

Engenharia Mecânica: Inovações Tecnológicas de Elevado Valor

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)

Atena
Editora
Ano 2021



Engenharia Mecânica: Inovações Tecnológicas de Elevado Valor

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)

Atena
Editora
Ano 2021

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense
Prof^ª Dr^ª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof^ª Dr^ª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof^ª Dr^ª Ivone Goulart Lopes – Instituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^ª Dr^ª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Prof^ª Dr^ª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof^ª Dr^ª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Dr^ª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^ª Dr^ª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^ª Dr^ª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª Dr^ª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof^ª Dr^ª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Prof^ª Dr^ª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof^ª Dr^ª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Prof^ª Dr^ª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof^ª Dr^ª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília

Prof^ª Dr^ª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás

Prof^ª Dr^ª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Prof^ª Dr^ª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Prof^ª Dr^ª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Prof^ª Dr^ª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^ª Dr^ª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra

Prof^ª Dr^ª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras

Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Prof^ª Dr^ª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco

Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará

Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas

Prof^ª Dr^ª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof^ª Dr^ª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Prof^ª Dr^ª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados

Prof^ª Dr^ª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Prof^ª Dr^ª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof^ª Dr^ª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof^ª Dr^ª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Prof^ª Dr^ª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^ª Dr^ª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^ª Dr^ª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof^ª Dr^ª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^ª Dr^ª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Prof^ª Dr^ª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof^ª Dr^ª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Prof^ª Dr^ª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^ª Dr^ª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^ª Dr^ª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Prof^ª Dr^ª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Prof^ª Dr^ª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof^ª Dr^ª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Me. Aleksandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Prof^ª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof^ª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Prof^ª Dr^ª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof^ª Dr^ª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Prof^ª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Prof^ª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Prof^ª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar

Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Me. Fabiano Eloy Atilio Batista – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR

Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Ma. Lilians Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Prof^ª Dr^ª Livia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Prof^ª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Prof^ª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
Prof^ª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Prof^ª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof^ª Dr^ª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa
Prof^ª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Prof^ª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Prof^ª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Prof^ª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Prof^ª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Engenharia mecânica: inovações tecnológicas de elevado valor

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Maria Alice Pinheiro
Correção: Flávia Roberta Barão
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizadores: Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia mecânica: inovações tecnológicas de elevado valor / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-782-6

DOI 10.22533/at.ed.826210902

1. Engenharia mecânica. I. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). II. Dallamuta, João (Organizador). III. Título.
CDD 621

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa.

APRESENTAÇÃO

A Engenharia Mecânica pode ser definida como o ramo da engenharia que aplica os princípios de física e ciência dos materiais para a concepção, análise, fabricação e manutenção de sistemas mecânicos. O aumento no interesse por essa área se dá principalmente pela escassez de matérias primas, a necessidade de novos materiais que possuam melhores características físicas e químicas e a necessidade de reaproveitamento dos resíduos em geral.

Nos dias atuais a busca pela redução de custos, aliado a qualidade final dos produtos é um marco na sobrevivência das empresas, reduzindo o tempo de execução e a utilização de materiais.

Neste livro são apresentados trabalho teóricos e práticos, relacionados a área de mecânica e materiais, dando um panorama dos assuntos em pesquisa atualmente. A caracterização dos materiais é de extrema importância, visto que afeta diretamente aos projetos e sua execução dentro de premissas técnicas e econômicas.

De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais. Sendo hoje que utilizar dos conhecimentos científicos de uma maneira eficaz e eficiente é um dos desafios dos novos engenheiros.

Boa leitura!

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
THICKNESS CONTROL OF COATINGS DEPOSITED BY CO ₂ LASER FOR AERONAUTICAL TURBINE BLADES	
Jéssica Fernanda de Azevedo	
Viviane Teleginski Mazur	
Daniele Cristina Chagas	
Júlio César Gomes Santos	
Maurício Marlon Mazur	
Getúlio de Vasconcelos	
DOI 10.22533/at.ed.8262109021	
CAPÍTULO 2	8
CORRELATION BETWEEN THE TOPOGRAPHY OF THE TOOL'S WORN SURFACE AND THE RESULTING WORKPIECE ROUGHNESS IN THE MILLING PROCESS OF THE INCONEL 718	
Leonardo Rosa Ribeiro da Silva	
André Rezende de Figueiredo Oliveira	
Álisson Rocha Machado	
DOI 10.22533/at.ed.8262109022	
CAPÍTULO 3	22
LEVANTAMENTO DOS COEFICIENTES DA EQUAÇÃO DE TAYLOR PARA FORÇA DE USINAGEM EM TORNEAMENTO DE INCONEL COM PCBN	
Leonardo Rosa Ribeiro da Silva	
Felipe dos Anjos Rodrigues Campos	
DOI 10.22533/at.ed.8262109023	
CAPÍTULO 4	36
CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, MECÂNICA, TÉRMICA E MICROESTRUTURAL DAS FIBRAS DE TIMBÓ-AÇU	
José Maria Braga Pinto	
Douglas Santos Silva	
Roberto Tetsuo Fujiyama	
DOI 10.22533/at.ed.8262109024	
CAPÍTULO 5	52
“FAILURE ANALYSIS OF A 3102 ALUMINUM TUBE OF AN AUTOMOTIVE AIR CONDITIONING CONDENSER”	
Miguel Angel Neri Flores	
DOI 10.22533/at.ed.8262109025	
SOBRE OS ORGANIZADORES	66
ÍNDICE REMISSIVO	67

CAPÍTULO 1

THICKNESS CONTROL OF COATINGS DEPOSITED BY CO₂ LASER FOR AERONAUTICAL TURBINE BLADES

Data de aceite: 04/02/2021

Data da submissão 21/12/2020

São José dos Campos – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/7483015871500229>

Jéssica Fernanda de Azevedo

Universidade Federal de São Paulo
Instituto de Estudos Avançados – IEAv – DCTA
São José dos Campos – São Paulo.
<http://lattes.cnpq.br/2515393970025489>

Viviane Teleginski Mazur

Universidade Tecnológica Federal do Paraná –
UTFPR
Guarapuava – Paraná.
<http://lattes.cnpq.br/5887272314414934>

Daniele Cristina Chagas

Institute for Advanced Studies – IEAv – DCTA
Instituto Tecnológico da Aeronáutica – ITA –
DCTA
São José dos Campos – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/4556090236121749>

Júlio César Gomes Santos

Universidade Federal de São Paulo
Instituto de Estudos Avançados – IEAv – DCTA
São José dos Campos – São Paulo.
<http://lattes.cnpq.br/4413803743891052>

Maurício Marlon Mazur

Universidade Tecnológica federal do Paraná –
UTFPR
Guarapuava - Paraná
<http://lattes.cnpq.br/2817765724557785>

Getúlio de Vasconcelos

Instituto de Estudos Avançados – IEAv – DCTA
Aeronautical Institute of Technology – ITA –
DCTA

ABSTRACT: Coatings are widely applied on the most diverse types of surfaces to obtain functional characteristics such as oxidation resistance, thermal resistance, wettability, corrosion resistance, electrical properties, etc. Thermal Barriers Coatings (TBC's) are widely used as a protective layer against oxidation at operating temperatures above 800 °C. The TBC's is composed of an outer ceramic layer, bonded to the substrate through the MCrAlY layer (where M = Co, Ni, Fe or combinations), which has a TGO (Thermal Grow Oxide) on its surface. The bond coat is used to promote a smooth transition of thermal expansion coefficients of the different materials. NiCrAlY bond-coat are indicated in the literature as being one of the main components of TBC's for the adhesion of ceramic coatings in industrial and aeronautical turbine blades. The objective of this work is to deposit layers of NiCrAlY in AISI 316L stainless steel, using CO₂ laser irradiation of a powder-bed. Different powder-bed thickness was used to evaluate the effect on the integrity of the irradiated coating. The thickness and quality of the coatings were evaluated by optical microscopy.

KEYWORDS: Turbine blades, TBC, NiCrAlY, laser deposition.

CONTROLE DE ESPESSURA DE REVESTIMENTOS DEPOSITADOS POR LASER DE CO₂ PARA PALHETAS DE TURBINAS AERONÁUTICAS

RESUMO: Revestimentos são amplamente aplicados sobre os mais diversificados tipos de superfície para se obter características funcionais como resistência à oxidação, resistência térmica, molhabilidade, resistência à corrosão, propriedades elétricas e etc. Os revestimentos de proteção térmica - Thermal Barriers Coatings (TBC's) são amplamente utilizados como uma camada protetora contra a oxidação em temperaturas de operação acima de 800 °C. Os TBC's contém uma camada externa de cerâmica que é ligada ao substrato por meio de uma camada MCrAlY (onde M = Co, Ni, Fe ou combinações), que possui em sua superfície uma camada de óxido crescido termicamente, o TGO (*Thermally Grow Oxide*). Revestimentos de ligação entre o substrato e a camada cerâmica são utilizados afim de promover uma transição suave dos diferentes coeficientes de dilatação de térmica dos materiais. Revestimentos de ligação a base de NiCrAlY são indicados na literatura como sendo um dos principais componentes dos TBC's para o crescimento e adesão de revestimentos cerâmicos em paletas de turbinas industriais e aeronáuticas. O objetivo deste trabalho é depositar camadas de NiCrAlY em uma liga de aço inoxidável AISI 316L, a partir da irradiação a laser de CO₂ de camadas pré-depositadas de pó. Diferentes espessuras pré-depositadas foram utilizadas para avaliar seu efeito na integridade dos revestimentos irradiados. A espessura e a qualidade dos revestimentos foram avaliadas por microscopia óptica.

PALAVRAS - CHAVE: Palhetas de turbina, TBC, NiCrAlY, deposição a laser.

1 | INTRODUCTION

Aeronautical turbine blades operate at elevated temperature and chemically aggressive environments. Thus, there is a demand for thermal and chemical protection. The thermal protection is usually obtained by the employment of ceramic coatings [1]. To ensure good adherence between the ceramic coating and the blade metallic substrate, a bond-coat (BC) is necessary, acting in the reduction of the thermal expansion coefficient mismatch of these materials, and at the same time, acts as a chemical barrier, protecting the underlying substrate from corrosion [1]. This protection is due to a thermally grown oxide formed upon its surface, mainly constituted by α -Al₂O₃. The BC is composed of a MCrAlY metallic alloy, where M = Ni, Co, Fe and/or its combinations [2].

Several techniques are used to produce TBC's including atmospheric plasma spray [3] and Yb laser irradiation [2,4]. The used technique can directly influence the morphology and microstructure of the coatings. The formation of defects at the surface such as porosity and micro cracks may be deleterious to the ceramic coating adhesion [5]. In processes that uses a powder-bed irradiated by laser, it is necessary to control of the powder thickness, in order to obtain homogeneous coatings [2].

The present investigation used pre-deposited powder-bed of NiCrAlY powder alloy, irradiated with a CO₂ laser beam. It has been analyzed how the weight of the powder-bed influences the resulting coating quality. The amount of powder required to form homogenous

NiCrAlY coatings on AISI 316L stainless steel was investigated.

2 | EXPERIMENTAL PROCEDURE

Laminated sheets of AISI 316L stainless steel were cut with dimensions of 25 x 25 x 3 mm, and it was employed as substrate material. Before all procedures, the substrate material was cleaned with acetone. The NiCrAlY powder bond-coat (BC) was provided by PRAXAIR-EUA, Fig. 1a, with average particle size of 42 μm , particle size distribution indicated in Fig. 1b and composition of: 31% of Cr, 11% of Al, 6.5% of Y and Ni as balance.

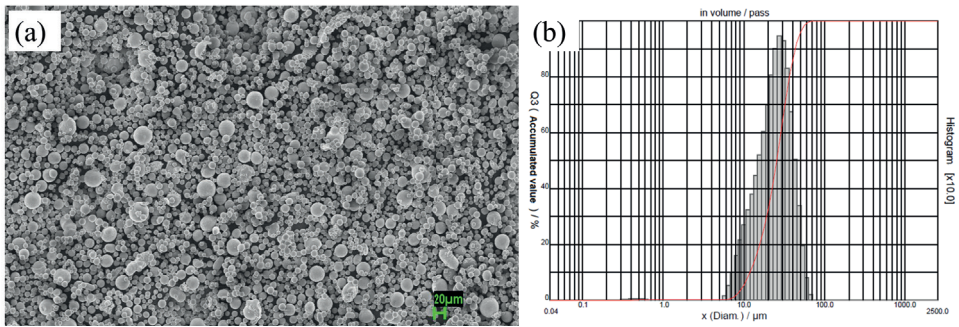


Figure 1: (a) Scanning electron microscopy of the NiCrAlY powder and (b) particle size distribution.

The pre-deposition of a BC layer was performed with a sedimentation technique, schematically showed in Figure 2a and Figure 2b. A suspension containing 175 ml of ethylic alcohol, 0.05 g of carboxyl-methyl-cellulose (CMC) and portions of BC powder that varied from 1 to 10 g. The suspension is prepared in a recipe and a mixer is driven to maintain the BC powder in suspension. After 2 minutes, the mixer is turned off and the sample is immerse. By sedimentation, a BC powder layer is pre-deposited. After the suspension settles, the retention valve is opened and the sample removed. With the alcohol evaporation, the sample is ready to the laser treatment, as shown in Fig 2c.

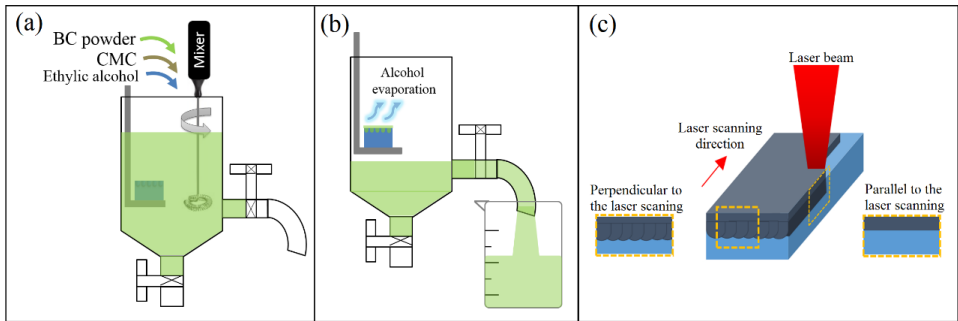


Figure 2: (a, b) The sedimentation process; (c) laser treatment and sample preparation.

A focalized 125 W CO₂ laser beam (Synrad Evolution 125) with diameter of 200 μm was employed to irradiate the samples with scanning speed of 100 mm.s⁻¹. The laser tracks overlapping was 75%. These laser parameters were established elsewhere [6]. The samples were sanded, polished with alumina and etched with aqua-regia reagent (20 mL HNO₃ + 20 mL HCl + 5 mL H₂O₂). To evaluate the coating thickness and quality an optical microscope (ZEISS - Model Imager.A2m) was used.

3 | RESULTS AND DISCUSSION

Figure 3a and b show parallel and perpendicular micrographs to the laser scanning direction, respectively. When the sample cut is parallel, the coating is more homogenous and linear, ideal to evaluation of thickness. The deposition conditions indicated a coating of approximately 42.2 μm. The perpendicular cut show relevant information regarding the overlapping of laser tracks and the different zones formed due to the laser treatment. Sidhu et al. [7] reported similar results. According to Verdi et al. [8], two distinct regions are generated, as indicated in Figure 3b. The first is the Melting Zone (MZ), constituted by columnar grains containing micro segregated elements on grain boundaries. The second is the Heat Affected Zone (HAZ), chemically more homogenous than the previous, due to laser re-heating during the formation of subsequent laser tracks [8].

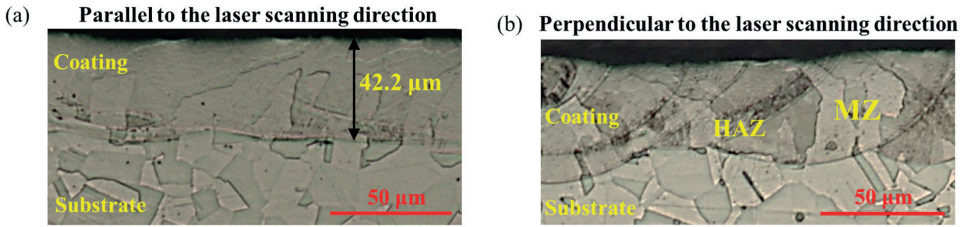


Figure 3. Optical microscopy images of the cross section of coatings grown on AISI 316L steel samples. (a) Region parallel to the trail with thickness indication and (b) perpendicular section with indication of the melting zones.

The coating thickness and quality after the laser irradiation was compared to the amount of BC powder used in the pre-deposition process. When the BC weight is less than 3 g, incomplete surface covering was observed, generating significant defects on the coating, as showed by the SEM micrography of Fig. 4a. By the other hand, if the weight exceeds 5 g, the coating do not adhere to the underling substrate.

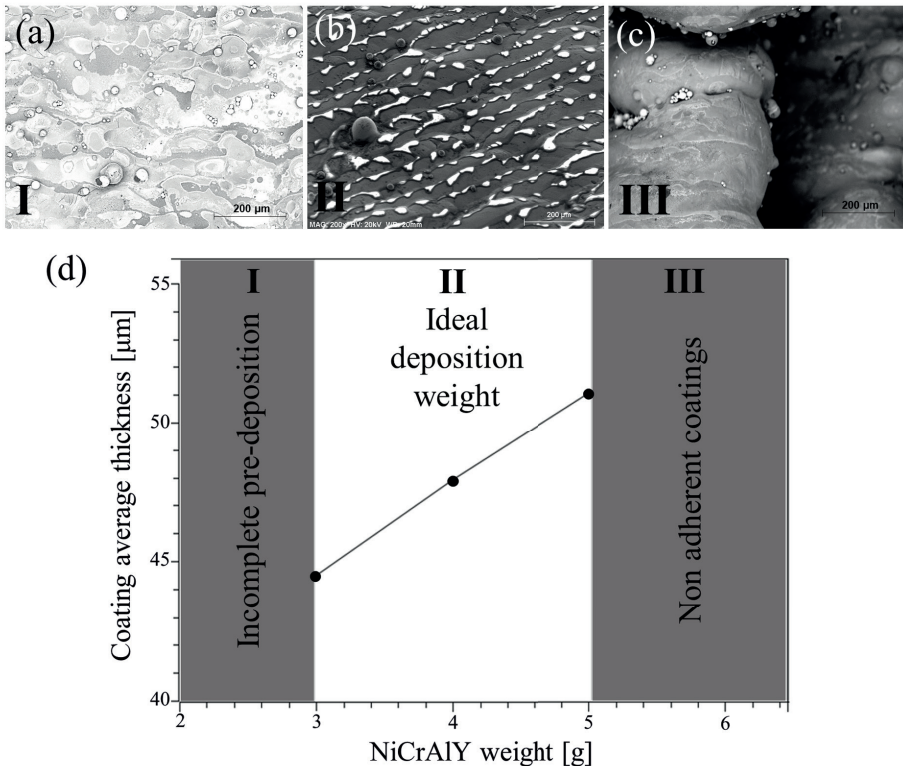


Figure 4. SEM image showing (a) condition I of incomplete deposition; (b) condition II of ideal deposition and (c) condition III of non-adherent coating. (d) Indication of the influence of the amount of BC on the formation of coatings after laser irradiation.

The laser interaction melts the BC powder and a small layer of the substrate, leading to a metallurgical bonding, as showed in Fig. 4b. But when the BC powder is too thick, the laser energy is not enough to promote adherence. Fig. 4c shows the irradiated coating, before cleaning the surface. After cleaning the coating is removed from the substrate surface. Measures of the coating thickness and BC powder weight are compared in Figure 4d. The higher is the weight of BC, the thicker is the resulting coating, until the limit of adherence is reached, i.e., 5 g.

4 | CONCLUSIONS

The BC powder weight used in the pre-deposition process directly influences the quality and thickness of the resulting coatings. Micrographs parallel to the laser scanning direction shows homogenous coating, while perpendicular micrographs exhibit the tracks overlapping, melted zones and heat-affected zones, generated during the laser treatment.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors acknowledge CNPq (National Research Council), FAPESP (Research Foundation of the São Paulo State), and DEDALO Group of IEAv / DCTA.

REFERENCES

- [1] Brandl, W.; Marginean, G.; Maghet, D.; Utu, D. **Effects of specimen treatment and surface preparation on the isothermal oxidation behaviour of the HVOF-sprayed MCrAlY coatings**, Surf. Coat. Technol. 188–189. 2004.
- [2] Teleginski, V.; Chagas, D. C.; Santos, J. C. G.; Azevedo, J. F.; Oliveira, A. C. C.; Vasconcelos, G. **Yb: fiber laser surface texturing of stainless steel substrate, with MCrAlY deposition and CO₂ laser treatment**. Surf. Coat. Technol. 2014.
- [3] Reddy, M.; Prasad, C. D.; Patil, P.; Ramesh, M. R.; Rao, N. **Hot corrosion behavior of plasma-sprayed NiCrAlY/TiO₂ and NiCrAlY/Cr₂O₃/YSZ cermets coatings on alloy steel**. Surface and Interfaces. (2021).
- [4] Texier, D.; Copin, E.; Flores, A.; Lee, J.; Ternier, M. **High temperature oxidation of NiCrAlY coated Alloy 625 manufactured by selective laser melting**. Surf. Coat. Technol. (2020).
- [5] Park, J. H.; Kim, J. S.; Lee, K. H.; Song, Y. S.; Kang, M. C. **Effects of the laser treatment and thermal oxidation behavior of CoNiCrAlY/ZrO₂-8wt%Y₂O₃ thermal barrier coating**. Journal of Materials Processing Technology. 201 (2008) 331–335.
- [6] Teleginski, V.; Chagas, D. C.; Oliveira, L. G.; Vasconcelos, G. **Interface evaluation of MCrAlY powder bond coat on 316 SS processed with laser irradiation**. Mat. Sci. Forum, Ninth International Latin American Conference on Powder Technology, 2013, Article in press.

[7] Sidhu, B. S.; Puri, D.; Prakash, S. **Characterisations of plasma sprayed and laser remelted NiCrAlY bond coats and Ni₃Al coatings on boiler tube steels.** Mater. Sci. Eng. A368 (2004) 149–158.

[8] Verdi, D.; Múnez, C. J.; Sevillano, F.; Poza, P. **Laser surface alloying of Gr22 ferritic steel with Ni(Al): Effect of processing parameters on the microstructure and high temperature performance.** J. Mater. Process. Technol. 213 (2013) 1825– 1834.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Análise 5, 25, 26, 36, 42, 44, 49

Ar Condicionado 52

C

Caracterização mecânica 36, 49

Condensador 52, 54, 55, 56, 58, 59, 60

Cutting Forces 9

D

Deposição 2

E

Equação de Taylor 6, 22, 23, 25, 28, 29

F

Falha 52

I

Inconel 718 6, 8, 9, 10, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 29

L

Laser 6, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

O

Otimização 22, 24, 25, 27, 30

P

Palhetas 2

Penalidade Interna 22, 24, 27, 30

S

Surface topography 8

T

TBC 1, 2

Térmica 6, 2, 36, 38, 40, 42, 44, 49, 50

Timbó-Açu 6, 36, 37, 38, 39, 40, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49





Tool Wear 8, 9, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 22

Turbina 2

V

Variável Métrica 22, 24

Engenharia Mecânica: Inovações Tecnológicas de Elevado Valor

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Engenharia Mecânica: Inovações Tecnológicas de Elevado Valor

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br