

UTILIZAÇÃO DO MODELO DE GONORING PARA CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE UMA LIGA DE AÇO IF

Lézio Finck, leziofinck@gmail.com

Marcos Tadeu D'Azeredo Orlando, marcos.orlando@ufes.br

Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGEM). Av. Fernando Ferrari, 514, Goiabeiras, Vitória – ES, CEP 29075-910.

Resumo. A caracterização precisa do encruamento de aços é crucial para a simulação de processos de conformação. O objetivo deste trabalho é aplicar e validar o modelo de encruamento de Gonoring, baseado no expoente de encruamento instantâneo, para descrever o comportamento plástico de um aço *Interstitial-Free* (IF). O modelo, que utiliza um ajuste polinomial no domínio logarítmico, foi aplicado a dados experimentais de um ensaio de tração uniaxial. O grau ideal do polinômio (grau 8) foi determinado iterativamente visando minimizar o erro quadrático médio (RMSE). O modelo demonstrou uma precisão excepcional, com um Coeficiente de Determinação (R^2) superior a 0.9999 e um RMSE de 0.2963 MPa, sendo a curva prevista visualmente indistinguível dos dados experimentais. O modelo permitiu a derivação das curvas de taxa de encruamento (θ) e do expoente de encruamento instantâneo (n). Conclui-se que o modelo de Gonoring é uma ferramenta robusta e precisa para a caracterização do comportamento plástico de aços IF. Sua flexibilidade em capturar os comportamentos de $n(\varepsilon_{pl})$ e $\theta(\varepsilon_{pl})$ o torna ideal para a geração de dados de entrada de alta fidelidade para simulações de conformação mecânica, superando as limitações dos modelos constitutivos tradicionais.

Palavras-chave: Modelo de Gonoring. Encruamento. Aço IF. Equação Constitutiva. Ensaio de Tração Uniaxial.

1. INTRODUÇÃO

A conformação plástica de metais é um pilar fundamental na indústria de manufatura, permitindo a transformação de materiais brutos em componentes complexos com propriedades mecânicas otimizadas. Um dos fenômenos mais importantes que governam este processo é o encruamento (ou endurecimento por deformação), que descreve como um material metálico responde à deformação plástica uniforme, aumentando sua resistência a deformações subsequentes (GONORING et al., 2022; HOCKETT; SHERBY, 1975; SUNG; KIM; WAGONER, 2010). A capacidade de encruamento está intrinsecamente ligada à deformabilidade, ductilidade e tenacidade dos materiais (KANG et al., 2014; CAETANO et al., 2022). Dessa forma, uma alta capacidade de encruamento indica que o metal distribui a deformação de maneira mais uniforme na presença de um gradiente de tensão, o que é crucial para evitar a localização da deformação (estricção) e a falha prematura do componente (GONORING; MOREIRA; ORLANDO, 2021; PHAM et al., 2018). A descrição e a parametrização precisa deste comportamento são, portanto, de suma importância tanto para a aplicação de ligas existentes quanto para o desenvolvimento de novos materiais metálicos (GONORING et al., 2022).

Além disso, para prever o comportamento plástico de ligas metálicas policristalinas em processos de estampagem, a engenharia recorre ao uso de equações constitutivas (HOCKETT; SHERBY, 1975; KANG et al., 2014; SUNG; KIM; WAGONER, 2010). Esses modelos matemáticos são essenciais para alimentar simulações computacionais, especialmente aquelas baseadas no método de elementos finitos (FEM), que permitem otimizar processos e reduzir drasticamente os custos e o tempo de desenvolvimento de novos produtos (CAETANO et al., 2022; GONORING; MOREIRA; ORLANDO, 2021). As equações de encruamento são classicamente divididas em dois grupos principais (GONORING et al., 2022; CAO et al., 2017; CHINH et al., 2004).

O primeiro grupo é o das leis de potência, que não preveem um limite superior para a tensão verdadeira (σ) em níveis elevados de deformação plástica (ε_{pl}), ou seja, $\sigma \rightarrow \infty$ quando $\varepsilon_{pl} \rightarrow \infty$ (GONORING et al., 2022; CHINH et al., 2004). Estes modelos são frequentemente considerados mais adequados para metais de estrutura CCC (KANG et al., 2014; SUNG; KIM; WAGONER, 2010). As equações notáveis deste grupo incluem a de Ludwik (1909), a de Hollomon (1945) e a de Swift (1952), e são enumeradas a seguir como (1), (2) e (3) respectivamente. A equação (3) introduz um parâmetro de pré-deformação ε_0 .

$$\sigma = \sigma_y + K_L * \varepsilon_{pl}^{n_l} \quad (1)$$

$$\sigma = K_H * \varepsilon_{pl}^{n_h} \quad (2)$$

$$\sigma = K_S * (\varepsilon_{pl} + \varepsilon_0)^{n_s} \quad (3)$$

O segundo grupo consiste nas equações de saturação, que preveem que a tensão verdadeira se aproxima assintoticamente de um valor de saturação (σ_s), ou seja, $\sigma \rightarrow \sigma_s$ quando $\epsilon_{pl} \rightarrow \infty$ (GONORING et al., 2022; CHINH et al., 2004). Estes modelos são tipicamente mais adequados para metais de estrutura CFC, como alumínio e cobre (KANG et al., 2014; SUNG; KIM; WAGONER, 2010). Os modelos mais representativos são a Equação de Voce (1948), que coincide com o modelo físico de Kocks-Mecking para recuperação dinâmica (HOCKETT; SHERBY, 1975; HART, 1970); e a Equação de Hockett-Sherby (1975) que é uma variação da de Voce (HOCKETT; SHERBY, 1975; CAETANO et al., 2022; GONORING et al., 2022). Dessa forma, as duas expressões são enumeradas a seguir como (4) e (5) respectivamente.

$$\sigma = \sigma_s - (\sigma_s - \sigma_y) * \exp(-n_v * \epsilon_{pl}) \quad (4)$$

$$\sigma = \sigma_s - (\sigma_s - \sigma_y) * \exp[-(N * \epsilon_{pl})^p] \quad (5)$$

Apesar da ampla utilização desses modelos, formulações baseadas em um expoente de encruamento constante são frequentemente simplistas para descrever materiais modernos (WIRE; ELLIS; LI, 1975; CAI et al., 2011). Muitos materiais exibem um comportamento de encruamento em múltiplos estágios, conhecido como "double-n" ou sigmoidal (HERTELÉ; DE WAELE; DENYS, 2011). Esse fenômeno, que os modelos tradicionais não capturam, leva a desvios significativos ao extrapolar o comportamento para além da faixa de deformação uniforme (GONORING et al., 2022; HOCKETT; SHERBY, 1975; KANG et al., 2014). O modelo de Swift, por exemplo, tende a superestimar a tensão pós-estricção, enquanto o de Voce tende a subestimá-la (CAO et al., 2017).

Para superar essas limitações, foi introduzido o conceito de expoente de encruamento instantâneo, $n(\epsilon)$, definido por Ratke e Welch (1983) como:

$$n(\epsilon) = \left(\frac{\partial \ln \sigma}{\partial \ln \epsilon} \right)_{\epsilon} \quad (6)$$

Este parâmetro representa uma medida normalizada e instantânea da capacidade de encruamento, revelando uma variação contínua com a deformação que reflete as mudanças nos mecanismos microestruturais dominantes, como o efeito TWIP ou TRIP (GONORING et al., 2022; CAI et al., 2011).

Nesse contexto, Gonoring et al. (2022) desenvolveram um novo modelo de equação constitutiva, denominado modelo de Gonoring, fundamentado diretamente na definição do expoente de encruamento instantâneo. A proposta parte da integração da definição de $n(\epsilon)$, resultando em uma equação que descreve a tensão verdadeira, $\sigma(\epsilon_{pl})$, como o produto de duas funções principais: a Função de Amplitude de Encruamento, $K(\Omega_z, \epsilon_u, \sigma_u)$, que ajusta a magnitude da curva, e a Função de Encruamento Normalizada, $F(\Omega_z, \epsilon_{pl})$, uma função exponencial polinomial que caracteriza a forma da curva (GONORING et al., 2022).

Assim, a grande vantagem deste modelo reside na sua flexibilidade. Como a função de forma $F(\Omega_z, \epsilon_{pl})$ é baseada em um polinômio de grau ajustável, o modelo tem a capacidade de descrever com alta precisão comportamentos de encruamento complexos, incluindo curvas sigmóides e multiestágios (GONORING et al., 2022). Além disso, o modelo se relaciona diretamente com a taxa de encruamento (7) através da expressão (8), que permite uma análise completa do comportamento plástico (GONORING et al., 2022).

$$\theta = \frac{d\sigma(\epsilon_{pl})}{d\epsilon_{pl}} \quad (7)$$

$$\theta(\epsilon_{pl}) = \sigma(\epsilon_{pl}) \cdot \frac{n(\epsilon_{pl})}{\epsilon_{pl}} \quad (8)$$

O presente trabalho busca aplicar e validar o modelo de Gonoring em um material de grande importância tecnológica: os aços *Interstitial-Free* (IF). Os aços IF são uma classe de aços de ultra baixo carbono, caracterizados por uma matriz ferrítica livre de átomos intersticiais (C e N) (ZHENG et al., 2024; HART, 1967). Isso é alcançado pela adição de elementos microligantes, como titânio (Ti) e/ou nióbio (Nb), que formam carbonitretos estáveis (ex: TiN, (Nb,Ti)C), removendo C e N da solução sólida (ZHENG et al., 2024). Como resultado, os aços IF exibem uma excelente capacidade de estampagem profunda (*deep drawability*) e alta performance em deformação plástica, sendo materiais de escolha para a indústria automotiva (ZHENG et al., 2024).

A aplicação de um modelo avançado como o de Gonoring a um aço IF permite uma descrição mais precisa de seu comportamento mecânico para simulação (GONORING; MOREIRA; ORLANDO, 2021) e oferece uma ferramenta robusta para investigar nuances de encruamento não capturadas pelos modelos de Hollomon ou Swift (ZHENG et al., 2024).

O objetivo deste artigo é, portanto, aplicar o modelo de Gonoring para caracterizar o comportamento de encruamento de uma liga de aço IF, com base em dados experimentais de tração uniaxial. A eficácia do modelo em representar a curva tensão-deformação e seus parâmetros derivados (taxa e expoente de encruamento) será avaliada, demonstrando sua robustez para a caracterização precisa de materiais metálicos.

2. METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho baseia-se na aplicação do modelo constitutivo de Gonoring (GONORING et al., 2022) aos dados experimentais de um ensaio de tração uniaxial de um aço IF. A análise segue os procedimentos de ajuste e cálculo detalhados no trabalho original do modelo.

2.1. O MODELO DE ENCRUAMENTO DE GONORING

O modelo de Gonoring parte da definição do expoente de encruamento instantâneo, correspondente a equação (6) (GONORING et al., 2022). A integração desta definição resulta na equação constitutiva de tensão (GONORING et al., 2022), conforme a equação (9):

$$\sigma(\epsilon_{pl}) = \sigma_u \cdot \exp\left\{\sum_{z=1}^{\phi} \Omega_z [-(\ln \epsilon_u)^z]\right\} \cdot \exp\left\{\sum_{z=1}^{\phi} \Omega_z [(\ln \epsilon_{pl})^z]\right\} \quad (9)$$

Onde σ_u e ϵ_u são a tensão e a deformação no ponto de engenharia de tensão máxima (instabilidade), Ω_z são os coeficientes polinomiais e ϕ é o grau do polinômio. Esta equação pode ser reescrita como o produto de duas funções (GONORING et al., 2022), conforme a equação (10):

$$\sigma(\epsilon_{pl}) = K(\Omega_z, \epsilon_u, \sigma_u) \cdot F(\Omega_z, \epsilon_{pl}) \quad (10)$$

A Função de Amplitude de Encruamento (K), equação (11), é uma constante escalar que ajusta a magnitude (amplitude) da curva:

$$K(\Omega_z, \epsilon_u, \sigma_u) = \sigma_u \cdot \exp\left\{\sum_{z=1}^{\phi} \Omega_z [-(\ln \epsilon_u)^z]\right\} \quad (11)$$

A Função de Encruamento Normalizada (F), equação (12), é uma função que define a forma da curva de encruamento:

$$F(\Omega_z, \epsilon_{pl}) = \exp\left\{\sum_{z=1}^{\phi} \Omega_z (\ln \epsilon_{pl})^z\right\} \quad (12)$$

A partir do ajuste polinomial, o expoente de encruamento instantâneo (n) é diretamente determinado pela equação (13):

$$n(\epsilon_{pl}) = \sum_{z=1}^{\phi} z \phi_z (\ln \epsilon_{pl})^{z-1} \quad (13)$$

A taxa de encruamento (θ) é então calculada pela equação (8):

2.2. PROCEDIMENTO DE AJUSTE E ANÁLISE

O procedimento de ajuste do modelo aos dados experimentais do aço IF segue as etapas descritas por Gonoring et al. (2022):

1. Os dados experimentais de tensão verdadeira (σ) e deformação plástica verdadeira (ϵ_{pl}) do ensaio de tração do aço IF são transformados para a escala logarítmica.
2. Um polinômio $P(\ln \epsilon_{pl}) = \sum_{z=1}^{\phi} \Omega_z [\ln \epsilon_{pl}]^z$ é ajustado aos dados transformados.
3. O ajuste é realizado iterativamente, variando o grau do polinômio (ϕ), iniciando em $\phi = 1$.
4. Para cada grau ϕ , os coeficientes polinomiais (Ω_1 a Ω_{ϕ}) e as condições de contorno (σ_u, ϵ_u) são usados para calcular a curva de tensão prevista $\sigma(\epsilon_{pl})$ usando a equação (9).
5. O Erro Quadrático Médio (RMSE) e o coeficiente de determinação R^2 são calculados entre os dados experimentais e a curva prevista.
6. O grau ϕ que resulta no menor valor de RMSE é selecionado como o grau ideal para o modelo.
7. Com os coeficientes ótimos, as curvas para $\sigma(\epsilon_{pl})$, $n(\epsilon_{pl})$ e $\theta(\epsilon_{pl})$ são geradas usando as equações (9), (13) e (8), respectivamente.

Para o ajuste e a otimização dos parâmetros, foi utilizado um algoritmo de Levenberg-Marquardt (LEVENBERG, 1944; MARQUARDT, 1963).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo de Gonoring foi aplicado a um conjunto de dados experimentais de um ensaio de tração uniaxial de um aço IF. Os parâmetros de ajuste e os resultados quantitativos, que são discutidos abaixo e visualizados nas Figuras 1 a 4.

Outrossim, o ajuste do modelo aos dados experimentais encontrou um grau polinomial ideal (ϕ) igual a 8. Este ajuste resultou em um Erro Quadrático Médio (RMSE) de 0.2963 MPa e um Coeficiente de Determinação (R^2) de 0.999973 para a curva tensão-deformação (verdadeira). Ademais, a lista com todos os coeficientes Ω são apresentadas na Tabela 1 e a expressão completa do polinômio ajustado é ilustrada na equação (14). Para evitar problemas de truncamento, uma vez que o polinômio envolvido possui grau elevado, optou-se por adotar 10 casas após vírgula.

Tabela 1 – Lista de coeficientes Ω encontrados ($\phi = 8$)

Coeficientes	Valores
Ω_0	6.8072592383
Ω_1	1.5742700437
Ω_2	1.3579519381
Ω_3	0.7279426445
Ω_4	0.2254262851
Ω_5	0.0417510776
Ω_6	0.0046053984
Ω_7	0.0002798470
Ω_8	0.0000072155

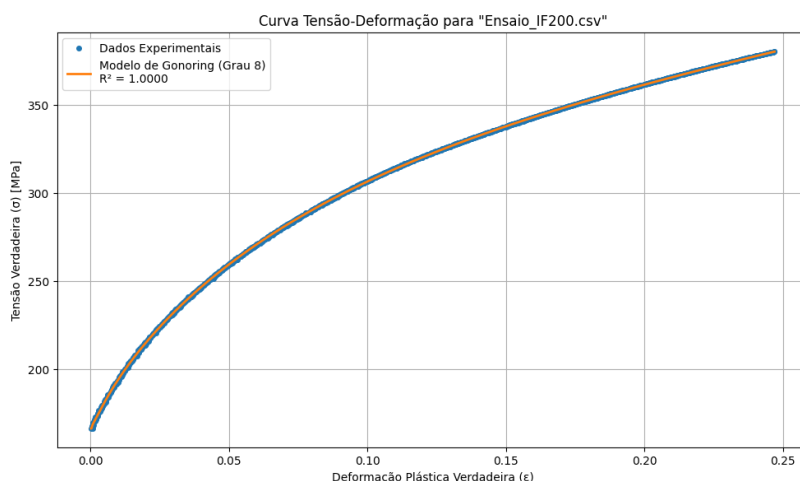
Fonte: Produção do próprio autor.

$$\ln(\sigma) = 0.0000072155 \cdot (\ln \varepsilon)^8 + 0.0002798470 \cdot (\ln \varepsilon)^7 + 0.0046053984 \cdot (\ln \varepsilon)^6 + 0.0417510776 \cdot (\ln \varepsilon)^5 + 0.2254262851 (\ln \varepsilon)^4 + 0.7279426445 (\ln \varepsilon)^3 + 1.3579519381 \cdot (\ln \varepsilon)^2 + 1.5742700437 \cdot (\ln \varepsilon) + 6.8072592383 \quad (14)$$

3.1. CURVA TENSÃO-DEFORMAÇÃO

A Figura 1 apresenta a comparação entre os dados experimentais da curva tensão-deformação do aço IF e a curva prevista pelo modelo de Gonoring.

Figura 1 – Comparação entre dados experimentais e o ajuste do modelo de Gonoring (Grau 8) para a curva tensão-deformação do aço IF



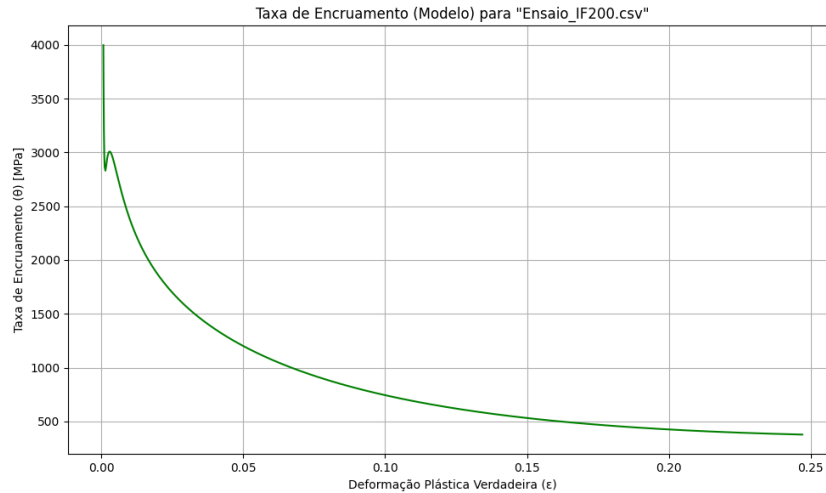
Fonte: Produção do próprio autor.

Como pode ser observado, o ajuste do modelo é visualmente indistinguível dos dados experimentais em toda a faixa de deformação plástica analisada. O valor de R^2 de 0.999973 e um RMSE inferior a 0.3 MPa confirmam a excepcional precisão do modelo em capturar o comportamento macroscópico do material. Isso valida a flexibilidade da Função de Encruamento Normalizada (F) para descrever este aço específico.

3.2. TAXA DE ENCRUAMENTO

A taxa de encruamento (θ), é mostrada na Figura 2.

Figura 2 – Curva da taxa de encruamento (θ) em função da deformação plástica, derivada do modelo de Gonoring



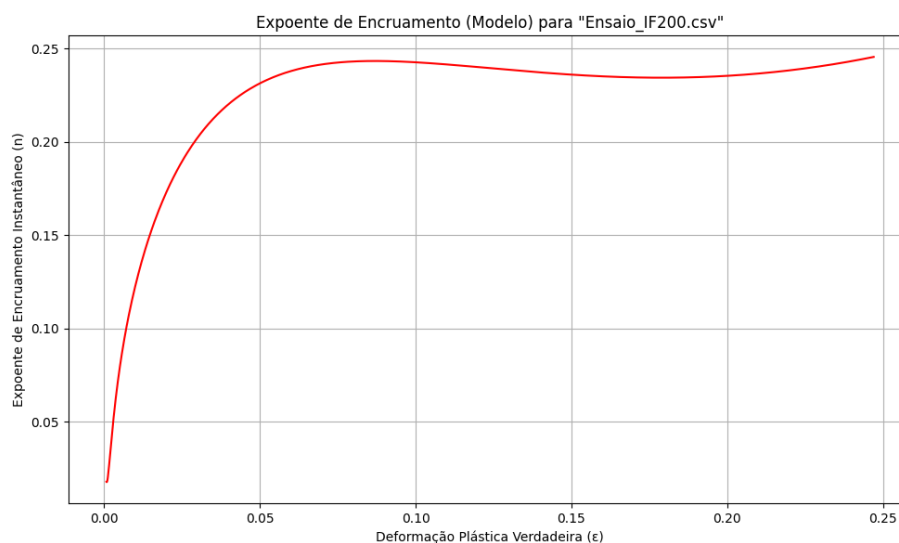
Fonte: Produção do próprio autor.

A curva de $\theta(\epsilon_{pl})$ apresenta o comportamento clássico esperado, com uma taxa de encruamento extremamente alta no início do escoamento (refletindo a rápida multiplicação de discordâncias), seguida por um decaimento exponencial acentuado à medida que a deformação aumenta e os mecanismos de recuperação dinâmica se tornam mais ativos. A curva tende a uma taxa de encruamento baixa, mas não nula, no final do intervalo analisado.

3.3. EXPOENTE DE ENCRUAMENTO INSTANTÂNEO

A Figura 3 mostra a evolução do expoente de encruamento instantâneo, $n(\epsilon_{pl})$. Esta curva é fundamental, pois demonstra a limitação dos modelos clássicos de lei de potência.

Figura 3 – Evolução do expoente de encruamento instantâneo (n) com a deformação plástica, derivada do modelo de Gonoring



Fonte: Produção do próprio autor.

Fica evidente que o expoente ' n ' não é constante. Para o aço IF analisado, $n(\epsilon)$ inicia-se em valores baixos, aumenta rapidamente atingindo um pico de aproximadamente 0.245 em torno de 0.08 de deformação, e então decai suavemente. Este comportamento sigmoidal é característico de materiais que exibem múltiplos estágios de encruamento, algo que a Equação de Hollomon (que forçaria esta curva a ser uma linha horizontal) não consegue capturar.

4. CONCLUSÕES

Este trabalho demonstrou a aplicação bem-sucedida do modelo de encruamento de Gonoring aos dados experimentais de um aço IF. O modelo demonstrou uma capacidade de ajuste excepcional à curva tensão-deformação, com um R^2 de 0.999973 e um RMSE de apenas 0.2963 MPa, utilizando um polinômio de grau 8.

Conclui-se que o modelo de Gonoring é uma ferramenta robusta e precisa para a caracterização do comportamento plástico de aços IF. Sua flexibilidade em capturar o comportamento de $n(\epsilon)$ e $\theta(\epsilon)$ o torna ideal para a geração de dados de entrada de alta fidelidade para simulações de conformação mecânica, superando as limitações dos modelos constitutivos tradicionais.

5. REFERÊNCIAS

- CAETANO, G. A.; GONORING, T. B.; COELHO, L. M.; LUZ, T. S.; ROSSI, J. L.; ORLANDO, M. T. D. Mechanical Properties Study of a Duplex Stainless Steel Weld Using Physical Simulation and Work Hardening Models. **Journal of Materials Engineering and Performance**, v. 31, p. 113-127, 2022.
- CAI, M.; DING, H.; TANG, Z.; LEE, H.; LEE, Y. Strain Hardening Behavior of High Performance FBPD, TRIP and TWIP Steels. **steel research international**, v. 82, n. 3, p. 242-248, 2011.
- CAO, J.; LI, F.; MA, X.; SUN, Z. Tensile stress-strain behavior of metallic alloys. **Transactions of Nonferrous Metals Society of China**, v. 27, p. 2443-2453, 2017.
- CHINH, N. Q.; HORVÁTH, G.; HORITA, Z.; LANGDON, T. G. A new constitutive relationship for the homogeneous deformation of metals over a wide range of strain. *Acta Materialia*, v. 52, p. 3555-3563, 2004.
- GONORING, T. B.; MOREIRA, L. P.; ORLANDO, M. T. D. An equivalent work-hardening description of an interstitial-free steel sheet based on uniaxial tensile and hydraulic bulge tests. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 13, p. 2138-2143, 2021.
- GONORING, T. B.; SALUSTRE, M. G. M.; CAETANO, G. A.; MARTINS, J. B. R.; ORLANDO, M. T. D. A constitutive model for the uniaxial tensile plastic behavior of metals based on the instantaneous strain-hardening exponent. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 20, p. 2421-2443, 2022.
- HART, E. W. Theory of the tensile test. **Acta Metallurgica**, v. 15, p. 351-355, 1967.
- HART, E. W. A phenomenological theory for plastic deformation of polycrystalline metals. **Acta Metallurgica**, v. 18, p. 599-610, 1970.
- HERTELÉ, S.; DE WAELE, W.; DENYS, R. A generic stress-strain model for metallic materials with two-stage strain hardening behaviour. **International Journal of Non-Linear Mechanics**, v. 46, p. 519-531, 2011.
- HOCKETT, J. E.; SHERBY, O. D. Large strain deformation of polycrystalline metals at low homologous temperatures. **Journal of the Mechanics and Physics of Solids**, v. 23, p. 87-98, 1975.
- HOLLOMON, J. H. Tensile deformation. **Trans Metall Soc AIME**, v. 162, p. 268-290, 1945.
- KANG, S.-K.; KIM, Y.-C.; KIM, K.-H.; KWON, D.; KIM, J.-Y. Constitutive equations optimized for determining strengths of metallic alloys. **Mechanics of Materials**, v. 73, p. 51-57, 2014.
- LEVENBERG, K. A method for the solution of certain non-linear problems in least squares. **Quarterly of Applied Mathematics**, v. 2, p. 164-168, 1944.
- LUDWIK, P. Elemente der Technologischen mechanik. **Berlin Heidelberg: Springer-Verlag**, 1909.
- MARQUARDT, D. W. An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters. **Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics**, v. 11, n. 2, p. 431-441, 1963.
- PARUZ, H.; EDMONDS, D. V. The Strain Hardening Behaviour of Dual-phase Steel. **Materials Science and Engineering: A**, v. 117, p. 67-74, 1989.
- PHAM, Q.-T.; LEE, B.-H.; PARK, K.-C.; KIM, Y.-S. Influence of the post-necking prediction of hardening law on the theoretical forming limit curve of aluminium sheets. **International Journal of Mechanical Sciences**, v. 140, p. 521-536, 2018.
- RATKE, L.; WELCH, P. I. The questionability of empirical work hardening laws. **Z Metallkd**, v. 74, p. 226-232, 1983.
- SUNG, J. H.; KIM, J. H.; WAGONER, R. H. A plastic constitutive equation incorporating strain, strain-rate, and temperature. **International Journal of Plasticity**, v. 26, p. 1746-1771, 2010.
- SWIFT, H. W. Plastic instability under plane stress. **Journal of the Mechanics and Physics of Solids**, v. 1, p. 1-18, 1952.

VOCE, E. The relationship between stress and strain for homogeneous deformation. **J Inst Met**, v. 74, p. 537-562, 1948.

WIRE, G. L.; ELLIS, F. V.; LI, C.-Y. **Work Hardening and Mechanical Equation of State in Some Metals in Monotonic Loading**. Cornell University, 1975. (Report COO-2172-4).

ZHENG, Y. et al. Research on the strengthening mechanism of Nb-Ti microalloyed ultra low carbon IF steel. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 30, p. 5785-5803, 2024.

6. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) [Processo nº 88887.023919/2024-00]. Os autores também agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo (FAPES). Finalmente, um agradecimento ao LabTecMec-UFES por patrocinar o evento.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.