





# تشغيل المواد الصلدة

تحرير

J. Paulo Davim

ترجمة

أ.د. عبد الرحمن محمد عبد الرحمن موسى

أستاذ هندسة الإنتاج- قسم الهندسة الميكانيكية- كلية الهندسة  
جامعة حلوان- جمهورية مصر العربية

أ.م.د. جبر عيد أبو قديري

أستاذ الهندسة الميكانيكية المشارك  
قسم الهندسة الميكانيكية- كلية الهندسة  
جامعة الإمارات العربية المتحدة - العين

أ.م.د. حسين محمد عبد المنعم حسين

أستاذ الهندسة الميكانيكية المشارك  
قسم الهندسة الميكانيكية- كلية الهندسة  
جامعة حلوان- جمهورية مصر العربية

دار جامعة  
الملك سعود للنشر  
KING SAUD UNIVERSITY PRESS



ص.ب. ٦٨٩٥٣ - الرياض ١١٥٣٧ المملكة العربية السعودية

ح) دار جامعة الملك سعود للنشر، ١٤٤٤هـ (٢٠٢٣م)

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

دافيم، جيه باولو.

تشغيل المواد الصلدة/ جيه باولو دافيم؛ عبدالرحمن محمد عبد الرحمن موسى؛  
حسين محمد عبد المنعم حسين؛ جبر عيد أبو قديري - الرياض، ١٤٤٣هـ.

٣١٦ ص؛ ١٧ سم × ٢٤ سم

ردمك: ٥ - ٥٦٢ - ٥١٠ - ٦٠٣ - ٩٧٨

١- الهندسة الميكانيكية أ. موسى، عبدالرحمن محمد عبد الرحمن (مترجم)؛  
ب. حسين، حسين محمد عبد المنعم (مترجم)؛ ج. أبو قديري، جبر عيد (مترجم)  
د. العنوان

١٤٤٣/١١٨٦٤

ديوي ٦٢١

رقم الإيداع: ١٤٤٣/١١٨٦٤

ردمك: ٥ - ٥٦٢ - ٥١٠ - ٦٠٣ - ٩٧٨

هذه ترجمة عربية محكمة صادرة عن مركز الترجمة بالجامعة لكتاب:

Machining of Hard Materials  
Edited By: J. Paulo Davim (Editor)  
© Springer-Verlag London Limited 2011.

وقد وافق المجلس العلمي على نشرها في اجتماعه السادس عشر للعام الدراسي ١٤٤٢هـ،  
المعقود بتاريخ ١٦/٨/١٤٤٢هـ، الموافق ٢٩/٣/٢٠٢١م. ليكون مرجعا علميا في مجاله.

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

تُعَدُّ المعادن بأشكالها المختلفة أحد مظاهر الحضارة التي تحيط بنا، ويُمثِّل الوصول بالمعادن إلى الأشكال المعقَّدة أحد أسرار الصناعة التي تمثِّل مركزاً من مراكز تفوُّق الدول المتقدمة على الدول النامية، وهو مصدر لا يقارَن من مصادر الدخل لهذه الدول، ويُعدُّ تشغيل وتشكيل المعادن الصلدة من مظاهر الحضارة الحالية، حيث تدخل في صناعات متقدمة، مثل الصناعات الطبية، وصناعة أجسام المحركات التي تتحمَّل درجات حرارة عالية قد تصل لحد الانصهار، كما تدخل في الصناعات العسكرية بشكل كبير، وخاصة صناعة الطائرات والمركبات الفضائية، وتقف التقنيات والأساليب التقليدية عاجزةً أمام المواد الصلدة، وهناك مجموعة جديدة من التقنيات والإجراءات التصنيعية الحديثة تم ابتكارها للتعامل مع مثل هذه المواد، وهذا الكتاب يكشف بعض أسرار تطويع هذه المعادن، ويصف مجموعة من التقنيات التصنيعية المتقدمة في تطويعها، والحصول منها على أعلى درجة تشغيل سطحية.

هذا المرجع يشتمل على الكثير من المعلومات والأبحاث الهندسية المفيدة في مجال عمليات التشغيل للمواد الصلدة والأدوات المستخدمة، والمواد التي تُصنَّع منها هذه الأدوات، وهندسية أدوات التشغيل المستخدمة، وجودة تشطيب الأسطح المشغلة مستخدماً الطرق والأساليب الحديثة لتقييم عمليات التشغيل الصلدة، مثل نمذجة العناصر متناهية الصغر، والشبكات العصبية الاصطناعية، والمحاكاة، والمنطق الضبابي.

هذا الكتاب مفيد لطلاب الجامعات والمعاهد الهندسية العليا، خاصة الناطقين باللغة العربية، والدارسين في مجال هندسة تشغيل المواد الصلدة، وأيضاً للمهندسين العاملين في التصنيع

تشغيل المواد الصلدة

و

والإنتاج، ويوصي المترجمون باقتناء هذا المرجع الهام لكل المهتمين والمشتغلين بهندسة تشغيل المواد الصلدة.

المترجمون

## تمهيد

يُعدُّ تشغيل المواد الصلدة من التقنيات الحديثة التي يمكن تعريفها بأنها: عملية التشغيل لمشغولة صلابتها تتراوح عادة في المدى من ٤٥ إلى ٧٠ روكويل (Rockwell)، باستخدام أدوات مباشرة ذات حدود قطع محدّدة هندسيًا، وتواجه هذه العملية تحديًا دائمًا في اختيار لُقم القطع التي تُطيل عمر الأداة، وتسهّل التشغيل عالي الدقة للمشغولة، ويقدم تشغيل المواد الصلدة العديد من المزايا مقارنةً بالطرق التقليدية المعتمدة على عمليات التشطيب بالتجليخ، والتي تتم عقب المعالجة الحرارية للمشغولة، كما تقدّم هذه التكنولوجيا مساهمةً كبيرة في التصنيع المستدام.

وتضم مجموعة المواد الصلدة الصلب المقسّى، والصلب سريع القطع، والصلب القابل للمعالجة الحرارية، وصلب العدة، وصلب كراسي المحاور، والحديد الزهر المبرّد / الأبيض، ويتم أيضًا تصنيف سبائك إنكونيل (Inconel)، وسبائك هاستالوي (Hastelloy)، وسبائك الكوبالت للاستخدامات الطبية الحيوية، وغيرها من المواد الخاصة التي تصنّف كمواد صلدة، وتستخدم هذه المواد باستمرار في صناعة السيارات لإنتاج كراسي التحميل، ولتشغيل القوالب والإسطمبات، فضلًا عن المكونات الأخرى للصناعات المتقدمة.

يقدم الفصل الأول من الكتاب التعاريف والتطبيقات الصناعية لتشغيل المواد الصلدة، أما الفصل الثاني فمخصّص لأدوات القطع المتقدمة، ويصّف الفصل الثالث آليات القطع وتشكيل الرائش، ويحتوي الفصل الرابع على معلومات عن سلامة السطح، بينما الفصل الخامس مخصّص لنمذجة العناصر المتناهية الصغر والمحاكاة، وأخيرًا الفصل السادس مخصّص للطرق الحسابية، وطرق التحسين.

هذا الكتاب يمكن استخدامه ككتاب دراسي لمقرّر في مرحلة ما قبل التخرج، أو كموضوع في التصنيع على مستوى الدراسات العليا، كما يمكن أن يكون بمثابة مرجع مفيد للأكاديميين والباحثين في التصنيع والتشغيل والمواد والمهندسين الميكانيكيين والمهنيين في مجال التشغيل والصناعات ذات الصلة، ويتجلى الاهتمام العلمي لهذا الكتاب في العديد من مراكز البحث الهامة والمختبرات والجامعات في جميع أنحاء العالم، ولذلك فمن المأمول أن يلهم هذا الكتاب ويحثُّ الباحثين الآخرين في مجال علم وتكنولوجيا التشغيل.

وأنا مُمتنٌّ لشركة Springer على هذه الفرصة، وعلى دعمهم الحماسي والمهني، وأخيرًا أودُّ أن أشكر جميع مؤلّفي الفصول؛ لمساهماتهم في هذا العمل

جيه باولو دافيم

جامعة أفيرو، البرتغال

أبريل ٢٠١٠



## المساهمون

Prof. Alexandre M. Abrão  
Department of Mechanical Engineering  
Universidade Federal de Minas Gerais

Av. Antônio Carlos,  
6627, Pampulha  
31270901, Belo Horizonte MG  
Brazil  
e-mail: abrao@ufmg.br

Prof. P.J. Arrazola  
Faculty of Engineering  
Mondragon University  
Loramendi 4  
20.500-Mondragón  
Spain  
e-mail: pjarrazola@eps.mondragon.edu

Prof. Viktor P. Astakhov  
Department of Mechanical Engineering  
Michigan State University  
2453 Engineering Building East Lansing  
MI 48824-1226  
USA  
e-mail: astvik@gmail.com

Dr. I. Azkona  
Metal Estalki, Derio, Bizkaia  
Spain  
e-mail: iazkona@metalestalki.com

Prof. J. Paulo Davim  
Department of Mechanical Engineering  
University of Aveiro  
Campus Santiago  
3810-193 Aveiro  
Portugal  
e-mail: pdavim@ua.pt

Prof. Wit Grzesik  
Faculty of Mechanical Engineering  
Department of Manufacturing  
Engineering and  
Production Automation  
Opole University of Technology  
P.O. Box 321  
45-271 Opole  
Poland  
e-mail: w.grzesik@po.opole.pl

Prof. A. Lamikiz  
Department of Mechanical Engineering  
University of the Basque Country  
Faculty of Engineering of Bilbao  
c/Alameda de Urquijo s/n  
E-48013 Bilbao  
Spain  
e-mail: aitzol.lamikiz@ehu.es

Dr. J. Fernández de Larrinoa  
Metal Estalki, Derio, Bizkaia  
Spain  
e-mail: jflarrinoa@metalestalki.com

Prof. L. Norberto López de Lacalle  
Department of Mechanical Engineering  
University of the Basque Country  
Faculty of Engineering of Bilbao  
c/Alameda de Urquijo s/n  
E-48013 Bilbao  
Spain  
e-mail: norberto.lzlacalle@ehu.es

Prof. Ramón Quiza  
Department of Mechanical Engineering  
University of Matanzas  
Autopista a Varadero, km 3½  
Matanzas 44740  
Cuba  
e-mail: quiza@umcc.cu

تشغيل المواد الصلدة

ي

Prof. José Luiz Silva Ribeiro  
Department of Mechatronic Engineering  
Pontifical Catholic University of Minas  
Gerais  
Av. Dom José Gaspar

500, Coração Eucarístico  
30535-610, Belo Horizonte MG  
Brazil  
e-mail: ribeirojls@yahoo.com.br

## المحتويات

### CONTENTS

هـ.....	مقدمة المترجمين
ز.....	تمهيد
ط.....	المساهمون
١.....	الفصل الأول: تشغيل المواد الصلدة- تعريفات وتطبيقات صناعية
١.....	(١, ١) مقدمة: تعريف التشغيل الصلدة (مميزات وقيود)
٧.....	(١, ٢) تحليل موجز ناقد للبحوث في مجال التشغيل الصلدة
١٢.....	(١, ٣) العوامل المميزة للتشغيل الصلدة
١٣.....	(١, ٣, ١) تناقص قوة القطع مع سرعة القطع
١٦.....	(١, ٣, ٢) المركبات المحورية العظمى لقوة القطع
١٨.....	(١, ٣, ٣) استهلاك قدرة كبيرة في تشكيل الأسطح الجديدة
١٩.....	(١, ٣, ٤) الحاجة إلى نظم تشغيل جاسئة
٢٠.....	(١, ٤) عمليات التشغيل الصلدة الأساسية
٢٠.....	(١, ٤, ١) الخراطة الصلدة
٢٣.....	(١, ٤, ٢) التجويف الصلدة وتوسيع الثقوب (البرغلة) الصلدة
٢٥.....	(١, ٤, ٣) التفرير الصلدة

- ٢٧..... (Broaching) التخليق الصلدة (١, ٤, ٤)
- ٢٩..... عمليات تصنيع التروس الصلدة (١, ٤, ٥)
- ٣١..... المزلقة (عملية تنعيم ذات كفاءة عالية لتنعيم المواد فائقة الصلادة) (١, ٤, ٦)
- ٤٠..... التشغيل الصلدة بحد قطع دَوَّار (١, ٤, ٧)
- ٤٤..... المراجع
- ٤٧..... الفصل الثاني: أدوات القطع المتقدمة
- ٤٧..... (٢, ١) مواد تصنيع أدوات القطع
- ٤٩..... (٢, ١, ١) صلب القطع السريع
- ٥٠..... (٢, ١, ٢) الكريبد الملبد
- ٥٤..... (٢, ١, ٣) السيراميك
- ٥٦..... (٢, ١, ٤) المواد ذات الصلادة الزائدة
- ٦٢..... (٢, ٢) التغليف
- ٦٣..... (٢, ٢, ١) مقدمة تاريخية للتغليف بالترسيب البخاري الفيزيائي
- ٦٤..... (٢, ٢, ٢) التقييم الصناعي للتراكيب المختلفة
- ٦٦..... (٢, ٢, ٣) الاتجاهات الحالية في التغليف من أجل التشغيل الصلدة
- ٦٩..... (٢, ٢, ٤) اختيار مادة التغليف للتشغيل الصلدة
- ٧٢..... (٢, ٣) بَرِّي الأداة
- ٧٢..... (٢, ٣, ١) بري الأداة في الخراطة
- ٧٥..... (٢, ٣, ٢) بري أداة القطع في التفريز
- ٧٨..... (٢, ٣, ٣) عمر أداة القطع
- ٨١..... (٢, ٤) موائع القطع والمزلاقات المستخدمة في عمليات القطع
- ٨٣..... (٢, ٥) الشكل الهندسي لأداة القطع
- ٨٦..... (٢, ٥, ١) قواطع التفريز ذات الأسنان الطرفية

٨٩.....	زوايا الجرف والخلوص (٢, ٥, ٢)
٩١.....	زاوية الموقع (٢, ٥, ٣)
٩١.....	أدوات التفريز للعديد من التطبيقات (٢, ٥, ٤)
٩٢.....	التشغيل الصلد للقالب والإسطمبات (٢, ٦)
٩٣.....	التفريز الطرقي الكروي للأسطح المنحوتة (٢, ٦, ١)
٩٥.....	التفريز بأداة قطع طرفية كروية على ماكينة تفريز خماسية المحاور (٢, ٦, ٢)
٩٦.....	حوامل أدوات القطع ونظم التثبيت (٢, ٧)
٩٧.....	حوامل أدوات القطع لعمليات الخراطة (٢, ٧, ١)
٩٩.....	حوامل أدوات القطع في عمليات التفريز (٢, ٧, ٢)
١٠٣.....	نظم تثبيت الأدوات وحوامل الأدوات (٢, ٧, ٣)
١٠٨.....	تقنيات جديدة للتشغيل الصلد (٢, ٨)
١٠٨.....	عمليات التفريز بتغذية عالية (٢, ٨, ١)
١١١.....	التفريز الغاطس (٢, ٨, ٢)
١١٣.....	التفريز الدوراني وأداة التفريز الدوارة (٢, ٨, ٣)
١١٦.....	التفريز البكري (٢, ٨, ٤)
١١٧.....	أدوات التشغيل متعددة المهام (٢, ٩)
١١٨.....	الاستنتاجات ومستقبل أدوات القطع للتشغيل الصلد (٢, ١٠)
١٢١.....	المراجع
١٢٣.....	الفصل الثالث: ميكانيكية القطع وتشكيل الرائش
١٢٣.....	ميكانيكية التشغيل الصلد (٣, ١)
١٢٣.....	أدوات القطع للتشغيل الصلد (٣, ١, ١)
١٢٧.....	نماذج ميكانيكية للتشغيل الصلد (٣, ١, ٢)
١٢٩.....	قوى القطع (٣, ١, ٣)

- ١٣٤ ..... طاقة القطع (٣, ١, ٤)
- ١٣٧ ..... تأثير إمداد الكمية الصغرى من المزلق على السلوك الميكانيكي للتشغيل الصلدة (٣, ١, ٥)
- ١٣٩ ..... نمذجة العناصر المحدودة في الأحمال الميكانيكية (٣, ١, ٦)
- ١٤١ ..... تكوين الرائش في التشغيل الصلدة (٣, ٢)
- ١٤١ ..... معايير بداية وانتشار الشروخ (٣, ٢, ١)
- ١٤٤ ..... معايير عدم الاستقرار للقص (٣, ٢, ٢)
- ١٤٦ ..... آليات تكوين الرائش (٣, ٢, ٣)
- ١٤٩ ..... دراسة أشكال الرائش في عمليات التشغيل النموذجية (٣, ٢, ٤)
- ١٥٣ ..... تأثير التدفق الجانبي للمادة (٣, ٢, ٥)
- ١٥٤ ..... نمذجة العناصر المحدودة المعتمدة لتشكيل الرائش (٣, ٢, ٦)
- ١٦٠ ..... المراجع
- ١٦٣ ..... الفصل الرابع: سلامة السطح (٤, ١)
- ١٦٤ ..... عدم انتظام الشكل الهندسي (٤, ١, ١)
- ١٦٤ ..... تشطيب السطح (٤, ١, ١)
- ١٧٢ ..... الانحرافات الهندسية والبعدية (٤, ١, ٢)
- ١٧٦ ..... التغيرات السطحية (٤, ٢)
- ١٧٧ ..... التغيرات في البنية المجهرية (٤, ٢, ١)
- ١٨١ ..... تغيرات الصلادة (٤, ٢, ٢)
- ١٨٥ ..... توزيع الإجهاد المتبقي (٤, ٢, ٣)
- ١٩٥ ..... مقاومة الكلال (٤, ٢, ٤)
- ١٩٧ ..... الاستنتاج (٤, ٣)
- ١٩٩ ..... المراجع

٢٠٣	الفصل الخامس: نمذجة ومحاكاة العناصر متناهية الصغر .....
٢٠٤	(٥, ١) مقدمة .....
٢٠٦	(٥, ٢) نمذجة العناصر المتناهية الصغر .....
٢٠٩	(٥, ٢, ١) البرمجيات التجارية .....
٢١٠	(٥, ٢, ٢) الحديث في مجال نمذجة العناصر المحدودة للخراطة الصلدة .....
٢١١	(٥, ٣) نمذجة العناصر المحدودة للخراطة الصلدة .....
٢١٢	(٥, ٣, ١) تحليل العناصر المحدودة ثنائية الأبعاد للخراطة الصلدة .....
٢١٥	(٥, ٣, ٢) تحليل العناصر المحدودة ثنائية الأبعاد للخراطة الصلدة: النتائج والمناقشة ...
٢٢٤	(٥, ٣, ٣) تحليل العناصر المحدودة ثلاثية الأبعاد للخراطة الصلدة .....
٢٢٨	(٥, ٣, ٤) تحليل العناصر المحدودة ثلاثية الأبعاد للخراطة الصلدة: النتائج والمناقشة ..
٢٤٤	(٥, ٤) الاستنتاجات .....
٢٤٥	المراجع .....
٢٤٩	الفصل السادس: طرق الحوسبة والتحسينات .....
٢٤٩	(٦, ١) مقدمة .....
٢٥١	(٦, ٢) أدوات الحوسبة لنمذجة تشغيل المواد الصلدة .....
٢٥١	(٦, ٢, ١) أهداف النمذجة لتشغيل المواد الصلدة .....
٢٥١	(٦, ٢, ٢) الأدوات الحسابية التقليدية .....
٢٥٢	(٦, ٢, ٣) التقنيات الذكية .....
٢٥٨	(٦, ٣) مثالية تشغيل المواد الصلدة .....
٢٥٨	(٦, ٣, ١) أهمية التحسينات في تشغيل المواد الصلدة .....
٢٥٩	(٦, ٣, ٢) تعريف المشكلة .....
٢٦٢	(٦, ٣, ٣) دالة الهدف .....
٢٦٣	(٦, ٣, ٤) متغيرات القرار .....

٢٦٣	..... القيود (٦, ٣, ٥)
٢٦٤	..... تقنيات المثالية (٦, ٣, ٦)
٢٦٩	..... دراسة حالة (٦, ٤)
٢٦٩	..... وصف الحالة (٦, ٤, ١)
٢٧١	..... النمذجة الإحصائية (٦, ٤, ٢)
٢٧٢	..... النمذجة القائمة على الشبكات العصبية (٦, ٤, ٣)
٢٨٠	..... مثالية الأهداف المتعددة (٦, ٤, ٤)
٢٨٥	..... الاتجاهات المستقبلية (٦, ٥)
٢٨٥	..... المراجع
٢٨٩	..... ثبت المصطلحات
٢٨٩	..... أولاً: عربي - إنجليزي
٣٠٢	..... ثانياً: إنجليزي - عربي
٣١٥	..... كشف الموضوعات