

# INFLUÊNCIA DA DISTRIBUIÇÃO E TAXA DE ESFEROIDIZAÇÃO SOBRE RESPOSTAS EM PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO MECÂNICA E TRATAMENTOS TÉRMICOS<sup>1</sup>

Samuel Oliveira Moraes<sup>2</sup>

## Resumo

Processos de conformações mecânicas em metais promovem escorregamentos de planos cristalográficos, movimentos de discordâncias, efeitos trativos e compressivos no material, originando encruamento, aumentando sua resistência mecânica e desencadeando tensões residuais internas. As etapas de tratamentos térmicos promovem rearranjos dos planos cristalinos, apagando todo histórico metalmeccânico da liga, ocasionando distorções geométricas no produto final. Neste trabalho foi avaliada a distribuição morfológica da perlita/cementita e taxa de esferoidização; objetivando indicar melhor aspecto micrográfico para posteriores etapas de conformações mecânicas (trefilação, laminação e estampagem), tendo em vista minimizar efeitos das tensões residuais durante o processo de endurecimento por solução sólida e transformações de fases. Os resultados preliminares indicaram que a distribuição e forma dos carbonetos de ferro, influenciam diretamente sobre as características físicas de conformabilidade e estabilidade geométrica do produto.

**Palavra-chave:** Conformação mecânica; Esferoidização; Tensão residual; Tratamentos térmicos.

## INFLUENCE OF DISTRIBUTION AND RATE OF ESFERODIZING ON RESPONSES IN FORMING PROCESSES OF MECHANICAL AND HEAT TREATMENT.

## Abstract

Forming mechanical processes in metals, promote slipping of crystallographic plans and dislocation, trative and compressive effects in material, causing cold working, increasing the mechanical strength and unchaining internal residual stresses. The stages of heat treatment promote rearrangements of crystalline plans, erasing all historical metal-mechanic of the league, causing geometric distortions in the final product. In this work it was evaluated the morphologic distribution of the perlite/cementite and rate of esferodizing; whose the interest is indicate better micrographical aspect for future stages of forming processes (drawing, rolling and stamping), in view of minimizing the effects of the residual stresses during hardening process by solid solution and phases transformations The preliminary results had indicated that the distribution and form of iron carbide directly influence on the physical characteristics of formability and geometric stability of the product.

**Key words:** Forming Processes; Esferodizing; Residual stress; Heat Treatment.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 45º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 21 a 24 de outubro de 2008, Ipojuca - Porto de Gainhas - PE

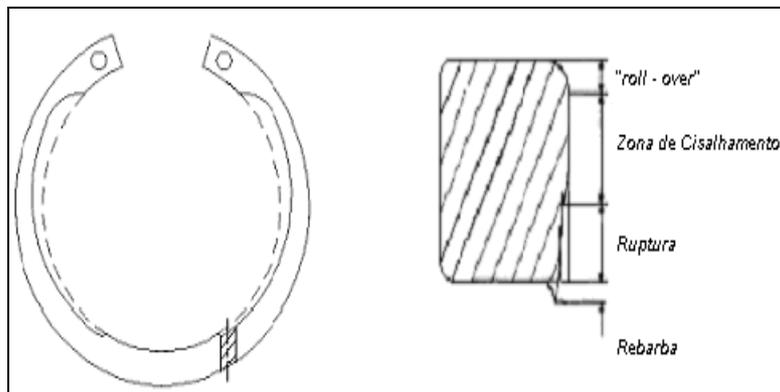
<sup>2</sup> Sócio da ABM, Técnico Metalurgista – Cenatec / Senai Osasco, Engenheirando Processos Produção, Supervisor de Tratamento Térmico, Transtechnology Brasil, Diadema SP e-mail: smoraes@ttb.com.br

## 1 INTRODUÇÃO

Em busca da tênue equação, custo/lucratividade, cada vez mais a indústria metal-mecânica insere em suas etapas de fabricação, processos de conformações mecânicas com reduções de áreas próximos aos limites máximos de plasticidade dos metais. Nestas operações, tornam-se necessários conhecimentos técnicos metalúrgicos acerca dos principais fenômenos físicos, químicos e mecânicos das ligas metálicas a fim de aperfeiçoar e estabilizar a cadeia produtiva, tendo em vista um resultado robusto e capaz.

O processo de estampagem de corte caracteriza-se por ser econômico e preparado para produzir produtos de várias formas geométricas, tamanhos, semi-acabados e acabados.<sup>(1)</sup> A operação consiste em deformação localizada do material seguido por fratura dúctil. Representação esquemática da figura abaixo indica a região de corte por estampo, três zonas se distinguem a seguir:<sup>(2)</sup>

- a) Zona de dobramento, *roll-over zone*;
- b) Zona cisalhamento;
- c) Zona de ruptura.



**Figura 1.** Anel de retenção Seeger no processo de estampagem.

As ligas metálicas arranjam-se em planos cristalinos onde os empilhamentos atômicos acontecem tridimensionalmente em razão de um determinado retículo. Nos aços os reticulados são Cúbicos de Face Centrada (CFC > 727°C), Cúbicos de Corpo Centrado (CCC ≤ 727°C) em condições de equilíbrio e esses determinam as direções de deslizamentos e o grau de deformação plástica na qual o material pode ser submetido.

A microestrutura de partida estabelece alguns fatores preponderantes no comportamento de trabalhabilidade e conformabilidade das ligas ferrosas e condicionam inúmeras características físicas, químicas e mecânicas. O carboneto de ferro ou cementita (Fe<sub>3</sub>C) é um composto que interfere diretamente em quaisquer propriedades mecânicas dos ferrosos.

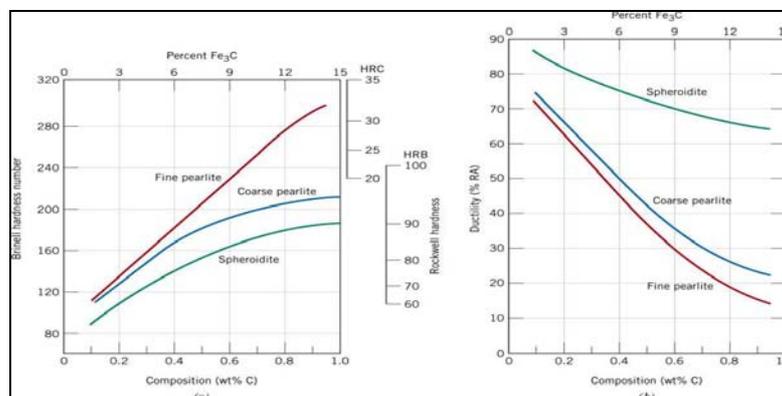
### 1.1 Esferoidização

A esferoidização confere as ligas ferrosas a menor taxa de dureza possível, a globulização do carboneto de ferro condiciona a matriz ferrítica uma menor área de contornos por unidade de volume, propiciando uma melhor ductilidade no aço. A distribuição dos carbeto de ferro promove na cadeia de conformação níveis de

tensões residuais que respondem de forma incisiva nas características do processamento mecânico do produto.

Este tratamento também é conhecido por recozimento subcrítico e consiste em aquecer o material numa temperatura abaixo do patamar eutetóide ( $A_1$ ) ou próximo  $700^\circ\text{C}$  ( $1.300^\circ\text{F}$ ), geralmente os ciclos deste recozimento ficam na faixa de 15 a 25 horas. Ocorre por difusão adicional, ou seja, não há acréscimo na composição química da liga e o mecanismo cinético aliado aos longos tempos em temperatura, provê o dinamismo da coalescência do  $\text{Fe}_3\text{C}$ , levando-o a um estado de menor grau de energia.<sup>(3)</sup> A correta execução deste tratamento térmico estabelece uma uniformidade na distribuição carbonetos e garante a homogeneidade nos resultados operacionais.

A Figura 2 demonstra as propriedades mecânicas em aços em razão das diferentes composições químicas e formas microestruturais. Nota-se que a esferoidização apresenta os menores valores de dureza Brinell e as mais altas taxas de ductilidade e escoamento aos aços ao carbono.



**Figura 2.** Relação das diferentes taxas de dureza e propriedades mecânicas em função da microestrutura em aços ao carbono.

Neste trabalho foram avaliadas as condições da microestrutura de partida durante operações de conformações mecânicas e tratamento térmico objetivando encontrar melhor resposta aos diferentes níveis de distorções sobre o produto final. Destaca também a importância da correta execução do tratamento térmico de esferoidização em produtos que necessitam alto grau de escoamento, conformações mecânicas à frio, controle da estabilidade geométrica do produto e capacitação do processo produtivo.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Mediante a prática operacional observaram-se discrepâncias no dimensional de anéis que após operações de tratamentos térmicos (têmpera/austêmpera) tendiam a apresentar variações fora das tolerâncias especificadas em desenho. À medida que havia substituição dos lotes de matéria prima voltava-se à estabilidade dimensional no produto sem nenhuma mudança nos parâmetros de processo.

Neste estudo foi utilizado o aço SAE 1070 em amostras de anéis estampados que apresentavam variações dimensionais e dentro das especificações de desenho. Os testes também compreenderam estudos em fio máquina no estado esferoidizado e em vias de transformação (esboroados).

Os ensaios de dureza Vickers foram realizados em microdurômetro Zwick - 3212 com carga de 1 kg. Para verificação micrográfica utilizou-se microscópio de marca Neomet Union. A preparação metalográfica se deu pelos procedimentos normais de corte transversal, acabamento com lixa 600 e polimento em alumina.

Foi enviado ao IPEN amostras de anéis com variações microestruturais para análise de tensões residuais. Difração de Raios -X- método de  $\text{sen}^2\psi$ . Com  $\psi$  variando de  $-60^\circ$  a  $+60^\circ$  em passos de  $10^\circ$ ,  $2\theta$  variando de  $152,0^\circ$  a  $157,8^\circ$  em passos de  $0,02^\circ$  com tempo de contagem de 6 segundos de passo. Equipamento Difrátometro de Raios X, Rigaku, Modelo DMAX 2000. Radiação Cr -  $K\alpha$  . Potência 800W (40kV, 20mA).

O tratamento térmico de austêmpera ocorreu em forno contínuo em temperatura de austenitização de  $870^\circ\text{C}$  por um tempo aproximado de 7 minutos e atmosfera controlada composta por  $\text{N}_2$  e propano.

Resfriamento realizado em sal AS 140 de marca Durferrit em temperatura de  $340^\circ\text{C}$  por um tempo de 40 minutos. Essa etapa serviu como base de avaliação na quantidade de produtos que sofreram distorção geométrica para estudo estatístico.

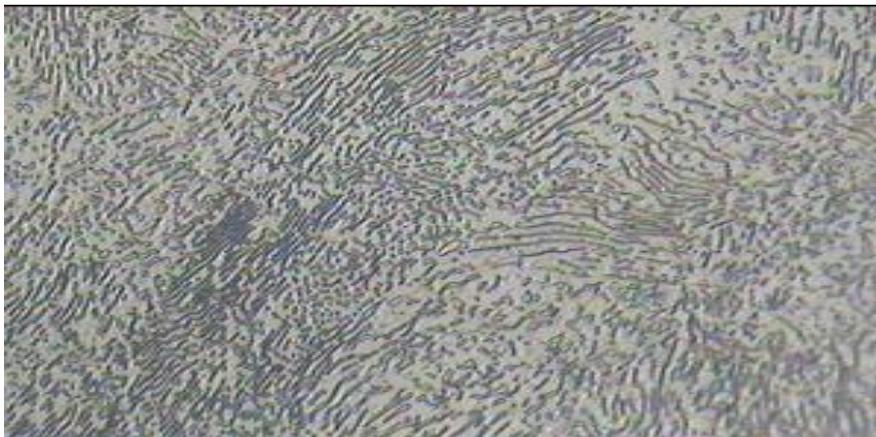
### 3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O procedimento experimental consistiu nas etapas a seguir:

#### 3.1 Análise metalográfica / Dureza Vickers

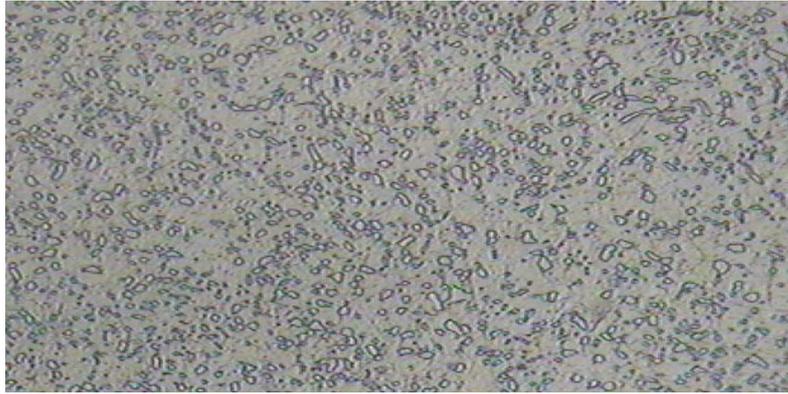
- Análise micrográfica comparando anéis fora e dentro das tolerâncias de desenho. Teste da dureza Hv1 em função da microestrutura de partida.

Micrografia em amostra de material que apresentou distorções geométricas.



**Figura 2.** Microestrutura formada de matriz ferrítica, carbonetos esferoideais dispersos e lamelas de  $\text{Fe}_3\text{C}$  (Colônias de Perlita). Dureza 241/257 Hv1. Aumento 200x. Ataque Nital 3%.

Abaixo representação do estado microestrutural na amostra de material que não houve variações dimensionais significativas.



**Figura 3.** Matriz ferrítica com carbonetos esferoidais dispersos. Dureza 146/153 Hv1. Aumento 200x. Ataque Nital 3%.

### 3.2 Análise por Difração em RX – Método de Seno ao Quadrado de psi

- Avaliação dos diferentes níveis de tensões residuais correlacionadas às faixas de dureza e micrografia do produto.

De acordo com a Tabela 1 o anel com variação dimensional apresentou tensões residuais de natureza compressiva (- 11,19 MPa), enquanto a amostra dentro da especificação de desenho, as tensões são trativas (+23,24 MPa).

Resultado da análise realizada no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares amostras de materiais (anéis) conforme tabelas abaixo:

**Tabela 1.** Indica análise de tensão residual superficial em material de anéis com e sem distorções geométricas significativas.

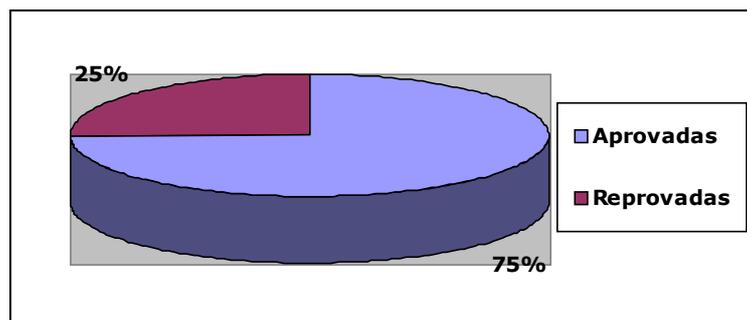
Amostra	Tensão (MPa)	Desvio (MPa)
Anel com variação dimensional fora do especificado – Skin pass (Perlítico)	- 11,19	±10,00
Arame Trefilado – Fio Máquina	- 50,69	±10,00
Anel sem variação dimensional - Esferoidizado	+ 23,24	±10,00

### 3.3 Estudo Estatístico

- Estudo estatístico para indicar qual melhor aspecto microestrutural para estabilidade dimensional do produto.

Avaliados anéis que apresentavam micrografia esferoidizada e “esboroadada” para comparação por meio estatístico do índice de aprovação dos anéis Seeger Reno.

Amostragem em 1.300 peças em material com microestrutura divergente.



**Figura 4.** Representação quantitativa da reprovação do produto por distorção geométrica.

Coleta de dados em 1496 peças do material com microestrutura esferoidizada

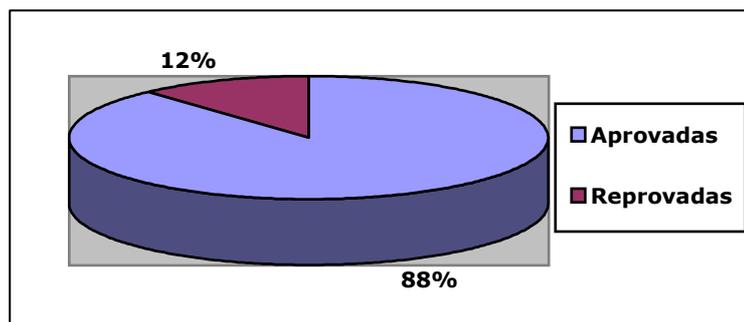


Figura 5. Distribuição da reprovação com material conforme figura 3.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Tensões Residuais

As tensões residuais são esforços trativos e compressivos presentes no material quando todas as solicitações térmicas ou carregamentos externos são removidos.<sup>(4)</sup> Geralmente, tensões residuais em sólidos são classificadas de acordo com sua extensão, no plano macroscópico, estendendo-se por vários grãos. Em seguida, pela micro-tensão estrutural, cobrindo a distância de um grão ou parte de sua extensão, podendo ocorrer entre duas fases do material que contêm diferentes características físicas ou mesmo em áreas que contêm partículas precipitadas. E, por último, varrendo distâncias interatômicas dentro dos limites do grão e uma pequena fração do material.<sup>(5)</sup>

A comparação abaixo demonstra a capacidade das forças de tensões atuantes sobre o material em deslocar as medidas especificadas em desenho. Observa-se que os dois anéis estão sobrepostos e houve o fechamento do diâmetro externo da peça, após “alívio das tensões” durante operação de austenitização e resfriamento ao ar livre (normalização), ocorrendo a distorção geométrica no componente.



Figura 6. Comparação dimensional entre dois anéis Seeger conformado, austenitizado e retirado do forno ao ar livre (Normalizado).

### 4.2 Microestrutura de partida

Conforme verificado, as amostras que possuem variações microestruturais ou que as transformações do carboneto de ferro ficaram entre vias lamelares às esferoidais responderam de forma negativa as especificações do produto final.

Heterogeneidade microestrutural propicia deformações disformes, gerando no material, gradientes de tensões compressivas e quando na austenitização do componente, relaxamento dinâmico destas forças, tendendo à distorção geométrica. Concomitantemente, heterogeneidade microestrutural significa diferentes propriedades mecânicas, implicando diretamente no maior ou menor grau de resistência a conformação.

## **5 CONCLUSÃO**

Em processos de conformação mecânica é de suma importância o conhecimento sobre as principais variáveis metalúrgicas para o estabelecimento da padronização em produções seriadas. Uma vez que tais características não só influenciam na qualidade do produto final, mas impactam de forma relevante nos custos de toda cadeia produtiva.

Todo e qualquer processo de transformação de fase é passível das distorções geométricas, porém nos materiais fabricados por processos de conformações mecânicas à frio (laminação/estampagem) que posteriormente receberão tratamentos térmicos, torna-se viável o controle da distribuição e taxa de esferoidização e dureza para minimizar os efeitos de tensões sobre os materiais ferrosos.

## **Agradecimentos**

Ao IPEN na realização dos ensaios de difração em rx – Profº Dr. Nelson Batista de Lima e aos Laboratórios Brasmetal Waelzelholz e Transtechnology do Brasil pela preparação das amostras, ensaios mecânicos e micrográficos.

Ao amigo M.Sc.Eng. Ronaldo Ferreira da Costa e ao grande Profº. M.Sc Clóvis de Carvalho Júnior pelo conhecimento repassado e que incentivaram para realização do trabalho.

## **REFERÊNCIAS**

- 1 KO, D., KIM, B., CHOI, J., - Finite element simulation of the shear process using the element-kill method. Journal of Materials Processing Technology. V.72, 129-140, 1997.
- 2 SCHEY, J.A, - Introduction to manufacturing processes, 2nd ed. McGraw-Hill – New York. 1982.
- 3 CALLISTER JR, WILLIAN D, Ciência de Engenharia de Materiais: Uma Introdução, Ed. LTC, 5ª Edição 2002, cap.10, p. 209-210 e cap. 11 p. 228-229.
- 4 MARQUES, P. V, MODENESI, P. J, BRACARENSE, A. Q, Soldagem Fundamentos e Tecnologia, Ed. UFMG, 2ª Edição Revista e Ampliada, 2007, cap. 7, p. 13.
- 5 LU, J., RETRAINT, D.,- A review of recent development and applications in the field of X-ray diffraction for residual stress studies., Journal of Strain Analysis, v.33, n.2, 127-136, 1998.
- 6 CHIAVERINI, V., Tratamentos Térmicos das Ligas Ferrosas. ABM, 2ª Edição, 1987, cap. 4, p. 77-78.