودقة الأشكال مما يؤدى إلى التطور السريع. (إبراهيم ٢٠١٥م) [٣]

- **تعريف الترسيب الكهربي:**

هو عملية ترسيب طبقة رقيقة من سطح المعدن على سطح معدن آخر لتحسين خصائص سطحه للحصول على الكهربائية المطلوبة ومقامة التآكل ويقلل من الاحتكاك ويستخدم للزخرفة. (إبراهيم ٢٠١٥م) [٣]

كما يعرف الترسيب الكهربي بأنه "عبارة عن طاقة كيمائية وطاقة كهربائية ومجموعة من الإلكترونيات تتناسب مع الحلول تناسباً طردياً" بناءً على النظرية الخاصة بالعالم مايكل فرادي "Micheal Farady" والتي كانت الأساس الذي عمل عليه في استخدامه للترسيب الكهربي مع مراعاة المواد التي تتعرض للتحول مع المكافئ الكيمائي الخاص بها. (عوض ٢٠١٨م) [١]

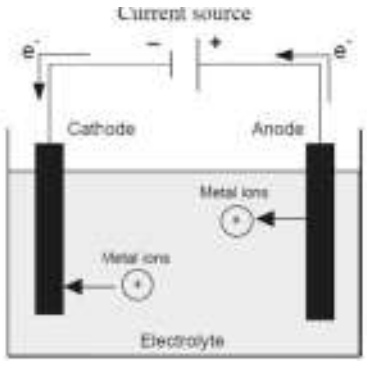
ويعتبر الترسيب الكهربي هو أحد النتائج العلمية لعلم الكمياء الكهربية، وهذا العلم يهتم بدراسة التحول المتبادل بين الطاقة الكيمائية والطاقة الكهربائية من خلال ما يحدث من تفاعلات سواء كانت أكسدة أو اختزال، ومن خلال هذه التفاعلات تنتقل فيها الإلكترونات من أحد المواد المتفاعلة إلى المادة الثانية المشتركة معها في التفاعل الكيمائي. (إسماعيل ٢٠٠٦م) [٢]

ويعني ارتباط الترسيب الكهربي بالتكنولوجيا أن هذا العمل لم يأت إلا من محاولات عديدة من جانب من مجموعة من العلماء والباحثين للوصول إلى خصائص هذه التقنية والتعرف عليها والوقوف على قوانينها، ويعتبر القانونان اللذان وضعهما العالم فرادي هما الأساس الذي بني عليه فكر ومفهوم الترسيب الكهربي وهما: (محمد ١٩٩٨م) [٤]

القانون الأول: في أي عملية الكترونية تتناسب كمية المادة التي تتعرض للتحول تناسب طردي مع كمية الكهرباء المارة في المحلول.

القانون الثاني: عند مرور كمية متساوية من المواد التي تتعرض للتحول تتناسب مع مكافئها الكيمائي.

ولم تكن الدراسات الخاصة بالعالم "فرادي" في الترسيب الكهربي هي الوحيدة، حيث ظهرت التجارب المبتكرة للعالم ألفرد سام "Alfreed Sam" في مجال الكهرباء والذي توصل من خلالها إلى أن " تيار البطارية الكهربي والذي يقوم بتجميع أو نشر وتشتيت ذرات المعدن غير المرئية في المحلول وتوجيهها لتتحول على سطح معدن آخر". (عوض ٢٠١٨م) [1]شكل (١)



شكل (١) يوضح طريقة ترسيب لخلية كهروكيميائية عامة [٣]

- **خطوات إجراء عملية الاستنساخ بالترسيب الكهربي:**

١- تنظيف القالب الموصل.

٢- وزن القالب الجاف.

٣- التحكم في درجه الحرارة، وسرعة الترسيب، وكيمياء الإلكترونيات.

٤- وضع النموذج على الحامل.

٥- فحص التيار بين مصدر التيار وسطح النموذج.

٦- ادراج الحامل إلى الإلكتروليت في موازه القطب الموجب والانتظار القطب الموجب.

٧- توصيل تيار معلوم لوقت معلوم.

٨- إخراج الحامل وتنظيف المنتج بالماء منزوع الايونات وغاز النيتروجين الجاف.

٩- وزن المنتج الجاف وحساب كفاءة التيار.

١٠- تقييم الترسيب. (إبراهيم ٢٠١٥م) [٣]

- **استخدام تقنية الترسيب الكهربي في الاستنساخ:**

للترسيب الكهربي أهمية كبيرة في عملية استنساخ القوالب الفنية وذلك لترسيب طبقة أولية من الفلز المناسب للسطح المراد الترسيب عليه كما أنه عن طريق الترسيب الكهربي يمكن التحكم الواسع المدي في الخواص الميثولوجية للفلز المراد الاستنساخ به، وذلك باختيار الفلز المناسب في البداية ثم خلط مكونات حمام الطلاء للتحكم في خواص الحمام وبالاختيار المميز لخامة القالب يمكن انتاج كميات كبيرة بأبعاد عالية الدقة. (عوض ٢٠١٨)[١]

وإذا كان للاستنساخ بالترسيب الكهربي أهمية في انتقال تحقيق الفنان التشكيلي من وسط مرن أو صلب مؤقت إلى وسط أكثر بقاء وخلود وتهيئة لحمل مضمون الفكر التشكيلي إلا أن أهميته أيضاً تتأكد من خلال أهمية الانتشار للأعمال الفنية باعتبار أن الانتشار غاية يصبو إليها الفنان. (البذرة ٢٠١٠) [٥]

وتأتي أهمية الترسيب الكهربي في عملية الاستنساخ في فن النحت في انتاج عدد كبير من الأعمال المماثلة لبعضها البعض في التفاصيل من حيث الشكل والحجم والجودة والوزن باستخدام القوالب.

- **طرق الاستنساخ باستخدام الترسيب الكهربي:**

يتم الاستنساخ بالترسيب الكهربي عن طريق القوالب لإنتاج النماذج المقترحة ويلاحظ أنه لا يمكن عمل منتجات عالية الجودة بدون قوالب جيدة الصنع وذو دقة عالية، وتنقسم القوالب المستخدمة في عملية الاستنساخ إلى عدة أنواع:

١- **القوالب الدائمة:** تصنع من مواد غير معدنية (لافلزية) مثل اللدائن، وتستخدم كنماذج دائمة للمنتج حيث يصعب عملية الفصل بعد الاستنساخ بالترسيب الكهربي. (إسماعيل ٢٠٠٦م) [٢]

٢- **قوالب المصيص:** تستخدم هذه القوالب مع دهانها بمواد عازلة للمحاليل أو إضافة الجرافيت كمادة مضافة إلى الجبس الذي يعتبر في هذه الحالة مادة رابطة والجرافيت يعتبر مادة قابلة للتوصيل الكهربي، ويتميز هذا النوع بالدقة في الأبعاد والمحافظة على السطح الخارجي عند تعرضه للصدم. (عوض ٢٠١٨م) [١]

٣- **قوالب الكساء المفقود:** تعبير الكساء يشير إلى غطاء شمعي خاص للقالب وفي هذه العملية يصنع القالب من الشمع لكل مصبوب ويصب النموذج، والنموذج الشمعي إما يصب في قوالب معدنية أو جبسية حسب الكميات المقترحة للإنتاج، ويصب الشمع داخل القالب حسب السمك المقترح للقالب الشمعي ثم يفصل النموذج الشمعي عن القالب الخاص بالنموذج وتشطيبه للإعداد للعمليات اللاحقة ويركب الشمع المستخدم من (شمع البرافين والإسكندراني والراتنجات) ويحقن الشمع عند درجه من ١٢٠ إلى ١٥٠ درجة مئوية وضغط يتراوح بين ٢٠٠ إلى ٣٠٠ على البوصة المربعة. (محمد ١٩٩٨م) [٤]

٤- **قوالب الكاوتش:** يمكن أن تصنع في الكاوتش، وذلك للنماذج التي يمكن فصلها بسهولة والتي تتضمن نتوءات بسيطة.

- **مميزات الاستنساخ بالترسيب الكهربي:**

١- أبعاد عالية الدقة للمنتج والقالب: حيث يتم استنساخ نماذج مطابقة لأبعاد القالب ولا يزيد الفارق عن سمك ٥ ميكرون دون أي تشوهات.

٢- الدقة في إعادة انتاج تفاصيل السطح: مما يجعل من الصعب التمييز بين النسخة الأصلية والنسخ التي تم نسخها بالترسيب الكهربي بسبب درجه الدقة العالية والذي يميزها عن الطرق الأخرى في انتاج عدد كبير من النسخ.

٣- التحكم في الحجم: فالحجم يحدد بواسطة سعة الطلاء المتنوعة للأعمال المختلفة سواء كان الحجم عدد قليل من المليمترات إلى عدة أمتار، ولا يوجد علاقة بين وقت الترسيب الكهربي والحجم الجزئي للمستنسخات. (إبراهيم ٢٠١٥م) [٣]

- **عيوب الاستنساخ بالترسيب الكهربي:**

١- التكلفة تكون غالباً مرتفعة نسبياً، ولا يختار الاستنساخ بالترسيب الكهربي كأسلوب إنتاج إلا عند عدم إمكانية الاستنساخ بالطرق الأخرى.

٢- أي خدش بسيط أو نقص في القوالب سوف يظهر في كل القطع المنتجة بهذا الأسلوب.

٣- التغير المفاجئ في القطاع العرضي أو تخانات الجوانب يسبب الكثير من المشاكل.

٤- الزوايا الحادة تسبب مشكلة إذ يجب أن ألا تكون عميقة وألا يوجد تجاويف ضيقة تمنع الترسيب.

٥- معدل الإنتاج للقطعة الواحدة ربما يكون بطيء نسبياً قد يقاس بالأيام. (البذرة ٢٠١٠م) [٥]

٢- تقنية الاستنساخ بالسباكة:

يعد الاستنساخ بصب المعادن من أول وأهم عمليات استنساخ المعادن التي عرفت على الإطلاق، وإن معظم المنتجات التي تنتج كل يوم في جميع أنحاء العالم من خلال عمليات تشكيل ميكانيكية تستخدم فقط حوالي ٢٠% في عمليات السباكة المباشرة، وتشكل هذه المنتجات على ألواح معدنية انتجت من خلال تصلب السبائك والمنتج النهائي يعتمد على نوعية المعدن المسبوك.

حيث تتم سباكة المعادن عن طريق صهر المعدن أو السبيكة وتحويلها من حالتها الجامدة إلى السائلة وصبها في تجويف قالب بالشكل المطلوب ليتشكل المنصهر بشكل تجويف القالب اعتماداً على كون السوائل تتشكل بشكل الفراغ الذي يحتويها ثم يترك القالب ليبرد بالتجميد بمحتواه ثم يخرج المصبوب من القالب. (إبراهيم ٢٠١٥م) [٣]

- **الخواص المتطلبة في السباكة:**

يجب أن تكون السبائك المعدنية المستخدمة لإنتاج المسبوكات ذات خواص تكنولوجية معينة وأن تعطى مسبوكات ذات خواص ميكانيكية معينة وأهم الصفات التي تتميز بها السبائك:

١- **السيولة:** وهي قدرة المعدن على ملء قالب السباكة جيداً، ولا تتوقف سيولة المعدن على تركيبه الكيميائي فقط، ولكنها تتوقف على درجة حرارة الصب.

٢- **الانكماش**: وهي خاصية انكماش المقاييس الطولية والحجمية للمعادن والسبائك عند تجمدها وتبريدها ويعبر عن الانكماش الطولي أو الحجمي بالنسبة المئوية من طول أو حجم المسبوكة الباردة.

٣- **التأثيرات السطحية:** عندما يذوب المعدن يجب أن يتدفق خلال قنوات صغيرة، فيصبح التوتر السطحي كبير وتوتر السطح العالي يستحيل ملء الزوايا الحادة، وعند التعرض للجو فالكثير من الأسطح المنصهرة تغلف بسرعة بطبقة من الأكسيد ومن الطبيعي فإن هذه الطبقة من الأكسيد تؤثر كثيراً على أداء عملية السباكة. (مهدي ٢٠٠٠م) [٦]

٤- **الانعزال:** يحدث الانعزال عندما يتجمد الجزء الخارجي للسبيكة بشكل أسرع من مركزها الذي يبرد ببطء، لذلك يكون المركز أغنى بالذرات والشوائب من الجزء الخارجي الذي تجمد أولاً، ويتوقف الانعزال إلى حد كبير على طبيعة السبيكة وتكنولوجيا السباكة وكلما زاد المدى بين درجتي حرارة التبلور كلما زادت خطورة حدوث الانعزال. (إبراهيم ٢٠١٥) [٣]

- **أساليب السباكة:**

أ- **السباكة بالطرد المركزي Centrifugal Casting:**

إن مبدأ القوة الطاردة المركزية التي تنشأ نتيجة دوران القالب داخل الماكينة بسرعة عالية يعتبر الأساس الذي تعمل بموجبة هذه الطريقة، حيث يتم صب المعدن المنصهر إلي داخل تجويف القالب أثناء دورانه بواسطه مجري خاص فيسقط على سطح القالب ليحاول التشكل عليه بفعل القوة الطاردة له بعيداً عن محور الدوران فيتجمد هناك، في هذه الطريقة يندفع المنصهر المعدني الى جدران القالب بتأثير تعجيل الطرد المركزي ٧٠:٨٠ مرة بقدر التعجيل الأرضي، حيث يتجمد المنصهر المعدني علي شكل أسطوانة مجوفة، والشكل الخارجي للمسبكة يغطي بواسطة محيط القالب بينما قطر السطح الداخلي للأسطوانة يمكن أن يسيطر عليه بواسطه كمية المعدن المصبوب الي فجوة القالب، تتميز مسبوكات الطرد المركزي بتجانسها وخلوها من الشوائب والفقاقيع وانتظام سمكها علاوة علي ذلك تتميز بالكثافة العالية وتركيب حبيبي ناعم وخواص ميكانيكية جيدة وانتاجية عالية ويكون المصبوب قادر علي التقاط أدق التفاصيل. (عباس، موسي ٢٠٠٨) [٧]

ب- **السباكة بتفريغ الهواء Vacuum Casting:**

يتم مزج الرمال الناعمة مع رغوة اليورثين ويصب على القوالب المعدنية وتعالج ببخار أميني، ثم يتم ربط القالب مع ذراع الروبوت ثم يغمر القالب الموضوع بشكل معكوس بالمقارنة مع طريقة الصب العادية جزئياً في المعدن المنصهر في فرن الحث، يقلل الفراغ من ضغط الهواء داخل القالب الى نحو ثلثي الضغط الجوي ويسحب المعدن المصهور الى داخل تجاويف القالب عبر البوابة السفلية للقالب، والمعدن المصهور في الفرن يكون عادة عند درجة حرارة ٥٥ درجة مئوية أعلى

من درجه انصهار السائل، وبالتالي يبدأ المعدن بالتجمد خلال جزء من الثانية وبعد ملء القالب يتم السحب من المعدن المصهور. (حسين ٢٠١٢م) [٨]

ج- <u>السباكة بالشمع المفقود Lost Wax Method:</u> يعتبر أسلوب السباكة بالشمع المفقود أحد الأساليب المستخدمة في انتاج أنواع محددة من المنتجات المعدنية، وتستخدم هذه الطريقة في الإنتاج الكمي للمسبوكات، ويمكن بهذه الطريقة الحصول على مسبوكات على درجة عالية من جودة السطح من حيث النعومة والتشطيب دون استخدام اسلوب تشغيل ميكانيكي لها بعد ذلك، وتتلخص هذه الطريقة في: (مهدي ٢٠٠٠م) [٦]

١- يتم صناعة معظم النماذج المستخدمة بتقنية الشمع المفقود من الشمع مباشرة دون الحاجة الي تصنيع نموذج معدني، ويتم استخدام الشمع في تشكيل النموذج بطرق مختلفة فمن الممكن بنائه أو نحته أو من خلال الجمع بين التقنيات.

٢- بعد ذلك يتم تصنيع الشجرة الشمعية وتوصيلها بنظام موحد للصب من الشمع حيث يتم تثبيت المصب الرئيسي علي قاعدة مطاطية ثم يتم لحام النماذج الشمعية ملحق بها المصب الفرعي في المصب الرئيسي.

٣- تتلي الشجرة السابق تصنيعها بواسطة غمرها في مادة المارشاليت وكمية صغيرة من الكاولين والجرافيت مع الماء المخلوط بقليل من ماء الزجاج، ثم يترك القالب ليجف في الهواء لمدة من ٣:٢ ساعات، وبذلك تتكون طبقة على الشجرة من السيراميك بسمك من ٢ الى ٦ ملم، ويتم تكرار هذه العملية عدة مرات للحصول علي سمك القشرة المطلوب.

٤- بعد أن تجف الشجرة توضع في صندوق حيث يتم ملء الفراغ بين الشجرة والصندوق بواسطة خلطة رمال المسبك ثم يتم الهز بماكينات الهز الخاصة، ثم يتم صهر الشمع المتواجد في الشجرة عن طريق وضع الصندوق بالكامل داخل فرن مقفل درجه حرارته من ١٠٠ ال ١٥٠ درجة مئوية لمدة ساعتين ويجمع الشمع المنصهر لإعادة استخدامه وبعد ذلك درجة الحرارة الى ٩٠٠ درجة مئوية بغرض عمل التحميص للقالب.

٥- بعد الانتهاء من عمليه التحميص يتم صب المعدن في القالب تحت ضغط من ٢-٥ ضغط جوي بطريقة الطرد المركزي وهي أفضل طريقة من حيث الدقة.

٦- بعد حدوث تجمد للمعدن المنصب يتم تكسير القشرة الخارجية للحصول على شجرة النماذج المسبوكة ويتم تقطيع المسبوك المطلوب من الشجرة كمنتج نهائي وباقي الشجرة يتم اعادتها الي قسم صهر المعادن مرة أخرى.

٧- تتم بعد ذلك عملية تنظيف المنتج يدوياً او آلياً. (إبراهيم ٢٠١٥) [٣]

٣- تقنية البانتوجراف Pantograph:

- **تعريف جهاز البانتوجراف:**

ظهر جهاز البانتوجراف اليدوي في البداية بدار سك العملات والميداليات في روما عام ١٨٦٥م، وهذا الجهاز يقوم بكل العمليات دون الحاجة إلى التدخل أثناء النقل، حيث يتم تركيب النموذج للعملة أو الميدالية المراد عمل قالب غائراً أو بارزاً منه على هذا الجهاز وتحديد المدة الزمنية لإنهاء النقل، وعادة هذا الجهاز من أنسب الأجهزة للنقل والتصغير وعمل القوالب في مجال سك العملة والميدالية. (عبد الحكيم ٢٠١٩م) [٩] شكل (٢)

شكل (٢) جهاز البانتوجراف Pantograph [١٠]

- **طريقة عمل جهاز البانتوجراف:**

تنفذ العملات المعدنية أولا في نموذج جصي مكبر ومنه تسبك النسخة المعدنية التي توضع في ماكينة البانتوجراف والتي تقوم بدورها بحفر الشكل مصغراً بنفس حجم العملة والميدالية بواسطة الحد القاطع للبانتوجراف مسترشدا بالسن المرشد والذي يتحرك فوق النموذج المعدني ثم يستخدم الشكل الرئيسي المصغر والمحتوى على كل تفاصيل التصميم على شكل نحت بارز لتضغط عليه القوالب الصغيرة وتحتوي ماكينة البانتوجراف على الأجزاء التالية: (عبد الحكيم ٢٠١٩) [٩]

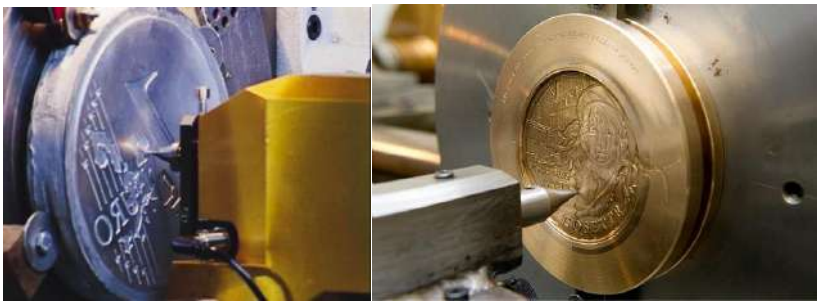
- **السن القاطع " سكينة البانتوجراف:"** وتستخدم لإزالة المساحات غير المطلوبة.
- **الدليل:** وهو عبارة عن سن مرشد متحرك على كل جزء فوق النموذج الكبير للعملة أو الميدالية.
- **منجلة كبيرة:** لتوضع عليها النماذج الكبيرة للعملة أو الميدالية.
- **منجلة صغيرة:** ليوضع عليها قالب التشغيل المراد تصغيره. (موسوعة التكنولوجيا) [١٠]

وتوجد مسطرة بين سكينة القطع ودليل البانتوجراف وذلك لضبط نسب التكبير والتصغير قبل التشغيل. شكل (٣)

شكل (٣) طريقة عمل جهاز البانتوجراف [١٠]

- **جهاز البانتوجراف الكهربي الحديث:**

تمثل ماكينة الحفر بالشرارة الكهربائية المستمرة Spark Erosion Machine نوع متطور من الأساليب الميكانيكية الحديثة المستخدمة في مجال العملة والميداليات إذ تستطيع أن تؤدى بشكل سريع العديد من العمليات التي تستخدم في فن العملة والميدالية وعن طريق الحفر بالشرارة الكهربائية ومن بين هذه العمليات العديدة استنساخ أشكال مماثلة تماما من الصلب الفولاذي أو حديد الزهر أو النحاس أو أي معادن صلبة أخرى، ويمكن استنساخ نماذج الميدالية أو العملة سواء كانت بارزة أو غائرة بنفس تفاصيلها وكذلك بدرجات الملمس والتي تتدرج من الملمس الناعم جدا إلى الملمس الخشن الحاد. (عبد الحكيم ٢٠١٩) [٩] شكل (٤)



شكل (٤) يوضح طريقة عمل جهاز البانتوجراف الحديث [١٠]

٤- تقنية التحكم الرقمي:

- **تعريف التحكم الرقمي:**

عرف العصر الحديث بعصر المعلومات أو عصر الحاسب الألى هذا الابتكار الذي غير وجه الحياة الإنسانية، حيث أصبح الحاسب الآلي يستخدم كأداة في يد الفنان ليوسع قدراته في مجال الفنون المرئية عن طريق تحليل أفكاره وادخالها في الحاسب فيقوم ببرمجة الأفكار، فالتحكم الرقمي هو التحكم في ماكينات العدد باستخدام الأرقام، حيث تستقبل الماكينة الأوامر من وحدة تحكم خاصة وتقوم بتنفيذها، وتقبل الماكينة المعلومات في صورة شفرات Coded information من وحدة التحكم، وتقوم بالتنفيذ وفقاً للأوامر المرسلة، ويتم تخزين هذه المعلومات بطريقة يمكن استرجاعها من لوحة البرنامج، وبرنامج التحكم الرقمي عبارة عن مجموعة من الأوامر يقوم بكتابتها المبرمج حيث يتم تحويل المعلومات الخاصة بالعمل النحتى الي قائمة مرتبة منطقياً لتوجيه الماكينة لتنفيذ جزء معين من تشغيل العمل المطلوب. (عبد الحكيم ٢٠١٩) [9]

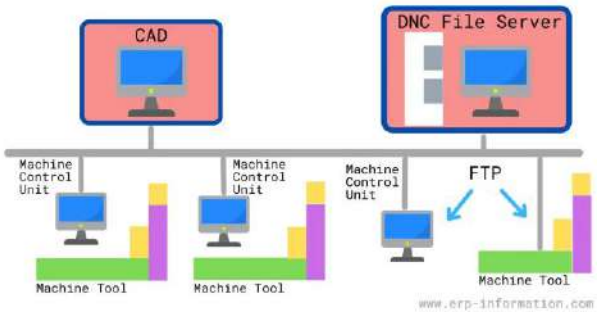
وكان لظهور تقنية التحكم الرقمي بمثابة التحول الجذري في طريقة التحكم في ماكينات العدد، وذلك استجابة لما بدأ جلياً من وجود محدودية في إمكانيات هذه الماكينات، مما يفرض قيوداً ثقيلة على التصميمات الهندسية ومتطلباته المتصاعدة من حيث الدقة والتعقيد. (إبراهيم ٢٠١٥) [٣]

حيث تتعدد أساليب الاستنساخ بمساعدة الحاسب الألى لتنفيذ أجزاء معقدة بأسلوب سريع جدا من خلال معرفة التصميم والتركيب الداخلي للمنتج المراد تصنيعه أو عندما يكون مصدر المعلومات منتج قائم بالفعل وليس منتجا مصمماً أو عندما يراد تطوير منتج ما من خلال تقنيات التصميم بالحاسب الألى حتى يتثنى تصنيعه بعد ذلك أيضا بمساعدة الحاسب يكون من المهم التعرف على تقنيات التصميم بالمسح ثلاثي الابعاد بغرض التعرف على الصفات المادية للمنتج، وقد تقتصر هذه الصفات المادية على قياسات المنتج وابعاده، ولكنها قد تمتد الى عدد اخر من الصفات الفيزيائية كاللون والملمس وغيرها.(سميث ١٩٩٧) [١١]

- **أنواع نظم التحكم الرقمي:**

١- **<u>التحكم الرقمى (NC):</u>** يتم التحكم في معدات التصنيع بواسطة برنامج خاص بالقطعة المراد انتاجها، ويكون البرنامج في شكل ارقام وحروف ورموز، ويحفظ على شكل شريط مثقب يتم قرأته بواسطة جهاز التحكم في الماكينة، وعندما يتغير العمل المطلوب تصنيعه يتغير أيضاً البرنامج، وهذه القابلية لتغيير البرنامج هي التي تجعل ماكينات التحكم الرقمي مناسبة للإنتاج المنخفض والمتوسط الحجم، وتقوم قاعدة التشغيل لكل ماكينات التحكم الرقمي على مبدأ مشترك وهو التحكم في أداة القطع بالنسبة للقطعة تحت التشغيل أو التي يتم تنفيذها. (إبراهيم ٢٠١٥) [٣]

٢- **التحكم الرقمي المباشر (DNC):** هو عبارة عن نظام تصنيع يقوم فيه حاسب آلي واحد بالتحكم في عدة ماكينات تحكم رقمي بصورة مباشرة وحية، حيث ينتقل برنامج القطعة المراد إنتاجها من ذاكرة الحاسب الآلي مباشرة إلى ماكينة التحكم الرقمي. (حسين ٢٠١٢)[٨] شكل (٥)



شكل (٥) يوضح طريقة عمل نظام التحكم الرقمي المباشر DNC [٣]

٣- التحكم الرقمي بالحاسب الآلي ( ):

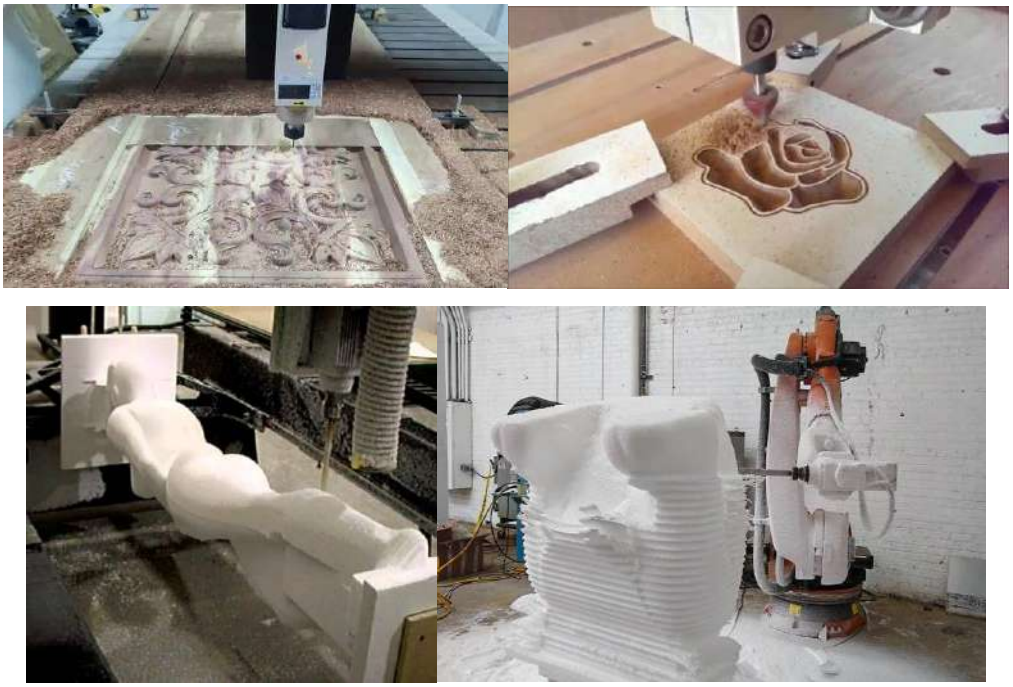
عبارة عن نظام تحكم رقمي يستخدم فيه الحاسب الألى (له ذاكرة لحفظ البرنامج التي تسجل فيه) للتحكم في ماكينة التحكم الرقمي، ويمثل الحاسب الألى جزء لا يتجزأ من الماكينة، ويمكن برمجة ماكينة التحكم الرقمي مباشرة باستخدام لوحة مفاتيح الحاسب الألى أو بواسطة شريط مثقب Punched tape يقوم الحاسب الألى بقراءته، كما أن بعض ماكينات (CNC) يستطيع فيها الكمبيوتر قراءة البرامج المسجلة أسطوانات، وتوجد عده أسباب أدت إلى الانتشار الواسع لماكينات (CNC) حيث يمكنها تحقيق العديد من المزايا مثل: (مصطفي ٢٠٠٥) [١٢]

- تقليل الزمن.
- استخدام تجهيزات تثبيت أكثر بساطة من المستخدمة في الماكينات التقليدية.
- تحقيق نظام انتاج أكثر مرونة للتغييرات في جداول الإنتاج.
- السهولة في تقبل أي تغيرات في تصميم العمل المطلوب تنفيذه لأن ذلك يحتاج فقط إلى تغيير في البرنامج السابق للقطع.
- زيادة دقة الإنتاج والتقليل من الأخطاء. (محمد ٢٠٠٧) [١٣]

ولكن على الرغم من هذه المميزات يجب ألا ننسي أنه إذا أدخلنا نظام (CNC) للإنتاج فلابد أن يواجه المشاكل التالية:

- زيادة الصيانة الكهربائية وتنوعها.
- ارتفاع التكلفة البدائية لماكينات (CNC) وارتفاع تكلفة تشغيل الماكينات.
- اجراء تدريب جديد للعاملين على كل المستويات لاستيعاب نظام (CNC) ومتطلباته من تشغيل وبرمجة وصيانة.(عبد الحكيم ٢٠١٩) [9]

تشمل ماكينة (CNC) على وحدة نظام تتضمن وحدة التحكم ووحدة المراقبة ووحدة لتوجيه آليات التشغيل وفقاً لتصميم مسار الآلة الذي يوفره برنامج متخصص كما يتضمن النظام عادة شاشة Monitor تستخدم في عرض برنامج التشغيل بغرض المراجعة والضبط ومتابعة العمل واستقبال الرسائل من الأعطال بالإضافة الى مؤشرات أو مبينات بيان موضع أداه التشكيل tool machine في كل مرحلة من مراحل التشغيل، وكذا منضدة الماكينة Machine table وتضم وحدة التحكم أيضاً الذاكرة الخاصة باستدعاء البرنامج وتخزينه وكذا جهاز أو برنامج تشغيل الأعطال Diagnostics الذي يقوم بتحليل الأعطال وإجراء الاختبارات بالإضافة إلى العديد من مفاتيح الوظائف المختلفة. (مصطفي ٢٠٠٥) [١٢] شكل (٦)



شكل (٦) بعض من المستنسخات النحتية باستخدام ماكينة ال CNC [١٠]

- **مميزات الاستنساخ باستخدام تقنيات التحكم الرقمي:**

١- ارتفاع مستوي تعقيد الاشكال مع انتاج متميز ذي مواصفات خاصة مع كفاءة الإنتاج.

٢- اقتصادية التكلفة، ولكن غير اقتصادية مع الإنتاج الكمي.

٣- جودة عالية وأداء متميز وتوفير معلومات عن الكلفة. (محمد ٢٠٠٧) [١٣]

- **عيوب الاستنساخ باستخدام تقنيات التحكم الرقمي:**

١- الماكينات المبرمجة مكلفة أكثر من الماكينات التقليدية.

٢- قلة المتخصصين في صيانة هذه النوعية من الماكينات، والصيانة مرتفعة التكلفة. (مصطفي ٢٠٠٥) [١٢]

٥- تقنية الفورمتوجرافي Formtography:

ظهر مصطلح الفورمتوجرافي Formtography بواسطة هاري امبرسون "Harry Abramson" عام ٢٠٠٧ وهو يعني عملية إعادة الأشكال من دون الحاجة لقوالب ودون لمس الأثر أو العمل الفني، أي الاستنساخ بدون قوالب او الاستنساخ عن بعد، وهو يتميز بإمكانية الحصول على عدد لا نهائي من القطع بنفس الجودة فأول قطعة تتماثل تماماً مع آخر قطعة وهذا على عكس المستنسخات اليدوية فمهما كانت قوة وصلابة القالب (الإسطمبة) فبعد عدد من النسخ يختلف شكل المستنسخة وتضيع بعض التفاصيل وتقل الارتفاعات وتختفي التفاصيل الدقيقة، وتعتمد هذه العملية على ثلاث تقنيات رقمية: (عبد الحكيم ٢٠١٩) [9]

١- تقنية المسح الضوئي 3D Data Capture:

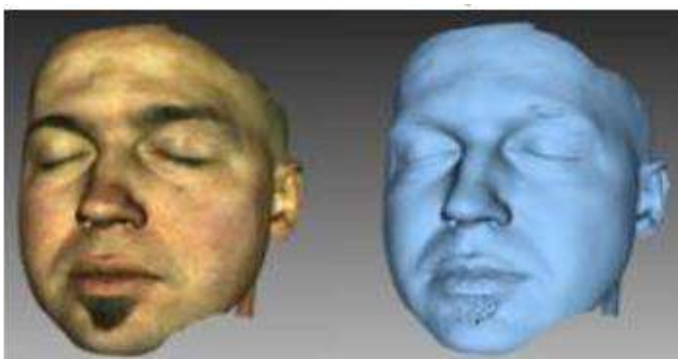
هي تقنية نقل الشكل إلى الحاسب من خلال ماكينات الديجيتزينج Digitizing حيث تعمل بتقنية الليزر ويتم مسح الجسم في ثواني قليلة، وهناك نوعان من المسح الضوئي للمجسم: (أيوب ٢٠١٨) [١٤]

أ- تقنية المسح الضوئي للجسم Body Scanner: يمكن أن يتم مسح الجسم في ١٢ ثانية واستخدام الملف الناتج لطباعة تمثال مشابه للحقيقي بكل التفاصيل الدقيقة وقد تم تجهيز أكشاك المسح من أربع عوارض واسعة، عالية الدقة والتي تدور

حول الشخص لمسح كل زاوية وتحويلة إلى نموذج رقمي ثلاثي الأبعاد وملون بنفس ألوان الجسم الممسوح ضوئياً، ومن أهم مميزات هذه التقنية أنها تستطيع عمل مسح ضوئي ملون بنفس ألوان وملامس الشكل المراد عمل المسح الضوئي له. (عبد الحكيم ٢٠١٩) [9] شكل (٧)

شكل (٧) يوضح طريقة عمل تقنية المسح الضوئي لجسم الانسان Artec Shapify Booth [١٥]

ب- <u>تكنولوجيا المسح الضوئي المحمول Mobile Scanning Technology</u>: وهو أحدث وأصغر أجهزة المسح الضوئي Model Maker X وهو ماسح ضوئي محمول يستطيع أن يسمح ٢٣٠٠٠ نقطة في الثانية الواحدة يعمل مثل كاميرة الفيديو، فهو يولد أجسام ثلاثية الأبعاد ذات نقاء عالي وبطريقة سهلة وغير مسبوقة، ومن أهم مميزاته أنه الأسرع والأصغر والأخف في الحمل. (أيوب ٢٠١٨) [١٤] شكل (٨)، شكل (٩)

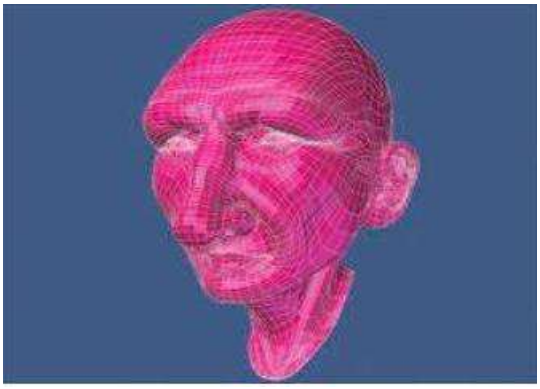


شكل (٨) يوضح لنقاء العالي للمسح الضوئي [١٤]

شكل (٩) ماسح ضوئي محمول [١٤]

٢- تقنية النمذجة الرقمية Digital Modeling:

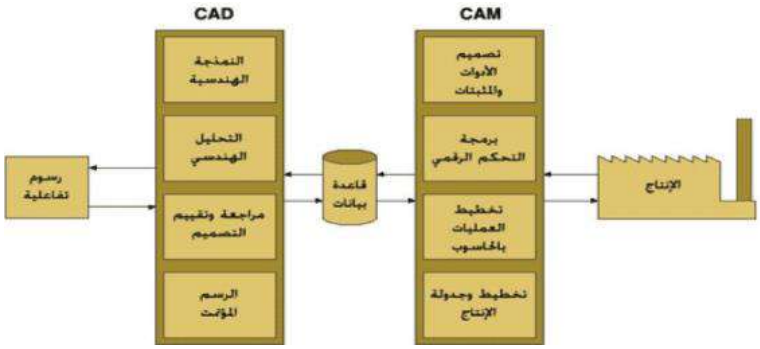
تأتي هذه المرحلة بعد المسح الضوئي ويتم المسح إلى بيانات رقمية ويتم تعديل الاجسام باستخدام حزم البرمجيات عادة ما يسمى CAD وهي اختصار ل (Computer aided Design) وتعني التصميم بمساعدة الحاسب الآلي، وأنشأت النمذجة الرقمية في البداية في ١٩٥٠ لتشغيل العمليات الحسابية الرياضية في تصميم السيارات والطائرات، أما الان فهناك العديد من حزم البرمجيات التي توفر للمصممين والفنانين على حد سواء القدرة على تصميم البيانات التي تم التقاطها من خلال المسح الضوئي للأجسام أو التصميم من الصفر على البرامج ، مما يتح عمل تعديل بالتصميم بطرق لا نهائية. (عبد الحكيم ٢٠١٩)[٩] شكل (١٠)



شكل (١٠) نموذج رقمي [١٤]

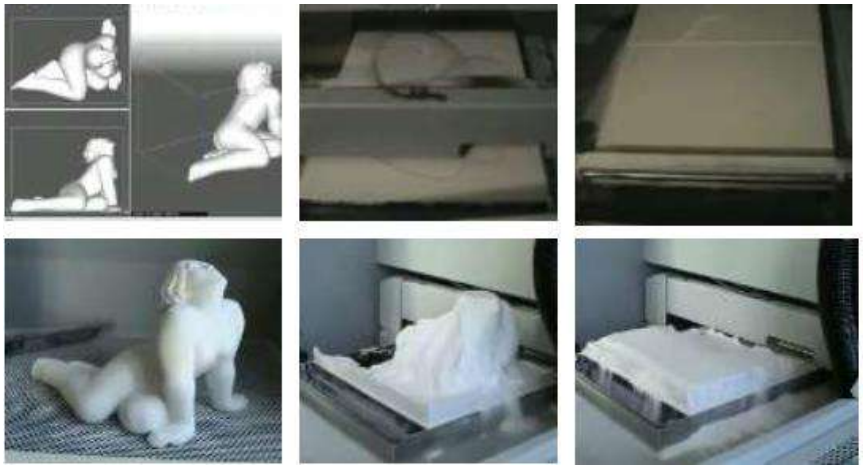
٣- الإنتاج الرقمي Digital production: بعد استخدام المسح الضوئي وتحويله إلى نماذج رقمية تأتى مرحلة الحصول على المستنسخ عن طريق بعض التقنيات مثل:

أ- <u>تقنية التحكم الرقمي CNC</u>: وهي عبارة عن سلسلة من التعليمات في صورة أرقام ورموز وحروف تستوعبها وحدة التحكم في الماكينة، وتحولها إلى نبضات كهربائية توجه المحركات الكهربائية وأدوات القطع بالماكينة، ومن ثم تنفيذ العمليات الميكانيكية المطلوبة. (إبراهيم ٢٠١٥) [٣] شكل (١١)



شكل (١١) رسم توضيحي لطريقة عمل تقنية التحكم الرقمي CNC [٨]

ب- <u>الطباعة الثلاثية الأبعاد 3D Printing Modeling:</u> وتعد هذه الطريقة من الطرق الهامة في مكاتب التصميم وبخاصة إذا توفرت للنحات حيث يستطيع مشاهدة النموذج الذي صممه على الحاسب بشكل سريع في شكل نموذج مادي فيستطيع أن يتحسس التصميم مجسماً، ويتم في هذه التقنية نشر طبقة من البودرة على قاعدة أساسية، ويتم طبع نقاط دقيقة من خلال فتحة مستمرة محمولة بواسطة رأس طابعة، وهذه العملية تشبه طابعة نفاثة الحبر INK jet في الطابعات المعروفة، والخامات الشائعة الاستخدام في هذه التقنية هي السيراميك والمعدن والبلاستيك. (عبد الحكيم ٢٠١٩) [٩] شكل (12)



شكل (12) توضح طريقة تحويل التصميم إلى نموذج ثلاثي الابعاد [١٤]

وبجانب هذه التقنية ظهر أسلوب آخر يعتمد على توصيل الحاسوب مباشرة بماكينة الحفر Milling Machine حيث تستقبل منه البيانات الرقمية مباشرة من خلال رسومات الكاد CAD فتقوم بالاستنساخ المباشر لقطعة ربما تكون من البلاستيك، أو الورق، أو الخشب، أو النحاس .... إلخ. (حسين ٢٠١٢) [٨]

ثالثاً: طرق تحديد التقنيات المتوافقة لاستنساخ النماذج النحتية:

نظرا لتطور الصناعة وتعدد أساليبها والمواد الخام المستخدمة فيها وكذلك في طبيعة منتجاتها ومستويات الطلب على تلك المنتجات فقد تم تصنيف نظم التصنيع لخصائص مختلفة، هذه التصنيفات لها دلالاتها نظراً للاختلافات الجوهرية الممكنة بين الأنواع المندرجة تحت نفس التصنيف من جوانب عديدة خصوصاً ما يتعلق بالأسلوب الذي تتم فيه العملية الإنتاجية، فإن استخدام التقنيات وطرق التصنيع المتوافقة مع إنتاج النموذج المستنسخ يتوقف على مدي الاحتياج لها في الإنتاج، ومن أهم التصنيفات المعروفة لتصنيف التقنيات المستخدمة في إنتاج النماذج النحتية: (إبراهيم ٢٠١٥) [٣]

أ- حسب طبيعة النموذج المطلوب استنساخه: فعند تحديد التقنيات المتوافقة لاستنساخ النماذج النحتية فيتم طبقاً لشكل وهيئة النموذج النحتي حيث يتم تصنيف النماذج النحتية إلى نوعين:

١- النماذج النحتية ثلاثية الأبعاد.

٢- النماذج النحتية ثنائية الأبعاد ذات التشكيل البارز والغائر.

ب- حسب طبيعة عملية الإنتاج المستخدمة في الاستنساخ: حيث يمكن تحديد عملية الإنتاج المتوافقة مع استنساخ النموذج النحتى إلى عدة تقنيات:

١- تقنيات السباكة بأنواعها المختلفة (السباكة بالرمل – السباكة بالشمع المفقود – سباكة القوالب الدائمة).

٢- تقنيات الاستنساخ بالترسيب الكهربي.

٣- تقنيات الإنتاج بمساعدة الحاسب الآلي.

٤- الإنتاج بوحدات CNC.

٥- الإنتاج باستخدام التكنولوجيا المتقدمة واستخدام الليزر.

ج- حسب طبيعة الطلب على الإنتاج:

١- **نظم ذات الإنتاج المتقطع:** هو الإنتاج الذي لا تستمر فيه عملية الإنتاج بإنتاج محدد، وذلك لكون النظام ينتج منتجات تختلف متطلبات إنتاجها بكميات منخفضة إلى متوسطة، وعادة ما يتم التفريق بين نوعين من الإنتاج المتقطع وهما الإنتاج بالدفعة والإنتاج بالطلبية.

٢- **نظم ذات الإنتاج المستمر:** هي النظم التي تنتج انتاجاً واحدا أو تنتج بشكل متوازٍ عدد قليل من المنتجات المتشابهة بكميات ضخمة.

٣- **حسب طبيعة المواد الخام:** في هذه الحالة يكون تصنيف نظم الإنتاج حسب الخامة التي يتم تحوليها إلى منتجات مباشرة أو تجهيزها للاستخدام في صناعات أخري، ويشمل هذا التصنيف كافة أنواع الخامات سواء كانت مستخرجة من باطن الأرض أو من سطحها.

النتائج:

١- التوصل الي أفضل تقنية متوافقة لاستنساخ العمل النحتى بجودة عالية مع خفض التكاليف وكثافة الإنتاج.

٢- إمكانية الحصول على مستنسخات كبيرة وصغيرة الحجم من العمل الأصلي، مما يوفر وقت ومجهود كبير علي النحات.

٣- استخدام التقنية المناسبة في عملية الاستنساخ يؤدي الي تفادى الكثير من العيوب والمشاكل التي قد تؤثر علي المنتج النهائي.

٤- من خلال استخدام التقنيات الرقمية يمكن للنحات ان يحول النموذج النحتى الي أي خامة سواء خامة صلبة كالرخام او خامة ضعيفة كالشمع.

التوصيات:

١- توصي الباحثة بضرورة المتابعة المستمرة للتطورات التكنولوجية المتلاحقة في مجال استنساخ الاعمال النحتية، والعمل على الإضافة إليها وتطويرها من خلال المزيد من الدراسة والبحث.

٢- توصي الباحثة بضرورة توفير العمالة وتدريبهم على استخدام الاليات والتقنيات الحديثة لتنفيذ مستنسخات نحتية عالية الجودة والدقة.

٣- توصي الباحثة بضرورة مواكبة النحات لتحديات العصر وتطويع التقنيات الحديثة لتوفير الوقت والمجهود في عمليات استنساخ النماذج النحتية.

المراجع:

١- عوض، رباب عادل أحمد موسي. "الترسيب الكهربائي ودوره في اخراج مجسمات نحتية"، مجلة بحوث التربية النوعية، العدد (٥٠)، جامعة المنصورة، ابريل ٢٠١٨م.

Awad, Rabab Adel Ahmad Mosa. "altarsib alkahrabai wadawruh fi akhiraj mujasamat nahtayati", majalat buhuth altarbiat alnaweiati, aleadad (50), jamieat almansura, april 2018.

٢- إسماعيل، مني فؤاد. "تقنيات الاستنساخ بالترسيب الكهربي"، رسالة دكتوراه، كلية الفنون الجميلة، جامعة الإسكندرية، ٢٠٠٦م.

Ismaeil, Mona Fouad. "tiqniaat aliastinsakh bialtarsib alkahrabii", risalat dukturah, kuliyat alfunun aljamilati, jamieat al'iiskandiriati, 2006.

٣- إبراهيم، سارة أشرف احمد. " متطلبات اساسية لاستخدام التقنيات المتوافقة في استنساخ الموجودات الاثرية المعدنية كمنتج سياحي"، رسالة ماجستير، كلية الفنون التطبيقية، جامعة حلوان، ٢٠١٥م.

Ibrahim, Sara Ashraf Ahmad. " mutatalabat asasiat liaistikhdam altiqniaat almutawafiqat fi aistinsakh almawjudat alathriat almaediniat kamuntij siahi", risalat majistir, kuliyat alfunun altatbiqiati, jamieat hulwan, 2015.

٤- محمد، محمد العوامي. "التشكيل بالترسيب الكهربي للمنتجات المعدنية"، رسالة ماجستير، غير منشورة، كلية الفنون التطبيقية، جامعة حلوان، ١٩٩٨م.

Muhamadu, Muhamad Alawami. "altashkil bialtarsib alkahrabii lilmuntajat almaediniati", risalat majistir, ghayr manshuratin, kuliyat alfunun altatbiqiati, jamieat hulwan, 1998.

٥- البذرة، محمد حامد السيد. "رؤية تشكيلية مبتكرة باستخدام تقنيات الصهر المعدني والترسيب الكهربي كوسائط تعبيرية على الأسطح الخزفية"، رسالة دكتوراة، كلية التربية الفنية، جامعة حلوان، ٢٠١٠م.

Albezra, Muhamad Hamid Alsaed. "ruyat tashkiliat mafatih biaistikhdam tiqniaat alsahr almaedinii waltarsib alkahrabii kwsat taebiriat ean alkhazafiati", risalat dukturah, kuliyat altarbiat alfaniyati, jamieat hulwan, 2010.

٦- مهدي، سامح حافظ. "أساليب السباكة الدقيقة ومدى الاستفادة منها في المنتجات المعدنية"، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية الفنون التطبيقية، جامعة حلوان، ٢٠٠٠م.

Mahdi, Samih Hafiz. "'asalib altiknulujia almaediniat aldaqiqat wamadaa albayanat minha fi almuntajati", risalat majistir ghayr manshurtin, kuliyat alfunun altatbiqiati, jamieat hulwan, 2000.

٧- عباس، محمد صلاح الدين – موسى، أبراهيم. "تكنولوجيا الإنتاج والتصنيع"، دار الكتب العلمية للنشر، القاهرة، ٢٠٠٨م.

Abas, Muhamad Salah Aldeen - musaa ،'abrahim. "tiknulujia al'iintaj waltasniei", dar alkutub aleilmiat lilnashri, alqahirati, 2008.

٨- حسين، نهلة على حسن. "اعتبارات تصميم الشمع في صناعة الحلى"، رسالة ماجستير، غير منشورة، كلية الفنون التطبيقة، جامعة حلوان، ٢٠١٢م.

Husen, Nahla Ali Hassan. "aietibarat tasmim alshame fi sinaeat alhalaa", risalat majistir, ghayr manshurtin, kuliyat alfunun altatbiqatu, jamieat hulwan, 2012.

٩- عبد الحكيم، محمد محمد. "النحت البارز بين الأدوات التقليدية والبرمجة الرقمية"، مجلة الفنون والعلوم الإنسانية، العدد (٢)، المجلد (٣)، ٢٠١٩م.

Abd Alhakim, Muhamad Muhamad. "alnaht albariz bayn al'adawat altaqlidiat walbarmajat alraqmiati", majalat alfunun waleulum al'iinsaniati, aleadad (2), almujalad (3), 2019.

١٠- موسوعة التكنولوجيا، الطبعة العربية، الجزء ٢٤، ١٩٧٩م.

Mawsueat Altiknulujya, altabeat alearabya, aljuz' 24, 1979.

١١- سميث، ادوارد لويس. "الحركة الفنية منذ ١٩٥٤، شركة لوتس للطباعة والنشر، ١٩٩٧م.

Smith, Edward Lewis. "alharakat alfaniyat mundh 1954, sharikat luts liltibaeat walnashri, 1997.

١٢- مصطفي، أحمد وحيد. "تقنيات مستحدثة في التصميم والتصنيع بالحاسبات"، دار الفكر العربي، ٢٠٠٥م.

Mustafa, Ahmad Wahid. "tiqniaat mustahdithat fi altasmim waltasnie bialhasibati", dar alfikr alearabii, 2005.

١٣- محمد، وسام أنس إبراهيم. "إعادة قاعدة عملية لبناء وتقييم النموذج الأول لتحقيق المتطلبات التصميمية والإنتاجية المتقدمة في المنتجات المعدنية، رسالة دكتوراة، غير منشورة، كلية الفنون التطبيقية، جامعة حلوان، ٢٠٠٧م.

Muhamad, Wisam Anas Ibrahim. "'iieadat qaeidat eamaliat libina' wataqyim alnumudhaj al'awal litahqiq almutatalabat altasmimiat wal'iintajiat almutaqadimat fi almuntajat almaediniati, risalat dukturat, ghayr manshurtin, kuliyat alfunun altatbiqiati, jamieat hulwan, 2007.

١٤- أيوب، منال هلال. "الفورمتوجرافي الاستنساخ بلا قوالب في عالم النحت الرقمي ودوره في حل معوقات النحت التقليدي"، مجلة العمارة والفنون، العدد التاسع، ٢٠١٨.

Ayob, Manal Hilal. "alfurmitujrafi alaistinsakh bila qawalib fi ealam alnaht alraqamii wadawrih fi hali mueawiqat alnaht altaqlidi", majalat aleimarat walfunun, aleadad altaasie, 2018.
15- https://www.aniwaa.com/product/3d-scanners/artec-shapify-booth (5-09-2023)