





# تقنية التصنيع بالإضافة

الطباعة الثلاثية الأبعاد والنماذج الأولية السريعة والتصنيع الرقمي المباشر

تأليف

Ian Gibson

David Rosen

Brent Stucker

ترجمة

د. جبر عيد أبو قديري

أ. د. عبدالرحمن بن مشيب الأحمري

الأستاذ المشارك بقسم الهندسة الميكانيكية

الأستاذ بقسم الهندسة الصناعية

كلية الهندسة - جامعة الإمارات العربية المتحدة

كلية الهندسة - جامعة الملك سعود

دار جامعة  
الملك سعود للنشر  
KING SAUD UNIVERSITY PRESS



ص. ب. ٦٨٩٥٣ - الرياض ١١٥٣٧ المملكة العربية السعودية

ح) دار جامعة الملك سعود للنشر، ١٤٤٢هـ (٢٠٢١م)

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

جيسون، إيان.

تقنية التصنيع بالإضافة: الطباعة الثلاثية الأبعاد والنماذج الأولية السريعة والتصنيع الرقمي المباشر / إيان جيسون؛ ديفيد روزن؛ برنت ستوكر؛ عبدالرحمن

بن مشبب الأحمري؛ جبر عيد أبو قديري - الرياض، ١٤٤٢هـ.

٧٠٩ ص؛ ١٧ سم × ٢٤ سم

ردمك: ٩-٩٥٤-٥٠٧-٦٠٣-٩٧٨

١- الطباعة ٢- الطباعة - مواصفات قياسية ٣- التقنية أ. روزن، ديفيد (مؤلف مشارك) ب. ستوكر، برنت (مؤلف مشارك) ج. الأحمري، عبدالرحمن بن مشبب

(مترجم) د. أبو قديري، جبر عيد (مترجم) هـ. العنوان

١٤٤٢/٧٩٤٣

ديوي ٢٣، ٦٨٦

رقم الإيداع: ١٤٤٢/٧٩٤٣

ردمك: ٩-٩٥٤-٥٠٧-٦٠٣-٩٧٨

هذه ترجمة عربية محكمة صادرة عن مركز الترجمة بالجامعة لكتاب:

Additive Manufacturing Technologies

3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing

By: Ian Gibson, David Rosen, Brent Stucker.

© Springer Science+Business Media New York, 2015.

وقد وافق المجلس العلمي على نشرها في اجتماعه الخامس عشر للعام الدراسي

١٤٤٢هـ، المنعقد بتاريخ ٠٢/٠٨/١٤٤٢هـ، الموافق ١٥/٠٣/٢٠٢١م.

جميع حقوق النشر محفوظة. لا يسمح بإعادة نشر أي جزء من الكتاب بأي شكل وبأي وسيلة سواء كانت إلكترونية أو آلية بما في ذلك التصوير والتسجيل أو الإدخال في أي نظام حفظ معلومات أو استعادتها بدون الحصول على موافقة كتابية من دار جامعة الملك سعود للنشر.

## مقدمة المترجمين

### TRANSLATORS' INTRODUCTION

أدى التطور المتسارع في عمليات التصنيع إلى ظهور العديد من التقنيات الحديثة التي ساهمت إما في تقليل كلفة الإنتاج، أو في تصنيع منتجات ذات أشكال تصميمية معقدة يصعب إنتاجها من خلال تقنيات التصنيع التقليدية. ظهرت تقنية التصنيع بالإضافة أو ما يسمى بالطباعة الثلاثية الأبعاد التي تعد من التقنيات الحديثة وأحد أهم تقنيات الثورة الصناعية الرابعة، وقد طرأ تحسن كبير، ومتسارع على هذه التقنية خلال السنوات الأخيرة حتى أصبحت هذه التقنية تستخدم من قبل المصنعين لتصنيع منتجاتهم النهائية في الكثير من المجالات.

التصنيع بالإضافة هو بناء المنتج بإضافة طبقة بعد طبقة من المواد بدقة عالية؛ مما يتيح للمصممين حرية بناء المنتج كوحدة واحدة من مادة أو مواد متعددة؛ مما يساعد على تحسين دقة التصنيع للمنتجات، ويقلل من الفاقد للمواد الخام. فأصبح بالإمكان تصنيع منتجات جديدة كان يستحيل إنتاجها، أو كانت كلفة إنتاجها غير اقتصادية في الماضي. كما مكنت هذه التقنية من تصنيع المنتجات وفقاً لمتطلبات العميل، وبسعر منافس، ومكنت الشركات ورجال الأعمال من تنفيذ أفكارهم الإبداعية لابتكار منتجات جديدة.

وقد ساهمت تقنية التصنيع بالإضافة في تحسين تصاميم المنتجات لما تتمتع به من ميزات فريدة تتيح للمصمم اختبار المنتج قبل عملية الإنتاج الفعلي. كما دخلت تقنية التصنيع بالإضافة في العديد من الصناعات بما في ذلك الأدوات والمنتجات في مجالات الطب، والفضاء، وصناعة السيارات، والعديد من الصناعات الأخرى.

يهدف هذا الكتاب إلى إثراء المكتبة العربية بمستجدات تقنيات التصنيع بالإضافة، ومساعدة الطلبة (مرحلة البكالوريوس والدراسات العليا) الذين يدرسون هذه التقنيات، سواء كان ذلك بشكل متخصص أو كجزء من برنامج متكامل في تقنيات التصنيع ومنظوماته. كما يهدف الكتاب إلى توفير مادة علمية حديثة للمهتمين، والمبتكرين العرب (مؤسسات، وأفراد) حول التقنيات المختلفة للتصنيع بالإضافة، وطريقة عملها، ومجالات التحسين الممكنة فيها؛ مما سوف يساعدهم في بناء منظومات، ومنتجات صناعية حديثة تعتمد على تقنيات الطباعة الثلاثية الأبعاد. وفي الختام نتقدم بالشكر، والعرفان إلى مركز الترجمة بجامعة الملك سعود على الدعم والتشجيع لمشروع ترجمة هذا الكتاب.

عبدالرحمن بن مشيب الأحمري

جبر عيد أبو قديري

## شكر وتقدير

### ACKNOWLEDGEMENTS

يتقدم الدكتور برنت ستر بالشكر لولاية يوتا، ومركز البحوث التقنية ف. ت. ت (VTT) في فنلندا، اللذين وفرا الوقت للعمل على الطبعة الأولى من هذا الكتاب في أثناء التفرغ في هلسنكي، ومؤخرا جامعة لوزيفيل لتوفير الحرية الأكاديمية، والبيئة اللازمة لإكمال الطبعة الثانية، بالإضافة إلى ذلك، الكثير من أجزاء هذا الكتاب لم تكن ممكنة لولا جهود العديد من طلاب الدراسات العليا، والباحثين في مرحلة ما بعد الدكتوراه الذين عملوا مع الدكتور ستر على مر السنين، وعلى وجه الخصوص نود أن نشكر الدكتور جاناكي رام من المعهد الهندي للتقنية مدراس، الذي شارك في تأليف الفصل المعنون "تقنيات التصنيع بالإضافة القائمة على الطبقات" في كتيب معالجة المواد س ر س (CRC) الذي ساعد على تنظيم هذا الكتاب. بالإضافة إلى ذلك، فقد أَدَّى عمل الطلاب إلى واحد أو أكثر من الأشياء المذكورة في هذا الكتاب، وكذلك في دليل الحل المصاحب وهم: موني ماهوترا، زيوزي كو، كارسون إسبيلين، آدم سميث، جوشوا جورج، كريستوفر روبنسون، يانزي يانغ، ماثيو سوانك، جون أويلودان، كاي تسنغ، هايجون غونغ، شياو دونغ شينغ، هنغفنغ قو، مد. أنام، ناشيكيت باتيل، ديبانكار بال. شكرا خاصا لزوجة الدكتور ستاكر غيل وأولادها: تريستي وأندرو وميغان وإيها، الذين دعموا بصبر عدة أيام وليالٍ في هذا الكتاب.

أما البروفيسور ديفيد دبليو روزن فيشكر جورجيا للتقنية والكثيرين من طلاب الدراسات العليا ودراسات ما بعد الدكتوراه الذين ساهموا تقنيا في محتوى هذا الكتاب. على وجه الخصوص يشكر الدكتور فيبي دينغ، الدكتور أميت جاريوالا، الدكتور سكوت جونستون، الدكتور أميا ليهاي،

الدكتور ج. مارك ميثام، الدكتور بيناي ساجر، الدكتور ل. أنجيلا تسي، الدكتور هونغ تشينغ وانغ، الدكتور كريس ويليامز، الدكتور يونغ يانغ، الدكتور نتشاو تشو، وكذلك لورين مارغولين وزيايون تشاو. شكر خاص لزوجته جوان والأطفال إيريك وكريستا لصبرهم بينما كان يعمل على هذا الكتاب.

ويود البروفيسور إيان جيسون أن يعرب عن تقديره للدعم الذي تقدمه جامعة ديكن في توفير الوقت الكافي له للعمل في هذا الكتاب.

كما ساعد ل. ك. أناند في إعداد العديد من الرسومات والصور لفصوله، وأخيرا يود البروفيسور إيان جيسون أن يشكر زوجته، لينا، على صبرها وحبها وتفهمها خلال الساعات الطويلة لإعداد المواد وكتابة الفصول. كما يخصص هذا الكتاب لوالده الراحل روبرت إيرفن جيسون، وآملًا أنه سيكون فخورا بهذا الإنجاز الرائع.

## تمهيد

## PREFACE

نشكرك أيها القارئ على بذل الوقت لقراءة هذا الكتاب الموسوم بتقنية التصنيع بالإضافة، ونأمل أن تستفيد من هذا الكتاب الذي بذل الوقت الكثير، والجهد الكبير لتجهيزه، كما نشكرك لاهتمامك وجدير الثقة التي أوليتنا إياها.

بدأنا بهذا كمناقشة في مؤتمر في البرتغال عندما أدرکنا أننا كنا نجمع كتباً ذات أهداف وغايات مماثلة، وبما أننا أصدقاء، فضلاً عن أننا زملاء، بدأ من المعقول أن نقوم بتنظيم صفوفنا والتعاون فيما بيننا - بدلاً من التنافس - وأن نتقاسم العبد، ونقدم نقاط قوة بعضنا لبعض مما سيؤدي إلى الجهد الجماعي في جميع النواحي، ومن ثم الخروج بأفضل النتائج.

وكان سبب تعاوننا في كتابة هذا الكتاب أننا جميعاً نعمل في مجال واحد - مجال التصنيع - بالإضافة إلى خبراتنا لسنوات عديدة. على الرغم من أن أيّاً منّا لا يريد أن يسمى "بالقديم"، إلا أنّ لدينا - بشكل جماعي - ستون عاماً من الخبرة، بالإضافة إلى كل ما سمعناه كمرّين وباحثين في هذا المجال، ولقد رأينا أن التقنيات التي تم وصفها في هذا الكتاب تأخذ شكلاً وتتطوراً إلى أدوات تجارية جادة، مع عشرات الآلاف من المستخدمين، والعديد من الملايين لأجزاء يجري تصنيعها من خلال آلات التصنيع، وذلك في كل سنة. إضافة إلى أنه يجري حالياً إدماج تقنية التصنيع في المناهج الدراسية للعديد من المدارس، والكليات التقنية، والجامعات في جميع أنحاء العالم، وأصبح المزيد والمزيد من الطلاب على بينة من هذه التقنيات، ومع ذلك - كما رأينا - لم يكن هناك مرجع واحد مناسب لهذه المناهج، ونحن نعتقد أن الطبعة الأولى من هذا الكتاب أصبحت قديمة مثل هذا

المرجع، واستنادا إلى المعلومات المحدثة في هذه الطبعة الثانية، نأمل أن تكون قد تحسنت مع هذه البداية.

يتم تعريف التصنيع بالإضافة عن طريق مجموعة من التقنيات القادرة على ترجمة البيانات النموذجية الصلبة الافتراضية إلى نماذج مادية في عملية سريعة وسهلة يتم من خلالها تقسيم البيانات إلى سلسلة من المقاطع العرضية الثنائية الأبعاد من سمك محدود. يتم تغذية هذه المقاطع العرضية في آلات التصنيع بالإضافة، حيث يتم الجمع بينها، وإضافتها معا في تسلسل طبقة تلو طبقة لتشكيل الجزء المادي، ومن ثم فإن الشكل الهندسي للجزء مستنسخ بشكل واضح في آلة التصنيع بالإضافة دون الحاجة إلى ضبط لعمليات التصنيع، مثل الانتباه إلى الأدوات، والقطع غير المكتمل، والزوايا، وغيرها من الميزات. وبذلك يمكننا القول: إن آلة التصنيع بالإضافة هي أن "ما تراه هو ما يقوم ببنائها"، وهذه العملية تصبح ذات قيمة كلما كان الشكل الهندسي أكثر تعقيدا، وهذا المبدأ الأساسي يقود تقريبا جميع آلات التصنيع بالإضافة، مع الاختلافات في التقنيات من حيث التقنية المستخدمة لإعداد الطبقات والربط بينها.

وتشمل الاختلافات الأخرى، السرعة، وسمك الطبقة، ومجموعة من المواد التي يمكن تصنيعها، وكذلك الدقة، وبلا شك التكلفة، ومع ما نراه من الكثير من المتغيرات، فإنه يمكننا أن ندرك لماذا هذا الكتاب يجب أن يكون طويلا ومفصلا؟!، ومع هذا كله فنحن ما زلنا نرى أن هناك أكثر من ذلك بكثير يمكن أن يكتب عنه.

جاء تقديم الفصول الثلاثة الأولى من هذا الكتاب كنظرة عامة أساسية عن عمليات التصنيع بالإضافة، دون وصف كامل لكل تقنية، ونحن نقدم شرحًا، لماذا التصنيع بالإضافة مهم جدا لكثير من فروع الصناعة؟ ونقدم كذلك الخطوط العريضة للتطور السريع لهذه التقنية من البدايات المتواضعة الواعدة التي كانت ولا تزال تتطلب الكثير من التنمية، إلى أنها أصبحت ناضجة الآن وتبين فائدة حقيقية لمنظمات تطوير المنتجات.

وبعد قراءة هذه الفصول، نأمل أن تتمكن من معرفة أساسيات عمل التصنيع بالإضافة.

ثم بعد ذلك تناول الفصول التسعة التالية (الفصول ٤ - ١٢) كل مجموعة من التقنيات ووصفها بالتفصيل، ويتم التعامل مع أساسيات كل تقنية من حيث العملية الأساسية، سواء كان ذلك ينطوي على معالجة لفوتوبوليمر، أو تلييد، أو ذوبان، وما إلى ذلك، حتى يتمكن القارئ من تقدير ما هو

مطلوب من أجل فهم كل تقنية، وتطويرها، وتحسينها، ونود أن نلفت النظر إلى أن معظم التقنيات التي نوقشت في هذا الكتاب قد استُغلت من قبل شركة واحدة على الأقل، ووصفت هذه الآلات جنباً إلى جنب مع مناقشة حول كيفية الحصول على أفضل النتائج منها، وأما الفصل الأخير من هذه المجموعة فقد ركز على العمليات والآلات غير المكلفة التي تتداخل مع بعض المواد في الفصول السابقة، وذلك لشعورنا أن الاهتمام المتزايد باطراد بهذه الآلات المنخفضة التكلفة يبرر المعاملة الخاصة لها.

وتتناول الفصول النهائية من هذا الكتاب كيفية تطبيق تقنية التصنيع بالإضافة في بيئات مختلفة أولاً، ثم تطرقنا لطرائق الاختيار لفرز العديد من الخيارات المتعلقة بنوع الجهاز الواجب شراؤه فيما يتعلق بحاجتك وتقديم إرشادات حول كيفية اختيار التقنية المناسبة للحاجة الخاص بك، وبما أن جميع آلات التصنيع بالإضافة تعتمد على المدخلات من برنامج تصميم ثلاثي الأبعاد فسيتم مناقشة كيف تجري هذه العملية أيضاً، وسيتبع ذلك مناقشة أساليب المعالجة اللاحقة وتقنياتها بحيث إذا كانت الآلة والمواد لا تنتج بالضبط ما تريد، فلديك وسيلة لتحسين خصائص المنتج ومظهره، وختمت هذه المجموعة بفصل عن البرمجيات في التصنيع بالإضافة يكمل هذه المجموعة من الفصول.

إن تقنيات التصنيع بالإضافة قد تحسنت إلى حد أن العديد من الشركات المصنعة تستخدم آلات التصنيع بالإضافة لإنتاج منتجات نهائية جاهزة للاستخدام، وهذا ما يطلق عليه التصنيع الرقمي المباشر، وهو ما يفتح الباب أمام العديد من التطبيقات المثيرة التي كانت تعد مستحيلة أو غير قابلة للتطبيق أو غير اقتصادية في الماضي. أما الآن فيمكننا النظر في إمكانية التخصيص الشامل، بحيث يمكن أن يتم بناء المنتج وفقاً لذوق المستهلك وبسرعة مناسبة. ثم استعرضنا كيف أثر استخدام هذه التقنية في عملية التصميم، والنظر في إمكانية تحسين تصاميمنا باستخدام نهج "ما تراه هو ما ستبنيه" وهذا يقودنا على نحو جيد للتطبيقات التصنيع بالإضافة، بما في ذلك الأدوات والمنتجات في الصناعات الطبية وصناعات الفضاء، والسيارات، وأنبينا هذا الكتاب بفصل عن الأعمال التجارية على مستوى المؤسسة، في جوانب التصنيع بالإضافة، والتحقق من كيفية تمكن نظم الشركات الإبداعية ورجال الأعمال لاختراع منتجات جديدة، وكيف يمكن تطوير تقنية التصنيع بالإضافة في المستقبل.

ويستهدف هذا الكتاب في المقام الأول الطلاب والمعلمين الذين يدرسون التصنيع بالإضافة، إما كمقرر دراسي مستقل أو ضمن برنامج أوسع عن تقنية التصنيع، ونحن ندرك أن هناك عمقاً كافياً للمقررات الجامعية أو على مستوى الدراسات العليا، مع العديد من المراجع.

وحرصنا في هذا الكتاب أن يحتوي كل فصل أيضا على عدد من الأسئلة تهدف إلى اختبار معرفة القارئ وتوسيع تفكيره، والآن نعمل على تطوير دليل مدرب مصاحب كجزء من الطبعة الثانية لتشمل تمارين إضافية مع حلولها، لمساعدة المعلمين، ويمكن للباحثين في التصنيع بالإضافة أيضا أن يجدوا هذا الكتاب مفيدا في مساعدتهم على فهم المراجعة الأدبية والفرص المتاحة لمزيد من البحث.

مع العلم أننا حققنا مجموعة واسعة من التغييرات في الانتقال من الطبعة الأولى، التي أنجزت في عام ٢٠٠٩م، إلى هذه الطبعة الجديدة. فضلا عن تحديث كل شيء إلى ما تم التوصل إليه في هذا المجال المتغير بسرعة، كما أضفنا العديد من الأقسام والفصول الجديدة، وقد توسعنا في الفصل المتعلق بالتطبيقات الطبية ليشمل مناقشة بشأن المركبات والتطبيقات الفضائية، وهناك فصل جديد عن الأدوات السريعة وكذلك فصل آخر يناقش التطورات الحديثة المتعلقة بتقنية التصنيع بالإضافة المنخفضة التكلفة، وقمنا أيضا بإدراج مجموعة من الابتكارات التقنية الحديثة، بما في ذلك مناقشة حول النسق الجديد لملفات التصنيع المضافة، فضلا عن التطورات المتعلقة بتوافق تقنية التصنيع بالإضافة مع قواعد الجمعية الأمريكية لاختبار المواد (ASTM) والأيزو. كما قمنا بتحديث المصطلحات في النص لتتوافق مع المصطلحات التي وضعتها لجنة أ ل ف ٢٤ (F24) التابعة للجمعية الأمريكية لاختبار المواد. كما قمنا بتحديث المصطلحات في النص لتتوافق مع المصطلحات التي وضعتها لجنة أستم F42، والتي تم اعتمادها أيضا كمييار أيزو الدولي، وفي الطبعة الثانية هذه قمنا بتحرير النص إلى أكبر قدر ممكن، وإزالة الإشارات إلى تقنيات محددة للشركات وبدلا من ذلك قمنا بالتركيز أكثر على المبادئ التقنية، والفهم العام؛ فقمنا بتقسيم الفصل الخاص بعمليات الطباعة إلى فصلين: الأول عن بثق المواد، والآخر عن نفث المواد الرابطة لتعكس المصطلحات القياسية وتطور هذه العمليات في اتجاهات مختلفة، ونتيجة لهذه الإضافات والتغييرات العديدة، نرى أن هذه الطبعة أصبحت الآن أكثر شمولاً وتميُّزاً بكثير من الطبعة الأولى.

وعلى الرغم من أننا عملنا بجد لجعل هذا الكتاب شاملا قدر الإمكان، فإننا ندرك أن كتابا عن هذه التقنية المتغيرة بسرعة لن يكون محدثا لفترة طويلة جدا، ومع وضع هذا في الاعتبار، سنقوم بمساعدة المعلمين والطلاب لاستخدام أفضل لهذا الكتاب، وسوف نقوم بتحديث موقعنا <http://www.springer.com/978-1-4419-1119-3> بتمارين إضافية وغيرها من المساعدات للمعلمين، وإذا كان لديك تعليقات، أو أسئلة، أو اقتراحات للتحسين، فهي موضع ترحيب منا.

هذا وتوقع تحديث هذا الكتاب في المستقبل، وتتطلع إلى الاستماع إلى كيفية استخدامك لهذه المواد وكيفية تحسين هذا الكتاب.

كما ذكر سابقاً، فكل مؤلف - مناً - هو خير راسخ في التصنيع بالإضافة مع سنوات عديدة من الخبرة البحثية بطرائق عديدة، وتجدر الإشارة إلى أنه ما كان لهذا الكتاب أن يرى النور لولا العديد من الطلاب، والزملاء الذين تعاونوا معهم على مر السنين، ونختم المقدمة بتقديم سيرة ذاتية مختصرة للمؤلفي هذا الكتاب، وبعض من ساعد في إخراج هذا الكتاب، هذا ولكم وافر الشكر.

إيان جيسون سنغافورة، سنغافورة

ديفيد روزن أتلانتا، جورجيا، الولايات المتحدة الأمريكية

برنت ستوكر لويسفيل، كنتاكي، الولايات المتحدة الأمريكية



## المحتويات

### CONTENTS

هـ	مقدمة المترجمين
ز	شكر وتقدير
ط	تمهيد
١	الفصل الأول: المقدمة والمبادئ الأساسية
١	(١-١) ما التصنيع بالإضافة؟
٤	(٢-١) ما استخدامات الأجزاء المنتجة بالتصنيع بالإضافة؟
٥	(٣-١) الشكل العام لعملية التصنيع بالإضافة
٥	(١-٣-١) الخطوة الأولى: التصميم باستخدام الحاسوب Step1: CAD
٦	(٢-٣-١) الخطوة الثانية: التحويل إلى صيغة (STL)
٦	(٣-٣-١) الخطوة الثالثة: النقل إلى آلة التصنيع بالإضافة ومعالجة ملف الـ (STL)
٧	(٤-٣-١) الخطوة الرابعة: ضبط الآلة
٧	(٥-٣-١) الخطوة الخامسة: بناء المنتج
٧	(٦-٣-١) الخطوة السادسة: إخراج المنتج
٧	(٧-٣-١) الخطوة السابعة: المعالجة البعدية
٧	(٨-٣-١) الخطوة الثامنة: التطبيق

- ٨ ..... (٤-١) لماذا يستخدم مصطلح التصنيع بالإضافة .....
- ٩ ..... (١-٤-١) التصنيع الآلي .....
- ٩ ..... (٢-٤-١) تصنيع شكل حر أو شكل حر صلب .....
- ٩ ..... (٣-٤-١) التصنيع بالإضافة أو التصنيع القائم على الطبقات .....
- ١٠ ..... (٤-٤-١) الطباعة المجسمة أو الطباعة الثلاثية الأبعاد .....
- ١٠ ..... (٥-٤-١) النمذجة السريعة .....
- ١١ ..... (٥-١) فوائد التصنيع بالإضافة .....
- ١٣ ..... (٦-١) الاختلاف بين التصنيع بالإضافة والتصنيع باستخدام التحكم الرقمي .....
- ١٣ ..... (١-٦-١) المادة .....
- ١٤ ..... (٢-٦-١) السرعة .....
- ١٤ ..... (٣-٦-١) درجة التعقيد .....
- ١٥ ..... (٤-٦-١) الدقة .....
- ١٦ ..... (٥-٦-١) الشكل الهندسي .....
- ١٧ ..... (٦-٦-١) البرمجة .....
- ١٧ ..... (٧-١) أمثلة على منتجات التصنيع بالإضافة .....
- ١٨ ..... (٨-١) تقنيات أخرى ذات صلة .....
- ١٩ ..... (١-٨-١) تقنية الهندسة العكسية .....
- ٢٠ ..... (٢-٨-١) الهندسة بمساعدة الحاسوب .....
- ٢١ ..... (٣-٨-١) التصميم بواسطة الحاسوب اللمسي .....
- ٢٢ ..... (٩-١) بالنسبة لهذا الكتاب .....
- ٢٣ ..... (١٠-١) تمرينات .....
- ٢٤ ..... المراجع .....
- ٢٥ ..... الفصل الثاني: تطور تقنية التصنيع بالإضافة .....
- ٢٥ ..... (١-٢) مقدمة .....

## المحتويات

ف

- ٢٦..... أجهزة الحاسوب (٢-٢)
- ٢٩..... تقنية التصميم بمساعدة الحاسوب (٣-٢)
- ٣٥..... تقنيات أخرى مرتبطة بالتصنيع بالإضافة (٤-٢)
- ٣٥..... الليزر (١-٤-٢)
- ٣٦..... تقنية الطباعة (٢-٤-٢)
- ٣٧..... المتحكمات المنطقية المبرمجة (٣-٤-٢)
- ٣٧..... المواد (٤-٤-٢)
- ٣٧..... التشغيل باستخدام التحكم الرقمي بالحاسوب (٥-٤-٢)
- ٣٩..... استخدام الطبقات (٥-٢)
- ٤٠..... تصنيف عمليات التصنيع بالإضافة (٦-٢)
- ٤٢..... نظم البوليمر السائل (١-٦-٢)
- ٤٣..... نظم الحبيبات المنفصلة (٢-٦-٢)
- ٤٤..... أنظمة المواد المنصهرة (٣-٦-٢)
- ٤٦..... أنظمة الرقائق الصلبة (٤-٦-٢)
- ٤٦..... الخطوط الحديثة لتصنيف عمليات التصنيع بالإضافة (٥-٦-٢)
- ٤٨..... النظم المعدنية (٧-٢)
- ٤٩..... النظم الهجينة (٨-٢)
- ٥٠..... معالم في تطور التصنيع بالإضافة (٩-٢)
- ٥٣..... التصنيع بالإضافة حول العالم (١٠-٢)
- ٥٥..... المستقبل؟ النمذجة السريعة تتطور إلى التصنيع الرقمي المباشر (١١-٢)
- ٥٦..... تمرينات (١٢-٢)
- ٥٧..... المراجع
- ٥٩..... الفصل الثالث: التسلسل العام لعملية التصنيع بالإضافة
- ٥٩..... (١-٣) مقدمة

- ٦٠..... (٢-٣) الخطوات الثمان في عمليات التصنيع بالإضافة.....
- ٦١..... (١-٢-٣) الخطوة الأولى: وضع التصور العام والتصميم باستخدام الحاسوب.....
- ٦٣..... (٢-٢-٣) الخطوة الثانية: التحويل إلى ملف بصيغة (STL/AMF).....
- ٦٤..... (٣-٢-٣) الخطوة الثالثة: نقل ومعالجة ملف STL/AMF على آلة التصنيع بالإضافة.....
- ٦٥..... (٤-٢-٣) الخطوة الرابعة: تهيئة الآلة.....
- ٦٦..... (٥-٢-٣) الخطوة الخامسة: بناء الجزء المراد إنتاجه.....
- ٦٦..... (٦-٢-٣) الخطوة السادسة: إخراج المنتج من الآلة وتنظيفه.....
- ٦٧..... (٧-٢-٣) الخطوة السابعة: إجراء معالجات نهائية للجزء المنتج.....
- ٦٨..... (٨-٢-٣) الخطوة الثامنة: التطبيق.....
- ٦٨..... (٣-٣) الاختلافات من آلة تصنيع بالإضافة إلى أخرى.....
- ٧٠..... (١-٣-٣) النظم القائمة على فوتوبوليمر.....
- ٧٠..... (٢-٣-٣) أنظمة القائمة على المسحوق.....
- ٧١..... (٣-٣-٣) نظم المواد المنصهرة.....
- ٧٢..... (٤-٣-٣) الصفائح الصلبة.....
- ٧٢..... (٤-٣) أنظمة المعادن.....
- ٧٢..... (١-٤-٣) استخدام الركائز.....
- ٧٣..... (٢-٤-٣) كثافة الطاقة.....
- ٧٣..... (٣-٤-٣) الوزن.....
- ٧٣..... (٤-٤-٣) الدقة.....
- ٧٣..... (٥-٤-٣) السرعة.....
- ٧٤..... (٥-٣) صيانة المعدات.....
- ٧٤..... (٦-٣) قضايا مناولة المواد.....
- ٧٦..... (٧-٣) التصميم لعمليات التصنيع بالإضافة.....
- ٧٦..... (١-٧-٣) توجيه الجزء.....
- ٧٧..... (٢-٧-٣) إزالة الدعائم.....

## المحتويات

ق

٧٧	الأجزاء ذات التجايف الخارجية (٣-٧-٣)
٧٨	إدراج مجرى سفلي وقيود التصنيع الأخرى (٤-٧-٣)
٧٨	السمات المتشابهة (٥-٧-٣)
٧٩	تقليل عدد الأجزاء في التركيب (٦-٧-٣)
٨٠	تحديد العلامات / الأرقام (٧-٧-٣)
٨٠	مجالات التطبيق التي لا تنطوي على نمذجة التصميم المحوسب التقليدية (٨-٣)
٨٠	النمذجة الطيبة (١-٨-٣)
٨١	بيانات الهندسية العكسية (٢-٨-٣)
٨١	النمذجة المعمارية (٣-٨-٣)
٨١	مزيد من المناقشة (٩-٣)
٨٣	تمرينات (١-٩-٣)
٨٤	المراجع
٨٥	الفصل الرابع: عمليات البلمرة الضوئية الطبقة
٨٥	مقدمة (١-٤)
٨٩	المواد المستخدمة في عملية البلمرة الضوئية الطبقة (٢-٤)
٨٩	الفوتوبوليمرات القابلة للمعالجة بالأشعة فوق البنفسجية (١-٢-٤)
٩٢	نظرة عامة على التكوين الكيميائي للبوليمرات الضوئية (٢-٢-٤)
٩٥	صنغ مركبات الراتنجات وآليات تفاعلها (٣-٢-٤)
٩٦	نظام بادئ التفاعل الضوئي (١-٣-٢-٤)
٩٨	صنغ تركيبات المونومر (٢-٣-٢-٤)
٩٩	تكوين شبكة البوليمر المتداخلة (٣-٣-٢-٤)
١٠١	معدلات التفاعل (٣-٤)
١٠٢	البلمرة الضوئية الطبقة بواسطة المسح بالليزر (٤-٤)
١٠٣	نمذجة عملية البلمرة الضوئية (٥-٤)

- ١٠٤ ..... (١-٥-٤) الإشعاع والتعرض
- ١٠٨ ..... (٢-٥-٤) تفاعل الليزر مع الراتنج
- ١١١ ..... (٣-٥-٤) سرعة المعالجة بالضوء
- ١١٢ ..... (٤-٥-٤) المقاييس الزمنية
- ١١٤ ..... (٦-٤) آلات البلمرة الضوئية الطباقية ذات المسح الاتجاهي
- ١١٩ ..... (٧-٤) نماذج المسح
- ١١٩ ..... (١-٧-٤) ظواهر التصنيع الطبقي والأخطاء المتعلقة به
- ١٢١ ..... (٢-٧-٤) تقنية (WEAVE)
- ١٢٣ ..... (٣-٧-٤) تقنية (STAR-WEAVE)
- ١٢٦ ..... (٤-٧-٤) نموذج المسح (ACES)
- ١٣١ ..... (٨-٤) البلمرة الضوئية الطباقية الميكروية بالمسح الاتجاهي
- ١٣٤ ..... (٩-٤) تقنيات وعمليات البلمرة الضوئية الطباقية باستخدام طباعة (إسقاط) الأوجه
- ١٣٤ ..... (١-٩-٤) تقنية البلمرة الضوئية الطباقية باستخدام آلية إسقاط الأوجه
- ١٣٦ ..... (٢-٩-٤) أنظمة MPVP التجارية
- ١٣٨ ..... (٣-٩-٤) النمذجة باستخدام (MPVP)
- ١٤٠ ..... (١٠-٤) البلمرة الضوئية الطباقية باستخدام فوتونين
- ١٤٢ ..... (١١-٤) مميزات وعيوب العملية
- ١٤٤ ..... (١٢-٤) ملخص
- ١٤٤ ..... (١٣-٤) تمرينات
- ١٤٦ ..... المراجع
- ١٥١ ..... الفصل الخامس: عمليات صهر فرش المسحوق
- ١٥١ ..... (١-٥) مقدمة
- ١٥٤ ..... (٢-٥) المواد المستخدمة
- ١٥٤ ..... (١-٢-٥) البوليمرات ومركباتها

١٥٧	(٢-٢-٥) المعادن ومركباتها
١٥٩	(٣-٢-٥) السيراميك ومركباته
١٦٠	(٣-٥) آليات صهر المسحوق
١٦٠	(١-٣-٥) التكلّيس في الحالة الصلبة
١٦٤	(٢-٣-٥) التكلّيس الكيميائي
١٦٥	(٣-٣-٥) تكلّيس البوليمرات بالليزر والذوبان الجزئي
١٦٧	(١-٣-٣-٥) المواد المتمايزة (الرابطه والتكوينية)
١٧٠	(٢-٣-٣-٥) المواد غير المتمايزة (الرابطه والتكوينية)
١٧١	(٤-٣-٥) الانصهار التام
١٧٣	(٥-٣-٥) تصنيع الجزء
١٧٣	(١-٥-٣-٥) الأجزاء المعدنية
١٧٥	(٢-٥-٣-٥) الأجزاء السيراميكية
١٧٥	(٤-٥) متغيرات العملية ونمذجتها
١٧٦	(١-٤-٥) العوامل المؤثرة في العملية
١٧٩	(٢-٤-٥) العلاقات الارتباطية للطاقة المستخدمة وأنماط المسح
١٨٣	(٥-٥) مناولة المسحوق
١٨٣	(١-٥-٥) معوقات مناولة المسحوق
١٨٥	(٢-٥-٥) أنظمة التحكم في المسحوق
١٨٧	(٣-٥-٥) إعادة تدوير المسحوق
١٨٩	(٦-٥) متغيرات عملية صهر فرش المسحوق والآلات التجارية المستخدمة فيها
١٩٠	(١-٦-٥) تكلّيس البوليمر بالليزر
١٩٤	(٢-٦-٥) أنظمة معالجة المعادن ومواد السيراميك باستخدام الليزر
١٩٩	(٣-٦-٥) الذوبان باستخدام الأشعة الإلكترونية
٢٠٤	(٤-٦-٥) عمليات صهر فرش مسحوق البوليمرات الخطية والطبقية
٢٠٨	(٧-٥) مميزات وعيوب العملية

٢١٠	..... مُلخَص (٨-٥)
٢١١	..... تمرينات (٩-٥)
٢١٢	..... المراجع
٢١٣	..... الفصل السادس: الأنظمة المعتمدة على البثق
٢١٣	..... (١-٦) مقدمة
٢١٥	..... (٢-٦) قواعد أساسية
٢١٥	..... (١-٢-٦) تحميل (ملء) المادة
٢١٦	..... (٢-٢-٦) الإسالة
٢١٦	..... (٣-٢-٦) البثق
٢٢١	..... (٤-٢-٦) التصلب
٢٢٢	..... (٥-٢-٦) التحكم الوضعي
٢٢٤	..... (٦-٢-٦) التماسك (الترابط)
٢٢٥	..... (٧-٢-٦) تصنيع الدعائم
٢٢٦	..... (٣-٦) التحكم في الرسم والمسار
٢٣١	..... (٤-٦) نمذجة الترسيب المنصهر بواسطة "ستراتاسيس"
٢٣٢	..... (١-٤-٦) أنواع آلات (FDM)
٢٣٤	..... (٥-٦) المواد
٢٣٧	..... (٦-٦) حدود استخدام عملية نمذجة الترسيب المنصهر (FDM)
٢٣٨	..... (٧-٦) البثق العضوي
٢٣٩	..... (١-٧-٦) تكوين المادة الهلامية
٢٤٠	..... (٢-٧-٦) بثق المادة المنصهرة
٢٤٢	..... (٣-٧-٦) الطرز التصميمية للسقالات
٢٤٢	..... (٨-٦) أنظمة أخرى
٢٤٣	..... (١-٨-٦) صناعة حدود الشكل

## المحتويات

ث

٢٤٣	..... الأنظمة غير المستوية (٢-٨-٦)
٢٤٥	..... عملية الـ FDM لمواد السيراميك (٣-٨-٦)
٢٤٥	..... نظامي ريراب وفاب آت هوم (٤-٨-٦)
٢٤٧	..... تمرينات (٩-٦)
٢٤٨	..... المراجع
٢٤٩	..... الفصل السابع: الطباعة النفثية
٢٥٠	..... (١-٧) تطور الطباعة كإحدى عمليات التصنيع بالإضافة
٢٥١	..... (٢-٧) المواد المستخدمة في الطباعة النفثية
٢٥٢	..... (١-٢-٧) البوليمرات
٢٥٦	..... (٢-٢-٧) مواد السيراميك
٢٥٨	..... (٣-٢-٧) المعادن
٢٦١	..... (٤-٢-٧) عملية الترسيب بالحمل، والتوزيع بواسطة المائع
٢٦٣	..... (٣-٧) القواعد الأساسية لمعالجة المواد
٢٦٣	..... (١-٣-٧) الصعوبات التقنية لعملية الطباعة النفثية
٢٦٦	..... (٢-٣-٧) تقنيات تشكيل القطرات
٢٦٦	..... (٣-٣-٧) الترسيب بالتدفق الممتد
٢٦٨	..... (٤-٣-٧) آلية التقطير حسب الحاجة (DOD)
٢٧١	..... (٥-٣-٧) الوسائل الأخرى المستخدمة في تكوين القطرات
٢٧٣	..... (٤-٧) نمذجة عملية الطباعة النفثية
٢٧٩	..... (٥-٧) آلات الطباعة النفثية
٢٨١	..... (٦-٧) مميزات وعيوب العملية
٢٨٣	..... (٧-٧) ملخص
٢٨٣	..... (٨-٧) تمرينات
٢٨٦	..... المراجع

٢٨٩	الفصل الثامن: الطباعة بنفث المادة الرابطة .....
٢٨٩	(١-٨) مقدمة .....
٢٩٢	(٢-٨) المواد المستخدمة .....
٢٩٢	(١-٢-٨) المواد المتوفرة في السوق .....
٢٩٤	(٢-٢-٨) دراسة المواد السيراميكية .....
٢٩٦	(٣-٨) تعديلات العملية .....
٣٠٠	(٤-٨) آلات الطباعة بنفث المادة اللاصقة .....
٣٠٤	(٥-٨) مميزات وعيوب العملية .....
٣٠٥	(٦-٨) ملخص .....
٣٠٥	(٧-٨) تمرينات .....
٣٠٧	المراجع .....

٣٠٩	الفصل التاسع: عمليات تصفيح الألواح الورقية .....
٣٠٩	(١-٩) مقدمة .....
٣١٠	(١-١-٩) الترابط الصمغي أو التماسكي .....
٣١١	(٢-١-٩) عمليات الربط ثم التشكيل .....
٣١٤	(٣-١-٩) عمليات التشكيل ثم الربط .....
٣١٧	(٢-٩) المواد المستخدمة .....
٣١٩	(٣-٩) القواعد الأساسية لمعالجة المواد .....
٣١٩	(١-٣-٩) الربط (التماسك) الحراري .....
٣٢١	(٢-٣-٩) قشط الألواح المعدنية .....
٣٢٢	(٤-٩) التصنيع بالإضافة باستخدام الموجات فوق الصوتية .....
	(١-٤-٩) جودة عملية الربط في عمليات التصنيع بالإضافة باستخدام الموجات فوق
٣٢٦	الصوتية .....
٣٢٨	(٢-٤-٩) أساسيات عملية لحام المعادن بالموجات فوق الصوتية (UMW) .....

٣٣١	معاملات عملية التصنيع بالإضافة بالموجات فوق الصوتية وضبط العملية ... (٣-٤-٩)
٣٣١	سعة الاهتزاز (١-٣-٤-٩) .....
٣٣٢	القوة العمودية (٢-٣-٤-٩) .....
٣٣٢	سرعة انتقال السونوترود (٣-٣-٤-٩) .....
٣٣٢	زيادة درجة الحرارة قبل العملية (٤-٣-٤-٩) .....
٣٣٣	عناصر أخرى (٥-٣-٤-٩) .....
	التصميمات الدقيقة والخصائص الميكانيكية للأجزاء المصنوعة بواسطة التصنيع
٣٣٤	بالإضافة باستخدام الموجات فوق الصوتية .....
٣٣٤	العيوب (١-٤-٤-٩) .....
	البنى المجهرية المصنعة بواسطة التصنيع بالإضافة باستخدام
٣٣٧	الموجات فوق الصوتية .....
٣٣٨	الخصائص الميكانيكية (٣-٤-٤-٩) .....
٣٣٩	تطبيقات التصنيع بالإضافة باستخدام الموجات فوق الصوتية .....
٣٤٠	التفاصيل الداخلية (١-٥-٤-٩) .....
٣٤٠	مرونة المادة (٢-٥-٤-٩) .....
٣٤١	دمج الألياف (٣-٥-٤-٩) .....
٣٤٣	التصميمات الذكية (٤-٥-٤-٩) .....
٣٤٥	ملخص (٥-٩) .....
٣٤٦	تمرينات (٦-٩) .....
٣٤٦	المراجع .....
٣٤٩	الفصل العاشر: عمليات الترسيب بالطاقة الموجهة .....
٣٤٩	مقدمة (١-١٠) .....
٣٥٢	الوصف العام لعمليات الترسيب بالطاقة الموجهة (DED) .....
٣٥٤	توصيل المادة (٣-١٠) .....

- ٣٥٤ ..... التغذية بالمسحوق (١-٣-١٠)
- ٣٥٩ ..... التغذية بسلك من المادة (٢-٣-١٠)
- ٣٦٠ ..... أنظمة الترسيب بالطاقة الموجهة (DED) (٤-١٠)
- ٣٦٠ ..... عمليات ترسيب المعادن بالليزر (LBMD) (١-٤-١٠)
- ٣٦٥ ..... عمليات ترسيب المعادن باستخدام الشعاع الإلكتروني (٢-٤-١٠)
- ٣٦٦ ..... عمليات أخرى لترسيب المواد بالطاقة الموجهة Other DED Processes (٣-٤-١٠)
- ٣٦٧ ..... متغيرات العملية (٥-١٠)
- ٣٦٨ ..... المواد المستخدمة ونماذج التصميمات الدقيقة (٦-١٠)
- ٣٧٤ ..... العلاقات بين تفاصيل العملية وبنية التصنيع وخصائص النموذج (٧-١٠)
- ٣٨١ ..... مميزات وعيوب عملية ترسيب المواد باستخدام الطاقة الموجهة (٨-١٠)
- ٣٨٣ ..... تمرينات (٩-١٠)
- ٣٨٤ ..... المراجع
- ٣٨٥ ..... الفصل الحادي عشر: تقنيات الكتابة المباشرة.
- ٣٨٥ ..... تقنيات الكتابة المباشرة (١-١١)
- ٣٨٦ ..... لمحة أساسية (٢-١١)
- ٣٨٧ ..... الكتابة المباشرة بالحبر (٣-١١)
- ٣٨٩ ..... عمليات التوزيع من خلال فوهة (١-٣-١١)
- ٣٩٢ ..... عمليات الترسيب بأقلام الحبر (٢-٣-١١)
- ٣٩٤ ..... عمليات الطباعة الحبرية (٣-٣-١١)
- ٣٩٦ ..... الكتابة المباشرة بالرذاذ (٤-٣-١١)
- ٣٩٨ ..... الكتابة المباشرة بالنقل بواسطة الليزر (٤-١١)
- ٤٠١ ..... عملية الكتابة المباشرة بالرش الحراري (٥-١١)
- ٤٠٤ ..... الكتابة المباشرة بتقنية الترسيب الإشعاعي (٦-١١)
- ٤٠٤ ..... الترسيب البخاري الكيميائي بالليزر (١-٦-١١)

٤٠٧	..... (١١-٦-٢) الترسيب البخاري الكيميائي بالشعاع الأيوني المركز
٤٠٨	..... (١١-٦-٣) الترسيب البخاري الكيميائي بالشعاع الإلكتروني
٤٠٨	..... (١١-٧) الترسيب المباشر في الحالة السائلة
٤١٠	..... (١١-٨) تطبيقات تتبع الأشعة الخاصة بتقنية الكتابة المباشرة بالإضافة/ بالطرح
٤١١	..... (١١-٨-١) تقنية تتبع الشعاع الإلكتروني
٤١٢	..... (١١-٨-٢) تقنية تتبع الشعاع الأيوني المركز
٤١٢	..... (١١-٨-٣) تقنية تتبع شعاع الليزر
٤١٣	..... (١١-٩) التقنيات المركبة
٤١٤	..... (١١-١٠) التطبيقات الخاصة بتقنيات الكتابة المباشرة
٤١٧	..... (١١-١٠-١) تمارينات
٤١٧	..... المراجع

٤١٩	..... الفصل الثاني عشر: أثر استخدام أنظمة التصنيع بالإضافة ذات التكلفة المنخفضة
٤١٩	..... (١٢-١) مقدمة
٤٢١	..... (١٢-٢) الملكية الفكرية
٤٢٣	..... (١٢-٣) الابتكار الكاسح (المُربك)
٤٢٣	..... (١٢-٣-١) الفرص الكاسحة للسوق
٤٢٥	..... (١٢-٣-٢) الاهتمام الإعلامي
٤٢٨	..... (١٢-٤) حركة الصانع
٤٣٠	..... (١٢-٥) مستقبل عمليات التصنيع بالإضافة المنخفضة التكلفة
٤٣٠	..... (١٢-٦) تمارينات
٤٣١	..... المراجع

٤٣٣	..... الفصل الثالث عشر: الإرشادات الخاصة باختيار العملية
٤٣٣	..... (١٣-١) مقدمة

- ٤٣٥ ..... (١٣-٢) طرائق اختيار عملية التصنيع
- ٤٣٥ ..... (١٣-٢-١) نظرية القرار
- ٤٣٦ ..... (١٣-٢-٢) طرائق دراسة الجدوى
- ٤٣٩ ..... (١٣-٢-٣) طرائق عملية الاختيار
- ٤٤٣ ..... (١٣-٢-٤) مثال على عملية اختيار
- ٤٤٨ ..... (١٣-٣) التحديات التي تواجه عملية الاختيار
- ٤٥١ ..... (١٣-٤) نظام تمثيلي للاختيار المبدئي
- ٤٥٩ ..... (١٣-٥) التخطيط والتحكم في عملية الإنتاج
- ٤٦٠ ..... (١٣-٥-١) تخطيط الإنتاج
- ٤٦١ ..... (١٣-٥-٢) المعالجة قبل الإنتاج
- ٤٦١ ..... (١٣-٥-٣) تصنيع النموذج / الجزء
- ٤٦٢ ..... (١٣-٥-٤) المعالجة بعد التصنيع
- ٤٦٣ ..... (١٣-٥-٥) تليخيص
- ٤٦٣ ..... (١٣-٦) موضوعات مفتوحة
- ٤٦٤ ..... (١٣-٧) تمرينات
- ٤٦٥ ..... المراجع
- ٤٦٧ ..... الفصل الرابع عشر: المعالجة بعد التصنيع
- ٤٦٧ ..... (١٤-١) مقدمة
- ٤٦٨ ..... (١٤-٢) إزالة المادة الداعمة
- ٤٦٨ ..... (١٤-٢-١) مرحلة المعالجة بعد التصنيع الخاصة بالدعامات الطبيعية
- ٤٧١ ..... (١٤-٢-٢) إزالة الدعامات التركيبية
- ٤٧٢ ..... (١٤-٢-٢-١) الدعامات المصنعة من مادة التصنيع ذاتها
- ٤٧٣ ..... (١٤-٢-٢-٢) الدعامات المصنعة من مواد ثانوية
- ٤٧٤ ..... (١٤-٣) عمليات تحسين التفاصيل السطحية

٤٧٥	(٤-١٤) عمليات تحسين الدقة .....
٤٧٥	(١-٤-١٤) مصادر انعدام دقة التصنيع .....
٤٧٦	(٢-٤-١٤) معالجة النموذج قبل إنتاجه لتعويض انخفاض الدقة .....
٤٧٨	(٣-٤-١٤) خطة التشغيل .....
٤٧٩	(١-٣-٤-١٤) التفريز التكيّفي التسامتي .....
٤٨٠	(٢-٣-٤-١٤) تشغيل خطوط تحديد الحواف الحادة .....
٤٨٣	(٣-٣-٤-١٤) عمل الثقوب .....
٤٨٤	(٥-١٤) عمليات تحسين الشكل الجمالي .....
٤٨٥	(٦-١٤) الإعداد للاستخدام كقالب .....
٤٨٦	(١-٦-١٤) نماذج الأجزاء المصبوبة .....
٤٨٨	(٢-٦-١٤) قوالب الصب الرملية .....
٤٨٩	(٣-٦-١٤) طرائق أخرى لتشكيل قالب الصب .....
٤٩١	(٧-١٤) تحسين الخواص باستخدام تقنيات غير حرارية .....
٤٩١	(٨-١٤) تحسين الخواص باستخدام تقنيات حرارية .....
٤٩٦	(٩-١٤) ملخص .....
٤٩٦	(١٠-١٤) تمرينات .....
٤٩٧	المراجع .....
٤٩٩	الفصل الخامس عشر: برمجيات التصنيع بالإضافة .....
٤٩٩	(١-١٥) مقدمة .....
٥٠٠	(٢-١٥) إعداد نماذج التصميم ببرنامج CAD ملف التصميم STL .....
٥٠١	(١-٢-١٥) صيغة ملف التصميم STL، التشفير الثنائي / ASCII .....
٥٠٣	(٢-٢-١٥) تكوين ملفات التصميم STL من نظام CAD .....
٥٠٤	(٣-٢-١٥) حساب واجهة كل شريحة .....
٥١٠	(٤-٢-١٥) العناصر المحددة طبقاً للتقنية المستخدمة .....

- ٥١٣ ..... (٣-١٥) مشاكل ملفات التصميم STL
- ٥١٧ ..... (٤-١٥) تعديل ملف التصميم STL
- ٥١٨ ..... (١-٤-١٥) برامج العرض
- ٥١٩ ..... (٢-٤-١٥) تعديل ملف التصميم STL على آلة التصنيع بالإضافة
- ٥٢٠ ..... (٥-١٥) ما بعد ملف التصميم STL
- ٥٢٠ ..... (١-٥-١٥) تكوين الشرائح بطريقة مباشرة لنموذج التصميم برنامج CAD
- ٥٢١ ..... (٢-٥-١٥) نماذج الألوان
- ٥٢٢ ..... (٣-٥-١٥) المواد المتعددة
- ٥٢٢ ..... (٤-٥-١٥) استخدام صيغة التصميم STL في عملية التشغيل
- ٥٢٤ ..... (٦-١٥) الاستعانة ببرامج إضافية في التصنيع بالإضافة
- ٥٢٤ ..... (١-٦-١٥) رصد الوظائف البرمجية
- ٥٢٦ ..... (٢-٦-١٥) محاكاة عملية (التصنيع بالإضافة) باستخدام التحليل "محدد العناصر"
- ٥٢٨ ..... (٧-١٥) صيغة ملف عملية التصنيع بالإضافة
- ٥٣١ ..... (٨-١٥) تمرينات
- ٥٣٢ ..... المراجع
- ٥٣٣ ..... الفصل السادس عشر: التصنيع الرقمي المباشر
- ٥٣٤ ..... (١-١٦) مؤسسة Align Technology
- ٥٣٧ ..... (٢-١٦) مؤسستي Simens and Phonak
- ٥٤٠ ..... (٣-١٦) تصنيع الأحذية المُخصَّصة، وأمثلة أخرى على عملية الصنيع الرقمي المباشر
- ٥٤٦ ..... (٤-١٦) العناصر الفاعلة في تقنية التصنيع الرقمي المباشر
- ٥٤٩ ..... (٥-١٦) مقارنة بين التصنيع والنمذجة الأولية
- ٥٥٢ ..... (٦-١٦) تقدير التكلفة
- ٥٥٣ ..... (١-٦-١٦) نموذج التكلفة: تدرج التكاليف عامةً تحت أربعة تصنيفات رئيسية
- ٥٥٥ ..... (٢-٦-١٦) نموذج التصنيع الزمني Build Time Model

- ٥٥٩ ..... (١٦-٦-٣) مثال على المسح بالليزر في عملية البلمرة الضوئية التطبيقية
- ٥٦١ ..... (١٦-٧) تكاليف عُمر التشغيل
- ٥٦٤ ..... (١٦-٨) مستقبل تقنية التصنيع الرقمي المباشر
- ٥٦٥ ..... (١٦-٩) تمرينات
- ٥٦٧ ..... المراجع
- ٥٦٩ ..... الفصل السابع عشر: التصميم للتصنيع بالإضافة
- ٥٧٠ ..... (١٧-١) الحافز
- ٥٧١ ..... (١٧-٢) التصميم للتصنيع والتجميع
- ٥٧٦ ..... (١٧-٣) الإمكانيات الفريدة لتقنية التصنيع بالإضافة
- ٥٧٧ ..... (١٧-٣-١) الأشكال الهندسية المعقدة
- ٥٧٨ ..... (١٧-٣-٢) التعقيد التدريجي
- ٥٨٠ ..... (١٧-٣-٣) التعقيد الوظيفي
- ٥٨٣ ..... (١٧-٣-٤) تعقيد المادة
- ٥٨٥ ..... (١٧-٤) المفاهيم والأهداف المركزية للتصميم للتصنيع بالإضافة
- ٥٨٦ ..... (١٧-٤-١) التعقيد الهندسي
- ٥٨٦ ..... (١٧-٤-٢) التراكيب المتكاملة
- ٥٨٧ ..... (١٧-٤-٣) الأشكال الهندسية المخصصة
- ٥٨٧ ..... (١٧-٤-٤) التصميمات متعددة الوظائف
- ٥٨٨ ..... (١٧-٤-٥) التخلص من القيود التقليدية للتصميم للتصنيع والتجميع
- ٥٨٩ ..... (١٧-٥) استكشاف تفاصيل التصميم الحر
- ٥٨٩ ..... (١٧-٥-١) توحيد الجزء وإعادة تصميمه
- ٥٩٠ ..... (١٧-٥-٢) التكوينات التدريجية
- ٥٩٣ ..... (١٧-٥-٣) تطبيقات التصميم الصناعي
- ٥٩٥ ..... (١٧-٦) أدوات التصميم باستخدام الحاسوب المتعلقة بتقنية التصنيع بالإضافة

- ٥٩٦..... (١٧-٦-١) التحديات التي تواجه التصميم باستخدام الحاسوب
- ٥٩٨..... (١٧-٦-٢) أنظمة التصميم باستخدام الحاسوب للنمذجة المجسمة
- ٦٠١..... (١٧-٦-٣) تقنيات التصميم باستخدام الحاسوب واعدة
- ٦٠١..... (١٧-٦-٣-١) نظام مقترح لتصميم تقنية التصنيع بالإضافة
- ٦٠٢..... (١٧-٦-٣-٢) النمذجة الضمنية
- ٦٠٦..... (١٧-٧-٧) الطرائق التركيبية
- ٦٠٦..... (١٧-٧-١) البنى التكوينية المثالية ذات الوزن الخفيف نظرياً
- ٦٠٧..... (١٧-٧-٢) وسائل الضبط الأمثل
- ٦٠٨..... (١٧-٧-٣) ضبط الطوبولوجيا
- ٦٠٨..... (١٧-٧-٣-١) الطرائق التي تعتمد على ال truss
- ٦١٠..... (١٧-٧-٣-٢) طرائق الكثافة التي تعتمد على الحجم
- ٦١٥..... (١٧-٨) ملخص
- ٦١٦..... (١٧-٩) تمرينات
- ٦١٦..... المراجع
- ٦١٩..... الفصل الثامن عشر: التصنيع السريع للأدوات
- ٦١٩..... (١٨-١) مقدمة
- ٦٢٢..... (١٨-٢) إنتاج قوالب الحقن بواسطة التصنيع المباشر بالإضافة
- ٦٢٩..... (١٨-٣) الأقطاب الكهربية لعملية التشغيل بالتفريغ الكهربي
- ٦٣٠..... (١٨-٤) التشكيل بالصب
- ٦٣١..... (١٨-٥) أنظمة أخرى
- ٦٣٢..... (١٨-٥-١) أدوات التشكيل بالتفريغ الهوائي
- ٦٣٢..... (١٨-٥-٢) أدوات القولبة باللُّب الورقي
- ٦٣٣..... (١٨-٥-٣) الهيكل العام لتصنيع المواد المركبة
- ٦٣٤..... (١٨-٥-٤) أدوات التركيب ومنصات تسجيل القياسات

٦٣٥	تمريبات (٦-١٨)
٦٣٦	المراجع
٦٣٧	الفصل التاسع عشر: تطبيقات التصنيع بالإضافة
٦٣٧	(١-١٩) مقدمة
٦٣٩	(٢-١٩) تطوُّرات تاريخية
٦٣٩	(١-٢-١٩) قيمة النماذج الفيزيائية
٦٤١	(٢-٢-١٩) الاختبار الوظيفي
٦٤٢	(٣-٢-١٩) التصنيع السريع للأدوات الوسيطة
٦٤٤	(٣-١٩) استخدام التصنيع بالإضافة لدعم التطبيقات الطبية
٦٤٦	(١-٣-١٩) المساعدات الجراحية والتشخيصية
٦٤٨	(٢-٣-١٩) تطور الجراحات التجميلية
٦٥٠	(٣-٣-١٩) التصنيع
٦٥١	(٤-٣-١٩) هندسة الأنسجة وطباعة الأعضاء
٦٥٢	(٤-١٩) دعم البرمجيات للتطبيقات الطبية
٦٥٤	(٥-١٩) قيود التصنيع بالإضافة بالنسبة للتطبيقات الطبية
٦٥٥	(١-٥-١٩) السرعة
٦٥٦	(٢-٥-١٩) التكلفة
٦٥٦	(٣-٥-١٩) الدقة
٦٥٧	(٤-٥-١٩) المواد
٦٥٧	(٥-٥-١٩) سهولة الاستخدام
٦٥٨	(٦-١٩) تطوير أكبر لتطبيقات التصنيع بالإضافة في المجال الطبي
٦٥٨	(١-٦-١٩) الموافقات
٦٥٩	(٢-٦-١٩) الضمان
٦٦٠	(٣-٦-١٩) التدريب الهندسي

- ٦٦٠ ..... موقع التقنية (٤-٦-١٩)
- ٦٦٠ ..... مكتب الخدمات (٥-٦-١٩)
- ٦٦١ ..... تطبيقات تقنية الفضاء (٧-١٩)
- ٦٦١ ..... الخصائص المُفضَّلة لتقنية التصنيع بالإضافة (١-٧-١٩)
- ٦٦٣ ..... الإنتاج الصناعي (٢-٧-١٩)
- ٦٦٦ ..... تطبيقات صناعة المركبات (٨-١٩)
- ٦٦٨ ..... تمرينات (٩-١٩)
- ٦٦٩ ..... المراجع
- ٦٧١ ..... الفصل العشرون: الفرص التجارية واتجاهات المستقبل
- ٦٧١ ..... مقدمة (١-٢٠)
- ٦٧٤ ..... ماذا يمكن أن يكون جديداً؟ (٢-٢٠)
- ٦٧٤ ..... أنواع جديدة من المنتجات (١-٢-٢٠)
- ٦٧٦ ..... أنواع جديدة من المنظمات (٢-٢-٢٠)
- ٦٧٨ ..... أنواع جديدة من التوظيف (٣-٢-٢٠)
- ٦٨١ ..... الريادية الرقمية (٣-٢٠)
- ٦٨٤ ..... الخاتمة
- ٦٨٥ ..... تمرينات (٤-٢٠)
- ٦٨٦ ..... المراجع
- ٦٨٧ ..... ثبت المصطلحات
- ٦٨٧ ..... أولاً: عربي - إنجليزي
- ٦٩٢ ..... ثانياً: إنجليزي - عربي
- ٦٩٧ ..... كشف الموضوعات