م. إبراهيم إمحمد المجدوب
د. عبد السلام علي أحمد دومه

التصنيع بالإضافة والتحديات المستقبلية:

نظرة عامة على الطباعة ثلاثية الأبعاد والطباعة رباعية الأبعاد

2022

التصنيع بالإضافة والتحديات المستقبلية: نظرة عامة على الطباعة ثلاثية الأبعاد والطباعة رباعية الأبعاد

التصنيع بالإضافة والتحديات المستقبلية
نظرة عامة على الطباعة ثلاثية الأبعاد والطباعة رباعية

Additive Manufacturing and Future Challenges:
Overview of 3D printing and 4D printing

الأكاديمية الإفريقية للدراسات المتقدمة
African Academy of Advanced Studies (AAAS)
www.aaasweb.com
info@aaasweb.com

رقم الإيداع القانوني 2022/550
ردمك ISBN 978-9959-1-2882-9

التصنيع بالإضافة والتحديات المستقبلية:

نظرة عامة على الطباعة ثلاثية الأبعاد والطباعة رباعية الأبعاد

Future Challenges of Additive Manufacturing:

Overview of 3D printing and 4D printing

تأليف:

د. عبدالسلام علي أحمد دومه

أستاذ مساعد، قسم الهندسة الميكانيكية والصناعية، جامعة بني وليد، ليبيا

م. إبراهيم إمحمد محمد المجدوب

بكالوريوس هندسة ميكانيكية، جامعة بني وليد، ليبيا

منشورات الأكاديمية الإفريقية للدراسات المتقدمة

African Academy of Advanced Studies (AAAS)

رقم الإيداع القانوني 2022/550

ISBN 978-9959-1-2882-9 ردمك

(وَقُلِ اعْمَلُوا فَسَيَرَى اللَّهُ عَمَلَكُمْ وَرَسُولُهُ وَالْمُؤْمِنُونَ وَسَتُرَدُّونَ إِلَىٰ عَالِمِ الْغَيْبِ وَالشَّهَادَةِ فَيُنَبِّئُكُم بِمَا كُنتُمْ تَعْمَلُونَ)

[سورة التوبة: 105]

الإهـــــداء

نهدي هذا الكتاب لوالدينا وأحبابنا

شكر و تقدير

الشكر الجزيل لكل من ساندنا وشجعنا لإنجاز هذا الكتاب، كما نشكر قسم الهندسة الميكانيكية والصناعية – جامعة بني وليد، على جهودهم المبذولة في المساهمة بتطوير الكفاءة العلمية في بلادنا الحبيب.

محتويات الكتاب

ت	الموضوع	رقم الصفحة
1.1	التمهيد	1
2.1	المقدمة	2
3.1	الهدف من الدراسة	4
4.1	أهمية الدراسة	4
5.1	مخطط الدراسة	5
1.2	المقدمة	9
2.2	تكنولوجيا التصنيع بالإضافة (AM)	11
3.2	التصميم الصناعي	12
1.3.2	البرمجيات المخصصة للتصنيع بالإضافة	13
2.3.2	عملية النمذجة باستخدام برامج التصميم عبر الحاسب	14
3.3.2	أمثلة التصميم Design Optimization	15
4.2	مراحل عمل تكنولوجيا التصنيع بالإضافة	16
5.2	الفرق بين التصنيع بالإضافة والتصنيع بالتحكم الرقمي CNC	18
6.2	تحسين المواد من خلال عمليات التصنيع بالإضافة	19
7.2	مزايا ومجالات تطبيق تكنولوجيا التصنيع بالإضافة	21
8.2	الإستنتاجات Findings	26
9.2	التوصيات Recommendations	27
10.2	الخلاصة Conclusion	28
1.3	المقدمة	29
2.3	تاريخ تكنولوجيا الطباعة الثلاثية الأبعاد	30
3.3	طرق الطباعة ثلاثية الأبعاد	32
1.3.3	طريقة التلبيد الإنتقائي بالليزر	32
2.3.3	طريقة البناء بالترسيب المنصهر	33
3.3.3	طريقة البلمرة الضوئية	33

4.3	المواد المستخدمة في الطباعة الثلاثية الأبعاد	34
5.3	تأثير تكنولوجيا الطباعة الثلاثية الأبعاد عالمياً	35
6.3	مميزات تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد	36
7.3	تطبيقات الطباعة ثلاثية الأبعاد	36
1.7.3	في مجال الطب	36
2.7.3	في الأحذية والملابس	37
3.7.3	المجوهرات	37
4.7.3	في مجال السيارات	38
5.7.3	في مجال الطائرات والفضاء	38
6.7.3	في مجال الهندسة المعمارية والبناء	38
7.7.3	في مجال الفنون	39
8.7.3	في الإلكترونات والروبوتات	39
8.3	مستقبل الطباعة ثلاثية الأبعاد في ليبيا والعالم العربي	40
9.3	الخلاصة Conclusion	40
1.4	المقدمة	42
2.4	بعد رابع في مستقبل الطباعة ثلاثية الأبعاد	44
3.4	الطباعة رباعية الأبعاد (التاريخ والتقدم الأخير)	45
4.4	اختلاف الطباعة رباعية الأبعاد عن الطباعة ثلاثية الأبعاد	49
5.4	طريقة عمل تقنية الطباعة رباعية الأبعاد	50
6.4	المواد المستخدمة في الطباعة رباعية الأبعاد	53
1.6.4	المواد الذكية	56
2.6.4	تأثير ذاكرة الشكل أحادي الإتجاه	57
3.6.4	تأثير ذاكرة الشكل ثنائي الإتجاه	57
4.6.4	المواد الكهروضغطية	57
5.6.4	المواد المغناطيسية	58
6.6.4	أسطح قابلة للطي	59
7.4	نهج الطباعة رباعية الأبعاد	61

1.7.4	اقتراح	63
2.7.4	نتائج	64
8.4	تطبيق أفكار الطباعة رباعية الأبعاد المباشرة على العناصر الهيكلية	68
9.4	مناقشة	73
10.4	تصميم العينات والطباعة ثلاثية الأبعاد	74
11.4	النمذجة والمحاكاة	74
12.4	مجالات استخدام الطباعة رباعية الأبعاد	75
13.4	تطبيقات للطباعة رباعية الأبعاد	76
1.13.4	الطيران والفضاء	76
2.13.4	الطب	78
3.13.4	السيارات	79
4.13.4	التطبيقات الصناعية	80
5.13.4	المنتجات الاستهلاكية	80
14.4	مستقبل الطباعة رباعية الأبعاد	81
15.4	الخلاصة Conclusion	81
1.5	لتصنيع الإضافي في طب الأسنان	83
2.5	الطباعة ثلاثية الأبعاد في العمارة والفن	84
3.5	التصنيع الإضافي في مراكز التعليم والبحث	85
4.5	قطاع السيارات بوتيرة الطباعة ثلاثية الأبعاد	86
5.5	الطيران والفضاء	88
6.5	تقنية وتصنيع	88
7.5	الطبية والصيدلانية	89

8.5	أجهزة المساعدة السمعية وأطقم الأسنان	92
9.5	أجهزة تعويضية لضحايا الألغام	92
10.5	جراحات زرع الوجه والعمود الفقري	93
11.5	طباعة أعضاء حية	94
12.5	علاج أمراض تنفسية بالإستعانة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد	94
	المراجع	97

فهرس الأشكال

ت	موضوع الشكل	رقم الصفحة
1.1	مشغولة تصنع بالطباعة	1
2.1	برمجية الطباعة	2
3.1	قالب محرك مصنوع بالطباعة	3
4.1	فكرة التصنيع الإضافي	5
5.1	قطع مصنوعة بالطابعة ثلاثية الأبعاد	6
6.1	مفهوم الطباعة رباعية الأبعاد	7
7.1	3D & 4D Printing	7
8.1	تأثير الطباعة في المجال الطبي	8
1.2	آلية التصنيع بالإزالة	9
2.2	آلية التصنيع بالإضافة	10
3.2	طباعة تصميم بتفاصيل دقيقة	11
4.2	تصميم لتصنيع المواد المضافة	12
5.2	برمجية التصنيع الإضافي	13
6.2	مراحل التصنيع	14
7.2	آلية عمل الطابعات	16
8.2	مراحل الطباعة	17
9.2	مسحوق معدني للتصنيع الإضافي	20
10.2	سيارة ستراتي Strati المنتجة بالطباعة الثلاثية	23
11.2	آلة موسيقية على شكل شبكة عنكبوت مجسمة	24
12.2	طائرة Airbus مصنوعة بالإعتماد على تكنولوجيا التصنيع بالإضافة	25

1.3	تكنولوجيا توفر التكاليف والوقت وتنقذ البيئة	29
2.3	لمحة تاريخية عن الطباعة الثلاثية	31
3.3	طريقة التلبيد بالليزر	32
4.3	طريقة البناء بالترسيب المنصهر	33
5.3	طريقة البلمرة الضوئية	34
6.3	طباعة الأنسجة والخلايا الحيوية	37
7.3	مجوهرات مصنعة بالطباعة ثلاثية الأبعاد	37
8.3	سيارة مصنوعة بالطباعة ثلاثية الأبعاد	38
9.3	نموذج مصغر لمشروع هندسي	38
10.3	منتج مطبوع 3D	39
11.3	روبوت مصنوع بالطباعة ثلاثية الأبعاد	39
1.4	البعد الرابع	42
2.4	مستقبل الأثاث في الطباعة رباعية الأبعاد	43
3.4	نموذج مطبوع بتقنية 4D يتغير طبقاً لدرجة حساسيته للماء	44
4.4	طباعة 4D الذكية	46
5.4	الإستفادة من تقنية 4D	47
6.4	هيكل مطبوع 4D	48
7.4	الفرق بين الطباعة 4D & 3D	49
8.4	خطوات طباعة النموذج الرقمي 3D	50
9.4	التقدم في تقنية الطباعة	51
10.4	الإستجابة الوظيفية لقطع مطبوعة 4D	54
11.4	طباعة 4D ذاتية الطي	60

12.4	مفهوم الطباعة المباشرة رباعية الأبعاد وعرضها التجريبي	62
13.4	الفهم الأساسي للمعلمات المتضمنة في الطباعة المباشرة رباعية الأبعاد	66
14.4	طباعة مباشرة 4D للعناصر الهيكلية مع أوضاع تشوه تمليها بنية مطبوعة 3D	69
15.4	طباعة مباشرة رباعية الأبعاد لهياكل تتكون من عناصر متعددة	70
16.4	توضيح للقدرة على إعادة برمجة هيكل مطبوع رباعي الأبعاد	72
17.4	طباعة مادة 4D	74
18.4	محاكاة مادة مطبوعة 4D	75
19.4	نموذج تصميم الطائرات المتحولة	77
20.4	تصميم قائم على الصور الحسابية لجبائر القصبات الهوائية المطبوعة 3D مع دعامة مطبوعة 4D التي يتم إدخالها في الشريان	79
21.4	BMW مطبوعة 4D	79
1.5	الطباعة في طب الأسنان	83
2.5	الطباعة في مجال العمارة	84
3.5	المراكز التعليمية	85
4.5	سيارة مطبوعة 3D	87
5.5	تركيب قطع مطبوعة 3D	88
6.5	الطباعة وأثرها في المجال الصحي	89
7.5	التقدم في الأدوية المطبوعة	90

8.5	طباعة أجهزة سمعية	92
9.5	أطراف صناعية مطبوعة	93
10.5	فكرة الطباعة الحيوية	94
11.5	الأجهزة الطبية صممت أنبوبة تتواءم مع القصبة الهوائية للأطفال	95

ملخص الكتاب

يهدف هذا الكتاب إلى دراسة إحدى طرق التصنيع الحديثة والتي تسمى بالطباعة ثلاثية الأبعاد والتي أصبحت موضوعًا بارزًا لما لها من أهمية كبيرة في التطور السريع الحاصل في تقنيات التصنيع.

هذه الدراسة تستعرض مواضيع مهمة حول الطباعة ثلاثية الأبعاد بدايةً من تاريخ تطور هذه التكنولوجيا وتعريفات مبسطة لها بالإضافة إلى نظرة على الطرق الأكثر شيوعاً لهذه التقنية والتي منها طريقة التلبيد الانتقائي بالليزر (SLS) وطريقة البناء بالترسيب (FDM) بالإضافة إلى طريقة البلمرة الضوئية مع شرح مبسط لكل طريقة.

تم أيضاً في هذه الدراسة عرض أهم المواد المستخدمة في تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد، و هي مواد مختلفة تستخدم في عملية التجسيم كالسراميك والنايلون وغيرها، ومع نهاية هذه الدراسة تم التطرق لمستقبل هذه التقنية في ليبيا والعالم العربي.

ثم جاءت الطباعة رباعية الأبعاد التي تمنح الكائنات المطبوعة ثلاثية الأبعاد القدرة على تغيير شكلها بمرور الوقت، حيث يشير مصطلح "الطباعة رباعية الأبعاد" إلى هذا البعد الرابع الإضافي: الوقت.

تجمع هذه التكنولوجيا الناشئة بين تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد وعلوم المواد عالية المستوى والهندسة والبرمجيات، وتلعب المواد دورًا مهمًا في الطباعة رباعية الأبعاد، حيث تستخدم التقنية موادًا مصممة خصيصًا للتفاعل مع حافز معين.

تشمل المنبهات الشائعة التي يمكن أن تتسبب في تحوّل الأجسام في درجة الحرارة والضوء والماء والمجالات المغناطيسية بالإضافة إلى العوامل الكيميائية والعوامل البيئية الأخرى.

عندما يتم تشغيلها بواسطة مصدر خارجي، يمكن للأشياء المطبوعة رباعية الأبعاد أن تطوي أو تتكشف في أشكال محددة مسبقًا، مما يفتح الباب أمام مجموعة من التطبيقات التي سنستكشفها أدناه.

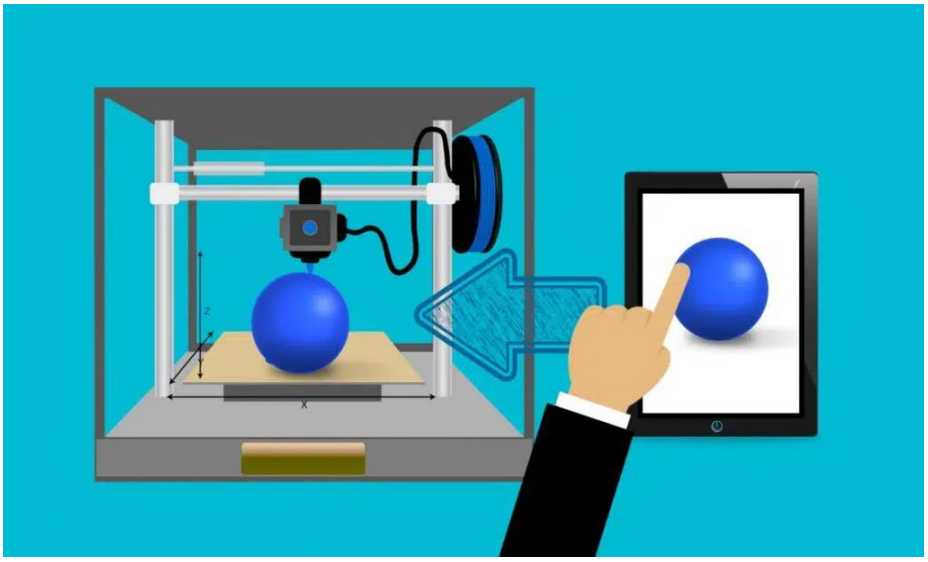
Abstract

This the book aims to present a brief study of study of one of the modern methods of manufacturing, which is called 3D printing, which has become a prominent topic because of its great importance in the rapid development of manufacturing techniques. This paper discusses important topics about 3D printing, It gives some definitions and provides a brief overview about the development of the 3D-printing method . The most common methods of this technique are Selective laser sintering (SLS), Fused Deposition Modelling (FDM), Photopolymerizatio. This work also presents the most important materials used in the 3D printing technology such as ceramics, nylon, etc. The final section of this project is an overview of the future of the 3D printing technology in Libya and the Arab world.
4D printing gives 3D printed objects the ability to change their shape over time. The term “4D printing” refers to this additional fourth dimension: time.
The emerging technology combines 3D printing techniques with high-level material science, engineering and software.
Materials play a crucial role in 4D printing, as the technology uses materials that have been specially designed to react to a specific stimulus.
Common stimuli that can cause fabricated objects to transform include temperature changes, light, water, magnetic fields as well as chemical and other environmental factors.
When triggered by an external source, 4D printed objects can fold or unfold themselves in predetermined shapes, opening the door to a range of exciting applications we’ll be exploring below.

الفصل الأول

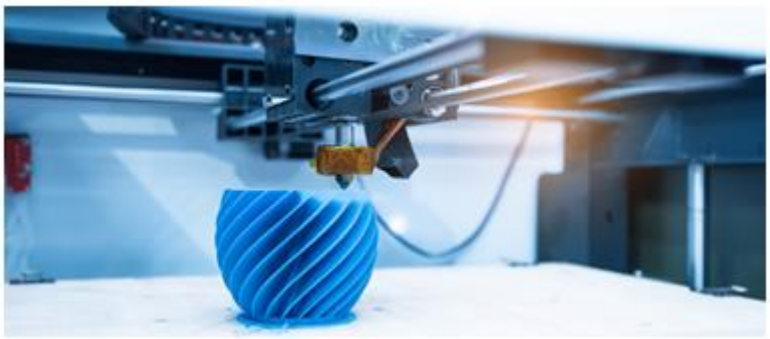
مقدمة

Introduction



1.1 التمهيد

تأتي هذه الدراسة في هذا المجال لتسدّ فراغاً واضحاً في المكتبة العربية، وهو مجال حيوي تبلور حديثاً مع التطورات الصناعية والقفزات التقنية الهائلة التي حدثت في العقدين الأخيرين من القرن العشرين، فالتصنيع بالإضافة هو أحد أهم عناصر الثروة الصناعية الرابعة، وتعد في بداياتها على الرغم من أن أول براءة اختراع كانت في عام 1984 وهو عصر تم فيه بالفعل إتقان استخدام الليزر ومواد التصوير والتصميم بمساعدة الكمبيوتر، واليوم لم يعد من الخيال محاكاة أي نموذج ثلاثي الأبعاد أو مجسم وتحويل كل ما يخطر ببالك من أشكال متنوعة لتكوين صورة طبق الأصل منه على أرض الواقع، فهي تقنية مبتكرة تمكنك من إنشاء المجسمات من خلال نموذج رقمي، حيث تعرف بالطباعة ثلاثية الأبعاد أو التصنيع المضاف Additive Manufacturing، وهي عملية أخذ النموذج الرقمي، وترجمته إلى سلسلة من شرائح أفقية في لغة الآلة، ثم طباعته عن طريق إضافة طبقات متعاقبة ودقيقة جداً (لا يتجاوز سمكها أجزاء من المليمتر) من المواد حتى يتم إنشاء المجسم ثلاثي الأبعاد باستخدام عدد من التقنيات المختلفة، كما أن الطباعة ثلاثية الأبعاد تجلب اثنين من الإبتكارات الأساسية: التلاعب في المجسمات في شكلها الرقمي، وتصنيع أشكال جديدة عن طريق إضافة المواد.



شكل 1.1 مشغولة تصنع بالطباعة

وبما أن الموافقة على مفهوم "التصنيع الإضافي" جاءت بسرعة كبيرة، فعلى هذا الأساس يمكن تطوير منهجيات مضافة أخرى، والعديد منها في الوقت الحالي بمنافذ محددة للغاية، ولكن غالباً ما يكون العلماء في وضع يسمح لهم بتوقع طول المسار وإنشاء ديناميكية خاصة تؤدي إلى تغييرات جديدة، لا سيّما فيما يتعلق بأهمية الإبداع والمشاركة في البحث والإنفتاح مع الآخرين والتأثير الجيّد أو أحيانا المثبِّط للفاعلين العامّين من ناحية، والعالم الإقتصادي من ناحية أخرى.

ولأن التطور لم ينتهي، فإن الطباعة رباعية الأبعاد جاءت بمواد تتطور بمرور الوقت، وهذا يعني أننا نواجه ليس فقط عالماً نشطاً ومزدهراً للغاية، ولكن أيضاً عالماً معقّداً يتطلب مهارات عديدة في الفيزياء

والهندسة وكيمياء المواد والميكانيكا بنهج متعدد التخصصات ومتقارب لتطوير أصل الأفكار في هذه التكنولوجيا الصناعية الحديثة، وترتبط هذه التكنولوجيا ارتباطاً وثيقاً بوجود سوق اقتصادي فعّال وهو سوق مهم بالفعل ينبع من البحث التكنولوجي في العلوم الهندسية المرتبطة إلى أحد المكوّنات الأساسية وهو المكوّن الخاص بالمواد، للتلاعب بها وإعدادها للتصنيع.

2.1 المقدمة

التصنيع الإضافي Additive Manufacturing (AM) هو اسم مناسب لوصف التكنولوجيات التي تبني كائنات ثلاثية الأبعاد عن طريق إضافة طبقة فوق طبقة من المواد، سواء كانت المادة بلاستيكية أو معدنية أو خرسانية أو قد تكون ذات يوم نسيج بشري.

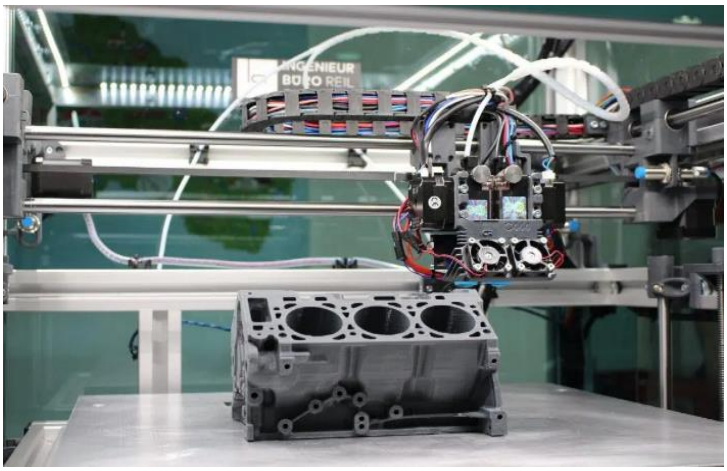
ومن المعروف أن تكنولوجيات التصنيع الإضافي، تتم باستخدام الحاسوب وبرامج النمذجة ثلاثية الأبعاد (التصميم بمساعدة الحاسوب) ومعدات الآلة ومواد الطبقات، فبمجرد إنتاج الرسم بمساعدة الحاسوب، تتولى الطابعة ثلاثية الأبعاد عن طريق ملفها الرقمي قراءة البيانات من ملف الرسم ويتم وضع أو إضافة طبقات متتالية من السائل أو المسحوق أو مادة الألواح أو غيرها، بطريقة طبقة فوق طبقة لتصنيع كائن ثلاثي الأبعاد.

شكل 2.1 برمجية الطباعة

ويتم استخدام مفهوم التصنيع الإضافي في البيئات المهنية والمتخصصة، مع الإشارة دائمًا إلى تقنيات إنشاء الكائنات عن طريق إضافة طبقة تلو طبقة من المادة، دون الخوض في التقنية المستخدمة لذلك، ويشمل التصنيع الإضافي العديد من التكنولوجيات بما في ذلك مجموعات فرعية مثل الطباعة ثلاثية الأبعاد والنماذج الأولية السريعة والتصنيع الرقمي المباشر والتصنيع متعدد الطبقات.

ولا تزال النماذج الأولية هي التطبيق الأكثر استعمالا بشكل عام، ومع ذلك فإن تطبيقات الطباعة ثلاثية الأبعاد الأخرى في التصنيع آخذة في الإزدياد، فعلى سبيل المثال، تضاعف عدد المستجيبين الذين يستخدمون الطباعة ثلاثية الأبعاد في التصنيع منذ أواخر عام 2017، حيث ارتفع من 27% إلى

52%، وصناعة السيارات من بين الصناعات التي تستخدم الطباعة ثلاثية الأبعاد لإنتاج العديد من القطع.



شكل 3.1 قالب محرك مصنوع بالطباعة

يحتوي التصنيع الإضافي على المزيد والمزيد من مجالات التطبيق في قطاع الصناعة والتكنولوجيا، ولقد أحدثت الطابعات ثلاثية الأبعاد ثورة في طريقة الطباعة، وقيامها ببناء هياكل جديدة، تبدأ من الأجسام الصغيرة وتصل إلى الأنسجة الحية وحتى بناء المنازل.

ففي سنوات قليلة ماضية، كانت الطباعة ثلاثية الأبعاد مادة خيال علمي، حلم الكثيرون بالقدرة على طباعة الأشياء بدلاً من الصور أو النصوص على ورق ثنائي الأبعاد بسيط، والآن التكنولوجيا ناضجة لدرجة أن هناك عدد لا يحصى من التقنيات والعلامات التجارية والنماذج.

بعد عام 2020 أصبح التصنيع الإضافي موضوعا هاما لدى الكثير من الشركات العالمية الكبيرة والصغيرة، فعلى الرغم من أزمة جائحة كورونا، استمر التصنيع الإضافي في النمو، بدلا من الطرق القديمة المتمثلة في نحت جزء قابل للإستخدام من كتلة كبيرة من المواد، ومن المتوقع أن يصل التصنيع الإضافي إلى صناعة تبلغ قيمتها 51 مليار دولار بحلول عام 2030.

ووفقًا لدراسة أجرتها (SmarTechAnalysis) فقد حقق سوق تصنيع المواد المضافة العالمي بالفعل إيرادات بقيمة 10.4 مليار دولار أمريكي في عام 2019، وبحلول عام 2029 من المتوقع أن تحقق أعمال الطباعة ثلاثية الأبعاد الصناعية حوالي 55 مليار دولار أمريكي سنويا.

أيضا توسعت التطبيقات العملية بشكل كبير، وفقًا لدراسة (Jabil's 2019 Additive Materials and 3D Printing) وهي دراسة استقصائية لأكثر من 300 متخصصا مسؤولين عن الطباعة ثلاثية الأبعاد في شركات التصنيع، وتعد أسباب زيادة التطبيقات في التصنيع مقنعة، حيث أن الطباعة ثلاثية الأبعاد أسرع من التصنيع التقليدي، وأنقى تكنولوجيات التصنيع الرقمي المتاحة حاليا.

3.1 الهدف من الدراسة

تقديم المميزات التي تتمتع بها هذه التكنولوجيا الجديدة والتي توفر لنا أدوات مفيدة مثل: المكونات الهيكلية، وأجزاء الألواح الشمسية، وحتى بناء المنازل، ناهيك عن التأثير الإيجابي على البيئة، وتقليل الإستخدام المفرط للمنتجات البلاستيكية وتولد نفايات أقل مقارنة بتقنيات التصنيع التقليدية، كما يمكن للطابعات ثلاثية الأبعاد أن تصنع أدوات كانت في السابق بعيدًا عن متناول سكان البلدان النامية مثل الأطراف الصناعية المُكلِفة.

وتأتي هذه التكنولوجيا الحديثة لتفتح طريقاً جديداً لتصنيع القطع وإتاحة الفرص للعمال المُستقلين، وتُتيح للأشخاص طباعة منتجات مُخصصة بحسب احتياجاتهم بدلًا من منتجات ذات مواصفات وأحجام مُوحدة تناسب الجميع فقط، حيث يُتيح التخصيص وفرص العمل المستقل والمتاجر الصغيرة إحياء قطاع التصنيع، الذي سيكون أكثر مرونة واستدامة، كما سيُسهِم المصنِّعون المستقلون في تبسيط سلسلة التوريد لشركات التصنيع الكبرى؛ وتُوفِّر مختبرات التصنيع، والمعروفة باسم (Fab Labs)، ورش عمل عامة مفتوحة للراغبين في تعلم تكنولوجيا التصنيع الرقمية ومنها الطابعات ثلاثية الأبعاد.

أيضا تهدف الدراسة إلى التعرف على الحالة الحالية لما هو معروف واستكشاف التطورات الصناعية القادمة ومنها الطبية، وما الذي يمكن أن يكون أفضل، لتوقع تأثير ومستقبل التقنيات المضافة من خلال المفاهيم العلمية الجديدة أو المفاهيم المرتبطة بالإبداع أو العمليات العلمية والتكنولوجية متعددة التخصصات والتفاعل المجتمعي من حيث إنشاء أسواق ووظائف جديدة.

4.1 أهمية الدراسة

تحقق تكنولوجيات التصنيع الإضافي فوائد عديدة تمكن الشركات المصنعة من:

- خفض تكاليف الإنتاج.
- التعامل مع الوظائف لمرة واحدة بشكل أكثر كفاءة.
- زيادة أوقات الإستجابة لقضايا خط الإنتاج.
- إزالة احتياجات الأدوات في التصنيع.
- دعم التصنيع الموزع.

مع الأخذ في الإعتبار اعتماد الفوائد الدقيقة المستمدة من الطباعة ثلاثية الأبعاد والطباعة رباعية الأبعاد على التكنولوجيا المستخدمة، ومع زيادة الإستخدامات واكتشاف تطبيقات الطباعة ثلاثية الأبعاد ورباعية الأبعاد الجديدة في التصنيع، يتم فتح المزيد من الفوائد، وتشجع هذه الفرص الشركات الصغيرة على تجربة تطبيقات هذه التكنولوجيا الجديدة وتغيير أساليبها في النهاية، للتصميم والتصنيع والإنتاج، وفي

المستقبل القريب تكون الطباعة ثلاثية الأبعاد وسيلة إنتاج راسخة عبر الصناعات وتغير كيفية تصنيع شركات العالم لمنتجاتها.

5.1 مخطط الدراسة

تم في هذه الدراسة إنشاء 5 فصول، وتوفير ثروة من المعلومات حول التصنيع الإضافي وتكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد والطباعة رباعية الأبعاد، وتطبيقات أخرى في عدة مجالات منها الصحة، تُسهم بشكل مباشر في رفع الكفاءة العلمية والصناعية بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد.

الفصل الأول: مقدمة Introduction

وهو فصل تعريفي نتحدث فيه في نبذة مختصرة عن الموضوع والأهداف والأهمية والمخطط العام لهذه الدراسة، وما الذي تحتويه الفصول الأخرى.

الباب الثاني: التصنيع بالإضافة Additive Manufacturing

شكل 4.1 فكرة التصنيع الإضافي

هنا يمكنك فهم كل شئ ترغب بمعرفته حول هذه التقنية لإنشاء كائنات ثلاثية الأبعاد عن طريق إضافة طبقة فوق طبقة من المواد، التصنيع الإضافي يشمل العديد من التقنيات، جميعها لها شيء مشترك، وهو "إضافتها" شيئًا فشيئًا أثناء العملية حتى يتم الحصول على النتيجة النهائية، وبالتالي تطبيقات هذا النوع من التكنولوجيا لا حدود لها، تركزت في البداية على النماذج الأولية السريعة لنماذج الإنتاج، ومؤخراً تم تطبيقها على جميع أنواع القطاعات الصناعية، من الطب والفضاء والأزياء.. إلخ.

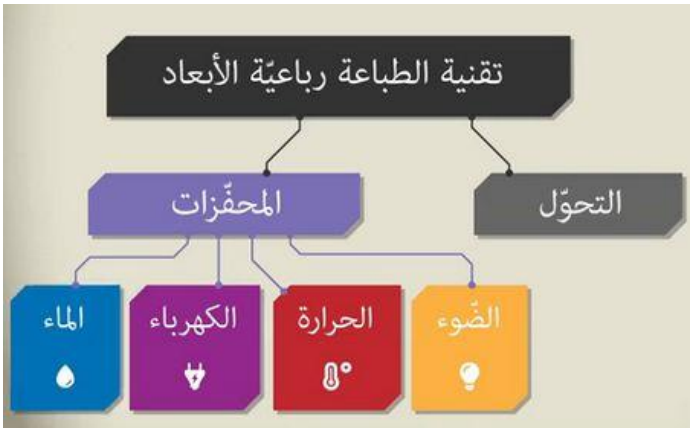
الباب الثالث: الطباعة ثلاثية الأبعاد 3D Printing

إن التغيير الجذري الذي تحدثه هذه التكنولوجيا في شتى المجالات تجعل من الجميع يسارعون للبدء في اقتنائها والإستفادة من مزاياها، فقد وصلت لمراحل متقدمة من التطور بعد مضي ما يقارب ثلاثة عقود منذ أول ظهور لها، حيث تطورت التقنيات وأصبحت قادرة على إنتاج قطع بخواص ذات جودة عالية، بالإضافة إلى أن تكاليف الآلات والمواد الخام انخفضت إلى الحد الذي يجعل استخدامها مجدي اقتصاديا؛ وفي هذه الدراسة نلقي نظرة عامة على هذا العالم الجديد لإيصال تصور واضح للقارئ.

وقد أثرت هذه التكنولوجيا على تاريخ الإنسان الحديث ربما أكثر من أي مجال آخر، حيث جعلت حياتنا أفضل في نواح كثيرة، وفتحت آفاقا وإمكانيات جديدة.

شكل 5.1 قطع مصنوعة بالطابعة ثلاثية الأبعاد

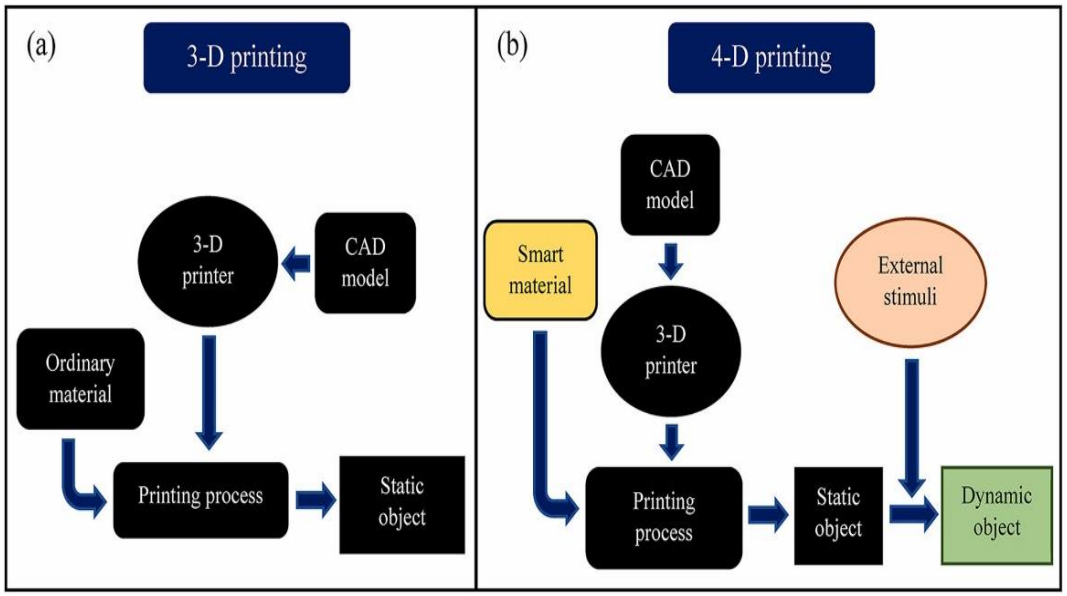
ما يجعل الطباعة ثلاثية الأبعاد فريدة من نوعها هو قدرتها على تصنيع كائنات صلبة كاملة ومعقدة، حيث تستطيع طباعة (صناعة) المجسمات والأدوات بطرق لا محدودة، بمختلف المواد والمعادن، كما أدخلت الطباعة ثلاثية الأبعاد في العديد من المجالات منها الفنية، التراثية والأثرية، والألعاب، والسيارات، والمباني، والطب، كما أن هناك أنواع مختلفة من تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد، تعالج مواد مختلفة بطرق متنوعة لصنع المجسم النهائي، سواء كانت باللدائن أو المعادن أو السيراميك أو الرمال، والتي تستخدم الآن بشكل روتيني للتطبيقات الصناعية الأولية وإنتاجها.



شكل 6.1 مفهوم الطباعة رباعية الأبعاد

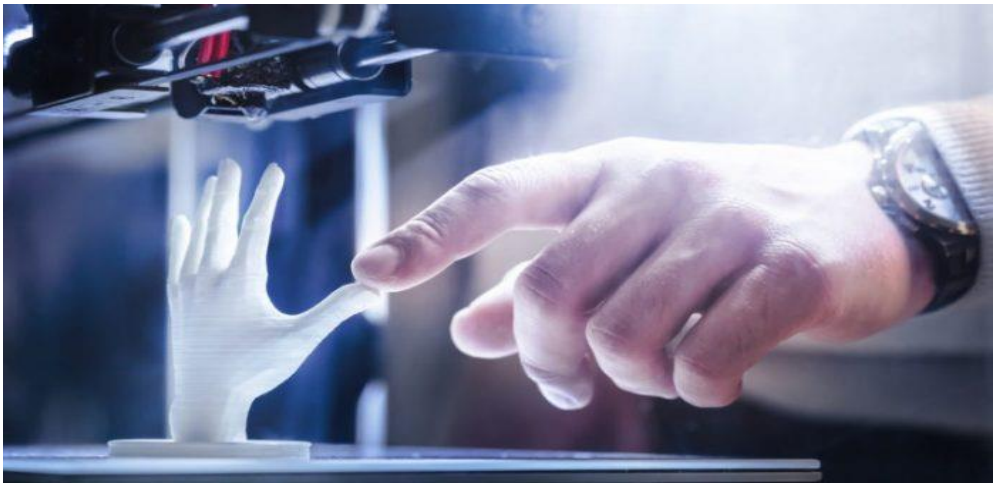
الطباعة رباعية الأبعاد هي نفس تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد من خلال ترسيب المواد المبرمجة بالحاسوب في طبقات متتالية لإنشاء كائن ثلاثي الأبعاد، ولكن، تضيف الطباعة رباعية الأبعاد بعدًا رابع للتحول بمرور الوقت، لذا تعد نوعًا من المواد القابلة للبرمجة، فبعد عملية التصنيع، يتفاعل المنتج المطبوع مع عوامل البيئة (الرطوبة ودرجة الحرارة وغيرها) ويغير شكله وفقًا لذلك.

وتنشأ القدرة على القيام بذلك من التكوينات الشبه لانهائية بدقة الميكرومتر، التي تخلق مواد صلبة ذات توزيعات مكانية جزيئية مهندسة، تسمح بأداء متعدد الوظائف غير مسبوق.



شكل 7.1 3D & 4D Printing

الباب الخامس: تطبيقات أخرى Other apps



شكل 8.1 تأثير الطباعة في المجال الطبي

تجلب الطباعة ثلاثية الأبعاد أو التصنيع الإضافي تغييرات هائلة في عدد من الصناعات المهمة، حيث بدأت الشركات في طباعة كل شيء من السيارات التي تعمل بكامل طاقتها إلى وجبات العشاء الحائزة على نجمة ميشلان، حتى أن معاهد البحوث الطبية جربت طباعة أجزاء الجسم العاملة.

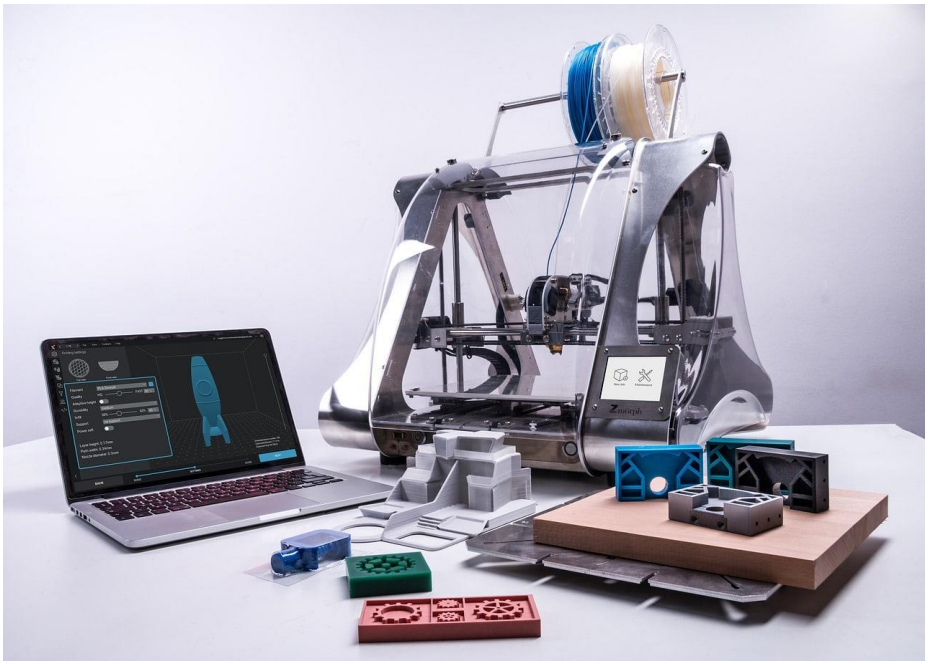
وفي الآونة الأخيرة، أظهر التصنيع الإضافي تنوعه العملي، وأصبح أداة قوية في معالجة بعض التحديات غير المسبوقة التي مثلها COVID-19 والمساعدة في إمداد العاملين الصحيين بمعدات الوقاية الشخصية، والمرضى بأجهزة التنفس الصناعي.

يشكل استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد ثورة علمية متعددة الأهداف والإستخدامات فى المجال الطبي، خصوصا الأعضاء الصلبة كالمفاصل والأعضاء غير الحية، كما بدأت التجارب بطباعة أعضاء ذات أوعية دموية معقدة، وطباعة أنسجة حية ليتم استخدامها فى أبحاث الأدوية، وطباعة أنسجة المريض كعينة لاختبار فاعلية الدواء عليها قبل إدراجها في الخطة العلاجية.

الفصل الثاني

التصنيع بالإضافة

Additive Manufacturing

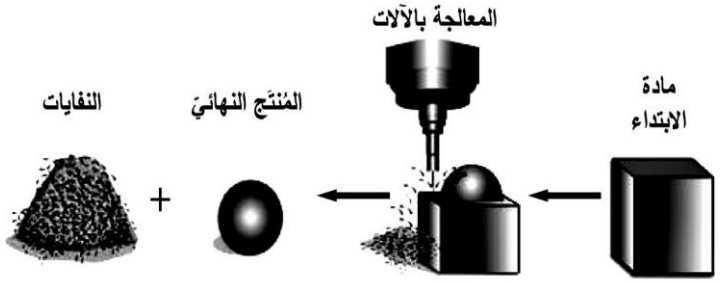


هذا الفصل يتناول أهم تكنولوجيا ظهرت حديثا ألا وهي "تكنولوجيا التصنيع بالإضافة" Additive Manufacturing، وتأتي أهميته في كونه يتعامل مع آخر المستجدات التكنولوجية الحديثة ودراسة ما يمكن أن تضيفه هذه التكنولوجيا في مجال متجدد وحيوي كالتصميم الصناعي.

وقد تلخصت أهداف الدراسة بتحديد الإنعكاسات المباشرة وغير المباشرة لتكنولوجيا التصنيع بالإضافة والجوانب التي من الممكن أن تكون فاعلة فيها، وتوصلت الدراسة إلى تحديد آخر التطورات في التقنيات الحديثة، كما حددت كيفية الإستفادة من هذا المجال المتجدد سريعا والدائم التطور في أنشطة التصميم الصناعي المختلفة، كما نجحت الدراسة في تحديد النتائج المباشرة وغير المباشرة لتقنية التصنيع بالإضافة والإعتبارات التى يمكن أن يكون لها تأثير في التصميم الصناعي المعاصر.

1.2 **المقدمة**

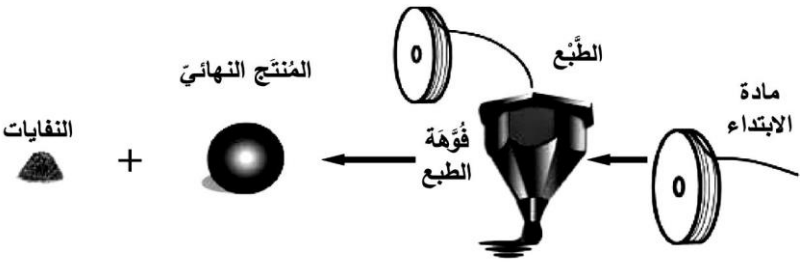
التصنيع بالإضافة هو مصطلح يشير إلى ذلك المجال من العمليات الصناعية التي يتم فيها بناء الجسم أو القطعة عن طريق إضافة طبقات من المادة طبقة تلو الأخرى، وهذه العمليات تختلف عن ما يسمى بعمليات "التصنيع بالإزالة" أو عمليات "المزج والتصلب"، ففي عمليات التصنيع بالإزالة، مثل عمليات التفريز والخراطة والتثقيب، فإنه يتم استخدام حركات مخططة بشكل مسبق لأداة القطع بهدف إزالة أجزاء من المادة من القطعة المشغلة من أجل الحصول على الشكل المطلوب للقطعة؛ أما في عمليات المزج والتصلب، كالسباكة والقولبة، فإنه يتم استخدام وسيلة أو طريقة مخصصة ومصممة من أجل تصليب المادة بهدف الحصول على الشكل المطلوب.



شكل 1.2 آلية التصنيع بالإزالة

من جهة أخرى، فإن عمليات التصنيع بالإضافة لا تحتاج إلى وسيلة خاصة أو إلى تخطيط لحركة أداة القطع، وبدلاً من ذلك، فإنه يتم بناء الجسم بشكل مباشر بوساطة نموذج رقمي ثلاثي الأبعاد تم إنشاؤه بمساعدة برنامج تصميم بالكمبيوتر، وهذا النموذج ثلاثي الأبعاد، يتم تحويله فيما بعد إلى عدد من الطبقات الرقيقة ومن ثم يقوم جهاز التصنيع باستخدام البيانات الهندسية للطبقة من أجل بنائها بشكل

متسلسل واحدة تلو الأخرى حتى يتم بناء الجسم بشكل كامل، وبسبب هذه المنهجية المتبعة، فإن عمليات التصنيع بالإضافة غالباً ما يشار إليها بـ "التصنيع الطبقي"، أو "التصنيع الرقمي المباشر"، أو "التصنيع الحر للشكل الصلب".



شكل 2.2 آلية التصنيع بالإضافة

ومن أكثر المصطلحات شيوعاً فيما يتعلق بالتصنع بالإضافة، هو ما يسمى بـ "النمذجة السريعة"، تم استخدام التعبير (سريع) لأن عمليات التصنيع بالإضافة يتم تطبيقها بشكل أسرع من عمليات التصنيع التقليدية، فتصنيع جسم واحد ما قد يستغرق فقط ساعتين من الزمن، أو قد يستغرق بضعة أيام وذلك اعتماداً على حجم الجسم وعلى نوع العملية المستخدمة.

أما العمليات التي تتطلب تصميم وتصنيع وسيلة مخصصة مثل عمليات السباكة والقولبة من أجل الحصول على القطعة المطلوبة، فإنها تتطلب عدة أسابيع في عمليات التصنيع بالإزالة، كعمليات التشغيل التي يمكن أن توفر أزمنة إنتاج أفضل، ولكن هذه الأزمنة يمكن أن تزداد بشكل ملحوظ عند تصنيع الأجسام المعقدة.

تم استخدام التعبير (نمذجة) وذلك لأن عمليات التصنيع بالإضافة تم استخدامها في بداية الأمر من أجل تصنيع النماذج، وعلى أية حال، فمع تطور تقنيات التصنيع بالإضافة، فإن هذه التقنيات ستصبح وبشكل متزايد مناسبة لعمليات التصنيع ذات حجم الإنتاج العالي.

وترتبط النتائج التكنولوجية الحديثة ارتباطا مباشرا ومؤثرا في التصميم الصناعي من نواح عديدة، تبتدأ هذه المؤثرات من مرحلة التصميم نفسها وما يستخدم فيها من تقنيات تسهم في بلورة الأفكار التصميمية على اختلاف تعقيدها، مرورا بمراحل الإنتاج التي تتحقق باستخدام العديد من تكنولوجيا التصنيع، وانتهاءا باعتبار التكنولوجيا والتقنيات الحديثة كـ نتاج مهم واجب التوظيف في المنتجات الصناعية الحديثة على اختلاف أنواعها.

ولا شك أن بزوغ أي تكنولوجيا حديثة تحتم على المصمم التعاطي معها باعتبارها (وسيلة ونتاج)، وعليه فإن ظهور تكنولوجيا التصنيع بالإضافة وتطور جميع تقنياتها بصورة تصاعدية تحتم على المصمم

استكشافها ودراسة إمكانياتها وفهم معطياتها من أجل التعامل معها بطريقة يمكن من خلالها استثمار كل ما يمكن أن تقدمه من نتائج تعود على العملية التصميمية برمتها بالنفع والتجديد.

إن إلقاء الضوء على آخر المستجدات وتطويعها في المجال البحثي التصميمي هو ضرورة لا بد منها وسيرورة مستمرة تأتى أهميتها في مواكبة كل ما هو جديد وما يمكن أن يشكل من إضافة نافعة وفاعلة في مجال متجدد وحيوي يمكن أن يستثمر من أجل إسباغ السمة العصرية والتطور المستمر عليه.

وتعتبر تكنولوجيا التصنيع بالإضافة من أهم المستجدات الحديثة التي باتت تنمو وتنتشر بازدياد متسارع لما تمثله من ثورة عصرية وانقلاب حقيقي لكل تقنيات الإنتاج التقليدية واختصارا لسلسة مراحلها الطويلة.

2.2 تكنولوجيا التصنيع بالإضافة Additive Manufacturing Technology (AM)

تعرف تكنولوجيا التصنيع بالإضافة حسب الجمعية الأمريكية للإختبار والمواد (ASTM) بأنها عملية وصل المواد لتشكيل الأشياء من بيانات نماذج ثلاثية، إذ تستخدم طريقة الطبقات المتعاقبة خلافا لطرق التصنيع الأخرى، وتعرف هذه العملية أيضا باسم التشكيل بالإضافة، التشكيل الحر، النماذج الأولية السريعة، والطباعة الثلاثية.

شكل 3.2 طباعة تصميم بتفاصيل دقيقة

كانت التكنولوجيا ولا تزال العصب الأساس والفاعل في تحريك عجلة التقدم والتطور بكل مجالاته وأصبحت مدخلاتها على اختلاف أنواعها عاملا رئيسا في تحقيق السبق والتفرد في أي مجال تنشط فيه وبالأخص موضوع بحثنا الذي يتناول تكنولوجيا التصنيع بالإضافة وما شكلته من إضافة نراها مهمة في مجال التصميم وآلياته المستحدثة، إذ تعتبر تكنولوجيا التصنيع بالإضافة من التكنولوجيات المتقدمة في الوقت الحاضر، والتي يتم من خلالها تقريب الشكل المنتج من مخططات التصميم بنسبة عالية جدا، ونتيجة لذلك أصبحت هذه التكنولوجيا تستخدم في مجالات الفضاء، السيارات، الإلكترونيات، الطب، الروبوتات، والطب الحيوي، وما إلى ذلك من المجالات الأخرى التي تتطلب دقة تصنيع عالية من ناحية الأبعاد والتفاصيل الدقيقة لما لها من إمكانية عالية في صنع المكونات المطلوبة في فترة

قصيرة من الوقت بدقة عالية دون أي خطأ، وقد خضعت تكنولوجيا التصنيع بالإضافة إلى تغييرات وتطورات جذرية بدءا من البلاستيك والبوليمرات وصولا إلى المعادن والمواد المختلفة.

ويعرف التصنيع بالإضافة بأنه عملية صنع كائنات ثلاثية الأبعاد من خلال وصف رقمي أو ملف، وتعتبر عملية إضافة لأن المواد توضع في طبقات متتالية.

وقد كانت تسمى هذه العملية بالأصل بالنماذج الأولية السريعة Rapid Prototyping إذ طورت هذه التقنية المهمة في عام 1980 لغرض التصنيع، وقد كانت تستخدم في مراحلها المبكرة لتشكيل النماذج الأولية وأجزائها كتجسيم سريع لأفكار المصممين الأولية، ثم تطورت تقنية النماذج الأولية السريعة بعد ذلك لتصل ذروتها في نهاية المطاف بما يسمى التصنيع بالإضافة Additive Manufacturing (AM) والتي أمكن من خلالها إنتاج الأجزاء المطبوعة الحقيقية، إضافة إلى النماذج الأولية بأقصر وقت وأقل تكلفة، وتشكيل منتجات وأشكال يصعب تشكيلها بالطرق الإنتاجية التقليدية.

وبما أن التصنيع بالإضافة هو مصطلح لفئة من التكنولوجيا التي تستخدم التصميم بمساعدة الكومبيوتر CAD في التصنيع على أساس طبقة فوق طبقة Layer By Layer في عملية بناء الأجزاء التي تستخدم مباشرة كمنتجات للإستخدام النهائي، لذلك فهو يسمى:

التشكيل الحر للمجسمات Sold Freeform Fabrication، أو تقنية التصنيع الرقمي Digital Manufacturing أو تقنية التصنيع المباشر Direct Manufacturing، أو تقنية التصنيع الإلكتروني E-Manufacturing، وفي الآونة الأخيرة تم استخدام مصطلح الطباعة الثلاثية الأبعاد 3D Printing على نطاق واسع في وسائل الإعلام لتسمية تكنولوجيا التصنيع بالإضافة، التي من المتوقع أن تكون محرك الثورة الصناعية الثالثة بسبب إمكانياتها المتقدمة.

3.2 التصميم الصناعي

شكل 4.2 تصميم لتصنيع المواد المضافة

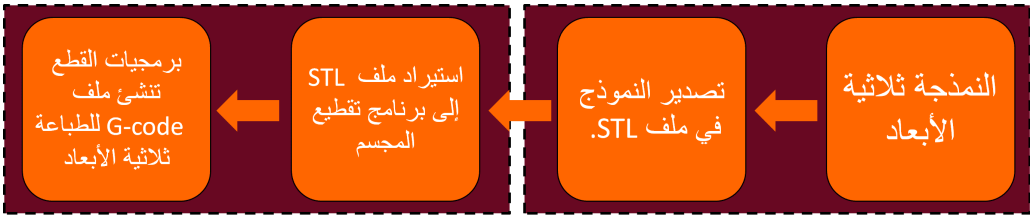
تصف جمعية المصممين الصناعيين في أمريكا (IDSA) التصميم الصناعي باعتباره خدمة احترافية تحسن (الوظيفة، القيمة، المظهر) من أجل المنفعة المتبادلة لكل من المستخدم والجهة المصنعة، فهو دراسة الشكل والوظيفة، وتصميم العلاقة بين الأشياء والبشر والمساحات.

ولا شك أن مجال التصميم الصناعي واحد من أهم المجالات الحديثة ليس لكونه يرتبط فقط بكل ما يحيط الإنسان من منتجات، وإنما لكونه أيضا يرتبط بكل العلوم والتكنولوجيا الحديثة التي باتت تتجسد حال ظهورها في نتائجها وتنعكس عليها.

وانتشرت على شبكة الإنترنت العديد من المعلومات والخبرات على شكل مقالات وفيديوهات توضح كيف أنه من السهل على أي أحد أن يقوم بإجراء الطباعة ثلاثية الأبعاد ببالغ البساطة عن طريق أحد برامج التصميم والنمذجة عبر الكمبيوتر Computer Aided Design - CAD ومن ثم الضغط على زر الطباعة، ولكن إذا كنت من المختصين في أمور التصميم والتصنيع، فالأرجح أنك تعتقد أن الأمر يوجد به ما هو أكثر من ذلك.

وفي الحقيقة إن هذا الإعتقاد صحيح، فهناك بعض الأمور المهمة يجب أن تعرفها فيما يتعلق بتكنولوجيا التصنيع بالإضافة Additive Manufacturing - AM إذا ما كنت تخطط بجدية بإنتاج وتطوير القطع والمنتجات عبر هذه التكنولوجيا في المستقبل القريب.

1.3.2 البرمجيات المخصصة للتصنيع بالإضافة



شكل 5.2 برمجية التصنيع الإضافي

تلعب تكنولوجيا البرمجيات دوراً حاسماً في عمليات التصنيع بالإضافة Additive Manufacturing، وهي تتطور بثبات سعياً لمكاملة الإمكانيات المتقدمة للطباعة ثلاثية الأبعاد المتوافرة في آلة الطابعة. ويمتد استخدام هذه البرمجيات خلال كامل دورة حياة التصنيع بالإضافة بدءاً من مصادر الحصول على الأفكار والتصميم والنمذجة وتزويد البيانات بالصيغ المختلفة للطابعات وصولاً إلى مراقبة عمليات الطباعة وإدارتها، وبالتالي تظهر قيمة هذه البرمجيات في كونها تخدم كحلقة وصل مهمة بكونها وسطياً بين أجهزة الكمبيوتر والطابعات بما يسمح لكامل نظام الطباعة ثلاثية الإبعاد بالعمل بكفاءة عالية.

بشكل عام، طباعة أي قطعة يتطلب أربعة أنواع مختلفة من البرمجيات من أجل ضمان الدقة والكلفة المخفضة والجودة، ويتطلب الأمر أيضاً توافر برمجيات خاصة من أجل تحويل الشكل الهندسي للجسم الصلب إلى بنية شبكية، إلى جانب الأدوات اللازمة لتطبيق عمليات المحاكاة.

تبدأ الرحلة من مرحلة الفكرة إلى مرحلة القطعة النهائية المصنعة من نقطة البحث عن مصادر النموذج سواء كانت من مكتبات التصاميم ثلاثية الأبعاد المتزايدة النمو، أو من خلال تقنيات المسح ثلاثية الأبعاد، أو من خلال التصاميم المخصصة، وهذه النقطة متبوعة بعمليات التصميم والتي فيها يتم تحضير النموذج ثلاثي الأبعاد الدقيق للمنتج المراد الحصول عليه بالتصنيع بالإضافة مع أخذ الأبعاد المناسبة وأنماط الدقة الهندسية بعين الاعتبار، وتكون الخطوة التالية هي تحسين الشكل الهندسي باستخدام برنامج يضبط عملية الطباعة ويقلل نسبة الهدر في المادة.

وأخيراً، يكون المطلوب أيضاً توافر برنامج يتحكم بالطباعة الدقيقة للقطعة ويقوم بمراقبة العملية لإتمام عملية الطباعة بنجاح.

2.3.2 عملية النمذجة باستخدام برامج التصميم عبر الحاسب

على خلاف العمليات التقليدية للنمذجة، يتطلب بناء النماذج التصميمة ثلاثية الأبعاد اتباع منهجية خاصة مختلفة، ومن الأمور المهمة الواجب أخذها في الحسبان مسألة الدقة التصميمية للشكل الهندسي،

شكل 6.2 مراحل التصنيع

إذ تستهلك الدقة التصميمية العالية قدراً كبيراً من الزمن لتحميل ملف النموذج إلى الطابعة ومن ثم طباعته، وعلى النقيض من ذلك، ينشأ عن النماذج ذات الدقة التصميمية المنخفضة قطعاً منخفضة الجودة، وعلاوة على ذلك، يتأثر الشكل الهندسي للقطعة الجاري بناؤها بطبيعة المادة المستخدمة.

وكمثال، يمكن أن تتطلب طباعة القطع والمنتجات بمادة البلاستيك إعادة تقييس بعض أبعاد الثقوب في التصميم وذلك لأنه من المحتمل أن تتمدد أو تتقلص خلال عمليات التسخين والتبريد، إضافة إلى ذلك، فإنه يجب التحقق بشكل كامل من أية مساحات مفتوحة في الشكل الهندسي وتحويلها إلى أماكن "لا لبس فيها Waterlight" حتى نمنع حدوث الأخطاء في عملية الطباعة.

3.3.2 أمثلة التصميم Design Optimization

تعتبر أمثلة التصميم سبيلاً للإستغلال الناجح المؤدي لتخفيض التكلفة في عمليات التصنيع بالإضافة، والهدف من استخدام تكنولوجيا التصنيع المتقدمة هذه، هو تقليل أزمنة الإنتاج وتخفيض التكاليف، وبالتالي يكون تقليل الهدر في المواد خلال عمليات الطباعة شأناً استراتيجياً حيوياً، وهذا يتطلب أن يفهم مهندسو التصميم عمليات الطباعة التي تستلزم وجود الدعائم بهدف بناء وطباعة البنية المطلوبة. فيجب على المهندسين إيجاد التصميم الذي يتطلب أقل ما يمكن من المادة الداعمة والتي يمكن أن تزال بسهولة حالما تنتهي عملية طباعة القطعة.

وأيضاً، يجب على المهندسين أن يوجدوا نوعاً من الموازنة بين الكثافة والقوى وإنهاء السطوح، وبين مادة البناء الموافقة التي تم اختيارها، وبين سرعة الطباعة وتقنية التصنيع بالإضافة المستخدمة.

وكتلخيص لما سبق بدءاً من نقطة البحث عن مصادر للنموذج المراد الحصول عليه مروراً بإجراءات التصميم والأمثلة إلى مراقبة عمليات الطباعة، نجد أن دور البرمجيات المستخدمة في التصنيع بالإضافة مهم جداً في كل خطوة عند مرحلة بناء النموذج أو المنتج النهائي وتطويره.

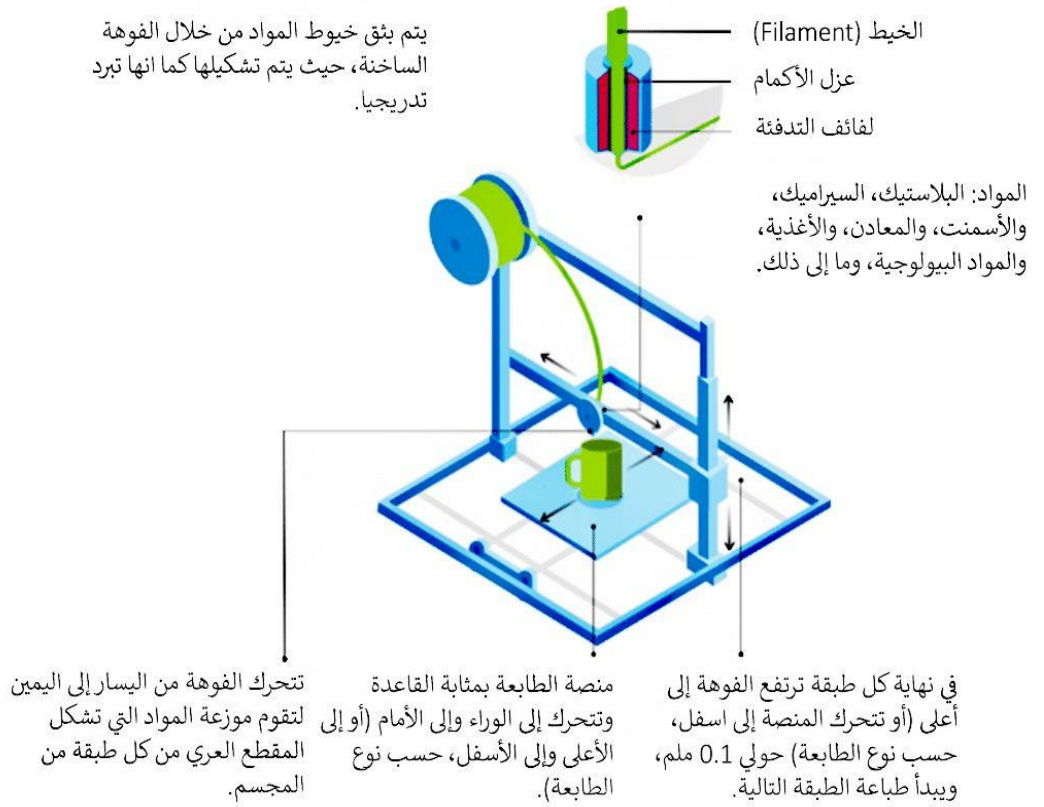
وتتطلب طرائق النمذجة معرفة جيدة بالخطوات العملية للتصنيع بالإضافة وبنوع المواد الواجب استخدامها وبتقنية التصنيع بالإضافة المتبعة.

وعلاوة على ذلك، فإنه يجب الأخذ بعين الاعتبار أن اللجوء لعمليات أمثلة التصميم وتطبيق البنى الشبكية عوضاً عن الأشكال الهندسية المصمتة للقطع المراد الحصول عليها يجب أن يكون هدفه هو تقليل استهلاك المواد مع الإبقاء على متانة المنتج الجاري بناؤه.

وإن التطبيق الناجح للتصنيع بالإضافة من أجل تحقيق الفوائد من تخفيض التكاليف وتحقيق فترات إنتاج سريعة يستلزم من الجهات الصانعة ومن المهندسين أن يختاروا طرائق وتقنيات التصنيع بالإضافة الصحيحة والبرمجيات الصحيحة كذلك.

وبناء على ذلك، فإن تكنولوجيا التصنيع بالإضافة ليست سهلة كما هي الحال التي تبدو عليه، فهناك الكثير من الأمور المتعلقة بها، غير بساطة بناء النموذج باستخدام برامج التصميم عبر الكمبيوتر ومن ثم الضغط على زر الطباعة.

4.2 مراحل عمل تكنولوجيا التصنيع بالإضافة



شكل 7.2 آلية عمل الطابعات

اكتسبت تكنولوجيا التصنيع بالإضافة دورا أساسيا في عملية التصنيع، باعتبار أنها تسهل بناء أجزاء مختلفة من خلال إضافة الطبقات المتعاقبة باستخدام برامج الكمبيوتر ثلاثية الأبعاد، ولا تتطلب هذه التقنية أدوات القطع ومحاليل التبريد أو المصادر الإضافية الأخرى المستخدمة في عمليات التصنيع التقليدية، إذ تسمح هذه التقنية بالإستفادة المثلى من التصميم، بالإضافة إلى القدرة على إنتاج أجزاء مخصصة حسب الطلب، وتمتاز هذه التقنية بالعديد من المزايا عن الصناعات التقليدية مما أدى إلى تسمية التصنيع بالإضافة (بالثورة الصناعية الثالثة).

وتختلف هذه التكنولوجيا عن تكنولوجيا إزالة المواد في عمليات التصنيع التقليدية، إذ تستند تماما على فكرة معاكسة من خلال تشكيل طبقة تلو أخرى وتماسك المواد في تكوينات افتراضية، ويمكن تطبيق مجموعة واسعة من المواد الخام في تكنولوجيا التصنيع بالإضافة من أدنى درجة انصهار للمواد البوليمرية إلى أعلى درجة لـ ذوبان المعادن والسيراميك إضافة إلى أنواع مختلفة من المواد بما في ذلك السوائل والمساحيق والأسلاك.. إلخ.

فإن إنتاج أجسام مادية في فترة قصيرة مباشرة من نماذج CAD يساعد على تقصير خطوات تطوير الإنتاج، وتشتمل طريقة عمل التصنيع بالإضافة AM على إضافة طبقات من المادة لتكوين الأجزاء، وتكون كل طبقة عبارة عن مقطع عرضي رقيق مشتق من بيانات CAD الأصلية، إذ تكون هذه الطبقات بسمك محدود وبطريقة تجعل من تراتبها فوق بعض تجسيدا تقريبيا للشكل الأصلي، **وتكون هذه المراحل كالآتي:**

شكل 8.2 مراحل الطباعة

1. **التصميم بالحاسوب CAD:** يجب أن تبدأ كل أجزاء التصنيع بالإضافة من نماذج برمجية التي تتضمن كل تفاصيل التكوين النهائية للمنتج. والتي تبنى بواسطة برامج الـ CAD المتخصصة، مثلما الحال كذلك في معدات الهندسة العكسية Reverse Engineering Equipment كالليزر والمسح الضوئي التي يمكن أن تستخدم أيضا بمجال تكوين النماذج المجسمة.
2. **التحويل إلى الملفات المجسمة stereolithography (STL):** كل آلات AM تقبل الملفات المجسمة، والتي أصبحت من المعايير الفعلية التي يحتويها أي نظام CAD متخصص إذ تصف هذه الملفات الأسطح الخارجية للنموذج الأصلي وتشكل أساسا لحساب الشرائح.
3. **النقل إلى آلة التصنيع بالإضافة ومعالجة ملفات STL:** يجب نقل ملفات STL التي تصف الأجزاء إلى آلة AM والتي قد يحدث فيها بعض التعديلات العامة للملف كتعديل الحجم والموضع والتكيف مع التكوين.
4. **إعدادات الآلة:** يجب ضبط إعدادات آلة AM قبل عملية الإنشاء إذ تتصل هذه الإعدادات بمعايير البناء مثل القيود المادية ومصدر الطاقة وسمك الطبقة والتوقيت.. إلخ.

5. **البناء :** إن عملية التشكيل هي عملية مؤتمتة في الأساس ويمكن للآلة أن تقوم بعمليات تشكيل كثيرة دون حاجة للتدخل، باستثناء عملية الإشراف للتأكد من عدم حدوث أخطاء كنفاذ المواد أو الطاقة أو خلل في البرامج التشغيلية.. إلخ.

6. **الإزالة:** بمجرد انتهاء آلة التصنيع بالإضافة من البناء يتوجب إزالة الأجزاء، وهذا قد يتطلب تفاعلا مع هذه الآلة في جوانب قد تتعلق بالسلامة، مثل التأكد أن درجات حرارة التشغيل منخفضة أو أن هنالك أي أجزاء لا تزال متحركة.

7. **المعالجة البعدية:** حال إزالة الأجزاء من الآلة، قد تتطلب هذه الأجزاء أعمال إنهاء إضافية كالتنظيف مثلا أو قد تكون هنالك أجزاء ضعيفة أو أجزاء أخرى يجب إزالتها والتي قد تتطلب في كثير من الأحيان المزيد من الوقت والحذر من قبل فنيين متخصصين.

8. **قابلية التطبيق العلمي:** بعض الأجزاء قد تكون جاهزة للإستخدام المباشر أو قد تكون بحاجة إلى إجراء معالجات إضافية قبل أن تكون مقبولة للإستخدام كالطلاء، وقد تكون هنالك حاجة أيضا لتجميعها مع أجزاء أخرى ميكانيكية أو مكونات إلكترونية لتشكيل النموذج النهائي.

5.2 الفرق بين التصنيع بالإضافة والتصنيع بالتحكم الرقمي CNC

يخلط البعض بين تكنولوجيا التصنيع بالإضافة وتكنولوجيا التصنيع بالتحكم الرقمي بسبب اعتماد كلا الطريقتين على استخدام الحاسب الآلي، وفي الحقيقة هنالك بعض المشتركات بين التصنيع بالإضافة وتقنية التصنيع باستخدام الحاسب الآلي CNC، إذ تعتمد الأخيرة أيضا على الكمبيوتر في تصنيع المنتجات، إلا أنها تختلف في كونها تعتمد على عملية الطرح بدلا من عملية الإضافة، ولذلك فهي تتطلب كتلة من المواد تكون أكبر من الجزء المراد تصنيعه، **وتشتمل هذه الفروقات على الجوانب الآتية:**

1. **الخامات:** تم تطوير تقنية AM للتعامل مع المواد البوليمرية الشمعية والصفائح الورقية، وأحرزت بعد ذلك تقدما من خلال استخدام المواد المركبة والمعادن والسيراميك، فيما تستخدم CNC المواد الهشة نسبيا مثل اللوح الليفي Medium Density Fiberboard (MDF) والمواد الرغوية والشمعية وحتى بعض البوليمرات، غير أن استخدام تقنية CNC لتشكيل المواد تركز أكثر على إعداد الأجزاء لإستخدامها في عمليات متعددة المراحل كالصب، كما وأنها تكون ممتازة في تشكيل المنتجات النهائية وخصوصا في مواد الفولاذ وسبائك المعادن الأخرى لإنتاج أجزاء عالية الدقة وجيدة الإنهاء، بينما على العكس تحتوي بعض أجزاء تقنية التصنيع بالإضافة على فراغات أو تباين في سطوحها.

2. **السرعة:** تكون مكائن CNC أسرع بكثير من مكائن AM من خلال إزالة نفس كمية المواد التي تشكلها مكائن AM، ولكن تتطلب تقنية AM مرحلة واحدة لإنتاج تكوين ما بينما تتطلب تقنية CNC إلى عدد من المراحل وخاصة في الأجزاء معقدة التكوين، لذلك يجب أن يكون الحكم في جانب السرعة شاملا للعملية التكوينية للمنتج كاملا وليس مقصورا على بعض الأجزاء.

كما أن عملية التكوين باستخدام تقنية CNC تكون متعددة المراحل، الأمر الذي يتطلب إعادة تموضع أو نقل الأجزاء وتحريكها داخل الجهاز الواحد أو استخدام أكثر من جهاز، بينما على العكس في تقنية AM قد يتطلب التكوين بضع ساعات فقط، وغالبا ما يتم تشكيل أجزاء متعددة ومختلفة في عملية تكوينية واحدة.

3. **التعقيد:** تتميز تقنية AM بقدرتها على إنتاج أجزاء فائقة التعقيد على العكس من تقنية CNC التي لا يمكن من خلالها تشكيل بعض التفاصيل كالمنحنيات وغيرها من التفاصيل الداخلية في المنتجات المصنعة أو التفاصيل الأخرى التي تتطلب إجراء عمليات إنتاج إضافية بواسطة أجهزة إضافية مختلفة أو أحيانا تتطلب تقسيم بعض التكوينات إلى مجموعة أجزاء ثم يتم تجميعها في مرحلة لاحقة، بينما تكون عمليات التصنيع بالإضافة غير مقيدة ويمكن من خلالها تشكيل أي تفاصيل بدون عمليات إضافية مساعدة، فعلى سبيل المثال لو أردنا صنع سفينة داخل زجاجة فعلى الأرجح ستقوم الأجهزة التقليدية بتصنيع كل من السفينة والزجاجة على حدى ثم محاولة إيجاد طريقة لوضع السفينة داخل الزجاجة، بينما باستخدام طريقة التصنيع بالإضافة فيمكن بناء هذا النموذج بعملية واحدة فقط.

4. **الدقة:** تعمل آلات التصنيع بالإضافة بدقة تصل إلى بضع عشرات من المايكرون Microns، كما أن آلات التصنيع بالإضافة يمكن أن تعمل بدقة مختلفة وعلى اختلاف محاورها، وفي الناحية الأخرى تعتمد دقة آلات التصنيع CNC على قطر أدوات القطع الدوارة التي تقوم بحفر الخامات وتشكيلها.

6.2 تحسين المواد من خلال عمليات التصنيع بالإضافة

في الوقت الراهن، يقوم بعض الباحثون في جامعة ميسوري للعلوم والتكنولوجيا Missouri University of Science and Technology بتطوير مواد غير موجودة حالياً بالإستفادة من تكنولوجيا التصنيع بالإضافة Additive Manufacturing.

الفائدة تكمن في كون هذه المواد أقوى وأخف من نظيراتها التقليدية، وربما تكون أقل كلفة وأكثر فعالية عند التصنيع، وقد أطلق الباحثون على العملية التي تؤدي إلى الحصول على مثل هذه المواد اسم تكنولوجيا التصنيع المترابط Cyber Manufacturing Technology وهي تكنولوجيا جديدة في الهندسة الصناعية تعتمد على ربط تقنيات التصنيع المختلفة وتجهيزاتها فيما بينها بقاعدة بيانات ومجهزة

بشبكة من الحساسات لأخذ المعلومات بحيث تتم معاينة المعلومات المسجلة والمأخوذه أثناء التصنيع ومقارنتها مع قاعدة البيانات من أجل استصدار قرار الخطوة التصنيعية الموافقة أو التعديل الموافق في العملية الإنتاجية دون أي تدخل من الإنسان، وهذه التكنولوجيا تتكون من عمليات النمذجة والمحاكاة من أجل عمليات التصنيع بالإضافة من جهة ومن شبكة من الحساسات من جهة أخرى ويتم الجمع بينهما باستخدام نظام عمليات متكامل.

شكل 9.2 مسحوق معدني للتصنيع الإضافي

وتعرف المواد الناتجة من تكنولوجيا التصنيع المترابط بالمعادن ذات البنى الأمورفية Structural Amorphous Metals واختصاراً SAMs، وكما في أغلب تقنيات التصنيع بالإضافة والتي تكون فيها مادة البناء عبارة عن مساحيق تقوم حزمة الليزر بصهر المسحوق المعدني المرسل إلى نقطة البناء بحيث يتم ترسيبه طبقة تلوى الأخرى حتى يتم إيجاد الأجسام، وتكون النقطة الحساسة هنا هو الحصول على معدل التبريد بشكل صحيح بحيث يتشكل المعدن بالبنية الأمورفية بدلاً من حالة تشكله الطبيعية وفقاً للهيئة البلورية Crystalline Formation.

وتكون البنية الداخلية للمعادن ذات البنى الأمورفية SAMs عشوائية مثل حبيبات رمل الشواطئ، وفي حين أن المعادن ذات البنية البلورية تتحطم على طول هيكلها الخلوي المنظم (الشبكات البلورية)، فإن المعادن ذات البنى الأمورفية لا تمتلك أي نمط محدد للتشكل، وبالتالي فإنها ستقاوم التحطم بشكل أكبر، أضف على ذلك أنه كلما كانت الحبيبات الأمورفية أصغر كلما كانت مادة المعدن أقوى، وبذلك تكون المعادن ذات البنى الأمورفية SAMs أصلب وأقوى وتمتلك معامل قساوة أعلى من المعادن التقليدية، وهذه المعادن تميل إلى اكتساب خصائص تقلل تأثيرات التآكل وتكون ذات متانة عالية.

هناك نوع آخر من المواد الممكن الحصول عليه بتقنيات التصنيع بالإضافة، وهذا النوع يعرف باسم المواد المتدرجة وظيفياً Functionally Gradient Materials واختصاراً FGMs، وفي هذه المواد

يتم دمج معدنين لا يمكن دمجهما بسهولة، مثل الفولاذ الغير قابل للصدأ والتيتانيوم أو النحاس والفولاذ، وتكمن الفائدة في ذلك هو أننا نستطيع الحصول على خصائص كل معدن على حدى مثل خاصية التوصيل الحراري والمتانة الميكانيكية والتي قد تلزم في بعض التطبيقات الخاصة في مجال صناعة الطائرات والمركبات الفضائية.

فعلى سبيل المثال، للحصول على مادة متدرجة وظيفياً FGM بحيث يكون أحد جوانبها من مادة النحاس بنسبة 100% والجانب الآخر من مادة التيتانيوم بنسبة 100%، فإنه يجب دمج الجانبين باستخدام معادن أخرى تكون بمثابة الجسر الواصل لكي يسد الثغرة بينهما، وعند ذلك فإننا نحصل على مادة جديدة لا تُظهر بالحالة الطبيعية صفات النحاس والتيتانيوم مجتمعة.

ولكن بسبب كون هذه المواد مصنعة أيضاً عن طريق الصهر الليزري حيث تتشكل عند درجات حرارة مرتفعة جداً، فإنه وفي هذه الحالة تعد مسألة معدل التبريد أمراً جوهرياً، فمن الضروري أن يتم دمج المواد قبل تشكل البنية الميكروية أو حدوث أي نوع من التفاعلات الكيميائية.

7.2 مزايا ومجالات تطبيق تكنولوجيا التصنيع بالإضافة

تطورت تكنولوجيا التصنيع بالإضافة خلال 20 عاما لتدخل مرحلة النمو المتقدمة لتصبح الآن منافسة لتقنيات التصنيع التقليدية من حيث التكلفة والسرعة والدقة والموثوقية.

وتعتبر تكنولوجيا التصنيع بالإضافة التي تنطوي على تكامل شامل لتكنولوجيا الليزر وعلوم الأجزاء لإستخدامها في عمليات متعددة المراحل كالصب، كما وأنها تكون ممتازة في تشكيل المنتجات النهائية وخصوصا في مواد الفولاذ وسبائك المعادن الأخرى لإنتاج أجزاء عالية الدقة وجيدة الإنهاء، بينما على العكس تحتوي بعض أجزاء تقنية التصنيع بالإضافة على فراغات أو تباين في سطوحها.

المواد والهندسة الميكانيكية تعتبر ثورة هامة في الصناعات التحويلية ويعتبرها الخبراء بأنها تكنولوجيا الجيل القادم، وتتميز هذه التكنولوجيا بعدة مزايا تنعكس بصورة مباشرة وغير مباشرة على المنتجات الصناعية، إضافة إلى انعكاسات أخرى ترتبط بالمصمم نفسه وبالمستخدم.

1. **سرعة الإنتاج Production Speed:** تتشكل الأجزاء دون الحاجة إلى تشكيل القوالب مما يسمح بإنتاج النماذج والأجزاء من أي تكوينات معقدة وحسب الطلب، مما يجعل من عملية التصنيع عملية مباشرة تقتصر على مرحلة واحدة أو مجموعة مراحل قصيرة حسب طبيعة المنتج.

كما أن تقليل الأجزاء التي تتكون منها المنتجات تسهم كذلك في سرعة الإنجاز دون الحاجة إلى عمليات التجميع والتركيب، إضافة إلى تحقيق وقت أسرع لتسويق المنتجات، وتحقيق سمة السبق بين الشركات المتنافسة.

2. **توفير التكاليف Cost Saving:** أصبحت الشركات التي تستخدم تكنولوجيا التصنيع بالإضافة قادرة على تفادي القيود والحواجز، إذ يمكن معالجة ملفات التصميم رقميا في موقع مركزي واحد، وبعد ذلك يتم إرسال مخططات التصميم الثلاثية إلى أي معمل تصنيع بالإضافة في جميع أنحاء العالم، وبالتالي خلق مصانع رقمية عالمية.

إن أفضل جوانب العملية هو إلغاء الوقت والتكاليف المتعلقة بشحن الأجزاء عالميا، إذ يمكن إنشاء الأجزاء في مصنع رقمي بالقرب من منشأة التصنيع، إضافة إلى أن تكنولوجيا التصنيع بالإضافة تحقق توقع الوقت الحقيقي للإنتاج واستلام الأجزاء، فضلا إلى تقديم منتجات أقل تكلفة للمستخدمين النهائيين من خلال عملية الإستفادة من الحد الأدنى من الموارد مما يسبب من تخفيض أسعار المنتجات وجعلها متاحة للجميع.

3. **التصنيع الأخضر Green Manufacturing:** سهلت تكنولوجيا التصنيع بالإضافة إصلاح واستبدال الأجزاء لمجموعة واسعة من المنتجات المعطلة بدل من إتلافها مما يؤدي إلى تقليل النفايات وكذلك تقليل استخدام الموارد من ناحية الخامات والطاقة.

كما تكون عمليات التصنيع بالإضافة صديقة للبيئة سواء في استخدام مصادر طاقة نظيفة أو حتى في تقليل النفايات الناتجة مقارنة بعمليات التصنيع التقليدية التي يحصل فيها هدر كبير للطاقة وتأثير سلبي كبير على البيئة، لذلك يكون التصنيع بالإضافة مرتبط ارتباطا وثيقا مع التنمية المستدامة والنمو الأخضر.

4. **إمكانية تلبية الإحتياجات** المختلفة لكل فرد من العملاء الأمر الذي يؤدي إلى تحسين الرفاهية العامة بين الأفراد، مع تطور توجهات التصميم الحديثة لم يعد دور المصممين يقتصر على تصميم المنتجات المادية، وإنما بناء أنواع جديدة من العمليات والخدمات والتفاعل مع المنتجات، وسائل الترفيه، وطرق التواصل، وجميع أنواع الأنشطة التي تركز على الإنسان.

وبفضل الإبتكارات التكنولوجية وإمكانات التصنيع بالإضافة فقد أصبح بالإمكان للمستهلك أن يشارك في إنشاء المنتج النهائي، إذ توفر تكنولوجيا التصنيع بالإضافة فرص متواصلة لتطوير المنتجات وتغيير أجزاء معينة فيها وفقا لمتطلبات العملاء واحتياجاتهم دون الحاجة لعمل قوالب جديدة ودون تكاليف إضافية، إن أحد تطبيقات هذا الجانب المهم كان في عام 2014 عندما عرضت تكنولوجيا التصنيع الدولية في شيكاغو أول سيارة مطبوعة بطريقة التصنيع بالإضافة باسم ستراتي Strati والتي طبعت كقطعة واحدة، إذ تم تشكيل جميع هيكل وبدن السيارة باستثناء المكونات الميكانيكية مثل المحرك ونظام التعليق والبطارية والأجزاء الأخرى التي يجب تجميعها بشكل منفصل.

وتأمل الشركة المصنعة (لوكل موتورز) Local Motors في إنتاج السيارة باستخدام تقنية الطباعة الثلاثية بنسبة 90% واستخدام ميزات جمالية مختلفة عالية التخصيص وفقا لمتطلبات كل فرد على حدة، ويعتبر هذا الجانب إنجازا مهما في جانب تطويع المنتجات نحو اهتمامات المستخدمين ومتطلباتهم الشخصية والخروج عن أهم محددات الإنتاج الكمي في إطار المنتج الواحد وبالأخص في مجال تصاميم السيارات التي لا تتغير تصاميمها لثلاث سنوات أو أكثر بسبب محددات الإنتاج الكمي وكلفتها العالية.

شكل 10.2 سيارة ستراتي Strati المنتجة بالطباعة الثلاثية

5. **حرية التصميم The Design Freedom:** لا شك أن النهج المتبع في تقنيات التصنيع الشائعة حدد من إمكانية تغيير المصممين للأشكال الأولية السائدة في التصاميم وتوليد تصاميم مبتكرة لإعتبارات متعددة تتعلق بكلف الإنتاج وتشكيل القوالب وتعقيداتها أو حتى تدخل خبراء الإنتاج، إذ أصبح من الشائع قبول بأن المصممين لديهم حرية محدودة.

إذ يقوم المصممون بتحجيم بعض القيم الجمالية والوظيفية في بعض الأحيان من أجل تقليل تكاليف المنتجات إلى نسب مقبولة بسبب القيود التكنولوجية لأساليب التصنيع التقليدية، وغالبا ما يواجه المصممون عقبة (لا يمكن صنع مثل هذا الشيء) من قبل مهندسي التصنيع مما يضطرهم إلى تعديل تصاميمهم مما يؤثر بطريقة سلبية على تجسيد رؤيتهم التصميمية وتحدد من خيالهم، الأمر الذي ينعكس بالتالي على رغبة المستهلك وطول عمر المنتج.

ويمكن تخطي جميع هذه المشاكل والقيود من خلال تكنولوجيا التصنيع بالإضافة التي أصبحت توفر إمكانية تجسيد أعقد التصاميم وأبعد الخيالات التي من الممكن أن تتحقق بطريقة دقيقة ومبسطة، وبذلك تسمح تكنولوجيا التصنيع بالإضافة بإعادة النظر في الأساسيات والمحددات مما يسهم في إعادة تكوين وخلق منتجات جديدة ومطورة متحررة من قيود التصنيع التقليدية.

فبدلا من الطلب من المصممين بتطوير أفكار موضوعة سابقا، أصبحت الشركات تطلب منهم الآن خلق أفكار مبتكرة تلبي احتياجات المستهلكين ورغباتهم، ليس من أجل خلق منتجات فقط وإنما بخلق خبرات جديدة أيضا.

إذ يعتبر الدور السابق هو دور تكتيكي يؤدي إلى خلق قيم محدودة، بينما الأخير هو استراتيجي يؤدي إلى قيم جديدة، وفي هذا الإطار فإن تفاعل المصممين مع تكنولوجيا التصنيع بالإضافة لا يقتصر على تكوين النماذج الأولية فقط كما كان سابقا، ولكن باعتبارها تكنولوجيا تصنيع إبداعية وملهمة والتي تتطلب طريقة مختلفة للتفكير في قضايا التصميم.

ومن أجل لمس هذا الجانب بتطبيقه المادي نلاحظ المثال الآتي الذي يمثل آلة موسيقية قام المصمم من خلالها بتصميم تكوين مبتكر من خلال الإستعارة الشكلية لشبكة العنكبوت وتوظيفه بطريقة تلائم التكوين العام للآلة دون التقيد بمحددات التصنيع التقليدية أو تكوين قوالب خاصة.

شكل 11.2 آلة موسيقية على شكل شبكة عنكبوت مجسمة

إذ تم تصنيع هذه الآلة باستخدام تقنية **تلبد الليزر الإنتقائي** والتي كانت من الممكن أن تكون مكلفة باستخدام أساليب التصنيع التقليدية، لولا استخدام تكنولوجيا التصنيع بالإضافة التي كانت هنا ضرورة لا بد منها لتجاوز المشاكل المشتركة بين فريق التصميم وفريق التنفيذ فيما يتعلق بإمكانية تنفيذ أفكار المصممين مهما كانت معقدة.

وهكذا أصبحت حرية التصميم Design the freedom من أهم المزايا التي تقدمها تكنولوجيا التصنيع بالإضافة بل وتنفرد فيها، مما يسهم في تطوير أفكار المصممين وإطلاقها لمجالات إبداعية أوسع.

6. **تقليل وزن المنتجات:** يمثل وزن المكونات المادية للمنتجات عنصرا ضاغطا ومؤثرا على التعاطي مع المنتج من نواح عديدة، فالمنتجات الخفيفة تكون أرخص في الشحن، وأسهل في التعبئة والتغليف، وتتطلب عمالة أقل للمناولة.

فضلا عن ذلك فإنها توفر ميزة تسويقية مهمة من خلال إمكانية استخدام خدمات البريد السريع مثل (FedEx , DHL) وغيرها من الخدمات الأخرى في الحصول على المنتجات وإيصالها لمستخدميها النهائيين بأسرع الطرق مع تقليل كلفتها مما يجعل المستهلكين أكثر سعادة ورضى.

بالإضافة إلى فوائد هذا الجانب على المستخدم تحقق تكنولوجيا التصنيع بالإضافة إمكانية إنتاج هياكل خفيفة الوزن وفي نفس الوقت ذات قوة تحمل عالية مما يعطيها ميزة تحسين العلاقة بين المحتوى المادي والأداء.

هذا الجانب ممكن أن يسهم بشكل كبير في تطوير منتجات جديدة تماما وخصوصا في قطاعات مهمة مثل الفضاء والطيران، إذ أصبح للتصنيع بالإضافة له دور مهم في قطاع الطيران وقطاع النقل بشكل عام، من خلال تأثيرها المزدوج على وزن الأجزاء التي يتم نقلها من جهة وانخفاض وزن المركبات والطائرات من جهة أخرى إذ تسهم في خفض نسبة وزن الأجزاء المطبوعة من 40–60% مما يجعل الطائرات تستهلك وقود أقل بكثير، ولذلك تم استخدام الأجزاء المطبوعة بالفعل في طائرات الأيرباص التجارية في الموديلات A310 / A300 ومجموعة A350 / A320.

شكل 12.2 طائرة Airbus مصنوعة بالإعتماد على تكنولوجيا التصنيع بالإضافة

7. **إتمام صفقات المبيعات:** تتفاوت المنتجات في أحجامها، ويكون العديد منها ذات أحجام كبيرة مما يؤثر ذلك سلبا في بعض الأحيان على إتمام صفقات المبيعات، إذ غالبا ما يرغب المستثمرون والمشترون برؤية المنتجات والشعور بها قبل قرار الإستثمار أو الشراء، وهو ما كان صعب التحقيق أو مكلف بدرجة عالية، وقد حققت تقنية التصنيع بالإضافة هذا الجانب وأصبح بالإمكان صنع نماذج مصغرة من أي منتج أو حتى صنع المنتجات نفسها بقياساتها الحقيقية.

وبالتالي تقريب المنتجات من المهتمين وإنجاح عمليات الإقناع، كما ويمكن بناء هياكل خفيفة الوزن بواسطة تكنولوجيا التصنيع بالإضافة بطريقة كاملة أو حتى عن طريق الجمع بينها وبين طرق التصنيع التقليدية لخلق ما يسمى بالمنتجات الهجينة Hybrid Products من أجل استخدام مزايا كل تكنولوجيا لتحقيق أداء أفضل، وتقليل الأجزاء المكونة للمنتج وإمكانية عمل منتج متكامل وكأنه قطعة واحدة، مما يقلل أيضا من طرق الربط وآثارها الشكلية كالثقوب واللحام وأدوات الربط المختلفة.

كما أن بناء الأجزاء كقطعة واحدة دون مفاصل أو أجزاء رابطة تسهل في جعل المنتج أقوى هيكليا وأكثر موثوقية مما يؤدي إلى السلامة الشاملة للمنتج، وخصوصا بالنسبة للأجزاء والمنتجات التي تتعرض لإجهادات عالية.

8.2 **الإستنتاجات Findings**

انعكست تكنولوجيا التصنيع بالإضافة على التصميم الصناعي في أوجه متعددة، يمكن تصنيفها كالآتي:

1. **المصمم**

- تسهم حرية التصميم وتحجيم المحددات التصنيعية فتح باب الإبداع والإبتكار بالنسبة للمصمم وتوجيه أفكاره نحو ماديات أوسع متجاوزا كل العقبات السابقة الأمر الذي يؤدي إلى تكوين تصاميم أكثر خيالا وإبداعا.
- تلافي الأخطاء التصميمية بصورة أسرع من السابق من خلال تجربة وتحليل المنتج واختبار إمكانياته قبل تسويقه إلى المستخدمين.
- تفاعل المصمم مع المستخدمين وفهم احتياجاتهم ورغباتهم مما يؤدي إلى خلق منتجات أكثر نجاحا وقبولا وقربا من المستخدمين.

2. **المنتج**

- زيادة عمر المنتج وإمكانية تعديله وإدامته أثناء مرحلة الإستخدام بسبب إمكانية إعادة طبع أي جزء فيه.
- تكون المنتجات المصنوعة أكثر دقة وموثوقية وذات كفاءة عالية، كما تكون ذات متانة كبيرة بسبب قلة الأجزاء المكونة وتشكيلها بتكوين مجسم واحد وليس أجزاء مجمعة مع بعضها.
- تمتاز المنتجات المصنوعة بطريقة التصنيع بالإضافة بخواصها العالية بسبب خفة وزنها والمرونة العالية في تصميم وتشكيل أجزائها.
- إمكانية تنفيذ المنتجات على اختلاف أشكالها ومهما بلغت من تعقيد، كما تسهم في تلافي جانب (الشكل الواحد) كأحد مظاهر الإنتاج الكمي.

3. **المستخدم**

- تنوع المنتجات المقدمة وزيادة الخيارات المتاحة مع إمكانية الحصول على منتجات مصممة أو معدلة حسب الطلب مما يؤدي إلى توافق المنتجات مع متطلبات المستخدمين واحتياجاتهم وأذواقهم على اختلاف أنواعها.
- إمكانية مشاركة المستخدمين في العملية التصميمية وتطوير الحس التصميمي والإمكانيات التكوينية والذائقة الجمالية لديهم.
- الحصول على المنتجات المطلوبة في أي مكان بالعالم بوقت أقل وكلفة منخفضة.

4. **التسويق**

- إن تقليل الخطوات الإنتاجية ومراحلها يسهم في تقليل البنى التحتية المتطلبة لإنتاج المنتجات، وبالتالي إمكانية أقل تعقيدا وتكلفة في تكوين المنشآت التصنيعية.
- يسهم تقليل الكلفة الإنتاجية إلى تقليل أسعار المنتجات إلى الحد المقبول مما يسهم في انتشار المنتجات بين شرائح مختلفة من المستخدمين ورواج تلك المنتجات.
- تعزيز عمليات الإقناع بالنسبة للمستثمرين والمهتمين بسبب مزايا عملية التصنيع بالإضافة في توفير نماذج حقيقية مجسمة للمنتجات على اختلاف أنواعها وأحجامها.
- تحقيق السبق عن الشركات المتنافسة بسبب تقليل وقت التصميم والتحليل والتصنيع وانخفاض الكلفة.
- إمكانية إيصال المنتجات إلى المستخدمين في أي مكان سواء عن طريق طبعها مباشرة في أماكن قريبة منهم أو حتى من خلال إمكانية إرسالها عن طريق البريد السريع بسبب خفة وزنها.

9.2 **التوصيات** Recommendations

- ضرورة استخدام الكليات والأقسام التصميمية لتكنولوجيا التصنيع بالإضافة بسبب إمكانياتها المتقدمة في تصنيع النماذج والمنتجات مما يساعد بصورة فاعلة في تنفيذ تصاميم الطلاب بطريقة سريعة وغير مكلفة ودون الحاجة إلى استخدام ورش متعددة تتطلب عدد غير قليل من المكائن والمعدات، فضلا عن انتفاء الحاجة إلى التعاقد مع شركات ومعامل الإنتاج لأداء هذا الغرض.
- ضرورة استحداث مناهج جديدة في موضوع الطباعة الثلاثية تساهم في تدريب الطلاب على التصميم من خلال التطبيقات الخاصة بهذه التكنولوجيا من أجل تهيأتهم لاستخدامها سواء في مراحل الدراسة أو في حياتهم العملية.

10.2 الخلاصة Conclusion

تلعب التكنولوجيا الحديثة دورا فاعلا ومؤثرا في مجالات عدة، إذ تعتبر (الوسيلة والغاية) في أي نتاج تصميمي، ولا شك أن تكنولوجيا التصنيع بالإضافة أحد أهم التكنولوجيات المستحدثة التي تنعكس آثارها بشكل واضح وملموس في مجال التصميم الصناعي المعاصر والذي أصبحت تمثل التكنولوجيا الحديثة فيه أهم عناصر السبق والمنافسة.

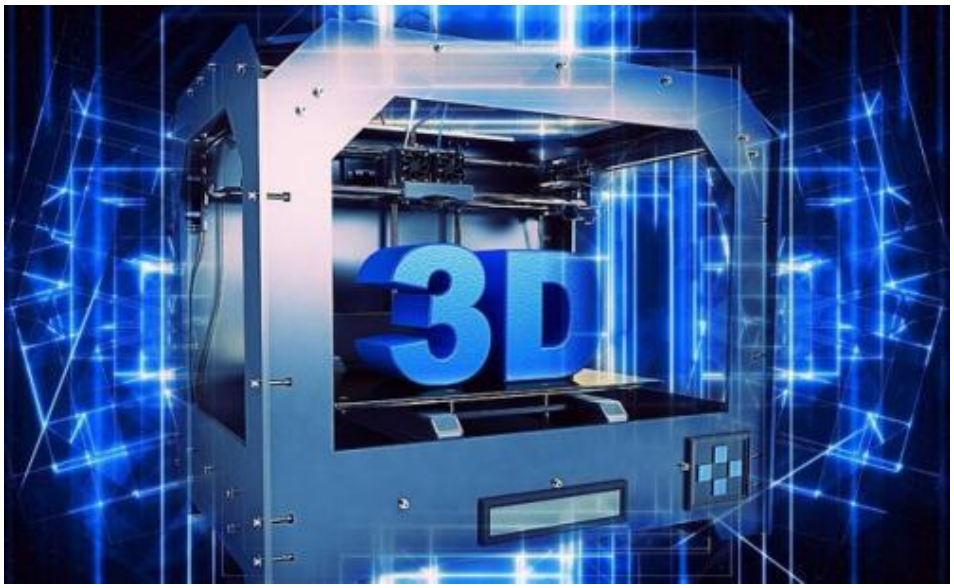
وبسبب تميز هذه التكنولوجيا من خلال تجاوز السلسلة الطويلة لأساليب الإنتاج التقليدية فهي تشكل إضافة مهمة في مجال التصميم الصناعي بما يمكن أن تقدمه، ليس في مجال تصنيع النماذج الأولية فحسب، وإنما في كل جوانب تصميم المنتجات.

إذ أصبح يمكن من خلالها تجاوز معظم المحددات والجوانب الضاغطة في تصميم المنتجات مثل التعقيد الشكلي وتطويع المنتجات حسب متطلبات المستخدم وتحقيق السبق من خلال مزايا سرعة الإنتاج وتوفير التكاليف وإتمام صفقات المبيعات فضلا عن جوانب البيئة ومتطلبات التصنيع الأخضر، كل هذه الجوانب مرحلة وعتبة جديدة من الإبداع والإبتكار وجب التهيؤ لها واستثمار كل ما فيها.

الفصل الثالث

الطباعة الثلاثية الأبعاد

3D printing



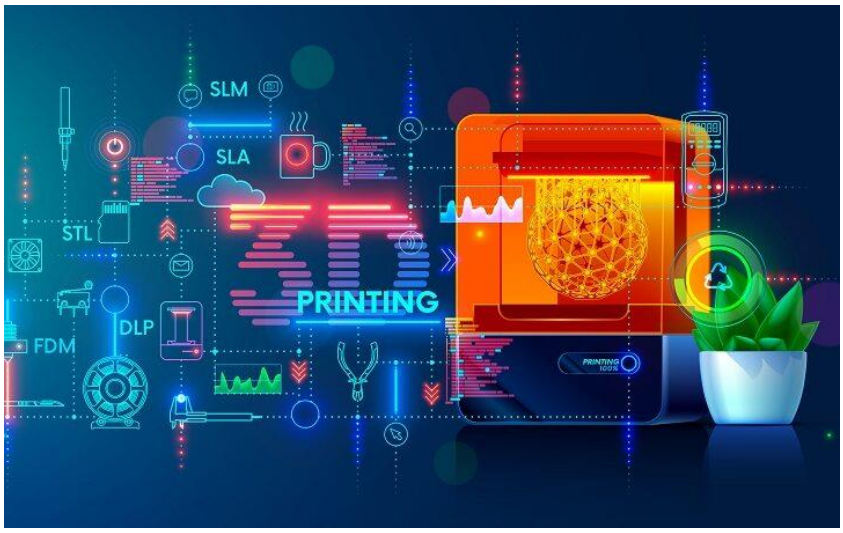
يهدف هذا الفصل إلى التعرف على كل ما يتعلق بالطباعة ثلاثية الأبعاد، والتي أصبحت موضوعًا بارزًا لما لها من أهمية كبيرة في التطور السريع الحاصل في تقنيات التصنيع.

هذا الفصل يستعرض مواضيع مهمة حول الطباعة ثلاثية الأبعاد بدايةً من تاريخ تطور هذه التكنولوجيا وتعريفات مبسطة لها، بالإضافة إلى نظرة على الطرق الأكثر شيوعاً لهذه التقنية والتي منها طريقة التلبيد الإنتقائي بالليزر (SLS) وطريقة البناء بالترسيب (FDM)، بالإضافة إلى طريقة البلمرة الضوئية مع شرح مبسط لكل طريقة.

تم أيضاً عرض أهم المواد المستخدمة في تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد، وهي مواد مختلفة تستخدم في عملية التجسيم كالسراميك والنايلون وغيرها، ومع نهاية هذه الدراسة تم التطرق لمستقبل هذه التقنية في ليبيا والعالم العربي.

1.3 **المقدمة**

الطباعة ثلاثية الأبعاد هي عبارة عن مجموعة من عمليات صناعية، يستخدم فيها مواد تصنيع مختلفة وتتم بطريقة تسمى طريقة الطبقة فوق طبقة أو عملية التصنيع بالإضافة Additive Manufacturing وهي طريقة لصناعة نماذج ثلاثية الأبعاد حيث يمكن خلق نموذج كامل في عملية واحدة [4].



شكل 1.3 تكنولوجيا توفر التكاليف والوقت وتنقذ البيئة

إن التطور الصناعي والتكنولوجيا الصناعية في عصرنا الحديث باتت تسبق الزمن، وكلما تعرفنا واكتشفنا تكنولوجيا أو طريقة جديدة من طرق التصنيع نجد أن العالم من حولنا قد باشر في استخدام طرق أكثر سرعة وأكثر تطور، ومن هذه التطورات ظهرت إلينا الطباعة ثلاثية الأبعاد أو ما يعرف بالتصنيع بالإضافة.

يمكن تعريف الطباعة ثلاثية بأنها القدرة على إنتاج جسم حسب الطلب وبمواصفات خاصة وبكبسة زر واحدة، وذلك بعد تصميم الشكل أو الجسم المراد تصنيعه أو طباعته باستخدام برامج التصميم المعروفة، ولعل أبرز هذه البرامج هي Solidworks ، 3D Studio ، Light Wave 3D ، وغيرها من البرامج، حيث يعنى هذا البرنامج بتصميم القطع الصناعية المعقدة وذات الأشكال المختلفة، ويتم التصنيع بالطباعة ثلاثية الأبعاد عن طريق رص طبقات من المادة الخام فوق بعضها البعض حتى يكتمل الجسم المراد تصنيعه، وتضم الطباعة ثلاثية الأبعاد العديد من تقنيات التصنيع وطرق مختلفة تتغير بشكل ملحوظ، ولكن كل هذه التغيرات تدار ببرنامج كمبيوتر مساعد وهذا البرنامج يكون عبارة عن مسح رقمي أو نموذج مصمم، وتجرى العمليات عن طريق برنامج يقوم بتقسيم المنتج إلى طبقات رقيقة يتم طباعتها طبقة بعد طبقة [6].

ومن مميزات الطباعة ثلاثية الأبعاد أن المادة الخام تمر بعملية تصنيع واحدة على عكس طرق التصنيع الأخرى التي تمر فيها القطعة المراد تصنيعها على عدة مراحل في كل مرة تكتسب فيها خواص وشكل جديد، وهذا يوفر الكثير من الوقت والجهد، وتتميز الطباعة ثلاثية الأبعاد بمبدأ التخصيص، حيث يمكن التخصيص للمنتج والتصنيع بالطلب، وهذا ما يغير في سياسة التوظيف.

وقد لفتت أنظار الكثير حول العالم من الصانعين والباحثين وحتى السياسيين ومن أبرزهم حاكم دبي، حيث صرح أنه بحلول عام 2030 ستتم طباعة 25% من مباني دبي، كما صرح رئيس أمريكي سابق في خطاب له أمام الكونغرس الأمريكي قائلاً إنها الثورة الصناعية [8].

وهنا نعود بالزمن لذكر أول الثورات الصناعية التي بدأت من بريطانيا في نهاية القرن الثامن عشر باختراع الطاقة البخارية وظهور الماكينات التي تصنع الصوف والغزل وحولت هذه الصناعة من حرفة يدوية منزلية إلى عمليات صناعية بآلات تتم في مصانع ضخمة.

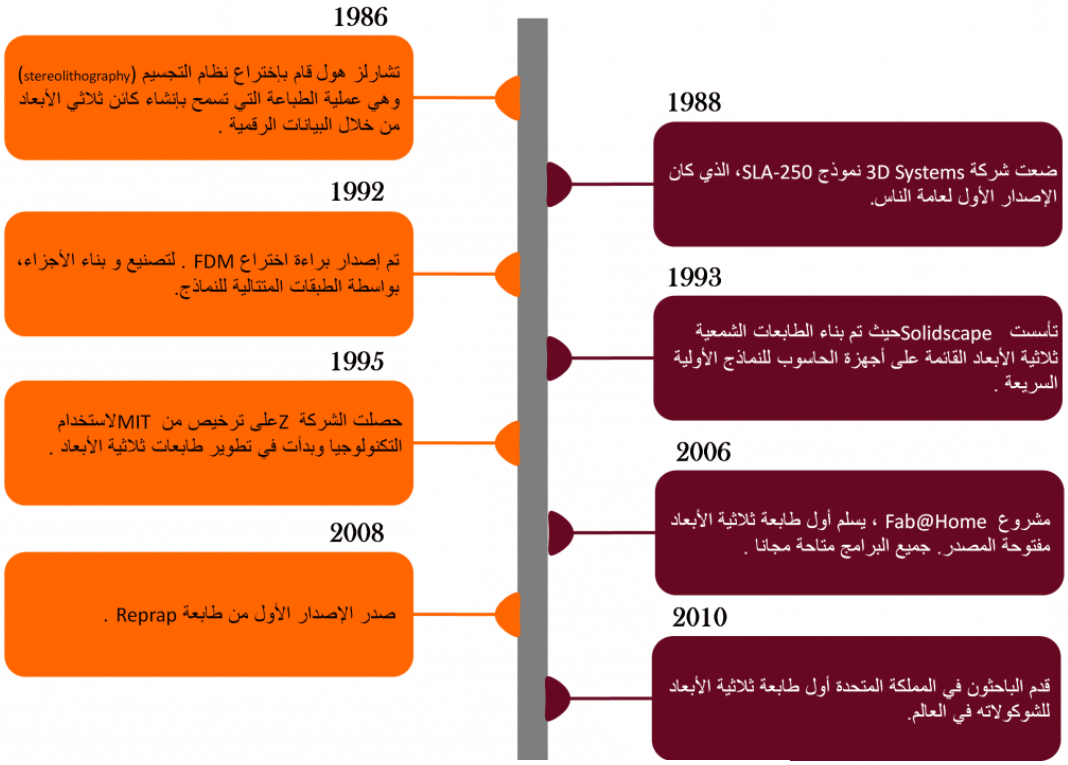
أما الثورة الصناعية الثانية فقد جاءت في بداية القرن العشرين مع اختراعات إنتاج الحديد والنفط والكهرباء، أو ما يسمى بعصر التصنيع الكمي، حيث تمت الإستعانة بخطوط الإنتاج و تم تقليص زمن التصنيع إلى عشر زمن ما قبل استعمال نظام خطوط الإنتاج، وكان الفضل في ظهور خطوط الإنتاج المتحركة لـ هنري فور الذي قلص زمن تصنيع السيارات وأصبحت تصنع بشكل كمي [8].

2.3 تاريخ تكنولوجيا الطباعة الثلاثية الأبعاد

التصميم بالطباعة ثلاثية الأبعاد أو ما يعرف بالتصميم بالإضافة اعتمد هذا المصطلح من قبل ESTM المنظمة العالمية للمقاييس عام 2010 [8].

وقد وضح كل الباحثون أن الطباعة ثلاثية الأبعاد لها دور كبير في اختصار الوقت والجهد، ولهذا كل العالم يتجه إلى الطباعة ثلاثية الأبعاد، وهي تساعد في تصنيع المنتجات المركبة من عدة مواد وذات التعقيد الشكلي والمادي حيث تبعدنا عن استخدام الطرق الأخرى التقليدية التي تهدر الوقت والمال والجهد [1].

وهنا يتضح معنى الثورة الصناعية حيث نخرج من قيود طرق التصنيع الأخرى ونجد في الطباعة ثلاثية الأبعاد حرية التصنيع بدون أي صعوبات، ونعود بالزمن مرة أخرى لنعرف كيف تطورت هذه التقنية حيث في عام 1986 حيث أول طابعة ثلاثية الأبعاد سجلها " شاك هو " في أمريكا، وفي عام 1988 سكوت كرامب صنع ضفدع صغير لابنته واكتشف هذه الفكرة، وهي الطابعات البلاستيكية المتوفرة في الأسواق الآن [2].



شكل 2.3 لمحة تاريخية عن الطباعة الثلاثية

وفي 1993 مجموعة من الباحثين في LMIT شركة لوكهيد مارتن لتقنية المعلومات قاموا بتطوير تقنية لطباعة الجبس وصناعة السيراميك، وفي عام 1996 طورت معامل ناس الأموس تقنيتين لطباعة أجزاء معدنية باستخدام الليزر وبناء الليزر بشكل طبقي، وفي عام 2007 قامت شركة استراتسس بتطوير تقنية البوليجت تعمل بنفس النظام الطبقي ولكنها بطبقات مختلفة، وهذه التي تمكن المصنع من إنتاج منتج مركب من عدة مواد ومواصفات مختلفة.

وفي عام 2005 أطلقت شركة (Z Corp) أول طابعة ثلاثية الأبعاد عالية الدقة تحت اسم (Spectrum Z510) [3].

وفي عام 2013 قامت شركة M COR بتطوير تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد من أوراق مكتبية، أو بمعنى آخر يمكن استخدام الأوراق الزائدة لطباعة أجسام ثلاثية الأبعاد به [8].

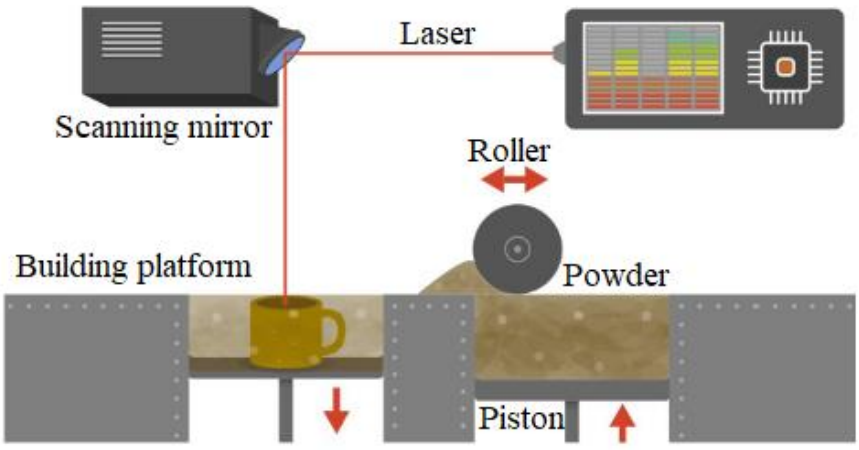
وآخر ما توصل إليه هو التقنية الأخيرة في عام 2014 جامعة وترلو جمعت بين تقنيتين هما البناء بالترسيب المنصهر والباودر بت، ليس فقط لبناء الأجسام ثلاثية الأبعاد بل للتحكم في الخواص الفيزيائية لهذا المنتج.

3.3 طرق الطباعة ثلاثية الأبعاد

إن المبدأ في تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد واحد لا يتغير وهو عبارة عن رص لطبقات من المادة الخام حتى يكتمل الجسم المراد تصنيعه أو عن طريق النحت على المادة الخام باستخدام الطابعات الضوئية أو باستخدام طابعات الليزر.

1.3.3 طريقة التلبيد الإنتقائي بالليزر

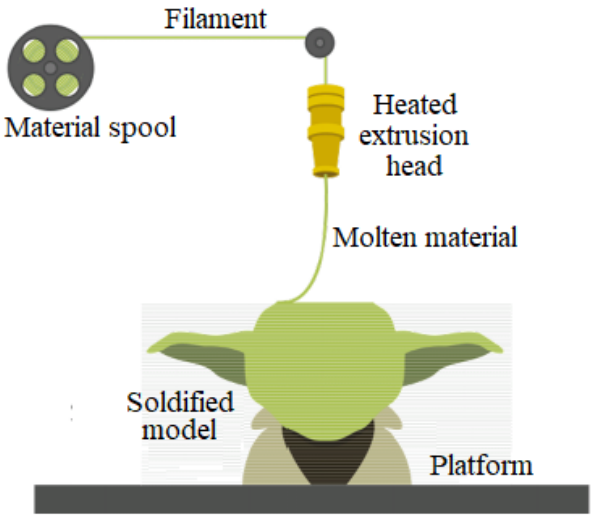
هذا النوع من الطباعة يستخدم فيها الليزر والمادة التي يطبع بها النموذج، وتكون بصورة مواد مسحوقة حيث يوجه شعاع الليزر على سرير من المواد المسحوقة والمضغوطة حسب بيانات النموذج ثلاثي الأبعاد، حيث تبدأ الطباعة على محورين (X , Y) للطبقة الأولى من النموذج، وبتفاعل الليزر مع سطح المسحوق يؤدي إلى إلتصاقها ببعض، ويكون قطعة صلبة حسب التصميم، وبعد الإنتهاء من الطبقة الأولى تمرر اسطوانة 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.



شكل 3.3 طريقة التلبيد بالليزر [2]

2.3.3 **طريقة البناء بالترسيب المنصهر**

تعتبر هذه الطريقة من أكثر طرق الطباعة ثلاثية الأبعاد انتشاراً، ويستخدم في هذا النوع مواد بلاستيكية حرارية عن طريق نفثها خلال نافث أو قاذف، ويتم فيها استخدام سلك من البلاستيك أو المعدن يتم سحبه من البكرة ليغذي فوهة البثق الذي يتحكم في السريان بوقفه أو تشغيله، وحيث تسخن الفوهة حتى تقوم بصهر المادة الخام وتتحرك الفوهة في الإتجاهين الرأسي والأفقي بواسطة آلية ميكانيكية تعمل بالتحكم الرقمي، ويتم التحكم فيها عن طريق برنامج على جهاز الحاسب الآلي ويتم خلق الجسم المراد صناعته عن طريق المادة المنصهرة المنسابة من فوهة البثق حيث تتحول المادة المنصهرة إلى صلبة فور خروجها من الفوهة، واخترع هذه التقنية سكوت كرامب في أواخر الثمانينيات حيث حصل على براءة اختراع وأسس شركة ستراتاسيس عام 1988.

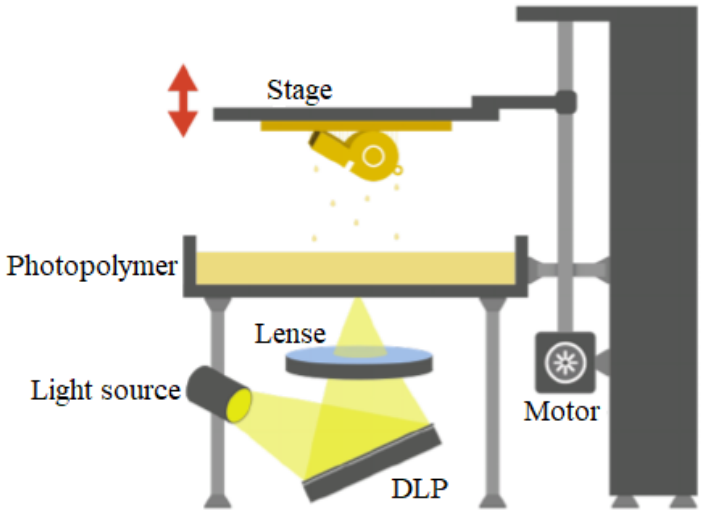


شكل 4.3 طريقة البناء بالترسيب المنصهر [2].

3.3.3 **طريقة البلمرة الضوئية**

يستخدم التبلمر الضوئي في هذه الطريقة لصنع مجسمات صلبة من السوائل وتستخدم هذه الطريقة خزاناً مليئا بـ راتينج سائل ضوئي التبلمر وقابل للمعالجة عن طريق الأشعة فوق البنفسجية بالإضافة إلى الليزر في نطاق الأشعة للجسم النهائي طبقة بعد طبقة، الشكل 5.3 يوضح طريقة البلمرة الضوئية. ولصنع طبقة يقوم الليزر برسم مقطع عرضي من شكل المجسم على سطح السائل والتعرض لليزر الفوق بنفسجي يعالج الشكل المرسوم ويجعله صلباً ويقوم بلحامه بالطبقة السفلية، وبعد أن ينتهي تكوين الطبقة الأولى تهبط منصة الجهاز بالهبوط لمسافة تساوي سمك هذه الطبقة، وعادةً ما يكون سمك هذه الطبقة بين 0.05 إلى 0.15 ملليمتر، وبعدها يبدأ نصل مليء بالراتينج بمسح سطح الجسم ويعيد

تغطيته بطبقة من الخام وعلى هذا السطح السائل يتم رسم الطبقة التالية لتلتحم في الطبقة السابقة لها وقام بتطوير هذه الطريقة عام 1986 تشارليز حيث أسس شركة 3D Systems.



شكل 5.3 طريقة البلمرة الضوئية[2].

4.3 المواد المستخدمة في الطباعة الثلاثية الأبعاد

تسمى المواد المستخدمة في هذه التقنية بحبر الطابعات ثلاثية الأبعاد وكلمة حبر هنا تأخذ معنى أخر عن المعنى المعروف في الطباعة الورقية وحبر الطابعات ثلاثية الأبعاد هو عبارة عن المواد التي تدخل في تصنيع المنتج وتختلف المواد المستخدمة في الطباعة ثلاثية الأبعاد من حيث الشكل فمنها المسحوقة ومنها الخيوط والحبيبات والراتينج **ومن أهم هذه المواد:**

1. **المواد المعدنية:**

هناك العديد من المواد المعدنية المستخدمة في الطباعة وأكثرها استخداماً الألمونيوم ومشتقات الكوبلت وأيضاً من أكثر المعادن وأقواها استخداماً في الطباعة ثلاثية الأبعاد هي المعادن الغير قابلة للصدأ التي لونها الطبيعي نحاسي ويمكن أن يأخذ اللون الذهبي أو البرونزي كما إنه في الفترة الأخيرة تم إضافة النحاس والذهب إلى المواد المستخدمة في الطباعة ثلاثية الأبعاد.

2. **المواد البلاستيكية:**

البلاستك هو من أكثر المواد المستخدمة في الطباعة ثلاثية الأبعاد حيث تتوفر الطابعات البلاستيكية بكثرة وتعتبر من أرخص أنواع الطابعات وأسهلها استخداماً، ويستخدم البلاستيك بصورة عامة في صناعة ألعاب الأطفال، كما يستخدم في صناعة نماذج مصغرة للمشاريع الهندسية، وهناك العديد من الإستخدامات الأخرى، وبصورة خاصة يستخدم النايلون على شكل خيوط أو مسحوق ومن مميزاته المرونة والمتانة.

3. **المواد الحيوية:**

تعتبر طباعة المواد الحيوية هي أكثر المواضيع تشويقاً في تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد، وهناك العديد من البحوث حول طباعة المواد الحيوية في الأغراض الطبية، وتبحث العديد من المؤسسات من أجل تطوير التطبيقات التي تستخدم في طباعة الأعضاء البشرية للزرع بدلاً من استبدال الأنسجة الخارجية للجسم.

4. **يوجد العديد من المواد الأخرى مثل:**

- **الأطعمة:** حيث استخدمت الطباعة ثلاثية الأبعاد في صناعة الشوكولاتة، كما استخدمت في صناعة السكر، وهناك العديد من المحاولات تجرى على طباعة المعكرونة واللحوم، كما أن هناك توقعات باستخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد في طباعة مواد غذائية متوازنة.
- **السيراميك:** السيراميك هي من أكثر المواد التي أثبت نجاحها بالطباعة ثلاثية الأبعاد حيث أنها تخضع لنفس الظروف التي تحتاجها عند صناعتها بالطرق التقليدية.
- **الورق:** حيث إن النماذج المطبوعة بواسطة الورق يمكن إعادة تدويرها وتعتبر أمنة، وهذا ما يجعلها صديقة للبيئة كما أنها لا تحتاج إلى عمليات إضافية كما أن تكلفة معداتها تعتبر قليلة.

5.3 تأثير تكنولوجيا الطباعة الثلاثية الأبعاد عالمياً

تؤثر الطباعة ثلاثية الأبعاد على طرق الإنتاج من عدة نواحي منها الإجتماعية والإقتصادية والبيئية ومن ناحية السلامة والأمان الصناعي.

وتتميز الطباعة ثلاثية الأبعاد بتقريب المنتجات من المستهلك، حيث تبعدنا عن قيود التوريد والتصدير وأيضًا تعطي فرصة الإنتاج حسب الطلب وعلى دفعات حسب الحاجة، وحسب الطلب للحد من تراكم المنتجات.

تحقق الطباعة ثلاثية الأبعاد التوازن الإقتصادي وذلك من ناحية الإستيراد والتصدير وهذا يضع احتمال كبير في تطور استخداماتها وتوسيعها في أغلب الدول فهي تحول من نموذج إنتاج تقليدي إلى نموذج جيد وسريع ذو كفاءة عالية، ويعتقد الكثير من المهتمين بالطباعة ثلاثية الأبعاد أنه يمكن لها أن تكون قادرة على تحقيق العديد من النجاحات وخلق ابتكارات جديدة.

وبعد كل هذه النجاحات في الكثير من المجالات من المتوقع أن تتطور هذه التقنية بصورة أكبر وتخرج إلينا بالعديد من الإبتكارات بما أنها تعد محل اهتمام أغلب الدول وكل الباحثين من جميع النواحي العسكرية والإقتصادية والصناعية وحتى الفنية وسيكون لها دور في خلق عالم جديد مع وجود التكنولوجيا

ولكن من جهة أخرى تعود علينا بآثار سلبية منها فقدان وظائف المصنعين، وهذا يضر أغلب الدول النامية التي ستحتاج وقت لتتغلب على هذه المشكلة.

وبوجه الخصوص لبعض الدول التي تفتقد دورها الصناعي في العالم ستكون لها فرصة كبيرة لدخول هذه الثورة الصناعية والبحث عن مكانها بين الدول الصناعية الكبرى.

الطباعة ثلاثية الأبعاد هي عبارة عن ثورة صناعية كبرى بأدوات بسيطة فهي لا تحتاج إلا للمواد الخام وبعض الخبرات في مجال التصميم والتصنيع لتكوين مؤسسات صناعية كبرى تنتج العديد من المنتجات بشكل سريع وبسيط، وهذا يعتبر قفزة كبيرة لدخول الدول النامية في عجلة الصناعة وتحقيق مكاسب اقتصادية وصناعية وسياسية عن طريق إثبات نجاحها في الصناعة عن طريق استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد.

6.3 مميزات تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد

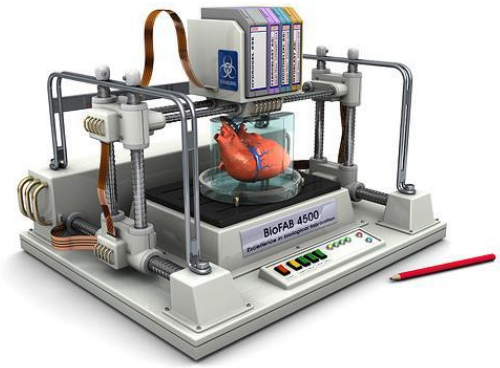
- سهولة تعديل التصميم.
- إمكانية نسخ التصميمات باستخدام نظام مسح ضوئي رقمي Scanning للنموذج الأول بواسطة حاسوب ووب كام وسوفتوير خاص، وبعد ذلك يتم تحويل البيانات إلى منتج ثلاثي الأبعاد من المادة المختارة.
- إمكانية الحصول على أجزاء كبيرة الحجم، الأجزاء البارزة، الأجزاء المتداخلة، والأجزاء المعشقة بزاوية أقل من 90 درجة والتي من الصعب أو المستحيل الحصول عليها بطرق التشكيل التقليدية.
- نظام استرجاع متكامل للخامات.
- لا تستخدم أدوات أو أجهزة كثيرة وبذلك يختصر الوقت والتكلفة.
- لا توجد حدود لمدى تعقيد التصميم.
- تتفوق طريقة الطباعة الثلاثية على طرق التشكيل التقليدية وذلك أن مكونات المنتج في طريقة الطباعة الثلاثية تنافس أداء مثيلاتها التي صنعت بطرق التشكيل التقليدية.
- تكلفة أقل بالنسبة للأشكال المعقدة.
- دورة إنتاج قصيرة جدا.

7.3 تطبيقات الطباعة ثلاثية الأبعاد

1.7.3 في مجال الطب

استخدمت الطباعة ثلاثية الأبعاد في صناعة الأجهزة والأدوات الطبية وفي التعليم حيث يتم صناعة النماذج الخاصة بالأعضاء البشرية، كما أنها تستخدم في صناعة الأطراف الصناعية وغالباً ما تكون

تكاليفها أقل، وأيضا استخدمت الطباعة ثلاثية الأبعاد في مجال طب الأسنان ومجال التشخيص الطبي حيث تستخدم في تشخيص الأمراض الأكثر تعقيدا مثل السرطانات.



شكل 6.3 طباعة الأنسجة والخلايا الحيوية[3].

2.7.3 **في الأحذية والملابس**

استخدمت الطباعة ثلاثية الأبعاد مؤخراً في صناعة الملابس كما أنها استخدمت في صناعة الأحذية بالشكل والحجم المطلوب، وأيضاً في صناعة القبعات والحقائب وكل ما يتعلق بالموضة وكل هذا بشكل ثلاثي الأبعاد.

3.7.3 **المجوهرات**

في هذا المجال تستخدم النماذج والقوالب في تصنيع المجوهرات، ولكن بعد استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد لا نحتاج إلى هذه القوالب ولا لصب المعادن الثمينة، حيث يمكننا صناعة المجوهرات بعد تصميمها عن طريق الطباعة وبشكل سريع وبتكاليف أقل وبدون تخصيص.

شكل 7.3 مجوهرات مصنعة بالطباعة ثلاثية الأبعاد[2].

4.7.3 في مجال السيارات

في 25-5-2015 كشفت الصين النقاب عن أول سيارة ركاب منتجة باستخدام تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد في هاينان بجنوب الصين، كما إنه في السابق تم استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد في صناعة قطع غيار السيارات والإطارات، وهذا يساعد في صنع قطع الغيار بالطلب.

شكل 8.3 سيارة مصنوعة بالطباعة ثلاثية الأبعاد[1].

5.7.3 في مجال الطائرات والفضاء

استخدمت الطباعة ثلاثية الأبعاد في صناعة قطع غيار الطائرات والمركبات الفضائية وبسبب الطبيعة الحرجة في تطوير الطائرات فإن أعمال التطوير والبحث تحتاج إلى مقاييس حاسمة، ومع ذلك يتم استخدام طابعات ضخمة في صناعة الأجزاء الأساسية في الطائرات في الكثير من الشركات ومن أبرز هذه الشركات شركة Airbus / EADS.

6.7.3 في مجال الهندسة المعمارية والبناء

تصنع النماذج المصغرة للمشاريع الهندسية بشكل سريع ودقيق بواسطة الطباعة ثلاثية الأبعاد، وفي الآونة الأخيرة يحاول بعض المهندسين والإنشائيين استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد في البناء، حيث استخدمت بعض الشركات الصينية الطباعة ثلاثية الأبعاد في بناء هياكل كاملة للبيوت والمباني.

شكل 9.3 نموذج مصغر لمشروع هندسي [1].

7.7.3 في مجال الفنون

وقد برزت أسماء فنية في مجال الفنون والنحت حيث استخدموا الطباعة ثلاثية الأبعاد في الفن بطرق عديدة، وتكاد تكون مستحيلة بدون استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد، ومن أبرز هذه الأسماء هم نايك ايرفينك وليونيل ديان وديزنك أوف، وفي الوقت الحالي تصنع الكثير من التحف والهدايا المعقدة عن طريق الطباعة ثلاثية الأبعاد.

شكل 10.3 منتج مطبوع 3D

8.7.3 في الإلكترونات والروبوتات

بعد تطوير الطباعة ثلاثية الأبعاد لا نحتاج إلى الدوائر المكشوفة حيث يمكننا بالطباعة ثلاثية الأبعاد طباعة هياكل الروبوتات والإلكترونات المطلوبة بكل سهولة.

شكل 11.3 روبوت مصنوع بالطباعة ثلاثية الأبعاد[1].

8.3 مستقبل الطباعة ثلاثية الأبعاد في ليبيا والعالم العربي

هذا الجزء المهم من الدراسة كان نتيجة لبحث مكثف في المصادر العلمية والكثير من مواقع الإنترنت، حيث تم استنتاج أنه كان للدول العربية دورها البارز في هذه التقنية الجديدة، فقد أعلن رئيس اللجنة الوطنية للإبتكار بدولة الإمارات العربية المتحدة عام 2015 عن مشروع بـ دبي، لإنشاء أول مبنى مكتبي على مستوى العالم ستجرى طباعته بالكامل بتكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد، كما أعلنت دولة الإمارات العربية المتحدة في عام 2016 عن مخططاتها لإنشاء مختبرات بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد في مجمع محمد بن راشد آل مكتوم للطاقة الشمسية، وكذلك إنشاء مختبرات لتقنيات الطيران من دون طيار باستخدام طابعات ثلاثية الأبعاد.

وفي جمهورية مصر العربية تم اتخاذ مجموعة من القرارات بمجلس الوزراء لدراسة التحديات الرئيسية للبدء في استخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد، التحديات متعددة وأولها وجود الإطار المؤسسي، وأن وجود تنظيم رسمي يشجع ويضبط تطبيقات الإستخدام يعد من الأولويات أيضاً، كما يقترح وجود جهة بحثية رسمية يوكل إليها تنظيم واستكشاف الإستخدامات المختلفة.

على الصعيد الطبي، تستخدم الطباعة ثلاثية الأبعاد في إنتاج الأطراف الصناعية والأجهزة التعويضية، بما توفره من سهولة في تجسيد الأشياء فيزيائيًا وصنعها، إلا أن المبتكر العربي (محمد العواد) مؤسس شركة ميداتيف فكّر بتطبيقات طبية مبتكرة للطباعة ثلاثية الأبعاد تركز على استخدامها في محاكاة التشوهات والأمراض في أعضاء مرضى معينين بهدف إتاحة الفرصة للأطباء لتشخيصها والتخطيط لعلاجها بصورة صحيحة ودقيقة.

مستقبل الطباعة ثلاثية الأبعاد في العالم العربي هو قفزة صناعية كبيرة رغم أنها محدودة جداً، حيث يكاد ينعدم استخدامها حتى الآن في بعض الدول كـ ليبيا وموريتانيا والمغرب والسودان برغم وجود الكثير من البحّاث في هذا المجال خصوصا في ليبيا، ولكن يبقى العائق الوحيد لتطبيق هذه التقنية في ليبيا هو عدم وجود دعم للبحث العلمي خصوصاً الدعم المالي.

في حال وجود دعم للبحّاث الليبيين فإننا نتوقع أن تأخذ ليبيا مكانها بين الدول الصناعية خصوصاً وأن الأراضي الليبية خصبة بأغلب أنواع المواد الخام اللازمة لعمليات التصنيع المختلفة.

9.3 الخلاصة Conclusion

الطباعة ثلاثية الأبعاد هي تكنولوجيا المستقبل وطريق إلى عالم جديد في مجالات التصنيع بما فيها من استثمار للموارد وحفظ من التلوث، فكما نلاحظ أن الطباعة ثلاثية الأبعاد لا تنتج مواد ملوثة للبيئة ولا تصدر مواد ملوثة أيضاً، فقد نصبح في يوم تستخدم فيه كل المصانع طابعات ثلاثية الأبعاد صديقة

للبيئة واقتصادية، وبعد هذا البحث نكون قد تعرفنا على مفهوم الطباعة ثلاثية الأبعاد وتطورها التاريخي وطرق استخدامها، بالإضافة إلى تطبيقات هذه التقنية وتأثيرها عالمياً.

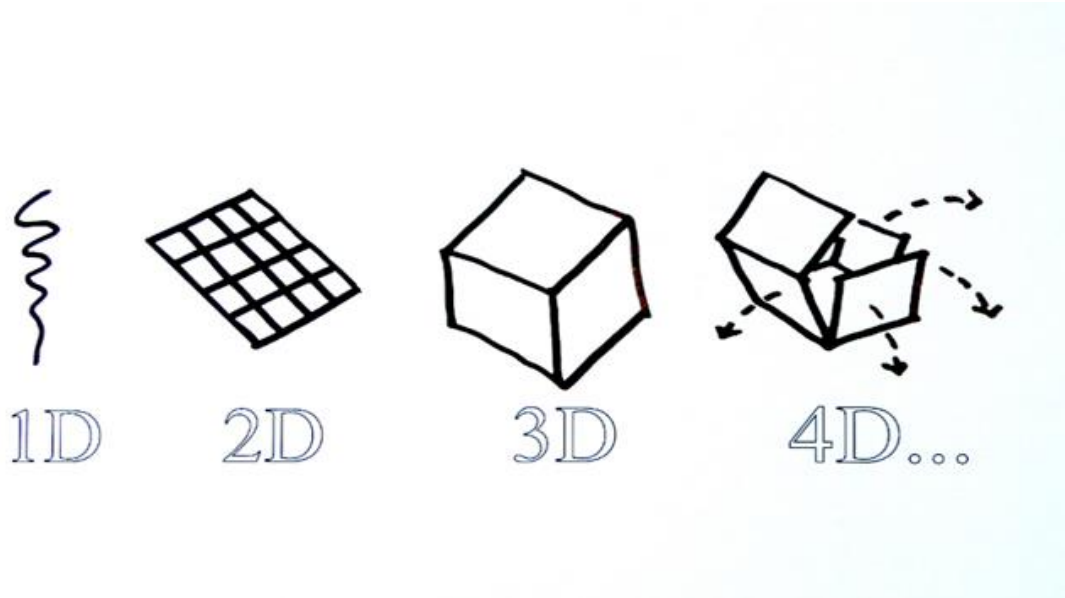
عربياً بينت الدراسات محدودية استخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد حيث كانت الإمارات العربية المتحدة وجمهورية مصر العربية من الدول التي بدأت فعلياً في إدخال هذه التقنية في مجالات التصنيع المختلفة.

وبهذا البحث نكون قد أعطينا فكرة دقيقة عن مفهوم الطباعة ثلاثية الأبعاد، على أمل أن تُطبق تلك التقنية في بلدنا ليبيا والمساهمة في نقله إلى واجهة الدول في الاقتصاد والطب والمجالات المختلفة.

الفصل الرابع

الطباعة رباعية الأبعاد

4D Printing



يتناول هذا الفصل الطباعة رباعية الأبعاد، والتي حظيت باهتمام كبير منذ طرح هذا المفهوم في عام 2012، وشهدت السنوات الخمس الماضية تطورات سريعة في عمليات ومواد الطباعة رباعية الأبعاد. بخلاف الطباعة ثلاثية الأبعاد، تسمح الطباعة رباعية الأبعاد للجزء المطبوع بتغيير شكله ووظيفته بالوقت استجابة للتغير في الظروف الخارجية مثل درجة الحرارة والضوء والكهرباء والماء.

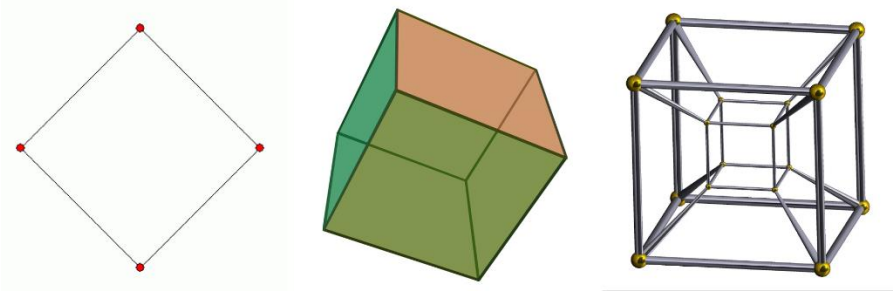
وفي هذه الدراسة، نقوم أولاً بإلقاء نظرة عامة على تاريخ الطباعة رباعية الأبعاد وتعريفها، ثم نلخص التطورات التكنولوجية الحديثة في الطباعة رباعية الأبعاد مع التركيز على الأساليب والتطبيقات، والمواد وروابطها الجوهرية.

1.4 المقدمة

بعد ظهور الطابعات ثلاثية الأبعاد التي تتيح طباعة مجسمات بالأبعاد الثلاثة والإنتشار التدريجي لها، خاصة بعد توفر بعض نماذجها بأسعار مقبولة لدى المستخدم العادي الذي يمكنه استثمارها في طباعة العديد من الأشياء مثل الدمى وقطع بديلة لأدوات المنزل، بدأت تظهر في الأفق ملامح شيء جديد ألا وهو الطباعة رباعية الأبعاد.

يعمل باحثون من معهد ماساتشوستس التقني على تطوير الطباعة رباعية الأبعاد من خلال تطوير طابعات قادرة على إنتاج مجسمات ثلاثية الأبعاد مركّبة من مواد خاصة تتميز بقدرتها على تغيير شكلها مع مرور الزمن أو بعد تعرضها للماء أو الحرارة أو الضوء.

ويوضح قائد الفريق المطور للتقنية الجديدة سكايلار تبيتس أن فريقه يعمل على تصميم مواد قادرة على التحول عند تعرضها لطاقة خارجية مما يسمح بتغيير شكل المجسم المطبوع باستخدامها، مضيفا أن قدرة المواد على تغيير هيكلها هو ما جلب البعد الرابع إلى عملية الطباعة ثلاثية الأبعاد.



شكل 1.4 البعد الرابع

ولتحقيق هذه الطباعة يتوجب استخدام طابعة قادرة على مزج مواد مختلفة والإستفادة من مواد قابلة للبرمجة، حيث إن استخدام مواد كهذه سيسمح على سبيل المثال للإنسان في المستقبل بشراء لوح مُسطح

من أحد متاجر بيع المفروشات، وأخذه إلى المنزل ورش الماء عليه ليتغير شكله ويتحول إلى إحدى قطع المفروشات.

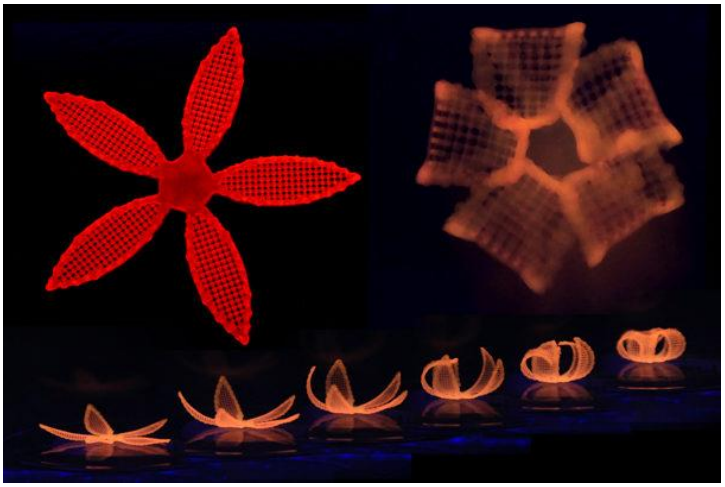
شكل 2.4 مستقبل الأثاث في الطباعة رباعية الأبعاد

وشبه تبيتس قدرة المواد القابلة للبرمجة على تغيير بنيتها بما يحصل لرقاقة خشبية مسطحة تعرضت للبلل، إذ قد تلتف أطرافها ويتغير شكلها، ويختلف هذا التغير حسب نوع الخشب ومكان التعرض للماء، في حين أن المواد التي يعمل عليها فريق الباحثين يجب أن تكون قادرة على تغيير هيكلها لكن بشكل يُمكن التنبؤ به للوصول إلى البنية النهائية المطلوبة للمُجسم المطبوع باستخدام تقنية الطباعة رباعية الأبعاد، ويمكن الإستفادة من التقنية الجديدة في طباعة قطعة من الخشب الصناعي المُبرمَج مُسبقاً عبر تركيبه من طبقات مبنية بعناية وبسماكات متنوعة، بشكلٍ يسمح بتغيير الشكل بطريقة محددة ومدروسة بمجرد إضافة الماء.

وطوّر فريق ماساتشوستس مواد مختلفة قابلة للبرمجة، غير الخشب، كما يعمل على نسيج قماشي يستطيع تغيير شكله ليتحول إلى قبعة على سبيل المثال لدى تعرضه لقطرات المطر، ومواد أخرى على غرار الألياف الكربونية المرنة.

ويعمل فريق الباحثين مع شركة المواد المتقدمة "كاربتكس" على تقنية الألياف الكربونية المرنة والجديدة "C.X 6"، وتم تطوير ألياف كربونية قابلة للبرمجة بحيث تغير شكلها بطرق مختلفة عند تعرضها لطاقة خارجية، ويُساعد مزج هذه الألياف مع مواد أخرى أثناء الطباعة على تحريض أشكال معينة يمكن الوصول إليها عند تعرض المنتج المطبوع إلى الماء أو الحرارة أو الرطوبة.

ومن أهم فوائد المواد القابلة للبرمجة سهولة صناعة أشياء قادرة على الحركة والتفاعل مع البيئة المحيطة بها دون تعقيد أو تطبيق أنظمة تفعيل إلكترونية مرتفعة التكلفة للتحكم بها، مما يعني أن أعطال الأجسام المطبوعة بهذه المواد ستكون نادرة، حيث لن تضم هذه الأجسام بُنى معقدة وبالتالي فإنها ستوفر موثوقية عالية.



شكل 3.4 نموذج مطبوع بتقنية 4D يتغير طبقاً لدرجة حساسيته للماء

كما أكد قائد الفريق المطور للتقنية الجديدة على إمكانيات الإستفادة منها في مجالي الفضاء والطيران، حيث تُنسق شركة صناعة الطائرات الشهيرة "إيرباص" مع معهد ماساتشوستس التقني للإستفادة من تطبيقات المواد القابلة للبرمجة في طائرات الشركة، كما يعمل المعهد أيضا مع شركة صناعة مفروشات لم يسمها.

وتحتاج المواد القابلة للبرمجة وتطبيقات الطباعة رباعية الأبعاد إلى عدة سنوات حتى تنضج، وذلك لأنه يجب اختبارها من قبل الجهات الحكومية المسؤولة قبل اعتمادها وطرحها لتستفيد منها الشركات ومراكز الأبحاث أو حتى المستخدم العادي.

2.4 بعد رابع في مستقبل الطباعة ثلاثية الأبعاد

لم يعد خفياً أن تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد قد حققت نجاحاً كبيراً وانتشاراً واسعاً خلال زمن قياسي مما جعلها حديث الساعة في عالم التقنية لما تحمله في طياتها من إمكانيات في تشكيل المواد وتطويعها حسب الحاجة وبتكاليف زهيدة.

ومع احتلال هذه الطابعات أسواق المستهلكين والإنخفاض المستمر في أسعارها، والتي وصلت إلى مائة دولار فقط لطابعة "بيتشي برينتر"، بدأ الباحثون باستشراف آفاق تقنية جديدة تتفوق على سابقتها في جوانب عدة تضيف بعداً رابعاً إلى الطباعة ثلاثية الأبعاد، وتسمى بالطباعة رباعية الأبعاد.

فإذا كانت تطبيقات الطباعة ثلاثية الأبعاد تشمل الإنتاج المحلي والسريع لـ طيف واسع من المواد والمنتجات البلاستيكية والمعدنية والغذائية بل والحيوية أيضاً، فبماذا تمتاز عنها تقنية الطباعة رباعية الأبعاد؟

تعتمد تقنية الطباعة رباعية الأبعاد على التطورات المتسارعة في عالم أبحاث الجزيئات الصغيرة والتي تتيح برمجة هذه الجزيئات الفيزيائية لتصبح قادرة على تغيير شكلها ومواصفاتها حسب الطلب.
أي إن مصطلح الطباعة رباعية الأبعاد يعني القدرة على إنتاج مواد وأشكال يمكنها تغيير شكلها مع مرور الزمن أو تجميع نفسها بنفسها دون تدخل خارجي، وذلك باستخدام طابعات سهلة الإستخدام وذات كلفة منخفضة.

أما سبب إضافة البعد الرابع إلى التسمية فيعود إلى دخول عامل الزمن إلى المعادلة، إذ لم تعد المواد المنتجة مقتصرة على الأشكال الساكنة، بل أصبح من الممكن إنتاج مواد تتغير أشكالها وخصائصها مع مرور الزمن.

تعتمد الطباعة رباعية الأبعاد أساسًا على الطباعة المجسمة، فتستخدم الأشعة فوق البنفسجية في معظم الحالات لمعالجة المواد ذات الطبقات بعد اكتمال عملية الطباعة.

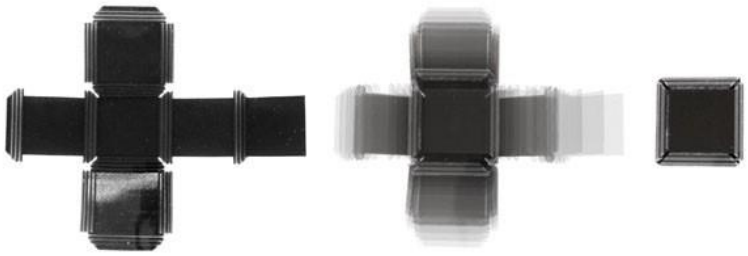
يعد تنوع العناصر أساسيًا في الهندسة اتجاه التحولات وحجمها تحت ظروف معينة، من خلال ترتيب المواد الدقيقة بطريقة توجد بها اتجاهية مدمجة للطباعة النهائية.

3.4 الطباعة رباعية الأبعاد (التاريخ والتقدم الأخير)

من خلال المقالات السابقة حول تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد، والتي هي موجودة منذ عشرات السنوات، والتي هي أساس صناعة التصنيع المضاف، ومع مرور الزمن وبمجهودات الخبراء والعلماء والبحاث يتم اكتشاف تطبيقات جديدة ومواد جديدة وطابعات ثلاثية الأبعاد جديدة، وبالتالي ظهرت تكنولوجيا أخرى، يطلق عليها الطباعة رباعية الأبعاد، ففي عام 2013 بدأت عدة جهات عالمية من الإستفادة من إمكانياتها وتطبيقاتها العملية، ويمكن التعريف بها على أساس أنها العملية التي من خلالها يحول كائن مطبوع ثلاثي الأبعاد نفسه إلى بنية أخرى بسبب تأثير البعد الرابع الذي هو الوقت، وما يتسبب من مدخلات الطاقة الخارجية مثل درجة الحرارة أو الضوء أو الإهتزاز أو المحفزات البيئية الأخرى ليتم تحول الكائن الثلاثي الأبعاد الساكن إلى كائن آخر بمواصفات أخرى وهيكل آخر، أي أن الطباعة رباعية الأبعاد هي الطباعة ثلاثية الأبعاد التي تتحول بمرور الوقت، وهكذا يضاف بعد رابع وهو الوقت، وبالتالي فإن الإنجاز الكبير حول تكنولوجيا الطباعة رباعية الأبعاد على تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد هو قدرتها على تغيير الشكل بمرور الوقت.

في تكنولوجيا الطباعة رباعية الأبعاد تتم طباعة كائن مطبوع رباعي الأبعاد تماما مثل أي شكل مطبوع ثلاثي الأبعاد، والفرق هو أن تكنولوجيا الطباعة رباعية الأبعاد تستخدم مواد قابلة للبرمجة ومتقدمة

تؤدي وظائف مختلفة عن طريق إضافة الماء الساخن أو الضوء أو الحرارة، وهذا هو السبب في أن الكائن يمكنه تغيير شكله وسلوكه ثلاثي الأبعاد بمرور الوقت.



شكل 4.4 طباعة 4D الذكية

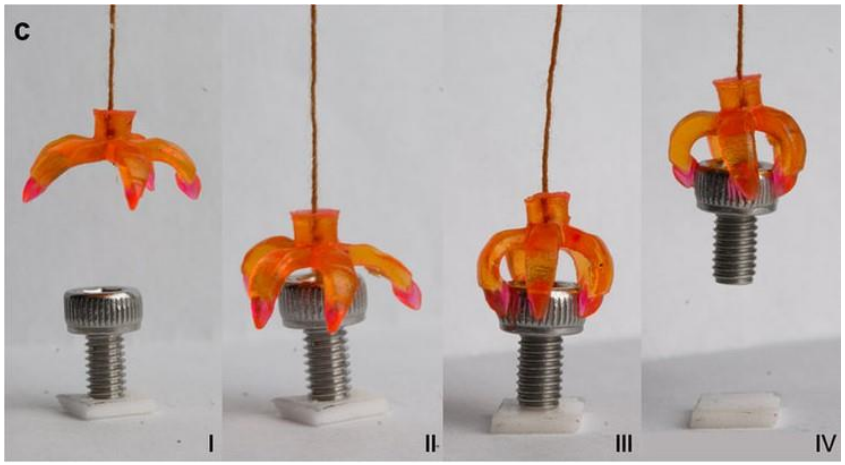
من المهم معرفة أن مدخلات الطباعة رباعية الأبعاد عبارة عن "مادة ذكية"، وبفضل خصائصها الحرارية الميكانيكية، حيث تُمنح المواد الذكية سمات تغيير الشكل ويتم تمييزها عن مواد الطباعة ثلاثية الأبعاد الشائعة الإستعمال، من أن الكائنات المطبوعة بتكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد تحتفظ بالصلابة وبالشكل الثابت، وهذا يعني أن الكائنات المطبوعة ثلاثية الأبعاد ستحتفظ بشكلها ثلاثي الأبعاد بمجرد طباعتها.

ومن أهم ما تتميز به الطباعة رباعية الأبعاد:

- تغيير الحجم والشكل.
- تقليل الحجم بنسبة تصل إلى ما يزيد عن 80%.
- من خلال الطي الحسابي، يمكن طباعة الكائنات الأكبر من الطابعات كجزء واحد فقط.
- الكائنات المطبوعة رباعية الأبعاد يمكن أن تغير شكلها، ويمكن أن تتقلص وتتفتح، فيمكن ضغط الكائنات الكبيرة التي لا تلائم الطابعة للطباعة ثلاثية الأبعاد في شكلها الثانوي.
- مواد جديدة تعني خصائص جديدة.
- استخدام المواد التطبيقية الممكنة، إذ تتمتع الطباعة رباعية الأبعاد بإمكانية كبيرة لإحداث ثورة في عالم المواد كما هو معروف اليوم.
- توقع إمكانات كبيرة لهذه التكنولوجيا.

وكمثال عملي معمول به، ما يتم بنظام أنابيب الإصلاح الذاتي، حيث يمثل أحد التطبيقات المحتملة للطباعة رباعية الأبعاد في العالم الحقيقي في أنابيب نظام السباكة التي تغير قطرها ديناميكيًا استجابةً لمعدل التدفق والطلب على المياه، والأنابيب التي يمكن أن تلتئم بنفسها تلقائيا في حالة تصدعها أو كسرها، نظرا لقدرتها على التغيير استجابة لتغير البيئة.

ستكون الطباعة رباعية الأبعاد أكثر فائدة في المشاريع كبيرة الحجم، فعلى سبيل المثال في البيئات القاسية، مثل الفضاء يمكن أن يكون لها تطبيقات واعدة، ومنها ما أصبح واقع وخاصة في مجالات الصحة والطيران.



شكل 5.4 الإستفادة من تقنية 4D

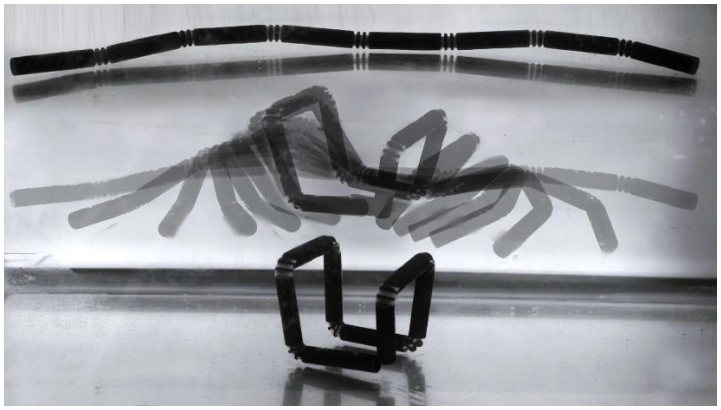
لذلك بدلا من استخدام المواد المطبوعة ثلاثية الأبعاد، يمكن استخدام المواد المطبوعة رباعية الأبعاد للإستفادة من شكلها القابل للتحويل، وبالتالي يمكن توفير الحل لبناء الجسور أو الملاجئ أو أي نوع من المنشآت، حيث يمكنهم بناء أنفسهم أو إصلاح أنفسهم في حالة حدوث أضرار بسبب الطقس.

تلك كانت مجرد لمحة حول هذا النوع من التكنولوجيا، إذ لا تزال الطباعة رباعية الأبعاد تتطلب مزيدا من البحث والتطوير، ويتمثل التحدي الرئيسي لها في التصميم الهيكلي الذي يشمل كلاً من قسم الأجهزة وقسم البرمجيات، ورغم مرور عدة سنوات منذ عام 2013، ومع ذلك فهي ليست متاحة للجميع.

لا تتوقف التكنولوجيا عن التطور بل تفاجئنا كل يوم بالمزيد من الإبتكارات والطفرات التقنية التي تسهم بشكل أو بآخر في جعل حياتنا أفضل وأكثر ذكاءاً، ولأن التكنولوجيا نهر لا ينضب ولا يجف فإن سقف توقعاتنا يرتفع يوماً بعد يوم بأنها ستعدنا بالكثير من التطورات والثورات التقنية بشكل متسارع وفي وقت قصير.

من أمثلة هذه الثورات التقنية التي انتشرت كالنار في الهشيم خلال السنوات القليلة السابقة تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد، والتي رغم أنها ما تزال في طور التطور والنمو فهي ما زالت تخضع للتطوير والإبتكار، وبالرغم من أنها شكلت طفرة هائلة في عالم التصنيع، إلا أن تطويرها فيما يبدو لم يلبي جميع الإحتياجات المطلوبة منها وكان قصورها عن القيام ببعض المهمات المنوطة بها دافعاً للباحثين لتطوير تقنية ثورية أخرى وهي تقنية الطباعة رباعية الأبعاد 4D Printing والتي تشبه في مضمونها الطباعة ثلاثية الأبعاد ولكنها تتفوق كثيراً في الوظائف التي تقوم بها.

في الوقت الحاضر، ركزت معظم الدراسات على القدرة على تغيير حجم الهياكل المطبوعة 4D، بما في ذلك الإنحناء واللف والإنكماش بطول العمر حيث يمكن برمجة هذه السلوكيات بشكل أكبر لإنشاء خزانات ورافعات وأنابيب دقيقة وروبوتات وحتى ألعاب هيكلية مطبوعة رباعي الأبعاد، لتغيير الحجم الإتجاهي الذي سيتم تكوين المادة فيه.



شكل 6.4 هيكل مطبوع 4D

ويتطلب ذلك طباعة مجموعة من المحتويات المتعددة معًا، وترتبط دراسة الطباعة رباعية الأبعاد ارتباطًا وثيقًا بالطباعة ثلاثية الأبعاد حيث يوفر تقدمها احتمالات جديدة للطباعة رباعية الأبعاد في جانب مواضيع البحث المختلفة في تقسيم الطباعة رباعية الأبعاد إلى الفئات التالية: تطوير المعدات والعمليات والنمذجة الرياضية.

في عام 1984، قدم تشاك هال من شركة 3D Systems Corporation براءة اختراع لعملية الطباعة الحجرية المجسمة، ليلتقط العالم الفائدة الجديدة وفتح وقت مزدهر للطباعة ثلاثية الأبعاد، لكن ظهر المصطلح الرسمي للطباعة ثلاثية الأبعاد لاحقًا، والذي كان في الأصل يشير إلى تقنية النفث اللاصق لطبقة المسحوق والتي تم تطويره في معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا.

ويتم استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد بشكل عام من قبل المجتمعات الإستهلاكية ووسائل الإعلام لتمثيل واسع لمجموعة متنوعة من تقنيات الطباعة، بما في ذلك الترسيب المنصهر النمذجة (FDM)، الليثوغرافيا الحجرية (SLA)، الليزر الإنتقائي التلبيد (SLS)، الصهر الإنتقائي بالليزر (SLM)، شعاع الإلكترون الصهر (EBM)، الطباعة ثلاثية الأبعاد النافثة للحبر (3DP)، الكتابة بالحبر المباشر (DIW)، إلخ.

قد تبدو الطباعة الرباعية الأبعاد وكأنها شيء خيالي بعيد عن الواقع، لكن من المتوقع أنه سيتم استثمار 300 مليون دولار في الطباعة رباعية الأبعاد بحلول عام 2023 على الرغم من أن هذه التكنولوجيا لا تزال بعيدة جداً لتكون متاحة تجارياً.

تمنح الطباعة رباعية الأبعاد الكائنات المطبوعة ثلاثية الأبعاد القدرة على تغيير شكلها بمرور الوقت، وبالتالي يشير المصطلح "رباعية الأبعاد" إلى هذا البعد الرابع الإضافي وهو الوقت.

وتجمع التكنولوجيا الناشئة هذه بين تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد، وعلوم المواد عالية المستوى والهندسة والبرمجيات، فالمواد تلعب دوراً مهماً في الطباعة رباعية الأبعاد، حيث تستخدم هذه التقنية مواداً مصممة خصيصاً للتفاعل مع منبه معين.

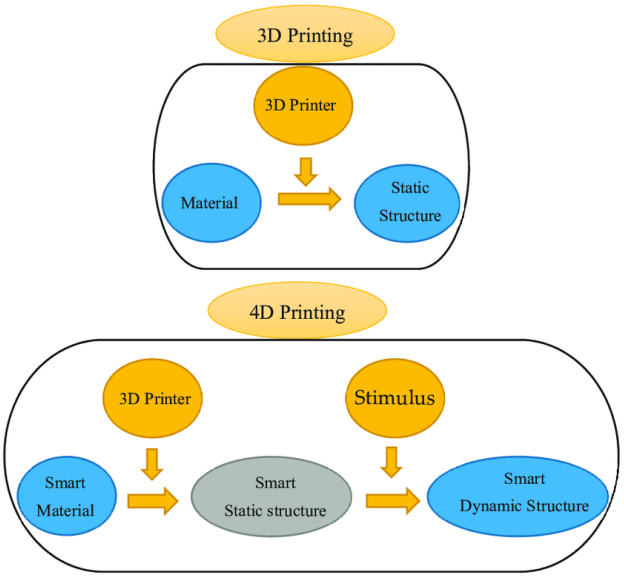
وتتعدّد المنبهات الشائعة التي يمكن أن تتسبّب في تحول الكائنات المصنَّعَة لتشمل؛ التغيرات في درجة الحرارة، والضوء، والماء، والمجالات المغناطيسية؛ بالإضافة إلى العوامل الكيميائية والعوامل البيئية الأخرى.

كما ويتمثل مبدأ عمل هذه التقنية، أنه عندما يتم إثارة الكائنات المطبوعة رباعية الأبعاد بواسطة منبه خارجي، يمكنها عندئذ أن تطوي أو تتكشف في أشكال محددة مسبقاً، مما يفتح الباب أمام مجموعة من التطبيقات الجديدة.

4.4 اختلاف الطباعة رباعية الأبعاد عن الطباعة ثلاثية الأبعاد

تتجلى الطباعة ثلاثية الأبعاد في كونها تقنية لتصنيع النماذج الأولية السريعة التي تضيف طبقة مادة بطبقة أخرى لإنشاء كائنات ثلاثية الأبعاد.

كذلك الطباعة الرباعية الأبعاد تستخدم في الأساس نفس مبادئ الطباعة ثلاثية الأبعاد لإنشاء الأجزاء، إلّا أن الإختلاف الرئيسي بينهما يتمثل في أن الكائنات المطبوعة رباعية الأبعاد تغير شكلها بمرور الوقت بمجرد طباعتها، بينما يحتفظ الكائن المطبوع ثلاثي الأبعاد بشكله الثابت نفسه.



شكل 7.4 الفرق بين الطباعة 3D & 4D

ويعود السبب في هذا الإختلاف بين التقنيتين، إلى أنه أثناء عملية الطباعة رباعية الأبعاد يتم إضافة شيفرة هندسية تحتوي على "تعليمات" حول كيفية تحرك الشكل أو تغييره بمجرد إثارته بواسطة منبه معين، وبالتالي تتيح خطوة البرمجة المسبقة هذه إمكانية إنشاء كائنات ذكية سريعة الإستجابة ويمكنها التكيف مع عوامل بيئية محددة.

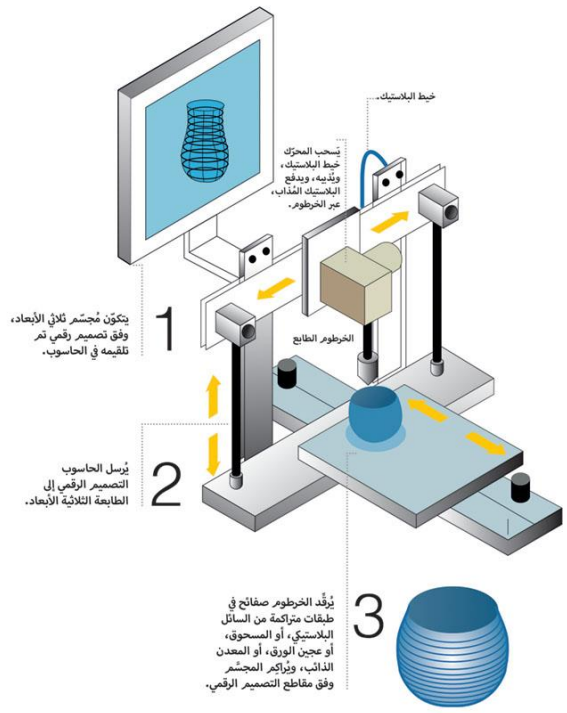
5.4 طريقة عمل تقنية الطباعة رباعية الأبعاد

يتطلب التعامل مع الطباعة رباعية الأبعاد أولاً فهم كيفية تفاعل المادة مع حافز معين، وباستخدام هذه المعرفة بالسلوك المادي، يمكن للمهندسين تصميم كائن مع تغيرات مختلفة في هيكله المادي.

وبناءً على التصميم الرقمي بمساعدة الحاسب CAD يتم طباعة النموذج ثلاثي الأبعاد، باستخدام مادة واحدة أو مادة مركبة، وبمجرد اكتمال عملية الطباعة، ستُحدّد الشيفرة الهندسية المبرمجة مسبقاً كيف يجب أن تتفاعل مناطق مختلفة من الكائن عند إثارته بمنبه معين.

وباستخدام هذه المنهجية في الطباعة، يمكن للمهندسين إنشاء مكونات تأخذ أشكالاً محددة مسبقاً أو تطوي وتتكشف بطرق معينة عند إثارتها بمنبه معين.

والجدير بالملاحظة، أنه يوجد العديد من تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد والتي تكون مناسبة لمعالجة المواد القابلة للبرمجة أو ما يُعرف بالمواد الذكية.

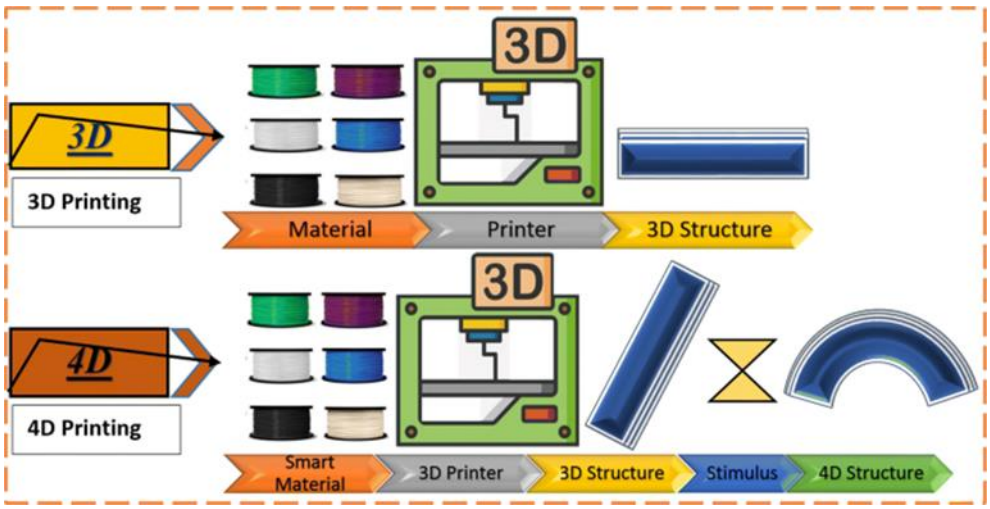


شكل 8.4 خطوات طباعة النموذج الرقمي 3D

نذكر بعض تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد وتعاملها مع المواد:

- **الطباعة بالتّبلمر الضوئي (SLA):** والتي يتم فيها طباعة مجسمات بشكل ثلاثي الأبعاد تمّ تصميمها باستخدام بوليمر، غالباً الراتنج السائل والذي يتصلب عند تعرضه لأشعة ضوئية مركزة أو أشعة ليزر فوق بنفسجية.
- **تصنيع الخيوط المنصهرة (FFF):** والمعروفة تجارياً بنمذجة الترسيب المنصهر (FDM) والتي يتم فيها ترسيب مادة خام كالبلاستيك الحراري على شكل طبقات متراصة فوق بعضها لتصميم المجسم الذي سيُطبع بشكل ثلاثي الأبعاد.
- **الطباعة بطريقة نفث المواد:** تتيح طباعة متعددة المواد.
- **الصهر الإنتقائي بالليزر (SLM):** وهي تقنية طباعة ثلاثية الأبعاد محددة حيث تستخدم ليزر عالي الكثافة لإذابة ودمج المواد المعدنية بشكل كامل لإنتاج أجزاء شبه صافية وبكثافة شبه كاملة.

تعمل عادةً التقنيات الثلاثة الأولى مع المواد البوليميرية بينما تتعامل التقنية SLM مع المواد المعدنية، ويُعزى التقدم الأخير في مجال الطباعة رباعية الأبعاد إلى التقدم في تقنية نفث المواد، حيث تعمل هذه التقنية عن طريق نفث قطرات من المواد مما يسمح بالتحكم في ترسبها بشكل مدروس.



شكل 9.4 التقدم في تقنية الطباعة

لدى تقنية الطباعة رباعية الأبعاد تغييرًا جوهريًا في النمذجة السريعة، حيث تم وضع التصميم مباشرة في المادة، وتبسيط عملية الإنشاء من مفهوم التصميم إلى الكائن الحقيقي، مما يسمح بإنشاء الكائن تلقائيًا مثل الآلة، دون الحاجة إلى توصيل أي شيء من المعدات الكهروميكانيكية المعقدة.

الطباعة رباعية الأبعاد هي وضع التصميم الذي تمت برمجته بواسطة البرنامج في المادة من خلال الطابعة ثلاثية الأبعاد وطباعتها.

في هذا الوقت، تم تصنيع المنتج المطبوع رباعي الأبعاد، والعملية التالية هي إعادة تشكيل المنتج المطبوع وفقًا لـ نموذج محدد مسبقًا، والذي يمكن رؤيته في عملية الطباعة، وهناك أيضًا عملية "إنشاء" ذاتي بعد إنتاج المنتج النهائي، دائمًا ما تكون قدرة المنتج على التشوه الذاتي والتجميع الذاتي مصحوبة بالمواد.

يكمن سحر الطباعة رباعية الأبعاد على التصنيع التقليدي والطباعة ثلاثية الأبعاد في هذا: لم تعد عملية الطباعة رباعية الأبعاد نهاية العرض التقديمي للإنشاء، ولكنها توفر فقط مسارًا للإنشاء، وهو بداية عرض الإبداع، هذا أيضًا هو الإختلاف الأكثر أهمية بين الطباعة رباعية الأبعاد وتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد.

في الطباعة ثلاثية الأبعاد، بعد تشكيل الكائن بواسطة الطابعة ثلاثية الأبعاد، يمكن إكمال عملية الطباعة بأكملها.

1. من مصدر البيانات لنمذجة الطباعة ثلاثية الأبعاد، هناك طريقتان للتطبيق:

أولاً، يتم تنفيذ التصميم ثلاثي الأبعاد أولاً، ثم يتم إنشاء نموذج رقمي ثلاثي الأبعاد، ثم يتم تنفيذ الطباعة ثلاثية الأبعاد لتشكيل نموذج صلب.

ثانيًا، يتم إجراء المسح ثلاثي الأبعاد أولاً، ثم يتم إنشاء نموذج رقمي ثلاثي الأبعاد، ثم يتم إجراء الطباعة ثلاثية الأبعاد لتشكيل نموذج صلب.

يمكن القول أن الطباعة ثلاثية الأبعاد هي عملية من نمذجة البيانات إلى الطباعة ثلاثية الأبعاد ثم إلى النماذج الصلبة.

2. من منظور مواد الطباعة ثلاثية الأبعاد، هناك أيضًا طريقتان:

أولا، النماذج الأولية السريعة، تستخدم هذه الطريقة مواد البوليمر، وهي طريقة الطباعة لمعظم نتائج وحالات الطباعة ثلاثية الأبعاد المعروفة حاليًا للجمهور، وتحقق تصنيع المنتج من خلال التفاعلات الفيزيائية والكيميائية لمواد البوليمر.

على سبيل المثال، عملية النمذجة السريعة للطباعة ثلاثية الأبعاد للراتنج الحساس للضوء:

الخطوة 1: يتم تعبئة خزان الراتينج براتنج سائل حساس للضوء، والذي يتم علاجه بسرعة عن طريق إشعاع الليزر فوق البنفسجي، في بداية عملية التشكيل، يتم وضع منضدة العمل القابلة للرفع على

ارتفاع سمك طبقة مقطع واحد تحت سطح السائل، منطقة الراتنج المراد علاجها، وبالتالي يتم الحصول على ورقة الراتينج لهذا الملف الشخصي المقطعي.

الخطوة 2: يتم خفض منضدة العمل بارتفاع طبقة واحدة من الصفيحة، وستتم تغطية صفيحة الراتينج المعالجة بطبقة جديدة من الراتينج السائل للطبقة التالية من المسح والمعالجة بالليزر، يتم حفر الطبقة المعالجة حديثًا بإحكام على مستوى واحد.

الخطوة 3: كرر العملية حتى يتم تكوين المنتج بالكامل.

الخطوة 4: ترفع طاولة الرفع من سطح الراتنج السائل، وتخرج قطعة العمل، وتقوم بالتنظيف والمعالجة الثانوية ومعالجة تنعيم السطح.

كما يتضح من العملية، تتم طباعة هذه الطريقة طبقة تلو طبقة من أعلى إلى أسفل.

ثانيًا، التصنيع المباشر للمكونات المعدنية، المواد المستخدمة في هذه الطريقة هي مساحيق المعادن، ومساحيق السيراميك، ومساحيق البلاستيك، وما إلى ذلك، وتستخدم بشكل أساسي أشعة عالية الطاقة، مثل أشعة الليزر أو حزم الإلكترون، كمصادر حرارة لإذابة مواد المسحوق بشكل انتقائي، ثم تبريدها وتبلورها إلى تشكل منتجًا تم تصميمه وتصنيعه بدقة، حيث يتم تشكيل طبقات البناء وطبقات البناء باستمرار لتشكيل المنتج النهائي.

على سبيل المثال، عملية تصنيع المواد المعدنية المطبوعة ثلاثية الأبعاد:

الخطوة 1: انشر طبقة من مسحوق المواد.

الخطوة 2: استخدم الفوهة لرش المادة اللاصقة على المنطقة المراد تشكيلها، بحيث يتم لصق مسحوق المادة لتشكيل قسم جزء.

الخطوة 3: كرر عملية نشر المسحوق والرش والحفر طبقة تلو الأخرى.

الخطوة 4: اطبع المنتج.

6.4 المواد المستخدمة في الطباعة رباعية الأبعاد

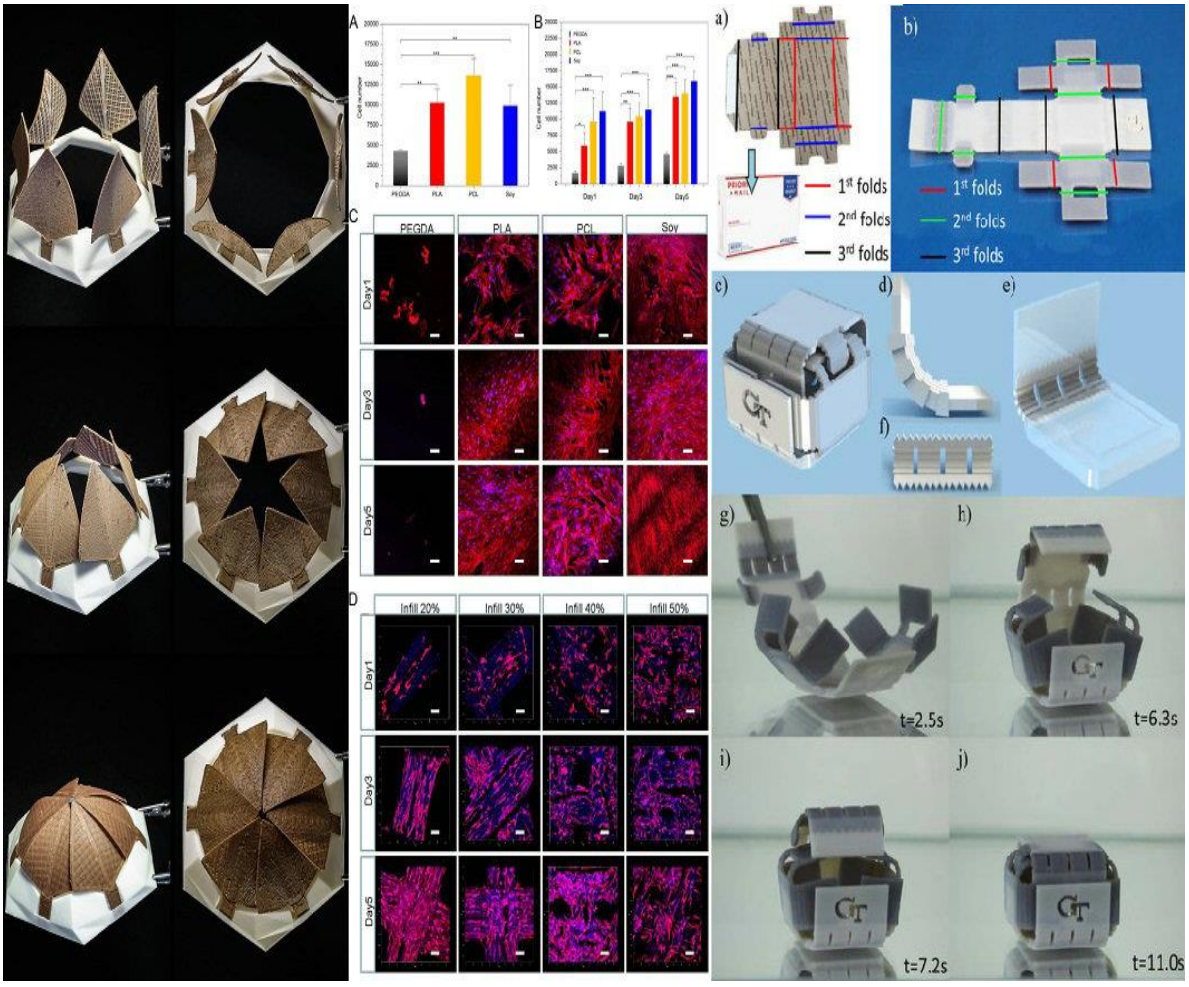
يقوم فريق بحثي من علماء دراسة المواد على تقديم التقنية وذلك بالسماح لمواد متعددة أن تندمج معاً ويتغير شكلها وفقاً للظروف التي يتطلبها الأمر وكأنها أعضاء مفصلية وذلك بإدارة جنيفر لويس أحد علماء المواد بجامعة هارفارد.

أراد الفريق إنشاء هياكل مطبوعة بطريقة رباعية بأكثر من نوع من المواد مستلهمين ذلك من الطبيعة المحيطة بهم وكيف أن الأغصان تستجيب للعوامل الطبيعية كالضوء، الحرارة، واللمس، وقد برهنت ذلك لويس بمثال حي لشجرة الصنوبر التي تتمدد أوراقها وتنكمش بناء على درجة الماء.

يُمكن للباحثين التحكّم في الإتجاهات التي تتوجّه إليها الهياكل المطبوعة عند تمددها، وبهذه الطريقة يتم تتبع الهياكل عند تمددها بالماء، وهي نفس طريقة النباتات عند التعامل مع السوائل بداخلها، ويُمكن للعلماء استخدام تلك الألياف القابلة للتمدد لتغيير أشكال الكائنات.

أشار الباحثون إلى أنهم سيتمكنون من بناء هياكل أكثر تعقيداً، وذلك باستخدام الهلاميات المائية التي تتفاعل مع عوامل أخرى مثل الضوء، الحرارة، والحموضة واستبدال ألياف السليلوز بقضبان أخرى صلبة مثل قضبان توصيل الكهرباء.

تستخدم تقنية الطباعة رباعية الأبعاد مواد "ذكية" مصممة خصيصاً لهذا الغرض، بحيث تتمتع بخاصية واحدة أو أكثر يمكن تغييرها بواسطة محفزات خارجية.



شكل 10.4 الإستجابة الوظيفية لقطع مطبوعة 4D

ونظراً لكون هذه التقنية لاتزال في مراحلها المبكرة لاتزال مجموعة المواد المستخدمة فيها محدودة إلى حد ما، إلّا أن هذه الدراسة تتضمن بعضاً من المواد الواعدة التي يمكن استخدامها في الطباعة رباعية الأبعاد **وهي كالتالي:**

- **الهيدروجيلات (الهلاميات المائية):**

وهي عبارة عن شبكة من السلاسل البوليميرية المحبة للماء، حيث يمكنها الإحتفاظ بكمية كبيرة من الماء.

وتستخدم الهلاميات المائية هذه في تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد القابلة للمعالجة بالأشعة فوق البنفسجية، ويتم برمجتها لتغيير الشكل استجابة لتغيرات درجة الحرارة، نظراً لكون الماء المكوّن الأساسي لها.

كما تُعتبر الهلاميات المائية متوافقة حيوياً مما يجعلها مناسبة تماماً للتطبيقات الطبية، وتُستَخدم أيضاً في تطبيقات أخرى على سبيل المثال، الروبوتات اللينة والإلكترونيات المرنة.

وفي صدد هذا الموضوع، طور مهندسون من جامعة رونجرز العام الماضي طريقة الطباعة رباعية الأبعاد لإنشاء هلام ذكي بالإعتماد على مادة الهيدروجيل، والتي بمجرد تعرضها لتغيرات في درجة الحرارة يتغير شكلها، ويُمكن لهذا الهلام أن يساعد في إنشاء بُنى حيوية تُستخدم في تصنيع الأنسجة والأعضاء.

وهذا التطور لا يعزز التطبيقات الطبية فحسب، بل يساهم أيضاً في تمكين تطبيقات جديدة في الروبوتات اللينة، بما في ذلك أجهزة الإستشعار والمحركات المرنة.

- **بوليميرات ذاكرة الشكل (SMPs):**

وهي عبارة عن مواد بوليميرية ذكية لها القدرة على التحول من شكل مؤقت ثابت إلى شكلها الأصلي عند تعرضها لمحفز خارجي.

ونظراً لقدرتها على التشغيل النشط، أي القدرة على التحرك والتحكم في آلية أو نظام ما، تم استخدامها في تطبيقات مختلفة، مثلاً في الفضاء والروبوتات اللينة وفي الطب الحيوي وفي مجالات أخرى.

- **سبائك ذاكرة الشكل (SMAs):**

وهي خليط من مواد معدنية ذكية، وعلى غرار البوليمرات ذاكرة الشكل SMPs، فهي تحتفظ بـ "ذاكرة" لشكلها الأصلي ولها القدرة على العودة من الشكل المعدّل إلى شكلها الأصلي عند تعريضها لمحفز معين.

وتُستخدم هذه السبائك في مجالات متعددة أيضاً، مثلاً في الفضاء والهندسة المدنية والطب الحيوي.

- **السيراميك:**

أظهر فريق بحثي من جامعة مدينة هونج كونج العام الماضي، حبراً خزفياً جديداً، يجمع بين البوليميرات وجسيمات السيراميك النانوية، ويمتاز هذا الحبر السيراميكي المطبوع ثلاثي الأبعاد الناعم بإمكانية شده ثلاث مرات أكثر من طوله الأولي.

ومن التطبيقات الواعدة لهذه المواد الأجهزة الإلكترونية وكذلك التطبيقات في صناعة الطيران.

1.6.4 المواد الذكية

المواد المستجيبة للتحفيز، والتي غالبا ما تعرف باسم المواد الذكية أو القابلة للبرمجة، ديناميكية للغاية في الشكل والوظائف.

نوع المواد المستجيبة للمحفزات هو العنصر الرئيسي لمنح القدرة على التحول الذاتي ويحدد نوع المحفزات اللازمة لتشغيل التغيير في الخاصية ووظائف المكون في الطباعة 4D.

تسمح خصائص المواد المستجيبة للمحفزات بظواهر الإقتران أو التحويل من الطاقة بين مختلف المجالات الفيزيائية، على سبيل المثال، تحويل الطاقة الحرارية إلى العمل الميكانيكي.

يمكن أن يكون هذا الإقتران للطاقة مباشرا أو غير مباشر، حيث يشير اقتران الطاقة المباشر إلى الإستجابة الميكانيكية بسبب إجهاد eigen الناجم عن المجال في المواد المستجيبة للتحفيز، في حين أن الغير مباشر هو الإستجابة الميكانيكية، تغير في التصلب أو غيره من الخصائص.

أنواع المواد المستجيبة للتحفيز القادرة على التغيير في الخصائص الفيزيائية يمكن تصنيفها إلى مواد تغيير الشكل ومواد ذاكرة الشكل.

مواد تغيير الشكل يمتلك سلوكا ناجما عن التحفيز يعرف باسم تأثير تغيير الشكل (SCE).

في تغيير الشكل تتحول المادة على الفور وعفوية استجابة لحافزها، وتعود إلى الشكل الأصلي أو الدائم عند إزالة الحافز.

تحتوي بوليمرات ذاكرة الشكل على القدرة على الحفظ والرجوع من شكلها المؤقت عندما يكون التحفيز مطبق، ويعرف باسم تأثير ذاكرة الشكل (SME).

السمة الرئيسية لمواد ذاكرة الشكل (SMMs) هي القدرة على الرجوع إلى شكل مبرمج من شكل مؤقت عند تطبيق التحفيز.

وتتطلب SMMs لتشكيل دورة ذاكرة شكل كاملة تشويه المادة إلى شكل مؤقت من خلال "البرمجة" تليها "عملية استرداد الشكل". ستبقى SMMs ثابتة في شكل مؤقت حتى يتم تطبيق الحافز الأمثل

الصحيح لتحفيز استعادة الشكل. تعتمد سرعة تغيير الشكل من الشكل المؤقت على استجابة المواد والتصميم المادي للجزء الهندسي ومرونة شبكة SMM يحدد "ذاكرة" شكل واحد أو أكثر.

2.6.4 تأثير ذاكرة الشكل أحادي الإتجاه

غالبية SMPs لها تأثير ذاكرة شكل أحادي الإتجاه لا رجعة فيه، عندما يتم تطبيق التحفيز الخارجي، وسيصبح شكل التشوه (المؤقت) شكلا دائما، هناك حاجة إلى خطوة برمجة حتى يعود الكائن إلى شكله المؤقت.

عملية تأثير ذاكرة الشكل أحادي الإتجاه يتغير SMP من شكله المؤقت إلى شكله الأصلي الدائم تحت تطبيق التحفيز.

في عملية البرمجة، يتم تسخين SMP أولا فوق درجة حرارة الإنتقال إلى تليين المادة، بحيث يمكن تطبيق قوة تشوه (على سبيل المثال، التحميل) على الشكل الأصلي، ويتم تبريد الشكل المشوه مسبقا تحت الحمل إلى شكل مؤقت ثابت.

عندما يتعرض الشكل المؤقت الثابت المفرغ للمحفزات، في هذه الحالة يكون الحرارة.

3.6.4 تأثير ذاكرة الشكل ثنائي الاتجاه

SMP مع تأثير ذاكرة الشكل ثنائي الإتجاه لديه القدرة على تذكر شكلين مختلفين عندما يتعرض للمحفزات، يمكن أن تتغير المادة من شكل مؤقت إلى شكلها الدائم والتغيير قابل للعكس.

وأكد "تشو" أن هذا السلوك ليس مقيدا ميكانيكيا ولا هيكليا، مما يسمح بالتبديل المتعدد بين الأشكال المشفرة دون تطبيق أي خارجي.

يمكن العثور على الشركات الصغيرة والمتوسطة ذات الإتجاهين في اللدائن البلورية السائلة والضوئية بوليمرات التشوه، وأظهر "تشن" وآخرون بنجاح ذاكرة الشكل ثنائية الإتجاه السلوك باستخدام صفح بوليمر محضر من طبقة نشطة بسماكة 1 مم من PHAG5000 ذاكرة شكل قائمة على البولي يوريثين مع ركيزة بسماكة 1 مم من PBAG600 البولي يوريثين.

لوحظ التأثير عن طريق الإنحناء عند التسخين من 25 إلى 60 درجة مئوية وعكسه، والإنحناء عند التبريد من 60 إلى 25 درجة مئوية.

4.6.4 المواد الكهروضغطية

تلك المواد القادرة على توليد شحنة كهربائية استجابة للإجهاد الميكانيكي المطبق هي مواد كهروضغطية.

ليست كل المواد الذكية تظهر تغييرا في الشكل، ولكن لتفعل ذلك يجب أن تحمل خصائص مهمة مثل السوائل اللاهوتية الكهربائية والمغناطيسية.

يمكن لتلك السوائل تغيير اللزوجة عند تطبيق المجال المغناطيسي أو الكهربائي الخارجي، وتحدث بشكل طبيعي بلورات مثل الكوارتز والسكروز.

العظام البشرية والسيراميك وفلوريد البولي فينيلدين (PVDF) هي من المعروف أن لها خصائص كهروضغطية، تليها صناعة السيارات والأدوات الطبية، والطلبات العالمية على هذه المواد لها تطبيق ضخم في الصناعة وقطاع الصناعات التحويلية.

طور باحثون من جامعة وارويك في المملكة المتحدة عقارا جديدا بتقنية الطباعة الحجرية المجهرية 3D (MSL) التي يمكن استخدامها لإنشاء بيزوسيراميك كائن Piezoceramics، هي نوع خاص من مواد السيراميك التي يمكن أن تخلق استجابة كهربائية، ويستجيب للتحفيز الكهربائي الخارجي عن طريق تغيير الشكل.

هذه مواد مفيدة جدا بوليمرات ذاكرة الشكل سبيكة ذاكرة الشكل أو البوليمرات هي مواد ذكية ناشئة تتمتع بقدرة مزدوجة الشكل.

تتحول سبائك ذاكرة الشكل تحت شكل محدد مسبقا من شكل إلى آخر عندما التعرض للتحفيز المناسب، تأسست في البداية على أبحاث مزدوجة الشكل مستحدثة حراريا، ولهذا تم توسيع المفهوم ليشمل عملية تنشيط أخرى مثل التشغيل الحراري المباشر أو غير المباشر.

العملية في شكل ذاكرة البوليمر ليست جوهرية ، بل يتطلب مزيجا من البوليمر ومبرمجا بعد ذلك.

يكتسب البوليمر شكله النهائي عندما يتم تطبيق الطاقة الخارجية، وتتطلب معظم بوليمرات ذاكرة الشكل الحرارة كتنشيط عامل، فالمواد المستخدمة في الأنبوب هي بوليمر بولي ثنائي ميثاسيلات. في البداية كان الشكلمبرمجة لتشكيل حلزون مسطح ، باستخدام طاقة حرارية تتراوح من 10 درجة إلى 50 درجة حلزون مسطح مئوي يتحول إلى هيكل على شكل أنبوب.

5.6.4 **المواد المغناطيسية**

على غرار المواد الكهروضغطية والكهروتقنية تستخدم المواد المغناطيسية، وهي تحول الطاقة المغناطيسية إلى طاقة ميكانيكية أو بطريقة أخرى.

الحديد ، التربيوم ، مختبر (NOL) والديسبروسيوم (D) هما أكثر المواد المغناطيسية المحظورة شيوعا، يمكن استخدام هذه المواد كمحولات ومشغلات حيث يتم استخدام الطاقة المغناطيسية للتسبب في تغيير الشكل.

تطوير المغناطيسية سبائك المواد مع ميزات أفضل ستساعد بالتأكيد تقنية الطباعة 4D.

6.6.4 أسطح قابلة للطي

التحدي الرئيسي لتكنولوجيا الطباعة 4D هو هيكل التصميم بما في ذلك على حد سواء قسم الأجهزة وقسم البرامج، من أجل تصميم جزء الأجهزة، يحتاج إلى تدابير خاصة ليتم معالجتها.

يتطلب ذلك برمجة مواد معقدة ومتقدمة، وطباعة دقيقة متعددة المواد، وتصميم مفاصل معقدة للطي، والتوسع، والإنكماش، والإلتواء.

قسم البرمجيات يتعاون مع تصميم الأجهزة، فالمحاكاة المتطورة وتحسين المواد هي عدد قليل من التحديات لجزء البرمجيات.

بالنسبة لأي هيكل منحني أو قابل للطي، يلعب المفصل دورا مهما حيث أن التحكم في المفاصل يضبط الشكل المطلوب للهيكل، يتضمن مفصل الطباعة ذاتية الطي 4D طبقات متعددة من تكوين البوليمر الصلب، والمواد الموسعة والمواد الرقمية يصور اتجاه ونمط قابل للطي.

يتم وضع هذه المواد فوق أو أسفل بعضها البعض اعتمادا على نوع التحول، إذا تم وضع المركب المتمدد فوق البوليمر الصلب، فسوف يطوى السطح لأسفل وإذا وضعت أدناه، سوف يطوى السطح لأعلى، يحدث هذا الطي بسبب الهبوط أو الصعود للقوة المطبقة على المواد الصلبة مع مركب البوليمر الرقمي، والتحكم في طي المفاصل تصبح مرغوبة.

تعتمد المدة الزمنية للطي على قابلية التوسع للمواد أو المواد الرقمية، إذا تم استخدام مركب أعلى توسعا، فسيكون هناك المزيد من الطي وبالتالي زيادة وقت الطي، وبالمثل فإن المركب الأقل توسعا سيولد طيا أقل، فيقل وقت الطي.

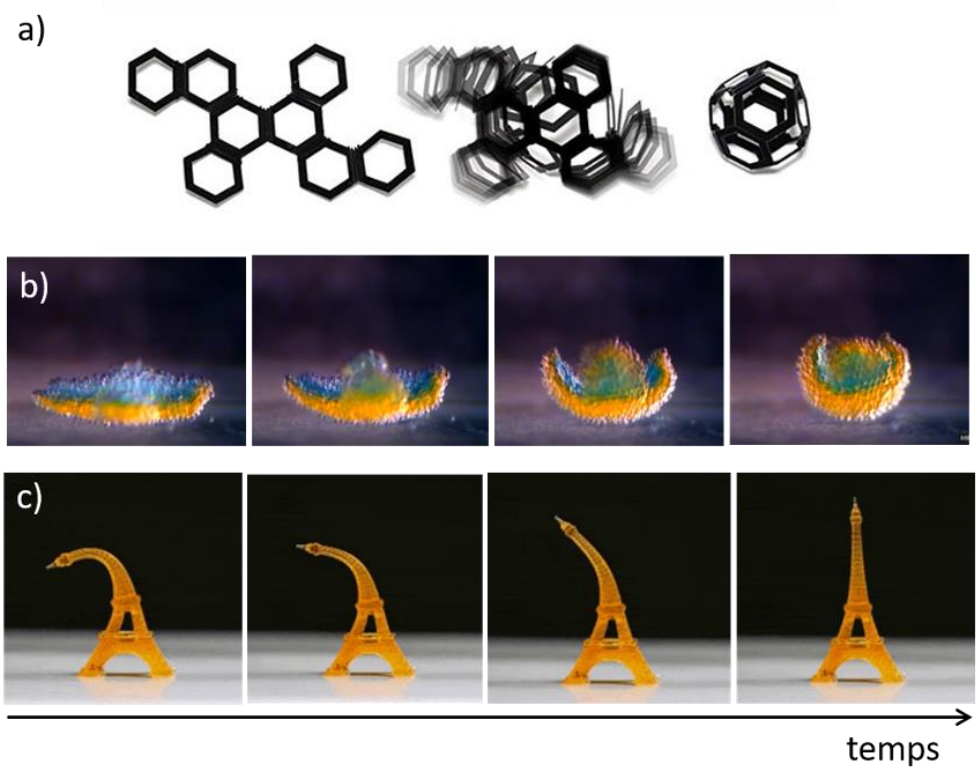
في البحوث، أظهر Skyler Tibbits تحويل زاوية مخصصة خلق شكل ثماني السطوح، تم إنشاء سلسلة من الهياكل المسطحة ثنائية الأبعاد مع مفاصل الحافة.

بعد إرسال النموذج الرقمي لطباعته، تم غمر النموذج المادي في الماء، التي حدثت عملية التحول في غضون فترة زمنية معينة مع وجود حواف للنموذج النهائي، المطلوب محاذاة تماما محاذاة مع الحواف المجاورة.

مع هذه التقنية، ثنائي الأبعاد تم طي شكل متعدد السطوح وتحويله ذاتيا إلى بنية دقيقة ثلاثية الأبعاد، ثماني أوكتاهيدرون ذاتي الطي.

تشمل ميزة هذه العملية كفاءة الطباعة شكل مسطح مع وقت طباعة سريع وأقل قدر ممكن من الموارد المستخدمة، إذا كان النموذج نهائي سيكون مطبوع مباشرة، وكان الأمر سيستغرق وقتا أطول في استهلاك المزيد من مواد الدعم، على المدى الطويل.

يمكن أن تكون هذه التكنولوجيا فعالة للعمليات اللوجستية، حيث يمكن أن تكون المواد السطحية المسطحة تم إنشاؤها وشحنها وتحويلها ذاتيا إلى بنية ثلاثية الأبعاد عند الحاجة.



شكل 11.4 طباعة 4D ذاتية الطي

تعتمد آلية طي السطح المنحني على تقنية تسمى أوريغامي التجعد المنحني، حيث يتم طي صفائح مسطحة ثنائية الأبعاد على طول التجاعيد المنحنية التي تشكل منحنى مزدوج السطح مع نمط خطي على شكل جبل ووادي.

بالإضافة إلى المواد الذكية، واحدة من التقنيات الأساسية للطباعة 4D هي تصميم مواد للتغيير الهيكلي، على الرغم من أن المادة الذكية نفسها تلعب دورا محوريا في تحويل كائن مطبوع إلى شكل أو تكوين آخر، بتصميم متطور يعتمد على يجب أن يكون الفهم الدقيق للآليات والسلوكيات المتوقعة والمعلمات المطلوبة يتم تنفيذها لتحقيق نتائج يمكن التحكم فيها من خلال تصميم اتجاه وموقع ذكي مثل ألياف البوليمر ذاكرة الشكل داخل المواد المركبة.

7.4 نهج الطباعة رباعية الأبعاد

الطباعة رباعية الأبعاد 4D Printing مصطلح تمت صياغته لوصف تكامل الطباعة ثلاثية الأبعاد وتقنيات المواد الفعالة لتحقيق المكونات المطبوعة التي يمكن تبديلها بين تكوينات متعددة عبر محفز بيئي على سبيل المثال، الحرارة أو الرطوبة.

حتى الآن، الهلاميات المائية، وشكل بوليمرات الذاكرة (SMPs)، هما البوليمران النشطان الرئيسيان المستخدمان في الطباعة رباعية الأبعاد.

الطباعة رباعية الأبعاد التي تعتمد على الهيدروجيل، تتكامل فيها الهلاميات المائية مع بوليمر أو خيوط غير متينة، عندما يتم غمر الهيكل المطبوع في مذيب، يتضخم الهيدروجيل، مما يخلق سلالات غير متطابقة بين المادتين مما يؤدي إلى تغيير الشكل العام.

ميزة هذا الأسلوب هو أنه لا يتطلب البرمجة بعد الطباعة، ومع ذلك، هناك بعض العيوب.

أولاً، الهلاميات المائية ناعمة، وبالتالي فإن صلابة الهيكل المطبوع منخفضة نسبيًا، ويمكن التغلب على هذا من خلال استراتيجية مركبة، حيث يتم دمج الهلام الناعم مع SMP صلب.

ثانيًا، تعتمد آلية الإنتفاخ على نقل الأنواع (الإنتشار)، وبالتالي فإن سرعة الإستجابة بطيئة نسبيًا، خاصة بالنسبة للهياكل الكبيرة.

على سبيل المثال، على الرغم من أن العنصر النشط (المفصل) في عمل Tibbits صغير (0.8 مم)، فإنه يستغرق حوالي 7 دقائق لتحقيق زاوية الإنحناء 36 درجة.

ثالثًا، الشكل الذي يتم تشغيله عن طريق التورم غير مستقر، لأنه سيتغير مع الفقد اللاحق للمذيب في الهيدروجيل إذا تغيرت الحالة البيئية.

تم استخدام SMPs الضوئية في الطباعة رباعية الأبعاد مع تقنيات الطباعة التجارية والبحثية القائمة على نفث الحبر فوتوبوليمير، والطباعة الحجرية الدقيقة الإسقاطية.

تتطلب الطباعة رباعية الأبعاد باستخدام SMPs عمومًا سلسلة من الخطوات:

(1) التوليف / المعالجة بواسطة الطباعة ثلاثية الأبعاد، البرمجة الحرارية الميكانيكية، بما في ذلك (2) التدفئة، (3) التحميل الميكانيكي، (4) التبريد، و(5) إزالة الحمل، و(6) النشر / التشغيل.

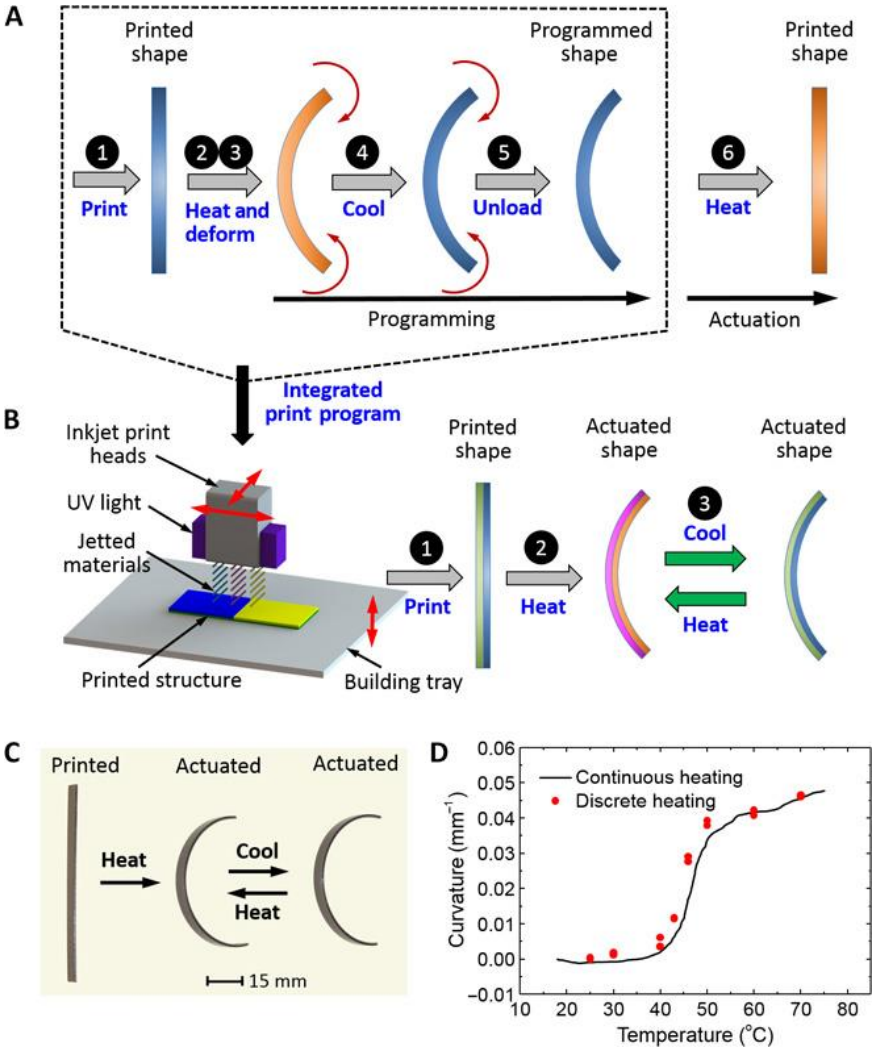
غالبًا ما تتطلب البرمجة الحرارية الميكانيكية أجهزة ومعدات خاصة لتطبيق الأحمال الميكانيكية وبيئة حرارية يتم التحكم فيها جيدًا.

ومع ذلك، فإن الطباعة رباعية الأبعاد باستخدام SMPs توفر أيضًا مزايا الهيكل الصلب نسبيًا وسرعة التشغيل العالية نسبيًا، كلاهما من حيث الحجم أعلى من تلك التي تم الحصول عليها باستخدام الهلاميات المائية المطبوعة.

نتيجة لذلك، كان النهج الجذاب في تحسين الطباعة رباعية الأبعاد القائمة على SMP هو تبسيط التحميل الميكانيكي إلى أحادي المحور ودمجه مع التعقيد الهندسي الذي يمكن تحقيقه بسهولة عن طريق الطباعة ثلاثية الأبعاد لتمكين التكوينات ثلاثية الأبعاد المبرمجة.

وتجدر الإشارة إلى أنه في الآونة الأخيرة، تم استخدام البلمرة الضوئية الرقمية لتبسيط عملية تغيير شكل الأغشية الرقيقة عن طريق الإنتفاخ الهلامي / امتصاص الشمع أو الإذابة.

ومع ذلك، فإن هذه الأساليب تقتصر على الطباعة أحادية الطبقة وتتطلب تناول مواد أخرى.



شكل 12.4 مفهوم الطباعة المباشرة رباعية الأبعاد وعرضها التجريبي

أ. تتطلب الطباعة رباعية الأبعاد السابقة القائمة على SMP خمس خطوات لتحقيق الشكل المبرمج.

ب. يستغل نهج الطباعة رباعية الأبعاد القدرة على طباعة مركبات متعددة المواد يتم التحكم فيها لدمج الخطوات الخمس في خطوة واحدة.

ت. عرض تجريبي لشرائط من طبقتين (80 مم × 5 مم × 0.6 مم، مع كل طبقة 0.3 مم) تم تصميمها وتصنيعها ليتم طباعتها كشريط مسطح (الشكل المؤقت) وبعد ذلك عند تسخينها يتحول إلى شكل منحني (الشكل الدائم) يبقى دون تغيير إلى حد كبير عند المزيد من التبريد والتسخين.

ث. الإنحناء المقاس للطبقة الثنائية كدالة لدرجة الحرارة أثناء التسخين لنشر الطبقة الثنائية من الشكل المسطح إلى الشكل المنحني، ويحقق كل من التسخين المستمر والمنفصل نفس الإنحناءات: يتم تسخين الأول من 18 درجة مئوية بمعدل 2 درجة مئوية / دقيقة، بينما يتم غمر الأخير في الماء لمدة 20 ثانية عند درجة حرارة محددة.

1.7.4 **اقتراح**

نقترح نهجًا جديدًا للطباعة رباعية الأبعاد باستخدام SMPs، حيث نقوم بدمج خطوات البرمجة في عملية الطباعة ثلاثية الأبعاد.

العينة في طريقتنا جاهزة لتغيير الشكل بعد الطباعة مباشرة دون أي تغيير في التركيب يتطلبه الطباعة رباعية الأبعاد القائمة على الهلام أو التدريب الميكانيكي الحراري الذي تتطلبه الطباعة رباعية الأبعاد القائمة على SMP.

نتيجة لذلك، يمكن للمكون المطبوع ثلاثي الأبعاد أن يغير شكله مباشرة بسرعة عند التسخين، وللقيام بذلك، نتحكم بشكل فعال في عملية البلمرة الضوئية أثناء الطباعة لتمكين المكونات ثلاثية الأبعاد ذات الشكل الهندسي المعقد بدقة مكانية عالية بطريقة عند إزالتها من درج التصميم، فإنها تعرض ميزات عالية الدقة ولكن مع سلالات مضمنة يتم التحكم فيها.

تتضمن خطوة النشر بعد ذلك ببساطة تسخين المكون الذي يحدث عليه تحول الشكل في نطاق زمني يتحكم فيه نقل الحرارة.

هذا الشكل المستقر الثاني يظل ثابتًا إلى حد كبير في التغيرات اللاحقة في درجة الحرارة، مثل التبريد إلى درجة حرارة الغرفة والتدفئة مرة أخرى، من خلال استغلال تأثير ذاكرة الشكل للبوليمر الزجاجي، يمكن برمجة الشكل الثالث، أو حتى الأشكال المتعددة، عن طريق التحميل الميكانيكي الحراري،

وستستعيد المادة دائمًا إلى الشكل الثابت (الثاني) الثابت عند التسخين، ليعتبر التحول بين شكلين محددين جيدًا بسيطًا ومباشرًا، ويمكن إجراؤه باستخدام مكونات هندسية معقدة بدقة عالية.
على عكس الطباعة رباعية الأبعاد السابقة حيث يكون الشكل المبرمج مؤقتًا والشكل المطبوع دائمًا، ينتج عن الطباعة المباشرة رباعية الأبعاد الجديدة أن يكون الشكل المطبوع مؤقتًا والشكل الثاني يتطور بمرور الوقت في ظل المحفزات البيئية، ويكون دائمًا الشكل المطبوع رباعي الأبعاد صلبًا نسبيًا في درجة حرارة الغرفة.
يوضح هذا المقترح قدرات النهج الجديد والمعلمات الرئيسية المتضمنة.

2.7.4 **نتائج**

يوضح الشكل 12.4 نهجنا المباشر للطباعة رباعية الأبعاد، حيث تتم مقارنته مع الأساليب الحالية للطباعة رباعية الأبعاد باستخدام SMPs.
فهو يدمج خمس خطوات منفصلة للطباعة والبرمجة (الشكل 12.4 A) في خطوة واحدة، مما يؤدي إلى بساطة كبيرة، بعد طباعة مكون في تكوين مؤقت بدقة عالية مع عملية polyJet التي تنفث قطرات الحبر من مواد متعددة المواد في طبقة، وتنعيمها وعلاجها بالأشعة فوق البنفسجية.
نحقق بشكل روتيني ميزات بدقة تبلغ حوالي 50 ميكرومتر في المستوى و 15 ميكرومتر من خلال السماكة، ويمكن ببساطة تسخينها لتحويلها إلى تكوينها الدائم الثاني (الشكل 12.4 B)، هنا يتم طباعة شريط مصفح من مادتين SMP واللدائن في درجة حرارة الغرفة، يكون SMP زجاجيًا بمعامل 1 GPa وهو ما يعادل اثنين إلى ثلاثة أوامر من حيث الحجم أكثر صلابة من المطاط الصناعي E~ 1 MPa انظر المواد التكميلية للحصول على تفاصيل بشأن الخصائص الحرارية الميكانيكية للمواد.
في التكوين المطبوع (المؤقت)، يوفر SMP الصلب صلابة ميكانيكية، ويمكن تصميم السلوكيات المحددة بمساعدة عمليات المحاكاة الحسابية (انظر المواد والطرق والمواد التكميلية).
يحتوي المطاط الصناعي المطبوع على إجهاد ثنائي المحور يمكن التحكم فيه عن طريق تكوين المواد ومعلمات عملية الطباعة، على سبيل المثال، درجة الحرارة، شدة الضوء، وقت المعالجة الضوئية، ووقت طباعة الطبقة.
يعمل الترابط القوي بين المطاط الصناعي و SMP على بناء الضغط الإنضغاطي في المركب مع الحفاظ على الثبات في درجة حرارة الغرفة والدقة العالية في الدقة الهندسية، على النحو الذي يحدده تصميمه في ملف التصميم بمساعدة الكمبيوتر (CAD) ثلاثي الأبعاد.
الشكل 12.4 C، حيث يكون الشكل الدائم عبارة عن صفائح منحنية.

يوضح الشكل 12.4 D تطور الإنحناء أثناء نشر الشرائح المطبوعة، مع ارتفاع درجة الحرارة يميل معامل التمدد الحراري (CTE) بين SMP (في الحالة الزجاجية) والمطاط المطاطي (في الحالة المطاطية) إلى دفع الصفائح إلى الإنحناء، عندما تقترب درجة الحرارة من T_g من SMP، يخفف SMP ويخفف القيود المفروضة على سلالات الإنضغاط المدمجة في المطاط الصناعي، مما يؤدي إلى إطلاقها بشكل فعال، عندما يقترن عدم تطابق CTE بين SMP واللدائن، ينتج عن ذلك تشوه للمكون عند إنشاء التوازن الميكانيكي، ويكون معدل الإنحناء أكثر وضوحًا عندما يقترب لـ(45 درجة مئوية) SMP، ويتشبع عند حوالي 60 درجة مئوية، ويصل إلى الحد الأقصى مع ارتفاع درجة الحرارة فوق T_g، فإن معامل SMP مشابه لمعامل المطاط الصناعي، بما يتوافق مع مرونة المطاط القياسية.
يمكن أيضًا مقارنة CTE للمادتين فوق T_g، وهذا يساهم في وجود هضبة في تطورات الإنحناء(انظر السلالات الحرارية في الشكل 12.4 D) يُظهر أيضًا النتائج التي تم الحصول عليها بالطريقتين:
التسخين المستمر، حيث يتم وضع العينة في الماء عند 18 درجة مئوية ويتم قياس انحناء العينة حيث ترتفع درجة حرارة الماء بمعدل 2 درجة مئوية / دقيقة، و (2) القياسات المنفصلة، حيث يتم غمر العينات في الماء الذي تم الإحتفاظ به عند درجة حرارة محددة وقياسها بعد 20 ثانية من الغمر.
النتائج لكليهما متسقة، مما يوضح أنه أثناء النشر، لا تكون التأثيرات اللزجة لـ SMPs مهمة، ولا انتشار الرطوبة في البوليمر أثناء الغمر في الماء.
عندما يتم تبريد الصفيحة إلى درجة حرارة الغرفة بعد النشر، يمكن أن يؤدي عدم تطابق CTE بين المواد إلى مزيد من التشوه، ولكن هذا متواضع لأن CTE من المادتين متشابهة فوق T_g.
في حين أن عدم تطابق CTE يزداد مع انخفاض درجة الحرارة إلى أقل من T_g، وتزداد صلابة SMP بشكل كبير في نفس الوقت (الشكل 12.4 A)، مما يعمل على قفل الصفائح في الشكل المنحني.
لذلك، كما هو مبين في الشكل 12.4 C، يتم "قفل" أو "إعادة تشكيل" المكون بشكل أساسي في الشكل الدائم، ويتم تحقيقه ببساطة عن طريق تسخين المكون المطبوع إلى درجة حرارة مرتفعة.
نوضح أنه من هذا الشكل الدائم، يمكن تسخين أحد المكونات وإعادة تشكيله إلى شكل جديد، ثم تبريده لإصلاحه في شكل آخر (مؤقت) من خلال استغلال قدرة SMP على تحديد الشكل.
تؤدي إعادة التسخين إلى إرجاع العينة إلى الشكل الدائم (وليس الشكل المطبوع)، ويمكن تكرار هذه العملية عدة مرات.

يوضح الشكل 13.4 نتائج الدراسات المنهجية لفهم آليات تغيير الشكل وتوضيح دور معلمات التصميم الرئيسية.

نقوم بتكييف الضغط الإنضغاطي المدمج في المطاط الصناعي من خلال التحكم في وقت الطباعة لكل طبقة.

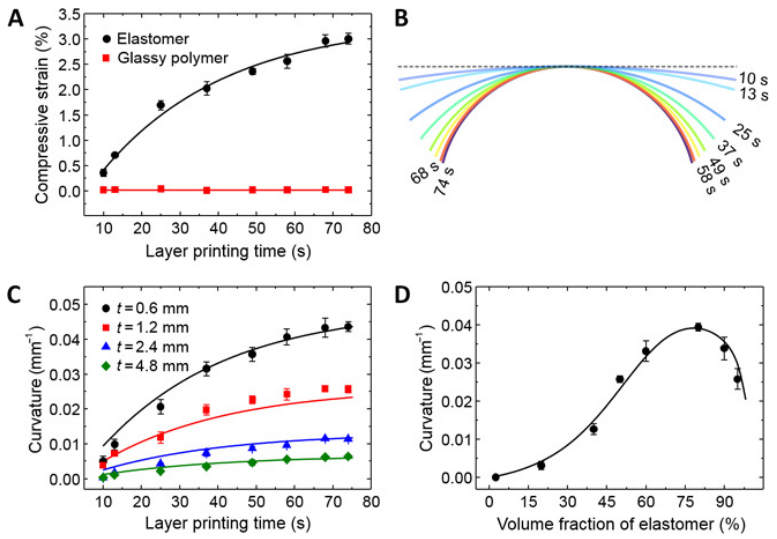
الشكل 13.4 A يوضح السلالات الإنضغاطية المقاسة مقابل وقت طباعة الطبقة الذي تم الحصول عليه من التجارب، حيث نقوم بطباعة طبقة من المطاط الصناعي ثم قياس التمدد الناتج عن الضغوط المضمنة عند إزالته من درج البناء، من خلال تغيير وقت طباعة الطبقة على مدى من 10 إلى 74 ثانية، كما يمكننا تفصيل الضغط المدمج على نطاق من حيث الحجم.

في الأساس، ينشأ هذا من تفاصيل حركية التفاعل الكيميائي الضوئي أثناء عملية المعالجة طبقة تلو الأخرى، وسيكون من الضروري إجراء دراسات أساسية أكثر تفصيلاً لفهم الآليات الأساسية بشكل كامل، بدلاً من ذلك نقوم هنا بتمييزه بنموذج تجريبي بسيط.

لقد وجدنا أن الإجهاد الإنضغاطي متساوي المحور تقريبًا، على الرغم من وجود بعض الإختلاف مع الإتجاه في علبة البناء (على سبيل المثال، 3.1% على طول المحور X مقابل 3.6% على طول المحور Y لوقت طباعة الطبقة 74 ثانية.

نتجاهل تباين الخواص هنا، ولكن سيكون من السهل النظر إليها في دراسة أكثر تفصيلاً، تُظهر اختبارات التحليل الميكانيكي الديناميكي (DMA) أن درجات الحرارة لـ SMP والمطاط الصناعي تبلغ 62 درجة مئوية و 8 درجات مئوية، على التوالي.

نلاحظ أن وقت الطباعة له تأثير ضئيل على كل من معامل التخزين ودرجة حرارة لأي من المادتين.



شكل 13.4 الفهم الأساسي للمعلمات المتضمنة في الطباعة المباشرة رباعية الأبعاد

أ. قياس (رموز) وتركيب (منحنيات) إجهاد ضغط مدمج في كل مادة (شرائط بأبعاد 60 مم × 8 مم × 1.2 مم) كدالة لوقت الطباعة لكل طبقة.

ب. الشكل الدائم المقاس لعينات الطبقة الثنائية المسطحة المطبوعة (60 مم × 6 مم × 0.6 مم، مع كل طبقة لها سماكة متساوية) كدالة لوقت طباعة الطبقة.

ت. الإنحناء المقاس (الرموز) والمحاكاة (المنحنيات) للطبقات الثنائية (60 مم × 5 مم) بطبقات من المطاط الصناعي و SMP ذات سماكة متساوية كدالة لسماكة الطبقة الكلية (t) ووقت طباعة الطبقة.

ث. الإنحناء المقاس (بالرموز) والمحاكاة (المنحنيات) للطبقات الثنائية (60مم × 5مم × 1.2 مم) كدالة لجزء الحجم (السماكة) من المطاط الصناعي، تم قياس الإنحناءات في (B) إلى (D) بعد تسخين العينات إلى 62 درجة مئوية والإحتفاظ بها لمدة 20 ثانية.

يوضح الشكل 13.4 B سلسلة من الأشرطة المصفحة (60 مم × 5 مم × 0.6 مم، مع كل طبقة مادية 0.3 مم) تم طباعتها كأشرطة مسطحة مع أوقات طباعة مختلفة بين كل طبقة طباعة.

لاحظ أن عملية الطباعة تستمر بطباعة طبقات بسمك 30 ميكرومتر حتى يتم الوصول إلى سمك 0.3 مم، تم بعد ذلك إزالة العينات من لوح التصميم وتسخينها لنشرها في أشكالها الدائمة.

ينتج تقوس الشكل الدائم عن الإجهاد الإنضغاطي المدمج في الشكل 13.4 A ويمكن التحكم فيه خلال وقت الطباعة.

الشكل 13.4 C يُظهر نتائج كمية للإنحناء الذي تم تطويره كدالة لوقت الطباعة لسلسلة من الطبقات الثنائية مع طبقات من المطاط الصناعي و SMP ذات سماكة متساوية ولكن بسماكة إجمالية تمتد على نطاق تقريبًا من حيث الحجم (0.6 إلى 4.8 ملم).

يتحد السماكة ووقت الطباعة للسماح بتغيرات الإنحناء التي تزيد عن ترتيب من حيث الحجم، ويظهر أيضًا في الشكل 13.4 C نتائج من عمليات المحاكاة التي تم إجراؤها باستخدام نموذج يراعي السلوك الميكانيكي الحراري المعتمد على درجة الحرارة لكل مادة والسلالة الإنضغاطية المضمنة تجريبياً في المطاط الصناعي، من الشكل 13.4 A انظر المواد التكميلية للحصول على تفاصيل النموذج وتنفيذه في رمز عنصر محدود.

تصف عمليات المحاكاة السلوك المرصود جيدًا وتوفر الثقة في إمكانية استغلال السلوك في تكوينات هندسية أوسع (قوة نهج الطباعة ثلاثية الأبعاد) لإنشاء مكونات متطورة وأن النموذج يمكن استخدامه

لتصميم المعلمات الهندسية والمعالجة المناسبة، وتساعد عمليات المحاكاة أيضًا في الكشف عن آلية تغيير الشكل نوعًا وكميًا.

الشكل 13.4 D يوضح نتائج كل من التجارب والمحاكاة على تأثير نسبة سماكة SMP إلى نسبة سمك المطاط الصناعي على الإنحناء لسلسلة من الشرائح معبرًا عنها من حيث جزء حجم المطاط الصناعي.

القياسات والمحاكاة في اتفاق معقول، يوضحون أيضًا أن هناك تكوينًا هندسيًا مثاليًا يمكن تصميمه لزيادة التشوه بعد النشر، (أي بعد إزالة القوالب والتبريد من درجة حرارة المعالجة) للحث على تغيير الشكل، على الرغم من أنه لم يكن واضحًا أيهما كان المساهم الرئيسي.

يحدث تغيير الشكل فقط عندما نقوم بتحفيز العينة عن طريق التسخين، ولن يتغير الشكل مرة أخرى عند التبريد، باستخدام نموذجنا النظري، يمكننا تحديد النسبة بين السلالة الإنضغاطية المضمنة وسلالة عدم تطابق CTE تجاه الإنحناء.

8.4 تطبيق أفكار الطباعة رباعية الأبعاد المباشرة على العناصر الهيكلية

يوضح الشكلان 14.4 و15.4 في محاولة لنقل المرونة التي يتم تقديمها من خلال الجمع بين معلمات التصميم الهندسية والمادية والمعالجة.

في جميع الأمثلة، تتمثل الفكرة الأساسية في طباعة العينات في تكوينات ذات طبقات مسطحة سهلة التصميم واقتصادية للطباعة من حيث وقت الطباعة وإهدار المواد نظرًا لعدم الحاجة إلى مواد داعمة، ثم من خلال خطوة التسخين البسيطة، يتم نشرهم لتحقيق أشكال دائمة ثلاثية الأبعاد.

على الرغم من عدم دراستها هنا، يمكن أيضًا تصميم العينات لإنشاء أنماط تشغيل مختلفة وقوى تشغيل محددة، أو تصميمها لإظهار الصلابة الهيكلية المطلوبة في التكوين النهائي.

كل من الأمثلة في الشكل 14.4 يستخدم الإنحناء بين المطاط الصناعي و SMP لدفع التشوه، لكن التكوين الهندسي للطبقتين يملي الأشكال التي يتم تشغيلها.

يوضح الشكل 14.4 A شريطًا منقوشًا بأجزاء من اللدائن المرنة SMP التي تتناوب على طول الطول مع فترة محددة لتحقيق نمط متموج عند التسخين.

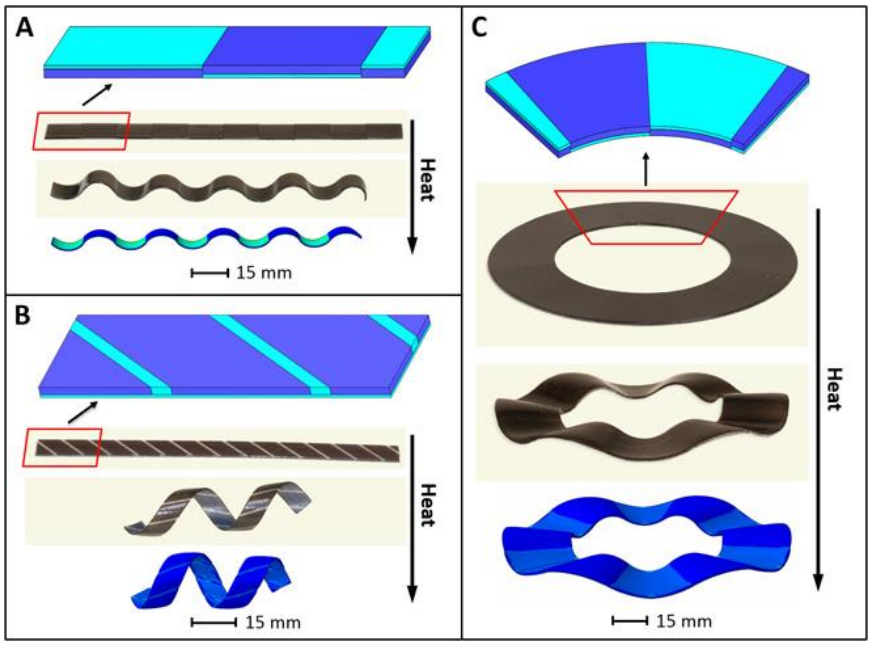
يوضح الشكل 14.4 B شريطًا مشابهًا ولكن مع مقاطع منقوشة يتم تدويرها بالنسبة إلى المحور الطويل للشريط لترجمة الإنحناء المحلي إلى تطور مجهري يحدد ميل النموذج وزاويته، إلى جانب نسبة سمك الطبقتين، الهندسة (الطول الموجي والقطر وما إلى ذلك) من اللولب الناتج.

الشكل 14.4 C يوضح بعض قوة نهج الطباعة ثلاثية الأبعاد لإنشاء أشكال هندسية معقدة عن طريق طباعة قرص مجوف مسطح يتحول إلى قرص متموج عند التسخين.

هنا الآلية التي تقود النمط المتموج هي الإنحناء البسيط الذي يمليه تخطيط النموذج، على عكس الهياكل المماثلة التي تم إنشاؤها بطبقات موحدة ولكنها تعتمد على الإلتواء عند التسخين لإنشاء أشكال قرص متموج مماثلة.

يظهر أيضًا لكل حالة عمليات محاكاة للعناصر المحدودة بناءً على النموذج والمعلمات المقاسة في الشكل 13.4 A، وهي متوافقة جيدًا مع القياسات.

يوضح هذا الفهم الكافي للظواهر من حيث الهندسة وسلوك المادة وسلوك العملية، والتي يمكن استخدامها على نطاق واسع لتصميم المكونات ذات الشكل التعقيدي.



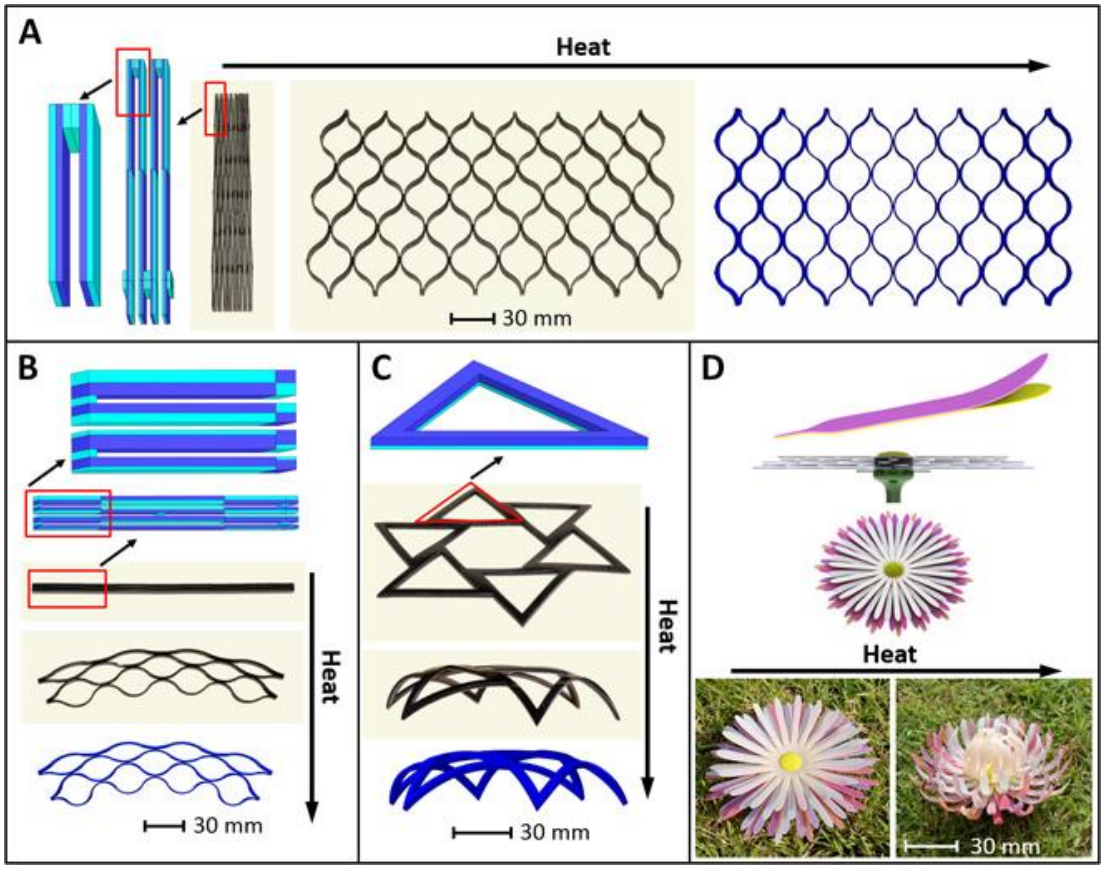
شكل 14.4 طباعة مباشرة 4D للعناصر الهيكلية مع أوضاع تشوه تمليها بنية مطبوعة 3D

أ. شريط مسطح مطبوع (150 مم × 10 مم × 0.7 مم) يتحول إلى هيكل متموج سمك / SMPالمطاط الصناعي هو 0.2 / 0.5 مم، ودرجة النمط 15 مم.

ب. شريط مسطح مطبوع (120 مم × 8 مم × 0.7 مم) يتحول إلى حلزون تبلغ سماكة SMP / المطاط الصناعي 0.2 / 0.5 مم، ويتم توجيه فاصل SMP بعرض 0.5 مم عند 45 درجة.

ت. حلقة بقطر خارجي / داخلي 120 / 68.6 مم وسماكة 1.2 مم تتحول إلى هيكل متموج تبلغ سماكةSMP / إلاستومر 0.4 / 0.8 مم، وميل النموذج 15 مم.

في جميع الحالات، يكون وقت طباعة الطبقة 68 ثانية، تظهر تفاصيل الهيكل المركب في طرق عرض مفككة، حيث يمثل اللون الأزرق المطاط الصناعي ويمثل السماوي البوليمر الزجاجي، ويتم عرض كل من التكوينات المؤقتة (المطبوعة) والدائمة (بعد التسخين) من التجارب كمحاكاة للعناصر المحدودة المقابلة.



شكل 15.4 طباعة مباشرة رباعية الأبعاد لهياكل تتكون من عناصر متعددة

أ. هيكل شعري مطبوع (180 مم × 25.2 مم × 7 مم) يتم نشره في تكوين مفتوح عند التسخين، سمكSMP / المطاط الصناعي 0.35 / 0.35 مم.

ب. هيكل مشابه (192 مم × 6.3 مم × 6 مم) لا يتوسع عند التسخين فحسب، بل ينحني أيضًا بسبب التصميم المعماري، سمك SMP / المطاط الصناعي هو 0.8 / 0.8، 0.6 / 0.6، 0.3 / 0.9، و0.2 / 0.6 ملم، على التوالي من الأعلى إلى الأسفل.

ت. هيكل مسطح على شكل نجمة ينتشر في قبة ثلاثية الأبعاد، لكل مثلث متساوي الأضلاع طول ضلعه الخارجي / الداخلي 60 / 44.4 مم، سمك SMP / إلاستومر 0.88 / 1.77 مم.

ث. زهرة مطبوعة تتكون من بتلات متعددة في طبقات متعددة تتفتح في تكوين، حيث تتخذ البتلات في طبقات مختلفة تكوينات نهائية بانحناءات مختلفة، سمك SMP / المطاط الصناعي لجميع البتلات هو 0.3 / 0.3 مم، تم تصميم ثلاثة أنصاف أقطار مختلفة (42 ، 48 ، 51 مم) للبتلات في طبقات مختلفة، تظهر تفاصيل الهيكل المركب في طرق عرض مفككة، حيث يمثل اللون الأزرق المطاط الصناعي ويمثل السماوي البوليمر الزجاجي.

يوضح الشكل 15.4 أمثلة حيث نطبق المفهوم على الهياكل التي تتكون من العديد من العناصر الهيكلية.

الشكل 15.4 A تُظهر بنية شبكية تم تصميمها وطباعتها في شكل مضغوط، عند التسخين تتشوه بشكل ملحوظ مع امتداد هيكلي بنسبة 90% تقريبًا وانكماش جانبي بنسبة 15% تقريبًا.

الجدير بالذكر أنه على عكس الأمثلة السابقة حيث كانت طبقات المواد موازية لدرج البناء، هنا تم تصميم الطبقات بشكل عمودي على علبة البناء، تظهر محاكاة العناصر المحدودة توافقًا جيدًا، مع امتداد متوقع بنسبة 82% وانكماش جانبي بنسبة 15%، ونعرض مثالًا مشابهًا حيث تتم طباعة الهيكل في تكوين شبكي مفتوح كما في الشكل 15.4 A ثم التسخين ينهار في التكوين المضغوط بضغط هيكلي بنسبة 62% تقريبًا.

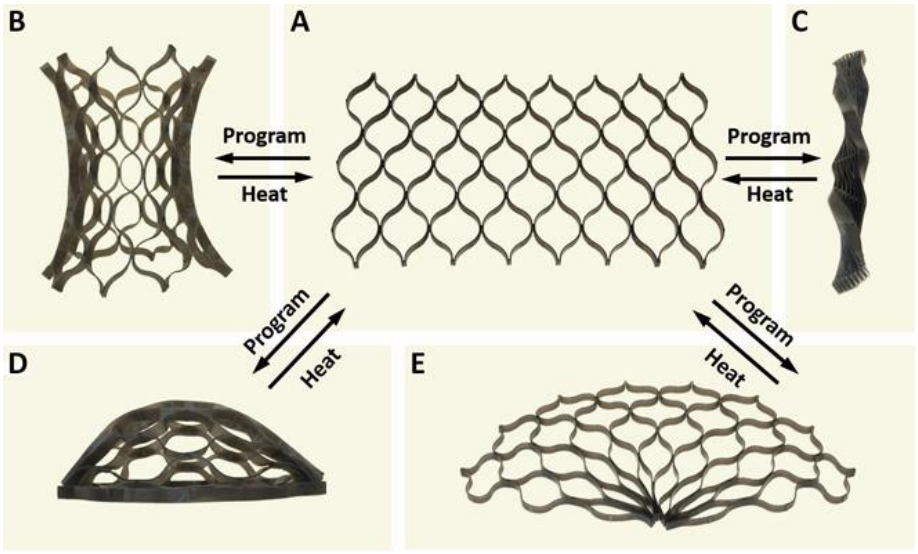
يوضح الشكل 15.4 B تباينًا طفيفًا في هذه الشبكة المتوسعة، حيث تم تصميم الطبقات لإنتاج شبكة تتوسع وتنحني على حد سواء.

يُظهر الشكل 15.4 C هيكلًا على شكل نجمة مطبوع على شكل ورقة مسطحة، ثم تنحني كل نقطة من النجمة عند التسخين، مما يرفعها خارج الطائرة إلى قبة، هنا تتفق عمليات محاكاة العناصر المحدودة مرة أخرى بشكل جيد مع القياسات.

أخيرًا، الشكل 15.4 D يُظهر تصميم زهرة معقدة تزهر عند التسخين، هنا يتم إنشاء الزهرة بحيث تكون كل بتلة عبارة عن طبقة ثنائية لها نفس نسبة سماكة المطاط الصناعي – SMP، لكن وقت الطباعة لكل طبقة من البتلات يختلف من أسفل إلى أعلى في تسلسل من 25 إلى 74 ثانية بحيث عند تسخين كل طبقة من البتلات تتجعد بكمية مختلفة، مما ينتج عنه بنية زهرة (أقحوان) واقعية، بدون تغيير هندسة العمارة المركبة في كل طبقة من البتلات، ونتحكم في الإنحناءات من خلال إدارة وقت الطباعة فقط. يمكن للمرء الحصول على مزيد من الحرية في التصميم من خلال تغيير البنية العيانية، وهندسة المواد، ووقت الطباعة.

يوضح الشكل 16.4 القدرة الرائعة للهياكل المطبوعة 4D على التنشيط في شكلها الدائم ثم إعادة تدريبها وتخزينها في أشكال مؤقتة متعددة، هنا الشكل المطبوع (المؤقت) عبارة عن شعرية مضغوطة (الشكل 15.4 A) فعالة في الطباعة، والشكل الدائم بعد التسخين عبارة عن شبكة مفتوحة أكبر.

تم بعد ذلك تسخين الشبكة في شكلها الدائم (الشكل 16.4 A) إلى ما فوق T_g، حيث يكون الهيكل بأكمله ناعمًا، وتم تشويهها إلى شكل جديد، وتبريدها إلى درجة حرارة الغرفة، حيث تظهر صلابة كبيرة. يوضح الشكل 16.4 B إلى E عددًا من هذه الأشكال المبرمجة، مثل الشكل ثلاثي الأبعاد لإسطوانة السرج، الشكل 16.4 B (شكل مضغوط ملتوي مضغوط)، الشكل 16.4 C شكل نصف كروي / قبة، الشكل 16.4 D (شكل مروحة داخل الطائرة)، الشكل 16.4 E والتي تكون مستقرة في درجة حرارة الغرفة حتى تتم إعادة برمجتها، ويتم تحقيق ذلك من خلال استغلال تأثير ذاكرة الشكل لـ SMP في عمليات البرمجة المتعددة هذه.



شكل 16.4 توضيح للقدرة على إعادة برمجة هيكل مطبوع رباعي الأبعاد

من شكله الدائم إلى العديد من التكوينات المختلفة التي تكون صلبة هيكليًا في درجة حرارة الغرفة ثم إعادتها إلى شكلها الدائم عند التسخين.

أ. التكوين الدائم المنشور لشبكة مدمجة بعد التسخين، والذي هو نفسه مع الهيكل المنشط في الشكل 15.4 A، هذا الشكل هو أيضًا الشكل المستعاد بعد إعادة البرمجة والتسخين.

ب. شكل اسطوانة السرج المعاد برمجته.

ت. الشكل المضغوط المضغوط الملتوي المعاد برمجته.

ث. شكل نصف الكرة / القبة المعاد برمجته.

ج. شكل المروحة المعاد برمجته في الطائرة.

9.4 مناقشة

عرضنا نهجًا مباشرًا للطباعة رباعية الأبعاد يوسع الطباعة ثلاثية الأبعاد للبوليمر الضوئي متعدد المواد لتحويل مكون من تكوين عالي الدقة إلى آخر بخطوة تسخين واحدة بسيطة.

هذا النهج يفتح الإحتمالات في عدد لا يحصى من التطبيقات التكنولوجية، ربما يكون أحد الأمثلة المثيرة للإهتمام هو إمكانية تمكين نهج تصميم منتج جديد في جوهره.

النهج هو عملية تصنيع وتجميع جديدة تعتمد على التجميع المتكامل لأجزاء مختلفة من المكون عبر آليات متوافقة قابلة للبرمجة، أي تصميم لتصنيع المواد المضافة والتجميع المتوافق.

في البداية، يمكننا تصميم الهندسة والمواد وعملية التصنيع لتكوينين أو أكثر، بدلاً من تكوين واحد، يوجد مزيج من العديد من المعلمات الهندسية والمادية والعملية ويمكن استغلالها في التصميم.

في معظم الأمثلة التي عرضناها هنا، تم تحويل لوح مسطح ثنائي الأبعاد بهيكل مادة مصمم بشكل هادف إلى هيكل ثلاثي الأبعاد، الأول سهل وسريع واقتصادي للطباعة ويتطلب القليل من مواد الدعم أو لا يتطلب أي مواد، في حين أن الأخير سيكون على الأقل أبطأ بشكل كبير، ويكون أكثر تكلفة، ويتطلب استخدامًا كبيرًا لمواد الدعم، على سبيل المثال، طباعة هيكل سيتطلب الشكل 15.4 C مباشرةً في تكوين القبة ثلاثية الأبعاد حوالي ثمانية أضعاف الوقت وثمانية أضعاف مادة الدعم مقارنةً بالتكوين المسطح ثنائي الأبعاد عند طباعته على طابعة Objet Connex.

بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تكون الطباعة المباشرة رباعية الأبعاد بمثابة تقنية منصة لدمج الأجهزة الوظيفية، على سبيل المثال يمكن طباعة ورقة مسطحة قابلة للتحويل، يمكن بعد ذلك تجميع الدوائر الموصلة والأجهزة الإلكترونية، مثل البطاريات وأجهزة الإستشعار والمحركات، على الصفيحة المسطحة، شكلها المسطح يجعل عمليات التكامل هذه سهلة.

يمكن للتسخين بعد ذلك نشر الهيكل المسطح في بنية ثلاثية الأبعاد مع وظائف إلكترونية مدمجة، ويمكن تحقيق التسخين من خلال آليات أكثر تعقيدًا، على سبيل المثال، التسخين المقاوم أو التعريفي الذي يمكن تحديده في كل من المكان والزمان لتوفير تحكم عالي الدقة في عملية النشر.

علاوة على ذلك، يمكن للمرء أن يبني الركيزة المسطحة الذكية، مع بوليمرات مختلفة لها تبعيات زمنية مختلفة لسلوكها، وتحقيق عملية تجميع متسلسلة.

على الرغم من أن النهج يتيح فرصًا كبيرة، إلا أننا سنكون مقصرين إذا لم نذكر عيبًا، نظرًا لأن عملية النشر تحدث عند درجة حرارة مرتفعة حيث يكون الهيكل ناعمًا، فمن الصعب نشر الهيكل عندما يكون

في حالة خدمة يتم التعامل معها بواسطة الأحمال، على سبيل المثال، الأحمال الديناميكية الهوائية في سيناريو تحويل السيارة.

نعتقد أن مفاهيم التصميم المركب القائمة على المحاكاة والتي تدمج المواد التي يمكنها ضبط صلابتها من خلال التأثيرات الهندسية غير الخطية بدلاً من التأثيرات المادية، يمكن أن توفر مسارًا جذابًا لتحقيق هذه الغاية، وهذا هو موضوع العمل المستمر.

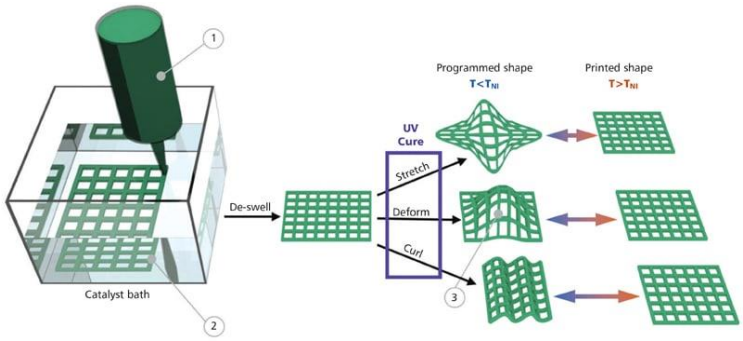
10.4 تصميم العينات والطباعة ثلاثية الأبعاد

يتم إنشاء جميع العينات في حزمة 3D CAD SolidWorks (Dassault Systèmes) تم إنشاء أوصاف هندسية من حيث ملفاتSTL، واستيرادها إلى برنامج طابعة Stratasys Connex Objet متعدد المواد وطباعتها على Objet 500 Connex 3، بارتفاع شريحة 30 ميكرومتر في وضع الطباعة الرقمية.

ما لم يُذكر خلاف ذلك، تم توجيه جميع العينات التي تشبه الحزمة المطبوعة مع أطول جانب على طول المحور (X أطول مسافة طباعة) لدرج البناء والسمك على طول المحور Z.

يتم استخدم المواد التجارية TangoBlack+ أو Tango+ كـ اللاستومر و VeroClear مثل SMP.

ويتم تمثيل TangoBlack+ لجميع العينات باللون الأزرق في رسومات CAD، بينما يتم تمثيل VeroClear باللون السماوي.



شكل 17.4 طباعة مادة 4D

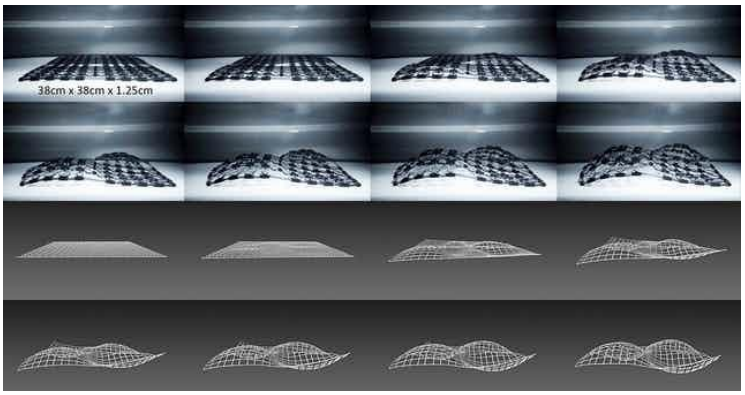
11.4 النمذجة والمحاكاة

يتم إجراء عمليات محاكاة العناصر المحدودة للتنبؤ بتغيير شكل الهياكل المطبوعة باستخدام حزمة برامج العناصر المحدودة المتاحة تجارياً ABAQUS (Dassault Systèmes) بالنسبة للمواد المستخدمة في الطباعة ثلاثية الأبعاد.

استخدام نموذج اللزوجة متعددة الفروع لإلتقاط سلوكها المرن بالحرارة وتشكيل الذاكرة، هذا موصوف بإيجاز في المواد التكميلية.

تم دمج السلالة التي تم تضمينها في المطاط الصناعي أثناء الطباعة كإجهاد حراري متبقي بناءً على البيانات المقاسة في الشكل 13.4 A تم تصميم نماذج الإجهاد المستوي ثنائي الأبعاد مع عناصر (CPS4T) للشرائط المطبوعة في الشكل 13.4، بينما تم تصميم النماذج ثلاثية الأبعاد مع عناصر (C3D8HT) للهياكل المطبوعة في الأشكال 14.4 و 15.4.

كان التكوين الهندسي وشروط الحدود لنماذج العناصر المحدودة هي نفسها تلك الخاصة بالعينات المستخدمة في التجربة.



شكل 18.4 محاكاة مادة مطبوعة 4D

12.4 مجالات استخدام الطباعة رباعية الأبعاد

تختلف حالات الإستخدام للطباعة رباعية الأبعاد إلى حد كبير، وخاصة في المجال الطبي والصناعي، حيث يمكن استخدام هذه التكنولوجيا في:

- صنع أطراف اصطناعية تتغير حسب اللمس.
- دواء ينشط عند ابتلاعه نتيجة عن أحماض المعدة، أو درجة حرارة الجسم أو الرطوبة.
- الدعامات التي تفتح الأوعية الدموية عندما تصل إلى وجهتها النهائية.
- صمامات المياه المطبوعة من هيدروجيل التي تفتح وتغلق عندما تتغير درجة حرارة الماء.
- الأحذية التي تتغير مع شكل القدمين.
- الملابس التي يتغير تكوينها على سبيل المثال بإضافة طبقة مقاومة للماء، أو عندما تتعرض لأنواع مختلفة من الطقس.
- كما يمكن استخدام المواد المطبوعة رباعية الأبعاد في النقل، على سبيل المثال تغيير الطبقة الخارجية للطائرة عندما تصل إلى درجات حرارة معينة للهواء.

- السماح للسيارة بالعمل بشكل غير ميكانيكي عند تعرضها للتيارات الكهربائية.

13.4 تطبيقات للطباعة رباعية الأبعاد

تكنولوجيا الطباعة 4D لديها القدرة على تغيير بيئة الأعمال الحالية، ففي مستقبل يعتمد النهوض بهذه الآلية ولا يزال يركز على مجموعة متنوعة من القدرات من أجل العملية الحالية التي تسمح للهيكل المطبوع 4D بالتوسع عند تعرضه للماء وعندما يسمح للهيكل أن يجف، ويميل إلى التكشف واستعادة شكله الأصلي.

ومع ذلك، عندما تكون مماثلة تتكرر العملية مرارا وتكرارا، وتتحلل المادة بمرور الوقت والعملية ليست بلا حدود، للتحكم في عملية التوجيه والإنعكاس.

هناك حاجة إلى مزيد من البحث والتطوير التي سيتم إجراؤها، ويشير هذا التطور إلى تغيير مستقبل التعليم والعلوم، مع دراسة الهياكل والنماذج القائمة ذاتية التغيير، وتجربة جديدة مع مواد جديدة يمكن اختبار الخصائص والسلوكيات الوظيفية، للقدرة على التغيير الذاتي للمواد التي تؤدي إلى المزيد من التطبيقات في مختلف الصناعات.

من الضروري لأي عمل تجاري تقليل تكلفة التصنيع وزيادة الأرباح للبقاء في بيئة تنافسية شرسة، جنبا إلى جنب مع الطباعة 3D وتوفير منصة لأفكار الأعمال الجديدة التي يمكن أن تتكيف وتنافس الحالية اتجاه السوق عن طريق خفض متطلبات رأس المال، وكفاءة الوقت، ومساحة أقل للإحتفاظ بالمخزون و زيادة كفاءة الأعمال.

الطباعة 4D تعزز الحفاظ على بيئة مستدامة كما تسمح القدرة على التحويل الذاتي للعنصر المطبوع، والطريقة التي تتبعها الطباعة رباعية الأبعاد في تصنيع المنتجات اليوم تفتح الباب أمام الكثير من التطبيقات نلقي نظرة على بعضٍ منها:

1.13.4 الطيران والفضاء

تُعد القدرة على إنتاج مواد ذكية تتفاعل مع العوامل الخارجية ميزة أساسية لصناعة الطيران، وتتيح الطباعة رباعية الأبعاد تحقيق ذلك من خلال إنشاء هياكل ذاتية الإنتشار (تنطوي وتتكشف بمفردها عند تعرضها لمحفز خارجي) لإستخدامها كوسيلة للتهوية ولتبريد المحرك واستخدامات أخرى مماثلة.

وفي هذا السياق، تعمل شركة Airbus SAS بالتعاون مع مختبر التجميع الذاتي التابع لمعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا بالإعتماد على تقنية الطباعة رباعية الأبعاد لتطوير حل من شأنه تبريد محركاتها اعتماداً على درجة الحرارة وعوامل أخرى.

وخير مثال على ذلك، ما قاموا به لتطوير عنصر مدخل الهواء بحيث يمكنه أن يُغير شكله استجابةً للظروف الديناميكية الهوائية لتقليل مقاومة الهواء، واستخدم المهندسون لهذا الغرض ألياف الكربون بعد برمجتها بحيث يمكنها الإستجابة لقوى الضغط، الأمر الذي يؤدي إلى التحكم تلقائياً في تدفق الهواء المستخدم لتبريد المحرك من خلال ضبط عنصر مدخل الهواء ذاتياً.

وتم اختبار المدخل بنجاح في قناة التهوية، ليتم استخدامه مستقبلاً كبديل عن النظام الميكانيكي الثقيل الذي يقوم حالياً بهذه المهمة، ولم تقتصر تطبيقات الطباعة رباعية الأبعاد في مجال الطيران على تطوير عنصر مدخل الهواء فقط، بل استفادت البعثات الفضائية أيضاً منها، فقد استخدم باحثون من معهد جورجيا للتكنولوجيا بوليمرات ذاكرة الشكل لطباعة الهيكل المصنوع من الدعامات بشكل ثلاثي الأبعاد بحيث يتم طي هذا الهيكل بشكل مسطح مؤقتاً ولكن يمكن أن يتكشف عند تعرضه للحرارة.

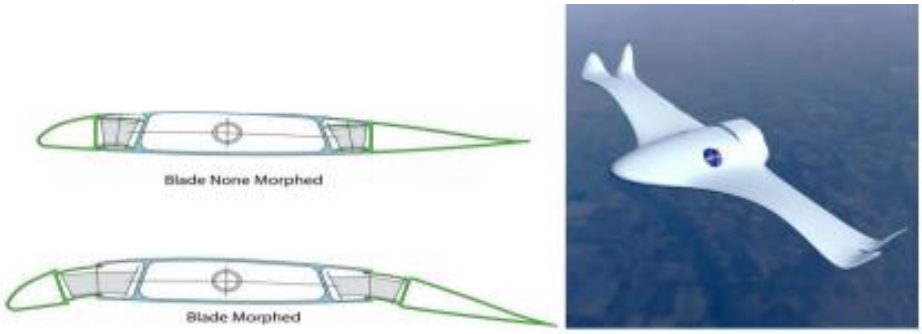
ويعتقد الباحثون أنه يمكن استخدام اختراعهم هذا لصنع هوائيات للمركبات الفضائية والروبوتات اللينة المتغيرة الشكل.

التغلب على قيود تكنولوجيا الطيران الحالية من خلال تكييف هندسة أسطح الرفع مع مدخلات الطيار وظروف الطيران المختلفة التي تميز ملف تعريف البعثة النموذجي، تحسين مطلوب الأداء، والموثوقية، والإستجابة على المدى الطويل من المحركات المعدنية، القدرة على تطوير أجزاء سريعة الإستجابة وحساسة للغاية.

تسمح الطباعة 4D لتلك الآلات بقدرة أكثر تقدما على التكيف والديناميكية على الأداء في المهمات المعقدة على نحو فعال.

طور فريق من الباحثين في معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا وجامعة هارفارد روبوتات الأوريغامي، وهي روبوتات قابلة لإعادة التكوين قادرة على طي نفسها في اعتباطية الأشكال والزحف بعيدا.

يتكون الروبوت الأولي من أجزاء قابلة للطباعة بالكامل.



شكل 19.4 نموذج تصميم الطائرات المتحولة

2.13.4 **الطب**

تُعتبر إمكانيات الطباعة رباعية الأبعاد هائلة في المجال الطبي، حيث يمكن استخدام هذه التقنية في تطبيقات شتى ابتداءً من هندسة الأنسجة والأجهزة الطبية الحيوية الذكية إلى تصنيع الجسيمات النانوية والروبوتات النانوية المستخدمة للعلاج الكيميائي.

على سبيل المثال، طور الباحثون في معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا حبراً ثلاثي الأبعاد قابل للطباعة مملوءاً بجزيئات مغناطيسية دقيقة، الأمر الذي يجعل الهياكل ثلاثية الأبعاد المطبوعة بهذه المادة مُمَغنَطة، وبالتالي يُمكن التحكم فيها عن بعد.

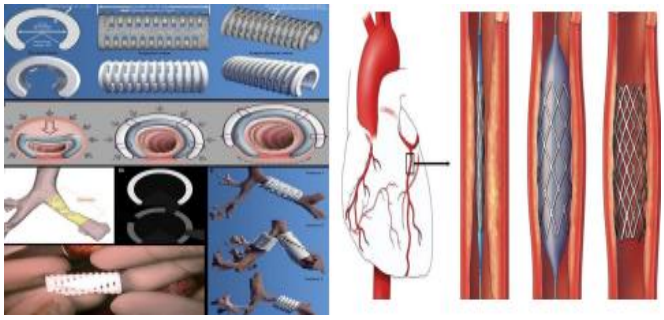
وتفتح هذه التقنية الباب لصنع أجهزة يمكن أن يوجهها المغناطيس عبر الجهاز الهضمي لإلتقاط الصور أو استخراج عينات من الأنسجة أو لإزالة الإنسداد وأيضاً لتوصيل أدوية معينة إلى منطقة محددة من الجسم.

ويتجلّى تطبيق تقنية الطباعة رباعية الأبعاد في مجال هندسة الأنسجة، من خلال استخدام الهيدروجيلات (الهلاميات المائية) المتوافقة حيوياً لطباعة جلد صناعي يُستخدم للتطعيم بالإضافة إلى طباعة غرسات يمكنها تغيير شكلها ووظيفتها دون تدخل خارجي.

طورت جامعة ميشيغان مهمة مطبوعة 3D يتم امتصاصها في الجسم على مدار الوقت، بالنسبة للمريض الذي يعاني من ضعف في جدران أنابيب الشعب الهوائية، تم استخدام المهمة لفتح الشعب الهوائية لمدة سنتين أو ثلاث سنوات، وهو وقت كاف للغضروف القصبي لتشكيل مرة أخرى إلى شكل هذه الجبيرة الطبية الحيوية التي تمت طباعتها باستخدام تقنية الطباعة 3D تغير الشكل و يتوافق مع مرور الوقت مع تحرك الجسم أو نموه، كان هناك زرع ناجح لتلك 4D هيكل مطبوع، والذي يجب أن يكون متوافقا حيويا مع الجهاز المناعي للمريض وقادرا على التكيف مع الأنسجة الخارجية المحيطة داخل الجسم.

بدأت العملية بنموذج افتراضي للقصبة الهوائية من خلال التصوير المقطعي المحوسب للمريض وتصميم نموذج للمهمة الإفتراضية باستخدام برنامج التصوير الطبي المسمى يحاكي بولي كابرولاكتون (PCL)، تم استخدام مادة حيوية لطباعة المهمة بمساعدة Formiga طابعة 3D.

فإن المستقبل القادم لتكنولوجيا الطباعة 4D سوف تشمل جميع أنواع الغرسات والجراحة الترميمية، أبعد من مساعدة المرضى الذين يعانون من الجهاز التنفسي، ويستكشف الباحثون استخدامها لتصحيح تشوه الهيكل العظمي البشري مثل الوجه لإعادة الإعمار وإعادة بناء الأذنين.



شكل 20.4 تصميم قائم على الصور الحسابية لجبائر القصبات الهوائية المطبوعة 3D مع دعامة مطبوعة 4D التي يتم إدخالها في الشريان

3.13.4 **السيارات:**

في عام 2016 عرضت شركة صناعة السيارات BMW رؤيتها المستقبلية للسيارة النموذجية، والتي تضمنت استخدام الطباعة رباعية الأبعاد في إنتاج مكونات السيارة التي يُمكن أن تتكيف مع الظروف البيئية المتغيرة.

وبينما كان ذلك مجرد فكرة، إلّا أنه بعد عامين أعلنت شركة BMW بالتعاون مع مخبر التجميع الذاتي التابع لمعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا، عن إنشاء هيكل قابل للنفخ رباعي الأبعاد يمكنه التعديل والضبط الذاتي بناءً على التغيرات في ضغط الهواء.

وتعكس هذه المادة القابلة للنفخ والمصنوعة من السيليكون رؤية BMW للتصميم القابل للتكيف مع الظروف، ومقاعد السيارة هي إحدى الطرق التي يمكن بها استخدام الهيكل المطبوع رباعي الأبعاد، ممّا يوفر لها الدعم والراحة، أو يمكن تطبيقه على شكل وسائد هوائية تحمي أثناء الصدمات.

شكل 21.4 BMW مطبوعة 4D

4.13.4 التطبيقات الصناعية

يمكن صياغة هذه التكنولوجيا لتصبح عملية للتصنيع وفكرة البناء في بيئات واسعة النطاق ومعقدة للغاية.

طباعة المواد الصغيرة والتحول إلى الأشكال العملاقة في المواقع الخطرة مثل منطقة الإشعاع والخنادق العميقة والفضاء ومنطقة الحرب.

مواد البناء القادرة على تعديل البيئة المتقلبة، والشفاء الذاتي، والحد الأقصى امتصاص للصدمات، وتوسط الرطوبة والصوت والضغط ودرجة الحرارة التي تختلف عن السماكة.

الثورة الحتمية المحتملة للطباعة رباعية الأبعاد في مجال البناء يمكن أن تكون أنابيب مياه ذكية، والتي لديها القدرة على ضبط وتجميع نفسها وفقًا لتغير ضغط الماء ودرجة الحرارة، عندما تتكيف الأنابيب وتتكيف بشكل مستقل، لا داعي لذلك من أي حفر يمنع الأضرار الداخلية، ستساعد هذه الآلية بسهولة وفعالية من حيث التكلفة الصيانة.

جدار عازل يمكنه التكيف مع درجة الحرارة الخارجية، جدار ذاتي التكيف الحفاظ على الحرارة خلال فصل الشتاء وخاصية عزل أقل خلال فصل الصيف.

والعديد من الدراسات المتبعة في مجال الطاقة المتجددة لتحسين شفرات توربينات الرياح الحالية من مختلف وجهات النظر.

ولنقل جميع الدراسات ذات الصلة، ننظم المفاهيم الهامة بوصفها الأقسام الفرعية التالية من خلال النظر في أربعة من التطورات الرئيسية في شفرات توربينات الرياح بما في ذلك القدرة على التكيف، وتغيير شكل اقتران الانحناء، والمرونة، ومحاكاة أوراق النبات شفرة الرياح.

5.13.4 المنتجات الاستهلاكية

يعد إنتاج السلع الاستهلاكية مجالاً آخراً يمكن إعادة تخيله من خلال الطباعة رباعية الأبعاد، حيث يمكن استخدام هذه التقنية في صنع قطع أثاث مسطحة مثل الكراسي والطاولات، والتي يمكن تجميعها ذاتياً، مما يلغي الحاجة إلى فتح صندوق وتجميع جميع الأجزاء يدوياً، وقد يؤدي ذلك في النهاية إلى منتجات تتطلب مساحة تخزين أقل وتسهيل عملية نقلها.

الناس أكثر دراية بأثاث ايكيا الذي يأتي في أجزاء ومعبأة، يستغرق الكثير من الوقت والجهد للعملاء العاديين لتجميع واستعداد، ومع ذلك يمكن للمرء أن يتخيل الإغاثة عندما يتم تجميع تلك الأثاث المعبأ المسطح ذاتيا ويكون الأثاث جاهزا للإستخدام، فإن التفكيك الذاتي للأثاث أثناء الإنتقال من موقع واحد

أمر مريح، جنبا إلى جنب مع توفير الوقت، يمكن أن يساعد الناس على التخلص من عملية التجميع المعقدة والأخطاء.

وفي الموضة فكرة تعديل الملابس والمدربين لشكلهم ووظيفتهم استجابة للخارجية البيئة تريح المستخدم.

15.4 مستقبل الطباعة رباعية الأبعاد

تعد الطباعة رباعية الأبعاد مجالاً رائعاً يقدم إمكانيات جديدة للتصنيع، فالقدرة على تصنيع كائنات بوظائف قابلة للبرمجة من شأنها أن تغير الطريقة التي يتم بها إنتاج البضائع.

ومع ذلك، لايزال أمام هذه التقنية طريق طويل قبل أن تصبح متاحة تجارياً للشركات، فقد يستغرق الأمر عدة سنوات أو ربما عقداً أو أكثر قبل أن نرى تطبيقات الطباعة رباعية الأبعاد مجسدة على أرض الواقع.

وكل النتائج التجريبية تُشير إلى أنه قد يكون لهذه الطباعة تأثيراً هائلاً في المستقبل، كما تُشير أيضاً إلى أنها مستعدة لمتابعة تطور الطباعة ثلاثية الأبعاد لتصبح التقنية التجريبية التالية في التصنيع.

الطباعة رباعية الأبعاد في طريقها لأن تصبح علم في حد ذاتها، وهناك العديد من العلماء الذين يعتقدون أن الطباعة رباعية الأبعاد قد تصبح واقع، وواحدة من أسرع التقنيات نموًا في المستقبل القريب أو على المدى المتوسط.

هناك مجموعة متنوعة من الأمثلة التي توضح مدى قرب هذة التقنية من الأجسام القابلة للطي وحتى الهيدروجيل المركب المستخدم في صنع الصمامات، كل ذلك بعد سنين من البحث والتطوير والإختبارات التي سوف تؤدي إلى اختراعات مُذهلة.

يمكن استخدام هذه التقنية في عدد لا يحصى من الإستخدامات التي سوف تجعل من الغد عالم أفضل.

16.4 الخلاصة Conclusion

تستخدم الطباعة رباعية الأبعاد نفس تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد من خلال تخزين الحيزات المبرمجة بالكمبيوتر في طبقات متتالية لإنشاء كائن ثلاثي الأبعاد.

يضيف أبعاد التحويل 4D الطباعة بمرور الوقت، لذلك فهو نوع من المواد القابلة للبرمجة، حيث أن المنتج المطبوع في نهاية عملية التصنيع يتفاعل مع المعلمات في البيئة ويغير شكله.

وفقًا لذلك تتبع القدرة على القيام بذلك من التكوينات شبه اللانهائية بدقة الميكرومتر، مما يؤدي إلى تكوين مواد صلبة من خلال التوزيع المكاني الجزيئي المصمم هندسيًا، وبالتالي السماح بأداء متعدد الإستخدامات.

بشكل عام، تعد الطباعة رباعية الأبعاد إصلاحًا للطباعة ثلاثية الأبعاد، تحتوي على مواد خاصة لطباعة الكائنات المعدلة بعد الإنتاج، ويمكن أن يكون الدافع هو الماء والحرارة والرياح وأنواع أخرى من الطاقة.

الفصل الخامس

تطبيقات أخرى

Other apps

1.5 التصنيع الإضافي في طب الأسنان

التصنيع الإضافي في مجال طب الأسنان للمتخصصين في هذا الفرع من الطب ، نظرًا للنتائج الرائعة التي تتيحها هذه التكنولوجيا.

في الواقع، من المقبول عمومًا أن العمليات التي يتم إجراؤها على الأسنان غالبًا ما تكون حساسة، وكان لابد من إيجاد حلول أكثر فاعلية تحافظ على جماليات أسنان المريض.

شكل 1.5 الطباعة في طب الأسنان

هذا هو بالضبط ما تقدمه الطباعة ثلاثية الأبعاد المطبقة على طب الأسنان، لتغيير موضع السن أو استبدال سن، تضمن الطباعة ثلاثية الأبعاد أداء وكفاءة متقدمين.

إنها تعتمد على أتمتة العملية، ومنطقيًا توفر دقة أكبر، والآن الإتجاه نحو طب الأسنان الرقمي، والذي يغطي العديد من المجالات: تركيبات الأسنان، وزراعة الأسنان، وتقويم الأسنان، وجراحة الوجه والفكين، من خلال الجمع بين الماسحات الضوئية والبرامج ومواد الطباعة ثلاثية الأبعاد.

يعمل طب الأسنان الرقمي على تحسين تدفقات الإنتاج وتسريع عملية التصنيع، من أجل الإستفادة من هذه الثورة التي غرسها التصنيع الإضافي.

ومع ذلك، فإن بعض تطبيقات التصنيع الإضافي في الطب وطب الأسنان لا تزال في مراحل تجريبية، وإن كانت واعدة.

2.5 الطباعة ثلاثية الأبعاد في العمارة والفن

هناك أيضًا تطبيقات للتصنيع الإضافي في مجالات الهندسة المعمارية والفن، في الهندسة المعمارية يتم استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد للمشاريع الأولية، في هذه الحالة تلهم صناعة النماذج ونمذجة المباني، والتي ستكون مفيدة من بداية المشروع إلى تحقيقه الكامل.

هنا، تعمل الطباعة ثلاثية الأبعاد على تعزيز الإنتاجية وخفض التكاليف (بنسبة 3% لبعض المتخصصين في هذا المجال).

على سبيل المثال، كمقدمة لكأس العالم 2022 التي ستقام في قطر، أنتج باحثون من جامعة قطر نماذج للعديد من الملاعب عن طريق الطباعة ثلاثية الأبعاد.

كان الغرض من هذا الفحص هو تصميم الاختبار، مقاومة المناخ المحلي، جودة العشب، الإضاءة والديناميكا الهوائية الملاعب.

أقل ما يمكن قوله هو أن هذا النهج قد أسفر عن نتائج مقنعة، بالنظر إلى مكانة الملاعب لإستضافة كأس العالم، وهذا مجرد مثال واحد من بين العديد من الأمثلة الأخرى.

في الواقع، تُستخدم الطباعة ثلاثية الأبعاد أيضًا في المراحل الأولى من بناء المنازل الفردية والمباني التجارية والطرق والمباني الصناعية ، إلخ.

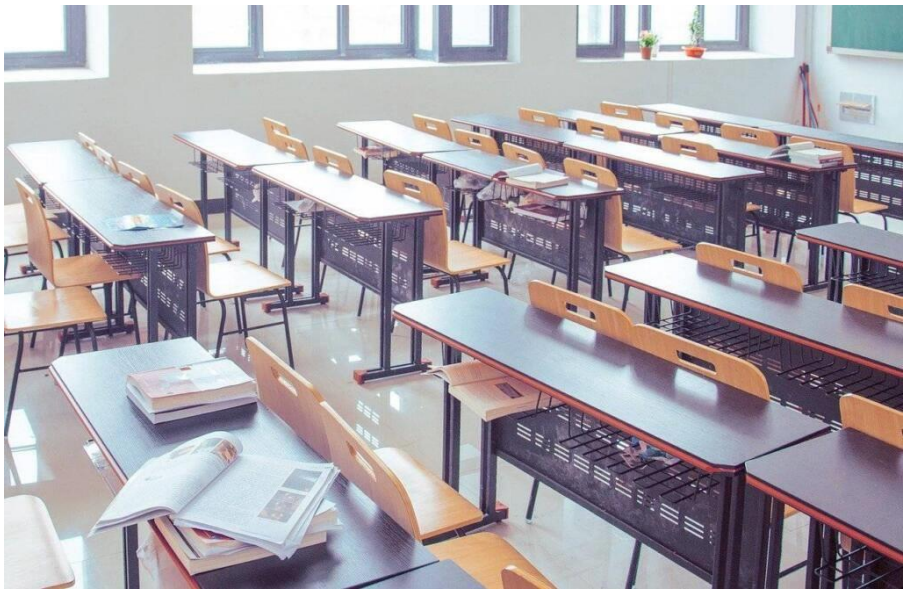
شكل 2.5 الطباعة في العمارة

لم يعد من المستبعد التفكير في العيش في منزل أو المشي فوق جسر مصنوع بالكامل من طابعة ثلاثية الأبعاد بعد الآن، فقد أصبح هذا حقيقة واقعة، ويوجد بالفعل في هولندا حيث تم الكشف عن أول جسر للمشاة مطبوع ثلاثي الأبعاد في العالم، حيث تم إنشاء الهيكل بواسطة روبوتات مضافة تصنع طبقات من الفولاذ المصهور.

يتوسع التصنيع الإضافي في سوق البناء، مما يبشر بعصر جديد لهذه الصناعة، ووفقًا لدراسة أجرتها شركة Transparency Market Research، من المتوقع أن تتوسع الطباعة ثلاثية الأبعاد في البنية التحتية، نظرًا لأنه يمكن تطبيق المواد المطبوعة بدقة طبقة تلو الأخرى عند إنشاء البنية التحتية أو تشييد المباني، فإن تقنية AM تقلل من نفايات المواد ويسمح للبناء أن يكون فعالاً من حيث التكلفة قدر الإمكان، بالإضافة إلى ذلك، تسمح تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد بهياكل التصميم المعقدة، نظرًا لأن المواد مطبوعة بدقة مما يقلل من احتمالية وقوع حوادث البنية التحتية في أخطاء البناء وسوء التصميم.

وفي مجال التصميم الفني، تعد الطباعة ثلاثية الأبعاد أيضًا مصدر ثورة ملحوظة في عالم الفن، يوضح هذا مقدار ثورة الطباعة ثلاثية الأبعاد التي أحدثت ثورة في هذا الكون.

3.5 التصنيع الإضافي في مراكز التعليم والبحث



شكل 3.5 المراكز التعليمية

في قطاع التعليم، عززت الطباعة ثلاثية الأبعاد تطورات مثيرة للإهتمام، وإمكانات تعليمية كبيرة من شأنها أن تجعل المتعلمين على دراية بالتقنيات المبتكرة، والأفضل من ذلك، أنه سيساعد في إعدادهم لعالم جديد تمامًا، حيث يُطلب من التكنولوجيا والبشر التعاون.

تتنوع استخدامات التصنيع الإضافي في التعليم، وتتيح النمذجة ثلاثية الأبعاد، تصميم نماذج للأعضاء حتى يتمكن المتعلمون من فهم كيفية عمل جسم الإنسان بشكل أفضل، ويسهل هذا النهج على المتعلمين الفهم، لأن الطباعة ثلاثية الأبعاد تجعلهم أقرب إلى الواقع.

كما أنها تستخدم في العلوم الإنسانية وفي التخصصات الفنية للإبداعات المصغرة، الطباعة ثلاثية الأبعاد في التعليم يحفز يقظة وفضول المتعلمين، ويسهل فهم المفاهيم المجردة ويثير ثقافة ريادة الأعمال لدى الأطفال في وقت مبكر جدًا، يمكن للأخير تصميم مشاريع فنية وإبداعية بأنفسهم.

بالإضافة إلى ذلك، هناك أيضًا تطبيقات للطباعة ثلاثية الأبعاد في البحث التربوي، كدليل على ذلك، تمتلك جامعة طوكيو الآن مختبرًا مخصصًا بالكامل للتصنيع الإضافي هدفها، جعل هذه التكنولوجيا في متناول المعلمين والمتعلمين ووضع حد لعملية التصنيع القديمة القائمة على القطع والأدوات، واختارت جامعة مينيسوتا أيضًا التصنيع الإضافي، وفي فرنسا التصنيع الإضافي هو قطاع، بقدر ما هو موضوع دراسات عديدة.

4.5 قطاع السيارات بوتيرة الطباعة ثلاثية الأبعاد

تشير التقديرات إلى أنه بحلول عام 2028، من المتوقع أن تدر الطباعة ثلاثية الأبعاد 3 مليار دولار في قطاع السيارات.

يوضح هذا تأثير التصنيع الإضافي على صناعة السيارات في هذا المجال، تسمح الطباعة ثلاثية الأبعاد بإنشاء نماذج أولية كمقدمة لتصنيع طراز السيارة، يعزز سرعة تصميم السيارات وتساعد مجموعات السيارات الكبرى على تقديم سيارات عالية الأداء لعملائها وأحدث التقنيات.

على سبيل المثال، راهنت أودي الألمانية، المملوكة لمجموعة فولكس فاجن، على الطباعة ثلاثية الأبعاد بواسطة المواد النفاثة لإنتاج نماذج سيارات معينة، إنه في ضوء المزايا الرائعة لـ 3D، افتتحت الشركة المصنعة الألمانية BMW مركز تصنيع المواد المضافة الخاص بها، على الرغم من استخدام هذه التكنولوجيا لأكثر من عقدين، كما أن سيارة BMW Roadster i8 هي مثال رائع للطباعة ثلاثية الأبعاد في عالم السيارات.

فورد، بوجاتي، فيراري، لامبورغيني، مرسيدس، هي علامات تجارية فاخرة أخرى للسيارات التي أدرجت التصنيع الإضافي في عملية التصنيع لعدة سنوات، ولقد جعل من الممكن تحسين الأداء والجماليات والديناميكا الهوائية واستجابة الفرامل في هذه المركبات.

تجد الطباعة ثلاثية الأبعاد أيضًا تطبيقات في تصميم المنتج، وهذا يعني أن نطاق الإحتمالات واسع، وهو بعيد كل البعد عن الإنهيار، بل على العكس تمامًا.

تعد الطباعة ثلاثية الأبعاد أكثر تنافسية من حيث التكلفة عند انخفاض أحجام الإنتاج، لأنك لست بحاجة للوصول إلى اقتصاد الحجم لتعويض تكاليف الإعداد، لذلك فإنه يسهل التخصيص الشامل الذي يجعل التصميم التوليدي ممكنًا، مع استمرار انخفاض تكلفة الطباعة ثلاثية الأبعاد وزيادة تنوع المواد، أصبحت الطباعة ثلاثية الأبعاد عملية للأجزاء الصغيرة والمتوسطة الحجم لمزيد من التطبيقات.

شكل 4.5 سيارة مطبوعة 3D

تحتل صناعة السيارات والسيارات الكهربائية مكانة بارزة في التصنيع باستخدام أحدث التقنيات والابتكارات، كما أصبحت الأنظمة الكهربائية والإلكترونية للسيارات أكثر تعقيدًا، وجعل مهمة تصميم سيارات اليوم أكثر صعوبة، حيث يتم إنجاز ميزات المعلومات والترفيه والراحة والملاءمة، وحتى أنظمة السلامة والمهام الحرجة مثل التوجيه والتحكم في دواسة الوقود من خلال أجهزة الكمبيوتر والمشغلات وأجهزة الإستشعار التي تعمل بالطاقة الكهربائية.

يأخذ التصنيع الإضافي بمساعدة التصميم التوليدي تعريفات ومتطلبات النظام كمدخلات ويولد مقترحات للمنطق والبرامج والأجهزة والشبكات الخاصة باستخدام أتمتة قائمة على القواعد، تلتقط هذه القواعد معرفة وخبرة المهندسين المخضرمين لتوجيه المهندسين الشباب في جميع مراحل التصميم.

يساعد الحصول على عنوان IP هذا الشركات على تطوير هياكل المركبات والأجيال الجديدة من المهندسين أثناء تعلمهم وتنفيذ معرفة الشركة الحالية.

كما أنه يوفر القدرة على دمج الأجزاء، لذا فإن هندسة واحدة معقدة تم إنشاؤها بواسطة خوارزمية توليد وطباعة ثلاثية الأبعاد يمكن أن تحل في كثير من الأحيان محل مجموعات من عشرات الأجزاء المنفصلة.

5.5 **الطيران والفضاء**

شكل 5.5 تركيب قطع مطبوعة 3D

لطالما كانت صناعة الطيران في طليعة الأمور، فقد كانت من أوائل المتبنين للتصنيع الإضافي، يجب أن تفي شركات الطيران ببعض أكثر معايير الصناعة صرامة، ويجب أن تكون الأجزاء والمكونات مصنوعة من مواد عالية الأداء، باستخدام AM يمكن للمهندسين تصميم أجزاء معقدة وعالية القوة مع تقليل وزن مكونات الفضاء عن طريق طباعة أشكال هندسية أكثر كفاءة والتخلص من كميات كبيرة من المواد غير الضرورية، وهذا يسمح باستهلاك أقل للوقود وانبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون وتقليل التكاليف (بالإضافة إلى أسعار تذاكر طيران أفضل).

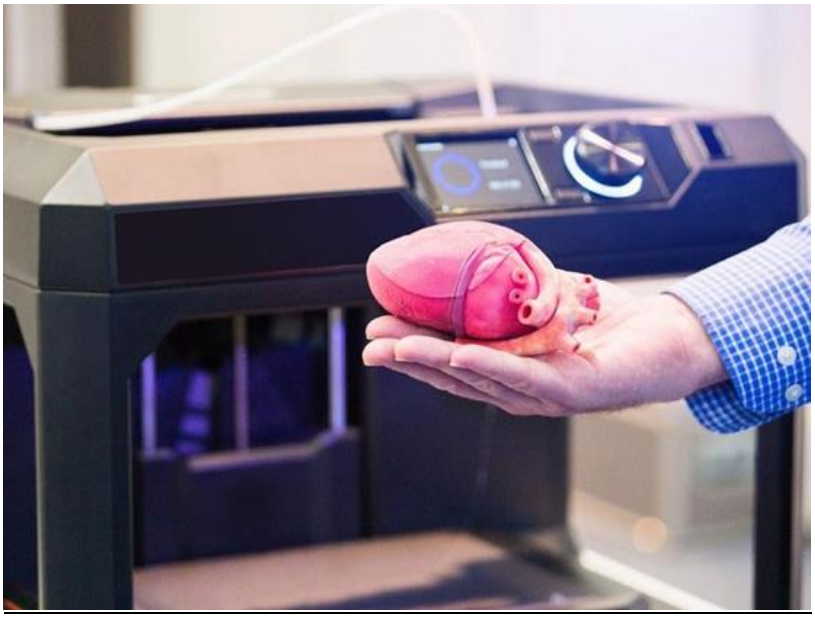
6.5 **تقنية وتصنيع**

واستعان الباحثون بجامعة ميشيغن في تصنيع أجهزة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد وهي أحد أشكال ما يعرف باسم تكنولوجيا التصنيع بالإضافة، حيث يتم تكوين جسم ثلاثي الأبعاد بوضع طبقات رقيقة

متتالية من مادة ما فوق بعضها بعضا ما يتيح القدرة على طباعة أجزاء متداخلة معقدة التركيب، ويمكن صناعة أجزاء من مواد متباينة وبمواصفات ميكانيكية وفيزيائية مختلفة.

وتستخدم تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد بالفعل في المجال الطبي لتخليق عدد من أجزاء الجسم، منها على سبيل المثال الفك وعظام الفخذ والأجهزة السمعية وغيرها.

7.5 **الطبية والصيدلانية**



شكل 6.5 الطباعة وأثرها في المجال الصحي

أحدث التصنيع الإضافي ثورة في الصناعة الطبية، حيث حول ما كان خيالًا علميًا إلى حقيقة جديدة، تحقق التكنولوجيا اختراعات للأطباء والمرضى والمؤسسات البحثية، من الأطراف الصناعية المتينة والنماذج التشريحية الواقعية إلى مكونات الدرجة الجراحية، ويعطي العدد الهائل من الأشياء التي تم طباعتها بنجاح في المجال الطبي لمحة عن الإمكانات التي تحملها هذه التكنولوجيا للرعاية الصحية في المستقبل القريب.

على سبيل المثال، يطبع التصنيع الإضافي 3D أجهزة طب الأسنان المطبوعة والأجهزة المصنوعة حسب الطلب، مثل أطقم الأسنان والتيجان وحتى إنفزلاين، ليتم تصنيعها من مجموعة متنوعة من الركائز والمطبوعات المخصصة لكل فرد.

تبلغ قيمة سوق الطباعة ثلاثية الأبعاد لطب الأسنان الرقمي حاليًا 3 مليار دولار ومن المتوقع أن يستمر في النمو، بالإضافة إلى ذلك، يسمح التصنيع الإضافي لأجهزة مثل المعينات السمعية التي يمكن إنتاجها بكميات كبيرة لتناسب بشكل أفضل لضمان أعلى مستوى من الراحة للمستخدم.

أحد أحدث المشاريع الجارية هو استخدام التكنولوجيا المضافة من قبل الباحثين لطباعة الخلايا الجذعية الجنينية البشرية، من خلال القيام بذلك، يمكن بعد ذلك استخدام هذه الخلايا الجذعية لإنشاء نسيج لإختبار الأدوية أو زراعة أعضاء بديلة، وطباعة الجلد الذي يمكن أن يحل محل الجلد المحروق أو التالف، وطباعة الخلايا السرطانية لدراسة واختبار الأدوية الجديدة عليها.

يعمل الجراح أنتوني أتالا، مدير معهد ويك فورست للطب التجديدي، على طباعة الأعضاء، معتقدًا أن طباعة العضو قد تحل قريبًا محل زرع العضو.

ومن ثم، فإن التصنيع الإضافي يقود الصناعات والمصنعين إلى عصر تتعطل فيه الطرق التقليدية للتصنيع، تاركًا حلولًا أسرع وأكبر ودقيقة لتصنيع الصناعات المستقبلية.

لدى كل إنسان في هذا العالم جسد فريد من نوعه إلى حد ما، ولا يشبه جسد أي إنسان جسدا آخر، نعم نتشابه في الشكل العام، لكن جسد كل شخص هو شيء خاص جدا، والأمر يشبه البصمة، كلنا لدينا بصمات لكن لا توجد بصمة تتطابق مع الأخرى تماما.

نفس الأمر ينطبق على الحالات الطبية، فهي متشابهة ولكنها غير متطابقة أيضا، وذلك بغض النظر عن التشخيص، فكيف نتوقع أن ينجح نفس العلاج أو الدواء مع جميع البشر.

وتُعد الأدوية المخصصة لكل حالة وكل إنسان هدفا طبيا كبيرا لدى البشرية، وفي هذا السياق أنشأ العلماء في جامعة كاليفورنيا بمدينة لوس أنجلوس الأميركية تقنية جديدة باستخدام نظام طباعة ثلاثي الأبعاد، يسمح بصنع "أدوية مخصصة" بآلات بسيطة للغاية، وذلك وفق ما ورد في البحث الذي نشروه على منصة الجامعة مؤخرا.

شكل 7.5 التقدم في الأدوية المطبوعة

تُعتبر طباعة الأدوية باستخدام "نظام صغير الحجم (Compact System)" هدفا في غاية الأهمية للأطباء، فهو لا يسمح بصنع الأدوية في المستشفيات فقط، أي قريب من المرضى، بل إنه يجعل من السهل تصنيع الأدوية في المواقع النائية، والتي يصعب الوصول إليها في جميع أنحاء العالم.

وفي الواقع، يقول العلماء إن الطابعات ثلاثية الأبعاد يمكن أن تساعد في صنع الأدوية في منزل المريض، ولا يعني "الطب المخصص" أن كل شخص سيحصل على عقاقير فريدة ومصنوعة له وحده فقط، لا، ولكن يمكن تعديل نفس الأدوية لتناسب كل حالة، مع التأكد من أن جرعة الدواء دقيقة للغاية، وهذا النظام الجديد للطباعة ثلاثية الأبعاد يساعد في تحقيق ذلك.

يعتمد النظام الجديد على طابعة ثلاثية الأبعاد وصغيرة بحجم آلة صنع القهوة مع رأس طباعة ثلاثي الأبعاد، ومكان مخصص لهاتف ذكي، ووعاء لوضع محلول الأدوية فيه.

أما طريقة العمل فهي في غاية السهولة والبساطة؛ ففي البداية يتلقى المريض أو الطاقم الطبي تركيبة الدواء المخصصة للمريض والتي تتضمن جرعة محددة من الدواء، ثم يسكب محلول الدواء مع مادة كيميائية خاصة في الوعاء المخصص لمحلول الأدوية، وبعدها يأتي دور استخدام التطبيق الطبي الخاص بتنفيذ العملية في الهاتف الذكي حيث يستخدم الجهاز ضوء شاشة الهاتف الذكي لترسيخ الدواء وتحويله إلى حبة.

أجرى العلماء في مختبرات كلية الطب في الجامعة العديد من الإختبارات المهمة باستخدام أدوية مختلفة وهواتف ذكية مختلفة، وتمكنوا بالفعل من طباعة أدوية تحتوي على "الوارفارين (Warfarin)" وهو مُميع دم شائع الإستعمال، بجرعات وأحجام وأشكال مختلفة، ويدرك العلماء أن طريقتهم لا تزال بحاجة إلى الخضوع لفحوص السلامة العامة الرسمية، ولكن إذا سارت التجارب بسلاسة كما هو متوقع فإن هذا سيكون بمثابة نقطة الإنطلاق نحو "الطب الأكثر تخصصا (More Personalized Medicine)"، وهو حلم العلماء منذ زمن طويل.

وفي هذا السياق، قال البروفيسور "عبد الباسط" كبير مؤلفي الدراسة ورئيس الفريق" لا يزال هناك الكثير من التحديات لتحقيق هذا الحلم، ولكننا نأمل أن تسهل الأدوية المطبوعة ثلاثية الأبعاد العلاج في نقاط الرعاية الحساسة مثل أقسام الطوارئ في المستشفيات، وغرف العمليات، وكذلك في المناطق النائية، كما نطمح أن تصبح في يوم قريب في منازل الناس أيضا.

بالطبع، لن تحل الأدوية المطبوعة محل جميع الأدوية، ولكنها مع ذلك تعتبر هدفا طموحا للغاية، وربما في يوم ما سيصبح في الإمكان صنع أدوية معدة خصيصا لك في منزلك، فكل شيء ممكن في زمن الثورة الصناعية الرابعة وعصر الطابعات ثلاثية الأبعاد.

8.5 أجهزة المساعدة السمعية وأطقم الأسنان

في الوقت الراهن، تُستخدم الطباعة ثلاثية الأبعاد على نطاق واسع في تصنيع أدوات المساعدة السمعية وفي مجال طب الأسنان، فـ خلال عام 2013، كان هناك 10 ملايين من أجهزة المساعدة السمعية المطبوعة بالتقنية ثلاثية الأبعاد في مُختلف أنحاء العالم، وأُطلق على الصدى الهائل في صناعة أدوات المساعدة السمعية "الثورة الصامتة" إذ أنها حدثت دون أن يلاحظ أحد حدوثها.

شكل 8.5 طباعة أجهزة سمعية

قُبيل الطباعة ثلاثية الأبعاد، كان تصنيع أداة المساعدة السمعية يستغرق أسبوعا، أما الآن فإن الأمر لا يستغرق سوى بضع ساعات.

في عام 2016، صدقّت وكالة إدارة الغذاء والدواء الأميركية (FDA) على استخدام أطقم الأسنان الإصطناعية المطبوعة بالتقنية ثلاثية الأبعاد، الأمر الذي مهد الطريق أمام أطباء الأسنان لإدخال مختبرات التصنيع التي تستخدم تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد إلى أماكن عملهم، ولم تعد مسألة إنتاج أسنان اصطناعية أو تقويم للأسنان أو أطقم أسنان قابلة للإزالة بكبسة زر في عيادة أطباء الأسنان بعيدة عن الواقع.

9.5 أجهزة تعويضية لضحايا الألغام

ولعل التأثير الأكبر للطباعة ثلاثية الأبعاد على الصعيد العالمي يمكن أن يحدث من خلال المساعدة على تضييق التفاوت الموجود في أنظمة الرعاية الصحية من خلال تصنيع منتجات رعاية صحية رخيصة الثمن في المناطق التي يحصل أهلها على دخل منخفض، وتعد الأجهزة التعويضية لضحايا الألغام هي خير مثال على ذلك.

خلال عام 2017 فقط، صُنّع حوالي 300 طرف اصطناعي، استفاد منها بشكل مباشر ضحايا الحرب وذوي الإحتياجات الخاصة من الفقراء.

شكل 9.5 أطراف صناعية مطبوعة

إن للألغام الأرضية الموجودة في مناطق الصراع في أفريقيا وآسيا آثارًا مدمرة على السكان الذين يعيشون في تلك المناطق، وقد استفاد أولئك الضحايا ذوي الأعضاء المبتورة من الأطراف الإصطناعية الرخيصة المطبوعة بالتقنية ثلاثية الأبعاد، والتي تصّنع خصيصًا للضحية وتستغرق طباعتها يوما واحدا.

وكان لشبكات المتطوعين مثل (E-NABLE) و (NotImpossible) دورًا إيجابيًا في تصميم وتوفير أطراف اصطناعية مطبوعة بالتقنية ثلاثية الأبعاد بأسعار معقولة.

10.5 جراحات زرع الوجه والعمود الفقري

تشهد التطبيقات الجراحية من خلال تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد تطورًا متسارعًا بداية من إنتاج النماذج من أجل التخطيط الجراحي ووصولًا لزرع النشاط البيولوجي للهيكل القحفي الوجهي المُعاد بناءه.

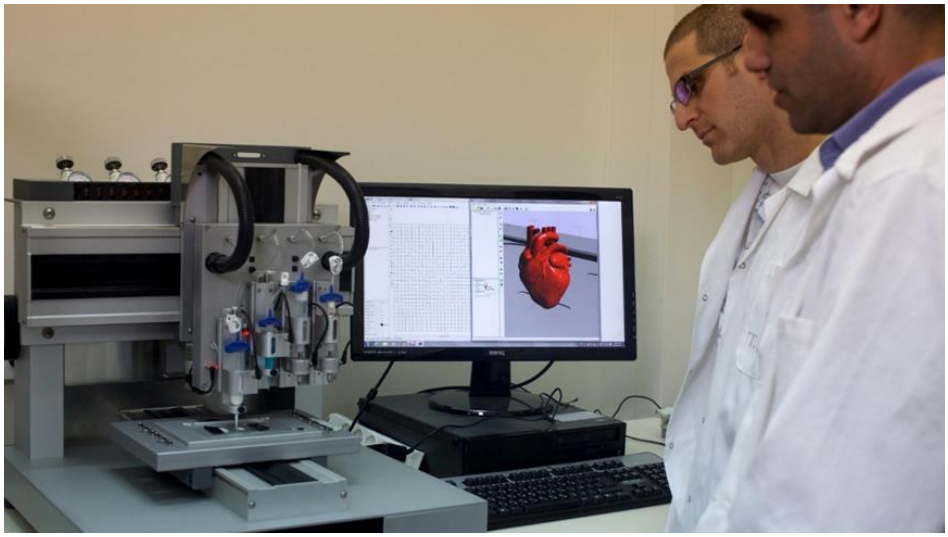
لدى جامعة ساسكاتشوان نسخة طبق الأصل لدماغ بشري مطبوع بالتقنية ثلاثية الأبعاد من خلال بيانات تم الحصول عليها بواسطة الرنين المغناطيسي، واستخدمت في التخطيط لعمليات جراحة الأعصاب المعقدة لمعالجة المرضى الذين يعانون من اضطرابات الحركة، وتتضمن الجراحة زرع أقطاب تستهدف أجزاء بحجم البازلاء في أعماق الدماغ.

استخدم الجراحون نماذج مماثلة مطبوعة بالتقنية ثلاثية الأبعاد للتخطيط لعمليات جراحية معقدة تتراوح بين الجراحة الكاملة لزراعة وجه وجراحة العمود الفقري.

كما بدأت الأجهزة القابلة للزرع بواسطة التدخل الجراحي، والتي صدّقت عليها إدارة الأغذية والعقاقير مؤخرًا، ونسيج عظام التيتانيوم المغطى بالمنشطات الحيوية والمطبوع بالتقنية ثلاثية الأبعاد والتي تعزز نمو العظام، في الوصول لعيادات الأطباء.

11.5 طباعة أعضاء حية

وتُعد الطباعة الحيوية للأنسجة الحية واحدة من أهم التطورات التكنولوجية الواعدة في مجال الطباعة ثلاثية الأبعاد، وقد قُطعت أشواطا هائلة في مجال تصنيع بنيات الأنسجة والتي قد تُستخدم في نهاية المطاف في جراحات زرع الأعضاء.



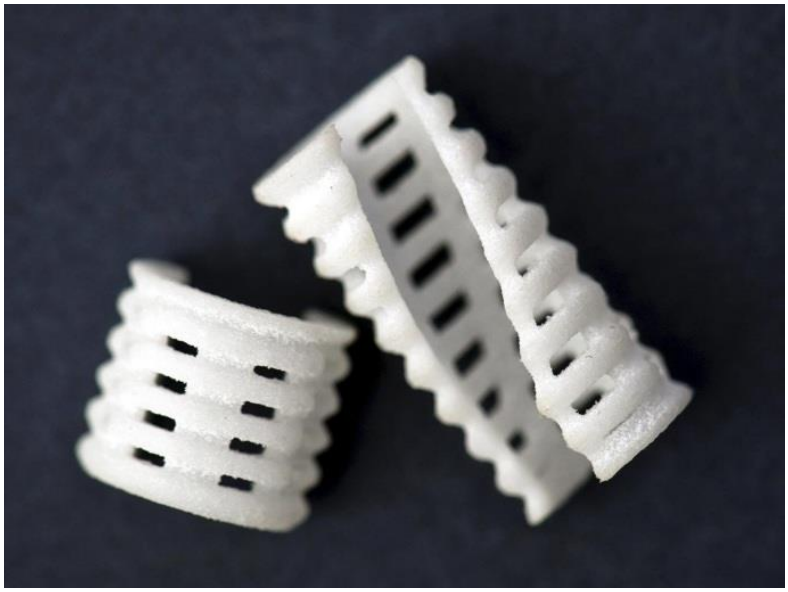
شكل 10.5 فكرة الطباعة الحيوية

أصبح التصنيع السريري للهياكل المُعقدة النشطة بيولوجيًا مثل العضلة الهيكلية الوظيفية أو أنسجة الكبد مسألة واعدة للغاية، وسيكون لعملية التسويق التجاري للبنيات الوظيفية للكبد والكُلى أثرًا هائلًا على البحوث الطبية واكتشاف العقاقير وعلم السموم، ويمكن لهذا الأمر أن يقلل من الحاجة لإستخدام النماذج الحيوانية التجريبية، وعلى الرغم من أن إجراء جراحة بواسطة تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد ما زال أمرًا مبكرًا، إلا أن التقدم الذي تُحرزه تلك التقنية قد غيّر بالفعل وجه الرعاية الصحية.

12.5 علاج أمراض تنفسية بالإستعانة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد

1/5/2015 تمكّن أطباء أميركيون من علاج ثلاثة أطفال من مرض يصيب الجهاز التنفسي، وقد يفضي إلى الوفاة، وذلك بالإستعانة بجهاز طبي يعمل بتقنية الطباعة الثلاثية الأبعاد، وفقا لما أعلن عنه باحثون، وقد أسهم هذا الإنجاز في تحسين وظائف التنفس، وسيتغير شكل العلاج مع تقدّم الأطفال

في السن، وكان الأطفال الثلاثة يعانون من مرض تضعف فيه جدران القصبة الهوائية والشعب الهوائية ما يعرضها للإنهيار، ويتسبب في صعوبة التنفس والأزمات القلبية على نحو قد يؤدي إلى الوفاة.
وقال الباحثون بجامعة ميشيغن في دورية "ساينس ترانسليشن ميديسين" إن الأجهزة الطبية الثلاثة صممت بحيث تتواءم مع تشريح القصبة الهوائية للأطفال.



شكل 11.5 الأجهزة الطبية صممت أنبوبة تتواءم مع القصبة الهوائية للأطفال

وتتميز هذه الأجهزة بأنها أنبوبية مجوفة ذات مسام يمكن تبديل مواضعها وفقا للجزء المصاب، بما يمثل دعامة تقوي الأنسجة الضعيفة، وصنعت الأجهزة من مادة تمتصها الأعضاء الحيوية بالجسم بمرور الزمن، وتعرف باسم بوليكابرولاكتون.
كما يعول الأطباء في اليابان على استعمال التقنية الثلاثية الأبعاد للمساعدة على رفع كفاءة الجراحين وطلاب الطب في العمليات الجراحية.
وابتكرت شركة في اليابان تقنية للطباعة المجسِّمة "الطباعة الثلاثية الأبعاد" للحصول على أعضاء بشرية يتدرب عليها طلاب طب في الجراحة، وذلك بهدف مساعدة الطلاب والجراحين عبر التدرب على أعضاء صنعت بدقة عالية وفق هذه التقنية.
ويبدو العضو المصنَّع أقرب للحقيقي من حيث بنيته وملمسه وحتى الأعراض المرضية المصاب بها، وفي البداية يتم صنع قالب باستخدام التصوير بالرنين المغناطيسي، ثم يتم ملؤه بأنواع مختلفة من الهلام "الجل" تشابه المواد اللزجة في العضو الحقيقي، مما يجعل ملمسه حقيقيا، ثم يضع الأطباء اللمسات النهائية لجعله مثل الأعضاء البشرية بأكبر قدر ممكن.

وتنتج الشركة المبتكرة والمصنعة أعضاء مختلفة مثل الرئة والقلب والكبد والمثانة وحتى الدماغ، ويقول متخصصون إن هذه الأعضاء المصنعة تساعد الجراحين المحترفين أيضا على إجراء "بروفة" (تجربة) تسبق العملية الحقيقية لمزيد من الدقة.

المراجع References

قائمة المراجع العربية

1. د. محمد المغير، أطبعها ببساطة، الإصدار الأول، 2017.

2. علي البلاوالي، الطباعة ثلاثية الأبعاد printing 3D، 2015.

3. بشار ديب، الطباعة ثلاثية الأبعاد، المركز الوطني للمتميزين في سوريا، 2014–2015.

4. إبراهيم أمين، الطباعة ثلاثية الأبعاد printing 3D، المجلة الدولية للتعليم بالإنترنت، ديسمبر 2016.

5. سيمون فيرونو، الطباعة ثلاثية الأبعاد، مؤسسة RAND البحثية، 2017.

6. ليالس قزيز، كيف تعمل الطابعات ثلأثية الأبعاد، منشورات وكالة ناسا، 2018.

7. د. حسان رشيد عبد العزيز، الطباعة ثلاثية الأبعاد (العبور السريع للمنتج)، منشورات جامعة الملك عبد العزيز، 2012.

8. د. أحمد علي، التصنيع بالطباعة ثلاثية الأبعاد (التصنيع بالإضافة)، منشورات جامعة أم القرى، 2017.

قائمة المراجع الإنجليزية

1. Elizabeth Matias, Bharat Rao, 3D Printing: On Its Historical Evolution and the Implications for Business, Proceedings of PICMET '15: Management of the Technology Age, 2015.

2. Dr.Ravi Shankar Kalva, 3D Printing - The Future of Manufacturing (The Next Industrial Revolution), International journal of innovations in engineering and technology, Vol. 5, No. 1, 2015.

3. Robin M Snyder, An overview of the past, present, and future of 3D printing technology with an emphasis on the present, ASCUE Proceedings, 2015.

4. Medhavi Kamran,Abhishek Saxena, A Comprehensive Study on 3D Printing Technology, MIT International Journal of Mechanical Engineering, Vol. 6, No. 2, August 2016.

5. Burak Karagöl, 3D Printing: What does it offer and for whom?, TEKPOL Science and Technology Policies Research Center, 2015.

6. Siddharth Bhandari, B Regina, 3D Printing and Its Applications, International Journal of Computer Science and Information Technology Research, Vol. 2, No.2, 2014.

7. A. Ghilan, A. P. Chiriac, L. E. Nita, A. G. Rusu, I. Neamtu and V. M. Chiriac, J. Polym. Environ., 2020, 28, 1345–1367.

8. D. G. Tamay, T. Dursun Usal, A. S. Alagoz, D. Yucel,N. Hasirci and V. Hasirci, Front. Bioeng. Biotechnol., 2019, 7, DOI: 10.3389/fbioe.2019.00164.

9. G. H. Yang, M. Yeo, Y. W. Koo and G. H. Kim, Macromol. Biosci., 2019, 19, 1800441. 10.Zarek M, Mansour N, Shapira S, Cohn D. 4D printing of shape memory-based personalized endoluminal medical devices. Macromol. Rapid Commun.; 2016. https://doi.org/10.1002/marc.201600628.

11. Tibbits, S. (2013). The emergence of "4D printing". https://www.ted.com/ talks/skylar_tibbits_the_emergence_of_4d_printing/transcript?language=en (accessed 12 January 2018).

12. Gladman, A.S., Matsumoto, E.A., Nuzzo, R.G. et al. (2016). Biomimetic 4D printing. Nature Materials 15 (4): 413–418.

13. Campbell, T.A., Tibbits, S., and Garrett, B. (2014). The Next Wave: 4D Printing Programming the Material World. Technical report. Atlantic Council, USA.

14. X. Kuang, D.J. Roach, J. Wu, C.M. Hamel, Z. Ding, T. Wang, H.J. Qi, Advances in 4D printing: materials and applications, Adv. Funct. Mater. 29 (2) (2019) 1805290.

15. Q. Zhang, X. Kuang, S. Weng, L. Yue, D.J. Roach, D. Fang, H.J. Qi, Shapememory balloon structures by pneumatic multi-material 4D printing, Adv. Funct. Mater. (2021) 2010872.

16. M. Quanjin, M.R.M. Rejab, M.S. Idris, N.M. Kumar, M.H. Abdullah, G.R. Reddy, Recent 3D and 4D intelligent printing technologies: a comparative review and future perspective, Proc. Comput. Sci. 167 (2020) 1210e1219.

17. Z. Zhang, K.G. Demir, G.X. Gu, Developments in 4D-printing: a review on current smart materials, technologies, and applications, Int. J. Soc. Netw. Min. 10 (3) (2019) 205e224.

18. J.J. Wu, L.M. Huang, Q. Zhao, T. Xie, 4D printing: history and recent progress, Chin. J. Polym. Sci. 36 (5) (2018) 563e575.

19. B. Gao, Q. Yang, X. Zhao, G. Jin, Y. Ma, F. Xu, 4D bioprinting for biomedical applications, Trends Biotechnol. 34 (9) (2016) 746e756.

20. J.W. Boley, W.M. van Rees, C. Lissandrello, M.N. Horenstein, R.L. Truby, A. Kotikian, J.A. Lewis, L. Mahadevan, Shapeshifting structured lattices via multimaterial 4D printing. Proc. Natl. Acad. Sci. 116(42), 20856–20862 (2019).

21. Quanjin M, Rejab M, Idris M, Kumar N, Abdullah M, Reddy G. Recent 3D and 4D intelligent printing technologies: A comparative review and future perspective. Procedia Comput Sci. 2020;167:1210-1219. doi:10.1016/j.procs.2020.03.434.

22. Mohd Javaid, Abid Haleem, 4D printing applications in medical field: A brief review, Clinical pidemiology and Global Health, Volume 7, Issue 3, 2019, Pages 317-321, ISSN 2213-3984, https://doi.org/10.1016/j.cegh.2018.09.007.

23. Abdussalam Ali Ahmed , Khalleefah Majhoud Arhoumah, Abdullah Asmaeil, and Salima Abukraa, A study on the 3D printing technology and its future in the Arab world, JOPAS Vol.18 No. 3 2019.

24. Abdussalam Ali Ahmed, Ali Musbah, and Abdelrazag Atiyah, 4D Printing Technology: A Revolution Across Manufacturing, International Journal of Mechanical and Industrial Technology, Vol. 7, Issue 2, pp: (45-51), October 2019 - March 2020.

25. I. Elmagdob, K. M. Arhoumah, F. S. Ali, and A. Musbah, "4D Printing in Healthcare: Technology Evaluation, Applications, and Market Size Forecasting," African Journal of Advanced Pure and Applied Sciences (AJAPAS), Vol. 1, Isuue 1, pp. 31-40, 2022.