

الإستفادة من تقنية التصوير المقطعي الصناعي المحوسب (iCT) في مجال الهندسة العكسية بالمنتجات الصناعية Utilizing the technique of industrial computed tomography (iCT) in reverse engineering field for industrial products

د/ كريم صابر مصطفى

مدرس بقسم التصميم الصناعي، كلية الفنون التطبيقية، جامعة بنى سويف، karim.designhome@apparts.bsu.edu.eg

كلمات دالة: Keywords

الهندسة العكسية
Reverse Engineering
المنتجات الصناعية
Industrial Products
التصوير المقطعي الصناعي
المحوسب
Industrial Computed
Tomography
المصمم الصناعي
Industrial Designer

ملخص البحث: Abstract

تلعب الهندسة العكسية دوراً هاماً في مجال التصميم الصناعي من خلال مساعدة الشركات الصناعية في التعرف على المنتجات المنافسة داخل الأسواق وتحديد نقاط القوة والضعف بها، كما تُساعد المصممين الصناعيين وتتيح لهم المعارف والمعلومات اللازمة عن طبيعة تلك المنتجات من خلال القدرة على تحليل أجزائها المختلفة وعلاقة كل جزء بالآخر مما يساعدهم على تطوير وتحديث منتجاتهم ويزيد من قدرتها على المنافسة داخل الأسواق، كما تساعد الهندسة العكسية بصورة كبيرة على عملية إنتقال المعارف والعلوم بين البلدان المختلفة من خلال تحليل المنتجات وطريقة التصنيع ودراسة العلاقات الهندسية بالأجزاء المختلفة بالمنتج، الأمر الذي يؤدي إلى تطوير وتحديث العلوم الصناعية والهندسية بتلك البلدان ومساعدتهم على تطوير وتحديث منتجاتهم وطرق الإنتاج والعلوم المعرفية في المجالات الصناعية مما دفع الكثير من المؤسسات والمراكز البحثية في البحث عن كيفية تطوير وتحديث طرق وأدوات الهندسة العكسية والإستفادة من التكنولوجيات والتقنيات الواعدة والحديثة حتى تتمكن تلك البلدان والمؤسسات من الوصول إلى أقصى إستفادة ممكنة من خلال تحليل تلك المنتجات وكشف الاسرار الصناعية والهندسية بها، لذلك يهدف البحث إلى لقاء الضوء على إحدى أهم التقنيات الواعدة بمجال الهندسة العكسية وهو التصوير الطبقي الصناعي المحوسب (iCT) والذي يُعد أهم التقنيات الواعدة بمجال الهندسة العكسية بما له من مميزات فريدة واعدة بذلك المجال مقارنة بالتقنيات الأخرى المستخدمة حيث تتميز هذه التقنية بأنها غير مدمرة للعينة المراد فحصها أو تصويرها بجانب قدرتها على تحديد التفاصيل الهندسية الخارجية والداخلية لأي سطح أو شكل أو لون أو مادة مهما بلغت كثافتها وسمكها، كما تتميز التقنية بقدرتها على مساعدة المصممين والمهندسين في الحصول على كم كبير من المعلومات الخاصة بالجسم المراد فحصه أو تصويره من خلال تحديد نوع المادة وشكل الإلياف بها ومناطق الإجهادات بالجسم الخ. ولقد اعتمد الباحث في عملية البحث على المنهج الوصفي لتقديم بحث علمي دقيق عن ماهية تلك التقنية وكيفية الإستفادة منها بمجال الهندسة العكسية، بجانب تقديم تلك المعلومات للمصممين الصناعيين للمساعدة على التعرف على الطرق الحديثة والواعدة بمجال الهندسة العكسية وكيفية الإستفادة منها في مجال تصميم المنتجات الصناعية.

Paper received 9th June 2021, Accepted 22nd July 2021, Published 1st of September 2021

المصممين الصناعيين والمهندسين على التعرف على النواحي المختلفة للمنتج وتحديد نقاط القوة والضعف به، ومن ثم يمكنهم أما نسخ هذا المنتج أو تحديث منتجاتهم بما يمكنها من المنافسة داخل الأسواق، بجانب مساعدة الدول والمؤسسات الصناعية المختلفة من نقل التكنولوجيات الصناعية المتقدمة إليها والإستفادة منها في تحديث وتطوير الصناعة.

(1) موضوع البحث: Subject Of The Research

تعتبر تقنية التصوير المقطعي الصناعي المحوسب (iCT) من إحدى تطبيقات الأشعة المقطعية (CT) في المجال الصناعي والتي تُستخدم في تصوير وتحليل المنتجات الصناعية المختلفة من خلال الإستفادة من كلاً من الأشعة السينية (X-Ray) والتطورات التقنية في التصوير ثلاثي الأبعاد (3D) للحصول على صورة رقمية للمنتج يمكن من خلاله تحليل أجزائه المختلفة؛ تحليل المواد المستخدمة؛ وطرق التصنيع وكذلك تحديد الأبعاد الهندسية سواء للشكل الخارجي أو الداخلي للمنتج مهما كان لونه؛ طبيعة سطحه أو كثافة المادة المستخدمة بطريقة غير مدمرة للعينة على عكس التقنيات الأخرى المستخدمة والتي كانت تواجه الكثير من العقبات أثناء التصوير مثل طبيعة السطح وعدم القدرة على تصوير الأجزاء الداخلية أو التفاصيل الهندسية الخارجية المعقدة بدون إحداث تلف في العينة المستخدمة، لذلك تعتبر تقنية التصوير المقطعي الصناعي المحوسب (iCT) من التقنيات الواعدة بمجال الهندسة العكسية وتنتج الكثير من الدول والمؤسسات الصناعية إلى الإعتماد على تلك التقنية بصورة كبيرة سواء في تحليل المنتجات أو في عمليات الفحص والجودة.

(2) مشكلة البحث: Problem Of The Research

تتمثل مشكلة البحث في عدم الإستفادة من تقنية التصوير المقطعي الصناعي المحوسب (iCT) بمجال الهندسة العكسية داخل

مقدمة: Introduction

ظهرت الهندسة العكسية (Reverse Engineering) كعلم قادر على تحويل الأجزاء الحقيقية إلى نماذج ومفاهيم هندسية على عكس الهندسة التقليدية التي تُهدف إلى تحويل المفاهيم الهندسية إلى نماذج وأجزاء حقيقية، لذلك تعتبر الهندسة العكسية هي الصورة العكسية للهندسة والتي يمكن من خلالها تفسير الكثير من المفاهيم والعلوم من خلال تحويل الصورة المادية إلى صورة رقمية قابلة للفحص والتحليل.

لذلك تلعب الهندسة العكسية دوراً هاماً بالدول والمؤسسات الصناعية ليس فقط من خلال تحليل المنتجات الصناعية المختلفة ولكن أيضاً كوسيلة هامة في نقل التكنولوجيات والمعارف بين البلدان الصناعية الكبرى إلى البلدان الناشئة وتحديث المعارف والعلوم الهندسية وتطوير نظم الإنتاج والتصنيع بها مما أدى إلى انتقال الكثير من الدول من دول نامية إلى دول متقدمة صناعياً مثل اليابان وكوريا الجنوبية والصين وغيرها من البلدان الأخرى.

ومع تزايد أهتمام الدول والمؤسسات الصناعية بعلم الهندسة العكسية والإستفادة منها في تطوير وتحديث منتجاتهم حتى يكونوا قادرين على المنافسة داخل الأسواق، قامت المؤسسات البحثية بالإهتمام في تطوير تلك التقنيات المستخدمة بمجال الهندسة العكسية والإستفادة من التقنيات والتكنولوجيات المختلفة وتحقيق أقصى إستفادة ممكنة منها، ومن تلك التقنيات تقنية الأشعة المقطعية والتي يرمز لها بالرمز (CT) والتي أستخدمت في بداية ظهورها بالمجال الطبي ثم تطورت وتم الإستفادة منها بالمجال الصناعي حيث ظهر قطاع منها يسمى التصوير المقطعي الصناعي المحوسب (iCT) والذي يختص بعملية تصوير وتحليل المنتجات الصناعية المختلفة وتقديم المعلومات الهندسية؛ والفيزيائية؛ والميكانيكية ... الخ من المعلومات المختلفة التي يُمكن أن تساعد

سواء من قبل القوات النظامية أثناء الحرب والقتال أو من خلال عمليات الاستخبارات الخاصة بالدول، ثم سرعان ما انتقلت إلى المجال الصناعي وخصوصاً بمجال الصناعات التحويلية بعد ظهور اقتصاد السوق وإشنداد المنافسة بين الشركات العالمية (Kumar, Jain, & Pathak, 2013)، ولقد استخدم المصطلح لأول مرة في صورته العلمية في عام 1970م من خلال المنشورات العلمية والتي أشارت بأنه طريقة لنسخ الأشياء الأصلية (زايد، 2000) ثم تطور تعريف المصطلح مع زيادة أهمية الهندسة العكسية واستخدامها في العديد من المجالات منها "أنها أحد المداخل الإستراتيجية التي تركز على تحليل المنتج المنافس من أجل تحديد خصائصه ومكوناته والعمليات الإنتاجية المختلفة التي مر بها" (Datar & Rajan, 2018) ؛ ويرى (Raz, 2011) بأن الهندسة العكسية هي عملية إكتشاف المبادئ التي تم تطبيقها عند تصميم وظائف وخصائص وعمليات إنتاج المنتج المنافس ، بينما يرى (Stevenson, 2005) بأن الهندسة العكسية ما هي الا طريقة تساعد في الوصول إلى نتائج عن العمليات التي تم تطبيقها في تصميم المنتجات المنافسة والعمل على تعديل وتحسين خصائص المنتج المراد تصنيعه وإنتاجه، لذلك تهدف الهندسة العكسية في مجملها إلى مجموعة من الأهداف الرئيسية والتي تدفع بالمؤسسات الصناعية المختلفة إلى الاستعانة بها حيث من تلك الأهداف ما يلي:

- تصميم المنتج وتصنيعه إستناداً على عملية تحليل المنتج المنافس.
- التعرف عن قرب عن متطلبات المستخدمين من خلال تحليل المنتجات المنافسة.
- تعديل وتحسين خصائص المنتج من خلال معرفة الخصائص التنافسية التي يعتمد عليها المنتج المنافس.
- القدرة على التنبؤ بتكلفة المنتج والوقت المستغرق لإنتاجه في مرحلة مبكرة قبل البدء بعملية الإنتاج الفعلية.
- تحقيق الإنسجام بين عمليات تصميم وتصنيع المنتج من خلال تحديد المعوقات والتغلب عليها. (Datar & Rajan, 2018)

ولقد أثر التطور التكنولوجي وخصوصاً في المجال الرقمي بصورة كبيرة على مفهوم الهندسة العكسية حيثما كلما ظهرت تقنية جديدة كلما تغير المفهوم بما يواكب التطورات التكنولوجية الحديثة ففي كل مرة تظهر تقنيات رقمية جديدة تكسر الحاجز بين الأشكال المادية والرقمية وتعمل على تقليل الفجوة بينهما الأمر الذي أدى إلى تغير مفهوم الهندسة العكسية بما يواكب تلك التطورات وإرتباطها ارتباط وثيق بالتطور الحادث في ذلك المجال لدرجة جعلت الخبراء يربطون بين التكنولوجيات الرقمية الجديدة والهندسة العكسية كصورة تعكس مدى تأثير تلك التكنولوجيات على المجال الصناعي، فعلى سبيل المثال تشير الدراسات إلى أن فترة التسعينات من القرن الماضي شهد العالم تقارب رقمي كبير وأنعكس بصورة مباشرة على مجال الهندسة العكسية وأدى إلى تطور كبير في ذلك المجال من خلال القدرة على تحويل الأجسام المادية إلى ملفات رقمية بنفس سهولة النقاط الصور الرقمية، الأمر الذي انعكس بصورة مباشرة على مجال الهندسة العكسية وأدى ذلك إلى تطور كبير في مجال الصناعات التحويلية، حيث بدأ مفهوم الهندسة العكسية يتطور ويتغير فعلى سبيل المثال قام (Liang & Grier, 2000) بتعريف الهندسة العكسية بأنها "عملية الحصول على نموذج بصيغة CAD قائم على القياسات التي تم الحصول عليها خلال تقنية الماسح الرقمي ثلاثي الأبعاد للنموذج المادي سواء من خلال التلامس المباشر أو الغير مباشر" وبهذا التحول والتطور أدى إلى ظهور مصطلح جديد بمجال الهندسة العكسية أطلق عليه اصطلاحاً الهندسة العكسية بمساعدة الكمبيوتر (Kumar) (Computer Aided Reverse Engineering) (et al., 2013)

جمهورية مصر العربية بسبب عدم توفر المعلومات الكافية عن طريقة استخدامها وكيفية الاستفادة منها في تحويل المنتجات المادية إلى ملفات رقمية.

(3) هدف البحث: Aim Of The Research

يهدف البحث إلىلقاء الضوء على أهمية تقنية التصوير المقطعي الصناعي المحوسب (iCT) بمجال الهندسة العكسية وكيفية الاستفادة منها في ذلك المجال .

(4) أهمية البحث: Importance Of The Research

تتمثل أهمية البحث في الآتي:

- توضيح أهمية مجال الهندسة العكسية والدور الذي يلعبه في تطوير وتحسين المنتجات.
- توضيح دور تقنية التصوير المقطعي الصناعي المحوسب (iCT) في مجال الهندسة العكسية وتحويل المنتجات المادية إلى صور رقمية.
- كيفية الاستفادة من تقنية التصوير المقطعي الصناعي المحوسب (iCT) بمجال الهندسة العكسية.

(5) منهج البحث: Methodology Of The Research

يتبع البحث المنهج الوصفي للوصول إلى المعلومات حول تقنية التصوير المقطعي الصناعي المحوسب (iCT) وكيفية الاستفادة منها بمجال الهندسة العكسية.

(6) فروض البحث: Hypothesis Of The Research

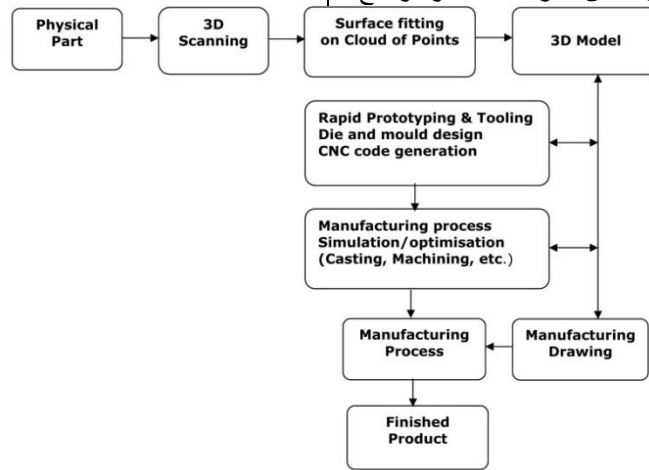
إذا أمكن التعرف على ماهية تقنية التصوير المقطعي الصناعي المحوسب (iCT) وكيفية الاستفادة منها بمجال الهندسة العكسية فإن ذلك سيساعد مصممي ودارسي التصميم الصناعي على الاستفادة من تلك التقنية من خلال تحويل المنتجات المادية لملفات رقمية يمكن من خلالها تحليلها والتعرف على المعلومات اللازمة التي يمكن ان تساعد على تحديث وتطوير المنتجات الصناعية المختلفة.

ثانياً: الدراسة التحليلية

الإستفادة من تقنية التصوير المقطعي الصناعي المحوسب (iCT) في مجال الهندسة العكسية بالمنتجات الصناعية:

ظهرت الهندسة العكسية (Reverse Engineering) كإستجابة لرغبة الدول الناشئة والشركات والمؤسسات الصناعية في إيجاد وسيلة قادرة على تحليل المنتجات الصناعية المنافسة بغرض الحصول على المعلومات الهندسية والتصميمية ؛تحليل الأجزاء المختلفة للمنتج ؛تحديد نقاط القوة والضعف بها والإستفادة من تلك المعلومات أما في إستنساخ ذلك المنتج أو في تحسين وتقديم منتجات قادرة على المنافسة، بجانب الإستفادة من تلك المعلومات الصناعية والهندسية في تحسين وتطوير طرق الإنتاج والتصنيع . ولقد ساعدت الهندسة العكسية الكثير من الدول لتحسين وتطوير الصناعة بها لتلحق بالدول الصناعية الكبرى ولقد كانت من أوائل تلك الدول التي إستطاعت توظيف الهندسة العكسية والإستفادة منها في تطوير المنظومة الصناعية بها "دولة اليابان" حيث إستطاعت أن تنقل التكنولوجيا الخارجية إليها من خلال توظيف الهندسة العكسية والإستفادة منها، وقد كان من أوائل تلك الشخصيات التي قامت بذلك المهندس هوتاكيو أوساهيرا (Takyo Osahera) الذي أستطاع أن ينقل التكنولوجيا الصناعية لصناعة المحركات من ألمانيا إلى اليابان والتي ساهمت فيما بعد في ظهور ثلاثة من أهم شركات صناعة السيارات في اليابان هم تويوتا (Toyota)؛ نيسان (Nissan)؛ هوندا (Honda). (زايد، 2000)، وبالنظر إلى تاريخ نشأة الهندسة العكسية يلاحظ صعوبة تحديد بداية نشأتها واستخدامها ولكن تشير الدراسات بأن بداية ظهور هذا المجال حدث أثناء الحرب العالمية الثانية وأزدهر أثناء الحرب الباردة حيث أستخدم في البداية بالمجال العسكري من خلال نسخ التكنولوجيا وتحليل المعدات العسكرية التي يتم الحصول عليها

بالشكل (1) والتي يمكن من خلالها الوصول إلى الملف الرقمي والإستفادة منه تبدأ من تحديد الجزء أو المنتج المادى المطلوب تحويله إلى الملف الرقمي ثم إستخدام الأداة المناسبة من أدوات المساحات الرقمية حسب الدقة المطلوبة وطبيعة سطح المنتج ثم إجراء مجموعة من التعديلات على السطح المكون بالملف الرقمي الناتج من استخدام المساح الرقمي والذي يكون على هيئة سحابة نقطية يُطلق عليها مصطلح (Cloud of points) وأخيراً النمذج الرقمي النهائي للنموذج المادى والذي يمكن من خلاله الحصول على نماذج تجريبية ورسومات هندسية وتشغيلية للوصول إلى عمليات التصنيع النهائية وتصنيع المنتج النهائي سواء مطابق لنفس النموذج المادى الذى تم إجراء الهندسة العكسية له أو منتج محسن بعد إجراء بعض التعديلات بغرض تلافي عيوب المنتج الأصلي.



شكل (1) مراحل عملية الهندسة العكسية بمساعدة الحاسب الآلى (Pal et al., 2005)

تحويل النموذج المادى إلى نموذج رقمى بالتوازي مع الإضاءة المحيطة بالنموذج وأستقبالها من خلال الأداة

لتحويل النموذج لملف رقمى. (Pal et al., 2005)

وتعتمد الأدوات المستخدمة بالأنظمة التى لا تعتمد على الاتصال المباشر الجسم على نظرية واحدة وهى قياس إرتداد الأشعة من السطح أو التلامس معه وتسجيل نقطة فى الفراغ حيث تعتبر النظرية الرئيسية لعمل الأجهزة الخاصة بالمساحات الرقمية ثلاثية الأبعاد مثل (Structured Light -laser 3d scanner Scanner)، وعلى الرغم من الدور الهام الذى تلعبه تلك الأجهزة فى عملية الهندسة العكسية وتحويل الأجسام المادية إلى ملفات رقمية إلا أنه يوجد لديها العديد من السلبيات من أهمها:

- تعرض الجسم المادى أحياناً كثيرة للتلف عند الحاجة إلى التعرف على المكونات الداخلية له.
- إرتفاع تكلفة أجهزة المساحات الرقمية ثلاثية الأبعاد المستخدمة.
- تأثر النتيجة النهائية لعملية المسح الرقمي ثلاثى الأبعاد على العوامل الخارجية المحيطة بالنموذج المادى.
- صعوبة إجراء المسح الرقمي ثلاثى الأبعاد ذات التجاويف الداخلية والأسطح اللامعة.
- تتطلب خبرة عالية سواء أثناء إجراء عملية المسح الرقمي ثلاثى الأبعاد على النموذج المادى أو عند التعديل والإضافة على النتيجة النهائية لعملية المسح الرقمي للنموذج المادى.

لذلك بدأت المراكز البحثية فى البحث عن تقنيات بديلة يمكنها التغلب على تلك السلبيات التى كانت تمثل مشاكل رئيسية تحول دول الحصول على نسخة رقمية من النماذج المادية بجودة مرتفعة ولقد كانت تقنية التصوير الطبقي المحوسب (CT) والتى تستخدم على نطاق واسع بالمجال الطبى بمثابة طوق النجاة والأمل الجديد

1- الهندسة العكسية بمساعدة الحاسب الآلى (Computer Aided Reverse Engineering)

يشير مصطلح الهندسة العكسية بمساعدة الحاسب الآلى (CARE) إلى إستخدام الأدوات الرقمية المختلفة والتى تعمل من خلال الحاسب الآلى للحصول على نسخة رقمية من النموذج المادى يمكن من خلالها التعرف على كافة المعلومات اللازمة مثل المادى المستخدمة فى التصنيع، تفاصيل الشكل الهندسى الخارجى وعمليات التصنيع المستخدمة فى الإنتاج الخ بجانب القدرة على حفظ الملف الرقمي بصيغ الملفات القياسية (IGES, STL, VDA and STEP) حتى يمكن لأنظمة التصنيع والتصميم الرقمية (CAD/CAE/CAM) التعامل معه من خلال تحليله أو إعادة تصنيعه وإنتاجه. (Pal, Ravi, Bhargava, & Chandrasekhar, 2005). وتعتمد عملية الهندسة العكسية بمساعدة الحاسب الآلى على مجموعة من المراحل كما هو موضح

وتلعب تقنية المساحات الرقمية ثلاثية الأبعاد دوراً هاماً فى عملية الهندسة العكسية بمساعدة الحاسب الآلى حيث أنها المسئولة عن تحويل النموذج المادى إلى ملف رقمى وتنقسم تلك التكنولوجيا إلى نوعين رئيسيين هما:

أ- اتصال مباشر بين المساح الرقمي ثلاثى الأبعاد والمنتج (Contact type): وفى هذا النوع يحدث اتصال مباشر بين الأداة المسئولة عن تحويل النموذج المادى إلى نموذج رقمى حيث عندما يحدث تلامس مباشر بين الأداة وسطح المنتج يتم تسجيل نقطة رقمية داخل الحاسب الآلى وبالتالى كلما زادت نقاط التلامس كلما زادت دقة الملف الرقمي النهائي الناتج من عملية التحويل ومن أهم تلك الأجهزة المستخدمة فى ذلك المجال (Touch probe 3d scanner-CMM-Arm Scanner)، وعلى الرغم من قدرة تلك الأجهزة على توفير قياسات دقيقة بجانب أنها غير مكلفة وغير مرتفعة الثمن مقارنة بالمساحات ثلاثية الأبعاد التى تعمل بالضوء أو بشعاع الليزر إلا ان من أهم عيوبها أنها تستغرق وقت طويل كما أنها محددة بحيز عمل صغير مقارنة بعمل المساحات الأخرى. (Sadaoui, Mehdi-Souzani, & Lartigue, 2018)

ب- اتصال غير مباشر بين المساح الرقمي ثلاثى الأبعاد والمنتج (Non-contact Method): وفى هذا النوع من المساحات لا يحدث اتصال مباشر بين سطح المنتج المادى المطلوب تحويله إلى ملف رقمى والأداة المستخدمة وتنقسم تلك الأجهزة من حيث نظرية العمل إلى نوعين رئيسيين هما:

- الأسلوب النشط (Active Method): وتعتمد عملية تحويل النموذج المادى إلى نموذج رقمى من خلال إستخدام الإضاءة المنظمة والتى يتم إرسالها من الأداة وأستقبال إنعكاس ذلك الضوء المرتد من جسم النموذج المادى.
- الأسلوب السلبي (Passive Method): وتعتمد عملية

تصوير من عدة اتجاهات حتى يتم الحصول على صورة متكاملة للجسم من جميع الزوايا وهنا ظهرت فكرة جهاز الأشعة المقطعية حيث قام النموذج الأصلي الذي تم تصميمه في عام 1972م على تصوير 160 مقطع لجسم الإنسان وكل مقطع يحتوى على 180 صورة حيث تتغير زاوية الأشعة في كل صورة ولقد أستغرقت تلك العملية أكثر من 5 دقائق بينما أستغرقت ما يقارب من 2.5 ساعة لتجميع تلك اللقطات لأعطاء صورة مجسمة باستخدام الحاسب الآلى، حيث أتمدت فكرة العمل الرئيسية على دوران الأنبوبة التي تنتج الأشعة السينية حول الجسم حيث يقوم الجسم بامتصاص بعض الأشعة الساقطة عليه أما الجزء الآخر فيذهب إلى الجزء الخاص بأستقبال الأشعة والذي يكون تحت الجسم المراد تصويره وبذلك يمكن الحصول على مجموعة من الصور ثنائية الأبعاد لتفاصيل الجسم من خلال قدرة الجهاز على الدوران حول الجسم بزاوية 360 درجة ثم يقوم معالج حاسوبى بتجميع تلك الشرائح والحصول على ملف ثلاثي الأبعاد وبذلك أمكن معالجة أوجه القصور في النظام القديم بجانب القدرة على الحصول على صور أكثر دقة .

1-2 تطور تقنية التصوير المقطعي المحسوب (CT)

منذ ظهور تقنية التصوير الطبقي المحسوب (CT) على يد المهندس البريطاني السير هونسفيلد (Godfrey Hounsfield) في سنة 1972م كتقنية محسنة للحصول على نتائج أفضل من الأشعة السينية التقليدية، حتى بدأت المراكز البحثية في تطوير تلك التقنية لتحسين النتائج من خلال زيادة دقة الصور التي يتم الحصول عليها من الجهاز وتقليل الوقت المستغرق لعملية الفحص إلى أقل وقت ممكن من خلال الإستفادة من التطور التقني والتكنولوجي سواء من خلال تطور الحاسبات المستخدمة في تجميع الصور أو من خلال أساليب توليد وأستقبال الأشعة على الجسم المراد فحصه، ولقد مرت التقنية بسبعة أجيال من التطور والتحديث كان من أهم التطورات والتي أدت إلى تحسين وتطوير التقنية بصورة كبيرة إستخدام شعاع الالكترون في سنة 1980م حيث تم زيادة زاوية التعريض الخاصة بالتصوير ولقد أدى ذلك التطور إلى تقليل زمن التصوير، بجانب الإستفادة من تقنية التصوير المقطعي الحلزوني والتي ظهرت في عام 1990م والتي توصل إليها العالم كالندر (Kalender) حيث فتحت تقنية التصوير المقطعي الحلزوني الباب لظهور أجيال أخرى مثل الجيل السابع وظهر ما يسمى بالتصوير المقطعي متعدد الشرائح (MSCT) بزيادة عدد الكواشف (Detectors) لتصل إلى 8 مجموعات بدلاً من أربعة مما ساعد على ما يصل إلى تصوير 64 شريحة في وقت واحد ولقد أدى ذلك إلى تقليل الزمن بصورة كبيرة، كما تم استبدال شكل الشعاع المتولد بدلاً من شعاع على شكل مروحة ليكون للحزمة شكل مخروطي كما هو موضح بالشكل (2)، وبالتالي فإنها تسمح بجمع البيانات المقابلة لعدة شرائح في وقت واحد وتقلل من عدد دورات أنبوب الأشعة السينية اللازمة لتغطية منطقة تشريحية محددة. (Carmignato, Dewulf, & Leach, 2018)

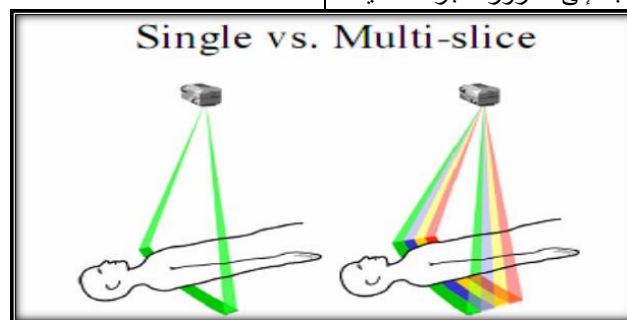
الذى سيجس من أداء وعمل الماسحات الرقمية ليعلن عن بدأ عصر جديد من الماسحات الرقمية قادرة على تقديم ملفات رقمية بجودة عالية وتكلفة أقل.

2- تقنية التصوير الطبقي المحسوب " (CT Assisted Tomography)

الأشعة المقطعية أو التصوير المقطعي المحسوب (Computed Tomography) هو جهاز يستخدم الأشعة السينية مع تقنية الحاسب الآلى لإلتقاط صور للجسم المادى تتميز بوضوح عالى جداً مقارنة بالأشعة السينية التقليدية، حيث يمكن إستغلالها في مجالات عديدة من أهمها المجال الطبى والمجال الصناعى. ولقد قد تقديم هذه التقنية لأول مرة عام 1972م على يد المهندس البريطانى السير هونسفيلد (Godfrey Hounsfield) وفى الوقت نفسه قام العالم الفيزيائى الأمريكى آلان كورماك (Allan Cormack) بتقديم اختراع مشابه بما قام به الأمر الذى أدى إلى حصول كلاً من هونسفيلد وكورماك على جائزة نوبل مناصفة في عام 1979م. ولقد أتمدت تقنية التصوير الطبقي المحسوب بصورة رئيسية على الأشعة السينية التي أكتشفت على يد العالم الالماني فيلهلم كونراد رونتجن (Wilhelm Conrad Röntgen) في نوفمبر 1895م وأطلق على تلك الأشعة الغامضة وقتها أسم أشعة أكس (x-ray) التي عرفت فيما بعد بأسم الأشعة السينية ، حيث كان أول المستفيدين من الإمكانيات الغير تقليدية لتلك الأشعة المجال الطبى الذى إستخدمت وما زالت في مساعدة الأطباء على رؤية ما لم يكن يُرى من قبل من حيث التفاصيل الداخلية لجسم الإنسان دون إجراء أى جراحة والمساعدة على التشخيص السليم للمرض. (الكوار، 2016)

وعلى الرغم من استخدام الأشعة السينية (X-Ray) في المجال الطبى إلا انه ظهرت لتلك الأشعة إستخدامات عديدة في مجالات مختلفة كان من أهمها المجال الصناعى حيث إستخدمت كوسيلة لفحص المواد مثل السبائك والالواح وغيرها وكذلك الاجسام الصناعية مثل المواسير للكشف عن العيوب الغير واضحة من خلال استخدام تلك الأشعة حيث يتميز هذا النوع من الاختبارات بأنه غير متلف لذلك أستخدم في فحص الخرسانات والأعمدة الانشائية بالمجال المعماري؛ للكشف عن العيوب باللحامات المختلفة الموجودة في أنابيب الغاز والمياه والعناصر الهيكلية والانشائية بالمجال الصناعى لتحديد التشققات والعيوب والتي قد لا تكون مرئية وتتسبب في الكثير من الضرر. (هاني، 2018)

ومع تزايد أهمية استخدام الأشعة السينية في المجال الصناعى بدأت المراكز والشركات العاملة في مجال تصنيع المعدات القائمة على توظيف تلك الأشعة في تحسين وتطوير معدات وأدواتها، ومع ظهور تقنية الأشعة المقطعية والتي تعتمد بصورة رئيسية على الأشعة السينية ولكن تقوم بمعالجة أوجه القصور في عملية التصوير التقليدية والتي أدت إلى حدوث بعض السليبيات والمتمثلة في الحصول على صورة متكونة من خلال اتجاه واحد فقط بمعنى في حالة وجود جسم حاجب لجسم آخر خلفه فإن الصورة المتكونة ستكون للجسم الحاجب واختفاء تفاصيل الجسم الآخر الموجود خلف هذا الجسم ، لذلك ظهرت الحاجة إلى ضرورة إجراء عملية

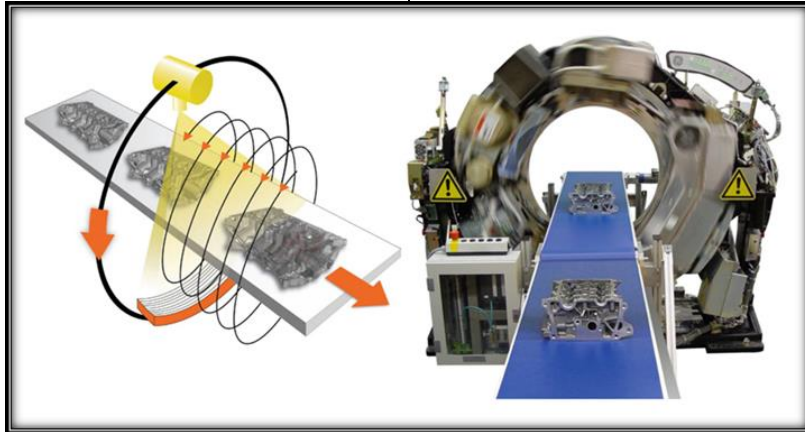


شكل (2) الفرق بين الشعاع المخروطي والشعاع على شكل مروحة

(Source: https://www.kau.edu.sa/files/0008512/files/19500_2nd_presentation_final.pdf)

وتصوير المرضى وكذلك في المجال الصناعي في مجال الجودة وفحص المنتجات على خطوط الإنتاج كما هو موضح بالشكل (3) بجانب الاستفادة منها في مجال الهندسة العكسية من خلال تصوير وتحليل المنتجات المختلفة.

ولقد أدت تلك التحسينات إلى تحسين وتطوير أداء تلك الأجهزة وظهور نوع جديد من أجهزة الأشعة المقطعية يسمى بأجهزة التصوير الطبقي متعدد الشرائح حيث تم استخدامه في العديد من المجالات المختلفة من أهمها المجال الطبي في عمليات فحص

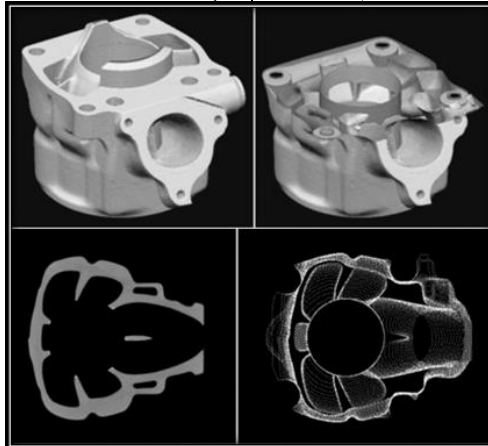


شكل (3) الاستفادة من تقنية التصوير الحلزوني في تطوير أجهزة تصوير المنتجات الصناعية التي تعتمد على تقنية التصوير الطبقي متعدد الشرائح (Carmignato et al., 2018)

تم استخدام تلك التكنولوجيا في الحصول على ملفات رقمية ثلاثية الأبعاد كأحدى تطبيقات أنظمة الماسحات الرقمية ثلاثية الأبعاد والتي فتحت الباب لتلك التكنولوجيا لتلعب دور كبير وهام بمجال الهندسة العكسية. (De Chiffre et al., 2014) ويتميز استخدام تقنية التصوير المقطعي في مجال الهندسة العكسية بقدرتها على تحديد الهندسة الداخلية والخارجية للجسم بشكل غير مدمر له (non-destructive testing) وتلك الميزتين غير متوفره في الأساليب الأخرى المستخدمة في مجال الماسحات الرقمية ثلاثية الأبعاد، حيث يمكن فقط من خلال الماسحات الرقمية الأخرى الحصول على صورة للجسم الخارجي دون القدرة على التوصل إلى الشكل الداخلي، ففي تجربة تم إجراؤها ونشرها في ورقة بحثية بعنوان (Industrial Computed Tomography in Reverse Engineering Applications) قام الباحثون بتجربة تقنية التصوير المقطعي الصناعي المحوسب في فحص وتصوير مجموعة من المحركات لبعض الدراجات النارية كما هو موضح بالشكل (4) وتوصلت الدراسة إلى أن تلك التقنية تعتبر من التقنيات الرائدة للحصول على ملفات ثلاثية الأبعاد لأشكال ومسبوكات معقدة، حيث يمكنها اختراق سبائك الألومنيوم بسهولة والتي تعتبر من أكثر المواد استخداماً في مجال تصنيع المحركات، كما يصل مدى اختراقها للأجسام لأكثر من 300مم؛ وتحقيق دقة تصل إلى 0.2 مم من خلال استخدام مصدر أشعة سينية يبلغ فقط 450 فولت مما يجعلها من التقنيات الواعدة في ذلك المجال.

(Flisch et al., 1999)

2-2 استخدامات تقنية التصوير المقطعي في المجال الصناعي: تستخدم تقنية التصوير المقطعي بصورة كبيرة في المجال الصناعي من أجل ضمان جودة المنتجات، حيث تمثل تلك التقنية حجر أساس لكثير من الصناعات بسبب تزايد عدد التطبيقات الصناعية التي تعتمد على تلك التقنية نتيجة لتطور الأجهزة المستخدمة في هذا المجال، وتعد الصناعات التحويلية وصناعة الأجهزة الكهربائية والإلكترونية من أكثر الصناعات اعتماداً على تلك التقنية حيث تستخدم في ضمان جودة المنتجات ومراجعة القياسات والأبعاد ويطلق عادة على هذا القطاع من تقنية التصوير المقطعي مصطلح التصوير المقطعي الصناعي المحوسب (Industrial Computed Assisted Tomography) ويرمز له بالرمز (iCT) حيث يشير المصطلح إلى طريقة الحصول على صور ثنائية الأبعاد باستخدام الأشعة السينية ثم معالجتها من خلال الحاسب الآلي للحصول على صورة نهائية ثلاثية الأبعاد للجسم المراد تصويره. (De Chiffre, Carmignato, Kruth, 2014) ، ولقد استخدمت تلك التقنية في المجال الصناعي بداية من عام 1980م حيث استخدمت في البداية في تحليل المواد الصناعية المستخدمة وأجراء بعض اختبارات الجودة الغير متلفة للعينة، أما الظهور الحقيقي كان في بداية 2005م حيث استخدمت تلك التكنولوجيا في قياس الأبعاد للمنتجات حيث قامت شركة ورث الألمانية (Werth Messtechnik) بتقديم أول جهاز قادر على قياس الأبعاد باستخدام تكنولوجيا الأشعة السينية إلى السوق العالمي، ثم بعد ذلك

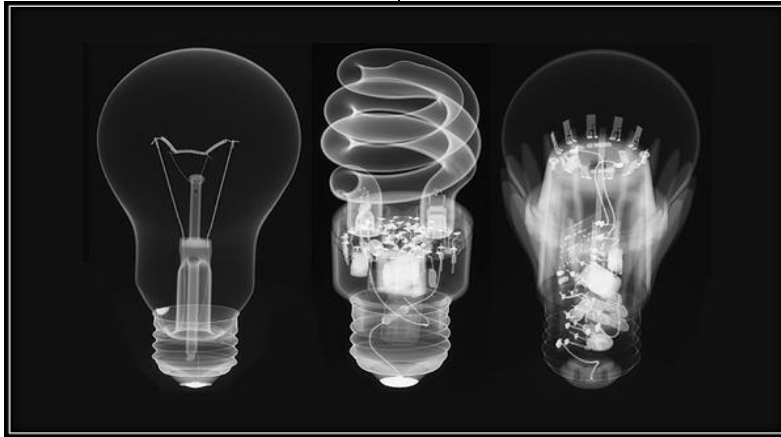


شكل (4) مجموعة من الصور المختلفة سواء مجمعة أو باستخدام الشرائح لأحدى محركات الدراجات النارية والتي تم استخدام التصوير المقطعي الصناعي في تصويرها. (Flisch et al., 1999)

الهندسة العكسية مقارنة بالتقنيات الأخرى من تلك المميزات ما يلي:

■ التقنية غير مدمرة للعينة المراد فحصها أو تصويرها (Non-destructive): تتميز تقنية التصوير المقطعي الصناعي المحوسب بقدرتها على فحص وقياس وتصوير المنتج سواء الشكل الخارجي أو الأجزاء الداخلية دون إحداث أى تلف في المنتج وخصوصاً تلك المنتجات ذات الأشكال المعقدة أو التي تتكون من أكثر من جزء متداخل كما هو موضح بالشكل (5)، حيث توضح الصورة مجموعة من مصابيح الأضاءة التي تم تصويرها باستخدام التقنية وكيف تُظهر كامل تفاصيلها بشكل مجسم والتي كان يصعب الوصول إلى التفاصيل الداخلية لهم باستخدام المساحات الرقمية الأخرى دون حدوث أى تلف بها.

وتوصلت الدراسة بأن تلك التقنية ستصبح أداة مهمة في مجال الهندسة العكسية بسبب دقة نتائجها وقدرتها العالية على المحاكاة وتحليل العناصر وسهولة الحصول على المعلومات والبيانات وهذا ما أكدته إحدى الدراسات أيضاً بعنوان (Industrial applications of computed tomography) حيث رصدت الدراسة تأثير تلك التقنية داخل الأسواق وتوصلت إلى تزايد الاهتمام الصناعي باستخدام تلك التقنية في مجال الهندسة العكسية من خلال الفحص والتحليل والحصول على ملفات رقمية ثلاثية الأبعاد، حيث قدرت حجم النمو السنوي في الإيرادات الصناعية للفحص الصناعي باستخدام أجهزة التصوير المقطعي الصناعي المحوسب من الفترة 2009 وحتى 2017 بنحو 7% وهي تعتبر أعلى معدل نمو سنوي مركب بشكل عام. وتتميز تقنية التصوير المقطعي الصناعي المحوسب (iCT) بمجموعة من المميزات تجعلها من التقنيات الواعدة في مجال

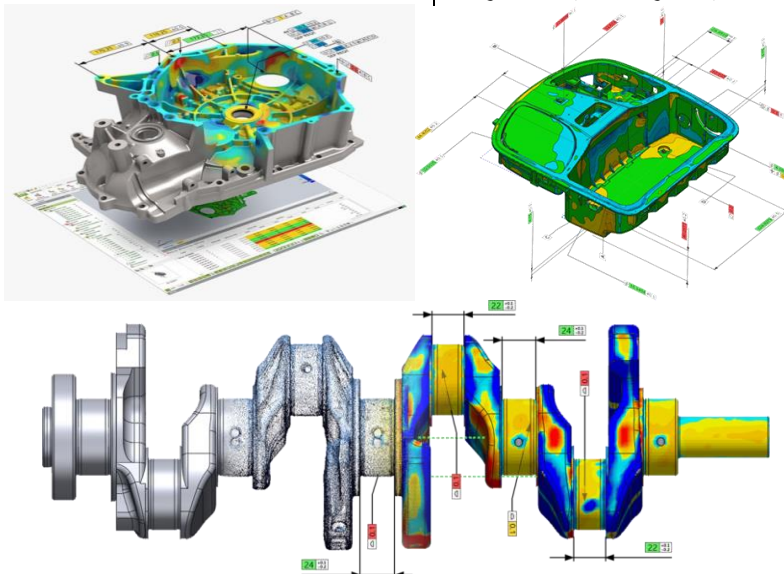


شكل (5) مجموعة صور لمصابيح كهربائية مختلفة باستخدام تقنية التصوير المقطعي الصناعي المحوسب

Source: www.qualitymag.com/articles/93331-seeing-is-believing-x-ray-computed-tomography-for-quality-control

على تحديد الأبعاد سواء الخارجية أو الداخلية بدقة كبيرة وذلك من خلال برنامج (Geomagic Qualify) كما هو موضح بالشكل (6)، الذي تم تصميمه خصيصاً للتعامل مع الملفات الناتجة عن تلك التقنية سواء كانت الرسومات ثنائية أو ثلاثية الأبعاد بجانب قدرته على استخراج ملفات وتصديرها تحتوى على الكثير من المعلومات والبيانات المختلفة عن المنتج الذي تم تصويره. (Noel, 2008)

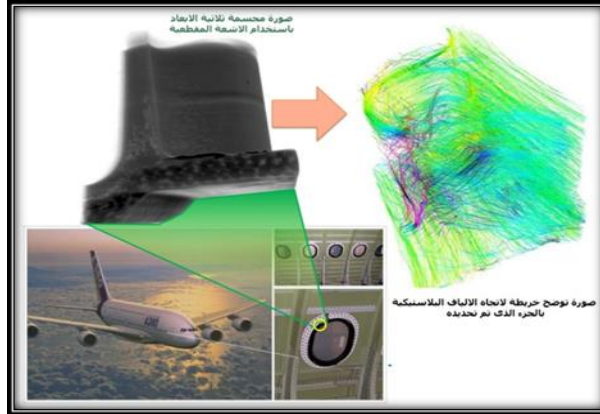
■ قدرتها على تحديد التفاصيل الهندسية الخارجية والداخلية للجسم المراد فحصه أو تصويره (Determination of inner and outer geometry): تعتبر القدرة على تحديد الأبعاد الخارجية والداخلية لمنتج ما من النقاط الهامة التي تعتمد عليها الهندسة العكسية حتى يتمكن القائمين على البحوث والتطوير في تحديد النقاط الرئيسية للمنتج والقدرة على تحليله، وتتميز تقنية التصوير المقطعي الصناعي المحوسب (iCT) بقدرتها العالية مقارنة بالتقنيات الأخرى



شكل (6) استخراج الأبعاد والتفاصيل الهندسية المختلفة من خلال برنامج Geomagic Qualify (Source: <https://www.artec3d.com/3d-software/geomagic-control-x>)

المصنع منها المنتج وتحليلها عبر الوسائل الكيميائية والفيزيائية، اما باستخدام تلك التقنية أمكن الحصول على ملف ثلاثي الأبعاد يمكن من خلاله الحصول على الأبعاد الهندسية الخارجية والداخلية بجانب القدرة على تحديد أى جزء والحصول على المعلومات الفيزيائية والكيميائية للخامة أو المادة المستخدمة كما هو موضح بالشكل (7) حيث يوضح اجراء عملية تصوير مقطعي لنافذة إحدى الطائرات، ثم تم تحديد جزء منها للحصول على المعلومات الفنية الخاصة بالمادة المستخدمة في التصنيع ورسم خريطة فيزيائية لإتجاه الالياف بها.

الحصول على كم كبير من المعلومات الخاصة بالجسم المراد فحصه أو تصويره (High information density): لا تتوقف تقنية التصوير المقطعي الصناعي المحوسب (iCT) على عملية التصوير الثلاثي الأبعاد للمنتج والحصول على الأبعاد الهندسية له وحسب، بل يمكن من خلالها الحصول على كم كبير من المعلومات التي كان يصعب الحصول عليها بالطرق الأخرى من المساحات الرقمية ثلاثية الأبعاد حيث يمكن من خلالها تحليل البنية الجزيئية للمواد المستخدمة في تصنيع المنتج والتي كان يلزم من قبل الحصول على عينة من المادة



شكل (7) الحصول على خريطة لاتجاه الالياف باحدى نوافذ الطائرة باستخدام الأشعة المقطعية الصناعية

Source: <http://www.esrf.eu/files/live/sites/www/files/events/conferences/HSC/HSC19/Zabler->

(HSC19-X-ray.pdf)

المحوسب (iCT) كما هو موضح بالشكل (8)، كنوع من تجربة للتعرف على كيفية استخدام والإستفادة من تلك التقنية في عملية الهندسة العكسية حيث امكن الحصول على كلاً من تحليل للبنية الجزيئية للمعدن المستخدم في التصنيع والذي من خلاله امكن التعرف على الطريقة المستخدمة في التصنيع بجانب توضيح المناطق المعرضة لاقصى اجهاد ميكانيكي وكذلك لاجهاد اللي المتولد من الاستخدام وكل تلك المعلومات والتي كان يصعب الحصول عليها من الاجهزة التصوير ثلاثية الابعاد الأخرى بجانب المعلومات الاساسية المتمثلة في الأبعاد الهندسية للمنتج، كل تلك المعلومات ساعد الباحث على اعادة تصنيع ذلك الجزء بجانب تلافى المشكلات الموجودة به مما يدل على أهمية الدور الذي تلعبه تلك التقنية بمجال الهندسة العكسية وتحليل المنتجات الصناعية.

أيضاً لا تتوقف المعلومات التي يمكن الحصول عليها من خلال تلك التقنية على تحليل المواد المستخدمة فقط، بل يمتد الأمر إلى تحديد الأماكن المعرضة لإجهادات ميكانيكية مرتفعة (high stress) بالجسم وهما نوع من الاختبارات الميكانيكية والتي يلزم اجرائها تعرض العينة لعملية الاجهاد والى بواسطة اجهزة اختبار ميكانيكية بجانب ان تلك الاختبارات تعتبر متلفة للعينة، لذلك تتميز تلك التقنية بمساعدة المختصين على تحديد تلك الاجزاء دون الحاجة الى إختبارات ميكانيكية فعلى سبيل المثال قام الدكتور سيمون زبلر (Dr. Simon Zabler) الباحث بمعهد فراونهوفر (Fraunhofer Institute) والمتخصص في دراسة تطبيقات الأشعة السينية من خلال بحث اجراه بعنوان (X-ray Tomography in Industry: Current Status and Future Trends) حيث قام بتصوير الجسم المعدني للأطوار الداخلي لإحدى السيارات بتقنية التصوير المقطعي الصناعي



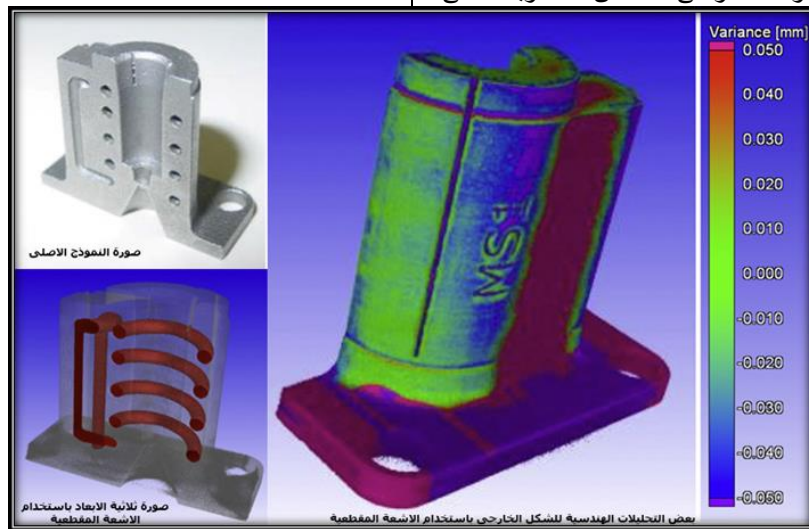
شكل (8) الحصول على العديد من المعلومات والبيانات المساعدة على اعادة تصنيع احدى الاطارات المعدنية الداخلية باستخدام تقنية التصوير المقطعي الصناعي المحوسب (iCT)

source: [http://www.esrf.eu/files/live/sites/www/files/events/conferences/HSC/HSC19/Zabler-HSC19-\(X-ray.pdf](http://www.esrf.eu/files/live/sites/www/files/events/conferences/HSC/HSC19/Zabler-HSC19-(X-ray.pdf)

التقنيات الأخرى القيام بتصويرها والوصول إلى التفاصيل المختلفة لها، أيضاً توصلت الدراسة إلى قدرة التقنية على اختراق الأسطح والوصول إلى التفاصيل الداخلية حتى وإن كان هناك سطح ما يحجب ما خلفه كما تتميز التقنية بقدرتها على قياس الأبعاد الهندسية بدقة عالية وقياس الكثافات الخاصة بالمواد المستخدمة وتحديد الفراغات الداخلية بالجسم. (Noel, 2008)

ومما سبق يوضح مدى أهمية تلك التقنية والدور الذي تلعبه في مجال الهندسة العكسية مقارنة بالأجهزة الأخرى المستخدمة حيث تشير الدراسات والأبحاث إلى أن تلك التقنية ستكون من التقنيات الواعدة في ذلك المجال مقارنة بأي تقنية أخرى، فعلى سبيل المثال في تجربة قام بها مجموعة من الباحثين حول التعرف على مميزات تقنية التصوير المقطعي الصناعي في المجالات الصناعية وتم نشرها تحت عنوان (Industrial applications of computed tomography) قام الباحثين بتقييم تقنية التصوير لنماذج تستخدم في حقن البولييمرات وتوصلت الدراسة إلى أن تلك التقنية هي الأفضل والأنسب عند تصوير النماذج المستخدمة في صب وحقن البولييمرات مثل البلاستيك وذلك بسبب قدرة الأشعة السينية المستخدمة على النفاذية عبر تلك المواد المستخدمة مهما بلغت كثافتها وسمكها وتصوير التجاويف الداخلية بدقة عالية بجانب الحصول على معلومات أخرى متمثلة في التعرف على البنية المجهرية للمواد المستخدمة وتحديد السليبيات وأوجه الضعف بها كما هو موضح بالشكل (9) مما يساعد على تلافي الكثير من المشاكل المستقبلية أثناء عملية الحقن باستخدام تلك النماذج.

■ القدرة على فحص أي سطح؛ شكل؛ لون أو مادة مهما بلغت كثافتها وسمكها (Possibility to scan any surface, shape, color or material up to a certain density and thickness penetrable): تعتبر من المميزات الهامة لتقنية التصوير المقطعي الصناعي المحوسب (iCT) والتي تميزها عن الأنظمة الأخرى المستخدمة بمجال الهندسة العكسية قدرتها على فحص أي سطح مهما بلغت درجة صعوبته بجانب قدرتها على تصوير الأسطح اللامعة والعاكسة والتي لا تستطيع أنظمة التصوير الضوئية من القيام بذلك، ففي تجربة قام بها جوليان نويل ونورث ستار (Julien Noel & North Star) وتم نشرها بمجلة تقنيات المسح الرقمي ثلاثي الأبعاد (3D Scanning Technologies Magazine) تحت عنوان (Advantages of CT in 3D Scanning of Industrial Parts) قام الباحثان بإجراء مسح رقمي ثلاثي الأبعاد لهيكل محرك ديزل تقوم بتصنيعه شركة Twin City Die Castings Company والتي يرمز لها بالرمز (TCDC) وهي شركة متخصصة في صب وتصنيع محركات الديزل وتم تأسيسها في عام 1919م بمدينة مينيابوليس بالولايات المتحدة الأمريكية، حيث قام الباحثان بإجراء تصوير ثلاثي الأبعاد لمجموعة من المحركات المصبوبة لتقييم النتائج مقارنة باستخدام شعاع الليزر في عملية التصوير ثلاثي الأبعاد لنفس النماذج وتوصلت الدراسة إلى أن الأشعة السينية لا تتأثر بخصائص وطبيعة سطح المنتج مهما كانت سواء كانت مظلمة أو عاكسة أو شفافة والتي تمثل من الصعوبات على



شكل (9) تحديد التجاويف الداخلية وتحليل للمادة المستخدمة باستخدام الأشعة المقطعية الصناعية (Noel, 2008)

رقم (1) حيث يوضح أوجه المقارنة بين تقنية التصوير المقطعي الصناعي المحوسب (iCT) والتقنيات الأخرى في مجال الهندسة العكسية.

ومما سبق يلاحظ مدى أهمية تلك التقنية في مجال الهندسة العكسية مقارنة بالتقنيات الأخرى المستخدمة حيث أشارت الدراسة إلى تفوق تلك التقنية مقارنة بالتقنيات الأخرى وهذا ما يظهر بالجدول

جدول (1) مقارنة بين أنظمة الماسحات الرقمية ذات التكنولوجيات المختلفة

م	أوجه المقارنة	الماسحات الرقمية عن طريق اللمس (Tactile)	الماسحات الرقمية الضوئية (Optical)	الماسحات الرقمية بنظام التصوير الطبقي (CT)
1	تحديد الشكل الخارجي للجسم	✓	✓	✓
2	الدقة العالية	✓	✗	✓
3	المواد اللينة (Soft material)	✗	✓	✓
4	التفاصيل الميكرومتريّة (Micrometric detail)	✗	✓	✓
5	القدرة على إجراء القياسات السريعة	✗	✓	✓
6	الحصول على التفاصيل الداخلية	✗	✗	✓

بقدرتها على فحص أي سطح مهما بلغت درجة صعوبته بجانب قدرتها على تصوير الأسطح اللامعة والعاكسة والتي لا تستطيع أنظمة التصوير الضوئية من القيام بذلك.

6. تتميز تقنية التصوير المقطعي الصناعي المحوسب (iCT) بقدرتها على اختراق الأسطح والوصول إلى التفاصيل الداخلية حتى وإن كان هناك سطح ما يحجب ما خلفه كما تتميز التقنية بقدرتها على قياس الأبعاد الهندسية بدقة عالية وقياس الكثافات الخاصة بالمواد المستخدمة وتحديد الفراغات الداخلية بالجسم.

المراجع References:

1. الكواز، صلاح. (2017): التكامل بين مدخلى الهندسة العكسية والكلفة على أساس الخصائص – دراسة تطبيقية في الشركة العامة للصناعات الإلكترونية، بحث منشور، مجلة الإدارة والاقتصاد، المجلد الخامس، العدد التاسع عشر، العراق، ص 77-93.
2. زايد، أحمد. (2014): الإستفادة من الهندسة العكسية في تطوير منتجات التصميم الصناعي، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية الفنون التطبيقية، جامعة حلوان، جمهورية مصر العربية، ص 2-62.
3. محمود، هاني. (2018): تكنولوجيا التصوير بالأشعة- البرنامج التدريبي لتأهيل المدرسين بمدرسة الضبعة الفنية للتكنولوجيا النووية-مركز البحوث النووية –هيئة الطاقة الذرية - جمهورية مصر العربية.
4. Alkuazi, Salah. (2017): altakamul bayn mudakhalaa alhandasat aleaksiat walkulfat ealaa 'asas alkhasayis - dirasatan tatbiqiatan fa alsharikat aleamat lilsinaeat al'iiliktruniat ,bahath manshur ,majalat al'iidarar walaiqtisadi, almujaalid alkhamis , aleadad alttasie eshr, aleiraq
5. Carmignato, S., Dewulf, W., & Leach, R. (2018). *Industrial X-ray computed tomography*: Springer
6. Datar, S. M., & Rajan, M. V. (2018). *Horngren's cost accounting: a managerial emphasis*: Pearson.
7. De Chiffre, L., Carmignato, S., Kruth, J.-P., Schmitt, R., & Weckenmann, A. (2014). Industrial applications of computed tomography. *CIRP annals*, 63(2), 655-677 .
8. Flisch, A., Wirth, J., Zanini, R., Breitenstein, M., Rudin, A., Wendt, F., . . . Golz, R. (1999). Industrial computed tomography in reverse engineering applications. *DGZ-fP- Proceedings BB*, 4(7), 45-53 .
9. Horngren, C. T. (2009). *Cost accounting: A managerial emphasis*, 13/e: Pearson Education India.
10. Kruth, J. P., Bartscher, M., Carmignato, S., Schmitt, R., De Chiffre, L., & Weckenmann, A. (2011). Computed tomography for dimensional metrology. *CIRP annals*, 60(2), 821-842 .
11. Kumar, A., Jain, P. K., & Pathak, P. M. (2013). Reverse engineering in product manufacturing: an overview. *DAAAM international scientific book*, 39, 665-678 .

الخلاصة Conclusion :

تلعب تقنية التصوير المقطعي الصناعي المحوسب (iCT) دور هام في عملية الهندسة العكسية التي تسعى إلى الحصول على المعلومات والبيانات اللازمة لمساعدة المصممين الصناعيين والمختصين داخل المؤسسات الصناعية على تحليل المنتجات المختلفة وتحديد نقاط القوة والضعف بها والإستفادة منها أما في إستنتاج تلك المنتجات، أو في تحسين وتطوير منتجاتهم لتكون قادرة على المنافسة داخل الأسواق. حيث تتميز تلك التقنية بمجموعة من المميزات التي يصعب الحصول عليها من الأجهزة الأخرى المستخدمة في تصوير المنتجات بأسلوب ثلاثي الأبعاد مثل أجهزة الليزر والأجهزة الضوئية وغيرها حيث يمكن لتلك التقنية تحديد التفاصيل الهندسية الخارجية والداخلية للجسم المراد فحصه أو تصويره مهما كان الجسم بالغ التعقيد وبدقة عالية دون أحداث أي تلف بالعينة المستخدمة (non-destructive testing)، بجانب قدرتها على فحص أي جسم مهما كانت طبيعة سطحه حتى وإن كانت شفافة أو معتمة تماماً، كذلك يمكنها فحص أي جسم مهما كانت درجة لونه حيث لا تمثل طبيعة السطح ودرجة لونه أي عائق أمام تلك التقنية، كما تتميز تلك التقنية بقدرتها على تصوير الأجزاء والتجاويف الداخلية للأجسام مهما كانت سمك الخامة أو المادة المستخدمة ودرجة كثافتها وتعتبر تلك الميزة من أهم المميزات التي تميز تلك التقنية عن التقنيات الأخرى المستخدمة أيضاً لا تتوقف المعلومات التي يمكن الحصول عليها على تحديد الشكل الخارجي والداخلي للجسم وحسب بل يمكن من خلال تلك التقنية الحصول على كم كبير من المعلومات الخاصة بالجسم المراد فحصه أو تصويره مثل التعرف على نوعية الخامة أو المادة المستخدمة وشكل الألياف وترابط الذرات بها وتحديد مناطق الاجهادات الميكانيكية المرتفعة... الخ وتلك المعلومات بجانب المعلومات الأساسية المتمثلة في تحديد الأبعاد الهندسية للجسم سواء الخارجية أو الداخلية يمكنها مساعدة المصممين الصناعيين والمختصين داخل المؤسسات الصناعية على تحديث وتطوير منتجاتهم وتحديد نقاط القوة والضعف بالمنتجات الأخرى والاستفادة المثلى من تلك التقنية بمجال الهندسة العكسية وهذا يعتبر هدف أساسي للبحث وهو لقاء الضوء على أهمية تلك التقنية وكيفية الإستفادة منها من خلال المصممين الصناعيين بمجال الهندسة العكسية.

النتائج Results :

1. تهدف الهندسة العكسية في المساعدة على الوصول لنتائج عن العمليات التي تم تطبيقها في تصميم المنتجات المنافسة والعمل على تعديل وتحسين خصائص المنتج المراد تصنيعه وإنتاجه.
2. تزايد الاهتمام الصناعي باستخدام تقنية التصوير المقطعي الصناعي المحوسب (iCT) في مجال الهندسة العكسية من خلال الفحص والتحليل والحصول على ملفات رقمية ثلاثية الأبعاد.
3. تتميز تقنية التصوير المقطعي الصناعي المحوسب بقدرتها على فحص وقياس وتصوير المنتج سواء الشكل الخارجي أو الأجزاء الداخلية دون أحداث أي تلف في المنتج وخصوصاً تلك المنتجات ذات الأشكال المعقدة أو التي تتكون من أكثر من جزء متداخل.
4. يمكن من خلال تقنية التصوير المقطعي الصناعي المحوسب (iCT) الحصول على كم كبير من المعلومات الخاصة بالجسم المراد فحصه أو تصويره مثل التعرف على نوعية الخامة أو المادة المستخدمة وشكل الألياف وترابط الذرات بها وتحديد مناطق الاجهادات الميكانيكية المرتفعة بها.
5. تتميز تقنية التصوير المقطعي الصناعي المحوسب (iCT)

- Parts: A Case Study. *Defence Science Journal* .
15. Raja, V. (2008). Introduction to reverse engineering. In *Reverse Engineering* (pp. 1-9): Springer.
 16. Sadaoui, S. E., Mehdi-Souzani, C., & Lartigue, C. (2018). Combining a touch probe and a laser sensor for 3D part inspection on CMM. *Procedia CIRP*, 67, 398-403 .
 17. <https://www.kau.edu.sa/Content-0012720-AR-85050> (Accessed 22/1/2021)
 12. Mahmawad, Hanaa.(2018): tuknulujiiaa altaswir bialasheae- albarnamaj altadribaa litahil almudrisin bimudrisat aldabeat alfaniyat liltuknulujiia alnawawita-murkiz albihwth alnawawiat -hyiat alttaqat aldhariyat - jumhuriat misr alearabiati.
 13. Noel, J. (2008). Advantages of CT in 3D scanning of industrial parts. *3D Scanning Technologies Magazine*, 1(3), 18-23
 14. Pal, D., Ravi, D. B., Bhargava, L., & Chandrasekhar, U. (2005). Computer-Aided Reverse Engineering for Rapid Replacement