ورقة بحثية مجلة مفتوحة الوصول

مقارنة بين طرق النمذجة السريعة (Rapid Prototyping) عن طريق إضافة وقطع المواد

المؤلف الدكتور تمام سلوم
(أستاذ مساعد في قسم الهندسة الصناعية، كلية الهندسة الميكانيكية، جامعة حلب
محاضر في جامعة المنارة ، البريد الإلكتروني: tammam.salloum@manara.edu.sy)

الملخص

النماذج الأولية السريعة Rapid Prototyping مصطلح شاع استخدامه في الآونة الأخيرة بين المصممين ويعبر هذا المصطلح عن تكنولوجيا مستحدثة لتحويل نماذج و أشكال المنتجات الصناعية و الهندسية التي يتم بناؤها وتمثيلها حاسوبياً بشكل نماذج افتراضية ثلاثية الأبعاد على الحاسب إلى منتجات استخدامية مادية مصنوعة من خامات معدنية أو بلاستيكية أو سيراميكية أو غيرها من المواد وفي هذه المقالة سوف نقوم بعرض مقارنة بين طرق النمذجة السريعة عن طريق إضافة المواد كطريقة الطباعة ثلاثية الأبعاد وعن طريق قطع المواد كطريقة Stratoconception أو طريقة التصنيع السريع للنموذج URP

كلمات مفتاحية_ النمذجة السريعة Rapid Prototyping، قطع المواد، إضافة المواد، الطابعات ثلاثية الأبعاد.

I. مقدمة:

النمذجة السريعة هي تكنولوجيا تستند مباشرة إلى التصميم بمساعدة الحاسب، والتي تسمح بإنتاج موديل صلب فيزيائي ثلاثي البعد انطلاقاً من موديل افتراضي ثلاثي البعد، وحسب الطريقة المستخدمة فإن القطع يمكن أن تصنع باستخدام مواد متعددة مثل الورق والمواد البلاستيكية والخشب والمعادن، ولكن هذه القطع تصنع دائماً من شرائح رقيقة.

إذا كانت النماذج الإفتراضية المستندة إلى الموديلات الرقمية ثلاثية البعد تسمح بتحقيق المحاكاة الرقمية، فإن النماذج الفيزيائية تسمح بالاستخدام الحقيقي، وتصبح في طور التطورات لتقنيات النمذجة السريعة أكثر فأكثر واصفة (مشابهة) للمنتج النهائي. يجب أن يسمح النموذج الوظيفي بالتحقق أثناء التجارب من غالبية الشروحات (المدلولات) الوظيفية والقيود المشروحة في دفتر الشروط لكي تكون قادرة على الوضع في الحالة الوظيفية. كما يجب أن يحترم الميكانزم المتطلبات الهندسية الوظيفية، ويجب أن يكون قادراً على تحمل القوى والطاقة ويجب أيضاً أن يضمن خاصية إحكام السد (منع التسرب)، على سبيل المثال، حيث أن القطع النموذجية المصنعة انطلاقا من البودرة أو السوائل، في هذه الأيام، لا تملك خواص ميكانيكية كافية، ولا حتى الدقة المطلوبة حتى توضع داخل ميكانزمات وظيفية.

لقد شرح الباحث Merz [1] عدة طرق من أجل إنتاج نموذج معدني وذلك باستخدام أنظمة البثق المعدنية المقادة بواسطة الروبوتات، كما درس الباحث Hur [2] شكل جديد من نظام النمذجة السريعة، والتي تستخدم كل من البثق والتصنيع، و وجد أن هذا النظام يقدم حل تصنيعي محسن باستخدام فوائد النمذجة السريعة وأنظمة التحكم الرقميCNC، ثم طور الباحث Claude Barlier [3] طريقة الستراتوكونسيبشن (Stratoconception) المعتمدة على شرائح ذات سماكات رقيقة بين 2 إلى 10 مم مع سطوح اتصال مستوية دائماً، بحيث يتم تقطيع المواد الخام باستخدام التفريز ثلاثي المحاور الذي يؤدي إلى ظاهرة التدرج، أو باستخدام التفريز خماسي المحاور، كذلك فقد درس الباحث Houtmann Yves [4] كيفية تقسيم الموديلات الثلاثية البعد إلى مناطق متعددة، وكيفية اختيار مستويات التقطيع. بعد ذلك وضح الباحث Delebecque

Benoit[5] كيفية التجميع للشرائح الناتجة عن التقطيع بواسطة اللصق أو بواسطة طرق التعشيق أو باستخدام وسائل السنترة. فيما بعد اقترح الباحث Lauvaux [6] عدة برامج تستخدم فقط لإنتاج القطع الفنية بواسطة النمذجة السريعة، ثم وضع الباحث Lesprier [7] طريقة تسمح بتصميم وإنتاج النماذج الثلاثية البعد باستخدام طريقتي النمذجة السريعة وطريقة التصنيع باستخدام الآلات المبرمجة.

II. تعريف النمذجة السريعة

RAPID PROTOTYPING

هي مصطلح شاع استخدامه في الآونة الأخيرة بين المصممين، ويعبر هذا المصطلح عن تكنولوجيا مستحدثة لتحويل نماذج وأشكال المنتجات الصناعية والهندسية، التي يتم بناؤها وتمثيلها الكترونياً بشكل نماذج ثلاثية الأبعاد داخل الكمبيوتر virtual models، إلى منتجات مادية مصنوعة من خامات معدنية أو بلاستيكية أو سيراميكية أو غيرها من الخامات المستحدثة مثل composite materials، ويستخدم لهذا الغرض آلات خاصة دقيقة البناء والتصميم، حيث تترجم الآلات معلومات النموذج الموجود بداخل الكمبيوتر، وتستخدمها في بناء النموذج من خلال بضع عمليات صناعية معقدة للغاية.

لا يقتصر استخدام النماذج السريعة على التصميم وحسب، وإنما يمتد استخدامه ليشمل العديد من المجالات، وأهمها الإستخدامات الطبية والجراحية والأجهزة التعويضية، ويستخدم أيضاً في جراحة الأسنان وبناء الأسنان الصناعية، كما يستخدم في المجال العسكري في بناء أجزاء النظم والمعدات العسكرية الدقيقة، ومعدات الفضاء، كما يستخدم، وبشكل آخذ في الانتشار، في صنع النماذج التعليمية وتتم النمذجة السريعة بإحدى الطريقتين:

1. النمذجة السريعة بطريقة إضافة المواد.
2. النمذجة السريعة بطريقة قطع المواد.

III. مزايا النمذجة السريعة

توفر تقنية النمذجة السريعة العديد من المزايا وهي:

1. **الإكتشاف المبكر للأخطاء والعيوب:** يمكن أن توفر الشركات المنتجة نفقات تقدر بآلاف الدولارات باكتشاف أخطاء التصميم، قبل أن يدخل المنتج مراحل الإنتاج الفعلي.
2. **التسويق المسبق:** الترويج للمنتج حتى قبل إنتاجه الفعلي بأشهر عديدة، فيمكن للشركات أن تعرض لعملائها نموذجاً ثلاثي الأبعاد بالمقاييس الحقيقية للمنتج، لكي تحصل على تقييمهم له وآرائهم فيه.
3. **إرتفاع مستوى تعقيد الأشكال والتصميم:** بحيث يصبح من الصعب تنفيذها على الآلات التقليدية، أو أن يكون من الصعب الحصول على أبعاد دقيقة باستخدام الآلات التقليدية.
4. **إمكانية تغيير تصميم المنتجات:** وتعديله عدة مرات بسهولة وبدون عناء.
5. **حلول تصميمية مبتكرة:** القدرة على العمل حتى إذا احتوى التصميم على عناصر صعبة التشغيل بالآلات التقليدية كتجاويف ضيقة، أو وجود فتحات محجوبة جزئياً.
6. جودة عالية وأداء متميز.
7. **إقتصادية التكلفة:** النماذج الأولى التي توفرها هذه التقنية تقلل من وقت التصميم والإنتاج وتكاليف إنتاج النموذج.

IV. النمذجة السريعة بطريقة إضافة المواد

تقوم معظم نظم النمذجة السريعة على تصنيع المنتجات بأسلوب إضافة جزئيات المادة وتراكمها adding materials particles، وذلك بالبناء باستخدام طبقات رقيقة جداً من المادة الخام، حيث تكون سائلة أو صلبة، أو حتى على شكل مسحوق ذو حبيبات دقيقة، وقد تكون أيضاً على شكل رقائق، أو شرائح ذات سمك ضئيل للغاية (يبلغ أحياناً ما هو أقل من 100 ميكرون) من المعدن أو البلاستيك أو بعض الخامات المختلفة الأخرى، وبعد أن تضاف الطبقة تعمل الآلة على تصليدها، وتماسكها مع الطبقات التي تسبقها بعدد من الوسائل منها الحرارة الموضعية العالية الناشئة عن

شعاع الليزر، أو بإضافة مصلبات Hardners راتنجية سريعة التأثير، تُنتج مع الطبقة التي تم بناؤها طبقة صلبة عالية الصلادة للغاية، ويستمر البناء طبقة تعلوها طبقة وفقاً لمسار Tool path، يرسمه الحاسب بدقة لأداة التشكيل، ووفقاً للخامة المستخدمة يمكن تعريض المنتج الناتج للعمليات التشغيلية المناسبة، أو حتى تعريضه للمعالجات الحرارية لتحسين خواصه الميكانيكية، ومقاومته للتلف، وزيادة تحمله.

تستخدم النمذجة السريعة بطريقة إضافة المواد لصناعة بعض القطع الميكانيكية فقط، وغالباً لصناعة القطع الجمالية والخزفية والفنية، والتي لا تتعرض لإجهادات وحمولات.

V. أساليب إنشاء النماذج الأولية بطريقة إضافة المواد

يمكن تصنيف أساليب إنشاء النماذج الأولى السريعة إلى:

A. نظام البناء المجسم Stereolithography SL

بدأ استخدام نظم إعداد النموذج المادي آلياً لأول مرة في الولايات في عام 1988، وهو ما اقتصر في أول الأمر على المكونات الميكانيكية باستخدام أسلوب البناء المجسم Stereolithography SL، وهي عملية يتم بها تصليد طبقات من خامة بلاستيكية Epoxy Resin (بوليمير سائل شديد الحساسية للحرارة الناشئة عن شعاع الليزر)، حيث يتحرك فوقها شعاع الليزر الذي تتراوح قوته بين 20 إلى 50 وات وفقاً لمسار محدد يمثل شكل الجسم المطلوب، والذي يتصلد بمجرد رسم الطبقة عليه، ثم ينتقل شعاع الليزر إلى الطبقة التالية، وفي أثناء ذلك يتحرك العمود الحامل للقطعة المتصلدة إلى أعلى فتتجمع الطبقات معاً حتى النهاية، وبذلك يمكن الحصول على نموذج من البلاستيك، وقد تكون المادة البلاستيكية الخام موجودة في حوض وهنا يتم التصنيع بتجميد نقاط المجسم التي تتعرض لبؤرة شعاع الليزر والذي لا يؤثر في النقاط المجاورة.

B. نظام التلبد بالليزر الاختياري Selective Laser Sintering SLS

يتم بناء النماذج في هذا النظام باستخدام مسحوق المعدن أو البلاستيك أو السيراميك لإنتاج نماذج أو حتى منتجات حقيقية إستخدامية، ويتم ذلك بفرد طبقة من المسحوق مناسبة لسمك الطبقة المراد إنتاجها من المعدن أو الخامة الأخرى، ويلاحظ هنا أن سلوك الخامات يختلف في نتيجته النهائية حيث ينخفض سمك المادة الناتجة أو يزداد وفقاً لنوع الخامة، ثم يستخدم شعاع ليزر أعلى من ذلك المستخدم في الماكينات السابقة حتى يصل إلى أكثر من 100 وات وفقاً لمادة المسحوق، ويشبه العمل في هذا النظام ما يحدث تماماً في ماكينات الطباعة بالليزر.

C. نظام الصهر بالليزر الاختياري Selectiv Laser Melting/SLM/

هي أحد طرق تشكيل النماذج السريعة التي وجدت طريقها إلى الصناعة الحديثة، حيث سُجّلت براءة الاختراع لهذه الطريقة لبحث ألماني عام 1995 باسم معهد ITL، وهي تساعد على تشكيل أجزاء صناعية دقيقة لم تكن صناعتها أمراً ممكناً في السابق، تعتمد في مفهومها على استخدام ليزر ذو حرارة عالية جداً لإذابة وصهر مساحيق معدنية، وتستخدم لتشكيل هذه النماذج آلات خاصة:

ويشبه هذا النظام سابقه إلا أنه عوضاً عن عملية التلبيد فإن المادة الخام، والتي تكون معدنية غالباً، تنصهر عند بؤرة شعاع الليزر وتتجمد فور ابتعاد هذا الشعاع، ويسمى هذا الأسلوب أيضاً بالسباكة الموضعية Spot Casting، حيث يشبه منتجه المسبوكات المصنوعة بالطرق التقليدية إلا أنه بالطبع أكثر دقة وأفضل تشطيباً ولا يحتاج إلى عمليات إنهاء أخرى وتتم كمايلي:

1. يرسم التصميم المطلوب على أحد برامج الـCAD كالـ CATIA أوالـSOLIDWORK.
2. تبدأ العملية بتقسيم النموذج ثلاثي الأبعاد إلى طبقات تتراوح سماكتها من 20 إلى 100 ميكرومتر.

3. تشكل كل طبقة صورة ثنائية الأبعاد 2D.
4. تحفظ في ملف بلاحقة stl.
5. تنثر طبقة من مسحوق معدني على طاولة تتحرك على المحور Z بمجال 350 مم.
6. يقوم الليزر باختيار الجزئيات اللازم لحامها حسب الصورة ثنائية الأبعاد، والتحرك على المحورين X و Y بمدى 250 مم لتشكيل طبقة قاسية عن طريق الصهر.
7. يعاد نثر طبقة جديدة فوق الأولى ثمّ يمرّ الليزر على نفس الجزيئات من كل طبقة، فتزداد سماكة الطبقة القاسية.
8. يتم إزالة المسحوق الغير مصهور بعد الإنتهاء من العملية بواسطة مروحة للصرف فيبقى لدينا المنتج النهائي.

D. المواد المستخدمة للتصنيع:

- النحاس
- الفولاذ
- الفولاذ الغير قابل للصدأ (SS)
- الكوبالت
- التيتانيوم
- التنغستين
- الألمنيوم

وتطبيق تقنية SLM في المجالات التالية :

الطب:

- تستخدم التقنية في صناعة الأعضاء الاصطناعية كأجزاء من جمجمة لترميم كسر ما أو ترميم جزء من الحوض، حيث تستخدم غالباً في صناعة العظام باعتبار أن المواد المستخدمة هي المعادن.
- نماذج تشريحية للطلاب.

الصناعة:

تستخدم هذه الطريقة في تصميم الكثير من القطع كمحركات الاحتراق الداخلي والتوربينات وكربرتور والأجزاء الميكانيكية كالمسننات والمسننات التفاضلية. إضافة لاستخدامها معادن كالذهب والفضة في تشكيل الإكسسوارات.

تستخدم SLS (Selective Laser Sintering) المعادن الصرفة غالباً حيث أنها تعتمد على إذابة مسحوق المعدن المستخدم بتطبيق ليزر ذو حرارة عالية نسبياً، بينما تعتمد SLM على الإذابة والصهر لمعدن صرف أو خليطة معادن بتطبيق حرارة أعلى من ال SLS ومن مساوئها :

- تكون أنظمة الـ SLM وآلاتها ضخمة كما تحتاج إلى طاقة عالية جداً ليعطي الليزر الحرارة اللازمة لصهر المسحوق المعدني.
- في الحقيقة إن هذه الطريقة بطيئة نسبياً بالمقارنة مع الصناعة الآلية التقليدية باستخدام المخارط والفارزات.

E. نظام الوصل الميكروني بالليزر الاختياري Selective Laser Micro Welding/SLMW/

يشبه النظامين السابقين لكنه يستعيض عن عمليتي التلبيد أو الصهر باستخدام الحرارة الناشئة عند بؤرة شعاع الليزر في إجراء عملية لحام دقيق Micro Welding بين حبيبات المادة.

F. نظام الصهر بالشعاع الالكتروني بالليزر الاختياري Selective Laser Electron Beam Melting /SEBM/

يشبه سابقه إلا أنّ اللحام بين الجزيئات يتم باستخدام حزمة من الأشعة الالكترونية الدقيقة بدلاً من شعاع الليزر.

G. التصنيع بالصفائح Laminated Object Manufacturing /LOM/

هي عملية أخرى من النمذجة السريعة Rapid Prototyping تستخدم أنواعاً معينة من الورق أو المواد البلاستيكية، ومن المتوقع قريباً ظهور تقنيات متفرعة منها تستخدم السيراميك والمعادن، وتعمل هذه التقنية من خلال تقسيم شرائح المادة ثم

دمجها معاً ثم قص المقاطع العرضية باستخدام شعاع الليزر، وهذا النوع يعد حالياً أحد أكبر عمليات النمذجة المستخدمة في الإنتاج اليومي.

H. نظام النمذجة بالمصهور المرسب Fused Deposition Modeling FDM

في هذا النظام تكون المادة الخام في صورة سلك رفيع من البلاستيك بقطر يصل إلى أقل من 0.3 من الميلليمتر، ويتم تمرير هذا السلك وصهره عبر فوهة نحاسية ساخنة، فينساب منها البلاستيك المصهور السائل في شكل خط متصل دقيق يصل قطره إلى أقل من 0.2 من الميلليمتر، وتتحرك الفوهة وفقاً لمسار مرسوم بواسطة الحاسب لكل طبقة على حدى، ثم ينتقل الجهاز إلى الطبقة الأعلى وتقوم ببنائها بنفس الطريقة.

I. نظام النمذجة بالنفث المتعدد Multi Jet Modeling /MJM/

يشبه الطريقة السابقة إلا أنّ المادة الخام تكون في صورة نوع من البلاستيك السائل، يتم ضخها من خلال فوهات رقيقة يمكن أن يصل سمكها إلى أقل من 0.1 ميلليمتر، في رأس يشبه رأس الطابعات التي تعمل بنفث الحبر Inkjet Printers، ويتم تصلب كل طبقة بمجرد بنائها فور تعرضها للهواء.

J. الطابعات ثلاثية الأبعاد :3D Printers

الطباعة ثلاثية الأبعاد هي تكنولوجيا متقدمة في التصنيع لبناء الأجزاء بالتجميع في طبقات أصغر من مقياس المليمتر، باستخدام مختلف المواد وبطريقة الطبقة فوق الطبقة، والذي يسمى التصنيع التجميعي، والذي يختلف بشكل جوهري عن الطرق التقليدية في التصنيع، التي تعتمد بصورة واسعة على العامل البشري مثل طرح الطرح أو عمليات القولبة والصب.

إن الإعتماد على العمليات المؤتمتة من التصنيع الميكانيكي كالصب والتشكيل كلها جديدة نسبياً، ولكنها معقدة تتطلب معدات وتكنولوجيات الروبوتات، تقوم كل هذه التقنيات بطرح مواد من كتل كبيرة إلى أن نصل إلى المنتوج النهائي من إنتاج أدوات لعمليات الصب والتشكيل، وتكون كلفة معداتها عالية، وهناك صعوبة في تجميع الأجزاء بعد التصنيع. بالإضافة إلى كل ذلك فإن التصنيع الميكانيكي كعمليات التصنيع بالطرح قد يؤدي إلى طرح مخلفات حوالي 90% من الكتلة الأصلية.

بالمقابل تؤدي الطباعة ثلاثية الأبعاد إلى تصنيع الأشياء مباشرة، بإضافة المواد طبقة بعد طبقة في مختلف الاتجاهات معتمدة على طريقة تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد المستخدمة، وتشبه إلى حد ما عملية البناء من قطع لعبة الليكو(lego) ولكن بصورة تلقائية، ويمكن أن تكون الأدوات المصنعة منها أخف وزناً وأطول عمراً وذات تصميم متين.

إن للطباعة ثلاثية الأبعاد جمهور واسع ولا يزال الاهتمام بها في الصدارة عند العديد من المهتمين بأنظمتها الجديدة يوماً بعد يوم من ناحية موادها وتطبيقاتها وملحقاتها المنبثقة.

أحد أشهر الأجهزة في هذا المجال هو جهاز Model Maker وهو مثال متميز لأحد نظم الكام من إنتاج شركة سوليد سكيب Solidscape، وهو يتوافق مع عمل معظم برامج التصميم باستخدام الحاسبات (الكادCAD) الشائعة مثلAutoCAD و Design Cad، بالإضافة إلى برنامج خاص يأتي كجزء من الماكينة التي يمكن شراؤها بسعر معقول، وهذا الجهاز ينتج النماذج ثلاثية الأبعاد بشكل دقيق جداً بالتعاون مع المجسم طبقة بطبقة ثم نقطة بنقطة بمعدل 6000 نقطة في الثانية، وهي سرعة عالية إلى حد كبير، وتشبه طريقة عمل الجهاز فكرة الراسمات نافثة الحبر Inkjet plotter، فهناك رأسان كلاهما يصب نقاط من مادة من البلاستيك الحراري Thermoplastic، أحدهم خضراء والأخرى حمراء، والأخيرة هي المادة المساعدة على التصلد Hardening Agent لإنتاج النموذج ثم تنتقل الماكينة إلى الطبقة الأعلى لتبنيها بنفس الطريقة.

إلى حد بعيد يمكن أن تكون الطباعة ثلاثية الأبعاد أو التصنيع التجميعي واحدة من التقنيات المهمة المستخدمة في حياتنا اليومية، فهي تقلل من استهلاك الطاقة مما يجعلها صديقة للبيئة لكونها قليلة المخلفات، حيث يتم التركيز على دورها المستقبلي في وسائل الإعلام المرئية والمسموعة ومواقع الانترنت بأنها ستكون الطفرة الرائدة لتضع نهاية لعملية التصنيع التقليدية الحالية.

كما أنها تشجع وتحرك الابتكار بطريقة لا مثيل لها من التصميم الحر دون استخدام معدات وتكاليف إضافية، والقطع المصنعة يمكن تصميمها بحيث لا تحتاج إلى جمعها معاً باستخدام الهندسة المعقدة، وبالتالي تكلف أقل أيضاً.

الطباعة ثلاثية الابعاد لها طرق وعمليات مختلفة ومتنوعة، وذلك باختلاف نوع المواد الأولية للطباعة ومواصفات القطع المطبوعة ومنها :

a) جهاز التصوير الحجري المجسم (Stereo Lithograph (SL) :

يصنف بصورة واسعة كأول طريقة للطباعة ثلاثية الأبعاد ومتوفر تجارياً برمز (SL)، وتعتمد عملية الطباعة على الليزر، والتي تعمل مع راتنجات البوليمير الضوئي الذي يتفاعل بوجود الليزر، ويتصلب بصورة دقيقة مكونة قطع ذات دقة وجودة عاليتين.

على الرغم من أنها عملية معقدة لكن يمكن تبسيطها بوجود راتنج البوليمير الضوئي في حوض يحتوي على منصة متحركة، يوجه شعاع الليزر بمحوري X و Y خلال سطح الراتنج حسب المعلومات للشكل ثلاثي الأبعاد، ويؤدي إلى تصلب الراتنج، وبالتحديد عند ضرب الليزر سطح حوض الراتنج بصورة أدق على السطح الرقيق من الراتنج في الحوض، وعندما تنتهي الطبقة الأولى تهبط المنصة في الحوض باتجاه الأسفل بشيء قليل باتجاه لمحور Z لتكملة الطبقة التي تليها بواسطة شعاع الليزر حتى إكمال الشكل بالكامل، ويمكن رفع المنصة فيما بعد من الحوض لفصل النموذج أو الشكل المطبوع.

بسبب طبيعة عمل(SL) تحتاج الأشكال المطبوعة بهذه الطريقة لدعم بعض أجزائها على وجه التحديد، كتلك التي تتدلى وتضعف وتحتاج إلى الإزالة اليدوية والتنظيف والمعالجة بواسطة آلة تشبه الفرن، باستخدام ضوء مكثف لتقوية الراتنج.

يمكن اعتبار(SL) بشكل عام من أدق عمليات الطباعة ثلاثية الأبعاد، وبأسطح نهائية ممتازة رغم وجود بعض العوامل المحددة منها بعض الخطوات الإضافية للمعالجة المطلوبة بعد الطباعة، والحاجة إلى استقرارية المواد المطبوعة والتي يمكن أن تكون هشة مع مرور الوقت.

b) طريقة الضوء الرقمي (DLP) (Digital Light Processing) :

تشبه عمليات (SL) من ناحية استخدامها البوليمير الضوئي، ولكن الاختلاف بينهما في نوع وشكل مصدر الضوء، حيث أنّ (DLP) تستخدم نوعاً تقليدياً من مصادر الضوء مثل المصباح القوسي مع الكريستال السائل، أو جهاز المرآة المشوهة، حيث يوجه الضوء خلال سطح حوض راتنج البوليمير الضوئي بمرور واحد مما يجعلها أسرع من طريقة (SL).

إن طريقة(DLP) كطريقة(SL) تنتج منتجات ذات دقة عالية وممتازة، ومن ناحية التشابه أيضاً تحتاج إلى دعم البيئة والمعالجة بعد الطباعة، ولكن طريقة(DLP) تتميز بتفوقها على (SL) لكونها تحتاج إلى كمية ضئيلة من الراتنج في الحوض لإكمال الطباعة، لذا تقلل من الخسائر والتكلفة التشغيلية.

c) التذويب بالليزر (Laser Melting) ، التلبد بالليزر(Laser Sintering):

هذا النوع من الطباعة يستخدم فيها الليزر أيضاً، ولكن المادة التي تطبع بها النموذج تكون بصورة مواد مسحوقة، حيث يوجه شعاع الليزر على سرير من المواد المسحوقة والمضغوطة، وحسب بيانات النموذج ثلاثي الأبعاد، حيث تبدأ الطباعة على محورين(X,Y) للطبقة الأولى من النموذج، وبتفاعل الليزر مع

سطح المسحوق، ويؤدي إلى إلتصاقها ببعض، ويكون قطعة صلبة حسب التصميم، وبعد الإنتهاء من الطبقة الأولى تمرر أُسطوانة مع القليل من المواد المسحوقة لملء الفراغ الحاصل من هبوط منطقة الطباعة قبل أن يقوم شعاع الليزر بطباعة الطبقة الأخرى، والتي ترتبط بالطبقة التي تليها إلى أن تكتمل الطباعة، وهكذا.

إن غرفة البناء أو مكان مسحوق الطباعة معزولة بصورة جيدة للحفاظ على درجة الحرارة أثناء عملية الطباعة، وذلك بالحفاظ على درجة انصهار مادة المسحوق، وبعد الإنتهاء من الطباعة تتم إزالة المسحوق الزائد وإخراج القطعة المطبوعة.

من أهم ميزات هذه الطريقة من الطباعة ثلاثية الأبعاد هو أن المسحوق بمثابة هيكل دعم للقطع المطبوعة، والتي تمنعها من أن تتدلى وتضعف، وبذلك يمكن طباعة أشكال معقدة بهذه الطريقة والتي لا يمكن طباعتها بالطرق الأخرى.

على كل حال فإن عيوب هذه الطريقة هي درجة الحرارة العالية للتلبد، والحاجة إلى وقت للتبريد بعد الطباعة، والتي يجب أن تكون ضمن الاعتبار، وعلاوة على ذلك، فإن المسامية تشكل مشكلة رئيسية لهذه الطريقة من الطباعة ثلاثية الأبعاد رغم التحسينات الكبيرة لجعل أجزائها أكثر كفاءة، علماً أن هناك بعض التطبيقات تتطلب إضافة مواد أخرى لتحسين الخصائص الميكانيكية.

يمكن استخدام التلبد بالليزر مع البلاستيك والمعادن، ولكن عند استخدامها للمعادن فإنها تحتاج إلى ليزر ذات طاقة عالية ودرجة حرارة عالية مع المعادن.

d) النفث أو القذف (EXTRUSION) FFF / FDM:

تستخدم في هذا النوع من الطباعة ثلاثية الأبعاد مواد بلاستيكية حرارية، وذلك بنفثها وهي واسعة الانتشار، وتسمى بشكل عام بنمذجة مترسب منصهر(FUSED DEPOSITION MODELLING) (FDM) وهذه التسمية التجارية المسجلة من قبل ستراتس (STRATASYS) وهي الشركة الأصل التي طورتها.

إن تقنية (FDM) بدأت منذ أوائل عام 1990، وانتشرت بصورة واسعة بعد سنة 2009، بعد إطلاقها كشكل حر للتصنيع (FREE FORM FABRICATION) (FFF) مثل أجهزة الريب راب (REP RAP)، ولكن بصورة محدودة لكون براءة الاختراع لحد الآن ملك لشركة ستراتس (STRATASYS).

طريقة عملية الطباعة تبدأ بإذابة شعيرات البلاستيك الموضوعة في نافث مسخن يقوم بنفث مادة الطباعة طبقة بعد طبقة على منصة البناء، من خلال معلومات الشكل ثلاثي الأبعاد، والتي تجهز بها الطابعة، حيث أن كل طبقة سوف تتصلب، وتتم إيداع شعيرات بلاستيك جديدة في النافثة لضمان استمرارية الطباعة، وبالنهاية تلتصق هذه الطبقات فيما بينها وتكون القطعة المطبوعة.

شركة ستراتس (STRSTASYS) طورت مدى واسع من المواد، والتي تملكها صناعيا لطابعاتها من (FDM)، والتي تناسب انتاج بعض التطبيقات، ولكن في مستوى الطابعات الموجودة في السوق حاليا، هناك تحديد في المواد المستخدمة رغم النمو الذي يشهده هذا القطاع، حيث إن المواد شائعة الإستخدام في هذا النوع من الطابعات هي (أي بي إس) (ABS) و (بي إل أي) (PLA)، والمتوفرة بالسوق بأنواع ومصادر مختلفة.

عمليات(FDM) تحتاج لدعم البنية أثناء الطباعة، لتعليق الأشكال الهندسية للتطبيقات إن لزم الأمر، وهذا يعتبر من إحدى مساوئه، على كل حال، تتم تطوير وتحسين الطابعات من هذا النوع حالياً بوجود رأسين للنفث أو أكثر، بحيث يمكن استخدام أكثر من لون ونوع من الشعيرات البلاستيكية من (إي بي إس) (ABS) و(بي إل أي) (PLA)، كذلك فإن عمليات الطباعة قد تكون بطيئة لبعض الأجزاء الهندسية للشكل الذي

يتم طباعته، وقد يؤدي إلى سيلانها بصورة قليلة، ويمكن معالجتها فيما بعد باستخدام القليل من الأسيتون.

نافثة الحبر: نفث الرابط (INKJET: BINDER JETTING):

هناك نوعين من عمليات الطباعة ثلاثية الأبعاد تستخدم هذه التقنية هما:

- نافثة الرابط (BINDER JETTING):

تنفث المواد الرابطة بواسطة رأس النفث على مضجع المواد المسحوقة في الأسفل، حيث ترش المادة الرابطة بصورة انتقائية، على مضجع المواد المسحوقة، وتؤدي إلى اندماج جزء من المواد تدريجيا، ويقوم رول أو شفرة بدفع المسحوق إلى سطح المضجع، ثم يقوم الرأس النافث بقذف المادة الرابطة، وحسب شكل القطعة المطلوبة طباعتها، بلصق المواد المسحوقة، حيث تتشكل هذه الطبقات وتتحد مع بعضها لتكون بالنهاية القطعة المطلوبة.

من محاسن هذه العملية عدم حاجتها لدعم أجزاء القطع المطبوعة، لأنها تدعم نفسها بواسطة المواد الباقية من المسحوق، الذي لم يتم استخدامه في الطباعة في مضجع المواد المسحوقة، علاوة على ذلك، يمكن استخدام مدى واسع من المواد في هذه الطريقة من الطباعة ثلاثية الأبعاد مثل السيراميك والطعام.

من الميزات المهمة لهذه الطريقة من الطباعة ثلاثية الأبعاد هي إمكانية إضافة الألوان وبمدى واسع من التدرجات، وذلك باضافتها إلى المادة الرابطة.

القطع المطبوعة لا تكون من القوة كالقطع المطبوعة باستخدام عمليات التلبد بالليزر(SLS) وتحتاج إلى عمليات إضافية لضمان المتانة.

- نافثة المواد (MATERIAL JETTING):

إن المادة الأساسية لهذا النوع من الطباعة تكون بحالة سائلة، والتي تنفث إنتقائياً خلال الرأس النافث مع مادة داعمة للنفث في نفس الوقت، وبعد ذلك، المواد تميل إلى تكوين سائل فتوبوليمير والذي يعالج من خلال الأشعة فوق البنفسجية مع كل طبقة تتم ترسيبها.

طبيعة الطباعة في هذه الطريقة تسمح باستخدام مدى واسع من المواد، وذلك يعني أن القطعة الواحدة يمكن إنتاجها أو طباعتها باستخدام العديد من المواد، وبخصائص مختلفة، كذلك تكون الطباعة هذه دقيقة جداً، وتنتج منها قطع ذات تفاصيل دقيقة كأنها مصقولة.

e) الترسيب الصفائحي الانتقائي (Selective Lomiation) (SDL):

صنعت وطورت هذه الطريقة من قبل شركة تقنيات مكور (Mcor)، وهناك شيء من الشبه لهذه العملية مع عمليات التصنيع بالكائن الرقائقي (Lamianted Object Manufacturing) (LOM)، والتي طورت من قبل هيليسس (Helisys) سنة 1990، وذلك في تشكيل الطبقات الورقية لطباعة القطعة النهائية.

إن الطباعة ثلاثية الأبعاد بطريقة (SDL) تبنى القطع المطبوعة طبقة فوق طبقة باستخدام ورق استنساخ قياسي (كورق A4)، وكل طبقة جديدة من الورق تثبت مع الطبقة أو الورقة التي قبلها باستخدام لاصق، والذي يتم اختيارها انتقائياً حسب التصميم للشكل ثلاثي الأبعاد، وهذا يعني أن المنطقة التي تكون فيها المادة اللاصقة أكثر تترسب لتكون القطعة المطبوعة، والمنطقة التي تكون فيها قليلة تمثل محيط القطعة المطبوعة، وتكون بمثابة دعم للقطعة المطبوعة، والتي تزال فيما بعد بواسطة شفرة كربيد التنغستين (Tungsten Carbide Blades) للحصول على القطعة النهائية المطبوعة، حيث يقوم صحن البناء بالارتفاع إلى الأعلى كلما تم إضافة ورق جديد مع اللاصق، ويتم ضغط طبقات الورق باستخدام مصدر حراري من الحصن العلوي الحار.

تعتبر طريقة (SDL) واحدة من عمليات الطباعة ثلاثية الأبعاد التي يمكن استخدام مدى واسع من الألوان فيها.

VI. النمذجة السريعة بطريقة قطع المواد

تتم عملية النمذجة السريعة بطريقة قطع المواد وفقاً للمراحل التالية:

- تقطيع/توليد الشرائح كمرحلة أولى وذلك بعد الحصول على الموديل الرقمي للقطعة.
- تقسيم الموديل إذا أمكن دون المرور بالمناطق الوظيفية، بحيث تضمن قابلية التصنيع لكل شريحة.
- اختيار نوع الوصلات بين هذه الشرائح اعتماداً على مفهوم مراكز القرار.
- تجميع الشرائح، ويعتبر ذو أهمية كبيرة، لأنه يجب أن يضمن التوضع الدقيق للشرائح المختلفة،

هي عملية من عمليات النمذجة السريعة التي تسمح بتصنيع أي منتج مصمم باستخدام الحاسب CAD، طبقة تلو الأخرى بدون أي تأخير في سير عملية التصميم والتصنيع، فهي تعتمد على مبدأ إزالة أجزاء من المادة الخام للوصول إلى المنتج النهائي، حيث تتضمن تجزئة أو تفكيك القطعة قيد الإنتاج حسابيا إلى مجموعة طبقات مستوية أساسية يطلق عليها اسم "Stratum"، والتي يضاف إليها مواد مصلبة ودعامات للتقوية، إذ يتم تحديد وتعريف كل طبقة، ومن ثم يتم التصنيع بشكل مباشر من خلال عملية تشكيل سريعة Rapid Milling، قطع باستخدام الليزر، وغيرها من تكنولوجيا القطع الحديثة، بالاعتماد على عدة أنواع من المواد الخام. هذه القطع الابتدائية تجمع وتربط مع بعضها البعض من خلال إضافات وجسور ووصلات ربط لبناء المجسم النهائي.

يجب أن يتم أخذ عملية تجميع الطبقات منذ خطوة التصميم، للأخذ بعين الاعتبار القيود الميكانيكية للمنتج أثناء الاستخدام، وتكون قطع الربط كقضبان موضعية ووصلات بين الطبقات، وفي حال كان المنتج مكون من جدران رقيقة تكون هذه الدعامات على شكل جسور من الخارج.

تعتبر عملية التصنيع هذه سريعة، ولا يوجد قيود لها من ناحية تصاميم الاشكال ونوعية المواد وحجومها، وتسمح بتصنيع منتجات صلبة وأجزاء غير قابلة للتصنيع من خلال آلات التشغيل ثلاثية الأبعاد.

قام فريق من الباحثين بإشراف البرفسور كلاوديوبراليه بوضع اللمسات الأخيرة على طريقة عملية النمذجة السريعة المسماة Stratoconception في نهاية الثمانيات، والتي لها الآن حقوق تجارية، ونالت براءة اختراع عالمية.

توجد العديد من البرامج الحاسوبية التي تعتمد هذه الطريقة في التصنيع مثل: Stratoconcept، القادر على التحكم بالعملية كلها ابتداءً من ملف الـ stl وانتهاء بعمليات القطع ثلاثية الأبعاد، وبالتالي يمكن التعديل والتحكم الكامل في كل مرحلة من مراحل الإنتاج بدون عوائق، ومن ميزات هذه البرامج:

1. قراءة ملفات من نوع stl والتعديل عليها: ويشمل ذلك استيراد وتصدير هذه الصيغة من الملفات وتفحصها، وكذلك المعاينة المتقدمة لهذه الملفات، وتصحيح النماذج بشكل يدوي أو مؤتمت بالإضافة إلى قياس الأبعاد.
2. عملية التجزئة أو التقطيع ثلاثية الأبعاد 3D Slicing: وتشمل اختيار المحاور اليدوي أو المؤتمت واختيار مستويات التقطيع.
3. عمليات التجميع Assembling: من خلال إضافات التثبيت والربط والجسور بين الجدران ووصلات الربط.
4. التقسيم الطبقي Stratification: من خلال تقنيات متكيفة للتحكم بالسرعة والدقة لإنجاز منتجات معقدة.
5. التصنيع Manufacturing: حيث يزود بالبرنامج بقاعدة بيانات كاملة لاختيار أداوت القطع وبارامترات القطع، وكذلك الاختيار الأمثل لسوية الطبقات، من أجل التوفير في المادة

الخام المستهلكة بالإضافة إلى التوليد الأتوماتيكي لمسارات أدوات القطع.

يوجد نوعين للقص بهذه الطريقة:

1- **التقسيم الطبقي ثنائي الأبعاد 2D Strata**: حيث يتم القص أو إزالة المادة من الخامة وفق محورين Cutting 2D Axes
2- **التقسيم الطبقي ثلاثي الأبعاد 3D Strata**: حيث يوجد خمس محاور يجري القص وفقها أو محورين ونصف كما توضح الأشكال التالية:

طريقة العمل ببرنامج Stratoconcept

1- عرض المنتج المستورد بصيغة STL وتصحيحه إن تطلب الأمر Visualization / STL Correction.
2- اختيار مستويات العمل 3D Slicing تبعاً لشكل المنتج النهائي، ومن الضروري اختيار مناسب للمستويات للتوفير في كمية المادة الخامة المستخدمة.
3- التموضع والتجميع الصحيحين Positioning and Assembling من خلال إضافة الوصلات أو جسور الربط إن تطلب الأمر.
4- التقسيم الطبقي Stratification: حيث يتم تجزئة المنتج إلى عدة طبقات يتم العمل بها بشكل متسلسل.
5- اختيار مسارات أداة القطع Cutting Tool Path: تعتبر المرحلة ما قبل الأخيرة حيث يتم اختيار الخطوط والمسارات التي ستتبعها أدوات القطع في كل طبقة من الطبقات المحددة سابقاً.
6- توليد الكود البرمجي المطابق للمسارات G/M code ليتم تحميله على آلة القطع. و أنواع القطع Different types of slicing:

1. التقطيع الثابت Constant Slicing:

هذه الطريقة في التقطيع شائعة في تطبيقات النمذجة السريعة، حيث يتم تقطيع المنتج بمقدار خطوة ثابتة يتم اختيارها من قبل المستخدم كما في الشكل a، حيث نلاحظ أن مستويات القطع متباعدة بانتظام بغض النظر عن شكل المنتج المراد تصميمه.

2. التقطيع المتكيف Adaptive Slicing:

يتم التقطيع في هذه الطريقة من خلال ملاءمة خطوة القطع مع ميل سطح المنتج المراد تقطيعه عند ارتفاع معين، وفوائد هذه الطريقة تكمن في تقليل عمليات القطع في حال السطوح العامودية تماماً، وزيادة المستويات عند الحاجة (سطوح مائلة)

3. التقطيع المتكيف المحلي Local Adaptive Slicing:

في حال وجود عدة أجزاء من المنتج بسطوح مختلفة كل سطح يأخذ خطوة تقسيم مختلفة ومن مساوئ طريقة Stratoconception:

1- المنتج النهائي يجب أن يتم تجميعه يدوياً، أو بواسطة الغراء اللاصق.
2- تفاصيل المنتج في الاتجاه العمودي z يجب أن تكون أكبر من السماكة القياسية للمادة الخام المستخدمة.
3- السطح الناتج النهائي هو عبارة عن تقريب خطي للشكل الحقيقي المتضمن ضمن الموديل الثلاثي الأبعاد للمنتج، لذلك قد نحتاج لعمليات معالجة نهائية بعد عملية التصميم والتصنيع.
4- بعض الحالات قد تتطلب خبرة ومعرفة جيدة فيما يتعلق بتموضع الإضافات ووصلات التثبيت أو سماكة المادة الخام المستخدمة واختيار الطبقات، من أجل جعل قوة تحمل المنتج أكبر ما يمكن.

VII. طريقة التصنيع السريع للنموذج URP

الغاية وضع طريقة متكاملة لكيفية اختيار الشرائح عند تصميم وتصنيع الميكانزمات الوظيفية بطريقة URP. الطريقة الجديدة المقترحة تسمح بتقسيم القطع النموذجية المراد إنتاجها إلى شرائح، بحيث أن كل شريحة تكون بشكل سهل قابلة للإنتاج بالتصنيع. يتم اختيار اتجاه التقطيع وسماكة الشرائح من أجل إبقاء المناطق الوظيفية قدر الإمكان داخل نفس الشريحة، ومن أجل ضمان قابلية التصنيع أيضاً. هذه القيود تقود دائماً الى سطوح اتصال معقدة بين

الشرائح، حيث يهدف هذا العمل أيضاً إلى تطوير آلية تقسيم القطعة إلى شرائح وذلك باستخدام مفهوم مراكز القرار.

هذه القطع سوف تجمع داخل الميكانيزم، وهذه القطع تملك سطوح وظيفية وتتطلب تجميع عالي النوعية الذي لا يمكن أن نحصل عليه إلا بالتصنيع. هذه القطع غالباً تكون معقدة وتكون صعبة الإنتاج فقط عن طريق التصنيع من قطعة خامة واحدة.

الهدف من هذه الطريقة URP هو إنتاج قطع ذات أشكال معقدة من أمثال القطع في الشكل1، وذلك بالتصنيع على آلات التشغيل المبرمجة، ولكن بتقسيم كل قطعة إلى عدة شرائح مجمعة. القطع سوف تكون مصنعة من شرائح ذات سماكات تقريباً بحدود 40 مم سواء من مواد متوفرة في المخزن (ألمنيوم أو فولاذ)، أو من مواد مقترحة لهذه القطع. هذه المواد سوف تكون مقاومة للقوى الميكانيكية والتآكل. التصنيع سوف يجري على آلة تشغيل مبرمجة عالية السرع ذات تحكم رقمي الذي يفتح إمكانيات متعددة.

إن طريقة URP تختلف بشكل كبير عن الطرق الأخرى للستراتوكونسوبسيون (Stratoconception) بالخصائص التالية :

- التصنيع على آلات التشغيل المبرمجة ذات الخمس محاور.
- الشرائح السميكة (ذات السماكات بحدود40 مم) قابلة للتجميع في كافة الاتجاهات.
- سطوح الاتصال بين الشرائح ليست بالضرورة مستوية.
- التصنيع يكون أيضاً داخل السماكات للقطع الخام (من على السطوح الجانبية).

الهدف أيضاً من هذا الموضوع هو أتمتة هذه الطريقة URP في بيئة التصميم بمساعدة الكومبيوتر(CAD) باستخدام برنامج CAPP (Computer Aided Process Planning).

التقطيع هو المرحلة الأولى والأهم التي يجب تنفيذها بعد الحصول على الموديل الرقمي للقطعة. هذا يعني إنشاء (توليد) الشرائح وذلك بتقسيم الموديل إذا أمكن بدون المرور بالمناطق الوظيفية، وبحيث نضمن قابلية التصنيع لكل شريحة. سماكة الشرائح تم تحديدها انطلاقاً من سماكة القطع الخام المتوفرة على سبيل المثال 40 مم. إنه من الصعب العمل داخ ل قطع ذات سماكات كبيرة لأن ذلك يتطلب أدوات قطع طويلة جدا، وبالنتيجة هشة وذات قدرة قليلة من ناحية الدقة. الاتجاه الأفقي هو اتجاه المستويين الأكثر اقتراباً والذين يحتويان كل القطعة. هذا الاتجاه المبدئي يسمح بتقليل عدد وسماكات الشرائح.

المراجع:

[1]. J.HUR, K.HU, Z.KIM, 2002 _ Hybrid rapid prototyping system using machining anddeposition Computer. Aided Design, 34(10), 741–754

[2]. C.BARLIER, SHAN PING LIAN, Hu SHENGSUN, 1998_ Procédé de réalisation depièces mécaniques, en particulier de prototypes, par décomposition en strates avec retournement, strates élémentaires obtenues selon le procédé et pièces mécaniques ainsiobtenues. Brevet n°98, 14688.

[3]. Y. HOUTMANN, 2007_ Décomposition avancée de modèles numériques CAO pour le procédé de Stratoconception Développement des outils associés. Ph.D. thesis, Université Henri Poincaré Nancy.

[4]. B. DELEBECAUE, 2007 Intégration de fonctions avancées à l'inter-strate de pieces réalisées par le procédé de Stratoconception, Méthodologie et développement des outils associé. Ph.D. thesis, Université Henri Poincaré Nancy.

[5]. G. LAUVAUX, 2005_ La réalisation d'oeuvres d'art par prototypage rapide avec le procédé de Stratoconception. Ph.D. thesis, Université de Reims Champagne,Ardenne

[6]. T. LESPRIER, 2005 Conception et Fabrication de Prototypes Modulaires à fonctionnalités évolutives. Ecole Centrale de Nantes and Université de Nantes.