مجلة الفنون والعمارة
JOURNAL OF ART & ARCHITECTURE

دور تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد في تنفيذ أفلام توقف الحركة

The Role of 3D Printing Technology in Implementing Stop Motion Animations

سَلمى أحمد أحمد الشيخ

مُدرس مُساعد بقسم الديكور – كلية الفنون الجميلة – جامعة المنصورة، مصر

Salma Ahmed Ahmed Elsheikh

Teaching Assistant at Décor department, Faculty of Fine Arts, Mansoura University, Egypt

salmaelsheikh3@gmail.com/ salmaelsheikh@mans.edu.eg

المُلخص

شهدت أفلام توقف الحركة (Stop-Motion) على مر السنوات تطوراً ملحوظاً، ويرجع الفضل في ذلك بشكل كبير إلى التقدم التكنولوجي الذي أتاح للمبدعين في هذا المجال أدوات وتقنيات حديثة ساهمت في تحسين جودة ودقة التفاصيل. فعلى الرغم من أن هذه الأفلام اعتمدت على التقنيات اليدوية والتصوير المتعدد للإطارات لخلق وهم الحركة السلسة للدمى والأشياء، فإن التقدم في مجالات مثل البرمجيات الرقمية، وأدوات الرسوم المتحركة، وتقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد قد منح هذه الصناعة أبعاداً جديدة.

عززت التحسينات التكنولوجية من القدرة على خلق تأثيرات بصرية مدهشة، مما جعل الأبعاد الإبداعية لهذه الأفلام أكثر تنوعاً وتقدماً، ولم تقتصر على ذلك فقط بل ساهمت أيضًا في تغيير طريقة تنفيذها؛ فقد أصبحت تقنيات تنفيذ الدمى أكثر دقة وتعقيداً بفضل تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد؛ حيث أتاحت للمصممين طباعة مئات الأجزاء الفريدة ثلاثية الأبعاد من ملامح وتعبيرات الوجوه المختلفة في تقنية تعرف بإستبدال الوجوه مما مكن المصممين من إطلاق العنان لإبداعاتهم وخيالاتهم.

يُشكل البحث أهمية كبيرة في حاجة مُصممي أفلام الرسوم المتحركة الى التعرف على إمكانيات التكنولوجيات الحديثة ومنها تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد، وما مدى تأثيرها على عملية تنفيذ الدمى وافلام توقف الحركة، وهل ستحقق الهدف المُراد بأن تكون تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الابعاد بديلاً فعلياً لطرق تنفيذ أفلام توقف الحركة المُستخدمة قديماً، أم لا؟، وذلك من خلال تحليل نماذج منتقاه من أفلام توقف الحركة التي استخدمت تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد في تنفيذ الدمى و الفيلم بشكل عام، في حدود زمانية منذ عام 2005م حتى عام 2022م، وحدود مكانية الولايات المتحدة الأمريكية.

الكلمات المفتاحية

تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد؛ أفلام توقف الحركة؛ الدمى.

ABSTRACT

Over the years, Stop-Motion animation have undergone a remarkable development, thanks to technological that have allowed innovators in this field modern tools and techniques that have improved the quality and accuracy of details. Although these films have relied on manual techniques and multi-frame photographing to create the illusion of smooth movement to puppets and objects, the advances in areas such as digital software, animation tools and 3d printing techniqnologies have given the industry new dimensions.

Technological improvements have enhanced the ability to create amazing visual effects, making the creative dimensions of these films more diverse and advanced, not only but also contributed to changing the way they are implemented; Puppet implementation techniques have become more precise and complex thanks to 3d printing technology; It allowed designers to print hundreds of unique 3d parts of different facial features and expressions in a technology known as replacement animation that enabled designers to unleash their creations and imaginations.

The research has great importance to the need for stop motion film designers to learn about the potential of modern technologies, including 3d printing techniques, how much it affects the puppet execution process, and will it achieve the goal of 3d printing technology as an effective alternative to traditional ways of puppet implementation, or not?, By analyzing selected films that used 3d printing technology in making their puppets, within time limits from 2005 to 2022, and the spatial limits of the United States of America.

KEYWORDS

3D printing technology; Stop motion films; Puppets

المُقـدمــة

تعتبر أفلام توقف الحركة واحدة من أقدم وأبهر تقنيات السينما التي تعتمد على التلاعب بالدمى أو الأجسام الثابتة لخلق تأثيرات حركية. وعلى مر الزمن، شهدت هذه الصناعة تطورًا كبيرًا بفضل التقدم التكنولوجي، وأحد أبرز هذه الابتكارات هو استخدام تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد في تصميم وتنفيذ دمى أفلام توقف الحركة، لا سيما في تصميم وطباعة الوجوه البديلة لها؛ حيث أحدثت ثورة في كيفية تنفيذ الدمى بتفاصيلها الدقيقة وتعبيرات الوجوه المختلفة لها، مما أتاح للمبدعين فرصًا غير محدودة لإنتاج نماذج معقدة، متقنة، وواقعية.

قبل ظهور الطباعة ثلاثية الأبعاد، كانت عملية صنع الدمى تستغرق وقتًا طويلاً وتتطلب مهارات حرفية ويدوية مُعقدة، كما كانت تقتصر على المواد التقليدية مثل الطين، الصلصال، والخشب لنحتها، الامر الذي كان يشكل تحديات كبيرة في عمليات التصوير الدقيقة والمستمرة. ولكن مع دخول تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد أصبحت العملية أسرع وأكثر دقة ومتانة، إذ سمحت بمرونة أكبر في إنشاء تعبيرات وجهية معقدة تتناسب مع مختلف الحركات والمشاعر المطلوبة في الفيلم بتفاصيل دقيقة لم تكن ممكنة من قبل. هذا التقدم لا يعزز فقط من جماليات الأفلام ويزيد من تعبيرات وجوه الدمى، بل أتاح أيضًا إمكانيات كبيرة في تحسين

حركتها بفضل التوافق المُحَسَن بين الأجزاء المختلفة. بذلك تكون ساعدت تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد في تقليل التكاليف وتحسين الكفاءة الإنتاجية، وعززت من الواقعية والتفاعل العاطفي مع الجمهور، مما يجعل أفلام توقف الحركة أكثر تنوعًا وسهولة في التنفيذ، وبالتالي أضافت بعدًا جديدًا لهذا النوع الفني، مما جعلها أكثر قدرة على مواكبة الابتكارات الحديثة في صناعة السينما.

كانت أول غزوة لقسم النماذج الأولية السريعة في ستوديوهات Laika للرسوم المتحركة بتقنية إيقاف الحركة في عام 2009م؛ حيث تم انشاء فيلم كورالين Coraline الذي يعتبر أول فيلم روائي طويل تم طباعة دُماه طباعة ثلاثية الأبعاد، وتوالت بعدها الأفلام التي استخدمت التقنية بشكل واسع في صناعة دُمى افلام توقف الحركة. يتناول البحث تعريفاً بماهية تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد، والدور الذي لعبته في تنفيذ دمى افلام توقف الحركة؛ بعمل دراسة تحليلية لنماذج من الأفلام التي استخدمت التكنولوجيا بتقنياتها المُختلفة لتنفيذ الدمى.

شكل 1: الوجوه البديلة المطبوعة ثلاثية الأبعاد للدمية كورالين

مُشكلة البحث

تكمن مشكلة البحث في وجود محدودية كبيرة في تقنيات تصنيع دمى أفلام توقف الحركة التقليدية، مما يؤدي إلى قيود على مستوى الإبداع، التنوع، والجودة، والوقت الطويل اللازم لتصنيع الشخصيات المتقنة، وصعوبة تحقيق تفاصيل دقيقة في الحركة.

أهَمية البحث

تتمثل أهمية البحث في استكشاف تأثير هذه التكنولوجيا على صناعة دمى أفلام توقف الحركة. البحث سيقدم مساهمة كبيرة في تطوير الفهم العلمي لكيفية تحسين عملية تصميم الدمى من خلال استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد، وسيحدد تأثيرها على الدقة، الجودة، والتكلفة، وكذلك تأثيرها على عملية الإنتاج بشكل عام.

الهَدف من البحث

يهدف البحث إلى دراسة دور تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد في تحسين صناعة دمى أفلام توقف الحركة من حيث الدقة والجودة وتقليل التكلفة والوقت اللازمين للإنتاج، وكذلك تحليل الفروق بين تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد والتقنيات التقليدية في تصنيع الدمى وتفاصيل حركتها.

تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد

هي إحدى اشكال التقدم التكنولوجي وتعرف كذلك باسم التصنيع المُضاف للنماذج الأولية السريعة، ظهرت لأول مرة من قبل الدكتور كوداما Dr. Kodama عام 1980م، فيها يتم تكوين جسم ثلاثي الأبعاد بوضع طبقات رقيقة متتالية من أحد مواد الطابعة ثلاثية الأبعاد المتخصصة طبقة فوق الأخرى حتى يتم بناء المجسم المطلوب بالكامل (سعد، 2015م). تُمَكِن الطباعة ثلاثية الأبعاد المصممين من نمذجة الأفكار سريعاً بالإضافة إلى جلب المشاريع إلى الحياة وطباعتها في مجموعة متنوعة من المواد الأمر الذي لا تستطيع أي تقنية أخرى القيام بها.

في البداية، يتم تصميم النموذج باستخدام إحدى برامج التصميم مفتوحة المصدر، مثل: Cosmos – 3D Studio Max – CATIA – Alias- Zbrush، ثم تحويل التصميم إلى كود تفهمه الطابعة بصيغة STL ، بعد ذلك يتم تقطيع النموذج باستخدام برامج تقطيع، مثلBCN3D Cura :، ثم يتم تسخين الطابعة لإدخال المادة الخام وضبط نقطة البداية والتشغيل لبدئ الطباعة. بعد الانتهاء بشكل كُلِي تتم مالجة النموذج فيما يعرف بخطوات المُعالجة ما بعد الطباعة Finishing Techniques ؛ حيث التنظيف من أي زوائد أو دُعامات، الارفاق بلصق قطع النموذج التي سبق تقطيعها قبل الطباعة معاً باستخدام مواد لاصقة فائقة القوة، الصنفرة لتنعيم سطح النموذج وتهيأته لعملية الطلاء. (McMills A. E., 2018)

أفلام توقف الحركة Stop motion animation

هي شكل متقدم من أشكال الرسوم المتحركة يتضمن تصوير الأشياء ثم التلاعب بها جسديًا داخل إطار، عند تشغيل كل إطار بالتسلسل، تخلق التقنية تأثير كائن يتحرك بنفسه. يُمكن تحريك أي نوع من الأشياء مثل: الورق – الأقمشة – الطعام أو الصور، ولكن الدمى ذات المفاصل المتحركة هي الأكثر إستخدامًا وشهرة. أول فيلم حركي تم إنتاجه كان فيلم سيرك هامبتي دمبتي The Humpty Dumpty Circus عام 1898م. (Making a stop-motion animation, n.d.)

1.1. أنواع الرسوم المتحركة لإيقاف الحركة (Stop motion animation explained: definition, types and techniques., n.d.)

- حركة القطع قطع الرسوم المتحركة Cutout Animation. (تقنية ثنائية الأبعاد) مثل:

روح عيد الميلاد.

- صورة ظلية للرسوم المتحركة Silhouette Stop Motion. (تقنية ثنائية الأبعاد) مثل: مغامرات الأمير أحمد (1926).
- حركة الكائن Object-Motion.(تقنية ثلاثية الأبعاد) مثل: سيرك هامبتي دمبتي (1898).

شكل 2: الهيكل المعدني الداخلي المسؤول عن حركات الدُمي من نوع Ball and Socket armature

- كلايميشنClaymation. (تقنية ثلاثية الأبعاد) مثل: Morph و Wallace & Gromit.
- البكسيلايش Pixilation Stop Motion . (تقنية ثلاثية الأبعاد) مثل: فيلم الجيران Neighbours 1952م.
- رسوم متحركة للدمى Puppet Animation. (تقنية ثلاثية الأبعاد) مثل: Coraline و Kubo و Two Strings.

1.2. تصميم دمى أفلام توقف الحركة Stop motion puppet design

يعتبر تصميم دمى أفلام وقف الحركة شكل من أشكال الفن المفاهيمي Concept Art؛ حيث تتضمن عملية التصميم تحديد المظهر الجسدي للدمية وسلوكها وجماليتها كونها تلعب دورًا رئيسياً في سرد القصة، وكذلك الصورة الظلية لها – وهي خطوط الشخصية الخارجية بعد إزالة التفاصيل والألوان–؛ حيث يجب أن يسهل التعرف على الشخصية فقط من خلال صورتها الظلية. (Stefyn, 2022)

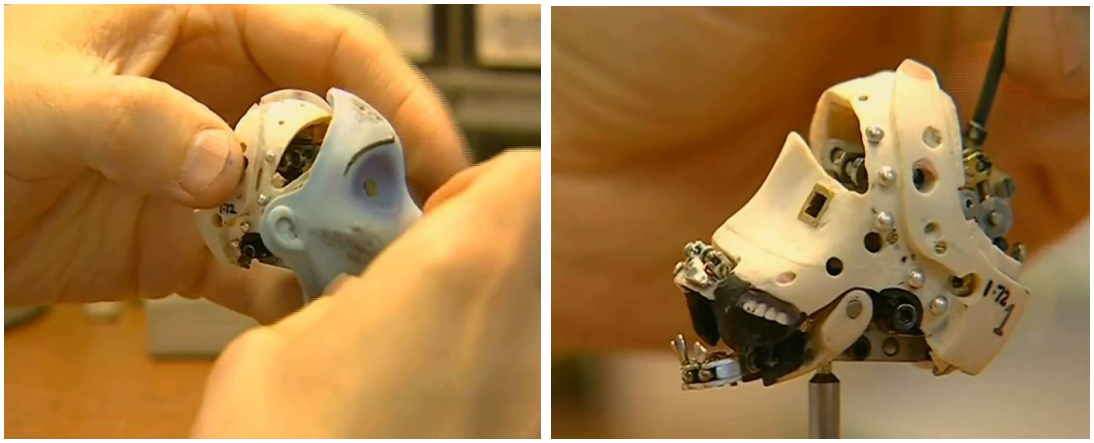
يتطلب العمل مع الدمى الكثير من حل المشكلات الإبداعي. لهذا السبب، يعد تصميم الدمية من حيث المظهر والبناء أمرًا حيويًا، وهناك الآلاف من المواد والطرق والتقنيات التي يمكن استخدامها عندما يتعلق الأمر بصنع دمى توقف الحركة. الفرق الرئيسي بين الدمى المتوقفة عن الحركة والأنواع الأخرى هو أن لديها ذراعًا بالداخل؛ حيث تعمل الذراع كهيكل عظمي يُمَكِن الدمية من الاحتفاظ بموقعها دون الانزلاق في كل إطار عند التصوير، لذا يجب أن تكون الدمية خفيفة الوزن ومتينة قدر الإمكان. عند تصميم الدمى هناك رموزاً أساسية تستخدم للتواصل مع الجمهور؛ مثل: شكل الفم والحاجب؛ فإذا كان الفم منحنياً لأعلى يعبر ذلك عن السعادة، وإذا انحنى إلى أسفل فيعبر عن الحزن، والحاجب يُعطي الانطباع ما إذا كانت الدمية قلقة، غاضبة، حزينة أو مُخادعة. (Priebe, 2007)

1.3. الطرق التقليدية في تنفيذ دُمى أفلام توقف الحركة

بعد قراءة النص يقوم مُصمم الدمى بالتخطيط الجيد؛ بداية من تحليل النص وتحديد سن المشاهد المُستهدف، إلى عمل الأبحاث اللازمة للوصول لتصور فعَّال للدمية. يشرع بعد ذلك في عمل الرسومات الأولية؛ وفيها يقوم بتحديد البُعد الجسدي والنفسي والاجتماعي وكذلك شكل تعابير الوجه المُختلفة واختيار ألوان البشرة والملابس لتسهيل عملية التحريك لاحقًا، وهو الأمر المشترك في التصميم والتنفيذ التقليدي والحديث.

يقوم مصممو النماذج ثلاثية الأبعاد رقميًا ببناء ونحت وتفاصيل الشخصيات ثلاثية الأبعاد بناءً على رسومات مُصمم الشخصيات، باستخدام برامج النمذجة الحديثة، ثم الشروع في تنفيذ هيكل جسم الشخصيات الداخلي الميكانيكي بناء على نسب جسم الدمية من نوع Ball and Socket armature، والذي يتميز بكونه صلباً كما أنه قابل لإعادة الاستخدام ويمنح

مُحرك الدمى تحكماً دقيقاً في حركة الدمية. جلد الدمية يمكن تنفيذة من طبقة من السيليكون كونه يمنح مظهرًا يُشبه الجلد ورسم الملامح عليه، ثم يتم تركيبة أعلى الهيكل الداخلي، ويمكن التلاعب في تعابير وجوهها يدويًا من الحواجب والفك والشفاه بتحريك التروس الهيكل الداخلي أسفل جلد السيليكون، وهي طريقة أكثر دقة بكثير من تحريك ملامح الوجه المصنوع من الطين. بعد ذلك يتم تنفيذ ملابس الدمى ومكملاتها بناءً على دورها في الفيلم. – (Stop Motion Animation Everything You Need To Know, n.d.) مثل: فيلم "جثة العروس" Corpse Bride (2005م)، حيث تم تنفيذ جميع رؤوس عرائس الفيلم بهيكل داخلي ميكانيكي بالكامل يتضمن نظام تروس صغيرة، الأمر الذي يسمح بالتلاعب بتعبيرات وجه الدمية.



شكل 3: يمين: الهيكل المعدني الداخلي لرأس الدمية إيميلي من فيلم جثة العروس، يسار: أثناء تركيب وجه السيليكون فوق الهيكل المعدني الداخلي لرأس الدمية إيميلي من فيلم جثة العروس. المصدر: https://www.aplusc.tv/blog/behind-the-model-making-puppets-for-stop-motion-animation

1.4. دراسة تحليلية لبعض النماذج من أفلام توقف الحركة التي استخدمت تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد في تنفيذ الدُمى الخاصة بها

وقع اختيار الباحثة على تلك النماذج من الأفلام لعدة أسباب منها؛ إعتماد صانعي الدُمي على تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الابعاد في تنفيذها من وجوه بديلة إلى طباعة الدُمية نفسها مما ساهم في التأكيد على دور الطباعة ثلاثية الأبعاد في طرق التنفيذ. أيضاًكون هذه الأفلام كانت ضمن الحدود المكانية للدراسة في الولايات المتحدة الأمريكية. يمكن تقسيم الأفلام توقف الحركة من حيث توظيف الطباعة ثلاثية الابعاد في التنفيذ إلى:

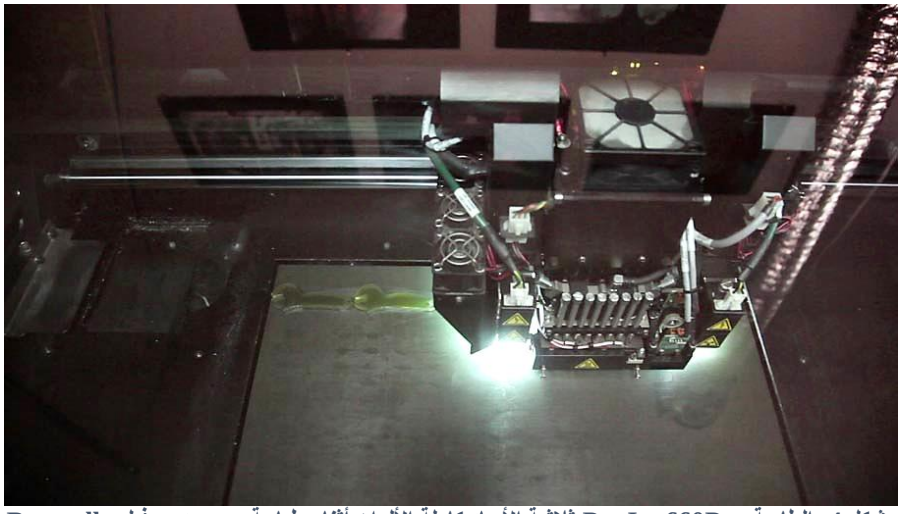
1.5. طباعة الوجوه البديلة و الدمية كاملة

- **فيلم "أقزام العلب" The Boxtrolls(2014م)، اخراج: جراهام أنابل Graham Annable، أنتوني ستاتشي Anthony Stacchi**

في البداية قام مصمم الدمى بعمل نموذج منحوت يدوياً لرأس الدمية، ثم تم إجراء عملية مسح ثلاثي الأبعاد للنموذج للحصول على نسخة رقمية منه، بعد ذلك قام بتنقيحه وإضافة الملامس النهائية وإيماءات الوجوه المختلفة باستخدام البرامج الرقمية

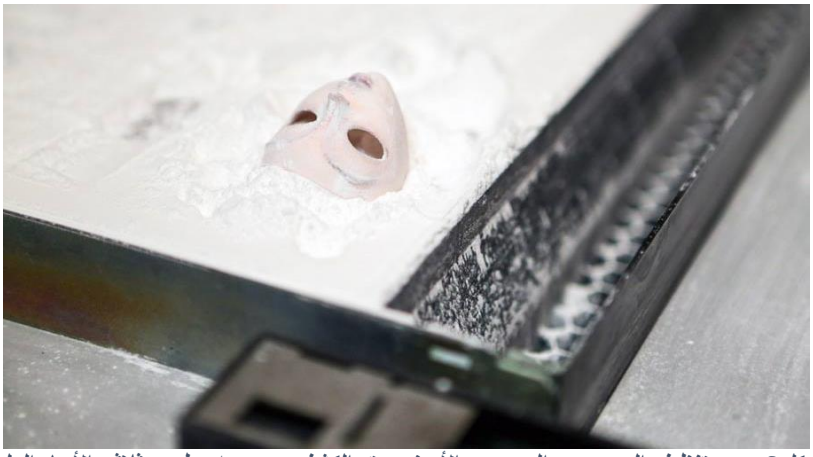
مثل: Maya وZBrush. قبل أن يرسله إلى الطابعة ProJet 660Pro ثلاثية الأبعاد كاملة الألوان لبدء عملية الطباعة باستخدام مادة تشبه مسحوق الجَص. (3D Print Boxtrolls At Home, 2014)

بعد الطباعة ثلاثية الأبعاد التي استغرقت 3 ساعات لطباعة وجه دمية واحدة، بدأت مباشرة عمليات المُعالجة البعدية من الصنفرة، والتقطير في غراء فائق سائل، والطلاء لوضع اللمسات النهائية لضمان التناسق في الشكل واللون، واستغرقت أيضاً حوالي 3 ساعات أخرى لمعالجتها وإعدادها للتصوير على مراحل. مع وجود خمس طابعات ملونة في موقع التنفيذ والتصوير، تمكنت شركة Laika من طباعة 100 إلى 150 فمًا في اليوم لدمية Eggs، التي يكون رأسها صغيرًا نسبيًا ويبلغ طولها 23 سم تقريبا، ولكن الدمى الأكبر شكلت تحديًا أكبر للطباعة؛ فقد تمكنوا من إنتاج 12 فقط في اليوم. في النهاية تمت طباعة أكثر من 8500 وجه بديل للفيلم، ما يزيد عن 52000 وجه بديل وبالتالي كان الاجمالي 1,4 مليون تعبير محتمل للوجه. (Chung, 2014)



شكل 4: الطابعة ProJet 660Pro ثلاثية الأبعاد كاملة الألوان أثناء طباعة وجوه دمى فيلم The Boxtrolls

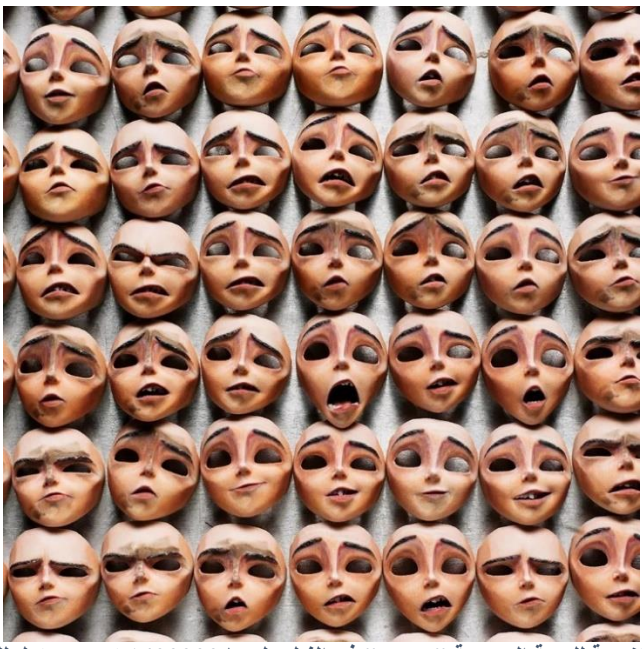
شكل 5: وجوه الدمى فور الانتهاء من طباعته وقبل القيام بعمليات لمعالجة، يظهر استخدام المادة التي تشبه الجص الأبيض



شكل 6: بعد تنظيف الوجوه من المسحوق الأبيض، يتم الكشف عن وجه مطبوع ثلاثي الأبعاد الملون تحته

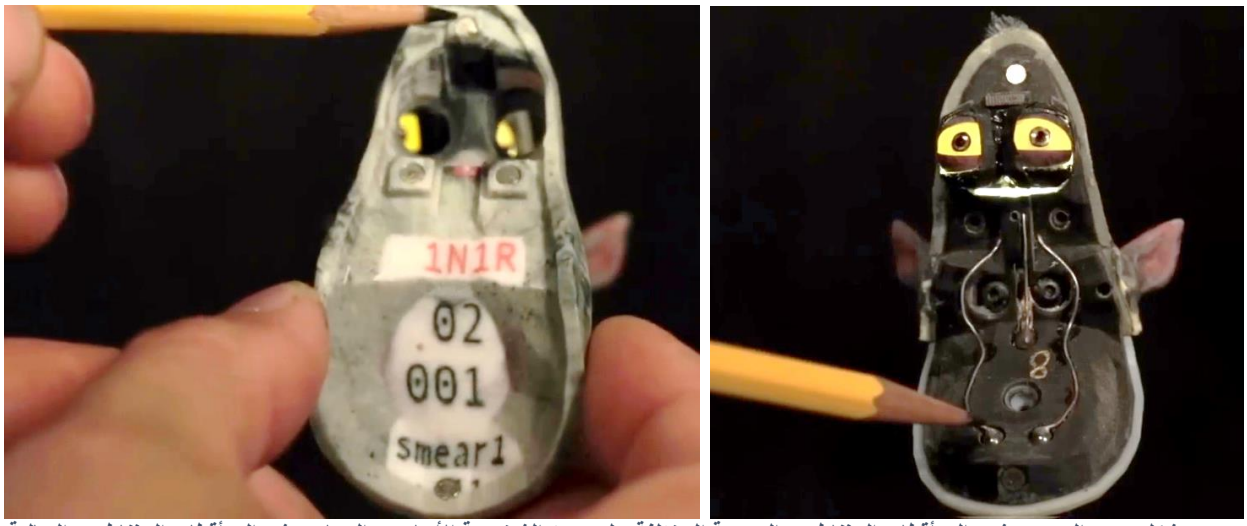
شكل 7: بعد الانتهاء من الوجوه المطبوعة، تستمر عمليات المُعالجة البعدية؛ لضمان الاتساق في الشكل واللون

شكل 8: التعبيرات المختلفة لوجه أحد شخصيات The Boxtrolls المطبوعة ثلاثية الأبعاد. المصدر: https://www.redsharknews.com/post-vfx/item/2116-stop-motion-animation-is-alive-and-well-with-the-help-of-cgi

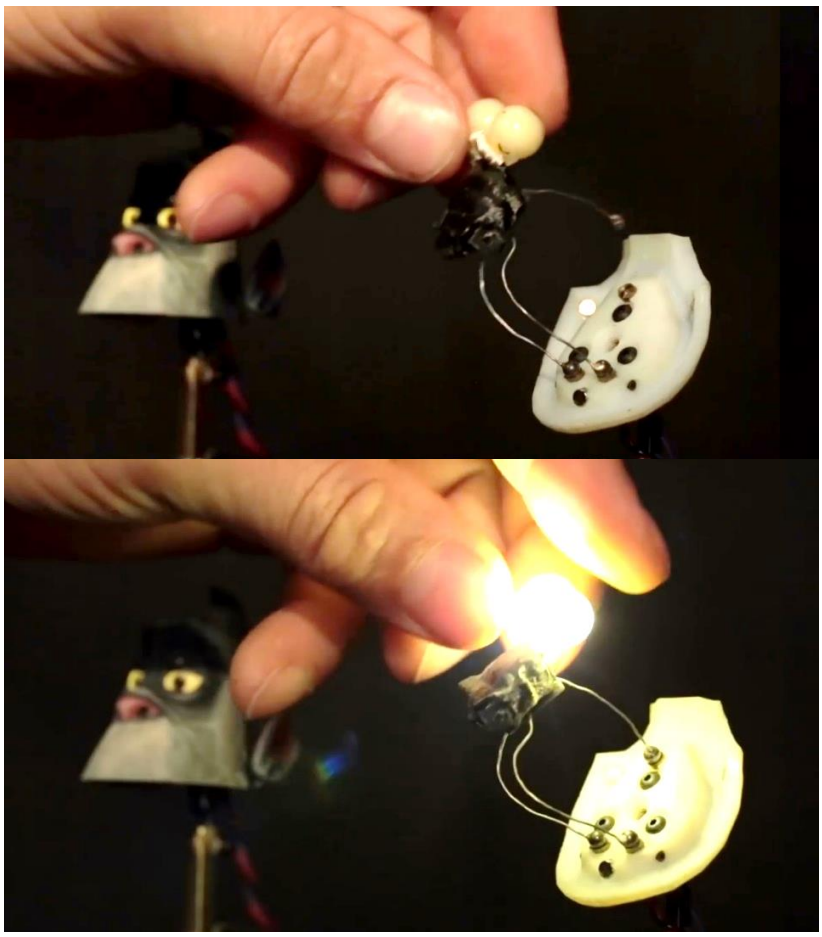


شكل 9: الوجوة المتنوعة للدمية الرئيسية "Eggs" في الفيلم، لديها 1400000 تعبير محتمل للوجه مطبوعًا ثلاثي الأبعاد

لجأت لايكا إلى تقنية أخري فيما يتعلق بإضاءة عيون الشخصيات في بعض المَشاهد، استخدمت في البداية توصيلات الأسلاك المُختلفة، الأمر الذي سبب عبثاً ولم يكن عملياً؛ حيث أنهم يحتاجون إلى إزالة الرؤوس لتبديها في بعض المشاهد من كبيرة إلى صغيرة والعكس أثناء اتصالها بسلك الكهرباء، وكذلك تبديل الوجوه. لذا كان لابد من إيجاد بديل، قاموا بتثبيت قطع مغناطيسية صغيرة متصلة بالكهرباء داخل رأس كل شخصية Boxtrolls وكل وجه بديل؛ مما يساعد على تثبيت الوجه البديل وكذلك على غلق الدائرة الكهربائية مما يضئ العين، وهو المطلوب. (McClain)



شكل 10: اليمين: يشير إلى أقطاب المغناطيس الموجبة المختلفة على وجه الشخصية الأساسي، اليسار: يشر إلى أقطاب المغناطيس السالبة على الوجه البديل. المصدر: https://youtu.be/0i29loX06A4

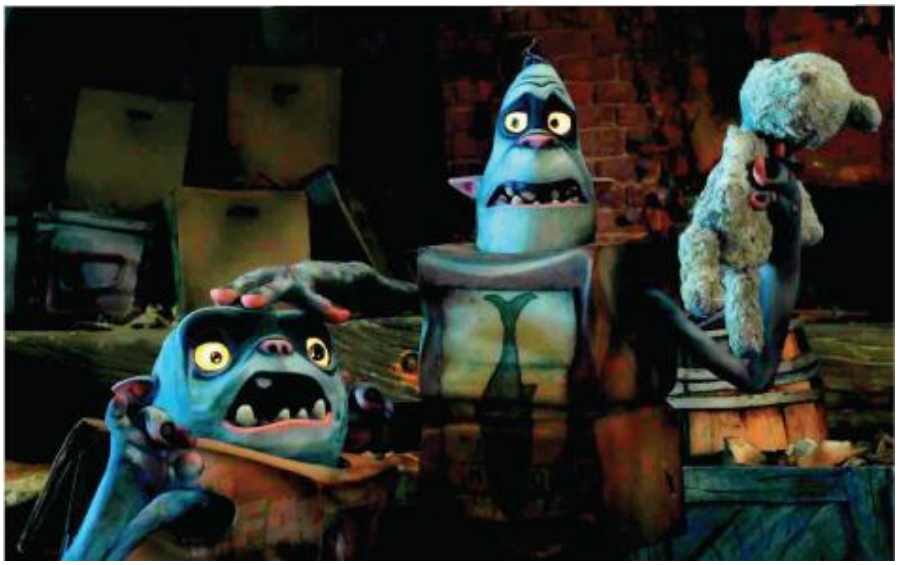


شكل 11: أعلي: قبل توصيل الأقطاب المغناطيسية، أسفل: بعد توصيل الأقطاب المغناطيسية ببعضها وتوصيل الإضاءة

شكل 12: يمين: قبل توصيل الأقطاب المغناطيسية، يسار: بعد تركيب الوجه البديل مما أدي لتوصيل الأقطاب المغناطيسية ببعضها وبالتالي توصيل الإضاءة. المصدر: https://youtu.be/0i29loX06A4

اكتشفت توري برانت Tory Bryant، فنانة الملمس الرئيسية للفيلم، كيفية إعادة إنشاء التفاصيل الدقيقة لنموذج الشخصيات المرسومة يدويًا من خلال عملية الطباعة ثلاثية الأبعاد، وهو أمر لم يكن يبدو ممكنًا قبل بضع سنوات فقط؛ حيث قامت باستخدام رقائق الألوان في كتاب بانتون للتعويض عن نقص معايرة الألوان على الطابعة، بل اكتشفت أيضًا أن تطبيق الرسم التقليدي وتقنيات الرسم، مثل: تقنية التخطيط المتقاطع cross-hatching technique على النماذج الرقمية عندما تتراكم مادة الطابعة في طبقات بمقدار 6/1 بوصة مما يؤدي إلى المزيد من التأثيرات التركيبية التي تعمل على إضفاء تأثير تشتت تحت للسطح مما يحاكي تأثير البشرة الحقيقية. (Ramshaw, 2015)

شكل 13: بريان ماكلين Brian McLean، المشرف الإبداعي على الرسوم المتحركة والهندسة البديلة، في مكتبة الوجه في لايكا، والتي تضم عشرات الآلاف من أجزاء الوجه المطبوعة ثلاثية الأبعاد



شكل 14: لقطة من الفيلم للدُمي النهائية من "The Boxtrolls'

- **فيلم "كوبو والسلسلتان" Kubo and the Two Strings (2016م)**

لعبت تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد دورًا كبيرًا في الفيلم جنبًا إلى جنب مع العديد من العمليات الأخرى مثل: الأوريغامي والريش والتقطيع بالليزر. بالاستعانة بفريق مكون من أكثر من 65 مصممًا وحرفيًا، قامت استوديوهات Laika بالدخول في شراكة مع شركة Stratasys، الذين تمكنوا من تقديم طريقة أكثر تقدمًا لإنشاء أجزاء وجوه الشخصيات في الفيلم؛ بوضع طبقات من الألوان أثناء طباعة 23187 وجهًا دون إجراء شاق للطلاء اليدوي لكل منهما. (Check out Laika's fully 3D printed character in samurai stop-motion adventure 'Kubo and the Two Strings' , n.d.)

استخدمت LAIKA تقنية الرسوم المتحركة البديلة Replacement Animation بالاستعانة بتكنولوجيا الطباعة ثلاثية القائمة على المسحوق باستخدام طابعات Stratasys Connex3 PolyJet. قام صانعي النماذج بطباعة وجوه الدمى في قسمين رئيسيين: قسم الحاجب وقسم الفم، وكذلك مقل العيون والجفون والأذنين؛ حيث يتم تحريك الوجوه باستخدام الكمبيوتر، ثم إرسالها إلى الطابعة ثلاثية الأبعاد بدلاً من نحتها يدويًا جميعًا، الأمر الذي سمح لفناني الرسوم المتحركة باستخدام تلك القطع لجعل أداء الدمى أكثر دقةً وتعقيدًا. (McMills A. E., 2018) أحدثت دمية كوبو Kubo تقدمًا كبيرًا من حيث أدائها الجسدي وتعبيرات وجهها؛ حيث كان لديها أكثر من 48 مليون تعبيراً مُحتملاً للوجه، بينما كان لدى دمية القرد Monkey حوالي 30 مليونًا تعبيراً، كما أنها تميزت بفراء مغطى بالسيليكون لإضافة لمسة نهائية أكثر واقعية. وأيضاً دُمية الخنفسة Beetle فكان لديها 13 مليون تعبيراً مُختلفاً للوجه. (Yusuf, 2016)

شكل 15: دمية كوبو في العديد من أشكال تعبيرات الوجه المطبوعة ثلاثية الأبعاد الخاصة به. المصدر: كتاب 3D Printing Basics for Entertainment Design بقلم Anne E McMills

شكل 16: دمية كوبو أثناء فك وتركب تعبيرات الوجه المُختلفة المطبوعة ثلاثية الأبعاد. المصدر: https://3dprintingindustry.com/news/laika-plus-stratasys-equals-stop-motion-genius-91654/

شكل 17: أثناء التصميم الرقمي ثلاثي الأبعاد لدمية القرد Monkey

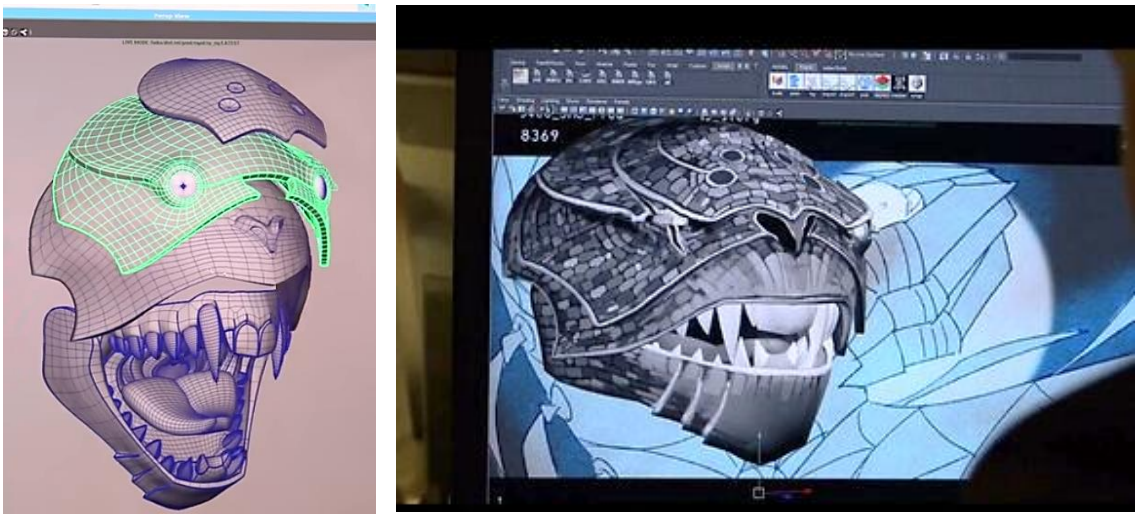
شكل 18: تعبيرات الوجه المُختلفة المطبوعة ثلاثية الأبعاد لدمية القرد Monkey. المصدر: كتاب 3D Printing Basics for Entertainment Design بقلم Anne E McMills

شكل 19: لقطة من الفيلم لدميتي كوبو والقرد

كان تنفيذ دمية وحش القمر Moon beast مشروعًا فريدًا؛ فهو وحش بحري عملاق يحمل تصميمه مزيجًا غريبًا من التنين الياباني والكائن البحري المضيء وأسماك ما قبل التاريخ المخيفة، وكان التحدي في كيفية جعل كل هذه العناصر تتحد معاً، لذا جربت شركة Laika تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد في تنفيذها، وأصبح وحش القمر أول دمية هيكلية مطبوعة ثلاثية الأبعاد بالكامل لـ Laika في أحد أفلامهم.

تتكون الدمية من سلسلة من الألواح المطبوعة ثلاثية الأبعاد باستخدام راتنج قوي شفاف نسبياً، مما خلق سطحًا صلبًا يتحمل سوء الاستخدام في بعض الأحيان ولا يتأثر على الإطلاق عندما تتقابل الألواح مع بعضها البعض. تندفع سلسلة الألواح هذه فوق ذراع مركزية ذو رأس منحنية، كالموجود في مصباح الطاولة أو حامل الميكروفون، فلا يوجد تحديد واضح بين الرأس

والجسم الذي يبلغ طوله 90 سم تقريباً، ويتكون من 850 قطعة خارجية مطبوعة ثلاثية الأبعاد، بالإضافة إلى 250 قطعة دروع داخلية تسمح بحركته وذراعين معدنيتين داعمتين. تم تطبيق أحبار الأشعة فوق البنفسجية الغير مرئية للعين المجردة على جسم الدمية، بحيث تتوهج عند تعريضها للأضواء السوداء، ومع القليل من المؤثرات البصرية VFX تظهر الدمية بالشكل المطلوب. (Desowitz, 2016)



شكل 20: عملية النمذجة ثلاثية الأبعاد باستخدام برنامج Zbrush لدمية وحش القمر

شكل 21: بعض أجزاء دمية وحش القمر المطبوعة ثلاثية الأبعاد(الفك). المصدر: https://3dprintingindustry.com/news/laika-plus-stratasys-equals-stop-motion-genius-91654/

شكل 22: جسم دمية وحش القمر المطبوع ثلاثي الأبعاد قبل عملية الطلاء وأثناء تجميع قطع جسمة سوياً. المصدر:
/https://www.indiewire.com/awards/industry/kubo-and-the-two-strings-laika-moon-beast-1201751080

شكل 23: أول دمية مطبوعة ثلاثية الأبعاد بالكامل من Laika مكونة من 881 قطعة

شكل 24: لقطة من الفيلم لوحش القمر المضيء المطبوع ثلاثي الأبعاد

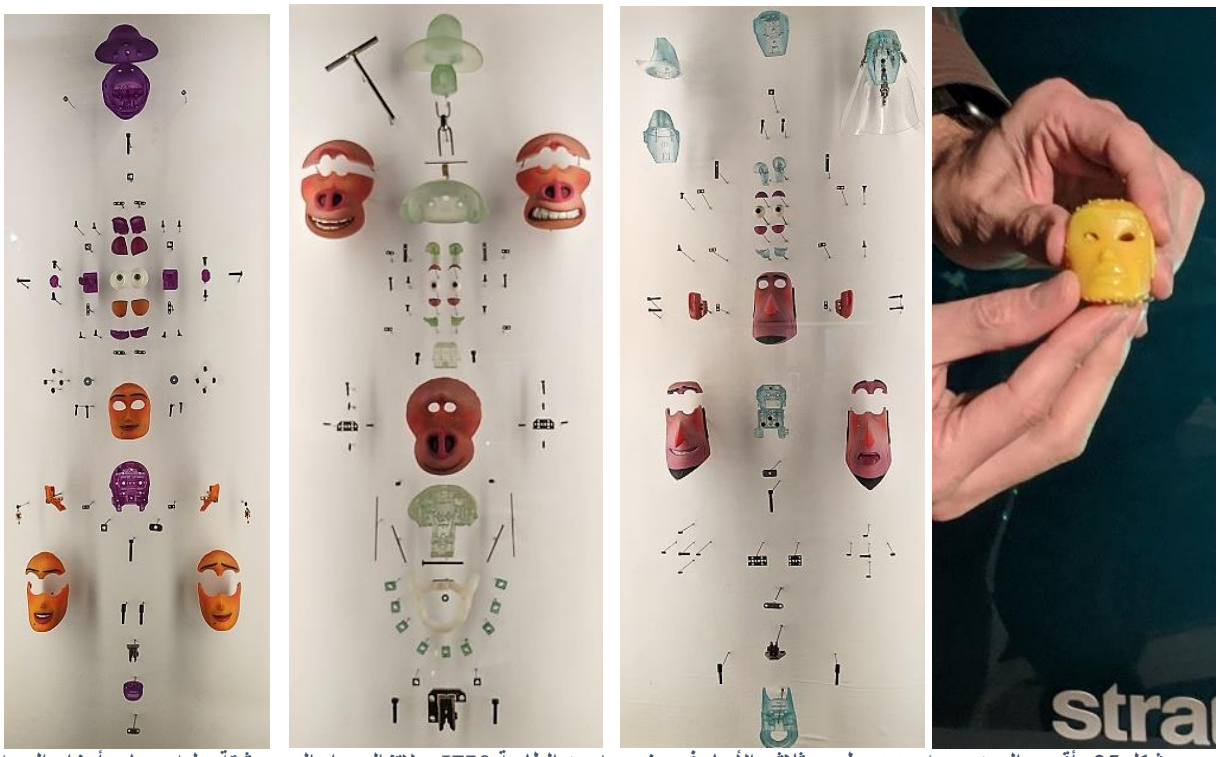
➢ **فيلم "الحلقة المفقودة" Missing link (2019م)، اخراج: كريس بتلر Chris Butler**

يعتبر فيلم الحلقة المفقودة Missing Link أول فيلم لشركة Laika يستخدم وجوه بديلة مطبوعة ثلاثية الأبعاد بالراتنج كامل الألوان على جميع الدمى. يوضح بريان ماكلين–مدير النماذج الأولية السريعة في أستوديوهات Laika–:" عندما حان الوقت لمحاولة اكتشاف طريقة لطباعة أنف الدمية ليونيل، كانت تكنولوجيا الطباعة التقليدية غير كافية، ولذلك سمحت شركة Stratasys لنا بالحصول على طابعة جديدة متعددة الألوان تسمي "J750" قبل حوالي عام من توفرها للجمهور".

إختار ماكلين وفريقه برنامج Cuttlefish *، الذي يمكنه التعامل مع المتطلبات العالية للطباعة الملونة ثلاثية الأبعاد الحديثة. قال ماكلين:" سمح لنا الجمع بين برنامج Cuttlefish وأجهزة J750 Stratasys بإنتاج أكثر المطبوعات ثلاثية الأبعاد الملونة تطوراً على الإطلاق". (Idelson, 2019)

بدأ العمل بدراسة السيناريو المتفق عليه جيداً، ثم مُراجعة اللوحات المفاهيمية Concept art وما يجب أن تكون عليه الدمى، ثم بناء حركات وملامح وجوه الدُمي على الكمبيوتر باستخدام برنامج Maya، أخيراً تم إرسال الرسومات إلي المخرج و المنتج الفني للحصول على الموافقة النهائية والشروع في عملية الطابعة ثلاثية الأبعاد. استغرق تصميم وتنفيذ الوجوه البديلة لكل دمية في الفيلم مدة من ستة أشهر إلى عام كامل. تم طباعة أكثر من 106000 وجه في المجموع الكُلي؛ كان حوالي 39000 (37٪) من وجوه للدمية يونيل، وحوالي 27000 (26٪) وجوه لدمية لينك –والذي كان أثقل شخصية رئيسية تم إنشاؤها على الإطلاق لفيلم Laika–، و13000 (12٪) وجوه للدمية أديلينا. وبالتالي شكلت الدمى الرئيسية الثلاث حوالي 75٪ من إجمالي الوجوه في الفيلم. (Goehrke, 2019)

* Cuttlefish®: برنامج طابعة ثلاثي الأبعاد فريد من نوعة، حاصل على براءة اختراع طوره معهد Fraunhofer IGD لأبحاث الرسومات الحاسوبية في ألمانيا، يُتيح التحكم الدقيق في الطابعات ثلاثية الأبعاد المتنوعة لإعداد منتج عالي الدقة.



شكل 25: أقصى المين: وجه جديد مطبوع ثلاثي الأبعاد فور خروجه من الطابعة J750 ، لاتزال مواد الدعم مثبتة عليه. يسار: أجزاء الوجه المطبوعة ثلاثية الأبعاد قبل تجميعها لدُمى ليونيل فروست ولينك وأديلينا فورتنايت. المصدر:
https://www.awn.com/animationworld/set-visit-go-behind-scenes-laikas-missing-link

شكل 26: يمين: الوجه البديل لدمية ليونيل فروست من الداخل، يظهر المغناطيس المستخدم لتثبيت الوجه، يسار: أثناء تحريك مقل العين الدمية. المصدر: https://www.awn.com/animationworld/set-visit-go-behind-scenes-laikas-missing-link

شكل 27: دمية لينك أثناء إزالة وجهها البديل. المصدر: https://www.awn.com/animationworld/set-visit-go-behind-scenes-laikas-missing-link

شكل 28: يمين: مجموعة من التعبيرات المُختلفة المطبوعة ثلاثية الأبعاد لوجه الدمية لينك، يسار: لقطة مقربة لأحد تعبيرات وجه لينك المطبوعة ثلاثية الأبعاد . المصدر: https://www.awn.com/animationworld/set-visit-go-behind-scenes-laikas-missing-link

نظرًا لتحسن تفاصيل سطح طابعة J750 ثلاثية الأبعاد، فإن ما يقرب من 90% الوجوه المطبوعة للفيلم لم تتطلب الصنفرة البعدية، بل تم فقط إزالة مواد الدعم وتركيب المغناطيس ورش الوجوه بطبقات متعددة من مادة شفافة وباهتة للحصول على لمسة نهائية ناعمة. (Sarto, 2019)

شكل 29: وجوه دمى فيلم الحلقة المفقودة Missing Link المُختلفة المطبوعة ثلاثية الأبعاد. المصدر: https://www.tctmagazine.com/additive-manufacturing-3d-printing-news/famous-faces-3d-printing-/laika

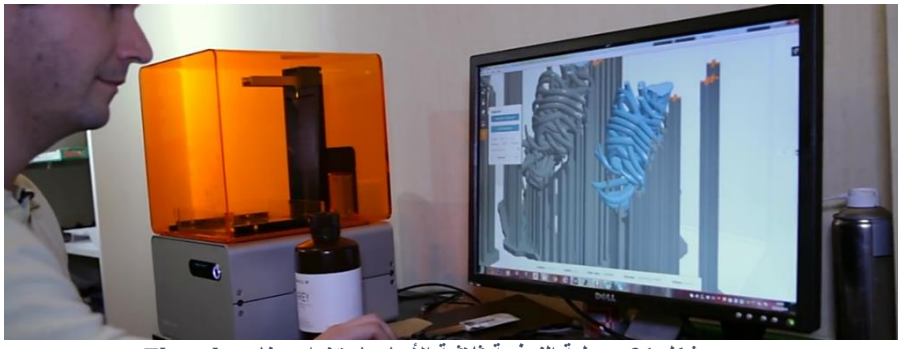
شكل 30: لقطة من فيلم الحلقة المفقودة Missing Link

1.6. طباعة الفيلم بالكامل

- **الفيلم القصير طاردني Chase me (2015م)، اخراج وانتاج: جيل ألكسندر ديشود Gilles-Alexandre Deschaud**

يجمع الفيلم بين سحر التصوير وعجائب الطباعة ثلاثية الأبعاد، أمضى المخرج عامين في طباعة 2500 قطعة مطبوعة ثلاثية الأبعاد لإنشاء كل إطار من الفيلم، من الدمي إلى المناظر والديكور المُحيط، تمت طباعة جميع العناصر باستخدام الطابعة Form 3D + 1 بتقنية الطباعة الحجرية المجسمة Stereolithography (SLA) والتي تتميز بدقة كبيرة وتشطيب ممتاز للسطح، و80 لترًا من راتنج فورملاب الشفاف، الأسود والرمادي. (htt)

طُبعت مناظر ودمى الفيلم بدقة 100 ميكرون، مع الحد الأدنى من التشطيب بعد إزالة مادة الدعم، وتم طباعة قطع أكبر مثل الشجرة الموجودة في الغابة؛ حيث تم طباعتها في 22 جزءًا فرديًا مختلفاً ثم تم تجميعها لاحقاً؛ لإعطاء وهم بالحركة بأنها تنمو في المشهد. قطع الديكور الأخرى مصنوعة من 12 قطعة مختلفة. من أجل الحصول على زاوية واسعة في التصوير، تمت طباعة نموذج لدمية الفتاة الصغيرة بارتفاع 3 سم والتقطت الصورة عن قرب. (Chase Me: A 3D printed film created on the Form 1+, 2015)



شكل 31: عملية النمذجة ثلاثية الأبعاد باستخدام برنامج Zbrush

شكل 32: أثناء تحريك الدمية المطبوعة ثلاثية الابعاد داخل المشهد لتصوير الاطارات المختلفة

شكل 33: الشجرة المطبوعة ثلاثية الابعاد

شكل 34: الأجزاء المطبوعة ثلاثية الابعاد من دمى وقطع ديكور. المصدر: http://www.chasemefilm.com/home

شكل 35: لقطة من الفيلم تظهر دمية الفتاه والمنظر الخارجي المطبوع ثلاثي الأبعاد. المصدر: http://www.chasemefilm.com/home

1. التحديات والقيود

1.1. التحديات والقيود التقنية

- جودة الطباعة ودقة التفاصيل؛ حيث أن الأجزاء المطبوعة تحتاج إلى معالجات بعدية من صنفرة، الطلاء و تلميع لإزالة الخطوط الناتجة عن عملية الطباعة.
- متانة المواد وتحملها للحركة المستمرة؛ فالدمى في أفلام توقف الحركة تتطلب مفاصل مرنة، لكن بعض المواد المطبوعة ثلاثيًا قد لا تتحمل وتنكسر بسرعة مثل: بلاستيك PLA ، ولحل المشكلة يمكن استخدام مواد أخرى مثل: بلاستيك ABSأو الراتنجات المرنة ، حيث تكون أكثر متانة لكنها قد تحتاج إلى معالجة بعد الطباعة.
- قيود الطباعة على الأجزاء القابلة للحركة؛ حيث يتطلب دمج تقنيات أخرى مثل: النحت اليدوي أو التجميع الميكانيكي، لتنفيذ مفاصل داخلية دقيقة للدمى المطبوعة.

1.2. التحديات الفنية والجمالية

- الأجزاء المطبوعة ثلاثية الأبعاد قد تبدو بلاستيكية أو غير طبيعية، مما يستلزم عمليات المُعالجة البعدية بطلاءها يدويًا أو إضافة طبقات لتنعيم السطح الخارجي.
- بعض الخامات لا تعكس الضوء بشكل جيد عند التصوير، مما قد يؤثر على المظهر العام للدمية في الفيلم.

1.3. الحاجة إلى مهارات متخصصة

- تصميم الدمى والمفاصل يتطلب مهارات متقدمة في النمذجة ثلاثية الأبعاد باستخدام برامج متخصصة، مثل: ZBrush، Blenderو Fusion 360 ، وكذلك تشغيل وصيانة الطابعات ثلاثية الأبعاد الذي يتطلب معرفة تقنية مسبقة لتجنب مشاكل الطباعة الشائعة مثل التشوهات أو التصاق الطبقات بشكل غير صحيح.

لحل هذه المشكلات، يمكن اتباع الاستراتيجيات التالية:

- الجمع بين الطباعة ثلاثية الأبعاد وتقنيات أخرى مثل النحت اليدوي و الصب في السيليكون لتعزيز التفاصيل والجودة.
- استخدام مواد طباعة مرنة وقوية مثل راتنجات متطورة أو خيوط TPU للمفاصل والشخصيات القابلة للحركة.
- تصميم الشخصيات بطرق أكثر كفاءة، مثل طباعة الأجزاء المتحركة بشكل منفصل ثم تجميعها لاحقًا.
- معالجة الأسطح باستخدام الصنفرة، الطلاء، أو الطلاء غير اللامع (Matte Coating) لجعل الشخصيات تبدو أكثر واقعية أمام الكاميرا.

2. النتائج والتوصيات

أفضى البحث إلى عدة نتائج:

- أحدثت تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد تحولًا كبيرًا في أسلوب تنفيذ أفلام توقف الحركة وخاصة الدمى، وجعلت من الممكن إنتاج أعمال أكثر إبداعًا ودقة، مما يجعلها بديلاً فعَّالاً لطرق التنفيذ لتقليدية وعزز من قوة تأثير هذه الأفلام في نقل الرسائل الفنية والعاطفية.

- يمكن للطابعة ثلاثية الابعاد طباعة عدة نماذج في وقت قصير وبتكلفة أقل، مما يساهم في تسريع عملية الإنتاج وتوفير الجهد، الوقت والمال، ومكن فِرَقْ العمل من التركيز على الجوانب الإبداعية أكثر من العمل الحرفي المُرهِق.
- اتاحت تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد المجال للفنانين والمبدعين تجربة أشكال وتصميمات جديدة مُبتكرة للدمى والوجوه البديلة غير تقليدية بشكل أسهل من التقنيات القديمة.

توصي الباحثة ب:

- يجب على المبدعين في صناعة أفلام توقف الحركة توسيع استخدام تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد في تصميم الوجوه البديلة والعناصر الدقيقة الأخرى للدمى، بما يعزز من تفاعل الدمى مع الجمهور.
- المزيد من البحث في مدى تأثير تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الابعاد على تنفيذ المُعالجات التشكيلية المُختلفة للسينما والتلفزيون وكذلك في المسرح من حيث الديكور/ الملابس والمُكملات.
- توفير برامج تدريبية للمبدعين والفنيين العاملين في صناعة أفلام توقف الحركة حول كيفية استخدام هذه التقنية بشكل فعّال، لتعزيز مهاراتهم في تصميم النماذج الرقمية وتحويلها إلى نماذج مطبوعة بدقة وجودة عالية.
- إستثمار شركات الإنتاج في طابعات ثلاثية الأبعاد ذات تقنيات متقدمة لتوفر مزيدًا من المرونة والإبداع في تصميم الأجزاء المختلفة للدمى، مثل الوجوه البديلة والأعضاء المتحركة.
- توفير وسهولة الوصول للطابعات ثلاثية الأبعاد في الأسواق، مع التوسع في استخدامها بشكل عملي في تنفيذ دمى أفلام توقف الحركة.

المـــراجع

- (n.d.). Retrieved from http://www.chasemefilm.com/home
- Making a stop-motion animation. (n.d.). Retrieved from https://www.screenskills.com/your-career/lesson-plans-and-classroom-resources/making-a-stop-motion-animation
- 3D Print Boxtrolls At Home. (2014, Septemper 11). Retrieved from https://www.3dsystems.com/blog/2014/09/3d-print-boxtrolls-home
- Chase Me: A 3D printed film created on the Form 1+. (2015, April 13). Retrieved from https://formlabs.com/blog/chase-me-3d-printed-film/
- Check out Laika's fully 3D printed character in samurai stop-motion adventure 'Kubo and the Two Strings' . (n.d.). Retrieved from https://www.3ders.org/articles/20160704-check-out-laikas-fully-3d-printed-character-animation-kubo-and-the-two-strings.html
- Chung, B. (2014, septemper 23). Unpacking The Stop-Motion Magic Of "The Boxtrolls". Retrieved from https://www.vice.com/en/article/nz4zjd/unpacking-the-stop-motion-magic-of-the-boxtrolls
- Desowitz, B. (2016, November 30). Kubo and the Two Strings': How Laika Made Their Innovative Moon Beast. Retrieved from https://www.indiewire.com/2016/11/kubo-and-the-two-strings-laika-moon-beast-1201751080/
- Goehrke, S. (2019, March 18). 106,000 3D Printed Faces. Retrieved from https://www.fabbaloo.com/2019/03/106000-3d-printed-faces

- Idelson, K. (2019, March 20). New 3D-Printing Technology Was 'Missing Link' for Laika's Latest Stop-Motion Project. Retrieved from https://variety.com/2019/artisans/production/laika-missing-link-3d-printing-1203166286/
- McClain, B. (n.d.). https://www.youtube.com/watch?v=0i29loX06A4&t=173s&ab_channel=LAIKAStudios.
- McMills, A. E. (2018). 3D Printing Basics for Entertainment Design. New York: Routledge.
- McMills, A. E. (2018). 3D Printing Basics for Entertainment Design. New York: Routledge.
- Priebe, K. (2007). The Art of Stop-Motion Animation. Boston : Thomson Course Technology PTR.
- Ramshaw, M. (2015, January 10). Boxtrolls highlights innovative mix of CGI, stop-motion and even 3D printing . Retrieved from https://www.redsharknews.com/post-vfx/item/2116-stop-motion-animation-is-alive-and-well-with-the-help-of-cgi
- Sarto, D. (2019, March 18). Go Behind the Scenes of LAIKA's 'Missing Link'. Retrieved from https://www.awn.com/animationworld/set-visit-go-behind-scenes-laikas-missing-link
- Stefyn, N. (2022, Octoper 17). What is character design? Retrieved from https://www.cgspectrum.com/blog/what-is-character-design
- Stop Motion Animation – Everything You Need To Know. (n.d.). Retrieved from https://www.nfi.edu/stop-motion-animation/
- Stop motion animation explained: definition, types and techniques. (n.d.). Retrieved from https://www.adobe.com/creativecloud/animation/discover/stop-motion-animation.html
- Yusuf, B. (2016, August 17). Kubo And The Two Strings: Oscar Win for 3D Printed Animation? Retrieved from https://all3dp.com/kubo-and-the-two-strings-oscar-2017
- طارق صبحي جمعة ابو سعد. (2015م). الطباعة ثلاثية الأبعاد وامكاناتها في التشكيل الخزفي. المؤتمر العلمي الثاني: الدراسات النوعية ومتطلبات المجتمع (صفحة 244). مصر: كلية التربية النوعية – جامعة عين شمس.