التصنيع بالإضافة في صناعة الحلي المعدنية: دراسة تحليلية
Additive Manufacturing in Metal Jewelry Industry: Analytical Study

أ.د/ سلوى محمد عبدالنبي حسن
أستاذ بقسم المنتجات المعدنية والحلي - كلية الفنون التطبيقية - جامعة حلون
أ.د/ وسام أنسي إبراهيم
أستاذ بقسم المنتجات المعدنية والحلي - كلية الفنون التطبيقية - جامعة حلون، معار لكلية الفنون التطبيقية - جامعة بدر بالقاهرة
م.م/ منة اللّه مصطفى محمد أحمد سعد الرويني
مدرس مساعد بقسم المنتجات المعدنية والحلي - كلية الفنون التطبيقية - جامعة حلون

ملخص البحث: Abstract
مع التنوع والتعدد في الخامات التي تستخدم في إنتاج الحلي على مر التاريخ وتطور تصميم الحلي في العصور والعقود المتعاقبة لم يزل المعدن هو الخامة الأساسية لإنتاج الحلي واستخدمت الخامات الحديثة كمكمل لإضافة المزيد من التباين في خامات الحلي جنباً إلى جنب مع المعدن أو كعامل مساعد لإنتاج الحلي المعدني وظلت تقنيات تشكيل وتشغيل المعادن أساس إنتاج الحلي. ومع كل ظهور لتقنية إنتاج حديثة تكون العناية في مجال الحلي بما تقدمه هذه التقنيات من إضافة ودعم لإنتاج الحلي المعدنية الثمينة منها والمقلدة. ويمثل التصنيع بالإضافة ثورة إنتاجية اخترقت كافة المجالات الصناعية بما وفرته من مميزات وأحدثت هذه المميزات الكثير من التغيرات على شكل وطبيعة المنتجات وطرق تصنيعها. وفي مجال الحلي والموضة تنامى استخدام تقنيات التصنيع بالإضافة فظهرت اتجاهات حديثة في التصميم غير مألوفة في شكل الحلي. وأصبحت الحلي قسم أساسي في العديد من مواقع تقديم خدمات الطباعة ثلاثية الأبعاد العالمية. ونجد مع هذه الاتجاهات الكثير من التحرر في التعامل مع الخامات في إنتاج الحلي. لكن مع ما سبق بيانه من أن المعدن يظل هو الجاذب والخامة الرئيسية في إنتاج الحلي في القطاع الأعرض من تلك الصناعة تنامى الاهتمام بكيفية الاستفادة من تقنيات التصنيع بالإضافة بما يعزز من إنتاج الحلي المعدني ويطور من تقنيات إنتاجه في ظل المتغيرات التقنية الحديثة. وبهذا حلت تقنيات التصنيع بالإضافة محل بعض التقنيات التقليدية كما أصبحت تقنيات الطباعة الثلاثية تستخدم في الإنتاج المباشر لقطع الحلي. وتنتشر هذه التطبيقات المختلفة للتصنيع بالإضافة في مجال الحلي في النطاق الدولي في الولايات المتحدة الأمريكية والدول الأوروبية حيث يسود تصنيع آلات التصنيع بالإضافة على تنوع تقنياتها، وتنحصر هذه التطبيقات في النطاق المحلي لمصر على استخدام المتاح من تقنيات وبهذا تغيب الكثير من الممارسات التصميمية والإلمام بكامل المكتسبات التي حققتها تلك الثورة الإنتاجية الحديثة. ومن هنا كان الاهتمام في هذا البحث بالتعرف على تقنيات التصنيع بالإضافة وتطبيقاتها ودورها في مجال الحلي وعلى الأخص إنتاج الحلي المعدني القطاع الصناعي الأعرض في هذا المجال. وتتمثل **مشكلة البحث** في ندرة الدراسات العربية المتعلقة بأثر وتطبيقات التصنيع بالإضافة في مجال الحلي مما يستدعي المزيد من البحث المتخصص لإفادة هذا المجال، وتواضع الممارسة العملية والإفادة بتقنيات التصنيع بالإضافة محليا مقارنة بما تقدمه من مميزات ومداخل لتطوير صناعة الحلي المعدنية تحققت في العديد من العلامات التجارية العالمية. **ويهدف البحث** إلى التعرف على تقنيات التصنيع بالإضافة المستخدمة في إنتاج الحلي مع الالمام بإمكانياتها وتطبيقاتها في إنتاج الحلي المعدني واستعراض ما وصل إليه مجال الحلي عالميا بالإفادة من تقنيات التصنيع بالإضافة. وتكمن **أهمية البحث** في تقديم دراسة علمية توضح سبل إنتاج الحلي المعدني باستخدام تقنيات التصنيع بالإضافة وتزويد الدارسين والمشتغلين بمجال الحلي بالمعرفة بتقنيات الإنتاج الحديثة وإمكانياتها التي تخدم المجال. ومن خلال **المنهج الوصفي التحليلي** خلص البحث إلى إبراز ما وفرته تقنيات التصنيع بالإضافة من مساهمات في إنتاج الحلي المعدني ومواطن التطور والتغيير التي أحدثتها في المجال.

كلمات دالة: Keywords
التصنيع بالإضافة additive manufacturing، صناعة الحلي jewelry industry، تصميم الحلي jewelry design

Paper received 28th August 2022, Accepted 29th November 2022, Published 1st of January 2023

المقدمة: Introduction
تعد التقنيات المتعددة للتصنيع هي الوسيط المادي الذي يخرج به فكر المصمم بصور مختلفة تلبي تصوراته الجمالية للشكل والمتطلبات المستهدفة في المنتج وفي مجال الحلي ومع التنوع في أشكال وصور الحلي تمثل التقنية جانب هام في هذا المجال لا ينفصل أو يقل أهمية عن الإبداع والابتكار في التصميم. وقد قامت صناعة الحلي منذ نشأتها بطبيعة الحال على استخدام التقنيات اليدوية والوسائل البدائية في الحصول على الحلي هذا مع بساطة الخامات المستخدمة والتي كانت تستخرج جميعها من الطبيعة المحيطة به. وكلما تتطور حياة الإنسان واكتشافاته واحتياجاته واكب هذا تطور فيما يستخدمه من منتجات، وأصبحت الحلي- أحد أهم المنتجات التي استخدمها الإنسان منذ القدم- تنتج بخامات أكثر قيمة مادياً وجمالياً وأطول عمرا وكانت المعادن هي الملبية لهذه المتطلبات ومن ثم أصبحت خامة هامة وراسخة في إنتاج الحلي لعقود عديدة وعلى الأخص المعادن الثمينة منها وبهذا تطورت التقنيات المستخدمة في إنتاج الحلي وأصبحت تقنيات تشغيل وتشكيل المعدن هي الأساس في تقنيات إنتاج الحلي على مر التاريخ وفي كافة الحضارات وحتى عصرنا الحالي.

وإن كانت بعض العقود شهدت أزمات اقتصادية بات فيها استخدام المعادن الثمينة مكلف تضافرت معها التطورات العلمية في استحداث خامات ذات خصائص متفردة ومتطورة واستبدلت تلك المعادن بخامات بديلة اقتصاديا ومظهريا من معادن أقل قيمة كالنحاس وسبائكه وسبائك معدنية أخرى بمعالجات لونية مثيلة لتلك للمعادن الثمينة واستخدام خامات أخرى حديثة في إنتاج الحلي وبهذا ظهر ما يعرف اصطلاحا بالحلي المقلدة. ومع وجود البدائل المتعددة والتنوع في خامات الحلي لم يزل المعدن هو الخامة الأساسية لإنتاج الحلي واستخدمت الخامات الحديثة كمكمل لإضافة المزيد من التنوع في خامات إنتاج الحلي جنبا إلى جنب مع المعدن أو كعامل مساعد لإنتاج الحلي المعدني وظلت تقنيات تشكيل وتشغيل المعادن أساس إنتاج الحلي. ومع كل ظهور لتقنية إنتاج حديثة تكون العناية في مجال الحلي بما تقدمه هذه التقنيات من إضافة ودعم لإنتاج الحلي

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

المعدنية الثمينة منها والمقلدة.
وتمثل الطباعة ثلاثية الأبعاد ثورة إنتاجية اخترقت كافة المجالات الصناعية بما وفرته من مميزات وأحدثت هذه المميزات الكثير من التغيرات على شكل وطبيعة المنتجات وطرق تصنيعها. وفي مجال الحلي والموضة تنامى استخدام تقنيات التصنيع بالإضافة فظهرت اتجاهات حديثة في التصميم غير مألوفة في شكل الحلي كنتيجة للمميزات التصميمية من اتاحة التعقيد الوظيفي والهندسي وامكانيات التخصيص لتقنيات التصنيع بالإضافة واتجاه المصممين لاستكشاف الجديد الذي توفره تلك التقنيات واستخدام الخامات الجديدة التي تعمل بها تقنياته.
وفي سياق آخر لانتشار تطبيقات التصنيع بالإضافة في الحلي نجد المواقع المتخصصة في طباعة المنتجات المختلفة وفقاً للطلب والتي يتوفر بها أقسام خاصة للحلي والتي ينتقي المشترين من بينها ويختاروا من بين المجموعة المتنوعة من الخامات التي يتحها الموقع. وفي الاتجاهين السابقين نجد الكثير من التحرر في التعامل مع الخامات في إنتاج الحلي. ولكن مع ما سبق بيانه من أن المعدن يظل هو الجاذب والخامة الرئيسية في إنتاج الحلي في القطاع الأعرض من تلك الصناعة سواء في الإنتاج المحدود في الورش أو الإنتاج الكمي في المصانع الكبرى كان الاهتمام الأكبر بكيفية الاستفادة من تقنيات التصنيع بالإضافة بما يعزز من إنتاج الحلي المعدني ويطور من تقنيات إنتاجه في ظل المتغيرات التقنية الحديثة، وبهذا حلت تقنيات التصنيع بالإضافة محل بعض التقنيات التقليدية المستخدمة في إنتاج الحلي كما أصبحت تقنيات الطباعة الثلاثية تستخدم في الإنتاج المباشر لقطع الحلي.
وتنتشر التطبيقات المختلفة للتصنيع بالإضافة في مجال الحلي في النطاق الدولي في الولايات المتحدة الأمريكية والدول الأوروبية حيث ينتشر تصنيع آلات التصنيع بالإضافة على تنوع تقنياتها، وتنحصر هذه التطبيقات في النطاق المحلي لمصر على استخدام المتوفر من تقنيات وبهذا تغيب الكثير من الممارسات التصميمية والإلمام بكامل المكتسبات التي حققتها تلك الثورة الإنتاجية الحديثة.
ومن هنا كان الاهتمام في هذا البحث بالتعرف على تقنيات التصنيع بالإضافة وتطبيقاتها ودورها في مجال الحلي وعلى الأخص إنتاج الحلي المعدني القطاع الصناعي الأعرض في هذا المجال.

مشكلة البحث: Statement of the Problem

تتمثل مشكلة البحث في:

1- ندرة الدراسات العربية المتعلقة بأثر وتطبيقات التصنيع بالإضافة في مجال الحلي مما يستدعي المزيد من البحث المتخصص لإفادة هذا المجال.
2- تواضع الممارسة العملية والإفادة بتقنيات التصنيع بالإضافة محليا مقارنة بما تقدمه من مميزات ومداخل لتطوير صناعة الحلي المعدنية تحققت في العديد من العلامات التجارية العالمية.

أهمية البحث: Research Significance

1- تقديم دراسة علمية توضح سبل إنتاج الحلي المعدني باستخدام تقنيات التصنيع بالإضافة.
2- تزويد الدارسين والمشتغلين بمجال الحلي بالمعرفة بتقنيات الإنتاج الحديثة وامكانياتها التي تخدم المجال.

أهداف البحث: Research Objectives

1- التعرف على تقنيات التصنيع بالإضافة المستخدمة في إنتاج الحلي.
2- الإلمام بإمكانيات وتطبيقات التصنيع بالإضافة في إنتاج الحلي المعدني.
3- استعراض ما وصل إليه مجال الحلي عالميا بالإفادة من تقنيات التصنيع بالإضافة.

فروض البحث: Research Hypothesis

بتعدد تقنيات التصنيع بالإضافة وإمكانياتها تتعدد المداخل التصنيعية ومنطلقات الابداع التي يمكن بها الحصول على حلي معدني.

منهج البحث: Research Methodology

المنهج الوصفي لتحليلي

الإطار النظري: Theoretical Framework

1- المعادن في إنتاج الحلي:

تتنوع الخامات المستخدمة في إنتاج الحلي ما بين الخامات التي تظهر بها قطعة الحلي في صورتها النهائية والخامات المستخدمة في كافة مراحل الوصول إلى قطعة الحلي، فينتج الحلي بالمتنوع من الخامات التي توفرها الطبيعة والصناعة. وتتطلب العديد من تقنيات إنتاج الحلي وجود قوالب ونماذج تيسر وتكون وسيط في الحصول على المنتج النهائي كما في عمليات التشكيل بالضغط والسباكة إضافة إلى الخامات المضافة المستخدمة في المعالجات المظهرية واللونية لقطع الحلي. وبهذا نجد أن مجال الحلي هو مجال متعدد الخامات وتمثل أي خامة إما عنصر أساسي أو مساعد في إنتاج الحلي ومصدر إلهام وفرصة لتقديم الجديد. وعلى الرغم من هذا التنوع تعد المعادن الخامة الأساسية في صناعة الحلي منذ أن أصبحت تلك الصناعة ذات معالم واضحة في الحضارات الأولى وحتى عصرنا الحالي وتظل صناعة الحلي والمجوهرات في الأساس فنًا وتكنولوجيا تستخدم المعادن، ويحتفظ المعدن بمكانته وقيمته كخامة لقطع الحلي أو إنتاجها وسط تلك المواد نظرا لما يتمتع به من خواص الصلابة واللدونة والقابلية للتشكيل بطرق متعددة والموصلية الكهربائية والبريق المعدني، تلك الخواص التي تميزه وتعطيه الأفضلية على غيره من الخامات. وحتى عند استخدام خامات بديلة للمعدن كأساس لقطعة الحلي نجد المعدن يستخدم كمكمل في تلك القطعة أو في الوصل والإغلاق، ويستخدم أيضا كطبقة تغطية تطلى بها قطع الحلي لإعطائها المظهر المعدني.
ويوجد ما يقرب من 20 معدن يستخدم في تنفيذ الحلي أو إنتاجها.
وتشمل المعادن المستخدمة في صناعة الحلي:

1-1- المعادن الغير حديدية:

وهي تلك المعادن التي يخلو الحديد من تكوينها الأساسي وتنقسم تلك الفئة بدورها إلى عدة فئات فرعية:

- **المعادن النبيلة أو الثمينة:** وهي تسمية تميزها عن المعادن الأساسية المرافقة لها في مجموعة المعادن غير الحديدية. وتشمل المعادن النبيلة الذهب والفضة وما يسمى بمجموعة البلاتين المكونة من ستة معادن (البلاتين والبلاديوم والروديوم والإيريديوم والأوزميوم والروثينيوم). وتعد تلك المعادن نبيلة لأنه بغض النظر عن الندرة فهي مستقرة للغاية كيميائيًا، وتقاوم الأكسدة والتآكل من الأحماض. وتستخدم تلك المعادن في صناعة المجوهرات والحلي الثمينة.
- **المعادن الأساسية:** تسمى بذلك الاسم لأنها وفيرة وبالتالي ليست ذات قيمة مادية عالية. وتشتمل هذه المجموعة على الألومنيوم والنحاس والرصاص والزئبق والنيكل والقصدير والزنك وتستخدم تلك المعادن في صنع حلي الموضة ذات القيمة الاقتصادية المنخفضة، ولإعلاء قيمتها تطلى بسبائك المعادن الثمينة.

وتندرج في المعادن الغير حديدية تصنيفات أخرى كالتالي:
مجموعة المعادن الخفيفة وتشتمل على المعادن ذات الكثافة المنخفضة: كالألمنيوم والمغنيسيوم والتيتانيوم والسبائك التي تكون فيها هذه المعادن أساسية إضافة إلى مجموعة المعادن المقاومة للصهر والمعادن ذات نقاط الانصهار العالية (أعلى من الحديد): التيتانيوم والنيوبيوم والتنتالوم والبلاتين والبلاديوم والروديوم وسبائكها.

2-1- المعادن الحديدية:
تتمثل هذه المجموعة في الحديد وسبائكه مثل الفولاذ وهو في الأساس سبيكة من الحديد والكربون بالإضافة إلى كميات صغيرة من معادن أخرى. وتستخدم المعادن الحديدية في الحلي في عمليات الإنتاج حيث تصنع منها قوالب التشكيل بالضغط على المعدن وقوالب السحب والدرفلة للأسلاك والقوالب التي تستخدم في تشكيل الحلي من الخامات الغير معدنية كاللدائن.
ويندر استخدام المعادن على اختلاف تصنيفها في صورته النقية الخالصة بل يستخدم مخلوطا بمعادن أخرى ومن هنا نشأت السبائك وهي مركبات مكونة من دمج اثنين أو أكثر من المعادن ويتم إجراء ذلك لتغيير الخصائص المرئية مثل اللون أو خصائص التشغيل مثل زيادة الصلابة أو الكثافة أو مقاومة التآكل أو لخفض نقطة انصهار المعدن الأساسي في السبيكة وفي السبائك تُخلط المعادن الأساسية مع بعضها البعض، وكذلك مع المعادن الثمينة والحديدية وتعد سبائك المعادن الثمينة "ثمينة" أيضا طالما يتم الحفاظ على بعض النسب القياسية المعترف بها والتي يهيمن عليها المعدن الثمين عادة.

2- التقنيات التقليدية لإنتاج الحلي:
للحصول على الحلي باستخدام المعدن تستخدم العديد من التقنيات التي تعالج خامات المعدن بصورها المختلفة وقد تتابع التطور في تلك التقنيات على مدار تاريخ إنتاج الحلي وعلى مدار التطور في تقنيات التصنيع بوجه عام وقد كان التطور يتم بالطريقة أو الأسلوب الذي تتم به التقنية دون التغير في طبيعة أسلوب التشكيل الذي تقوم به التقنية على سبيل المثال كما في النقش والحفر على المعدن الذي كان يتم يدويا ثم كيميائيا باستخدام أسلوب الحفر الكيميائي وأخيرا باستخدام التقنيات المتطورة للحفر باستخدام الليزر ولا تزال تلك التقنيات تستخدم جنبا إلى جنب في إنتاج الحلي المعدني حيث يظل للتقنيات اليدوية قيمتها في إنتاج قطع الحلي المتفردة وحيث لا تزال بعض التقنيات هي الأنسب اقتصاديا لمستويات الإنتاج صغيرة ومنخفضة الحجم. وفي ذلك الإطار من التقنيات اليدوية والمتطورة ترسخت تقنيات إنتاج الحلي فيما يلي:

2-1- تقنيات التشغيل المباشر على المعدن:
وتقوم تلك التقنيات على التعامل مباشرة مع الخامات المعدنية اللدنة وتشكيلها بالوسائل اليدوية أو البديل الآلي لها. ومن تلك التقنيات تقنيات تشكيل الخامات المعدنية سابقة التجهيز من شرائح بسماكتها المختلفة ومواسير وأسلاك بمقاطعها المتنوعة وما يتم عليها من عمليات إزالة بالنقش والنشر والقص والتثقيب والبرد، إضافة لعمليات الضغط والثني والحني.

2-2- تقنيات القولبة:
تقوم تلك التقنيات على تشكيل المعادن بصورة غير مباشرة من خلال نموذج معد مسبقا يكون هو الوسيط أو القالب الذي يتم من خلال عمليات ثانوية عليه الوصول للمنتج المعدني النهائي. ومن تلك التقنيات تقنية السباكة وهي تعد من أهم تقنيات إنتاج الحلي المعدني في مستوى الإنتاج الكمي كما يمكن في أي مستوى إنتاجي الحصول بها على حلي معدنية بدقة عالية يصعب تشكيل المعدن بها بالوسائل اليدوية والآلية أو قد يستغرق وقت وإمكانيات عالية للوصول إليها مع إمكانية الحصول على هذه الدقة على خامة أخرى ومن ثم تحويلها إلى معدن.
وتتم السباكة بأكثر من طريقة وأكثرها استخداما في مجال الحلي السباكة بالشمع المفقود حيث يكون وسيط الإنتاج نموذج من الشمع وتمثل تلك النماذج قوالب مؤقتة يتم التخلص منها في أحد خطوات العملية ليحل محلها المعدن المنصهر في القالب الجبسي، كما يمكن استخدام السباكة بالرمل أو السباكة في عظم السمك ويكون الوسيط في تلك الطرق نموذج مصنوع من مادة صلبة نسبيا كالخشب يمكن الضغط عليها لتحدث أثر النموذج في الرمل أو عظم السمك وهذه النماذج هي قوالب دائمة يمكن استخدامها لأكثر من مرة.
أيضا من التقنيات التي تقوم على استخدام القوالب كوسيط للإنتاج التشكيل بالترسيب الكهربي حيث يستخدم نموذج أو قالب من مواد معدنية كالنحاس والصلب غير قابل للصدأ والألومنيوم والسبائك منخفضة الانصهار أو غير معدنية مثل البلاستيك والشمع والجبس وفي حالة البلاستيك والشمع فيجب تغطية هذه القوالب بطبقة موصلة للكهرباء وبعد ذلك يتم الترسيب عليها كهربيا أما في حالة القوالب المعدنية فقد نحتاج تغطية خاصة تمنع التصاق القالب بالفلز المترسب لتساعد في سهولة فصل المنتج من القالب بعد ذلك.
وهناك نوعان من القوالب المستخدمة في التشكيل بالترسيب الكهربي مؤقتة من الشمع أو سبائك منخفضة درجة الانصهار وهي تصهر بعد إنهاء الترسيب عليها لإزالتها وهناك أيضا قوالب مؤقتة من فلزات الألومنيوم والزنك وهذه يمكن أزالتها كيميائيا. والنوع الآخر مستديمة مصنعة من صلب غير قابل للصدأ أو صلب مطلي بالكروم وكذلك سبائك النيكل والألومنيوم.

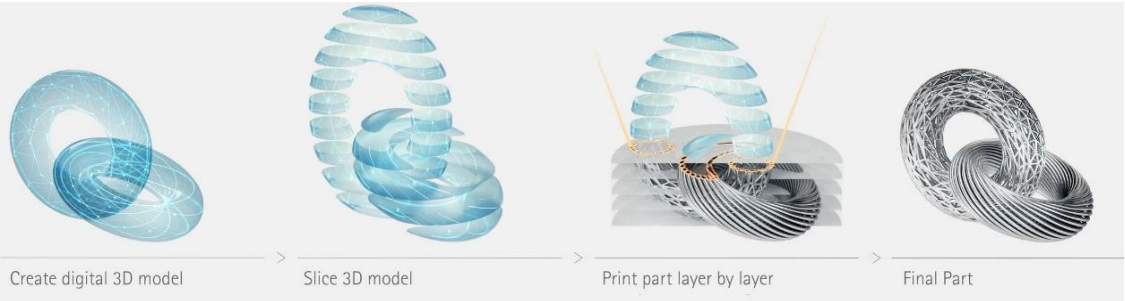
2-3- تقنيات النمذجة وصناعة القوالب:
تعد هذه التقنيات بذات أهمية تقنيات التشكيل المباشرة على المعدن وتتوقف جودة وشكل المنتجات المصنعة بواسطة تلك القوالب على جودة القالب ودقة صنعه لذا فهي تعد فرع هام في تقنيات إنتاج الحلي. والقوالب إما أن تكون قوالب دائمة تستخدم لأكثر من مرة في إنتاج الحلي من المعدن أو من خامات أخرى كاللدائن أو عجائن المواد المختلفة أو قوالب مؤقتة يتم التخلص منها بعد الحصول على قطعة الحلي من المعدن، وقد تستخدم القوالب المؤقتة كوسيط ليس للحصول على منتج نهائي ولكن كوسيلة لصنع القوالب الدائمة وذلك كما في استخدام نموذج شمعي وسباكته للحصول على نموذج معدني ينتج منه قالب دائم من الكاوتش يستخدم في استنساخ المزيد من القوالب الشمعية المؤقتة للنموذج الأصلي.

2-4- تقنيات الجمع:
هذه التقنيات هي تقنيات أساسية لتكوين بعض قطع الحلي معقدة التكوين من خلال تجميع الأجزاء السابق إنتاجها بالتشكيل المباشر على المعدن أو بالقولبة ويتم ذلك من خلال تقنيات اللحام أو طرق الوصل الثابت أو المتحرك المختلفة.

2-5- التشطيب ومعالجة السطح:
هي العمليات التي تتم على مشغولات الحلي في مراحل إنتاجها النهائية إما للتخلص من أثر العمليات الإنتاجية السابقة أو لإضفاء مظاهر شكلية وملمسيه متنوعة على أسطح المشغولات.

3- التصنيع بالإضافة:
يشمل مجموعة من التقنيات التي تقوم على الإنتاج من خلال تراكم طبقات المادة الخام مما يجعلها تقابل تقنيات الإنتاج التي تقوم على الإزالة من المواد الخام لتكوين المنتج المراد. وآلية عمل تلك التقنية هي تصميم نموذج ثلاثي الأبعاد باستخدام برامج التصميم بالحاسب ثم حفظ النموذج بصيغة STL أو أي صيغة يمكن التعامل معها في برامج التصنيع الخاصة بتقنية التصنيع بالإضافة حيث تقوم هذه البرامج بتهيئة النموذج للطباعة من خلال عدد من الإعدادات وبعد هذه التهيئة يتم تقسيمه إلى شرائح حيث تعمل تقنيات التصنيع بالإضافة من خلال بناء طبقات أفقية ثنائية الأبعاد وبتراكمها رأسيا الطبقة فوق الأخرى يتكون النموذج المادي. وبعد ذلك يتم حفظ الـ G-Code الخاص بطباعة النموذج ومن ثم توصيله بالطابعة واتمام طباعته ثم أداء عمليات المعالجة اللاحقة إذا تطلب الأمر ذلك ويوضح شكل (1) مراحل التصنيع بالإضافة.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License



شكل (1) مراحل التصنيع بالإضافة

وتنقسم تقنيات التصنيع بالإضافة إلى سبع مجموعات أساسية تقوم كل واحدة منهم على البناء بالإضافة بأسلوب يختلف بشكل المادة الخام المستخدمة فهي إما أن تكون في حالة صلبة على هيئة أسلاك أو مساحيق أو شرائح أو في حالة سائلة إضافة إلى طبيعة تلك المادة من خامات بلاستيكية ومعدنية وورقية وبوليمرات كما يكون الاختلاف أيضا في الوسيلة المستخدمة لربط الخام إما بالحرارة أو الليزر أو بالتعريض للأشعة الضوئية.

وهذه المجموعات هي:

3-1- البلمرة ضوئية Vat Photo polymerization:

فيها يتم معالجة وعاء يحوي البوليمر الضوئي السائل من خلال التعرض الانتقائي للضوء (عن طريق الليزر أو كشاف ضوئي) والذي يبدأ بعد ذلك في البلمرة ويحول المناطق المكشوفة إلى جزء صلب، وتستخدم في تلك التقنية الراتنجات القابلة للعلاج بالإشعاع أو البوليمرات الضوئية) فوتو بوليمرات) السائلة كمواد أولية.

3-2- صهر المسحوق Powder Bed Fusion:

في هذه التقنية يتم دمج المواد المسحوقة بشكل انتقائي عن طريق صهرها معًا باستخدام مصدر حرارة مثل الليزر أو شعاع الإلكترون، ويستخدم في هذه التقنية مساحيق المعادن والبلاستيك والخزفيات والرمل.

3-3- نفث المادة الرابطة Binder Jetting:

وفي هذه التقنية يتم تطبيق عوامل الترابط السائلة بشكل انتقائي على طبقات رقيقة من مادة المسحوق لبناء أجزاء طبقة تلو الطبقة وتشمل المواد الرابطة مواد عضوية وغير عضوية. وتستخدم أيضاً في هذه التقنية مساحيق المعادن والبلاستيك والخزفيات والرمل إضافة إلى الزجاج، وعادة ما يتم حرق الأجزاء المعدنية أو مسحوق السيراميك في الفرن بعد طباعتها لزيادة متانتها.

3-4- نفث المواد Material Jetting:

يتم فيها ترسيب قطرات المادة السائلة طبقة تلو طبقة لصنع الأجزاء، وتشمل الأساليب الشائعة لتلك التقنية ترسيب راتنج قابل للتصلب بالضوء ومعالجته باستخدام ضوء الأشعة فوق البنفسجية، بالإضافة إلى ترسيب المواد المنصهرة حرارياً التي تتصلب بعد ذلك في درجات الحرارة المحيطة. ويستخدم في هذه التقنية فوتو بوليمرات وبوليمرات وشمع.

3-5- التصفيح Sheet Lamination:

تتم هذه التقنية بتراكم رقائق المواد ودمجها معًا لتشكيل الأجسام. ويمكن أن يكون الأسلوب المتبع في الدمج هو استخدام المواد اللاصقة كما في دمج رقائق الورق أو البلاستيك أو اللحام بالموجات فوق الصوتية في حال استخدام رقائق المعدن.

3-6- بثق المواد Material Extrusion:

في هذه التقنية تُبثق المادة الخام والتي تكون على هيئة بكرة من السلك من خلال فوهة ساخنة وبتراكم الطبقات تتكون الأجسام. وتشمل الأساليب الشائعة بثق الخامات البلاستيكية المتلدنة بالحرارة والتي أصبحت تشمل مدى واسع من الخامات متنوعة الخصائص، وحيث تعد هذه التقنية أكثر تقنيات الطباعة الثلاثية الأبعاد شيوعا يتوالى التطوير في خاماتها ليشمل خامات معدنية.

3-7- ترسيب الطاقة الموجهة (DED) Directed Energy Deposition:

يتم تغذية المسحوق أو السلك في حوض مصهور يتم إنشاؤه على سطح جسم سابق التصنيع حيث يلتصق بذلك الجسم أو الطبقات الأساسية باستخدام مصدر طاقة مثل الليزر أو شعاع الإلكترون، وهذه التقنية تعد شكل من أشكال اللحام الآلي المتراكم.

وتمثل تلك المجموعات العمليات الأساسية للتصنيع بالإضافة ويندرج منها العديد من التقنيات بمسميات متنوعة قد تختلف وفقا للشركات المصنعة لآليات الطباعة. ولا يتوقف التطوير المستمر لتلك التقنيات ولا الخامات المستخدمة فيها ولذا قد نجد أن تقنيات التصنيع بالإضافة المستحدثة قد لا تقع بشكل كامل تحت أي من التصنيفات السابقة ولكن لا يزال هذا التصنيف هو الأكثر شمولا وتوضيحا للاختلافات الأساسية لتقنيات التصنيع بالإضافة وتنوعها في الأساليب وطبيعة الخامات المستخدمة في الطباعة.

4- تطبيقات التصنيع بالإضافة في إنتاج الحلي المعدني:

مما سبق عرضه من تقنيات تشكيل الحلي المعدني فإنه للحصول على قطعة من الحلي مصنوعة من المعدن يتم هذا بأكثر من أسلوب إما بالطريقة المباشرة والتشغيل على المعدن مباشرة بعمليات التشغيل المختلفة وإما بالطريقة الغير مباشرة عن طريق السباكة والترسيب الكهربي تلك الطريقة التي تلزم وجود نماذج معدة مسبقا بخامات متنوعة إضافة إلى التجميع والمعالجات السطحية المتممة لقطعة الحلي. وبمقابلة تلك الطرق بتقنيات التصنيع بالإضافة وتطبيقاتها فإنه يمكن الحصول على الحلي المعدني بأكثر من طريقة:

4-1- التصنيع المباشر للحلي من المعدن:

تعد تقنيتي صهر المسحوق ونفث المادة الرابطة التقنيات الرئيسية التي يمكن الحصول بها على منتج نهائي من المعدن دون أي عملية وسيطة من بين تقنيات التصنيع بالإضافة وتختلف الخامات المعدنية التي تنتجها كل تقنية. ومن أهم المواد التي تستخدم في الإنتاج المباشر للحلي بالمعدن بتقنية صهر المسحوق الإستانلس ستيل stainless-steel 316L والذي يعرف أيضا بالإستانلس ستيل عالي الدقة وغالبًا ما يستخدم في المطبوعات الصغيرة حيث يمكنه التعامل مع التفاصيل العالية جيدًا ويمكن الحصول من مطبوعاته على أسطح مصقولة أو غير مصقولة. ويظهر شكل (2) خاتم مصنع بالتلبيد الانتقائي بالليزر أحد تقنيات عملية صهر المسحوق من خامة الاستانلس ستيل عالي الدقة.

شكل (2) خاتم من الاستانلس ستيل عالي الدقة للمصمم Roberto Trentin

أيضا من خامات تقنية صهر المسحوق التيتانيوم Ti6Al4V Gr والذي يعد مادة مثالية لصائغي المجوهرات الذين يتطلعون إلى إنشاء تعقيدات وتفاصيل لم يكن من الممكن تحقيقها سابقًا في المعادن الثمينة والأساسية مع الوزن الخفيف وخصائص القوة العالية حيث أتاحت للصائغين تنفيذ حلي بسماكات رقيقة جدًا وتفاصيل لا يمكن تصورها عبر طرق بديلة، وعند ثقله يحتفظ التيتانيوم بمظهره لفترة

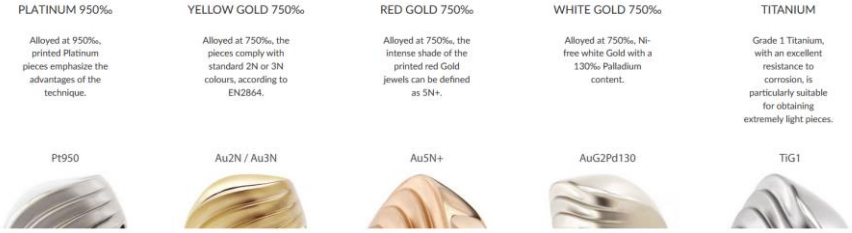
أطول بكثير مقارنة بالفضة والذهب بسبب صلابته. ويظهر في شكل (3) مجموعة من الخواتم المصنعة بالإضافة باستخدام خامة التيتانيوم.

شكل (3) مجموعة من الخواتم المصنعة بالإضافة من التيتانيوم

ومن المعادن المستخدمة في تقنية نفث المادة الرابطة سبيكة الصلب مع البرونز 420SS/BR والتي تتكون من 60٪ من الفولاذ المقاوم للصدأ و40٪ من البرونز وتتميز بالقوة والمظهر السطحي الجيد وإمكانية طلاءها بمعادن متعددة كالذهب والنيكل. ويوضح شكل (4) قطع من الحلي مصنعة من الصلب مع البرونز المطلية بطلاءات مختلفة.

شكل (4) قطع من الحلي مصنعة من الصلب مع البرونز المطلية بطلاءات مختلفة

وإلى جانب استخدام تلك الخامات المعدنية الحديثة في إنتاج الحلي تستخدم أيضا الخامات المعدنية التقليدية في هذا المجال حيث طورت مساحيق للطباعة من المعادن الغير حديدية الثمينة والأساسية والسبائك المتنوعة منها. ومن تلك الخامات مساحيق الذهب بعياراته المختلفة وسبائكه من ذهب أبيض وذهب وردي والبلاتين والفضة والنحاس وسبائكه من برونز ونحاس أصفر. ويوضح شكل (5) خامات المعادن الثمينة التي توفرها شركة Progold إحدى الشركات التي توفر خدمة الطباعة ثلاثية الأبعاد المباشرة للحلي من المعادن الثمينة.

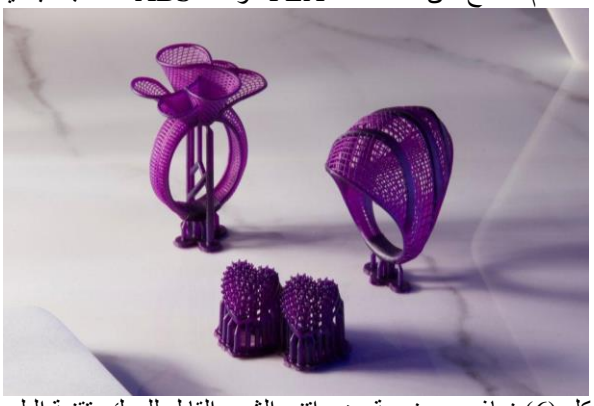


شكل (5) خامات المعادن الثمينة التي توفرها شركة Progold لإنتاج الحلي مباشرة بالطباعة ثلاثية الأبعاد

4-2-التصنيع الغير مباشر بصناعة قوالب وأدوات الإنتاج للحلي:

إلى جانب التصنيع المباشر للحلي المعدني باستخدام تقنيات التصنيع بالإضافة يمكن إنتاج الحلي المعدني بعدد من الطرق غير مباشرة ومن أهم تلك الطرق الإنتاج من خلال السباكة بالشمع المفقود يمكن القيام بهذا بأكثر من أسلوب كما يلي:

استخدام تقنيات البلمرة الضوئية ونفث المادة الرابطة للحصول على نماذج من راتنجات قابلة للسبك تستخدم في عملية السباكة او باستخدام نماذج من خامة الـ PLA أو الـ ABS المنتجة بتقنية الترسيب المنصهر كبديل للنماذج الشمعية التقليدية وقد تصلح النماذج الأخيرة في الأشكال ذات التفاصيل الأقل دقة وفي الحلي المقلدة المسبوكة من المعادن الأساسية. ويوضح شكل(6) نماذج مصنوعة من راتنج الشمع القابل للسبك بتقنية البلمرة الضوئية.



شكل (6) نماذج مصنوعة من راتنج الشمع القابل للسبك بتقنية البلمرة الضوئية

الحصول على النماذج الشمعية من خلال تصنيع قوالب دائمة يتم صب الشمع بها باستخدام تقنيات الإضافة المختلفة كتقنيتي الترسيب المنصهر أو البلمرة الضوئية. ويوضح شكل (7) قالب دائم للنماذج الشمعية مصنع باستخدام البلمرة الضوئية.

شكل(7) قالب دائم للنماذج الشمعية مصنع باستخدام البلمرة الضوئية

استخدام نموذج صلب مصنوع أحد تقنيات التصنيع بالإضافة كنموذج أساسي يتم عمل قالب دائم من السليكون عليه يستخدم لاستنساخ المزيد من النماذج الشمعية المطابقة للنموذج الأصلي.

ويظهر شكل (8) قالب من السيليكون تم تصنيعه على نموذج صلب أنتج بالتصنيع بالإضافة.

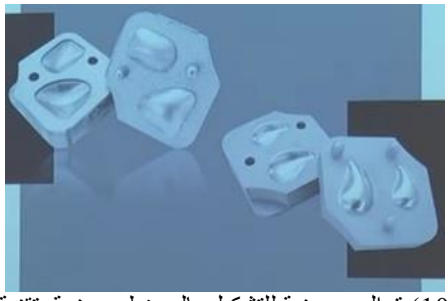
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

شكل (8) قالب من السيليكون تم تصنيعه على نموذج صلب أنتج بالتصنيع بالإضافة

ويمكن أن تستخدم الأشكال السابقة من النماذج في إنتاج الحلي بالترسيب الكهربي حيث توفر تقنيات الإضافة الوسائل والخامات المختلفة الصالحة لإنتاج القوالب المختلفة المستخدمة في عملية الترسيب الكهربي السابق الإشارة إليها في تقنيات إنتاج الحلي. وقد طورت مواد للطباعة ثلاثية الأبعاد بخصائص موصلة للكهرباء مما يسهل الترسيب عليها دون القيام بعملية معالجة سابقة تجعلها موصلة للكهرباء. ويوضح شكل (9) خاتم مصنوع من الترسيب الكهربي على نموذج مصنع براتنج موصل للكهرباء.

شكل (9) خاتم مصنوع من الترسيب الكهربي على نموذج مصنع براتنج موصل للكهرباء

وأيضاً باستخدام تقنيات الإضافة تصنع قوالب معدنية تستخدم في التشكيل بالضغط على المعدن، وتصنع هذه القوالب إما بتقنيتي صهر المسحوق أو التصفيح من الخامات الصلبة كالإستانلس ستيل والتيتانيوم وقد يكون من الممكن في المستقبل الاستفادة من تقنية ال FDMفي صناعة تلك القوالب باستخدام الخامات المطورة لإنتاج المعدن بتلك التقنية. ويظهر شكل (10) قوالب معدنية للتشكيل بالضغط مصنعة بتقنية صهر المسحوق.



شكل (10) قوالب معدنية للتشكيل بالضغط مصنعة بتقنية صهر المسحوق

4-3- تصنيع الحلي ذات المظهر المعدني:

أدى التطور في خامات التصنيع بالإضافة إلى ظهور شكل جديد من أشكال الخامات يقوم على خلط المواد البلاستيكية اللدنة بنسب مختلفة من المعادن مما يعطي لتلك المواد بعض الخصائص التي يتصف بها المعدن من أهمها المظهر المعدني والكثافة والصلابة ومن هذه الخامات خامة الألوميد Alumide المصنعة من مزيج من مسحوق النايلون (البولي أميد) وجزيئات الألومنيوم الدقيقة والتي تستخدم في تقنية SLS التلبيد الانتقائي بالليزر إحدى تقنيات صهر المسحوق وتتميز تلك الخامة بتعدد ألوانها وإمكانية صقلها مما يعزز بريقها المعدني ويقرب ملمسها السطحي من المعدن اللامع. ويوضح شكل (11) مجموعة من الحلي المصنوعة بخامة الألوميد.

شكل (11) مجموعة من الحلي المصنوعة بخامة الألوميد

من الخامات ذات التركيب المعدني أيضا خامات الـ PLA الممزوجة بذرات المعادن من نحاس وبرونز ونحاس أصفر بنسب مختلفة تتراوح من 40% إلى 80% وتعطي هذه الخامات ميزة الكثافة والمظهر المعدني مع ملاحظة أنه كلما ازدادت نسبة المعدن في المركب كلما أصبح أكثر هشاشة لذا لا تصلح هذه الخامة إلا لإنتاج المنتجات الجمالية غير الوظيفية وبتشكيلات بسيطة تتلاءم مع محددات الطباعة بتقنية الـ FDM حيث لا تتمتع تلك التقنية بالقدرة على إعطاء التفاصيل الدقيقة. ويوضح شكل (12) قطع من الحلي المصنوعة بتراكيب مختلفة من الـ PLA المخلوط بالمعدن.

شكل (12) قطع من الحلي المصنوعة بتراكيب مختلفة من الـ PLA المخلوط بالمعدن

وإضافة إلى التركيبات المعدنية السابقة تنتج مواد الـPLA بمظهر لوني معدني يجعلها تشبه في مظهرها المعدن دون أن يدخل في تركيبها أي خامة معدنية. ويظهر شكل (13) مُدليات مصنوعة من خامة Silk PLA ذات المظهر المعدني.

شكل (13) مدليات مصنوعة من خامة Silk PLA ذات المظهر المعدني

ومن خلال الطلاء الكهربي والترسيب الكهربي يمكن الحصول على حلي بمظاهر معدنية متنوعة بالترسيب على الخامات المختلفة لتقنيات التصنيع بالإضافة المعدنية والغير معدنية.

5- نماذج لشركات الحلي العالمية القائمة على التصنيع بالإضافة:

5-1- شركة Nuovigioielli:

تأسست Nuovi Gioielli في عام 1985 وهي تجمع بين التقاليد والابتكار والبحث والتطوير. حيث تعتمد طريقة عملهم على البحث المستمر عن أفكار جديدة وتحديث تقنياتهم وتطبيقاتها المحتملة. وينظروا للابتكار التكنولوجي كقيمة أساسية، ونقطة البداية لتطوير كل فكرة جديدة والهدف الذي يجب تحقيقه في كل تحد جديد. وقد ولدت تجربة Nuovi Gioielli مع تقنية LMF-أحد تقنيات عملية صهر المسحوق-من الرغبة في المقاربة بين التقنيات الجديدة وتقنيات الإنتاج، والجمع بينها وبين براعة المنتج الذي ميزهم دائمًا . ليصبح التصميم دائمًا جديدًا، مع تجنب العديد من القيود الإبداعية، الغالبة بسبب تقنيات المعالجة التقليدية وتعدد خطوات الإنتاج، باستخدام هذه التقنيات التقليدية. وقد حصلت الشركة على براءة اختراع لابتكار نسيج معدني يسمى Metal Pixel في رغبة منها للاقتراب من الشركات في صناعة الأزياء وبهدف أن يكون المعدن جزء لا يتجزأ من الأزياء وليس مكمل لها. وهذا الاختراع قادرة على إعطاء إحساس ملموس بالنسيج على الرغم من كونه معدنًا. مصنوعة من الذهب والفضة والبرونز والعديد من المواد الأخرى، ويمكن أن يصل إلى سمك رقيق مثل الحرير مع الحفاظ على المقاومة النموذجية للمعدن. ويظهر شكل (14) نماذج للبدائل المختلفة التي ابتكرتها Nuovi Gioielli باستخدام النسيج المعدني.

شكل (14) نماذج للبدائل المختلفة التي ابتكرتها Nuovi Gioielli باستخدام النسيج المعدني.Metal Pixel

وتنتج Nuovi Gioielli المجوهرات باستخدام المعادن الثمينة وقد اعتمدت على التصنيع بالإضافة بالإضافة في العديد من عمليات الإنتاج حيث تستخدمها في عمل نموذج رئيسي مباشرة من المعدن لاختصار مراحل الإنتاج الطويلة، وتنتج قوالب الإنتاج من الشمع للسباكة والقوالب المعدنية للتشكيل بالضغط كما تنتج أدوات ماكينات القطع بالليزر إنتاج ميكانزيم الحركة للمجوهرات المنتجة كميا. كما تنتج المجوهرات المتفردة من الذهب والبلاتين مباشرة. ويوضح شكل (15) المجوهرات المختلفة التي تنتجها Nuovi Gioielli.

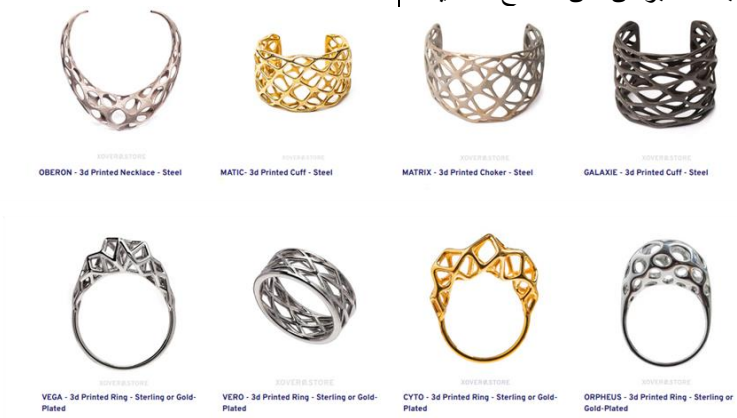
شكل (15) المجوهرات المختلفة التي تنتجها Nuovi Gioielli

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

2-5- شركة X / 0 (X Over Zero):

هي استوديو للمصممين Duane McLemore و Katherine Voorhies. والذي قام على أساس أنه يمكن استخدام الحساب والتصنيع المعاصر لدفع حدود الممكن، وعلى تسخير الحسابات الرقمية المتقدمة والطباعة ثلاثية الأبعاد الاحترافية لصياغة الأشياء التي تختبر حدود التكنولوجيا الحالية وتحتل الصدارة في الجمالية الجديدة التي لم تكن ممكنة لولا ذلك. وكان مبدأهم التوجيهي هو: "إذا كان بالإمكان صنعه بطرق الإنتاج التقليدية، فإننا لا نصممه للطباعة ثلاثية الأبعاد. هذا هو المبدأ الذي يميزنا عن المصممين والعلامات التجارية الأخرى. بينما قد تستفيد العلامات التجارية الأخرى من ضجة "الطباعة ثلاثية الأبعاد"، فإننا نقدم جمالية جديدة وديناميكية وثرية فكريا. حيث تهدف تصميماتنا إلى الإلهام". وقد أطلقوا أول منتجاتهم في سبتمبر عام 2016. وتصنع منتجاتهم من مواد النايلون والصلب المطبوع مباشرة بالإضافة مع توفر معالجات لونية مختلفة له (برونز-رمادي غامق-ذهب-استانلس) والفضة والنحاس الأصفر المطلي بالذهب المسبوكان من نماذج شمعية مصنعة بالإضافة. ويوضح شكل (14) المعادن التي يوفرها استوديو X over Zero وألوانها المختلفة. كما يوضح شكل (15) مجموعة متنوعة من الحلي الذي ينتجه الأستوديو.

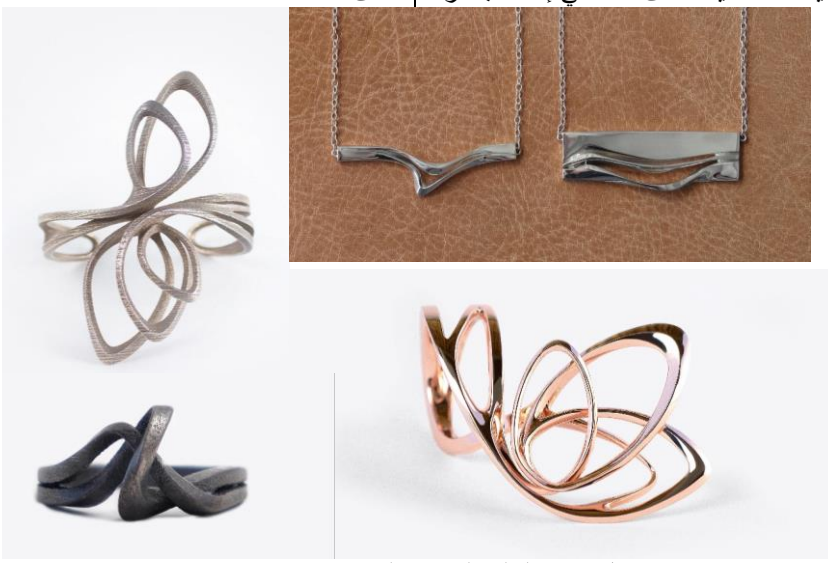
شكل (16) المعادن التي يوفرها استوديو X over Zero وألوانها المختلفة



شكل (17) مجموعة متنوعة من الحلي الذي ينتجه أستوديو X over 0.

3-5- شركة LACE:

تأسست LACE في لوس أنجلوس عام 2014 في رغبة لصناعة المجوهرات الثمينة المطبوعة ثلاثية الأبعاد، وتعمل من خلال دمج التكنولوجيا في كل جانب من جوانب علامتهم التجارية مما جعلهم قادرون على عمل تصميمات معقدة للغاية ودقيقة وبأسعار معقولة في عملية تحويل لصناعة المجوهرات مع الحفاظ على أعلى مستوى في الجودة والأخلاق. والقيمة الأساسية لـ LACE هي إعادة ابتكار التصميم وترجمة حساسية التصميم المعماري لديهم إلى مجوهرات راقية باستخدام أحدث تقنيات النمذجة الرقمية والطباعة ثلاثية الأبعاد. وتنتج LACE الحلي المعدني مباشرة من الصلب (رمادي/برونزي) أو من خلال السباكة بالشمع المفقود لنماذج مصنعة بالإضافة. إلى جانب إنتاج الحلي بالإضافة بخامتي النايلون والكربون. ويوضح شكل (18) الحلي المعدنية المتنوعة إنتاج LACE.



شكل (18) الحلي المعدنية المتنوعة إنتاج LACE

4-5- شركة OLA Jewelry:

مجوهرات OLA هي علامة بلجيكية أنشئت عام 2013 تعيد تعريف حدود تصميم الحلي التقليدي. من خلال الجمع بين تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد والحرفية الحديثة، تُنشئ OLA قطعًا بسيطة يمكن الوصول إليها اهتماما بالتفرد ومن وحي من التكنولوجيا بدأت OLA في إعادة التفكير في القطع التي تصاحب الأعمال اليومية

فتظهر تصميماتها بشكل بسيط خالي من التعقيد على عكس التصميمات الشائعة باستخدام التصنيع بالإضافة المتميزة بالتعقيد في الشكل.

وتصف OLA منتجاتها بأنها صناعة آلية .تكتمل بالتشطيب اليدوي. حيث تبدأ كل قطعة مجوهرات OLA بتصميم إبداعي على الورق ثم تصبح هذه الفكرة ملف كمبيوتر ينطلق في رحلة عبر طابعة ثلاثية الأبعاد يتم فيها استخدام أحدث تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد لإنتاج الحلي وتترك عملية الطباعة نسيجًا دقيقًا على السطح مما يجعل المظهر فريدًا تمامًا يتم صقله وتشطيبه يدويا لإضفاء الراحة على القطعة. وتُطبع حلي OLA من النايلون (البولي أميد) ويعاج بألوان متعددة ومن الصلب الذي يتم طلاءه بالفضة أو الذهب. ويوضح شكل(19) مجوعة من الحلي المعدني التي تنتجها OLA مباشرة من خامة الصلب.

شكل (19) مجوعة من الحلي المعدني التي تنتجها OLA

النتائج: Results

1- وفرت تقنيات التصنيع بالإضافة مدى واسع من الخامات ذات السمات والخصائص المختلفة والإمكانيات التي أتاحت لها أن تساهم في إنتاج الحلي المعدني في كافة مراحل إنتاجه المباشرة أو الغير مباشرة.

2- بتحليل التصميمات المنتجة باستخدام التصنيع بالإضافة نجد أن تقنياته لم تحل محل التقليدي من التقنيات فقط بل ساعدت على تطويرها كما نرى في الدمج بين أكثر من مرحلة من مراحل إنتاج الحلي حيث أصبح بالإمكان إنتاج الحلي المكون من أكثر من جزء مترابط بعملية إنتاجية واحدة دون الحاجة لعملية تجميع لاحقة كما أصبح بالإمكان تحقيق مظاهر سطحية على قطع الحلي من خلال تطبيق الملامس المختلفة على التصميم على الحاسب دون الحاجة لإضافتها بعد الطباعة بعمليات أخرى.

3- بملاحظة حجم الإنتاج المتوفر من الحلي المصنعة من المعدن مباشرة بتقنيات التصنيع بالإضافة نجد أن النسبة الأكبر لتلك الحلي تصنع من الاستانلس ستيل وبهذا نجد أن المعادن التقليدية الغير حديدية لم تعد هي الممثل الوحيد للحلي المعدنية بل أصبحت تستخدم الخامات الحديدية بشكل واسع مع معالجتها بمعالجات لونية للمعادن الأخرى.

4- لم يستغنى إنتاج الحلي بالإضافة تماما عن استخدام التقنيات التقليدية حيث يظل لتلك التقنيات أهميتها في إضفاء المزيد من القيمة لقطعة الحلي والحاجة لها لإخراج المنتج النهائي بالشكل الجمالي الملائم.

5- تتيح إمكانيات تصميم المنتجات باستخدام الحاسب وطباعتها وفقا لحجم الإنتاج المطلوب أو حسب الرغبة تحقيق الرغبات الفردية للمرتدين في الشكل والخامة والمعالجة النهائية لقطعة الحلي.

6- زاد التصنيع بالإضافة تصميم الحلي المعدني ثراء وتنوعا حيث أتاحت تقنياته تنفيذ ما لم يكن متاح بالأساليب التقليدية مما أعطى الحرية الأكبر للمصممين للإبداع والابتكار وجني ثمار ابداعهم بشكل مادي.

التوصيات: Recommendation

1- بالنظر إلى ما وصل إليه مصنعي وصائغي الحلي عالميا مع استخدام تقنيات التصنيع بالإضافة في تطوير إنتاج الحلي المعدني وابتكار الجديد والمستوى الذي تقف عنده هذه الصناعة بمصر فإنه يتحتم علينا البدء بما يتاح من تقنيات في مصر ودراستها جيدا والتعامل معها والاستفادة بها في تلك الصناعة مع الإلمام والسعي للحصول على الجديد في هذه التقنية الغير متاح محلياً.

2- يجب أن تتوسع الدراسة والتدريب التقني في تكنولوجيا الحلي ليشمل تقنيات التصنيع بالإضافة وأن تمارس التجارب التصميمية في ضوء تلك التقنيات لتخريج مصممين مواكبين للمتغيرات والمؤثرات الحديثة في مجال الحلي.

المراجع: References

1- وسام أنسى إبراهيم محمد (2001) العلاقة المتبادلة بين التقنيات الآلية وتصميم الحلى- رسالة ماجستير- جامعة حلوان- كلية الفنون التطبيقية.

2- محمد العوامي محمد أحمد (1998) التشكيل بالترسيب للمنتجات المعدنية- رسالة ماجستير- جامعة حلوان- كلية الفنون التطبيقية.

3- About - ola: 3D printed jewelry. OLA. (2020, September 4). Retrieved November 9, 2022,

4- from https://www.olajewelry.com/about/

5- About. LACE by JennyWu. (n.d.). Retrieved November 9, 2022, from https://jennywulace.com/pages/about

6- About. X Over 0. (n.d.). Retrieved November 9, 2022, from https://xover0.com/pages/about

7- Additive Manufacturing and 3D printing in manufacturing. i. (2022, March 12). Retrieved November 8, 2022, from https://www.i-scoop.eu/industry-4-0/additive-manufacturing-3d-printing/

8- Admin. (2022, March 17). Design and technology. Nuovi Gioielli. Retrieved November 9, 2022, from https://www.nuovigioielli.com/en/105-2/

9- Airwolf 3D. (2019, January 27). 3D printing with stainless steel PLA: 25 Days of materials. Airwolf 3D. Retrieved November 9, 2022, from https://airwolf3d.com/2015/12/02/3d-printing-with-stainless-steel-pla-tips-and-tricks/

10- Amfg. (2019, July 1). 3D printing precious metals - a new approach? AMFG. Retrieved November 9, 2022, from https://amfg.ai/2018/08/16/3d-printing-precious-metals-a-new-approach/

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Technology.
22- Morsiya, C. V., & Pandya, S. N. (2022). Recent Advancements in Hybrid Investment Casting Process—A Review. Recent Advances in Manufacturing Processes and Systems, 817-831.
23- Mukhtarkhanov, M., Perveen, A., & Talamona, D. (2020). Application of stereolithography based 3D printing technology in investment casting. Micromachines, 11(10), 946.
24- New material for 3D printing: Binder jetting stainless steel. Sculpteo. (2017, May 10). Retrieved November 9, 2022, from https://www.sculpteo.com/blog/2017/05/10/a-new-material-available-3d-printing-with-binder-jetting-stainless-steel/
25- Sangeetha, N., Monish, P., & Brathikan, V. M. (2022, March). Review on various materials used in Additive Manufacturing. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 1228, No. 1, p. 012015). IOP Publishing.
26- Saunders, S. (2021, October 19). B9creations launches silicone material for 3D printing jewelry molds - 3dprint.com: The Voice of 3D printing / Additive Manufacturing. 3DPrint.com | The Voice of 3D Printing / Additive Manufacturing. Retrieved November 9, 2022, from https://3dprint.com/284158/b9creations-launches-silicone-material-for-3d-printing-jewelry-molds/
27- Undefined [Jewelry Technology Forum]. (2019, December 18). JTF 2019 - Damiano Carlesso - Applications of additive technologies in jewelry production [Video]. YouTube. Retrieved October 12, 2022, from https://www.youtube.com/watch?v=CXbS0SKzUKg
28- Untracht, O. (2011). Jewelry concepts & technology. Doubleday.
29- UV DLP 3D printing resin - conductive UV / DLP 3D printing resin manufacturer from Mumbai. IndiaMART.com. (n.d.). Retrieved November 2, 2022, from https://www.indiamart.com/tgj-creation/uv-dlp-3d-printing-resin.html
30- YouTube. (2021). YouTube. Retrieved November 1, 2022, from https://www.youtube.com/watch?v=3emiW3hBtFA.
31- Zelinski, P. (n.d.). Are the seven families still valid for describing 3D printing processes? (podcast). Additive Manufacturing. Retrieved November 9, 2022, from https://www.additivemanufacturing.media/articles/are-the-seven-families-still-valid-for-describing-3d-printing-processes-podcast
11- Badanova, N., Perveen, A., & Talamona, D. (2021). Concise review on Pattern making process in Rapid Investment Casting: Technology, Materials & Numerical modelling aspect. Advances in Materials and Processing Technologies, 1-13.
12- EvanAndKatelyn. (2018, January 11). 3D printed metal jewelry (+unboxing). YouTube. Retrieved November 9, 2022, from https://www.youtube.com/watch?v=RAJk7vWNas8
13- Farrando, A. (2019, April 4). 5 stunning 3D prints in alumide: 3D printing blog. i.materialise. Retrieved November 9, 2022, from https://i.materialise.com/blog/en/3d-prints-in-alumide/
14- Gaget, L. (2021, October 29). Alumide. Sculpteo. Retrieved November 9, 2022, from https://www.sculpteo.com/en/materials/sls-material/alumide-material/
15- I.materialise. (n.d.). High-detail stainless steel 3D printing. i.materialise. Retrieved November 9, 2022, from https://i.materialise.com/en/3d-printing-materials/high-detail-stainless-steel
16- Innovation and differentiation: Precious metal 3d printing in Jewellery. Metal Additive Manufacturing. (2022, June 30). Retrieved November 1, 2022, from https://www.metal-am.com/articles/innovation-and-differentiation-precious-metal-additive-manufacturing-3d-printing-in-the-jewellery-sector/
17- Jewellery industry. Amiga Engineering. (2020, November 17). Retrieved November 9, 2022, from https://amigaeng.com.au/industrial-manufacturing/jewellery-industry/
18- Korium, M. S., Roozbahani, H., Alizadeh, M., Perepelkina, S., & Handroos, H. (2021). Direct Metal Laser Sintering of Precious Metals for Jewelry Applications: Process Parameter Selection and Microstructure Analysis. IEEE Access, 9, 126530-126540.
19- Material guide. Craftcloud®. (n.d.). Retrieved November 9, 2022, from https://craftcloud3d.com/material-guide
20- Matsuzaki, R., Kanatani, T., & Todoroki, A. (2019). Multi-material additive manufacturing of polymers and metals using fused filament fabrication and electroforming. Additive Manufacturing, 29, 100812.
21- Meier, C., Díaz-Alemán, D., Pérez-Conesa, I., de la Torre-Cantero, J., & Saorín Pérez, J. L. (2019). Electroforming of 3D Digital Light Processing Printed Sculptures Used as a Low Cost Option for Microcasting. In ICAT 2019: International Conference on Arts and