# التقنيات المتوافقة في استنساخ الموجودات الأثرية المعدنية

أ.د/ **رجب عبد الرحمن عميش** (استاذ متفرغ ورئيس قسم المنتجات المعدنية والحلي سابقا / كلية الفنون التطبيقية/ جامعة حلوان)
أ.د/ **السيد أنور الملقي** (استاذ بقسم المنتجات المعدنية والحلي / كلية الفنون التطبيقية / جامعة حلوان)
**سارة أشرف أحمد إبراهيم** (طالبه دراسات عليا / مرحلة الماجستير / قسم المنتجات المعدنية والحلى/ كليه الفنون التطبيقية / جامعة حلوان)

**المقدمة:**

عرفت مصر طوال تاريخها بأنها مقصد للسياح وذلك لاكتشاف الآثار المصرية منذ فترة طويلة حيث أضاف سحرا خاصا إلى مصر لذلك تعتبر مصر مقصدا للسيلح وتمثل السياحة أحد أهم دعائم الدخل القومي المصري حيث يقدم النشاط السياحي منتج اقتصادى فكما يقول المتخصصون بالتسويق ان حلقة الوصل بين المنظمة والسوق التى نعمل بها هو المنتج وحلقة الوصل لدينا هي الآثار المعدنية حيث يسعى السائح دوما إلى اقتناء المستنسخات لبعض هذه الأثار والنماذج الأثرية ومن أجل تلبية إعادة هيكلة صناعة السياحة والحاجة إلى رفع مستوى المنتجات السياحية أصبح هناك رغبة ملحة بشكل متزايد لدراسة معمقة للعلاقة بين الثقافة الأثرية والاقتصاد القومي السياحي وتطوير هذه الصناعة فتتعدد الطرق المستخدمة في إنتاج نموذج مطابق للأصل في الأبعاد والتفاصيل الدقيقة، وهذا الإسلوب من استنساخ الآثار يستخدم بشكل شائع ولكن مع ظهور التسابق على الكسب المادي أدى الى ظهور كثير من النماذج المعدنية المستنسخة لبعض الأعمال الأثرية رديئة المستوى وغير واضحة التفاصيل وبعض الخامات المنفذ بها النماذج الأثرية المستنسخة غير مناسبة وضعيفة ولا تتضمن النقوش الأصلية للأثر ممايؤدى إلى تشويهه وأصبح الكم أهم من الكيف.

ومع التطور السريع وظهور الجيل الثالث فى العمليات التكنولوجية للانتاج تنوعت تطبيقات النظم في العديد من مجالات التصميم والتصنيع والذي سعى للاستفادة بتقنيات الحاسب الآلي والبرمجيات وتطبيقها في عملية التصميم كما امتدت التقنيات الرقمية إلى التصنيع الذي سعى لتحويل الإنتاج التقليدي إلى الإنتاج الرشيق الذي اعتمد على القدرة الذهنية واختصار العمل اليدوي إلى مفهوم التصنيع بالحاسب (CAM) يضم كافة الأنشطة التي تدخل في عمليات التخطيط والتحكم بالانتاج مثل التحكم الرقمي في الحاسب (CNC) وقيادة الانسان الآلى الصناعي وتخطيط عمليات الإنتاج (CAPP).

**مشكلة البحث:**

- قلة وجود محددات ومواصفات واضحة لعمليات استنساخ الآثار المعدنية.
- تحديد مدى الأثر التكنولوجي في عمليات الإستنساخ للآثار المعدنية للحصول على أعلى دقة ممكنة وبأقل تكلفة.

**أهداف البحث:**

الاستفاده من التقنيات التكنولوجية المختلفة للوصول الى مواصفات محددة لاختيار الأسلوب التقني الأمثل في انتاج المستنسخات الأثرية المعدنية.

**أهمية البحث:**

تأتي أهمية البحث لتوفير منتج سياحي يزيد من التفاعلية الثقافية لدى السائح من خلال مستنسخات أثرية مصرية معدنية عن طريق التعرف على التقنيات التكنولوجية المتوافقة فى استنساخ الآثار المعدنية ووضع مواصفات محددة لعمليات استنساخ الآثار المعدنية.

**فروض البحث:**

- إن تطويع التقنيات التكنولوجية لإنتاج المستنسخات الأثرية المعدنية يحقق منتج أقرب مايكون للأثر الاصلي.
- إن استخدام التقنيات التكنولوجية الملائمة في عمليات الاستنساخ الأثري له مردوده على جودة الآثار المعدنية المستنسخة.

**حدود البحث:**

يتناول البحث فترات الحضارة المصرية القديمة (الدولة القديمة، الدولة الوسطى، الدولة الحديثة، والعصور المتأخرة).

**منهجية البحث:**

- المنهج الوصفى التحليلى

**محاور البحث:**

**يقوم البحث على تناول النقاط الأساسية التالية:**

أولا: التقنية وتصنيف أهم الأساليب التنقية المستخدمة في إنتاج المنتجات المعدنية.

ثانيا: إنتاج المستنسخات المعدنية بتقنية التشكيل بالسباكة.

ثالثا: إنتاج المستنسخات المعدنية بتقنية التشكيل بالترسيب الكهربى.

رابعا: إنتاج المستنسخات المعدنية بمساعدة الحاسب الآلى.

خامسا : أهمية تحديد التقنيات المتوافقة لاستنساخ الآثار المعدنية .

سادسا : متطلبات إعداد البرنامج التنفيذي لعمليات االاستنساخ للاثر المعدنى .

سايعا : النتائج والتوصيات.

**مصطلحات البحث:**

**إستنساخ:** "(نسخ) الشيء نسخا أزاله يقال نسخت الريح آثار الديار ونسخت الشمس الظل ونسخ الشيب الشباب ويقال نسخ الله الآية أزال حكمها وفي التنزيل العزيز (مَا نَنسَخْ مِنْ آيَةٍ أَوْ نُنسِهَا نَأْتِ بِخَيْرٍ مِّنْهَا أَوْ مِثْلِهَا أَلَمْ تَعْلَمْ أَنَّ اللّهَ عَلَىَ كُلِّ شَيْءٍ قَدِيرٌ)[١] ويقال نسخ الحاكم الحكم أو القانون أبطله والكتاب نقله وكتبه حرفا بحرف."[٢]

**الإلكتروليت:** "هو مادة ذائبة فى محلول تتفكك إلى أيونات ومن ثم تجعل المحلول موصلا كهربائيا."[٣]

**التقنيات:** قال تعالى"**وَتَرَى الْجِبَالَ تَحْسَبُهَا جَامِدَةً وَهِيَ تَمُرُّ مَرَّ السَّحَابِ ۚ صُنْعَ اللَّهِ الَّذِي أَتْقَنَ كُلَّ شَيْءٍ ۚ إِنَّهُ خَبِيرٌ بِمَا تَفْعَلُونَ**" [٤] أي أوثق صنعه وأحكمه، والصنع مصدر صنع الشيء يصنعه صنعا.[٥] كما عرفت في المعجم اللغوي "تقنية أو تقني هي كلمة اصلها غير عربي اخذت من ترجمة تكنيك Technique وتعني مجموع العمليات التى يمر بها إنتاج أى عمل فني أو صناعي حتى يصبح منهجا قائما بذاته"[٦] وتعرفها الموسوعة العربية العالمية بأن "التقنية مصطلح يشير إلى كل الطرق التي يستخدمها الناس في إخترعاتهم وإكتشافتهم لتلبية حاجات و إشباع رغباتهم."[٧]

---

(١) القرآن الكريم، سورة البقرة، آية ١٠٦.
(٢) المعجم الوجيز، مرجع سابق ، ص ٦١٣.
(٣) محمد العوامى محمد، التشكيل بالترسيب الكهربى للمنتجات المعدنية، رساله ماجستير، غير منشور، جامعة حلوان (١٩٩٨) .
(٤) القرآن الكريم، سورة النمل، آية ٨٨.
(٥) ابو بكر الجزائري، ايسر التفاسير لكلام العلي الكبير، مكتبة العلو والحكم،المدينة المنورة، المجلد الرابع، الطبعة الثالثة (١٩٩٧).
(٦) المجمع اللغوي، مجموعة المصطلحات العلمية والفنية التي أقرها المجمع، المجلد الخامس عشر، مطبعة الاميرية (١٩٧٣).
(٧) الموسوعة العربية العالمية، تعريب تييرادل فيوجو، المجلد السابع، الطبعة الثانية، مؤسسة أعمال الموسوعة للنشر والتوزيع

**الترسيب الكهربى (E.D):** هو عملية الترسيب على إلكتروليد بالتحليل الكهربائي أو بالارتجال "الهجرة."[١]

**التشكيل بالترسيب الكهربى:** ترسيب المعدن على مادة مشكلة باستخدام محلول معد خصيصا لذلك، ويكون سمك الجدران كافيا لنزع القالب.[٢]

**التصميم بمساعدة الحاسب (CAD):** نظام يستخدم من خلال عدد من تطبيقات الحاسب التى توفر إمكانية تصميم المنتجات أو رسمها رسما هندسيا. وغطى هذا كافة أنظمة تصميم وإنشاء الرسوم الهندسية والفنية بالحاسب فى مجالات الهندسة المدنية وتصميم الأبنية وغيرها وكذلك المنتجات الاستخدامية.[٣]

**الصناعة بمساعدة الحاسب (CAM):** هو إشارة إلى الأساليب والنظم الخاصة باستخدامات الكمبيوتر فى مجالات الصناعة بما تتضمنه من عمليات التحليل الرياضى والهندسي لمختلف النظم التى يعقبها استخدام الحاسبات فى تنفيذ العمليات الصناعية وممارسة مهام كانت تعهد من قبل لأدق العمال مهارة وأكثرهم خبرة.[٤]

**النماذج الأولية السريعة (RP):** مصطلح مستخدم لعملية أخذ معلومات الحاسب المخزنة فى الملفات الالكترونية وعمل نموذج ثلاثى الأبعاد باستعمال الماكينات الخاصة. تترجم هذه المعلومات من خلال الماكينات الدقيقة وفى الحقيقة تبنى النموذج الذى يمكن أن ينجز ببضع عمليات مختلفة.[٥]

**هندسة عكسية:** تعرف الهندسة العكسية بأنها عملية الحصول على نموذج هندسي CAD عن طريق التقاط نقاط ثلاثية الأبعاد عن طريق الماسح الضوئي / التحويل الرقمي للأجزاء أوالمنتجات الحالية، ويشار إلى الهندسة العكسية (RE)، وغالبا ما تعرف "المفهوم الأساسي للإنتاج جزء من المنتج استنادا إلى النموذج المادى الأصلي بدون استخدام وسيلة الرسم الهندسي."[٦]

## أولا: التقنية وتصنيف أهم الأساليب التنقية المستخدمة في إنتاج المنتجات المعدنية.

إن استخدام التقنيات الحديثة فى مجالات الصناعة يحقق العديد من الطفرات على مستوى الأداء والإنجاز والتحكم وأصبحت الأعمال الإنتاجية منظومة متكاملة تعتمد على التكامل بين تكنولوجيا التصميم وتكنولوجيا التصنيع بهدف تحقيق أعلى مستويات الإنتاجية والتحكم والدقة.

### ١-١ تعريف التقنية:

تعرف التقنية بأنها هى "الطريقة المتبعة في إخراج العمل الفني بأصول صناعية صحيحة"[٧]، وهذا هو مفهوم التقنية الأحادية. ثم تعاقدت التقنيات عندما اتحد وتراكب عدد منها لتأدية فعل تقني محدد على وجه الدقة وبشكل عام ويمكن تعريفها إجرائيا بأنها عبارة عن مجموعة العمليات والمهارات والطرق والأساليب التى يتبعها الفنان في إنتاج العمل الفني فكل التقنيات وعلى درجات متفاوتة تتعلق إحداها بالأخرى وإنه يجب أن يكون بينها "نوع من الترابط ومجموعة الترابطات هذه على مختلف مستويات البينات لكل المجموعات ولكل السياقات تؤلف ما يمكن تسميته النظام التقني

---

(١) محمد العوامى محمد، التشكيل بالترسيب الكهربى للمنتجات المعدنية، رساله ماجستير، غير منشورة، جامعة حلوان (١٩٩٨).

(٢) محمد العوامى محمد، التشكيل بالترسيب الكهربى للمنتجات المعدنية، رساله ماجستير، غير منشورة، جامعة حلوان (١٩٩٨).

(3) D. David, M. Ermacora, G Totis in *"AMST'05 Advanced Manufacturing Systems and Technology"* (2005).

(11,12) Keiichi Shirase, Takashi Shimada, Keiichi Nakamoto, Prototyping of Autonomous CNC Machine Tool Based on Digital Copy Milling Concept, Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier, pp 391-394( 2008).

(6) Vinesh Raja, Kiran J. Fernandes, Reverse Engineering, *An Industrial Perspective in Springer Series in Advanced Manufacturing*, p.p 1-3 (2008).

(٧) عبد الغنى النبوي الشال، الخزف ومصطلحاته الفنيه، دار المعارف، القاهرة، ص ٢٨٢ (١٩٩٧).

تقنية إحادية ← تقنية معقدة ← نظام تقني

وهكذا عبر مراحل التطور تتعقد التكنولوجيا لتشمل:

- التكنولوجيا التقليدية أو الحرفية ← بمفهوم التقنيات الأحادية (Handcraft).
- التكنولوجيا الحديثة النمطية ← الممثلة بميكنة الإنتاج (Mechanization).
- التكنولوجيا الجديدة المعقدة ← المتمثلة بأتمتة الإنتاج (Atomization)."[١]

**١-٢ تصنيف للأساليب التقنية المستخدمة فى إنتاج المنتجات المعدنية.**

تصنيف الأساليب الفنية المستخدمة في إنتاج المنتجات المعدنية هو محاولة لحصر العمليات التكنولوجية التى تعتمد عليها صناعة المنتجات المعدنية منذ بداية ظهورها حتى وصولها للتكنولوجيا الآلية الحالية.

أ. **تقنيات وطرق التصنيع التقليدية:** مثل (التشكيل اللدن، تشكيل صلب، تشكيل مصهور)

ب. **تقنيات وطرق التصنيع الغير تقليدية (الحديثة):** مثل (العمليات الميكانيكية، العمليات الكيميائية، العمليات الكهروكيميائية، العمليات الكهروحرارية، العمليات الضوء حرارية."[٢])

ج. **طرق التصنيع المتقدمة (المعقدة):** تضم مجالات عديدة منها مجال علم الألكترونات التصميم والتصنيع بمعاونة الكمبيوتر CAD/CAM والفوتونات الدقيقة كالليزر والألياف الضوئية والمواد الجديدة.

**ثانيا: إنتاج المستنسخات المعدنية بتقنية التشكيل بالسباكة.**

يعد التشكيل بصب المعادن من أول وأهم عمليات تشكيل المعادن Metal Forming عرفت على الإطلاق، إن معظم المنتجات التى تنتج كل يوم فى جميع أنحاء العالم من خلال عمليات تشكيل ميكانيكية تستخدم فقط حوالى ٢٠٪ فى عمليات السباكة مباشرة وتشكل هذه المنتجات على شكل ألواح معدنية انتجت من خلال تصلب السبائك والمنتج النهائى يعتمد كثيرا وبقوةعلى نوعية المعدن المسبوك

**٢-١ تعريف السباكة:**

"يقصد بصب (سباكة) المعادن كونها طريقة من طرق تشكيل المواد وخاصة صب المعادن Metal casting عن طريق صهر المعدن أو السبيكة وتحويلها من حالتها الجامدة solid إلى السائلة liquid وصبها فى تجويف قالب بالشكل المطلوب ليتشكل المنصهر بشكل تجويف القالب اعتمادا على كون السوائل تتشكل بشكل الفراغ الذى يحتويها ثم يترك القالب ليتجمد بالتبريد بمحتواه ثم يخرج المصبوب من القالب."[٣]

**٢-٢ الخواص المتطلبة فى السباكة.**

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

أ. **السيولة:** "وهى قدرة المعدن على ملء قالب السباكة جيدا كما يوضح شكل (٦٢) عملية تدفق المعدن ولا تتوقف سيولة المعدن على تركيبه الكيميائى فحسب ولكنها تتوقف كذلك على درجة حرارة الصب"[٤]

ب. **الانكماش:** "وهو خاصية انكماش المقاييس الطولية والحجمية للمعادن والسبائك عند تجمدها وتبريدها ويعبر عن الانكماش الطولى (أو الحجمى) بالنسبه المئوية من الطول أو (حجم) المسبوكه البارده."[٥]

---

(١) برتران جيل، ترجمة هيثم اللمع، موسوعة تاريخ التكنولوجيا، المؤسسة الجامعة للدراسات والنشر والتوزيع (١٩٩٦).
(٢) عبد الرحمن أبو زيد، معايير استخدام التكنولوجيا المتقدمة ومدى موائمتها للمنتج المعدنى، رسالة ماجستير، غير منشورة، جامعة حلوان، كلية الفنون التطبيقية (٢٠٠٧).
(٣) احمد سالم الصباغ، مرجع سابق، ص ٣٥.
(4) John A. Schey, Ibid, p 190-195.
(٥) محمد بكير مصطفى، مرجع سابق، ص ١٣٤.

ج. **التأثيرات السطحيّة:** "عندما يذوب المعدن يَجِبُ أَنْ يَتدفّقَ خلال قنوات صغيرة (نموذجياً، تحت ٥ مليمترِ)، فيصبح التوتر السطحى كبير والتوتر السطح العالى يجعل من المستحيل ملء الزوايا الحادة وعند التعرض للجو فالعديد من الأسطح المنصهرة تغلف بسرعه بطبقة من الأكسيد ومن الطبيعى فإن هذه الطبقة من الأكسيد تؤثر كثيرا على أداء عملية السباكة."(١)

د. **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 أولا، "ويتوقف الانعزال إلى حد كبير على طبيعة السبيكة وتكنولوجيا السباكة وكلما زاد المدى بين درجتى حرارة التبلور كلما زادت خطورة حدوث الانعزال."(٢)

**٢-٣ أساليب السباكة: Casting processes**

أ. السباكة فى القوالب الدائمة تصلح للعديد من المرات (تستخدم فى الإنتاج الكمى).

ب. السباكة فى قالب شبه دائم أى تستخدم لعدد محدود من المصبات ثم تهدم ولا يعاد تدويرها.

ج. السباكة فى قوالب مستهلكة أى تستخدم لمرة واحدة ويعاد هدمها.

**ـ السباكة بالطرد المركزي Centrifugal Casting.**

"إن مبدأ القوة الطاردة المركزية التي تنشأ نتيجة دوران القالب داخل الماكينة بسرعة عالية يعتبر الأساس الذي تعمل بموجبه هذه الطريقة، حيث يتم صب المعدن المنصهر إلى داخل تجويف القالب (الأسطواني عادة) أثناء دورانه بواسطة مجرى خاص فيسقط على سطح القالب ليحاول التشكل عليه بفعل دفع القوة الطاردة له بعيدا عن محور الدوران فيتجمد هناك. في هذه الطريقة يندفع المنصهر المعدني إلى جدران القالب بتاثير تعجيل الطرد المركزي (٧٠-٨٠) مرة بقدر التعجيل الأرضي حيث يتجمد المنصهر المعدني على شكل أسطوانة مجوفة، الشكل الخارجي للمسبوكة يغطى بواسطة محيط القالب بينما قطر السطح الداخلي للاسطوانة يمكن أن يسيطر عليه بواسطة كمية المعدن المصبوب إلى فجوة القالب، المكائن المستخدمة لتدوير القالب ربما تمتلك محاور دوران افقية أو عمودية. تتميز مسبوكات الطرد المركزي بتجانسها وخلوها من الشوائب والفقاقيع وانتظام سمكها علاوة على ذلك تتميز بالكثافة العالية وتركيب حبيبي ناعم وخواص ميكانيكية جيدة وإنتاجية عالية ويكون المصبوب قادر على إلتقاط أدق التفاصيل ويمكن التحكم فى سرعة الدوران حسب حجم الأسطوانة، درجة التعقيد النسبية للنموذج ونوع المعدن المستخدم."(٣)

**ـ السباكة بتفريغ الهواء: Vacuum Casting**

يتم مزج الرمال الناعمة مع رغوة اليورثين يصب على قوالب التشكيل المعدنية وتعالج ببخار امينى. ثم يتم ربط القالب مع ذراع الروبوت ثم يغمر القالب الموضوع بشكل معكوس بالمقارنه مع طريقة الصب العادية جزئيا فى المعدن المنصهر فى فرن الحث (قد يذاب المعدن فى الهواء أو فى الفراغ) (CLV Process)

"يقلل الفراغ من ضغط الهواء داخل القالب إلى نحو ثلثى الضغط الجوى ويسحب المعدن المصهور إلى داخل تجاويف القالب عبرالبوابة السفلية للقالب. المعدن المصهور فى الفرن يكون عادة عند درجة حرارة ٥٥ درجة مئويه أعلى من درجه انصهار السائل. وبالتالي يبدأ المعدن بالتجمد خلال جزء من الثانية وبعد ملء القالب يتم السحب من المعدن المصهور.

**ـ سباكة النماذج بالتبخر (الرغوة المفقوده).**

"يستخدم فى عملية الصب بالتبخر نماذج البوليسترين، (الرغوة المفقودة) الذي يتبخر عند الاتصال مع المعدن المنصهر لتشكيل تجويف صب. وكما تعرف هذه العملية تحت الاسم التجارى لها (عملية القالب). كانت تعرف رسميا باسم عملية

---

(1) John A. Schey, Ibid, p 190-195.

(٢) محمد بكير مصطفى، مرجع سابق، ص ٣١٥.

(٣) محمد صلاح الدين عباس، مرجع سابق، ص ٢٤٨.

البوليسترين الموسعة وأصبحت واحدة من عملية الصب الأكثر أهمية للمعادن الحديدية وغير الحديدية، وخاصة للصناعات الآلية في تعديل عملية نماذج التبخر حيث تحاط نماذج البوليسترين بقشرة من السيراميك (عمليةCS Replicast). يتم حرق النماذج عند ملء المعدن المنصهر في القالب. الميزة الرئيسية لهذه العملية عن عمليات السباكة الدقيقة (مع نماذج الشمع الخاص بها) هي أنه يتم تجنب وجود الكربون في المعدن"[١]

**ـ السباكة بالشمع المفقود: Precision Casting, Investment Casting (Lost Wax Method)**

يعتبر أسلوب السباكة بالشمع المفقود أحد الأساليب المستخدمة فى إنتاج أنواع محدده من المنتجات المعدنية ويوجد عدد من المسميات لهذا الاسلوب مثل سباكة الشمع أو السباكة الدقيقة أو السباكة ذات النموذج المنصهروتستخدم هذه الطريقة فى الإنتاج الكمى للمسبوكات ويمكن بهذه الطريقة الحصول على مسبوكات على درجة عالية من جودة السطح من حيث النعومة والتشطيب دون استعمال أى تشغيل ميكانيكى لها بعد ذلك."[٢]

**وتتلخص القواعد الأساسية لهذه الطريقة من الاتى:**

**أ. تجهيز النموذج من الشمع العالى الجوده داخل القالب.**

"يتم صناعة معظم النماذج المستخدمة بتقنية الشمع المفقود حاليا من الشمع مباشرة دون الحاجة إلى تصنيع نموذج معدنى ويتم استخدام الشمع فى تشكيل النموذج بطرق مختلفة فمن الممكن بنائه أو نحته أو نقوم بالجمع بين التقنيات"[٣]

**ب. تكوين الشجرة من عدد من النماذج مع توصيلها بنظام الصب.**

بعد إتمام تصنيع النموذج الشمعى يتم تصنيع الشجرة الشمعية وتوصيلها بنظام موحد للصب من الشمع وهى تتكون من قدح الصب والمصب وقنوات التغذية حيث يتم تثبيته المصب الرئيسى على قاعدة مطاطية ثم يتم لحام النماذج الشمعية ملحق بها المصب الفرعى فى المصب الرئيسى.

**ج. عمل القالب السيراميكى على الشجرة.**

قوالب قشرة السيراميك هو عملية الصب الدقيقة، تطلى الشجرة السابق تكوينها بواسطة غمرها فى ماده المارشاليت وكمية صغيرة من الكاولين والجرافيت مع الماء المخلوط بقليل من ماء الزجاج (مخلوط حرارى) ثم يترك القالب ليجف في الهواء لمدة ٢ إلى ٣ ساعات."[٤] وبذلك تتكون طبقة من السيراميك على الشجرة بسمك (٢ – ٦ مم)، يتم تكرار هذه العملية عدة مرات للحصول على سمك القشرة المطلوب.

**د. تجهيز القالب قبل الصب.**

تجفف الشجرة عند درجة ٢٠°م تقريبا لمده ٥ – ٦ ساعات ثم توضع (تختم) الشجرة داخل ريزق أو صندوق حيث يملء الفراغ بين الشجرة المغطاة والصندوق بواسطة خلطة رمل المسبك وعادة يجرى الختم بالهز على ماكينات الهز الخاصة. يتم صهر الشمع المتواجد فى النماذج والشجرة عن طريق وضع الريزق بالكامل داخل فرن مقفل درجة حرارته ١٠٠°– ١٥٠°م لمدة ساعتين ويجمع الشمع المنصهر لإعادة استخدامه وبعد ذلك ترفع درجة الحرارة إلى ٩٠٠°م بغرض عمل التحميص للقالب.

---

(1) Serope Kalpakjian Ibid, P 224.

(٢) محمد صلاح الدين عباس، مرجع سابق ، ص ٢٩٢.

(٣) نهلة حسن على حسين ، اعتبارات تصميم نماذج الشمع فى صناعة الحلى، ماجستير، غير منشور، جامعة حلوان، كلية الفنون التطبيقية، ص ٥٨ (٢٠١٢).

(4) Khurm, R. S., Gupta, .J. K, Ibid, p 253.

**هـ. عملية الصب.**

**و.** "بعد الانتهاء من عملية التحميص نجد أن الشجرة أصبح مكانها فراغ جاهز لعمليات الصب ثم نقوم بلف الريزق ١٨٠ للتجهيز للصب بعد تجهيز المعدن المنصهر ويعطى صب المعدن فى القالب تحت ضغط من ٢ – ٥ ضغط جوي بطريقة الطرد المركزى أفضل النتائج من ناحية الدقة."(١)

**ز. تكسير السيراميكى وفصل المسبوكات من الشجرة.**

وبعد حدوث التجمد للمعدن المنصب يتم تكسير القشرة الخارجية للحصول على شجرة النماذج المسبوكة يتم تقطيع المسبوك المطلوب من الشجرة كمنتج نهائي وباقى الشجرة يتم اعادتها إلى قسم صهر المعادن مرة أخرى.

**ح. تنظيف المسبوكات وعمليات التشطيب.**

"تتم عملية التنظيف إما يدويا أو آليا حيث تتم عملية التنظيف فإن التنظيف يتم آليا إما على الجاف أو على المبلول (تيار ماء)"(٢) وتجرى عملية تنظيف الجزء المسبوك.

**ـ مميزات وعيوب التشكيل بالشمع المفقود.**

| مميزات السباكة بالشمع المفقود | عيوب السباكة بالشمع المفقود |
|---|---|
| " دقة فى الأبعاد واقل سمك للجدران (±٠.٠٥مم). و"سهولة الحصول على أجزاء ذات شكل هندسى بالغ التعقيد وأبعاد وخصائص ثابته."(٣) | مواد القوالب مصنعة لغرض واحد وبالتالي لا يمكن إعاده استخدامها وهذا يزيد من تكلفة الإنتاج. |
| تنتج أسطح عالية من النعومه وتتميز المنتجات بخواص ميكانيكية عالية. | لا تنتج الاجسام الكبير بهذا الأسلوب نظرا لحجم المعدات المستخدمة و تقتصر عملية الصب على الأحجام الأقل من ١٠ كجم. |
| يمكن إنتاج النماذج أو كتله بكميات كبيرة الأوزان من بضع غرامات إلى أكثر من ٢٥٠ كجم."(٤) | يعتبر أسلوب الإنتاج بالسباكة بالشمع المفقود ذو تكلفة عالية مقارنة بالأساليب الأخرى وذلك بسبب زيادة نسبة العمل اليدوي الذى يشارك فى عمل النموذج الشمعى والقالب."(٥) |

**٢ – ٤ اقتصاديات السباكة:**

عند استعراض عمليات الصب المختلفة، لاحظنا أن بعضها يتطلب المزيد من العمل أكثر من العمليات الأخرى، وبعضها يتطلب اسطمبات وآلات ورسوم مكلفة و التكلفة الإجمالية للمنتج تنطوي على تكاليف المواد واليد العاملة والأدوات والمعدات الاستعدادات لتلقى المنتج وتشمل صنع القوالب والاسطمبات الذي يتطلب المواد الخام، والوقت، والجهد، وكلها تسهم في التكاليف. بتكلفة قليلة نسبيا وتشارك في صنع قوالب الصب تتطلب مواد باهظة الثمن وعلى قدر كبير من الآلات والإعداد، بالإضافة إلى قوالب والإسطمبات، هناك حاجة إلى مرافق لصهر وسكب المعدن المنصهر في قوالب أو الاسطمبات. وتشمل هذه المرافق الأفران وآلات ذات الصلة، وتكاليفها.

**ثالثا: إنتاج المستنسخات المعدنية بتقنية التشكيل بالترسيب الكهربى.**

(١) محمد بكير مصطفى، مرجع سابق، ص ٣٤٤.
(٢) محمد بكير مصطفى، مرجع سابق، ص ٣٢٢.
(٣) محمد بكير مصطفى، مرجع سابق
(4) Abstracted from Materials World, Vol. 5, No. 1, pp 6 - 9, January (1997).
(5) Khurm, R. S., Gupta, .J. K., Ibid, p253 - 253

إن عملية الترسيب الكهربى تعد من أهم التقنيات التى تستخدم فى مجال إنتاج المنتجات المعدنية واستخدمت فى تحسين مظهر سطح المنتج أو االخواص الميكانيكية للمنتج ولكن خلال الاربعين عاما الماضية قد تم تطبيق الترسيب الكهربى فى العديد من مجالات الصناعة وتتميز هذه التقنية بالبساطة الفريدة فى التنفيذ والتكلفة المنخفضة لرأس المال والبراعة العالية ودقة الأشكال مما يؤدى إلى التطور السريع.

**٣-١ تعريف الترسيب الكهربى Electro Deposition (E.D).**

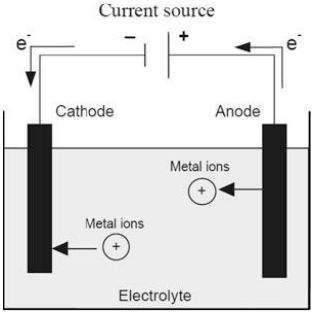
"هوعملية ترسيب طبقة رقيقة من المعدن على سطح معدن آخر لتحسين خصائص سطحه للحصول على الكهربائية المطلوبة ومقاومة التآكل ويقلل من الاحتكاك ويستخدم للزخرفة."(١)

**٣-٢ تعريف التشكيل بالترسيب الكهربى ( Electroforming).**

تعرف بأنها عملية توظيف التقنية لاستخدامها للترسيب الكهربى ولكن تستخدم لتصنيع المنتجات المعدنية. فهي عملية عملية تشكيل الأجسام من المعدن عن طريق الترسيب الكهربى للمعدن على الجسم ليكون بعد ذلك منتج قائم بذاته وهى عملية صناعية فى المقام الأول لذلك فإن استخدام عملية التشكيل بالترسيب الكهربى فى استنساخ النماذج الأثرية افضل من استخدام الطرق التقليدية مثل السباكة نظرا لقلة تكاليف استخدامها والحصول من خلال هذه العملية على منتجات ذات دقة عالية من التفاصيل ويتيح للمصمم الحرية فى إجراء التجربة لإنتاج عدد أكبر من القطع النهائية.

**٣-٣ الفكرة الأساسية.**

تظهر التفاعلات الكهروكيميائية فى إعداد وتشغيل خلية الترسيب الكهروكيميائية. يظهر فى الشكل قطبين مغمورين فى الألكتروليت، وبتوصيل التيار الكهربى، يحدث الاختزال (فقد إلكترونات) فى الكاثود وتحدث الأكسدة (اكتساب إلكترونات) عند الأنود، وفى حالة الترسيب الكهربى تكون الركيزة هى الكاثود (قطب سالب) ويكون الأنود قابل للانحلال فى المحلول والأكسدة أثناء عملية الترسيب ويمكن التعبير عن هذه العملية كما فى الشكل (١).




شكل (١) رسم تخطيطي لخلية ترسيب كهروكيميائية عامة (باستخدام أنود قابل للأنحلال)

**خطوات إجراءات عملية التشكيل بالترسيب الكهربى.**

١- تنظيف القالب الموصل.

٢- وزن القالب الجاف.

٣- التحكم في درجة الحرارة، وسرعة الترسيب، وكيمياء الالكتروليت.

٤- وضع النموذج على الحامل.

٥- فحص الاتصال بين مصدر التيار وسطح النموذج (فحص التوصيل).

٦- ادراج الحامل الى الالكتروليت فى موازاه القطب الموجب والانتظار بضع دقائق.

(1) Pradeep Thiyanaratnam, Modeling and Simulation of Modified Electrodeposition in Two and Three Dimensions, PhD in Mathematics, University of California, Los Angeles, (2006).

٧- توصيل تيار معلوم لوقت معلوم.
٨- إخراج الحامل وتنظيف المنتج بالماء منزوع الايونات وغاز النيتروجين الجاف.
٩- الوزن المنتج الجاف وحساب كفاءة التيار.
١٠- تقييم الترسيب.

**٣-٤ متطلبات يجب مراعتها فى عملية التشكيل بالترسيب الكهربى.**

- عند استخدام المصاعد الغير قابلة للانحلال تكون هناك فرصة لتصاعد غاز الأكسجين عند المصعد لذلك يجب ان تصمم خلية الترسيب بحيث لا تكون هناك فرصة لوصول هذا الغاز إلى منطقة الكاثود حتى لا يؤكسد الفلز أثناء ترسيبه على الكاثود.
- يجب تلافى تأثير التقليب والذى يمكن أن يتولد كنتيجه لتصاعد فقاقيع غاز الاكسجين كما يجب ضبط الجهد عبر طرفى الخلية بحيث يكون معدل تصاعد غاز الأكسجين معقولا وعادة ما يفضل استخدام خليه طلاء ذات مقصورتين:

١- مقصورة الأنود (Anode compartment). ٢- مقصورة الكاثود (Cathode compartment).

**٣-٥ الاختلاف بين التشكيل بالترسيب الكهربى والترسيب الكهربى.**

على الرغم من أن كل من عملية التشكيل والترسيب الكهربى متشابهان جدا فى التراكيب الكيميائية فإن الاحتياجات والمعدات تختلف إلى حد كبير ولكن يحقق التشكيل بالترسيب الكهربى اقتصاديات مطلوبة ويستخدم الترسيب الكهربى لتعزيز خصائص سطح الترسيب أو المادة الغير موصله و دائما يكون معيار نجاح التشكيل بالترسيب الكهربى هو القدرة على الانفصال من سطح الترسيب على القالب. "يستخدم الترسيب الكهربى لتصنيع الاشكال المعقدة والأسطح المنخفضة التكلفة ويمكن تشكيل الاشكال الملحومه فضلا عن المعقدة والتى تنتج اقتصاديا بالقطع واللحام لما ينتج أيضا استنساخ أسطح مثالية وعاليه الدقة فى أبعادها الهندسية مثل إنتاج العدسات ولوحات النقش ثلاثية الأبعاد."[١]

على الرغم من ان التكنولوجيا الأساسية لعملية الترسيب الكهربى ترتبط ارتباطا وثيقا بتلك التى تستخدم فى الترسيب الكهربى إلا أن هناك عدد من الاختلافات الهامة:

أ. **سمك الترسيب الكهربى:** يستخدم الترسيب الكهربى للتغطية ولمقاومة التآكل والاحتكاك أو ببساطه لإعطاء مظهر جمالى للمنتج وفى الغالب تصل طبقة الترسيب من ١-٣٠ ميكروميتر اما منتجات التشكيل بالترسيب الكهربى تحتاج إلى قوة ميكانيكية كافية لتكون قادرة على إخراج المغزل (قلب التشكيل) بشكل مستقل عن التى تترسب عليها وعادة ما تكون أكثر سمكا بدءا من سمك ١٠ ميكرون لوجه النموذج والتى يمكن أن تصل إلى سمك ٥ مليميتر وقد تم إنتاج نموذج بالتشكيل بالترسيب الكهربى يصل سمكة إلى ٥٠ ملليميتر.

ب. **الالتصاق على الركيزة:** إذا كان الترسيب الكهربى من أهم خصائصه الالتصاق الجيد بين الركيزة وطبقة الترسيب فإن التشكيل بالترسيب الكهربى يتطلب العكس تماما فمن المهم أن يكون الالتصاق ضئيل أو معدوم بين الترسيب وقالب التشكيل حيث يمكن فصله دون ضرر بعد انتهاء العملية تماما وفى حين أنه يتم اختبار عمليات المعالجة لتحقيق أقصى قدر للالتصاق للترسيب فى عملية الترسيب فإنه يتم اختبار المواد للمعالجة المسبقة للتشكيل بالترسيب الكهربى للوصول إلى الحد الأدنى للالتصاق المطلوب ولمنع الفصل السابق لأوانه.

ج. **الإجهاد الداخلى للترسيب الكهربى:** لإن التشكيل بالترسيب الكهربى يتطلب الالتصاق بين قالب التشكيل وطبقة الترسيب تكون محدودة فمن المهم التحكم فى الإجهاد الداخلى للترسيب عادة وهذا يعنى الحفاظ على أقل مستوى ممكن من الإجهاد عادة ما يوجد فى المعادن المترسبة كهربيا ويمكن إن تكون إما إجهاد الشد أو الضغط وغالبا

(1) Carl M., Rodia Consultant,Trumbull, Conn. ELECTROFORMING, Metal Finishing, Volume 93, Issue 1, P 369 - 378 (January 1995).

ما تكون عاليه بما فيه الكفاية وقد يسبب هذا تشوه فى الطبقة المترسبة اذا لم يتم التحكم فيها وضبطها فى التشكيل بالترسيب الكهربى لايوجد مثل هذا المانع ومن الضرورى تحديد عمليات الترسيب التى تعطى ضغوط داخلية منخفضة لتجنب التغيرات الغير مقبوله أو تشوه الأبعاد الجمالية للمنتج.

**٣-٦ قوالب التشكيل بالترسيب الكهربى.**

"قالب التشكيل بالترسيب الكهربى هو النموذج أو الشكل الذي سوف يأخذ أويكون عليها التشكيل بالترسيب الكهربى. بمعنى آخر أن القطعة المستنسخه المشكلة بالترسيب كهربائيا تكون بصورة دقيقة طبق الاصل لسطح قالب التشكيل."[١]

نوعان أساسيان لقوالب التشكيل:

١- قوالب يمكن ازالتها سليمه من التشكيل بالترسيب الكهربى ويشار اليها بالقوالب الجامدة أو الدائمة.

٢- قوالب تشوه أو تدمر بعد إزالتها من التشكيل بالترسيب الكهربى وهى قوالب مؤقتة.

فاذا كان النموذج المراد استنساخه به زوايا وذو هيئة معقدة فى الشكل فتستخدم القوالب المؤقتة وإذا كان ذو هيئة هندسية بسيطة فتستخدم القوالب الدائمة."[٢]

**٣-٧ عوامل التحكم فى عمليات التشكيل بالترسيب الكهربى.**

تتأثر بشدة خصائص المواد المعدنية والسبائك المطلية بالعوامل التالية:

**أولا:** بكمياء الاليكتروليت (على سبيل المثال نوع وتركيز الأيونات، درجة الحامضية PH، نوع الإضافات).

**ثانيا:** البارامترات الطبيعية للعملية (على سبيل المثال، درجة الحرارة، التيار الكهربى، الموائع).

**ثالثا:** مميزات الأقطاب (جودة السطح، الشكل).

**٣-٨ مكونات حمامات التشكيل بالترسيب الكهربى.**

١) أملاح الفلز المراد الترسيب به.

٢) إذا لم يكن التوصيل الكهربائي للمحلول كافيا بعد إضافة الملح السابق فإنه يضاف أى إلكتروليت فى عملية الترسيب."[٣]

٣) إذا كان ملح الفلز المضاف لا يستطيع أن يجعل المصعد يتآكل بسهولة خصوصا فى حالة الفلزات التى تعانى من صفة السلبية فإنه يجب إضافة مادة ما تكون وظيفتها تسهيل عملية انحلال المصعد وذلك حتى لا تعطى له اى فرصة يتحول فيها من الصورة النشطة (القابلة للانحلال) إلى الصوره الغير النشطة (الصورة الغير قابلة للذوبان نتيجة لترسيب أكاسيد).

٤) عوامل مضافة وظيفتها التحكم من حجم الحبيبات المترسبة والحصول على طبقة طلاء متجانسة.

٥) إذا كانت درجة الحموضة أو القلوية تؤثر على عملية الترسيب الكهربائي فإنه يجب إضافة مواد منظمة حتى تحافظ على الرقم الهيدروجينى للمحلول ثابتا وهناك حمامات تحتوى على كل المكونات السابقة.

**٣-٩ عمليات التشطيب:**

ترجع أهمية هذه العمليات إلى تحسين سطوح المنتجات المشكلة على القالب من الداخل والخارج ومنها:

١- عملية السنفرة لإزالة الحبيبات الغير ناعمة من على سطح المنتج النهائي.

٢- التلميع الميكانيكى لتحسين مظهر المنتج والحصول على لمعة مناسبة للسطح.

---

(1) Carl M. Rodia Consultant, Ibid, Pages 369-378.

(2) Tony Hart, Alec Watson, Ibid, Pages 372-383.

(3) David P. Arnold, Monika Saumer, and Yong-Kyu Yoon R. Ghodssi, P. Lin (eds.), *MEMS Materials and Processes Handbook*, Volume 1, p 137-191 (2011).

٣- التلميع البرميلى لتلميع الأجزاء والقطع الصغيرة الحجم والكثيرة العدد.

٤- التلميع الإلكتروليتى وهو أفضل طرق التلميع بالمحاليل الكيميائية للحصول على سطح منتظم فى الشكل البلورى وهى عبارة عن ثلاثه عمليات. ( التلميع بالغمر، التلميع كيميائي ، التلميع كهروكيميائي[١]).

**٣-١٠ عيوب ومميزات التشكيل بالترسيب الكهربى.**

| مزايا التشكيل بالترسيب الكهربى | عيوب التشكيل بالترسيب الكهربى |
|---|---|
| بهذه الطريقة يمكن استنساخ أجزاء متميزة لا يمكن استنساخها بأى أسلوب إنتاج كمى اخر. | التكلفة غالبا تكون مرتفعة نسبيا ولا يختار التشكيل بالترسيب كأسلوب إنتاج إلا عند عدم إمكانية التشكيل بالطرق الاخرى. |
| التشكيل بالترسيب أسلوب يصلح لإنتاج القطعة الواحده والإنتاج الكمى. | أى خدش بسيط أو نقص فى القوالب سوف يظهر فى كل القطع المنتجة بهذا الأسلوب. |
| صناعه وإنتاج الأشكال المعقده ذات التفاوتات الدقيقة جدا وعالية التشطيب. | التغير المفاجىء فى القطاع العرضى أو تخانات الجوانب يسبب الكثير من المشاكل. |
| مواد التشكيل الكهربى نقية جدا مقارنة بالمواد الأخرى. | الزوايا الحادة تسبب مشكلة إذ يجب ألا تكون عميقة وألا يوجد تجاويف ضيقة تمنع الترسيب. |
| الاختيار المتميز لخامة القالب يمكن أن تنتج كميات كبيرة بأبعاد عالية الدقة. | معدل الإنتاج للقطعة الواحدة ربما يكون بطىء نسبيا قد يقاس بالأيام. |

**٣-١١ اقتصاديات التشكيل بالترسيب الكهربى.**

تعتبر اقتصاديات عمليه الترسيب الكهربى من العناصر الهامة التى تؤثر على تكلفة المنتج بوجه عام فى هذه العملية لا يكون المطلوب فقط إجراء عملية تغطية ولكن المطلوب اجراء تغطية متجانسة السمك على كل السلعه المراد وتعتبر تكلفة عملية الطلاء أحد العوامل الهامة التى تؤثر فى اقتصاديات عمليه الترسيب ولذلك فتكلفة عملية طلاء أى منتج تتحدد بواسطة عناصر ثلاثه:

أ. **تكلفة خامة الطلاء (المعدن المترسب).** (ثمن خامة الطلاء ، وزن المعدن المترسب).

ب. **تكلفة المجهود (أجور العاملين).** (تجهيز وطلاء المنتج، تكلفة ساعة العمل).

ج. **تكلفة التجهيزات.** (تكلفه مكونات الحمام، سرعة عملية الطلاء، تكلفة التحكم والصيانة، التكلفة النقدية للمحافظة على الحمام، التكلفة العالية للتجهيزات سواء أثناء التشغيل أو عدم التشغيل، الخواص الميكانيكية والفيزيائية لطبقة الطلاء)

**رابعا: إنتاج المستنسخات المعدنية بمساعدة الحاسب الآلى.**

تتعدد وتتنوع أساليب إنتاج المستنسخات بمساعدة الحاسب الآلي والهندسة العكسية هى واحدة من أحدث التقنيات الهندسية والعلمية لتنفيذ أجزاء معقدة بأسلوب سريع جدا من خلال معرفة التصميم والتركيب الداخلى للمنتج المطلوب تصنيعه أو عندما يكون مصدر المعلومات منتج قائم بالفعل وليس منتجا مصمما أو عندما يراد تطوير منتج ما من خلال تقنيات التصميم بالحاسب الآلى حتى يتثنى تصنيعه بعد ذلك ايضا بمساعدة الحاسب يكون من المهم جدا التعرف على تقنيات التصميم بالماسح الثلاثى الأبعاد بغرض التعرف على الصفات المادية للمنتج وقد تقتصر هذه الصفات المادية على قياسات المنتج وأبعاده ولكنها قد تمتد أيضا إلى عدد أخر من الصفات الفيزيائية كاللون والملمس وغيرها.

(١) محمد العوامى محمد، مرجع سابق، ص ١٢١.

**٤-١ جلب العناصر المجسمة.**

إن الماسح الضوئي ثلاثى الأبعاد هوالوسيلة السريعة والدقيقة لوضع القياسات الفيزيائية للجسم على الكمبيوتر بطريقة منظمة، وغالبا ما يستخدم الماسح الضوئي الثلاثى الأبعاد كجسر بين الأجسام المادية والتصنيع الحديث ويتحقق ذلك عن طريق تحويل البيانات إلى التصميم النماذج بمساعدة الكمبيوتر (CAD) واستخدام هذه البيانات.

**٤-٢ أساليب الاستنساخ باستخدام الحاسب الآلى.**

"لعب التطور التكنولوجى دورا كبيرا فى مجال تصميم وصناعة المنتجات بصفة عامة وللمصمم دور هام فى الإلمام بالتكنولوجيا التقليدية والمتطورة والمتاحة والاستخدام الاقتصادى لها لذا فإنه لابد من استيعاب استخدام التكنولوجيا التقليدية والملائمة والمتاحة بما يمكنه من التفاعل الفورى مع وحدات الإنتاج القائمة كما أن إلمامه ومعرفته للتكنولوجيا المتطورة والمستحدثة يهدف إلى ربطه بالتطور التكنولوجى العالى والسريع حتى يكون مستعدا لاستخدام هذه التكنولوجيا عندما تتاح له الفرصة لذلك."[١]

أ. **برامج ال Cad** : الكاد Cad هى اختصار Computer Aided Design التصميم بمساعدة الحاسب وهذه البرامج الهدف من وجودها هى خدمة المصمم ومساعدته على إظهار مبتكراته حيث تستقبل البيانات الرقمية مباشرة إلى الحاسب من خلال الماسح الضوئي ثلاثى الأبعاد 3D Scanner ويتم تعديل هذه الرسومات بالكاد. "وهذه البرامج تعتبر أداه لعمل تصميم المنتج ولها القدرة على إصدار الملفات stl لإرسالها لماكينات النموذج الأول ويوجد بهذه البرامج العديد من الأوامر التى يندرج تحتها الكثير من الأوامر الفرعية وصناديق الحوار ومهمة المصمم هنا تحديد الأوامر التى يستخدمها للوصول إلى ما يريد الحصول عليه ويمكن للمصمم تغيير وتهيئة هذه الأوامر وجمعها معا تبعا لاحتياجاته."[٢]

ب. **برامج ال CAM** : "هى الوسيلة لترجمة ما يقوم به المصمم على برامج ال (CAD). ال (CAM) عبارة عن برنامج يمكن وضعه على حاسب شخصي يساعد المبرمج (مستخدم ماكينة ال CNC) فى عملية تشغيلها وعادة ما يعمل نظام ال CAM مع نظام ال (CAD) أو التصميم بالحاسب الآلى"[٣] فبرامج (CAD)، (CAM) يستعمل لتصميم عملية الإنتاج والتحكم بالآت وأدوات خط الإنتاج من خلال آليه قابلة للبرمجة فنظام ( (CAD) CAM) –عبارة عن دمج التصميم والتصنيع معا لترجمة خصائص التصميم وإرسالها إلى أجهزة وأدوات إنتاج لتصنيع المنتجات فى أسرع وقت ودون أخطاء فالتفاصيل الدقيقة لنماذج المستنسخة يمكن نقلها بشكل فعال من خلال استخدام بيانات (CAM) فيمكن الحصول على نموذج شمعى عالى الجودة من خلال حقن الشمع باستخدم مسارات (CAM CUTTER) ومعدات التصنيع باستخدام الحاسب.

ج. **التحكم الرقمى بالكمبيوتر CNC** : "هو مصطلح مستخدم لعملية الاستفادة من معلومات الكمبيوتر المخزنة فى الملفات الإلكترونية (نماذج ثلاثية الأبعاد عادة) وعمل نموذج ثلاثى الأبعاد باستعمال الماكينات الخاصة تترجم هذه الماكينات الدقيقة معلومات الكمبيوتر وفى الحقيقة تبنى النموذج الذى يمكن أن ينجز ببضع عمليات مختلفة وبجانب هذا التكنيك ظهر أسلوب آخر يعتمد على توصيل الحاسب المباشرة بماكينة القطع أو الحفر ونظرا للدقة العالية التى يمكن الحصول عليها من الماكينات فقد أصبحت تستخدم فى عمل نسخ من التصميمات والأعمال الفنية النادرة (كما يمكن استخدامه فى مجال الآثار) للحفاظ على القطع الأصلية وذلك بعد إدخال بياناتها رقميا

---

(١) احمد وحيد مصطفى: مفاهيم فى التكنولوجيا المتقدمه، نقابه مصممى الفنون التطبيقية (٢٠٠٢).
(٢) نهلة حسن على حسين، مرجع سابق، ص ١٤٦ (٢٠١٢).
(٣) وسام انسى ابراهيم محمد، مرجع سابق، ص ٨٨.

إلى الحاسب عن طريق الماسح الضوئي ثلاثى الأبعاد 3D SCANNER أما فيما يتعلق بمشاكل الحجم الكبير فقد أمكن التغلب عليها بتقسيم النموذج إلى أجزاء يتم تصنيعها جزئيا ثم يتم تجميعها كوحده واحده."[٢]

**٤-٣ أساليب بناء النماذج السريعة بالحاسب الآلى.**

يعتبر فن وعلم بناء المجسمات والنماذج السريعة من العلوم المتميزة التى تخدم علماء الآثار والترميم وذلك باستخدام مجموعة متنوعة من المواد وبما اننا نتحدث عن نموذج يضاهى النموذج الأثري فكان من الصعب الحصول على شكل طبق الأصل من هذا النموذج حيث كان يتم عمل النموذج من خلال الصب على الأثر مما سبب تلف العديد منها فكان أسلوبا متبعا حتى جرم القانون هذا الأسلوب فكان الأسلوب الآخر والقائم حتى الآن أن يقوم نحات بنحت الشكل بصورة أقرب ما يكون للأصل ولكن مع التقنيات المتطورة وبالنماذج الرقمية ثلاثية الأبعاد المستخدمة فى تقنية المحاكاه أمكن الحصول على النماذج المطبوعة دون المساس بالأثر الاصلى.

**أ- النوع الأول هو التشكيل بالازله (Milling).**

وتتمثل فى ماكينات القطع (CNC MILLING) التى تقوم بتشكيل النموذج بإزالة المواد لخلق جسم مادى مباشرة من البيانات الرقمية ثلاثية الأبعاد بالقطع من المواد الصلبة المستخدمة. "تعتمد تكنولوجيا ال (CNC) على ثلاثة محاور هى x، y، z وكل نموذج يتم تصنيعة ستكون إحداثياته داخل تلك المحاور، وكلما زاد عدد المحاور ذاد تعقيد الماكينة."[١]

**ب- النوع الثانى هو التشكيل بالاضافة (AM) Additive Manufacturing.**

وتتمثل فى بناء النماذج السريعة (RP)Rapid prototyping)) حيث تقوم الماكينة بإضافة طبقات من الخامة لبناء النموذج والمعروفة بالطباعة ثلاثية الأبعاد وهو مصطلح شاع استخدامه فى الآونة الأخيرة ويعبر هذا المصطلح عن تكنولوجيا مستحدثة لتحويل نماذج وأشكال المنتجات الصناعية والهندسية التى يتم بناؤها وتمثيلها الكترونيا بشكل نماذج افتراضية (Virtual Models) ثلاثيّة الأبعاد داخل الكمبيوتر إلى منتجات استخدامية مادية مصنوعة من خامات معدنية أو بلاستيكية أو سيراميكية أو غيرها من الخامات المستحدثة مثل (Composite materials).

**٤-٤ مميزات وعيوب الاستنساخ بمساعدة الحاسب الآلى.**

| مميزات الاستنساخ بمساعدة الحاسب الآلى | عيوب الاستنساخ بمساعدة الحاسب الآلى |
|---|---|
| • ارتفاع مستوى تعقيد الأشكال مع إنتاج منتج متميز ذى مواصفات خاصة مع كثافة الإنتاج. | • الماكينات المبرمجة مكلفة أكثر من الماكينات التقليدية. الصيانه مكلفة جدا. |
| • اقتصادية التكلفة ولكن غير اقتصادية فى الإنتاج الكمى. | • قلة المتخصصين فى صيانه هذه النوعية من الماكينات. |
| • جودة عالية وأداء متميز وتوفير معلومات عن الكلفة. | • يحتاج تشغيل الماكينات إلى إعداد قليلة مما يساهم فى وجود البطالة. |

**<u>خامسا : أهمية تحديد التقنيات المتوافقة لاستنساخ النماذج المعدنية .</u>**

نظرا لتطور الصناعة وتعدد أساليبها والمواد الخام المستخدمة فيها وكذلك فى طبيعة منتجاتها ومستويات الطلب على تلك المنتجات فقد تم تصنيف نظم التصنيع لخصائص مختلفة. هذه التصنيفات لها دلالاتها نظرا للاختلافات الجوهرية الممكنة بين الأنواع المندرجة تحت نفس التصنيف من جوانب عديدة خصوصا ما يتعلق بالأسلوب الذي تتم فيه العملية الإنتاجية. فان استخدام التقنيات وطرق التصنيع المتوافقة مع إنتاج النموذج المعدنى المستنسخ يتوقف على مدى الاحتياج لها فى الإنتاج. ومن أهم التصنيفات المعروفة لتصنيف التقنيات المستخدمة فى إنتاج النماذج الأثرية.

(١) نهلة حسن على حسين، مرجع سابق، ص ٢١٧.

**أ. حسب طبيعة النموذج المطلوب استنساخه .**

فعند تحديد التقنيات المتوافقة لاستنساخ النماذج المعدنية الأثرية فيتم طبقا لشكل وهيئة النموذج المعدنى الأثري فيتم تصنيف النماذج الأثرية المعدنية كما ذكرنا سابقا إلى نوعين:

أ. النماذج المعدنية ثلاثية الأبعاد.

ب. النماذج المعدنية ثنائية الأبعاد ذات التشكيل البارز والغائر.

**ب. حسب طبيعة عملية الإنتاج المستخدمة فى الاستنساخ.**

يمكن تحديد عملية الإنتاج المتوافقة مع استنساخ النموذج الأثري المعدنى إلى عدة تقنيات

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

٢- تقنيات التشكيل بالترسيب الكهربي.

٣- تقنيات الإنتاج بمساعدة الحاسب الآلى CAD/CAM.

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 منتج 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:** هى النظم التى تنتج منتجا واحدا أو تنتج بشكل متواز، عدد قليل من المنتجات المتشابهه بكميات ضخمة.

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

**<u>سادسا : متطلبات إعداد البرنامج التنفيذي لعمليات االاستنساخ للاثر المعدنى:</u>**

يقصد بذلك المراحل المختلفة التى تمر بها النماذج الأثرية المستنسخة منذ وجودها فى صورة المادة الخام حتى انتهاء تصنيعها إلى الصورة التى يمكن الاستفاده بها ويمكن إيجاز هذه المراحل فى الآتى:

١- تحديد شكل النموذج الأصلى المراد استنساخه وأبعاده ومدى التجاوزات المسموح بها فى الأبعاد المختلفة.

٢- تحديد أكثر الطرق توافقا مع طبيعة إنتاج النموذج الأثري وتحديد طبيعة الطلب على النموذج الأثرى.

٣- تعيين المواد المختلفة المتوافقة مع تصنيع النموذج الأثري المعدنى.

٤- يمر النموذج الأصلى بمرحلة الإعداد للإنتاج وذلك بإختيار أنسب التقنيات المناسبة لاستنساخ النموذج الأثرى وقد يقترح تعديل فى اختيار المواد.

٥- تقدير تكاليف إنتاج النماذج الأثرية بعد تحديد الكميات المطلوبة.

٦- بدء عمليات التشغيل أو التشكيل بمراحلها المختلفة.

٧- الانتهاء من عمليات المعالجات الحرارية أو المعالجات السطحية اللازمة إن وجدت.

٨- اختيار المعالجات الفنية المناسبة لمظهر السطح.

٩- التأكيد على جودة النموذج الأثري المستنسخ للوصول به إلى أقرب ما يكون للنموذج الأصلى.

١٠- التركيب مع العناصر الأخرى المرتبطة بالجزء وخاصة إذا كان النموذج الأثري يتكون من حلى ومجوهرات.

## سابعا : النتائج والتوصيات.

**أولا: نتائج البحث:**

١. التوصل لأساسيات أهم التقنيات المتوافقة المستخدمة فى مجال الاستنساخ ومتطلباتها والعمل على تفادى أى مشاكل وعيوب فى قوالب التشكيل قد تؤثر على إنتاج النموذج الأثرى المستنسخ عن كل تقنية.

٢. الاستفادة من نظرية التشكيل بالترسيب الكهربى التى هى نفسها نظرية عمل الترسيب الكهربى مع وجود إختلافات بين كل منهم من حيث سمك طبقة الطلاء وتركيز المحلول.

٣. يفضل استخدام عملية التشكيل بالترسيب الكهربى في عمليات الأستنساخ على عملية السباكة بالشمع المفقود التقليدية حيث إن السباكه بالشمع المفقود مكلفة وتستغرق وقتا طويلا وتحتاج إلى عدة عمليات فعمليات التشكيل بالترسيب الكهربى لا تتطلب نفقات رأسمالية كبيرة للمعدات ولها متطلبات طاقة منخفضة نسبيا.

٤. ضرورة استخدام الهندسة العكسية مثل استخدام الماسحات الضوئية ثلاثية الأبعاد للحصول على صورة ثلاثية الأبعاد يتم استخدامها لبناء النموذج المادى من خلال إنشاء المناذج السريعة.

٥. التوصل إلى أفضل تقنية متوافقة لاستنساخ الأثرالمعدنى بجودة عالية مع خفض التكاليف وكثافة الانتاج.

**ثانيا: التوصيات:**

١. الربط بين دراسة مواد الأستنساخ ودراسة التقنيات التقليدية والحديثة والمتطورة لاستنساخ النماذج الأثرية.

٢. الاهتمام بجودة النموذج الأثرى المستنسخ المقدم للسائح مع وضع سياسات سعرية لتفادى فوضى الأسعار ومراقبة الأسواق فالتغيرات السريعة والمتطورة قد تؤثر على انتاج النماذج الاثرية من حيث الجودة والتكلفة.

٣. إقامة معارض خاصة بالنماذج الأثرية المصرية بالخارج وخاصة فى الدول المهتمة بالفنون والحضارات مما يتيح فرصة التعرف على الفن والحضارة المصرية القديمة.

٤. العمل على توفير العمالة المتخصصة والمؤهلة وتوفير الكوادر ذات كفاءة عالية للقيام بالبحوث والدراسات في مجال استنساخ النماذج الأثرية على أن تكون هذه الكوادر مؤهله علميا وعمليا أى حاصلة على أعلى الدرجات العلمية ولديها خبرة كافية فى مجال إنتاج النماذج الأثرية.

٥. المتابعة المستمرة للتطورات التكنولوجية المتلاحقة فى مجال استنساخ النماذج الأثرية والعمل على الإضافة إليها وتطورها مع المزيد من الدراسة والبحث لآليات ونظم الكاد (CAD – CAM).

٦. وضع قوانين وتشريعات تلزم القائمين على مجال استنساخ النماذج الأثرية بالفعل من مراعاة المحافظة على الطابع التاريخى للأثر.

## المراجع

**أولا: المراجع العربية.**


١- أحمد سالم الصباغ، أساسيات هندسة صب (سباكه) المعادن، دار المعرفة، الطبعة الأولى (٢٠١٢).

٢- إسلام السيد محمد إبراهيم غريب، الأسس القياسية للتطوير ثلاثى الأبعاد للمنتجات المعدنية باستخدام نظم التصميم الرقمي المتكامل، رسالة ماجستي، غير منشور، جامعة حلوان، كلية الفنون التطبيقية (٢٠٠٦).

٣- داليا محمود إبراهيم خليل، أثر الإنتاج بالنظم الرقمية على تصميم منتج الأثاث المعدني، رسالة ماجستير، غير منشورة، جامعة حلوان، كلية الفنون التطبيقية (٢٠٠٩).

٤- سامح حافظ مهدي، أساليب السباكة الدقيقة ومدى الأستفادة منها في المنتجات المعدنية، رساله ماجستير، غير منشورة، جامعة حلوان، كلية الفنون التطبيقية (٢٠٠٠).

٥- ضياء عوض أحمد أبو العطا، المسبوكات المعدنية فى النحت المصري قديما وحديثا – دراسة تحليلية – رسالة ماجستير، غير منشور، جامعة المنيا، كلية الفنون الجميلة (٢٠٠٥).
٦- عبد الرحمن أبوزيد، معايير استخدام التكنولوجيا المتقدمة ومدى موائمتها للمنتج المعدنى، رسالة دكتوراه، غير منشورة، جامعة حلوان، كلية الفنون التطبيقية (٢٠٠٧).
٧- محمد العوامى محمد، التشكيل بالترسيب الكهربى للمنتجات المعدنية، رساله ماجستير، غير منشورة، جامعة حلوان، كلية الفنون التطبيقية (١٩٩٨).
٨- محمد بكير مصطفى، فن صناعة المعادن، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع، الطبعة الأولى (٢٠١٠).
٩- محمد صلاح الدين عباس، إبراهيم موسى، تكنولوجيا الانتاج والتصيع، دار الكتب العلمية للنشر (٢٠٠٨).
١٠- نهلة حسن على حسين، اعتبارات تصميم نماذج الشمع فى صناعة الحلى، رسالة ماجستير، غير منشورة، جامعة حلوان، كلية الفنون التطبيقية (٢٠١٢).
١١- وسام انسى إبراهيم محمد، إعداد قاعدة علمية لبناء وتقييم النموذج الأول لتحقيق المتطلبات التصميمية والإنتاجية المتقدمة فى المنتجات المعدنية، رساله دكتوراه، غير منشورة، جامعة حلوان، كلية الفنون التطبيقية (٢٠٠٧).

**ثانيا: المراجع الأجنبية.**

12- Abstracted from Materials World, Vol. 5, No. 1. pp. 6-9 (January 1997).
13- Carl M. Rodia Consultant, Trumbull, Conn. Electroforming Metal Finishing, Volume 93, Issue 1 (January 1995).
14- D. David, M. Ermacora, GTotis in AMST'05 Advanced Manufacturing Systems and Technology (2005).
15- David P. Arnold, Monika Saumer, and Yong-Kyu Yoon R. Ghodssi, P. Lin (eds.), MEMS Materials and Processes Handbook, Volume 1.
16- John A. Schey, Introduction to Manufacturing processes, Singapore (2000).
17- Keiichi Shirase, Takashi Shimada, Keiichi Nakamoto, Prototyping of Autonomous CNC Machine Tool Based on Digital Copy Milling Concept, Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier (2008).
18- Khurm R. S., Gupta .J. K., A text book of working technology, manufacturing processes, New Delhi (2009).
19- Serope Kalpakjian, Steven R. Schmid, Manufacturing processes for material,USA (2003).
20- Tony Hart and Alec Watson, Electroforming, Metal Finishing, Volume 100, Supplement 1 (January 2002).

**ملخص البحث:**

تناول البحث الدراسات النظرية والتطبيقية لتقنيات استنساخ النموذج الأثرى المعدنى وشرح مفصل لأساسيات كل تقنية ومتطلباتها والعمل على تفادى أى مشاكل وعيوب فى قوالب التشكيل قد تؤثر على إنتاج النموذج الأثرى المستنسخ وذلك من خلال قواعد تطبيقية و كيفية استنساخ النماذج الأثرية وإخراج نموذج مستنسخ عالى الجودة يلبى احتياجات السائح . والاعتبارات التى يجب على المصمم مراعاتها فى عملية الاستنساخ كالمتطلبات التقنية والهندسية والاقتصادية والفنية . و مراعاة جودة الاستنساخ وتقليل تكلفة الإنتاج من خلال اختيار التقنيات المثلى للاستنساخ والأدوات والمعدات الأساسية المتوافقة مع إنتاج النموذج الأثرى من تقنيات تقليدية ومتطورة وحديثة (CAD– CAM) التوصل إلى أفضل تقنية متوافقة لاستنساخ الأثرالمعدنى بجودة عالية مع خفض التكاليف وكثافة الإنتاج.