



Workshop de Pesquisa
em Manufatura

ANAIS DO V WORKSHOP DE PESQUISA EM MANUFATURA

EDITORA
OMNIS



SCIENTIA



Workshop de Pesquisa
em Manufatura

ANAIS DO V WORKSHOP DE PESQUISA EM MANUFATURA



EDITORA
OMNIS SCIENTIA

Editora Omnis Scientia

ANAIS DO V WORKSHOP DE PESQUISA EM MANUFATURA

Volume 1

1ª Edição

TRIUNFO – PE

2021

PROMOÇÃO:

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGEMec/UFSCar)

Apresentadores (as):

Adailton Gomes Pereira

Alana Carla Miranda Araújo

Bruna Oliveira da Silva

Bruno Alexandre Roque

Caique de Castro Gonçalves

Cassiano da Silva Tavares

Cristie Luis Kugelmeier

Gustavo Roberto dos Santos

Henrique A. C. Durello

Hugo Emanuel de Andrade Costa

Jonatan Augusto da Silva

Leones Contini Junior

Marco Gabriel Lorenzoni

Matheus Luis Manfredo

Paulo De Tarso Durigan

Rafael Fernando Teixeira

Talia Gibim

Tony Emerson Marim.

Participantes do painel:

Carlos Eiji Hirata Ventura

Danielle Cristina Camilo Magalhães

Rodrigo da Silva (“PPGEMec: Presente e futuro”).

Palestrante:

Yayue Pan - University of Illinois Chicago (“Field-assisted Photopolymerization-based Additive Manufacturing for Productions of Multi-Functional Materials and Devices”)

Comitê científico:

Alexandre Tácito Malavolta

Carlos Eiji Hirata Ventura

Danielle Cristina Camilo Magalhães

Flávio Yukio Watanabe

Marcos Roberto Monteiro

Rodrigo da Silva

Sérgio Henrique Evangelista.

Comissão organizadora:

Adailton Gomes Pereira

Armando Ítalo Sette Antonialli

Bruna Oliveira da Silva

Edson Bruno Lara Rosa

Sidney Bruce Shiki.

Imagem de Capa

Freepik

Edição de Arte

Vileide Vitória Larangeira Amorim

Revisão

Os autores



Este trabalho está licenciado com uma Licença Creative Commons – Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 Internacional.

O conteúdo abordado nos artigos, seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

W912a Workshop de Pesquisa em Manufatura (5 : 2021)
Anais do [...] / V Workshop de Pesquisa em Manufatura, 10
dezembro 2021. – Triunfo, PE: Omnis Scientia, 2021.
52 p.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN 978-65-88958-78-0

DOI 10.47094/978-65-88958-78-0

1. Engenharia mecânica – Brasil – Congressos. 2. Manufaturas.
I. Título.

CDD 621.7

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Editora Omnis Scientia

Triunfo – Pernambuco – Brasil

Telefone: +55 (87) 99656-3565

editoraomnisscientia.com.br

contato@editoraomnisscientia.com.br



PREFÁCIO

A exemplo do ensino e da extensão, a pesquisa no âmbito da Engenharia Mecânica apresenta-se bastante ampla e diversificada. A ramificação mais canônica dessa modalidade de engenharia aponta para três áreas fundamentais: Projeto de Sistemas Mecânicos, Ciências Fluidotérmicas e Processos de Fabricação. Outras subdivisões, como Dinâmica e Vibrações, Mecatrônica e Metrologia, flutuam entre as três grandes áreas. Sendo assim, a nucleação e o crescimento do Grupo de Pesquisa em Manufatura Inteligente (GPMI), devidamente registrado no Diretório dos Grupos de Pesquisa do CNPq e reconhecido pela UFSCar, têm sido salutar no sentido da consolidação do Departamento de Engenharia Mecânica (DEMec) e do curso de graduação em Engenharia Mecânica. Da mesma forma, O GPMI se mostra essencial enquanto alicerce para o recém-criado curso de mestrado acadêmico dentro do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGEMec), conferindo-lhe vocação e identidade. Finalmente, a comunicação e a difusão dos resultados obtidos pelo grupo propiciam o alinhamento do mesmo ao lema da UFSCar: excelência acadêmica e compromisso social. O objetivo geral do "V Workshop de Pesquisa em Manufatura" consiste em disseminar os trabalhos em andamento dentro do Grupo de Pesquisa em Manufatura Inteligente (GPMI) e de outros grupos afins à área de Manufatura, promovendo discussões profícuas e de alto nível com o público interno e externo à universidade. Como objetivos específicos, destacam-se a exposição dos estudantes de graduação e pós-graduação a um ambiente de conferência científica sem sair de casa e a oportunidade de contar com convidados com grande potencial de contribuição a essa área do conhecimento. O evento foi realizado ao longo do dia 10 de dezembro de 2021, de forma online, de maneira a viabilizar e fomentar a participação de uma parcela significativa de estudantes.

SUMÁRIO

INFLUÊNCIA DA SENSIBILIDADE DE PARÂMETROS DOS MODELOS DE AVRAMI NAS CINÉTICAS DE RECRISTALIZAÇÃO SOBRE O TAMANHO DE GRÃO EM UM PROCESSO DE LAMINAÇÃO A QUENTE DE LIGA DE AÇO SAE 4140.....	10
SIMULAÇÃO NUMÉRICA DA EXTRUSÃO EM CANAL ANGULAR COM TORÇÃO (ECA-T): INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA NA DEFORMAÇÃO.....	13
OTIMIZAÇÃO TOPOLÓGICA APLICADA NO CONTEXTO DE PRÓTESES HUMANAS.....	15
PROCESSO DE DOBRAMENTO A FRIO DE CHAPAS FINAS METÁLICAS: ANÁLISES POR ELEMENTOS FINITOS, EXPERIMENTOS E MODELO MATEMÁTICO PARA COMPENSAÇÃO DO RETORNO ELÁSTICO.....	17
FORÇAS NA ESTAMPAGEM INCREMENTAL DE CHAPA FINA METÁLICA POR MEIO DE EXPERIMENTOS E ANÁLISES POR ELEMENTOS FINITOS.....	19
MODELAGEM DE CURVAS DE FLUXO PLÁSTICO DE UM AÇO BIFÁSICO UTILIZANDO INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL.....	22
APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA DE MACHINE LEARNING PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE PEÇAS IMPRESSAS EM 3D.....	24
ESTUDO DA PREVISIBILIDADE DO ERRO DE TRANSMISSÃO DE ENGRENAGENS DE DENTES RETOS PARA PROJETO DE MODIFICAÇÕES DE MICROGEOMETRIA.....	26
CONTRIBUIÇÃO DO PRÉ-AQUECIMENTO DO SUBSTRATO NA PREVENÇÃO DE TRINCAS EM REVESTIMENTOS GERADOS POR LASER CLADDING.....	28
AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE DE CORTE SOBRE O ESTADO DE SUPERFÍCIE NO TORNEAMENTO DA LIGA TI-6AL-4V ELI.....	30
INFLUÊNCIA DO TAMANHO DO GRÃO DO REBOLO NA QUALIDADE SUPERFICIAL DO INSERTO DE CORTE DE METAL DURO RETIFICADO.....	36
INVESTIGAÇÃO DOS MECANISMOS DE REMOÇÃO DE MATERIAL NA RETIFICAÇÃO DE INSERTOS DE CORTE.....	38
SHUNT PIEZOELÉTRICO PARA CONTROLE PASSIVO DE CHATTER NO PROCESSO DE TORNEAMENTO DE LIGAS DE TITÂNIO.....	40
AVALIAÇÃO DE TEXTURAS INDUZIDAS POR VIBRAÇÃO NO TORNEAMENTO DURO DE UM AÇO FERRAMENTA.....	42
INVESTIGAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO CONTROLE TÉRMICO ATIVO SOBRE A RESISTÊNCIA MECÂNICA E QUALIDADE SUPERFICIAL DE PEÇAS IMPRESSAS PELA TÉCNICA FPM.....	44

ATUALIZAÇÃO DE MÁQUINAS-FERRAMENTA ANTIGAS ATRAVÉS DE INSTRUMENTAÇÃO DE BAIXO CUSTO: UM ESTUDO SOBRE O EFEITO DO MONITORAMENTO DO PROCESSO DE TORNEAMENTO NA QUALIDADE SUPERFICIAL.....	46
AVALIAÇÃO MICROESTRUTURAL DO AÇO INOXIDÁVEL LEAN DUPLEX 2404 APÓS SIMULAÇÕES DE CICLOS TÉRMICOS DE ZONAS TERMICAMENTE AFETADAS REALIZADAS POR GLEEBLE.....	48
AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO ACABAMENTO SUPERFICIAL NA RESISTÊNCIA À CORROSÃO DO AÇO 1020 EM BIODIESEL E SUAS MISTURAS COM ÓLEO DIESEL.....	50

PROCESSO DE DOBRAMENTO A FRIO DE CHAPAS FINAS METÁLICAS: ANÁLISES POR ELEMENTOS FINITOS, EXPERIMENTOS E MODELO MATEMÁTICO PARA COMPENSAÇÃO DO RETORNO ELÁSTICO

Jonatan Augusto da Silva ⁽¹⁾

Sérgio Henrique Evangelista ⁽²⁾

⁽¹⁾Mestrando, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, Brasil, jonatan.augusto@hotmail.com

⁽²⁾Prof Dr, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, Brasil, toddyprof@ufscar.br

Resumo: A operação de dobra de chapas é um processo de conformação mecânica presente nos mais diversos ramos de aplicações industriais e o retorno elástico (springback) é um dos problemas encontrados em sua realização. O objetivo deste trabalho é verificar o comportamento do alumínio QQ-A-250/5 'T3' (2024) ao ser submetido a uma operação de dobramento em "V" utilizando matriz e punção como ferramentas, comparando seus resultados com equações conhecidas na literatura e com resultados apresentados em trabalhos de referência. Análises numéricas no software Abaqus foram realizadas utilizando como dados de entrada valores obtidos por meio de ensaios de tração do material, além de dados fornecidos pelos fabricantes das chapas que são largamente utilizadas na área de construção aeronáutica. Por meio da análise dos experimentos foi possível verificar diferenças nos resultados esperados nas equações em comparação com os dados obtidos nas análises numéricas e nas medições dos corpos de prova. Os resultados por elementos finitos apresentaram desvios menores que aqueles obtidos por cálculos diretos. Discussões sobre limitações nas análises e dependências das hipóteses são apresentadas para oferecer aprimoramento futuro nos processos preditivos.

Palavras-chaves: Elementos Finitos, Retorno Elástico, Dobramento de Chapas V, Medição Tridimensional.

1. INTRODUÇÃO

A operação de dobramento de chapas é amplamente realizada aplicando-se uma carga de forma a aumentar a tensão interna do material (Calister, 2008) e mesmo com todo conhecimento da indústria sobre o processo, podem surgir alguns problemas técnicos no decorrer de sua aplicação (Farsi e Arezoo, 2011).

O retorno elástico conhecido como *springback* está entre os fenômenos indesejáveis que podem surgir durante o desenvolvimento do processo de dobra fazendo com que a chapa submetida ao processo de conformação retorne parcialmente ao seu estágio inicial, o que pode comprometer a qualidade dimensional do produto (Ramezine *et al.*, 2010).

O objetivo do presente trabalho consiste em realizar as operações de dobra em chapas de alumínio QQ-A-250/5 'T3' (2024), utilizando corpos de prova com espessuras de 0,4mm para a verificação da compatibilidade dos resultados com as equações conhecidas, além de verificar possíveis alterações nos dados do springback e propor correções no modelo para compensar seus efeitos dimensionais nas peças.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

No desenvolvimento deste trabalho foram realizados ensaios experimentais e numéricos em chapas de alumínio QQ-A-250/5 'T3' (2024) com espessura de 0,4 mm para verificação de seu retorno elástico

O experimento foi realizado utilizando-se de uma dobradeira do Modelo Newton PDH - 7525 para cargas de 75 toneladas com um vão livre disponível para dobra de chapas de até 2,5 m e com comando numérico computadorizado. A medição foi realizada utilizando uma medidora tridimensional modelo TESA Bugnon 38.

Para a simulação numérica foi utilizado o software de elementos finitos *ABAQUS 2014*, utilizado a partir de disponibilização do mesmo junto ao DEMa, Departamento de Engenharia de Materiais da UFSCar, Universidade Federal de São Carlos.

Corpos de prova utilizados para o ensaio de tração foram cortados em uma máquina de corte a fio Fanuc modelo a-C400iA. Os corpos de prova para o ensaio estavam de acordo com a norma ASTM E 8M-2000.

Foram produzidos 2 punções com raios de dobra diferentes, sendo um deles com raio de 1,0 mm na fig. 1-b e o outro com o raio de dobra de 5,5 mm fig. 1-c. A figura 1-a apresenta a montagem entre a matriz e o punção com raio de 1,0mm.



Figure 1: a- Montagem punção/matriz, b- Punção de raio 1,0mm, c – Punção com raio de 5,5mm.

Para simplificação da análise numérica foi considerado o ensaio como simulação em 2D utilizando o estado plano de deformação, além da aplicação de simetria no corpo de prova, punção e matriz.

A malha do corpo de prova foi dividida em 6 elementos igualmente espaçados na direção da espessura de 0,4mm e em 60 elementos na direção do comprimento, o que resultou em um total de 360 elementos em cada uma das metades do corpo de prova. Os elementos utilizados foram do tipo CPE4 que são formados por 4 nós e são aplicados em estado plano de deformação.

3. RESULTADOS PRELIMINARES

A figura 2 apresenta os resultados de duas chapas dobradas com punções diferentes, onde a figura 2-a consiste na chapa dobrada com ferramenta de raio 1,0 mm e a figura 2-b mostra o resultado da chapa dobrada com ferramenta de raio 5,5 mm.



Figure 2: a- Raio de 1,0mm. b – Raio de 5,5mm.

O estado de tensões equivalentes obtido por elementos finitos é ilustrado na figura 3 para o caso da dobra com ferramenta de raio 1,0 mm. Nas análises que se seguem, foi escolhido como ponto de estudo o comportamento do elemento 1.

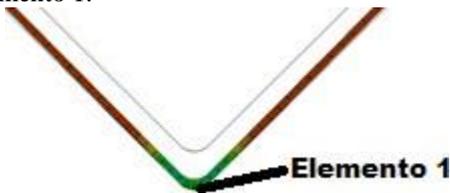


Figure 3: Análise Numérica.

A figura 4 apresenta um comparativo entre o comportamento da tensão e da deformação no elemento 1 (Elemento central da chapa) durante todo o ensaio.

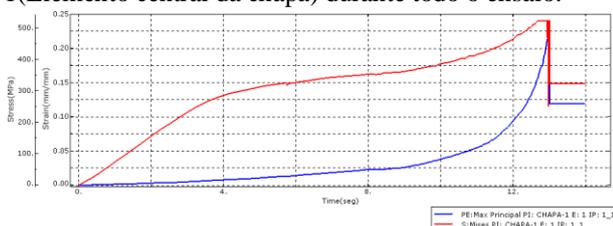


Figure 4: Tensão e Deformação do elemento 1.

Schaeffer e Rocha (2007) apresentaram a equação 1 em que o fator de retorno elástico pode ser aplicado como ferramenta na previsão do comportamento da chapa ao ser dobrada, em que M_b representa o momento de dobra, r_1 o raio de dobra, s é o valor da espessura da chapa, E é o valor do módulo de elasticidade e b representa a largura da chapa.

$$k = 1 - \frac{12M_b(r_1 + 0,5s)}{E * b * s^3} \quad (1)$$

A equação 2 apresenta o erro calculado por meio da comparação entre os valores calculados de maneira teórica, experimental e por meio da análise numérica.

$$Erro = 100 * (Valor_{Calc} - Valor_{Exp}) / Valor_{exp} \quad (2)$$

Desta forma é possível verificar os erros de previsão dos ângulos finais de dobramento conforme a equação 1 em que seus resultados estão apresentados na tabela 1.

Tabela 1: Erros teóricos, experimentais e numéricos

Raio de dobra	Erros teóricos em relação ao experimento	Elementos finitos em relação ao experimento
1,0	+ 2,95%	- 4,85%
5,5	+ 20,20%	- 8,21%

4. CONCLUSÃO

Neste trabalho foram apresentadas comparações entre as predições teóricas e por elementos finitos sobre o problema do retorno elástico em amostras metálicas. Erros menores foram obtidos nas análises por elementos finitos, com desvios abaixo de 8,21% em módulo a respeito dos ângulos finais obtidos nas análises numéricas em relação aos obtidos nos experimentos. As duas abordagens de predição possuem limitações, sendo elas discutidas no texto para orientar as iniciativas futuras de aprimoramento com as técnicas apresentadas.

5. REFERÊNCIAS

- Calister Jr, W. D. Ciência e engenharia de materiais: uma introdução. 8 ed. Rio de Janeiro: LTC editora, 2008, 705p.
- Farsi, M. A; Arezoo, B. Bending force and spring-back in v-die-bending of perforated sheet-metal components. *J. Braz. Soc. Mech. Sci. & Eng. Rio de Janeiro*, v. 33, n. 1, p. 45-51, Mar. 2011.
- Ramezani, M.; Ripin, Z. M.; Ahmad, R. Modelling of kinetic friction in Vbending of ultra high strength steel sheets. *Int J Adv Manuf Technol, Nibong Tebal*, v.46, p.101-110, 2010.
- Schaeffer, L.; Rocha, A. DA S. *Conformação Mecânica: Cálculos Aplicados em Processos de Fabricação*. Porto Alegre: Imprensa Livre, 2007.



editoraomnisscientia@gmail.com 

<https://editoraomnisscientia.com.br/> 

@editora_omnis_scientia 

<https://www.facebook.com/omnis.scientia.9> 

+55 (87) 9656-3565 



editoraomnisscientia@gmail.com 

<https://editoraomnisscientia.com.br/> 

@editora_omnis_scientia 

<https://www.facebook.com/omnis.scientia.9> 

+55 (87) 9656-3565 