

TÉCNICAS DE GRAVAÇÃO DE REDE DE CÍRCULOS EM AMOSTRAS METÁLICAS VISANDO ESTUDOS DE ESTAMPABILIDADE

Marcos Domingos Xavier⁽¹⁾

Elcio de Sousa⁽²⁾

André Sereno Lopes⁽³⁾

Ronald Lesley Plaut⁽⁴⁾

(1) Engenheiro Metalurgista, M. Sc ; Técnico de Ensino do SENAI – CFP 1.19 ; Doutorando do Departamento de Engenharia Metalúrgica e Materiais da EPUSP.- São Paulo, S.P -

(2) Bacharel em Química; Coordenador Técnico da Escola SENAI – CFP 1.14 - São Paulo, S.P

(3) Engenheiro Mecânico; Eng.º de Desenvolvimento da Brasmetal Waelzholz – Diadema, São Paulo - S.P.

(4) Engenheiro Metalurgista, Ph.D. ; Professor Associado do Departamento de Engenharia Metalúrgica e Materiais da EPUSP – São Paulo, S.P

Resumo

O presente texto descreve três técnicas para gravação de rede de círculos em amostras metálicas destinadas à verificação da estampabilidade através da determinação das deformações verdadeiras ϵ_1 e ϵ_2 e ϵ_3 e do conseqüente traçado das curvas limite de conformação (CLC). Adicionalmente, é feita uma análise qualitativa e financeira destas técnicas, propiciando aos meios científico e empresarial a escolha do processo mais conveniente às suas necessidades.

O desempenho destas técnicas de gravação mostrou-se dependente da presença do atrito durante a deformação plástica. Neste sentido, ensaios de tração determinaram a equivalência da roto-gravura e da serigrafia e a superioridade de ambas em relação à corrosão eletroquímica. Por outro lado, estampagens indicaram que a roto-gravura mantém a visibilidade dos círculos inclusive nas regiões de atrito entre matriz e material, tornando-a preferível sobre as outras técnicas.

A análise de custos permitiu concluir que o processo mais dispendioso é a roto-gravura, sendo seguido em ordem decrescente pela serigrafia e pela corrosão eletroquímica.

Palavras-chave: Rede de Círculos; Roto-Gravura; Serigrafia; Estampagem

I. Introdução

A curva limite de conformação (CLC), também conhecida como diagrama limite de conformação (DLC), foi introduzida por Keeler ⁽¹⁾ e por Goodwin ⁽²⁾ e permite representar de maneira abrangente a estampabilidade de uma chapa.

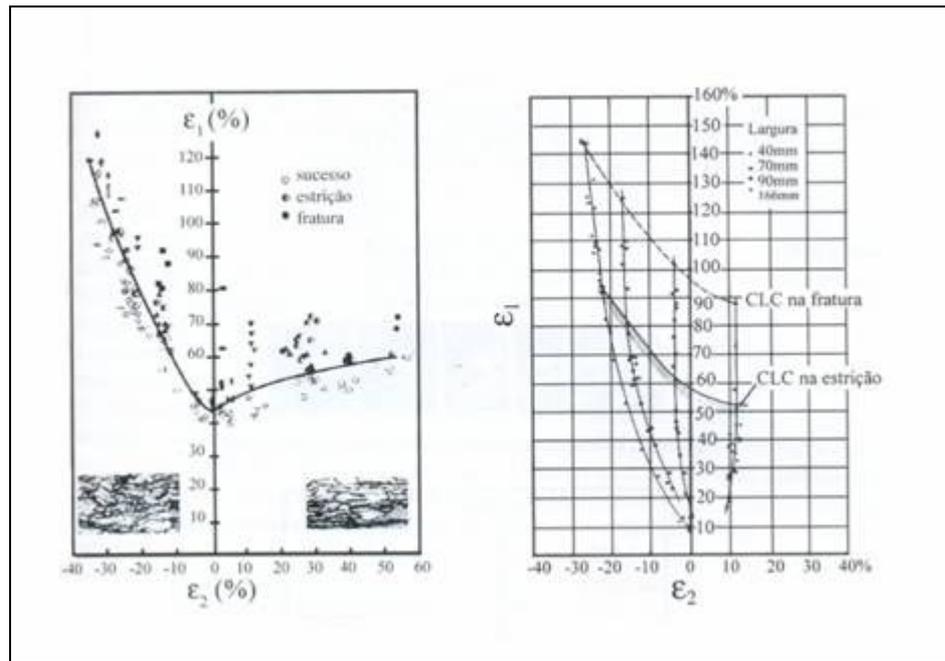
O limite de conformação de uma chapa é definido como sendo o estado em que se inicia o afinamento localizado, culminando com a fratura do material.

A CLC tem sido empregada largamente como critério na otimização do processo de estampagem e no projeto de matrizes. Indica as deformações principais na instabilidade localizada no estado plano de tensão para diferentes caminhos de deformação.

A técnica de medição da deformação localizada descrita por Ghosh e Hecker ⁽³⁾ resume-se em efetuar as medições das deformações (maior e menor) sobre a chapa previamente gravada com círculos e conduzida até a fratura. A medição é efetuada na região adjacente à região de deformação localizada ⁽⁴⁻⁶⁾ e sua precisão depende da nitidez dos círculos durante a medição sendo esta a importância deste trabalho quanto à proposta de diferentes técnicas de gravação.

Pode-se observar através da figura 1⁽³⁾ que a CLC possui regiões de sucesso e de falha no corpo de prova ou peça estampada. As micrografias desta figura ilustram diferentes microestruturas do material, respectivamente, na condição tração-compressão em seu lado esquerdo e tração – tração em seu lado direito.

A figura 2⁽⁷⁾ ilustra o caminho da deformação percorrido pelos corpos de prova para as condições de estamparia profunda, estiramento e estiramento biaxial.



(1)

(2)

Figura 1: CLC para aço Carbono [3]. **Figura 2:** Caminho de deformação [7]

Para o levantamento dos dados da curva CLC empregam-se diferentes geometrias de corpos de prova tal como ilustrado na figura 3 ⁽⁸⁾

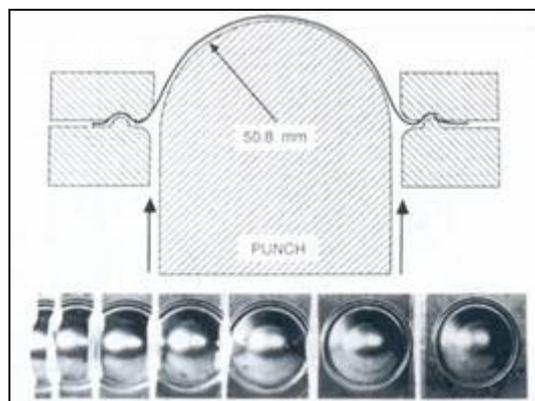


Figura 3: Geometrias de corpos de prova submetidos a ensaio de estiramento [8]

A precisão da posição das curvas CLC depende da medição confiável dos círculos antes e após a deformação plástica.

II. Materiais e Métodos

Amostras de aço “Interstitial Free” (IF), caracterizadas pelo teor de carbono extremamente baixo, foram utilizadas. A tabela I traz detalhes da composição química e das propriedades mecânicas. Adicionalmente, a figura 1 refere-se à geometria e dimensões destas amostras, destinadas a ensaios de tração.

Tabela I : Composição química e propriedades mecânicas das amostras

Espessura: 0,750 mm	
Composição Química (% peso)	Propriedades Mecânicas
C: 0,0015	Limite de escoamento (MPa) : 178
Mn: 0,1170	Limite de resistência (MPa) : 336
P: 0,0100	Alongamento (%) : 42,1
S: 0,0072	Dureza Rockwell B (HRB) : 50
Al: 0,0320	Índice Erichsen (mm) : 11
Ti: 0,0530	Anisotropia normal(R) : 1,8 ;
	Expoente de encruamento (N) : 0,22

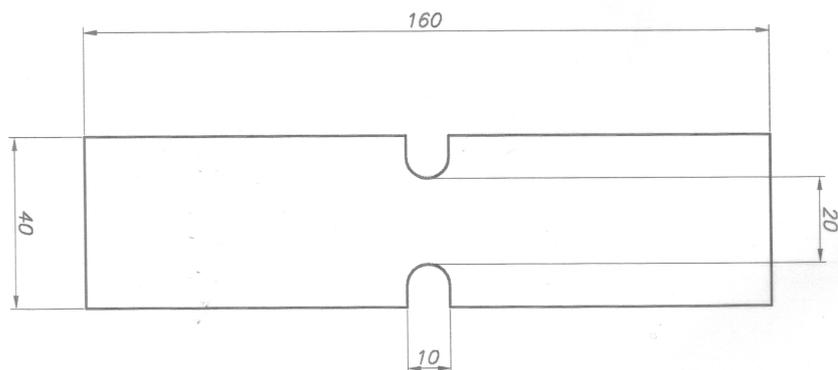


Figura 4: Geometria e dimensões das amostras para ensaios de tração.

As técnicas de corrosão eletroquímica; serigrafia e roto-gravura foram também analisadas através da estampagem de peças em escala industrial. A nitidez dos círculos é avaliada em diversas regiões, considerando-se a influencia da deformação plástica e do atrito.

Técnicas de Gravação de Rede de Círculos:

a) corrosão eletroquímica

A gravação da rede de círculos exige previamente o desengraxe da superfície do corpo de prova com uma solução de limpeza e a posterior aplicação de uma solução H_3PO_4 a 10% para evitar a sua oxidação após o processo de marcação.

A superfície do corpo de prova devidamente limpa e protegida contra a corrosão recebe uma tela semi-impermeável ("stencil"), contendo a rede de círculos tangenciais. A seguir, promove-se a eletrólise através de um retificador e de um eletrólito apropriado. Adicionalmente, retira-se o excesso de eletrólito do corpo de prova, neutralizando-o com solução de bicarbonato de sódio a 20%. Finalmente faz-se a secagem e a proteção da superfície gravada com óleo de proteção contra corrosão.

b) serigrafia

A serigrafia ⁽⁹⁾ é um processo cuja aplicação é simples do ponto de vista dos requisitos em relação aos demais processos de impressão. Baseia-se na transferência de desenhos efetuados em diapositivos para tecidos serigráficos e destes para as superfícies através de depósitos de tinta. Envolve praticamente todos os tipos de acabamento e seus campos de aplicação são amplos tais como decoração têxtil; vítrea e de metais; publicidade em plásticos auto-adesivos e artes plásticas.

As etapas seqüenciais da serigrafia resumem-se na confecção do diapositivo; definição do tecido serigráfico; preparação dos quadros (desengraxe; secagem; emulsionamento; secagem; emulsionamento adicional; secagem; exposição a raios ultravioleta; revelação; secagem) e aplicação de tinta sobre a superfície.

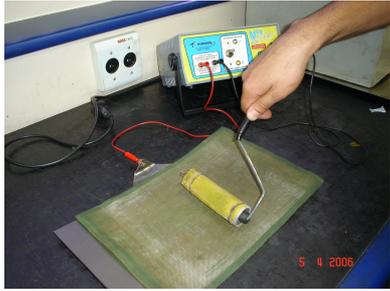


Figura 5: Corrosão eletroquímica



Figura 6: Processo Serigrafico⁽⁹⁾
(telas de tecido)

c) roto-gravura

A roto-gravura⁽¹⁰⁾, aplicada na indústria gráfica, utiliza uma matriz metálica cilíndrica onde são impressas as imagens em baixo relevo através de processos químicos, eletromecânicos e a laser. O movimento rotativo destas matrizes alimentadas com tinta de secagem rápida transfere tais imagens para os substratos (papéis; metais flexíveis e plásticos em geral).



Figura 7: Equipamento gráfico para roto-gravura⁽¹⁰⁾

Os corpos de prova planos aplicados nesta pesquisa receberam gravações de rede de círculos através de adaptações do processo químico aplicável aos cilindros de roto-gravura. As etapas envolvidas são a preparação superficial, deixando-a livre de óxidos e gorduras; sensibilização pela aplicação de uma emulsão fotossensível para possibilitar a recepção da imagem; cópia da imagem do fotolito através de

exposição à radiação ultravioleta; revelação baseada na remoção das áreas não polimerizadas da camada fotossensível (contornos dos círculos) através da aplicação de solventes; pintura das áreas polimerizadas (interior dos círculos) da camada fotossensível; gravação em baixo relevo dos contornos dos círculos pela ação de uma solução de cloreto férrico (FeCl_3); remoção da camada fotossensível e da tinta de proteção da superfície, utilizando-se solventes.

Projektor de Perfil



Equipamento utilizado nas medições dos círculos em amostras tracionadas ou estampadas

Figura 8: Projetor de perfil digital Pantec (PANAMBRA) modelo CPJ – 3015J

III. Análise de Resultados

Ensaio de tração

As figuras 9 a 14 referem-se aos processos de corrosão eletroquímica; serigrafia e roto-gravura visualizados com aumentos de 50 X e 100 X em microscópio óptico, utilizando-se corpos de prova de tração isentos de deformação plástica. Os círculos gerados pelo processo eletroquímico apresentam pouca nitidez de seus contornos em comparação com aqueles oriundos dos demais processos. Os processos serigráfico e roto-gravúrico

definem respectivamente círculos com contornos de alto relevo de tinta depositada e de baixo relevo por corrosão química.

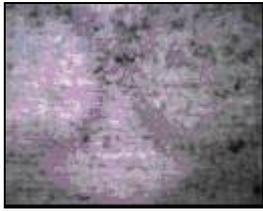


Figura 9: Eletroquímico (50 X)

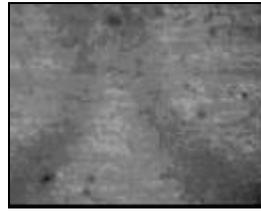


Figura 10: Eletroquímico (100X)

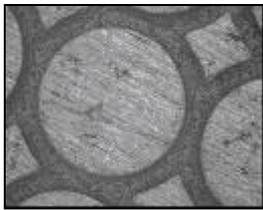


Figura 11: Serigrafia (50 X)



Figura 12: Serigrafia (100 X)



Figura 13: Roto-Gravura (50 X)

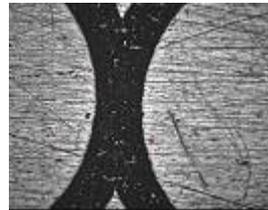


Figura 14: Roto-Gravura (100 X)

A medição da deformação dos círculos em projetor de perfil possibilita a imagem da figura 15, antes da deformação plástica dos corpos de prova e da figura 16, após o início da região de deformação plástica não uniforme.

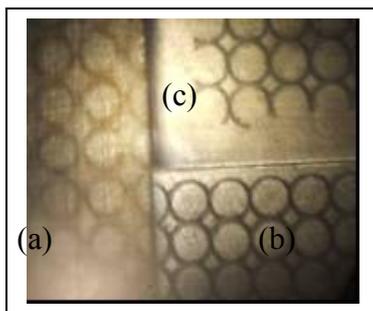
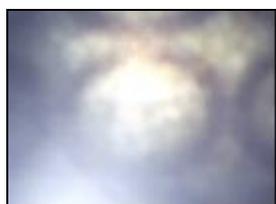


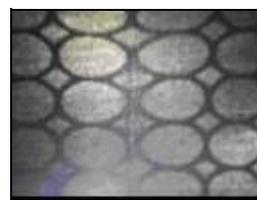
Figura 15: Amostras de tração isentas de deformação plástica observadas em projetor de perfil (10X): (a) corrosão eletroquímica; (b) serigrafia; (c) roto-gravura.



(a)



(c)



(b)

Figura 16: Amostras de tração deformadas plasticamente em máquina EMIC de capacidade 60 Tf, observadas em projetor de perfil (10X): (a) corrosão eletroquímica; (b) serigrafia; (c) roto-gravura

A dificuldade da medição dos diâmetros dos círculos é evidentemente maior quando gerados por corrosão eletroquímica, em especial, após a deformação plástica. A nitidez dos círculos nos demais processos de gravação é praticamente equivalente, considerando-se ainda que aquela referente à roto-gravura pode ser melhorada em tempos crescentes de exposição das amostras à ação do cloreto férrico.

Estampagem

Chapas previamente gravadas com as três técnicas sob estudo foram estampadas no formato de um copo, conforme figura 17:



Figura 17: peça estampada no formato de um copo, indicando: fundo; curvatura entre lateral e fundo e lateral.

As figuras 18 a 20 foram obtidas em projetor de perfil (10 X) considerando as peças previamente estampadas no formato de copo

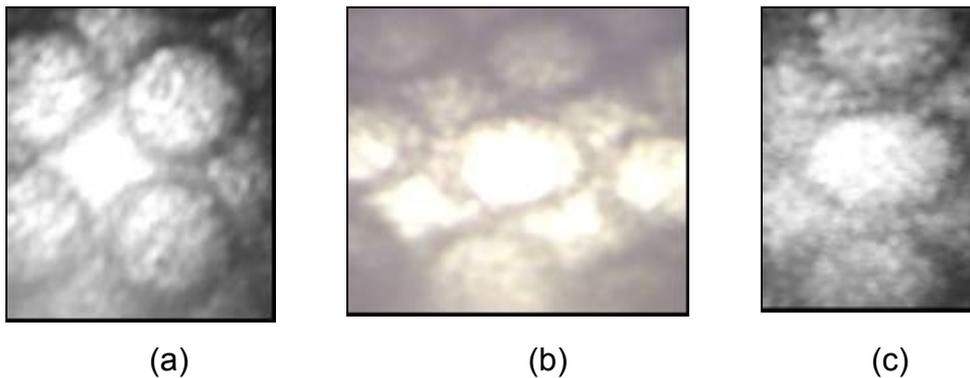


Figura 18: Círculos gravados por corrosão eletroquímica observados em diversas regiões da peça estampada: (a) fundo; (b) curvatura entre lateral e fundo; (c) lateral

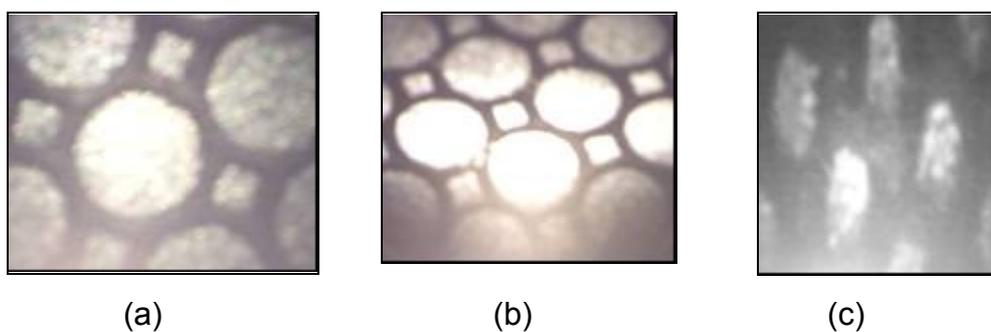


Figura 19: Círculos gravados por serigrafia observados em diversas regiões da peça estampada: (a) fundo; (b) curvatura entre lateral e fundo; (c) lateral

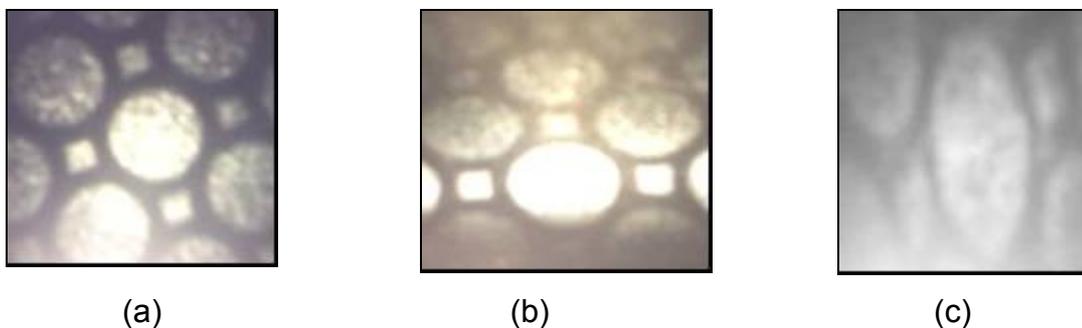


Figura 20: Círculos gravados por roto-gravura observados em diversas regiões da peça estampada: (a) fundo; (b) curvatura entre lateral e fundo; (c) lateral

As figuras 18 a 20 permitem observar que há perda de nitidez dos círculos com a evolução da deformação em todos os casos. A situação mais crítica ocorre com o processo eletroquímico e a mais branda com o processo de roto-gravura.

Análise de Custos

Os custos foram avaliados na base 1 metro quadrado de área de impressão. Os cálculos para a Serigrafia e a Roto-Gravura foram efetuados pelo SENAI 1.14. Os custos e rendimentos das grades e das soluções de corrosão eletroquímica foram fornecidos pela empresa Tecnigrav S.A.

Tabela II: Custos das técnicas de gravação de redes de círculos

Unidade: R\$ / m ²		
Corrosão eletroquímica	Serigrafia	Rotogravura
Soluções limpadoras e gravadoras: 0,28	Fotolito: 18,00	Fotolito: 18,00
Grade: 0,92	Preparação da Forma: 75,00 Gravação: 3,50	Gravação: 250,00
Total: 1,10	Total: 96,50	Total: 268,00

IV. Discussão

Publicações internacionais na área de estampagem de chapas ⁽¹¹⁾ têm citado o uso do processo de roto-gravura para a impressão da rede de círculos. A precisão da determinação das deformações equivalentes, ε_1 e ε_2 , é superior àquela do processo de corrosão eletroquímica, comumente aplicado no Brasil. Em detrimento a este fator favorável, é importante ressaltar a possibilidade de geração de trincas a partir dos contornos de baixo relevo dos círculos e neste caso, um estudo do tempo ótimo de exposição ao cloreto férrico torna-se viável.

A inovação principal contida nesta pesquisa a caráter mundial foi a investigação da possibilidade do uso da serigrafia. A precisão na medição dos círculos mostrou-se equivalente à rotogravura e superior à corrosão eletroquímica nos casos de ausência de atrito, caso dos ensaios de tração. Os cuidados na conservação das amostras pós-gravadas com esta técnica são maiores que nas demais, visto que o atrito pode danificar as impressões. A plasticidade das tintas aplicadas também merece avaliação adicional, embora não tenha ocorrido perda de aderência nas regiões de deformação plástica nos experimentos ora efetuados.

As estampagens de chapas pré-gravadas com as três técnicas sob estudo apontaram a perda da nitidez dos contornos dos círculos em regiões sujeitas ao atrito. Neste aspecto, o processo menos afetado foi o de roto-gravura, tornando-o preferível, sendo seguido pela serigrafia e finalmente, pela corrosão eletroquímica.

O processo de gravação por corrosão eletroquímica possui também alguns aspectos atrativos embora ofereça maior imprecisão na medição dos círculos. A gravação da rede é praticamente imediata e menos trabalhosa que nos demais processos. A serigrafia exige a preparação prévia do quadro de tecido com a imagem a ser gravada e só a partir deste ponto passa a ser rápida, exigindo porém, alguns cuidados tais como a secagem da tinta depositada nas superfícies metálicas. A roto-gravura também é demorada em virtude da seqüência longa de etapas para concluí-la. Outra característica favorável ao processo de corrosão eletroquímica centra-se nos baixos custos do equipamento e dos insumos necessários.

As técnicas de Serigrafia e de Roto-Gravura são disseminadas em cursos de artes gráficas em diversas instituições de ensino no país. A escola SENAI

“Theobaldo De Nigris”, co-autora deste projeto, disponibiliza-se a transferir a tecnologia correspondente ao meio industrial.

V. Conclusões

1. A gravação por corrosão eletroquímica produz círculos com contornos irregulares antes e após a deformação plástica, dificultando suas medições.
2. O processo de corrosão eletroquímica é favorecido pela rapidez de sua execução e pelo baixo custo.
3. O processo de serigrafia possui custos intermediários e adequa-se a condições de deformação plástica em ausência do atrito.
4. O processo de roto-gravura possui custos mais elevados e é viável a deformações plásticas em presença de atrito, caso das estampagens.

Agradecimentos

Os autores agradecem às direções das Unidades SENAI 1.14 e 1.19 e da empresa Brasmetal Waelzholz pelo apoio irrestrito a esta pesquisa. Agradecem também aos funcionários do SENAI 1.14, Profs. Enéias Nunes da Silva; Elias Pedro dos Santos e Guilherme de Moura, e do SENAI 1.19, Profs. José Roberto da Silva; Gilberto A. Varussa; Isaías Gouveia Silva; Eduardo Garcia; Reginaldo R. Coração e Carlos Pierfelice e aos Engenheiros Lisandro Picinin e Gerson Ferrante, da Tecfil S/A, pela colaboração em diversas etapas de seu desenvolvimento.

Abstract

CIRCLES GRID ENGRAVING TECHNIQUES ON METALLIC SAMPLES FOR DRAWABILITY STUDIES

The present text describes three circle grid engraving techniques on metallic samples in order to evaluate the drawability through true the deformations ε_1 , ε_2 , ε_3 for the forming limit diagrams (FLD). In addition, qualitative and financial analysis help both scientific and practical areas to select the best process for their necessities.

The selection of the engraving technique depends on the friction coefficient observed during plastic deformation. Tension tests showed that roto-gravure and serigraphic processes are equivalent and superior to the electrochemical corrosion process. For actual drawing conditions, results indicate adequate performance only for the roto-gravure technique.

Financial analysis showed that the most and the less expensive processes are roto-gravure and electrochemical corrosion, respectively.

Keywords: Network Circles; Roto-Printmaking; Screenprinting; Printing.

Referências

- Keeler, S. P. – *Sheet Met. Ind.*, vA5, 1969, pp. 633-640.
- Goodwin, G. M. – *Metall. Ital.*, v.60, 1968, pp. 767-771.
- Ghosh, A. K., Hecker, S. S. – *Met. Trans.*, v.6A, 1975, pp.1065-1074.
- Laukonis, J. Y., Ghosh, A. – *Met. Trans.*, v. 9A, 1978, pp. 1849-1856.
- Hughes, D., Dry, D., Owen, R. – *Ironmaking and Steelmaking*. V.28, n.2, 2001, pp. 89-95.
- Nandedkar, Y. M., Narasimhan, K. – *J. Mat. Proc. Tech.*, v. 89-90, 1999, pp. 24-29.
- Hutchinson, B. – *Mat. Sei. Fórum*, v. 157-162, 1994, pp. 1917-1928.
- Hosford, W. F., Caddell, R. M. – *Metal Forming: Mechanics and Metallurgy*, cap. 14, Prentice Hall, USA, 1983, p. 276.
- Moura, G. *Serigrafia e Tampografia*, 1ª ed., São Paulo, 2005.

Silva, E. N., Diogo, R. M. *Rotogravura e Flexografia* – Escola SENAI Theobaldo de Nigris – 3ª edição, São Paulo: SENAI, 2001.

Wagoner, R. H. *Measurement and Analysis of Plane-Strain Work Hardening*. Metallurgical Transactions A , V. 11A, January 1980, pp. 165 – 175.