Unisanta Science and Technology, **2019, 3, July**
Published Online 2019 Vol.8 N°1 http://periodicos.unisanta.br/index.php/sat)

UNISANTA
Science and Technology
ISSN 2317-1316

Avaliação Estatística dos dados de Ensaios para a Determinação da Anisotropia Plástica em Amostras de Alumínio

André Luís Gomes Paes[1], Edson Fouad Beck Filho[1], Marcelo Yamaguti[1], Willy Ank de Morais[1,2]

UNISANTA [1] – Universidade Santa Cecília – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica - PPGEMec
Rua Oswaldo Cruz, 266 - Santos-SP, Brasil - CEP: 11045-100

WILLY ANK SOLUÇÕES [2] – Departamento Técnico
Rua Onze de Junho, 316 A.102 - São Vicente-SP, Brasil- CEP: 11320-160

E-mail*:* willyank@unisanta.br
Received may, 2018

Resumo: Este trabalho teve por objetivo analisar a influência do sentido de corte dos corpos de prova na determinação do coeficiente de anisotropia através da utilização de técnicas de tratamento estatístico de dados coletados a partir de ensaios em corpos de prova retirados nos sentidos transversal e longitudinal de chapas de alumínio. Os ensaios foram regidos pela norma ASTM E646 e ASTM E517, e o tratamento dos resultados foi realizado através da utilização das planilhas t-student e analise Weibull por Kaplan. Após estas etapas foi feita a discussão dos resultados, onde se verificou a similaridade e dissimilaridade dos corpos.

Palavras chave: Anisotropia Plástica; Ensaios Mecânicos; Distribuição de Weibull.

Statistical Evaluation of test Data for the Determination of Plastic Anisotropy in Aluminum samples

Abstract: The objective of this work was to analyze the influence of the cutting direction of the test specimens in the determination of the coefficient of anisotropy through the use of techniques of statistical treatment of data collected from tests on specimens taken in the transverse and longitudinal directions of plates aluminum. The assays were governed by ASTM E646 e ASTM E517, and the treatment of the results was performed using the t-student spreadsheets and Kaplan's Weibull analysis. After these steps the results were discussed, where the similarity and dissimilarity of the bodies were verified.

Keywords: Plastic Anisotropy; Mechanical tests; Distribution of Weibull.

1. Introdução

O comportamento dos materiais é uma área que fascina o ser humano desde o início da vida humana na terra. Com a evolução e o advento da tecnologia, a maneira de analisar e caracterizar os materiais foi evoluindo culminando na criação das normas e padronização dos materiais. Tais normas, criadas para consolidar conhecimentos e harmonizar desenvolvimentos, são criadas a nível mundial, nacional, regional e local, conforme ilustrado pela Figura 1 [1].

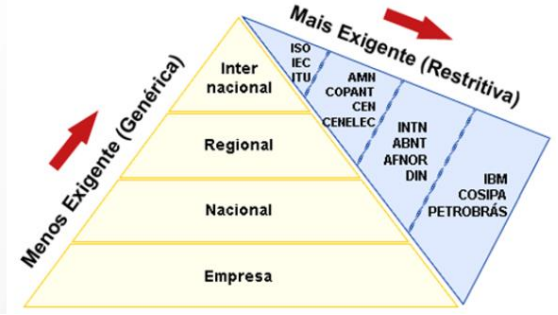


Figura 1. Pirâmide da relação abrangência vs. restrição das normas técnicas [1].

Copyright © 2019 ISESC.

Os diferentes tipos de materiais podem ser empregados em inúmeras aplicações finais, cada qual com um conjunto de requisitos específicos que devem ser atendidos pelo material. A garantia do atendimento destas características nem sempre é feita da forma ideal, ou seja, pelas normas técnicas aplicáveis e pelo atendimento a todos os parâmetros de propriedades efetivamente relevantes.

A determinação destas propriedades se dá através de ensaios que geram valores numéricos que servem para caracterizar o comportamento do material. Para tal, normalmente são empregados corpos de prova (CPs), confeccionados a partir de amostras representativas do material a ser caracterizado. Neste caso, são executados ensaios padronizados empregados para quantificar as características dos materiais e, assim, fornecer dados numéricos empregáveis nos projetos de Engenharia.

Adicionalmente, o comportamento dos materiais é intimamente dependente da estrutura e do processo de produção empregados para sua obtenção. Desta forma, ainda que um mesmo material possua um conjunto de características iguais à de outro, por exemplo, sua composição química, a sua estrutura interna, suas propriedades e, consequentemente, a aplicação final mais adequada pode ser bem diferentes conforme ilustrado no chamado 'tetraedro da ciência dos materiais', ilustrado na Figura 2 [2].

Uma operação de estampagem tem maior chance de ter sucesso quando o material apresenta o produto entre o coeficiente de anisotropia e expoente de encruamento ($\bar{R}$ e n) altos [3].

Particularmente, o coeficiente de Anisotropia (R), também conhecido como coeficiente de Lankford, mede o grau de anisotropia de um material, sob condições de deformação plástica [3]. Seu valor é definido como sendo a razão entre as deformações reais obtidas na largura (w) pela espessura (t) sob deformação plástica homogênea, conforme definido pela Equação (1) [3]:

$$R = \frac{\varepsilon_w}{\varepsilon_t} \qquad (1)$$

Sendo:

- ε_w a deformação real na largura;
- ε_t a deformação real na espessura.

A anisotropia pode ser considerada como a diferente resposta do material quando se consideram planos e/ou direções diferentes do material.

Se esta resposta é igual em todos os planos e/ou direção, diz-se que o material é isotrópico; caso contrário, diz que o material é anisotrópico.



Figura 2. Tetraedro da Ciência dos Materiais [2].

Durante o processo de conformação dos metais, os grãos tendem a ser alongados na direção de maior deformação. Este alongamento é consequência do mecanismo de escorregamento dos planos durante a deformação. Quando solicitados por carregamento mecânicos, os monocristais que apresentam anisotropia, ou seja, propriedades diferentes de acordo com a direção da solicitação vão escorregar de acordo com sistemas de deslizamentos preferenciais definidos pelas direções cristalográficas mais densas. Nos materiais policristalinos os grãos tendem a se deslocar para alguma orientação mais favorável. Este mecanismo faz com que os planos atômicos e direções cristalinas dos materiais com direção aleatória (isotropia) adquiram uma textura definida como uma orientação definida (anisotropia).

A deformação plástica se caracteriza pelo deslizamento de planos cristalográficos preferenciais, provocando, desta forma, características nas texturas que são função do processo de conformação. Considerando que o coeficiente de anisotropia, R, como definido pela Equação (1), se [3]:

$$\varepsilon_t = -(\varepsilon_w + \varepsilon_L) \qquad (2)$$

têm-se:

$$R = -\frac{\varepsilon_w}{\varepsilon_w + \varepsilon_L} \qquad (3)$$

ou:

$$R = \frac{\ln(\frac{w_0}{w_f})}{\ln(\frac{l_f w_f}{l_0 w_0})} \qquad (4)$$

Sendo:

- ε_L é a deformação verdadeira ao longo do comprimento;
- w_0 e w_f são as larguras inicial e final, respectivamente;
- l_0 e l_f são os comprimentos inicial e final, respectivamente.

O coeficiente de anisotropia normal pode ser expresso da seguinte forma [3]:

Copyright © 2019 ISESC

$$R_m = \frac{R_0 + 2R_{45} + R_{90}}{4} \quad (5)$$

O coeficiente de anisotropia planar pode ser expresso da seguinte forma [3]:

$$\Delta R = \frac{R_0 - 2R_{45} + R_{90}}{2} \quad (6)$$

De acordo com estudos realizados, existem relações bem estabelecidas entre a textura e os valores dos coeficientes de anisotropia. Na Quadro 1 (ANEXO 1), verifica-se a correlação de valores teóricos de R, Rm e ΔR, para texturas ideais para o alumínio, conforme apresentadas por Antenor [4]. Durante o processo de laminação do alumínio, ocorre cisalhamento da rede cristalina, resultando em uma textura específica, característica do processo. Isto implica na variação dos coeficientes de anisotropia em relação aos valores teóricos apresentados na Tabela 1. Tais variações poderão ser observadas diretamente do comportamento das curvas tensão versus deformação e deformação longitudinal versus deformação transversal, objeto de discussão deste trabalho e que serão analisados no tópico seguinte. No caso dos experimentos realizados neste trabalho, serão utilizados apenas corpos de prova transversais (R90) e longitudinais (R0).

2 Materiais e Métodos

Para realizar este trabalho empregou-se uma chapa de alumínio AA1050-H14, que foi cortada nas direções longitudinal e transversal, nas dimensões definidas para ensaios de tração para a determinação da anisotropia plástica, Equação 1 [3].

As dimensões dos corpos de prova obedeceram a norma ASTM E517 [5], conforme ilustrado na Figura 3.

Para realizar os ensaios empregou-se uma máquina universal de ensaios mecânicos EMIC DL 10.000 com capacidade para 100 kN, ilustrada na Figura 4.

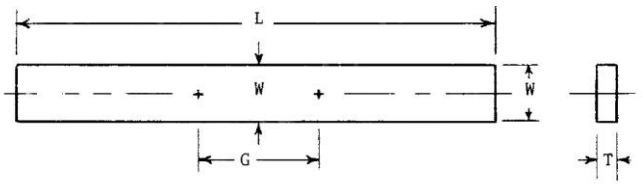
Como método de medição da deformação empregou-se um extensômetro eletrônico, com precisão de 0,001 mm (ou 1 μm), mecanicamente afixado no comprimento dos corpos de prova para a determinação de εL, Equação (3).

Para a determinação de εw, Equação (3), mediu-se manualmente a variação dimensional na lateral dos corpos de prova através de micrômetro, com precisão de 0,001 mm (ou 1 μm).

Os ensaios seriam executados inicialmente a uma velocidade de 20 mm/min, porém esta velocidade mostrou-se incompatível com o método de medição

Tabela 1. Orientações ideais e respectivos coeficientes de anisotropia [4].

Orientação ideal	R_0	R_{45}	R_{90}	R_m	ΔR
(001) <100>	1,00	0,00	1,00	0,53	0,30
(001) <110>	0,00	1,00	0,00	0,53	0,30
(111) <110>	1,84	1,89	1,95	1,91	0,04
(111) <112>	1,95	1,89	1,84	1,91	0,04
(110) <100>	0,96	0,50	17,0	2,69	2,70
(110) <112>	0,50	2,09	1,00	1,35	0,46



Dimensions

		Specimen B			
		Standard		Alternative	
		in.	mm	in.	mm
G	gauge length	2.00 ± 0.01	50 ± 0.25	1.00 ± 0.005	25 ± 0.13
W	gauge width	0.75± 0.005	20± 0.13	0.75± 0.005	20± 0.13
T	Thickness			thickness of material	
L	Overall length, min	8	200	7	175
C	Width of specimen (Note)	0.75 ± 0.005	20 ± 0.13	0.75± 0.005	20 ± 0.13

NOTE 1—Edges of Specimen B shall be machined parallel over the full length within a tolerance of 0.0008 in. (0.020 mm).

Figura 3. Dimensões dos Corpos de Prova empregados conforme ASTM E517 [5].

Copyright © 2019 ISESC

manual das dimensões nas laterais dos corpos de prova com o micrômetro. Por isso a velocidade foi reduzida drasticamente para 1 mm/min.

Como o material estava originalmente encruado, foi necessário primeiramente a realização de um recozimento no material para maximizar sua capacidade de deformação plástica. Para determinar a temperatura de recozimento de um material metálico encruado [6], deve-se considerar uma temperatura (Tt) que, juntamente com a temperatura de fusão (Tf) do material, leve a uma temperatura homóloga (Th) de maior ou igual à 0,5; conforme descrita pela Equação (7):

$$T_h = \frac{T_t(K)}{T_f(K)} \text{.....(7)}$$

Para determinar a temperatura de recozimento, considerou-se uma faixa de temperatura de fusão de 646 a 657 °C (919 a 930 K), e as demais características do AA 1050-H14, apresentadas no Quadro 1 [7].

Empregando-se uma Th = 0,6 obtêm-se um intervalo de temperaturas de 278 a 284,8 °C (551,4 a 558 K) [6]. Desta forma, realizou-se um recozimento de 300°C por um tempo de 30 min. (½ hora) seguido de resfriamento ao ar nos corpos de prova.

Os corpos tiveram suas dimensões (espessura e comprimento) tomadas e anotadas antes do ensaio. Posteriormente foram fixados na máquina universal de ensaios mecânicos (Figura 4) e durante o ensaio, foram realizadas medições da largura do corpo de prova manualmente pelo micrometro e do extensômetro de contato digital.

Também foi feito o registro da força do carregamento mecânico, através da célula de carga do equipamento, para que fossem compiladas em planilha e feitas análises do comportamento anisotrópico dos corpos de prova transversais e longitudinais.

A Tabela 2 apresenta as dimensões iniciais dos corpos de prova empregados.



Figura 4. Máquina de Tração Eletromecânica EMIC DLC 10.000, empregada neste estudo.

Tabela 2. Dimensões dos Corpos de Prova Analisados (em mm)

Amostra	b_0	t_0	L_0
Longitudinal 1	19,97	1,07	50
Longitudinal 2	20,76	1,1	50
Transversal 1	19,7	1,07	50
Transversal 2	19,36	1,07	50

Copyright © 2019 ISESC

Os intervalos entre as medições seguiram as boas práticas recomendadas e empregadas nos ensaios de tração, bem como a quantidade de tomadas de medidas, que foram em média 10 medições para cada corpo de prova. As medições com micrometro para registro da deformação transversal forma feitas sempre na mesma posição da parte central do corpo de prova. Os ensaios deram origem a dados como o limite de escoamento, de resistência e alongamento total até a fratura. Conforme a ASTM E517 [5], os corpos de prova foram ensaiados até a estricção, de forma que uma deformação mensurável fosse obtida no sentido do comprimento e da largura.

Para avaliar mais corretamente os resultados, empregou-se a distribuição estatística de Weibull triparamétrica, já utilizada com sucesso pelos autores em outros trabalhos [8]. Esta distribuição pode ser descrita pela equação (8):

$$P(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x - x_u}{x_0}\right)^m\right] \qquad (8)$$

Sendo:

- x_0 é o fator de escala, que é o valor característico da distribuição (%ascensão típica);
- m é o parâmetro de forma da distribuição (grau de agrupamento dos dados) e
- x_u é chamado parâmetro de localização, representando o menor valor característico da ascensão nas amostras (%).

Os valores dos parâmetros podem ser obtidos através de uma regressão linear dos dados de P(x) e x traçados em um gráfico na escala logarítmica. Além disso, como o número de amostras por condição é pequeno (< 10), adotou-se o cálculo de probabilidade de Bernard, definido pela equação (9):

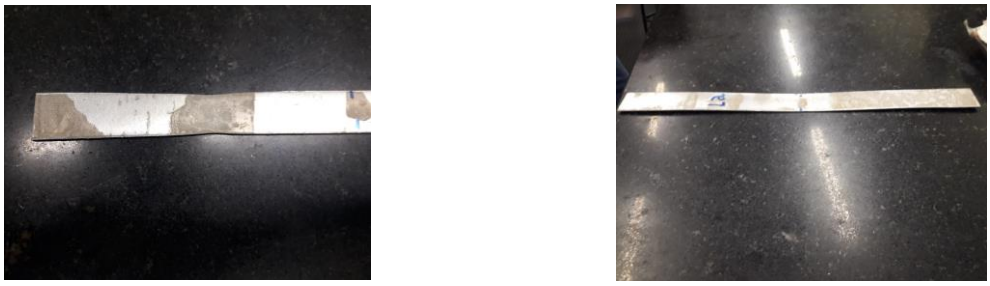
$$P(x) = \frac{i-0,3}{n+0,4} \qquad (9)$$

Sendo:

- **P(x)** = Probabilidade de ocorrência da variável x;
- **i** = número sequencial da amostra (ordenadas em valores crescentes) e
- **n** = número total de amostras.

3 Resultados e Discussão

As Figuras 5 e 6 ilustram o aspecto dos corpos de prova (CPs) após o ensaio. Conforme orientado pela norma ASTM E517 [5], o ensaio não é executado até a fratura e sim até o início da estricção, que pode ser observado em alguns CPs, como no longitudinal 1 (Fig. 5.a) e transversal 1 (Fig. 5.c).



(a) Longitudinal 1 (b) Longitudinal 2

Figura 5. Aspecto dos CPs longitudinais para medição da anisotropia plástica após o ensaio.



(c) Transversal 1 (d) Transversal 2

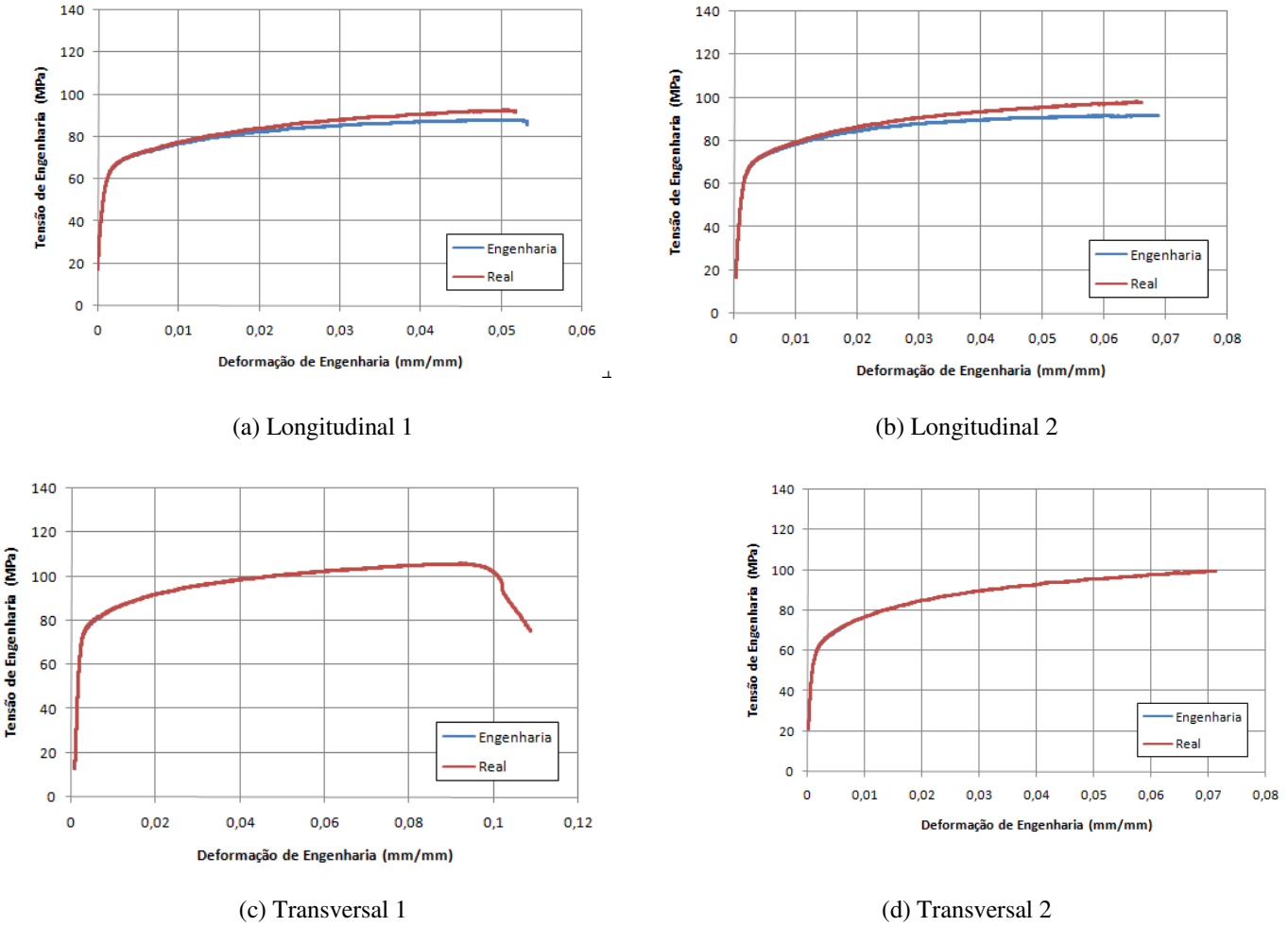
Figura 6. Aspecto dos CPs transversais para medição da anisotropia plástica após o ensaio.

Copyright © 2019 ISESC

A Figura 7 apresenta as curvas tensão versus deformação obtidas com os CPs testados. Como pode ser notado nos gráficos tensão versus deformação para os corpos de prova transversais e longitudinais, fica evidente a semelhança do comportamento quanto ao regime de tração do alumínio em função da sua direção de ensaio. Pode ser observado ainda que a relação linear entre a tensão e a deformação se mantém até aproximadamente 77 MPa para os corpos transversais e 65 MPa para os corpos longitudinais. Continuando o carregamento mecânico, os corpos começam a escoar, apresentando o típico comportamento não linear do regime de deformação plástica.

A deformação plástica se mantém até aproximadamente 100 MPa para os corpos transversais e aproximadamente 90 MPa para os corpos longitudinais. A partir destas tensões os corpos entram em estricção. Em metais recozidos CFC, como o alumínio, a estricção não é marcada tão evidentemente como nos metais CCC na mesma condição termomecânica, especialmente no aço. No alumínio, existe uma transição suave na curva de tensão versus deformação, como pode ser observado nos gráficos obtidos e mostrados na Figura 7.

Conforme pode ser notado nos gráficos da Figura 7, não pode ser notada diferença significativa com relação à variação de textura, ou seja, não é possível inferir diferenças significativas nos planos cristalográficos apenas observando-se as curvas tensão versus deformação diretamente. Para isso foram avaliados os resultados de anisotropia plástica (R_0 e R_{90}), conforme a Equação (4). Os resultados desta avaliação estão apresentados no gráfico da Figura 8.



(a) Longitudinal 1

(b) Longitudinal 2

(c) Transversal 1

(d) Transversal 2

Figura 7. Curvas tensão versus deformação obtidas durante a medição da anisotropia plástica nas amostras recozidas de liga de alumínio AA 1050.

Copyright © 2019 ISESC

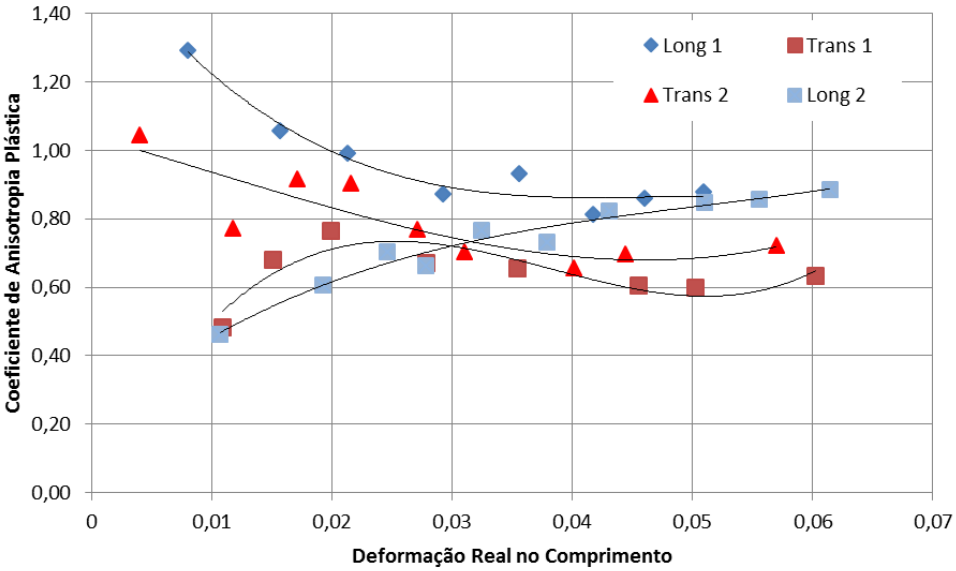


Figura 8. Variação dos valores mensurados da anisotropia plástica ao longo do ensaio das amostras recozidas de liga de alumínio AA 1050.

Considerando que houve uma quantidade de resultados menor do que 30, empregou-se a estatística de t-*Student* para fazer uma simulação dos resultados médios dos resultados de anisotropia obtidos para a as amostras na direção de longitudinal (R_0) e transversal (R_{90}) da laminação.

A Figura 9 ilustra as curvas de distribuição de probabilidade geradas, considerando-se sempre cinco valores obtidos nos testes.

Os valores obtidos com as duas amostras na direção longitudinal apresentaram uma boa coincidência de resultados que foram 85,4% superiores aos resultados da amostra transversal 2. Por outro lado, as duas amostras transversais apresentaram valores similares em apenas 37,2% dos casos. Isso indica uma maior variação da anisotropia plástica na direção perpendicular à laminação, provavelmente associada com a maior variabilidade microestrutural nesta direção, especialmente após o tratamento de recozimento executado nas amostras.

Os resultados para a análise pela distribuição de Weibull estão apresentados graficamente na Figura 10. Neste caso, m = A (coeficiente angular) e X0 = -EXP (B/A) (razão entre os coeficientes linear a angular). Note que todas as avaliações apresentaram uma boa aderência dos dados, conforme visto pelos valores próximos à unidade do coeficiente de correlação de Pearson (R2). Os resultados obtidos por esta análise estão resumidos na Tabela 3, assim como os valores da anisotropia com 50% de probabilidade de ocorrência que levaram aos valores médios representativos de R0 = 0,87 e R90 = 0,67.

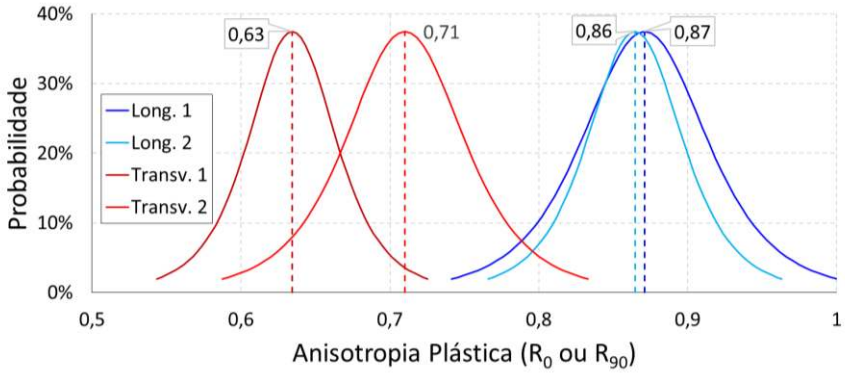


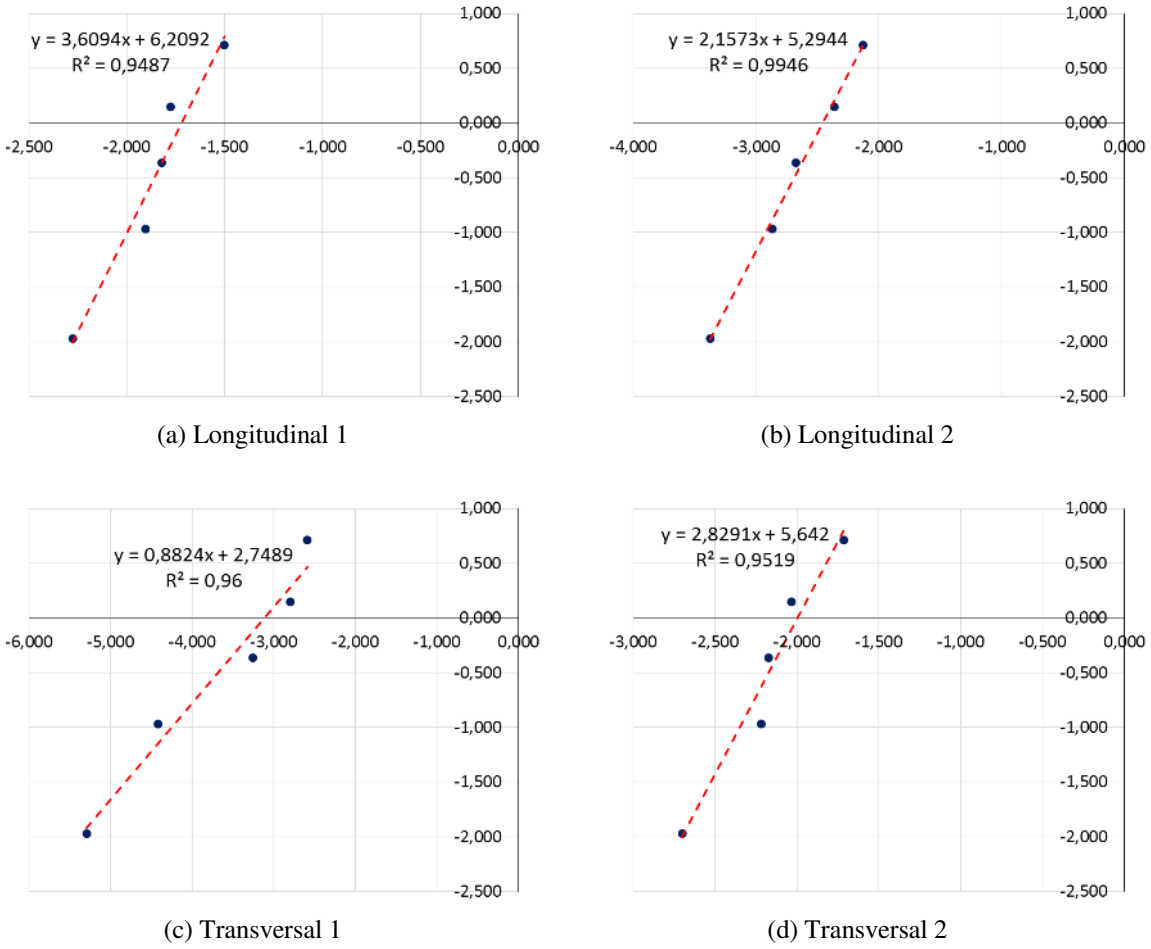
Figura 9. Simulação da distribuição estatística dos resultados de anisotropia plástica obtidos entre as amostras transversais e longitudinais recozidas de liga de alumínio AA 1050.

Copyright © 2019 ISESC

Tabela 3. Parâmetros da equação de Weibull (8) calculados a partir dos resultados da de anisotropia plástica obtidos entre as amostras transversais e longitudinais recozidas de liga de alumínio AA 1050.

Amostra	n	x_0	m	x_u	x_{50}	R^2
Longitudinal 1	5	0,179	3,609	0,71	0,872	0,949
Longitudinal 2	5	0,086	2,157	0,79	0,863	0,995
Transversal 1	5	0,044	0,882	0,60	0,625	0,960
Transversal 2	5	0,136	2,829	0,59	0,710	0,952

Observação: R^2 coeficiente de correlação de Pearson. x_{50} valor para uma probabilidade de 50% (similar à média, porém mais representativo).



(a) Longitudinal 1 (b) Longitudinal 2

(c) Transversal 1 (d) Transversal 2

Figura 10. Gráficos da análise estatística de Weibull aplicada nos resultados de anisotropia plástica obtidos entre as amostras transversais e longitudinais recozidas de liga de alumínio AA 1050.

Copyright © 2019 ISESC

A avaliação de Weibull confirmou os resultados observados no gráfico da Figura 9, obtidos pela distribuição simulada de resultados por t-Student. Neste caso, além de ser possível afirmar que as duas amostras longitudinais apresentarem um coeficiente de anisotropia maior, em média R0 = 0,87, em relação aos resultados da médios da anisotropia transversal, R90 = 0,67, a diferença no parâmetro de forma da distribuição (m) ou o grau de agrupamento dos dados obtido também foi diferente.

Considerando que o valor médio m = 2,73 para as amostras longitudinais e m = 1,86 para as amostras transversais, nota-se que essas últimas apresentaram uma maior dispersão dos resultados em relação às amostras longitudinais. Mais uma vez, este resultado pode ser creditado a variações microestruturais resultantes da combinação da direção de laminação com o efeito do tratamento de recozimento feito nas amostras.

Considerando os dados apresentados por Antenor [4], apresentados na Tabela1, considerando uma combinação de texturas que gere os dois valores de anisotropia observados (R_0 = 0,87 e R_{90} = 0,67) pode-se inferir que a chapa testada possui uma combinação de textura cristalina, após recozimento, conforme:

- R_0 = 0,87 – 80% de textura (110) <100> e 20% de textura (110) <112>;
- R_{90} = 0,67 – 67% de textura (001) <100> e 33% de textura (001) <110>.

Pode-se perceber nesta estimativa que a textura estimada na direção perpendicular à direção de laminação, que foi a direção que apresentou maior dispersão nos resultados, também apresentou uma maior variação na composição dos planos e direções constituintes. Neste caso uma possível textura deste material seria (001) <310>. No caso da direção longitudinal uma possível textura seria (110) <212>, com base nos dados apresentados, claro que tais valores são estimativas que devem nortear análises de difração de raios X ou por difração de elétrons retroespalhados (EBSD).

3 Conclusão

Pelos dados medidos neste trabalho, conclui-se que a anisotropia plástica (R) deve ser avaliada com várias medições, já que os valores pontuais apresentam variações nos valores de R, conforme comprovado pela apresentação dos dados no gráfico da Figura 8. Também é demonstrada uma necessidade de tratamento estatístico dos resultados de forma a ter uma análise mais fidedigna.

Em relação ao tratamento estatístico, com os dados obtidos conclui-se que as chapas nas direções longitudinais apresentam uma anisotropia maior do que na direção perpendicular à de laminação, mesmo após o tratamento de recozimento pleno realizado nas chapas a 300°C durante ½ hora. Além disso, percebeu-se uma maior dispersão dos resultados, seja pela simulação da distribuição de t-Student seja pela quantificação pela distribuição de Weibull.

É possível estimar uma textura cristalina através destes ensaios, mas que deverão ser confirmadas através de técnicas experimentais, tais como difração de raios X ou por difração de elétrons retroespalhados (EBSD).

Referências

[1] MORAIS, W. A. Características do Processo de Desenvolvimento e Produtos Metalúrgicos. Módulo 4, Cap.2 p. 453-480. In: MORAIS, W.A.; MAGNABOSCO, A.S; NETTO, E.B.M.; Metalurgia física e mecânica aplicada. 2ª Edição. São Paulo: ABM, 2009.

[2] MEYERS, M. A.; CHAWLA, K. K.; Mechanical Behavior of Materials. International Edition, Prentice-Hall International Inc., USA, 1999.

[3] MORAIS, W. A. Análise dos processos de conformação. Volume 1- Fundamentos Matemáticos-Mecânicos. Willy Ank Soluções para o setor metal mecânico. São Vicente. 2018.

[4] ANTENOR, J. P. M. Estudo da evolução da textura cristalográfica em alumínio comercialmente puro processado por extrusão angular em canal. Trabalho de conclusão de curso. Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. 2011.

[5] ASTM E517-18, Standard Test Method for Plastic Strain Ratio r for Sheet Metal, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018, www.astm.org.

[6] MAGNABOSCO, A.S.; Recristalização, Crescimento De Grãos e Textura Cristalina. Módulo 3, Cap.2 p. 245-278. In: MORAIS, W.A.; MAGNABOSCO, A.S.; NETTO, E.B.M.; Metalurgia física e mecânica aplicada. 2a Edição. São Paulo: ABM, 2009.

[7] MATWEB: Material Property Data. 2018. Disponível em: <http://www.matweb.com/search/PropertySearch.aspx>. Acesso em 5 Jul. 2018.

[8] MORAIS, Willy Ank; FONSECA, E. S.; TAVARES, F. G. Associação entre a morfologia de trincas de pisos cerâmicos e seu comportamento mecânico em fratura. Cerâmica (São Paulo. Impresso), v. 61, p. 303-308, 2015.ABNT NBR 6118. Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2014.

Copyright © 2019 ISESC

ANEXO 1

Quadro1. Propriedades da liga de alumínio AA1050-H14 empregada neste trabalho [7]

Aluminum 1050-H14

Categories: Metal; Nonferrous Metal; Aluminum Alloy; 1000 Series Aluminum

Material Notes: Data points with the AA note have been provided by the Aluminum Association, Inc. and are NOT FOR DESIGN.

Composition Notes:
The aluminum content for unalloyed aluminum not made by a refining process is the difference between 100.00 percent and the sum of all other analyzed metallic elements present in amounts of 0.010 percent of more each, expressed to the second decimal before determining the sum. For alloys and unalloyed aluminum not made by a refining process, when the specified maximum limit is 0.XX, an observed value or a calculated value greater than 0.005 but less than 0.010% is rounded off and shown as " less than 0.01%".
Composition information provided by the Aluminum Association and is not for design.

Key Words: Aluminium 1050-H14; UNS A91050; NF A5 (France); DIN Al99.5; AA1050-H14, ASTM B491; BS 1B (UK); CSA 9950 (Canada); ASTM B491

Vendors: No vendors are listed for this material. Please click here if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	2.705 g/cc	0.09772 lb/in³	AA; Typical

Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Brinell	30	30	500 kg load with 10 mm ball. Calculated value.
Tensile Strength, Ultimate	110 MPa	16000 psi	
Tensile Strength, Yield	103 MPa	14900 psi	
Elongation at Break	10 % @Thickness 1.60 mm	10 % @Thickness 0.0630 in	In 5 cm
Modulus of Elasticity	69.0 GPa	10000 ksi	In Tension; Compressive Modulus is about 2% higher
Poissons Ratio	0.33	0.33	
Shear Modulus	26.0 GPa	3770 ksi	Estimated from similar Al alloys.
Shear Strength	69.0 MPa	10000 psi	

Electrical Properties	Metric	English	Comments
Electrical Resistivity	0.00000290 ohm-cm	0.00000290 ohm-cm	

Thermal Properties	Metric	English	Comments
Heat of Fusion	390 J/g	168 BTU/lb	
CTE, linear	21.8 µm/m-°C @Temperature -50.0 - 20.0 °C	12.1 µin/in-°F @Temperature -58.0 - 68.0 °F	
	23.6 µm/m-°C @Temperature 20.0 - 100 °C	13.1 µin/in-°F @Temperature 68.0 - 212 °F	
	24.5 µm/m-°C @Temperature 20.0 - 200 °C	13.6 µin/in-°F @Temperature 68.0 - 392 °F	
	25.5 µm/m-°C @Temperature 20.0 - 300 °C	14.2 µin/in-°F @Temperature 68.0 - 572 °F	average
Specific Heat Capacity	0.900 J/g-°C	0.215 BTU/lb-°F	
Thermal Conductivity	227 W/m-K	1580 BTU-in/hr-ft²-°F	
Melting Point	646 - 657 °C	1190 - 1210 °F	
Solidus	646 °C	1190 °F	
Liquidus	657 °C	1210 °F	

Component Elements Properties	Metric	English	Comments
Aluminum, Al	>= 99.50 %	>= 99.50 %	Specified
Copper, Cu	<= 0.05 %	<= 0.05 %	
Iron, Fe	<= 0.40 %	<= 0.40 %	
Magnesium, Mg	<= 0.05 %	<= 0.05 %	
Manganese, Mn	<= 0.05 %	<= 0.05 %	
Other, each	<= 0.03 %	<= 0.03 %	
Silicon, Si	<= 0.25 %	<= 0.25 %	
Titanium, Ti	<= 0.03 %	<= 0.03 %	
Vanadium, V	<= 0.05 %	<= 0.05 %	
Zinc, Zn	<= 0.05 %	<= 0.05 %	

References for this datasheet.

Some of the values displayed above may have been converted from their original units and/or rounded in order to display the information in a consistent format. Users requiring more precise data for scientific or engineering calculations can click on the property value to see the original value as well as raw conversions to equivalent units. We advise that you only use the original value or one of its raw conversions in your calculations to minimize rounding error. We also ask that you refer to MatWeb's terms of use regarding this information. Click here to view all the property values for this datasheet as they were originally entered into MatWeb.

Copyright © 2019 ISESC