الإستفادة من تقنية التصوير المقطعى الصناعى المحوسب(iCT) فى 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 الصناعى،كلية الفنون التطبيقية، جامعة بنى سويف، karim.designhome@apparts.bsu.edu.eg

ملخص البحث Abstract:
تلعب الهندسة العكسية دوراً هاماً فى مجال التصميم الصناعى من خلال مساعدة الشركات الصناعية فى التعرف على المنتجات المنافسة داخل الاسواق وتحديد نقاط القوة والضعف بها، كما تُساعد المصممين الصناعيين وتتيح لهم المعارف والمعلومات اللازمة عن طبيعة تلك المنتجات من خلال القدرة على تحليل اجزائها المختلفة وعلاقة كل جزء بالأخر مما يساعدهم على تطوير وتحديث منتجاتهم ويزيد من قدرتها على المنافسة داخل الاسواق، 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 الذى يؤدى إلى تطوير وتحديث العلوم الصناعية والهندسية بتلك البلدان ومساعدتهم على تطوير وتحديث منتجاتهم وطرق الانتاج والعلوم المعرفية فى المجالات الصناعية مما دفع الكثير من المؤسسات والمراكز البحثية فى 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 القاء الضوء على إحدى أهم التقنيات الواعدة بمجال الهندسة العكسية وهو التصوير الطبقى الصناعى المحوسب (iCT) والذى يُعد أهم التقنيات الواعدة بمجال الهندسة العكسية بما له من مميزات فريدة وواعدة بذلك المجال مقارنة بالتقنيات الاخرى المستخدمة حيث تتميز هذه التقنية بأنها غير مدمرة للعينة المراد فحصها أو تصويرها بجانب قدرتها على تحديد التفاصيل الهندسية الخارجية والداخلية لاى سطح أو شكل أو لون أو مادة مهما بلغت كثافتها وسمكها، كما تتميز التقنية بقدرتها على مساعدة المصممين والمهندسين فى الحصول على كم كبير من المعلومات الخاصة بالجسم المراد فحصه أو تصويره من خلال تحديد نوع المادة وشكل الالياف بها ومناطق الاجهادات بالجسم .... الخ. ولقد اعتمد الباحث فى عملية البحث على المنهج الوصفى لتقديم بحث علمى دقيق عن ماهية تلك التقنية وكيفية الإستفادة منها بمجال الهندسة العكسية، بجانب تقديم تلك المعلومات للمصممين الصناعية للمساعدة على التعرف على الطرق الحديثة والواعدة بمجال الهندسة العكسية وكيفية الإستفادة منها فى مجال تصميم المنتجات الصناعية.

كلمات دالة Keywords:
الهندسة العكسية
Reverse Engineering
المنتجات الصناعية
Industrial Products
التصوير المقطعى الصناعى المحوسب
Industrial Computed Tomography
المصمم الصناعى
Industrial Designer

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

مقدمة: Introduction

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

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

ومع تزايد أهتمام الدول والمؤسسات الصناعية بعلم الهندسة العكسية والإستفادة منها فى تطوير وتحديث منتجاتهم حتى يكونوا قادرين على المنافسة داخل الأسواق، قامت المؤسسات البحثية بالإهتمام فى تطوير تلك التقنيات المستخدمة بمجال الهندسة العكسية والإستفادة من التقنيات والتكنولوجيات المختلفة وتحقيق أقصى إستفادة ممكنة منها، ومن تلك التقنيات تقنية الأشعة المقطعية والتى يرمز لها بالرمز (CT) والتى أستُخدمت فى بداية ظهورها بالمجال الطبى ثم تطورت وتم الإستفادة منها بالمجال الصناعى حيث ظهر قطاع منها يسمى التصوير المقطعى الصناعى المحوسب(iCT) والذى يختص بعملية تصوير وتحليل المنتجات الصناعية المختلفة وتقديم المعلومات الهندسية؛ والفيزيائية؛ والميكانيكية ... الخ من المعلومات المختلفة التى يُمكن أن تساعد المصممين الصناعين والمهندسين على التعرف على النواحى 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 فى تحديث وتطوير الصناعة.

(1) موضوع البحث: Subject Of The Research

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

(2) مشكلة البحث: Problem Of The Research

تتمثل مشكلة البحث فى عدم الإستفادة من تقنية التصوير المقطعى الصناعى المحوسب(iCT) بمجال الهندسة العكسية داخل

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

جمهورية مصر العربية بسبب عدم تُوفر المعلومات الكافية عن طريقة استخدامها وكيفية الإستفادة منها فى تحويل المنتجات المادية إلى ملفات رقمية.

(3) هدف البحث: Aim Of The Research

يهدف البحث إلى القاء الضوء على أهمية تقنية التصوير المقطعى الصناعى المحوسب(iCT) بمجال الهندسة العكسية وكيفية الإستفادة منها فى ذلك المجال .

(4) أهمية البحث: Importance Of The Research

تتمثل أهمية البحث في الآتى:

- توضيح أهمية مجال الهندسة العكسية والدور الذى يلعبه فى تطوير وتحسين المنتجات.
- توضيح دور تقنية التصوير المقطعى الصناعى المحوسب(iCT) فى مجال الهندسة العكسية وتحويل المنتجات المادية إلى صور رقمية.
- كيفية الإستفادة من تقنية التصوير المقطعى الصناعى المحوسب(iCT) بمجال الهندسة العكسية.

(5) منهج البحث: Methodology Of The Research

يتبع البحث المنهج الوصفى للوصول إلى المعلومات حول تقنية التصوير المقطعى الصناعى المحوسب(iCT) وكيفية الإستفادة منها بمجال الهندسة العكسية.

(6) فروض البحث: Hypothesis Of The Research

إذا أمكن التعرف على ماهية تقنية التصوير المقطعى الصناعى المحوسب (iCT) وكيفية الإستفادة منها بمجال الهندسة العكسية فأن ذلك سيساعد مصممى ودارسى التصميم الصناعى على الإستفادة من تلك التقنية من خلال تحويل المنتجات المادية لملفات رقمية يمكن من خلالها تحليلها والتعرف على المعلومات اللازمة التى يمكن ان تساعد على تحديث وتطوير المنتجات الصناعية المختلفة.

ثانياً: الدراسة التحليلية

الإستفادة من تقنية التصوير المقطعى الصناعى المحوسب(iCT) فى مجال الهندسة العكسية بالمنتجات الصناعية:

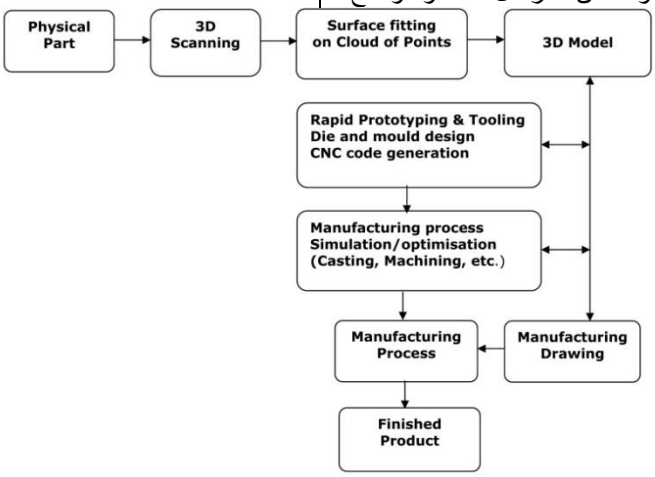
ظهرت الهندسة العكسية (Reverse Engineering) كإستجابة لرغبة الدول الناشئة والشركات والمؤسسات الصناعية فى إيجاد وسيلة قادرة على تحليل المنتجات الصناعية المنافسة بغرض الحصول على المعلومات الهندسية والتصميمية ؛تحليل الأجزاء المختلفة للمنتج ؛تحديد نقاط القوة والضعف بها والإستفادة من تلك المعلومات أما فى إستنساخ ذلك المنتج أو فى تحسين وتقديم منتجات قادرة على المنافسة، بجانب الإستفادة من تلك المعلومات الصناعية والهندسية فى تحسين وتطوير طرق الانتاج والتصنيع . ولقد ساعدت الهندسة العكسية الكثير من الدول لتحسين وتطوير الصناعة بها لتلحق بالدول الصناعية الكبرى ولقد كانت من أوائل تلك الدول التى إستطاعت توظيف الهندسة العكسية والإستفادة منها فى 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 التى قامت بذلك المهندس هوتاكيو أوساهيرا (Takyo Osahera) الذى أستطاع أن ينقل التكنولوجيا الصناعية لصناعة المحركات من المانيا إلى اليابان والتى ساهمت فيما بعد فى ظهور ثلاثة من أهم شركات صناعة السيارات فى اليابان هم تويوتا (Toyota)؛ نيسان (Nissan)؛ هوندا (Honda). **(زايد, 2000)**، وبالنظر إلى تاريخ نشأة الهندسة العكسية يلاحظ صعوبة تحديد بداية نشأتها وإستخدامها ولكن تشير الدراسات بأن بداية ظهور هذا المجال حدث أثناء الحرب العالمية الثانية وأزدهر أثناء الحرب الباردة حيث أستخدم فى البداية بالمجال العسكرى من خلال نسخ التكنولوجيا وتحليل المعدات العسكرية التى يتم الحصول عليها سواء من قبل القوات النظامية أثناء الحرب والقتال أو من خلال عمليات الإستخبارات الخاصة بالدول، ثم سرعان ما أنتقلت إلى المجال الصناعى وخصوصاً بمجال الصناعات التحويلية بعد ظهور أقتصاد السوق وإشتداد المنافسة بين الشركات العالمية **(Kumar, Jain, & Pathak, 2013)**، ولقد إستُخدم المصطلح لأول مرة فى صورته العلمية فى عام 1970م من خلال المنشورات العلمية والتى أشارت بأنه طريقة لنسخ الأشياء الأصلية **(زايد, 2000)** ثم تطور تعريف المصطلح مع زيادة أهمية الهندسة العكسية وإستخدامها فى العديد من المجالات منها "أنها أحد المداخل الإستراتيجية التى ترتكز على تحليل المنتج المنافس من أجل تحديد خصائصه ومكوناته والعمليات الإنتاجية المختلفة التى مر بها" **(Datar & Rajan, 2018)** ؛ ويرى (Raz,2011) بأن الهندسة العكسية هى عملية إكتشاف المبادىء التى تم تطبيقها عند تصميم وظائف وخصائص وعمليات إنتاج المنتج المنافس ، بينما يرى (Stevenson,2005) بأن الهندسة العكسية ما هى الا طريقة تساعد فى الوصول إلى نتائج عن العمليات التى تم تطبيقها فى تصميم المنتجات المنافسة والعمل على تعديل وتحسين خصائص المنتج المراد تصنيعه وإنتاجه، لذلك تهدف الهندسة العكسية فى مجملها إلى مجموعة من الأهداف الرئيسية والتى تدفع بالمؤسسات الصناعية المختلفة إلى الاستعانة بها حيث من تلك الأهداف ما يلى:

- 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 التى يعتمد عليها المنتج المنافس.
- القدرة على التنبوء بتكلفة المنتج والوقت المستغرق لإنتاجه فى مرحلة مبكرة قبل البدء بعملية الأنتاج الفعلية.
- تحقيق الإنسجام بين عمليات تصميم وتصنيع المنتج من خلال تحديد المعوقات والتغلب عليها.**(Datar & Rajan, 2018)**

ولقد أثر التطور التكنولوجى وخصوصاً فى المجال الرقمى بصورة كبيرة على مفهوم الهندسة العكسية حيثما كلما ظهرت تقنية جديدة كلما تغير المفهوم بما يواكب التطورات التكنولوجية الحديثة ففى كل مرة تظهر تقنيات رقمية جديدة تكسر الحاجز بين الأشكال المادية والرقمية وتعمل على تقليل الفجوة بينهما الأمر الذى أدى إلى تغير مفهوم الهندسة العكسية بما يواكب تلك التطورات وإرتباطها ارتباط وثيق بالتطور الحادث فى ذلك المجال لدرجة جعلت الخبراء يربطون بين التكنولوجيات الرقمية الجديدة والهندسة العكسية كصورة تعكس مدى تأثير تلك التكنولوجيات على المجال الصناعى، فعلى سبيل المثال تشير الدراسات إلى أن فترة التسعينات من القرن الماضى شهد العالم تقارب رقمى كبير وأنعكس بصورة مباشرة على مجال الهندسة العكسية وأدى إلى تطور كبير فى ذلك المجال من خلال القدرة على تحويل الأجسام المادية إلى ملفات رقمية بنفس سهولة التقاط الصور الرقمية، الأمر الذى أنعكس بصورة مباشرة على مجال الهندسة العكسية وأدى ذلك إلى تطور كبير فى 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 التى تم الحصول عليها خلال تقنية الماسح الرقمى ثلاثى الأبعاد للنموذج المادى سواء من خلال التلامس المباشر أو الغير مباشر" وبهذا التحول والتطور أدى إلى ظهور مصطلح جديد بمجال الهندسة العكسية أطلق عليه أصطلاحياً الهندسة العكسية بمساعدة الكمبيوتر (Computer Aided Reverse Engineering) **(Kumar et al., 2013)**

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 المادة المستخدمة فى التصنيع ؛تفاصيل الشكل الهندسى الخارجى وعمليات التصنيع المستخدمة فى الانتاج .... الخ بجانب القدرة على حفظ الملف الرقمى 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 بالشكل (1) والتى يمكن من خلالها الوصول إلى الملف الرقمى والإستفادة منه تبدأ من تحديد الجزء أو المنتج المادى المطلوب تحويله إلى الملف الرقمى ثم إستخدام الأداة المناسبة من أدوات الماسحات الرقمية حسب الدقة المطلوبة وطبيعة سطح المنتج ثم إجراء مجموعة من التعديلات على السطح المتكون بالملف الرقمى الناتج من استخدام الماسح الرقمى والذى يكون على هيئة سحابة نقطية يُطلق عليها مصطلح (Cloud of points) وأخيراً النموذج الرقمى النهائى للنموذج المادى والذى يمكن من خلاله الحصول على نماذج تجريبية ورسومات هندسية وتشغيلية للوصول إلى عمليات التصنيع النهائية وتصنيع المنتج النهائى سواء مطابق لنفس النموذج المادى الذى تم إجراء الهندسة العكسية له أو منتج محسن بعد إجراء بعض التعديلات بغرض تلافى عيوب المنتج الأصلى.



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

وتلعب تقنية الماسحات 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- أتصال مباشر بين الماسح الرقمى ثلاثى الأبعاد والمنتج (Contact type): وفى هذا النوع يحدث أتصال 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 وبالتإلى كلما زادت نقاط التلامس كلما زادت دقة الملف الرقمى النهائى 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 بالماسحات 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 الماسحات الأخرى.**(Sadaoui, Mehdi-Souzani, & Lartigue, 2018)**

ب- أتصال غير مباشر بين الماسح الرقمى ثلاثى الأبعاد والمنتج (Non-contact Method):فى هذا النوع من الماسحات لا يحدث أتصال 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 الأضاءة المنظمة والتى يتم إرسالها من الأداة وأستقبال إنعكاس ذلك الضوء المرتد من جسم النموذج المادى.
- الأسلوب السلبى (Passive Method): وتعتمد عملية تحويل النموذج المادى إلى نموذج رقمى بالتوازى مع الإضاءة المحيطة بالنموذج وأستقبالها من خلال الأداة لتحويل النموذج لملف رقمى. **(Pal et al., 2005)**

وتعتمد الأدوات المستخدمة بالأنظمة التى لا تعتمد على الأتصال 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 الا أنه يوجد لديها العديد من السلبيات من أهمها:

- تعرض الجسم المادى أحياناً كثيرة للتلف عند الحاجه إلى التعرف على المكونات الداخلية له.
- إرتفاع تكلفة أجهزة الماسحات الرقمية ثلاثية الأبعاد المستخدمة.
- تأثر النتيجة النهائية لعملية المسح الرقمى ثلاثى الأبعاد على العوامل الخارجية المحيطة بالنموذج المادى.
- صعوبة إجراء المسح الرقمى ثلاثى الأبعاد ذات التجاويف الداخلية والأسطح اللامعة.
- تتطلب خبرة عالية سواء أثناء اجراء عملية المسح الرقمى ثلاثى الأبعاد على النموذج المادى أو عند التعديل والإضافة على النتيجة النهائية لعملية المسح الرقمى 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 الطبقى المحوسب (CT) والتى تستخدم على نطاق واسع بالمجال الطبى بمثابة طوق النجاة والأمل الجديد

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

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

2- تقنية التصوير الطبقى المحوسب " (Computed Assisted Tomography (CT"

الأشعة المقطعية أو التصوير المقطعى المحوسب (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 فى مجالات عديدة من أهمها المجال الطبى والمجال الصناعى. ولقد قد تقديم هذه التقنية لأول مرة عام 1972م على يد المهندس البريطانى السير هونسفيلد (Godf rey Hounsfield) وفى الوقت نفسه قام العالم الفيزيائى الامريكى آلان كورماك (Allan Cormack) بتقديم أختراع مشابه بما قام به الأمر الذى أدى إلى حصول كلاً من هونسفيلد وكورماك على جائزة نوبل مناصفة فى عام 1979م.

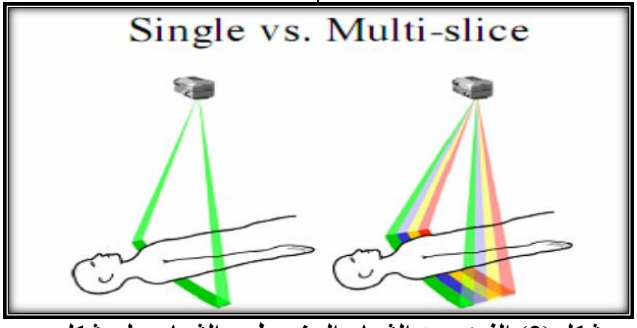
ولقد أعتمدت تقنية التصوير الطبقى المحوسب بصورة رئيسية على الأشعة السينية التى أكتشفت على يد العالم الالمانى فيلهلم كونراد رونتجن (Wilhelm Conrad Röntgen) فى نوفمبر 1895م وأطلق على تلك الأشعة الغامضة وقتها أسم أشعة أكس (x-ray) التى عرفت فيما بعد بأسم الأشعة السينية ، حيث كان أول المستفيدين من الإمكانيات الغير تقليدية لتلك الأشعة المجال الطبى الذى إستخدمت وما زالت فى مساعدة الأطباء على رؤية ما لم يكن يُرى من قبل من حيث التفاصيل الداخلية لجسم الأنسان دون أجراء أى جراحة والمساعدة على التشخيص السليم للمرض.**(الكوازِ, 2016)**

وعلى الرغم من أستخدام الأشعة السينية (X-Ray) فى المجال الطبى الا انه ظهرت لتلك الأشعة إستخدامات عديدة فى مجالات مختلفة كان من أهمها المجال الصناعى حيث إستُخدمت كوسيلة لفحص المواد مثل السبائك والالواح وغيرها وكذلك الاجسام الصناعية مثل المواسير للكشف عن العيوب الغير واضحة من خلال أستخدام تلك الأشعة حيث يتميز هذا النوع من الأختبارات بأنه غير متلف لذلك أستُخدم فى فحص الخرسانات والأعمدة الأنشائية بالمجال المعمارى ؛الكشف عن العيوب باللحامات المختلفة الموجودة فى أنابيب الغاز والمياه والعناصر الهيكلية والانشائية بالمجال الصناعى لتحديد التشققات والعيوب والتى قد لا تكون مرئية وتتسبب فى الكثير من الضرر.**(هانى, 2018)**

ومع تزايد أهمية أستخدام الأشعة السينية فى المجال الصناعى بدأت المراكز والشركات العاملة فى مجال تصنيع المعدات القائمة على توظيف تلك الأشعة فى تحسين وتطوير معداتها وأدواتها، ومع ظهور تقنية الأشعة المقطعية والتى تعتمد بصورة رئيسية على الأشعة السينية ولكن تقوم بمعالجة أوجه القصور فى عملية التصوير التقليدية والتى أدت إلى حدوث بعض السلبيات والمتمثلة فى الحصول على صورة متكونة من خلال اتجاه واحد فقط بمعنى فى حالة وجود جسم حاجب لجسم أخر خلفه فأن الصورة المتكونة ستكون للجسم الحاجب واختفاء تفاصيل الجسم الاخر الموجود خلف هذا الجسم ، لذلك ظهرت الحاجه إلى ضرورة اجراء عملية تصوير من عدة إتجاهات حتى يتم الحصول على صورة متكاملة للجسم من جميع الزوايا وهنا ظهرت فكرة جهاز الأشعة المقطعية حيث قام النموذج الأصلى الذى تم تصميميه فى عام 1972م على تصوير 160 مقطع لجسم الانسان وكل مقطع يحتوى على 180 صورة حيث تتغير زواية الأشعة فى كل صورة ولقد أستغرقت تلك العملية أكثر من 5 دقائق بينما أستغرقت ما يقارب من 2.5 ساعة لتجميع تلك اللقطات لأعطاء صورة مجسمة بإستخدام الحاسب الآلى، حيث أعتمدت فكرة العمل الرئيسية على دوران الانبوبة التى تنتج الأشعة السينية حول الجسم حيث يقوم الجسم بامتصاص بعض الأشعة الساقطة عليه أما الجزء الاخر فيذهب إلى الجزء الخاص بأستقبال الأشعة والذى يكون تحت الجسم المراد تصويره وبذلك يمكن الحصول على مجموعة من الصور ثناية الأبعاد لتفاصيل الجسم من خلال قدرة الجهاز على الدوران حول الجسم بزاوية 360 درجة ثم يقوم معالج حاسوبى بتجميع تلك الشرائح والحصول على ملف ثلاثى الأبعاد وبذلك أمكن معالجة أوجه القصور فى النظام القديم بجانب القدرة على الحصول على صور أكثر دقة .

1-2 تطور تقنية التصوير المقطعى المحوسب (CT)

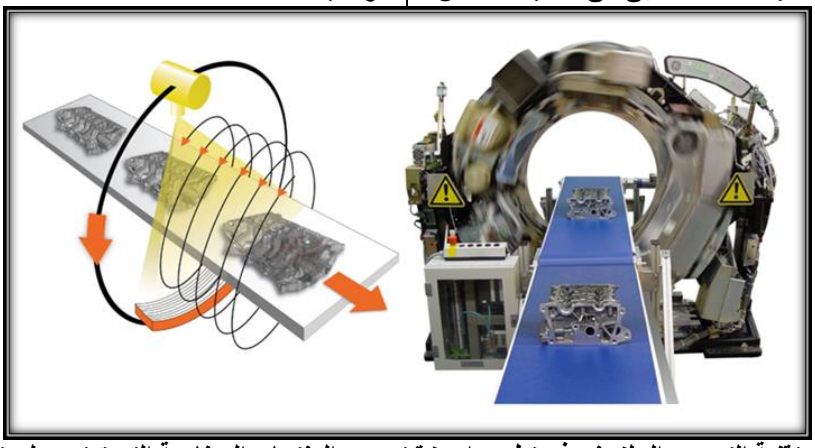
منذ ظهور تقنية التصوير الطبقى المحوسب (CT) على يد المهندس البريطانى السير هونسفيلد (Godfrey Hounsfield) فى سنة 1972م كتقنية محسنة للحصول على نتائج أفضل من الأشعة السينية التقليدية، حتى بدأت المراكز البحثية فى تطوير تلك التقنية لتحسين النتائج من خلال زيادة دقة الصور التى يتم الحصول عليها من الجهاز وتقليل الوقت المستغرق لعملية الفحص إلى اقل وقت ممكن من خلال الإستفادة من التطور التقنى والتكنولوجى سواء من خلال تطور الحاسبات المستخدمة فى 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 والتى أدت الى تحسين وتطوير التقنية بصورة كبيرة إستخدام شعاع الالكترون فى سنة 1980م حيث تم زيادة زاوية التعريض الخاصة بالتصوير ولقد ادى ذلك التطور إلى تقليل زمن التصوير، بجانب الإستفادة من تقنية التصوير المقطعى الحلزونى والتى ظهرت فى عام 1990م والتى توصل اليها العالم كالندر (Kalender) حيث فتحت تقنية التصوير المقطعى الحلزونى الباب لظهور اجيال اخرى مثل الجيل السابع وظهور ما يسمى بالتصوير المقطعي متعدد الشرائح (MSCT) بزيادة عدد الكواشف(Detectors) لتصل إلى 8 مجموعات بدلا من اربعة مما ساعد على ما يصل إلى تصوير 64 شريحة فى 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)**



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

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

ولقد أدت تلك التحسينات إلى تحسين وتطوير اداء تلك الأجهزة وظهور نوع جديد من أجهزة الأشعة المقطعية يسمى باجهزة التصوير الطبقى متعدد الشرائح حيث تم إستخدامه فى العديد من المجالات المختلفة من أهمها المجال الطبى فى عمليات فحص وتصوير المرضى وكذلك فى المجال الصناعى فى مجال الجودة وفحص المنتجات على خطوط الأنتاج كما هو موضح بالشكل(3) بجانب الإستفادة منها فى مجال الهندسة العكسية من خلال تصوير وتحليل المنتجات المختلفة.

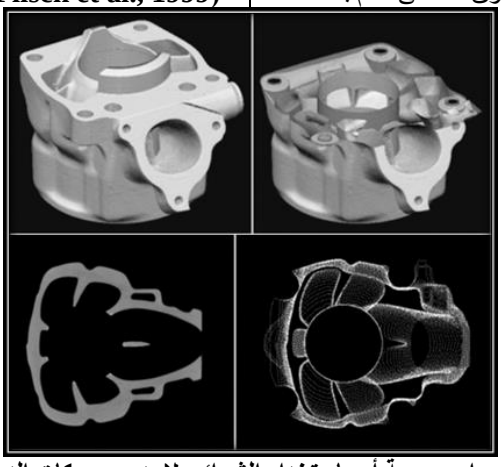


شكل(3) الإستفادة من تقنية التصوير الحلزونى فى تطوير اجهزة تصوير المنتجات الصناعية التى تعتمد على تقنية التصوير الطبقى متعدد الشرائح (Carmignato et al., 2018)

2-2 إستخدامات تقنية التصوير المقطعى فى المجال الصناعى:

تستخدم تقنية التصوير المقطعى بصورة كبيرة فى المجال الصناعى من أجل ضمان جودة المنتجات، حيث تمثل تلك التقنية حجر أساس لكثير من الصناعات بسبب تزايد عدد التطبيقات الصناعية التى تعتمد على تلك التقنية نتيجة لتطور الأجهزة المستخدمة فى هذا المجال، وتُعد الصناعات التحويلية وصناعة الأجهزة الكهربائية والإلكترونية من أكثر الصناعات إعتماداً على تلك التقنية حيث تستخدم فى ضمان جودة المنتجات ومراجعة القياسات والأبعاد ويطلق عادة على هذا القطاع من تقنية التصوير المقطعى مصطلح التصوير المقطعى الصناعى 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 الآلى للحصول على صورة نهائية ثلاثية الأبعاد للجسم المراد تصويره.(**De Chiffre, Carmignato, Kruth, Schmitt, & Weckenmann, 2014)** ، ولقد إستخدمت تلك التقنية فى المجال الصناعى بداية من عام 1980م حيث إستخدمت فى البداية فى تحليل المواد الصناعية المستخدمة وأجراء بعض اختبارات الجودة الغير متلفة للعينة، أما الظهور الحقيقى كان فى بداية 2005م حيث إستخدمت تلك التكنولوجيا فى قياس الأبعاد للمنتجات حيث قامت شركة ورث الالمانية (Werth Messtechnik) بتقديم أول جهاز قادر على قياس الأبعاد باستخدام تكنولوجيا الأشعة السينية إلى السوق العالمى ، ثم بعد ذلك تم إستخدام تلك التكنولوجيا فى الحصول على ملفات رقمية ثلاثية الأبعاد كأحدى تطبيقات أنظمة الماسحات الرقمية ثلاثية الأبعاد والتى فتحت الباب لتلك التكنولوجيا لتلعب دور كبير وهام بمجال الهندسة العكسية . **(De Chiffre et al., 2014)**

ويتميز استخدام تقنية التصوير المقطعى فى مجال الهندسة العكسية بقدرتها على تحديد الهندسة الداخلية والخارجية للجسم بشكل غير مدمر له (non-destructive testing) وتلك الميزيتين غير متوفره فى الأساليب الأخرى المستخدمة فى مجال الماسحات الرقمية ثلاثية الأبعاد، حيث يمكن فقط من خلال الماسحات الرقمية الأخرى الحصول على صورة للجسم الخارجى دون القدرة على التوصل إلى الشكل الداخلى، ففى تجربة تم اجراؤها ونشرها فى ورقة بحثية بعنوان (Industrial Computed Tomography in Reverse Engineering Applications) قام الباحثون بتجربة تقنية التصوير المقطعى الصناعى المحوسب فى 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 لاشكال ومسبوكات معقدة، حيث يمكنها أختراق سبائك الالومنيوم بسهولة والتى تعتبر من أكثر المواد إستخداماً فى مجال تصنيع المحركات، كما يصل مدى اختراقها للأجسام لأكثر من 300مم؛ وتحقيق دقة تصل إلى 0.2 مم من خلال إستخدام مصدر أشعة سينية يبلغ فقط 450 فولت مما يجعلها من التقنيات الواعدة فى ذلك المجال. **(Flisch et al., 1999)**



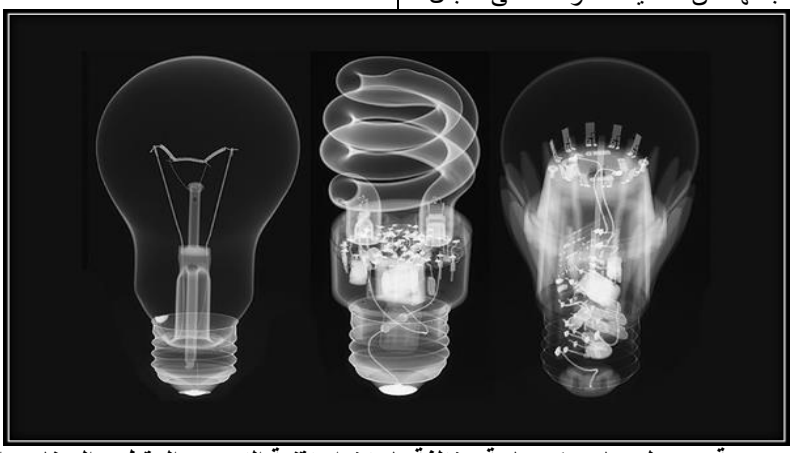
شكل (4) مجموعة من الصور المختلفة سواء مجمعة أو باستخدام الشرائح لاحدى محركات الدراجات النارية والتى تم استخدام التصوير المقطعى الصناعى فى تصويرها.(Flisch et al., 1999)

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

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 أحدى الدراسات أيضاً بعنوان (Industrial applications of computed tomography) حيث رصدت الدراسة تأثير تلك التقنية داخل الأسواق وتوصلت إلى تزايد الاهتمام الصناعى باستخدام تلك التقنية فى مجال الهندسة العكسية من خلال الفحص والتحليل والحصول على ملفات رقمية ثلاثية الأبعاد، حيث قدرت حجم النمو السنوى فى الإيرادات الصناعية للفحص الصناعى بإستخدام أجهزة التصوير المقطعى الصناعى المحوسب من الفترة 2009 وحتى 2017 بنحو 7% وهى تعتبر أعلى معدل نمو سنوى مركب بشكل عام.

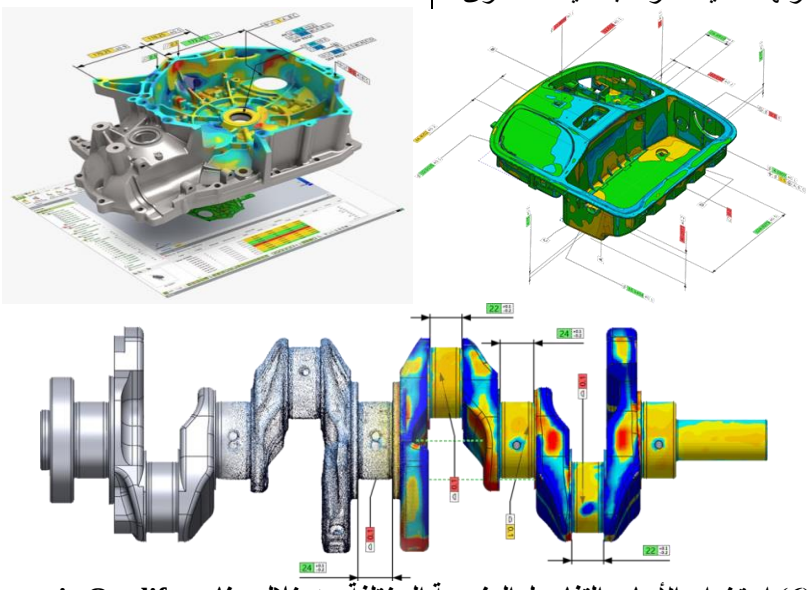
وتتميز تقنية التصوير المقطعى الصناعى المحوسب(iCT) بمجموعة من المميزات تجعلها من التقنيات الواعدة فى مجال الهندسة العكسية مقارنة بالتقنيات الأخرى من تلك المميزات ما يلى:

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



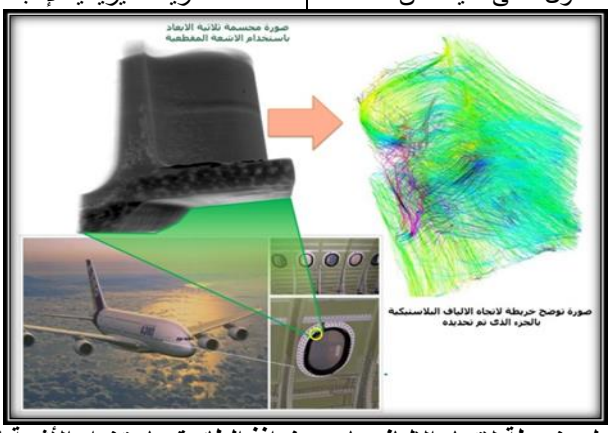
شكل(5) مجموعة صور لمصابيح كهربائية مختلفة باستخدام تقنية التصوير المقطعى الصناعى المحوسب
Source: www.qualitymag.com/articles/93331-seeing-is-believing-x-ray-computed-tomography-for-) (quality-control

- 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 التى تعتمد عليها الهندسة العكسية حتى يتمكن القائمين على البحوث والتطوير فى تحديد النقاط الرئيسية للمنتج والقدرة على تحليله، وتتميز تقنية التصوير المقطعى الصناعى المحوسب(iCT) بقدرتها العالية مقارنة بالتقنيات الأخرى على تحديد الأبعاد سواء الخارجية أو الداخلية بدقة كبيرة وذلك من خلال برنامج (Geomagic Qualify) كما هو موضح بالشكل(6)، الذى 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 الذى تم تصويره.**(Noel, 2008)**



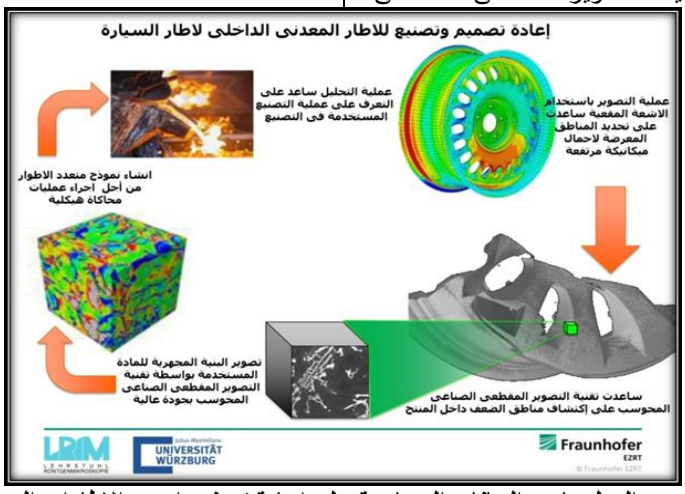
شكل(6) استخراج الأبعاد والتفاصيل الهندسية المختلفة من خلال برنامج Geomagic Qualify
(Source: https://www.artec3d.com/3d-software/geomagic-control-x)

- الحصول على كم كبير من المعلومات الخاصة بالجسم المراد فحصه أو تصويره (High information density): لا تتوقف تقنية التصوير المقطعى الصناعى المحوسب(iCT) على عملية التصوير الثلاثى الأبعاد للمنتج والحصول على الأبعاد الهندسية له وحسب، بل يمكن من خلالها الحصول على كم كبير من المعلومات التى كان يصعب الحصول عليها بالطرق الاخرى من الماسحات الرقمية ثلاثية الأبعاد حيث يمكن من خلالها تحليل البنية الجزئية للمواد المستخدمة فى تصنيع المنتج والتى كان يلزم من قبل الحصول على عينة من المادة المصنع منها المنتج وتحليلها عبر الوسائل الكيميائية والفيزيائية، اما باستخدام تلك التقنية أمكن الحصول على ملف ثلاثى 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 مقطعى لنافذة أحدى الطائرات، ثم ثم تحديد جزء منها للحصول على المعلومات الفنية الخاصة بالمادة المستخدمة فى التصنيع ورسم خريطة فيزيائية لإتجاه الالياف بها.



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

أيضاً لا تتوقف المعلومات التى 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 والتى يلزم اجراؤها تعرض العينة لعملية الاجهاد واللى بواسطة اجهزة اختبار ميكانيكية بجانب ان تلك الاختبارات تعتبر متلفة للعينة، لذلك تتميز تلك التقنية بمساعدة المختصين على تحديد تلك الاجزاء دون الحاجه الى إختبارات ميكانيكية فعلى سبيل المثال قام الدكتور سيمون زبلر (Dr. Simon Zabler) الباحث بمعهد فرأونهوفر (Fraunhofer Institute) والمتخصص فى دراسة تطبيقات الأشعة السينية من خلال بحث اجراه بعنوان (X-ray Tomography in Industry: Current Status and Future Trends) حيث قام بتصوير الجسم المعدنى للأطار الداخلى لإحدى السيارات بتقنية التصوير المقطعى الصناعى المحوسب(iCT) كما هو موضح بالشكل(8)، كنوع من تجربة للتعرف على كيفية إستخدام والإستفادة من تلك التقنية فى عملية الهندسة العكسيه حيث امكن الحصول على كلاً من تحليل للبنية الجزئية للمعدن المستخدم فى التصنيع والذى من خلاله امكن التعرف على الطريقة المستخدمة فى التصنيع بجانب توضيح المناطق المعرضة لاقصى اجهاد ميكانيكى وكذلك لاجهاد اللى المتولد من الاستخدام وكل تلك المعلومات والتى كان يصعب الحصول عليها من الاجهزة التصوير ثلاثية الابعاد الأخرى بجانب المعلومات الاساسية المتمثلة فى الأبعاد الهندسية للمنتج، كل تلك المعلومات ساعد الباحث على اعادة تصنيع ذلك الجزء بجانب تلافى المشكلات الموجودة به مما يدل على أهمية الدور الذى تلعبه تلك التقنية بمجال الهندسة العكسية وتحليل المنتجات الصناعية.

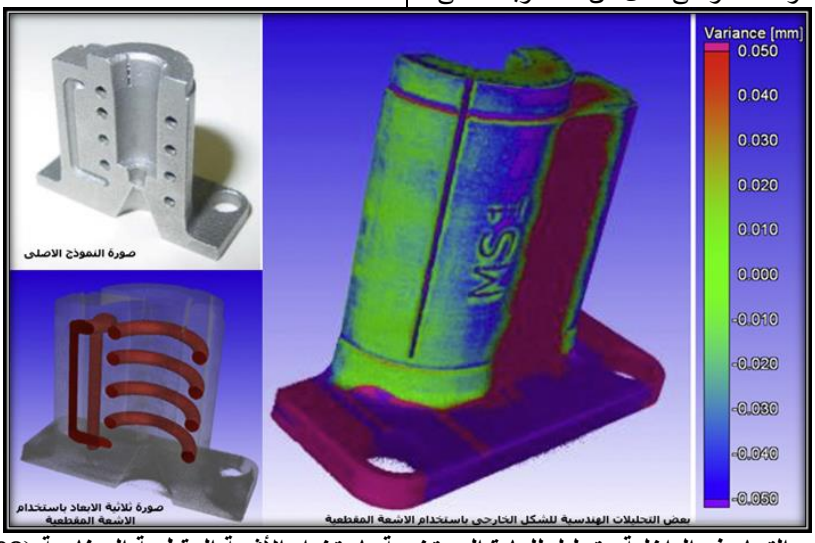


شكل(8) الحصول على العديد من المعلومات والبيانات المساعدة على اعادة تصنيع احدى الاطارات المعدنية الداخلية باستخدام تقنية التصوير المقطعى الصناعى المحوسب(iCT)
source: http://www.esrf.eu/files/live/sites/www/files/events/conferences/HSC/HSC19/Zabler-HSC19-) (X-ray.pdf

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

- القدرة على فحص اى 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 المقطعى الصناعى المحوسب(iCT) والتى تميزها عن الأنظمة الاخرى المستخدمة بمجال الهندسة العكسية قدرتها على فحص أى سطح مهما بلغت درجة صعوبته بجانب قدرتها على تصوير الأسطح اللامعة والعاكسة والتى لا تستطيع انظمة التصوير الضوئية من القيام بذلك، ففى تجربة قام بها جوليان نويل ونورث ستار(Julien Noel & North Star) وتم نشرها بمجلة تقنيات المسح الرقمى ثلاثى الأبعاد (3D Scanning Technologies Magazine) تحت عنوان (Advantages of CT in 3D Scanning of Industrial Parts) قام الباحثان بإجراء مسح رقمى ثلاثى الأبعاد لهيكل محرك ديزل تقوم بتصنيعه شركة Twin City Die Castings Company والتى يرمز لها بالرمز(TCDC) وهى شركة متخصصة فى صب وتصنيع محركات الديزل وتم تاسيسها فى عام 1919م بمدينة مينيابوليس بالولايات المتحدة الامريكية، حيث قام الباحثان بإجراء تصوير ثلاثى الأبعاد لمجموعة من المحركات المصبوبة لتقييم النتائج مقارنة بإستخدام شعاع الليزر فى عملية التصوير ثلاثى الأبعاد لنفس النماذج وتوصلت الدراسة إلى ان الأشعة السينية لا تتأثر بخصائص وطبيعة سطح المنتج مهما كانت سواء كانت مظلمة أو عاكسة أو شفافة والتى تمثل من الصعوبات على التقنيات الاخرى القيام بتصويرها والوصول إلى التفاصيل المختلفة لها، أيضاً توصلت الدراسة إلى قدرة التقنية على اختراق الأسطح والوصول إلى التفاصيل الداخلية حتى وان كان هناك سطح ما يحجب ما خلفه كما تتميز التقنية بقدرتها على قياس الأبعاد الهندسية بدقة عاليه وقياس الكثافات الخاصة بالمواد المستخدمة وتحديد الفراغات الداخلية بالجسم.**(Noel, 2008)**

ومما سبق يوضح مدى أهمية تلك التقنية والدور الذى تلعبه فى مجال الهندسة العكسية مقارنة بالاجهزة الاخرى المستخدمة حيث تشير الدراسات والأبحاث إلى ان تلك التقنية ستكون من التقنيات الواعدة فى ذلك المجال مقارنة باى تقنية أخرى، فعلى سبيل المثال فى تجربة قام بها مجموعة من الباحثين حول التعرف على مميزات تقنية التصوير المقطعى الصناعى فى المجالات الصناعية وتم نشرها تحت عنوان (Industrial applications of computed tomography) قام الباحثين بتقييم تقنية التصوير لنماذج تستخدم فى حقن البوليمرات وتوصلت الدراسة إلى ان تلك التقنية هى الافضل والانسب عند تصوير النماذج المستخدمة فى صب وحقن البوليمرات 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 فى التعرف على البنية المجهرية للمواد المستخدمة وتحديد السلبيات وأوجه الضعف بها كما هو موضح بالشكل(9) مما يساعد على تلافى الكثير من المشاكل المستقبلية أثناء عملية الحقن باستخدام تلك النماذج.



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

ومما سبق يلاحظ مدى أهمية تلك التقنية فى مجال الهندسة العكسية مقارنة بالتقنيات الاخرى المستخدمة حيث أشارت الدراسة الى تفوق تلك التقنية مقارنة بالتقنيات الاخرى وهذا ما يظهر بالجدول رقم (1) حيث يوضح أوجه المقارنة بين تقنية التصوير المقطعى الصناعى المحوسب(iCT) والتقنيات الأخرى فى مجال الهندسة العكسية.

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

م	أوجة المقارنة	الماسحات الرقمية عن طريق اللمس (Tactile)	الماسحات الرقمية الضوئية (Optical)	الماسحات الرقمية بنظام التصوير الطبقى (CT)
1	تحديد الشكل الخارجى للجسم	✓	✓	✓
2	الدقة العالية	✓	✕	✓
3	المواد اللينة (Soft material)	✕	✓	✓
4	التفاصيل الميكرومترية (Micrometric detail)	✕	✓	✓
5	القدرة على اجراء القياسات السريعة	✕	✓	✓
6	الحصول على التفاصيل الداخلية	✕	✕	✓

الخلاصة Conclusion :

تلعب تقنية التصوير المقطعى الصناعى المحوسب(iCT) دور هام فى عملية الهندسة العكسية التى 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 فى إستنساخ تلك المنتجات، أو فى تحسين وتطوير منتجاتهم لتكون قادرة على المنافسة داخل الأسواق. حيث تتميز تلك التقنية بمجموعة من المميزات التى يصعب الحصول عليها من الأجهزة الأخرى المستخدمة فى تصوير المنتجات بأسلوب ثلاثى الابعاد 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 أى تلف بالعينة المستخدمة(non-destructive testing)، بجانب قدرتها على فحص أى جسم مهما كانت طبيعة سطحه حتى وان كانت شفافة أو معتمة تماما، كذلك يمكنها فحص أى جسم مهما كانت درجة لونه حيث لا تمثل طبيعة السطح ودرجة لونه أى عائق أمام تلك التقنية، كما تتميز تلك التقنية بقدرتها على تصوير الأجزاء والتجاويف الداخلية للاجسام مهما كانت سمك الخامة أو المادة المستخدمة ودرجة كثافتها وتعتبر تلك الميزة من أهم المميزات التى تميز تلك التقنية عن التقنيات الأخرى المستخدمة.أيضاً لا تتوقف المعلومات التى يمكن الحصول عليها على تحديد الشكل الخارجى والداخلى 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 الالياف وترابط الذرات بها وتحديد مناطق الاجهادات الميكانيكة المرتفعة...الخ وتلك المعلومات بجانب المعلومات الأساسية المتمثلة فى تحديد الابعاد الهندسية للجسم سواء الخارجية أو الداخلية يمكنها مساعدة المصممين الصناعيين والمختصين داخل المؤسسات الصناعية على تحديث وتطوير منتجاتهم وتحديد نقاط القوة والضعف بالمنتجات الاخرى والاستفادة المثلى من تلك التقنية بمجال الهندسة العكسية وهذا يعتبر هدف أساسى للبحث وهو القاء الضوء على أهمية تلك التقنية وكيفية الإستفادة منها من خلال المصممين الصناعيين بمجال الهندسة العكسية.

النتائج Results :

1. تهدف الهندسة العكسية فى المساعدة على الوصول لنتائج عن العمليات التى تم تطبيقها فى تصميم المنتجات المنافسة والعمل على تعديل وتحسين خصائص المنتج المراد تصنيعه وإنتاجه.
2. تزايد الاهتمام الصناعى باستخدام تقنية التصوير المقطعى الصناعى المحوسب(iCT) فى مجال الهندسة العكسية من خلال الفحص والتحليل والحصول على ملفات رقمية ثلاثية الأبعاد.
3. تتميز تقنية التصوير المقطعى الصناعى المحوسب بقدرتها على فحص وقياس وتصوير المنتج سواء الشكل الخارجى أو الأجزاء الداخلية دون إحداث أى تلف فى المنتج وخصوصاً تلك المنتجات ذات الأشكال المعقدة أو التى تتكون من أكثر من جزء متداخل.
4. يمكن من خلال تقنية التصوير المقطعى الصناعى المحوسب(iCT) الحصول على كم كبير من المعلومات الخاصة بالجسم المراد فحصه أو تصويره مثل التعرف على نوعية الخامة أو المادة المستخدمة وشكل الالياف وترابط الذرات بها وتحديد مناطق الاجهادات الميكانيكة المرتفعة بها.
5. تتميز تقنية التصوير المقطعى الصناعى المحوسب(iCT) بقدرتها على فحص اى سطح مهما بلغت درجة صعوبته بجانب قدرتها على تصوير الأسطح اللامعة والعاكسة والتى لا تستطيع انظمة التصوير الضوئية من القيام بذلك.
6. تتميز تقنية التصوير المقطعى الصناعى المحوسب(iCT) بقدرتها على اختراق الأسطح والوصول إلى التفاصيل الداخلية حتى وان كان هناك سطح ما يحجب ما خلفه كما تتميز التقنية بقدرتها على قياس الأبعاد الهندسية بدقة عاليه 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 فى 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 فى تطوير منتجات التصميم الصناعى،رسالة ماجستير غير منشورة ،كلية الفنون التطبيقية، جامعة حلوان،جمهورية مصر العربية، ص2-62.*
3. محمود، هانى.(2018): تكنولوجيا التصوير بالاشعاع- البرنامج التدريبى 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'iidarat walaiqtisadi, almujalid 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 .

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

12. Mahmawad, Hanaa.(2018): tuknulujiaa altaswir bialasheae- albarnamaj altadribaa litahil almudrisin bimudrisat aldabeat alfaniyat liltuknulujia 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 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)