

CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DO AÇO BH180 E BH220 E O CÁLCULO DO COEFICIENTE DE ATRITO NO PROCESSO DE ESTAMPAGEM PROFUNDA¹

Fábio André Lora²
Luis Fernando Folle³
Lirio Schaeffer⁴

Resumo

Este trabalho tem como objetivo a caracterização tecnológica dos aços *bake hardening* (BH 180 e BH 220) através da inserção desses dados dentro do processo de estampagem profunda, no qual requer que as propriedades mecânicas dos materiais sejam bem especificadas para obter-se o menor erro no cálculo final. Durante o processo de estampagem profunda existem algumas variáveis que influenciam a força necessária para estampagem, entre elas o coeficiente de atrito, a matéria-prima, como também a geometria da ferramenta. Para tal estudo manteve-se a geometria da ferramenta constante (punção cilíndrico) e variou a matéria-prima e os lubrificantes utilizados (diferentes coeficientes de atrito). Os resultados mostraram a diferença das forças máximas nos corpos de prova conforme os diferentes coeficientes de atrito estipulados e as propriedades dos materiais apresentaram forte influência no processo de estampagem profunda.

Palavras-chave: Propriedades tecnológicas; *Bake hardening*; Coeficiente de atrito; Estampagem profunda.

TECHNOLOGICAL PROPERTIES CHARACTERIZATION OF THE BAKE HARDENING 180 AND 220 STEEL AND FRICTION COEFFICIENT CALCULATION IN THE DEEP DRAWING PROCESS

Abstract

This paper has as objective the technological characterization of bake hardening steel (BH180 and BH220) through data insertion inside of deep drawing process, that it requires the mechanical properties of these materials with close specifications to get minor final calculation mistakes. During deep drawing process it get some variables that it influence in necessary strength to forming process, between these variables are friction coefficient, row material and geometry of dies. To study this situation it was maintained the same geometry dies (cylindrical punch) and it was varied the row material and used lubricants (different friction coefficient). The results showed difference of maximum strength in samples correspondingly of different friction coefficient stipulated and the material properties showed hard influence in the deep drawing process.

Key words: Technological proprieties; Bake hardening; Friction coefficient, Deep drawing.

¹ *Contribuição técnica ao 64º Congresso Anual da ABM, 13 a 17 de julho de 2009, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

² *Engenheiro e mestrando do laboratório de transformação mecânica da UFRGS e colaborador do SENAI CIMATEC.*

³ *Mestre e doutorando do laboratório de transformação mecânica da UFRGS.*

⁴ *Dr. Ing. e Coordenador do laboratório de transformação mecânica da UFRGS.*

1 INTRODUÇÃO

Os processos de fabricação que envolvem as operações de conformação de chapas metálicas, têm sua origem numa matéria prima oriunda do processo de laminação. Os componentes manufaturados por esses processos destinam-se para uma infinidade de ramos industriais, tais como a indústria de automotiva, máquinas agrícolas, aeroespacial, aparelhos de utensílios domésticos, construção civil, área médica, transportes, indústria eletrônicas etc.⁽¹⁾

A indústria automobilística vem, ao longo dos anos, modificando as formas e projetos de fabricação de veículos, o que tem provocado um crescimento nas exigências com relação à estampabilidade a que são submetidas as chapas destinadas a fabricação de carrocerias de automóveis. Em particular, a procura pelo aumento da eficiência energética dos automóveis e, recentemente, as pressões por redução do nível de emissão de poluentes, determinam um esforço para reduzir o peso dos veículos. Isso pode ser obtido com o uso de aços de alta resistência. A primeira linha desenvolvida pelas siderúrgicas foi a de aços endurecíveis por solução sólida e/ou aqueles endurecidos por precipitação, entretanto, sua estampabilidade é limitada. Atualmente, entre os materiais que melhor apresentam uma solução de compromisso entre nível de resistência e estampabilidade são os materiais IF-HSS (*Interstitial Free – High Strength Steel*) e os aços BH (*Bake Hardenable*).⁽²⁾

Os aços *bake hardening*, de baixa liga, são geralmente empregados em partes visíveis do automóvel, como portas, capôs, portas traseiras, para-lamas dianteiro e tetos, além de peças estruturais (assoalhos automotivo, reforços, suporte transversais e peças anexas). Os aços oferecem uma boa resposta aos requisitos hoje impostos para a fabricação de carrocerias, apresentando boa estampabilidade e resistência à deformação após o cozimento (cura da pintura).⁽³⁾

1.1 Caracterização Tecnológica

Diante da crescente preocupação com a qualidade das chapas metálicas, para a confecção de produtos estampados e o mercado cada vez mais competitivo, é de suma importância a caracterização mecânica e controle de chapas metálicas para estampagem, assegurando produtos de excelente qualidade, baixo custo de produção e um baixo índice de refugo.⁽⁴⁾

O mais comum e tradicional dos testes para definir algumas propriedades mecânicas é o Ensaio de Tração. Com este ensaio consegue-se plotar a curva de escoamento do material, referente a variação da Tensão de Escoamento (k_f) que um material apresenta durante uma deformação em função da deformação verdadeira (φ). A Tensão de Escoamento (k_f) em cada instante é obtida por:

$$k_f = C \cdot \varphi^n$$

Equação 1

onde, C é uma constante de resistência, φ é a deformação verdadeira e n é o índice de encruamento. Quanto maior o grau de encruamento, maior o grau de homogeneização das deformações, isto é, o material distribui melhor as deformações ao longo de seu volume, conforme Eglan.⁽⁵⁾

Outra forma de caracterizar os materiais é através da Curva Limite de Conformação (CLC), na qual um dos métodos mais comum e utilizado é o método de Nazazima. O ensaio de Nazazima permite determinar a CLC com auxílio e um

ferramental simples empregando corpos de prova com diferentes larguras. Alguns autores trabalharam com os aços BH 180 e BH 220, entretanto, montaram suas curvas limites de conformação através de outros métodos, obtendo uma grande variação na determinação das curvas.^(2,6,7)

1.2 Coeficiente de Atrito

A estimativa correta do coeficiente de atrito é uma das variáveis do processo de estampagem profunda mais importante, visto que este é uma variável diretamente proporcional a força máxima aplicada no processo. Existem vários métodos do cálculo do coeficiente de atrito, como o modelo de Coulomb, conforme Frantini.⁽⁸⁾ Frantini comenta que Fogg, na década de 1970 também trabalhou em condições de atrito que ocorriam nas conformações de chapas metálicas quando lubrificações pressurizadas eram utilizadas. Na mesma época, Kudo propôs um teste que o coeficiente de atrito era determinado pela medição direta das forças tangenciais e normais na superfície da matriz. Já Azushima, desenvolveu um aparelho que conseguia determinar a influência da velocidade de estampagem no cálculo do coeficiente de atrito. Frantini resalta ainda que um grande avanço na determinação do coeficiente de atrito foram os modelos realizados por Wilson, os quais desenvolveram uma simulação de conformação de chapas metálicas reproduzindo as condições reais de estampagem e a fluência do metal nas matrizes. Um modelo mais recente apresentado, foi o cálculo do coeficiente de atrito através do cálculo da força máxima no embutimento de uma caneca, apresentado por Folle.⁽⁹⁾ As equações de Pankinin,⁽¹⁰⁾ de cálculo da força máxima são utilizadas para estimar o coeficiente de atrito, visto que a variável principal torna-se o coeficiente de atrito. Folle realizou os ensaios com o material alumínio, no qual obteve resultados satisfatórios para a geometria testada (caneca), sendo que a força de atrito aumentava, devido as condições superficiais da ferramenta.

Para a conferência dos resultados alcançados nos experimentos práticos, utilizou-se a simulação computacional, dando assim uma maior veracidade aos resultados encontrados. Seguindo a metodologia utilizada por Folle 2008, a simulação numérica foi realizada utilizando o software de simulação em estampagem ETA/DYNAFORM Versão 5.6 com o solver LS-DYNA versão 971. Os elementos utilizados para definir a ferramenta (punção, matriz e prensa chapas) foram do tipo casca, porém esses elementos são indeformáveis.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Propriedades Mecânicas

As propriedades mecânicas dos materiais utilizados nesse trabalho foram levantadas através de dois tipos de ensaios: ensaio de tração e de anisotropia.

O ensaio de tração é válido para se alcançar as curvas de escoamento dos materiais, obtendo o índice de encruamento do material. Quando um material sofre deformação plástica, sofre um endurecimento devido às modificações permanentes na rede cristalina. Este endurecimento por deformação plástica é chamado de encruamento que varia conforme a deformação aplicada. Através da equação 1, consegue-se montar as curvas de escoamentos dos aços.

Através de um ensaio de tração unidirecional em corpos de prova à 0º, 45º e 90º da direção da laminação descobre-se o índice de anisotropia do material. Com

uma região pré-definida deformar-se o material 25% na direção do comprimento (todos com a mesma deformação para minimizar os erros). Como o índice de anisotropia r é definido como razão entre as deformações principais na direção da largura (φ_2) e espessura (φ_3), quando se faz a análise em chapas, é recomendado uma simplificação através da lei de constância de volume, levando em consideração o comprimento (φ_1) e largura:

$$r = -\frac{\varphi_2}{(\varphi_1 + \varphi_2)} \quad \text{Equação 2}$$

A anisotropia apresenta valores diferentes, que dependem da direção que o material foi laminado (Figura 3), uma vez que a laminação modifica a orientação da estrutura cristalina dos grãos que compõem o material.

Utiliza-se o valor médio de anisotropia r_m para estimar a anisotropia de um material.

$$r_m = \frac{1}{4}(r_{0^\circ} + 2 \cdot r_{45^\circ} + r_{90^\circ}) \quad \text{Equação 3}$$

Na equação 3, r_{0° representa a anisotropia do material onde o corpo de prova é retirado na direção de laminação; r_{45° é retirado a 45° em relação à direção de laminação e r_{90° é retirado na direção perpendicular à laminado.

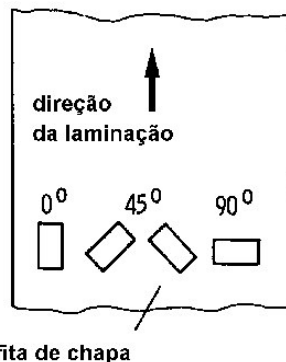


Figura 3. Direção de corte dos corpos de prova para determinação da anisotropia.⁽¹¹⁾

2.2 Curva Limite de Conformação

Para a realização de tal ensaio utilizou o método proposto por Nakazima, modificado por Klein e Cervelin.⁽¹²⁾ Tal método utiliza 8 corpos de provas, com dimensões variadas, conforme indicado na Figura 4 e dimensionado na Tabela 2. Esses corpos de prova são colocados em uma ferramenta composta de um prensa chapas, que restringe o escoamento do material e um punção cilíndrico de 50mm de diâmetro (raio de 4,5 mm) que realiza uma força perpendicular ao posicionamento dos corpos de prova.

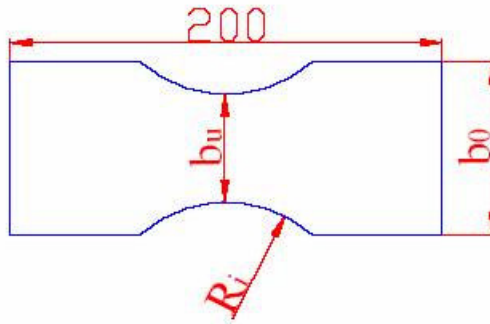


Figura 4. Modelo da geometria dos corpos de prova utilizado no ensaio de Nakazima. Unidades em mm.⁽⁵⁾

Tabela 2. Dimensionamento dos corpos de prova utilizado no ensaio de Nakazima⁽⁵⁾

CDP	R_i [mm]	b_u [mm]	b_o [mm]
1	100	10	40
2	90	20	50
3	80	30	60
4	70	40	70
5	60	50	80
6	50	60	100
7	40	80	120
8	25	100	150

Os corpos de prova foram gravados com uma malha circular de diâmetro de 2,5 mm, seguindo as orientações da norma ISO 12004:1997, que indica que a malha deve ser circular ou quadrada com arestas ou diâmetros de 1 mm a 5 mm. A gravação dos corpos de prova é realizada através de uma corrosão eletroquímica, não causando danos aos mesmos.

A variação dos corpos de prova é realizada para ocasionar diferentes deformações nos cp's, visto que quanto maior a quantidade de material na largura, maiores serão as deformações de estiramento na peça: maior quantidade de material escoará para as laterais da peça, sabendo-se que na direção principal do comprimento (φ_1) o material sempre estará sendo tracionado. Um exemplo de como as deformações acontecem nos corpos de prova gravados com a malha circular pode ser vista na Figura 5.

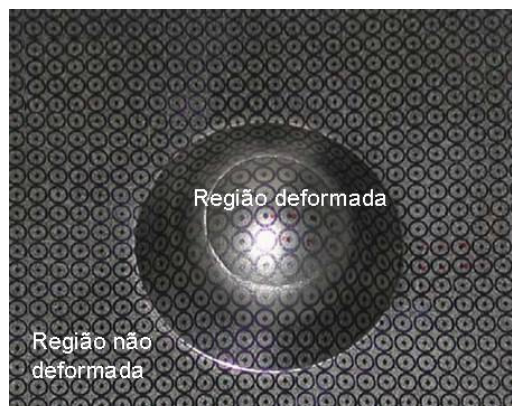


Figura 5. Corpo de prova gravado com malha circular, com regiões deformadas e não deformadas.⁽⁷⁾

O lubrificante utilizado para realizar o ensaio Nakajima foi um filme de poliuretano PU45 com 6 mm de espessura e um diâmetro aproximado de 50 mm, para minimizar o efeito do atrito e distribuir mais as deformações durante o ensaio, facilitando a obtenção da curva CLC). Cada disco foi posicionado entre o punção e o corpo de prova a ser ensaiado. Os ensaios foram realizados numa prensa com duplo efeito, com velocidade pré-definida de 7,5 mm/s para todos os ensaios. Após, o ensaio a medida dos círculos é realizada com uma régua calibrada para obter-se as deformações em cada círculo da malha, caracterizando assim as deformações principais φ_1 e φ_2 .

2.3 Coeficiente de Atrito

O objetivo principal das análises experimentais desenvolvidas é obter o histórico de deformações de chapas metálicas submetidas ao mesmo processo de estampagem, variando os parâmetros de lubrificação e material.

Então, o coeficiente de atrito é calculado através da força máxima aplicada no processo. Na realização do processo em questão utilizou-se um ferramental composto por um prensa chapas e um punção cilíndrico, produzindo uma peça com geometria de uma caneca. Um esboço do processo e dos componentes utilizados pode ser visto nas Figuras 6.a e 6.b, onde é observada a ilustração dos parâmetros utilizados no cálculo da força máxima.

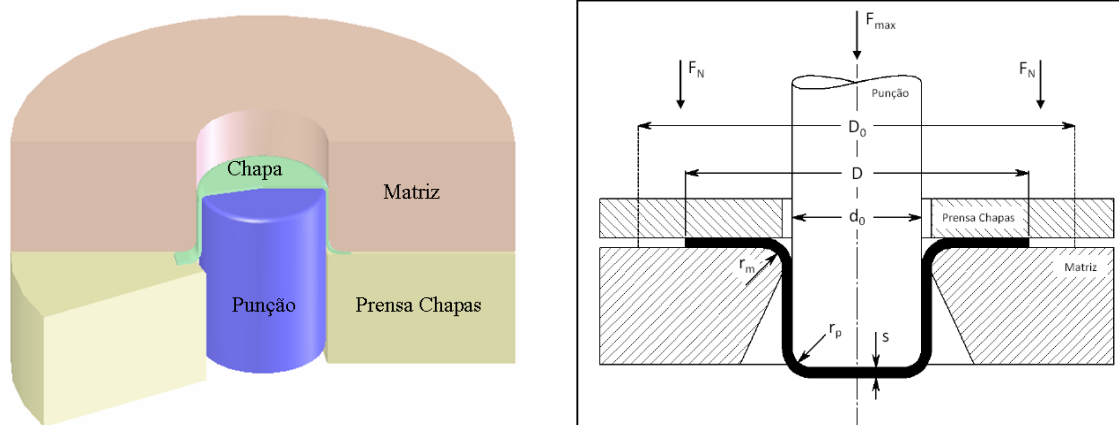


Figura 6.a. Croqui do processo de estampagem profunda utilizada para análise. **b.** Ilustração dos parâmetros do cálculo da força máxima.⁽⁹⁾

Para o cálculo da força máxima, utilizou-se a metodologia de Panknin,⁽¹⁰⁾ que consiste na somatória de todas as forças envolvidas no processo, como a força ideal: (F_{id}) que o punção realiza; força de atrito no prensa chapas (F_{APC}), a força de atrito na passagem do raio da matriz (F_{AR}) e a força do retorno elástico (F_{RE}) do material. A formulação utilizada pode ser vista no trabalho de Folle.⁽⁹⁾

Para obter-se as variações de forças máximas aplicadas a um mesmo material utilizou duas situações diferentes de lubrificação: sem lubrificação e com um filme de teflon, que conforme Folle⁽⁹⁾ fornecem os dois extremos dos coeficientes de atrito. Com isso pretendeu-se avaliar a influência dos diferentes coeficientes de atrito no processo de estampagem profunda, mostrando que a força máxima alcançada no processo depende diretamente do coeficiente de atrito.

Na montagem do processo de simulação da fabricação da peça de trabalho, os componentes da ferramenta (punção, matriz e prensa chapas) foram definidos como modelo tipo casa, porém, esses elementos são indeformáveis. A Figura 7 mostra a construção do ferramental e material montado no simulador. Os dados para alimentação do software quanto as caracterizações do material, foram os mesmos levantados experimentalmente nesse trabalho.

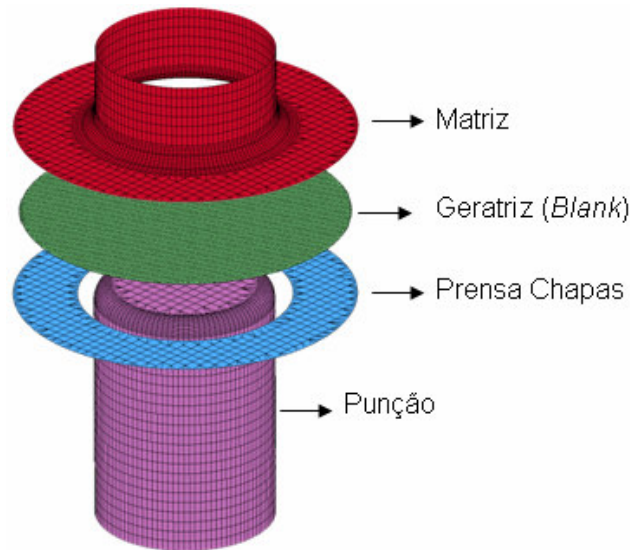


Figura 7. Esboço dos componentes da ferramenta utilizada no trabalho.⁽⁹⁾

3 RESULTADOS

3.1 Propriedades Mecânicas

Foram realizados ensaios de tração uniaxial para determinar as propriedades intrínsecas dos materiais aço BH 180 e BH 220. Segundo norma DIN 10002 fez-se 15 ensaios sendo cinco na direção de laminação, cinco a 45° e o restante perpendicular a direção de laminação. Os resultados das curvas de escoamento, dos aços BH 180 e BH 220, podem ser vistos na Figura 8.

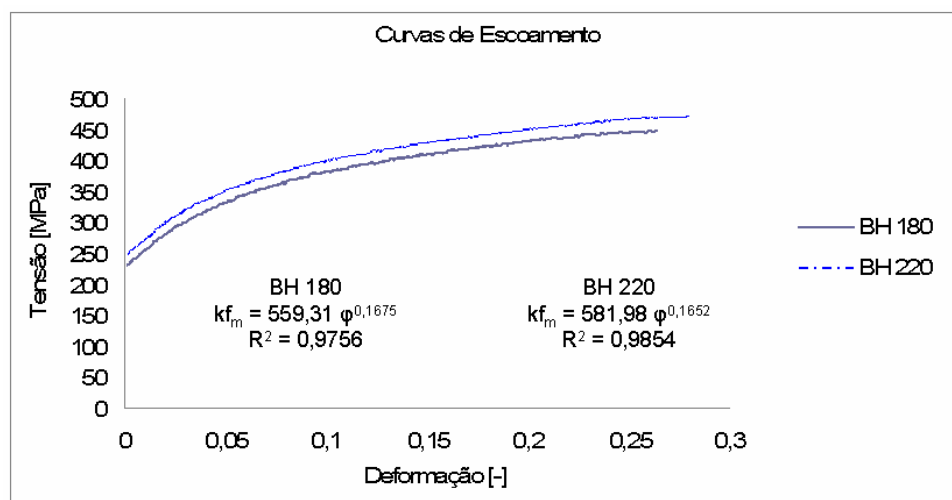


Figura 8. Curva tensão verdadeira x deformação verdadeira. Espessura 0,75mm.

Na Figura 9 pode-se observar a curva de anisotropia dos aços BH 180 e BH 220 através da aplicação de 25% de deformação para os cp's a 0°, a 45° e a 90° da direção de laminação.

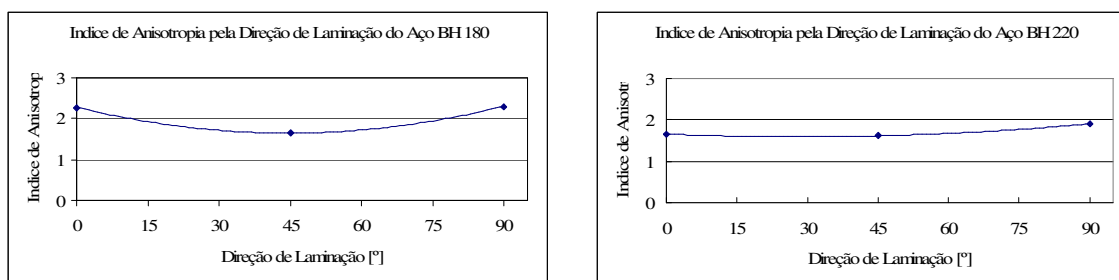


Figura 9.a. Curva de anisotropia para o aço BH180; **b.** Curva de anisotropia para o aço BH220

Na Tabela 3 pode-se observar o resultado alcançado, para inserção na equação, dos dois materiais estudados.

Tabela 3. Características dos materiais

Propriedades	BH 180	BH 220
Densidade (g/cm ³)	7,85	7,85
Modulo de Young (N/mm ²)	170000	170000
Coeficiente de Poisson	0,28	0,28
Índice de encruamento	0,17	0,16
Coeficiente de resistência (C)	560	580
Índice de anisotropia (r) a 0°	2,27	1,65
Índice de anisotropia (r) a 45°	1,65	1,61
Índice de anisotropia (r) a 90°	2,3	1,9
Índice de anisotropia média (r)	1,97	1,70
Tensão de escoamento (N/mm ²)	250	250
Deformação de escoamento [%]	0,2	0,2

3.2 Curva Limite de Conformação

As curvas limites de deformação para os aços BH 180 e BH 220 obtidas no trabalho podem ser vistas na Figura 10.

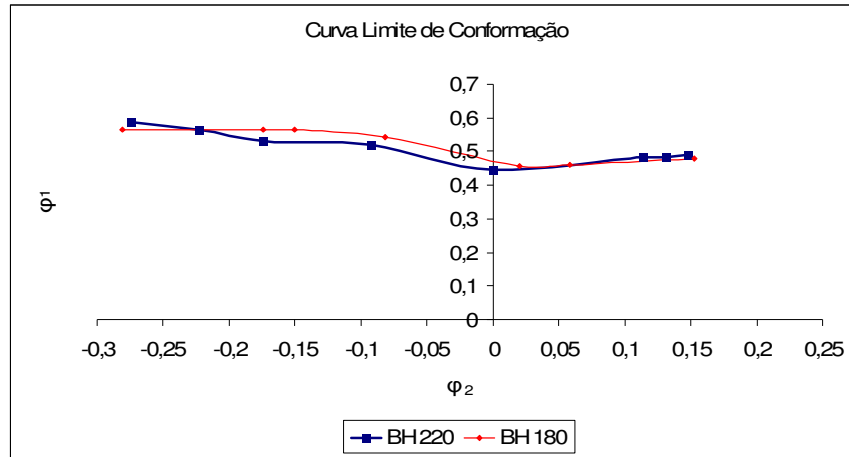


Figura 10. Sobreposição das CLC dos aços BH 180 e BH 220.

3.3 Coeficiente de Atrito

O coeficiente de atrito é encontrado através da medida da força máxima do ensaio. Nos gráficos das Figuras 11.a e 11.b, compara as forças durante o processo de estampagem da caneca, mensuradas e simuladas para os aços BH 180 e BH 220.

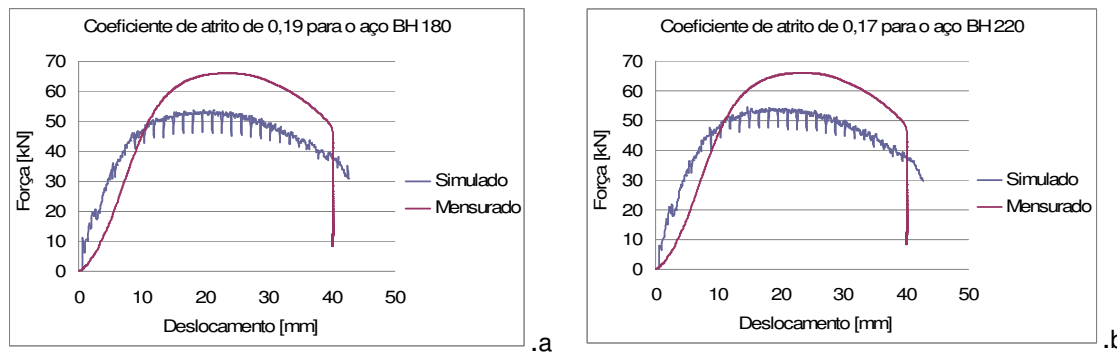


Figura 11. Comparação entre as forças mensuradas e simuladas para o processo de embutimento da caneca.

Utilizando os valores das forças máximas alcançadas na simulação e nos experimentos práticos conseguiu-se calcular os coeficientes de atritos, sendo que os resultados encontrados são vistos na Tabela 4.

Tabela 4. Coeficientes de atrito calculados para os processos estudados.

Variável / Ensaio	BH 180 sem lubrificação	BH 180 com filme de teflon	BH 220 sem lubrificação	BH 220 com filme de teflon
Força máxima simulada	---	53	---	54
Força máxima mensurada	77	66	78	66
Coeficiente de atrito (μ)	0,39	0,19	0,37	0,17

Através da simulação numérica consegue mostrar os valores das forças máximas encontradas no processo de estampagem profunda de um copo e o

caminho de deformações percorrido durante o processo. Na figura 12 pode-se observar a comparação das curvas limites de conformação com as deformações ocorridas nas peças estampadas experimentalmente (aços BH 180 e BH 220, com filme de teflon). A imagem da peça estampada, de aço BH 180, produzida no processo experimental sem lubrificação pode ser vista na Figura 13.a e, na 13.b, as deformações ocorridas na peça simulada compradas com a CLC.

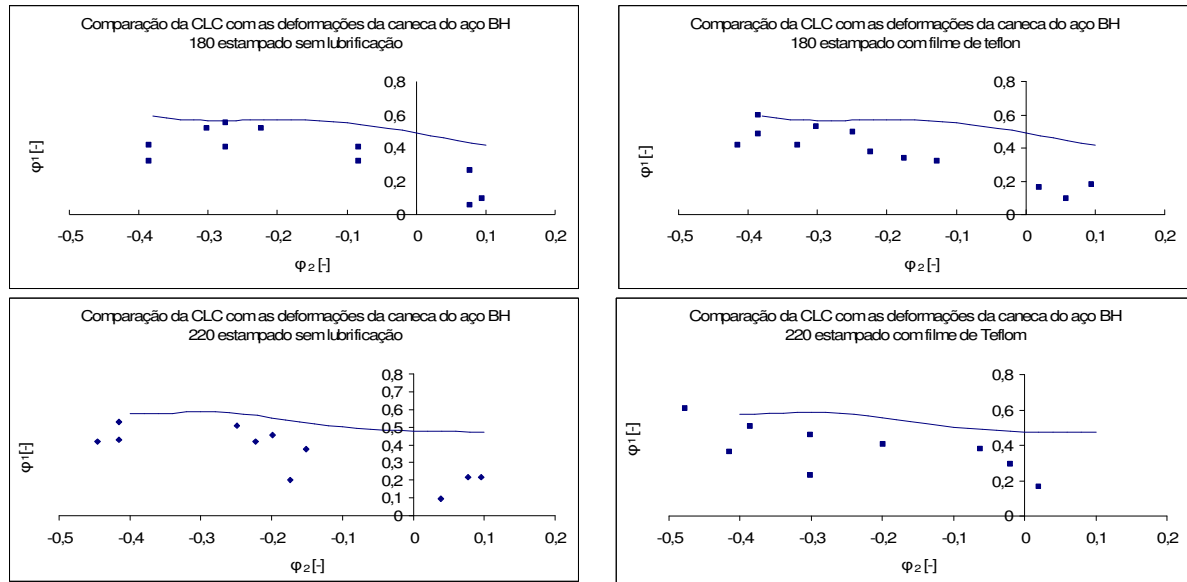


Figura 12. Deformações nos copos ensaiados e simuladas comparadas as curvas limites de conformação para os aços BH180 e BH220.

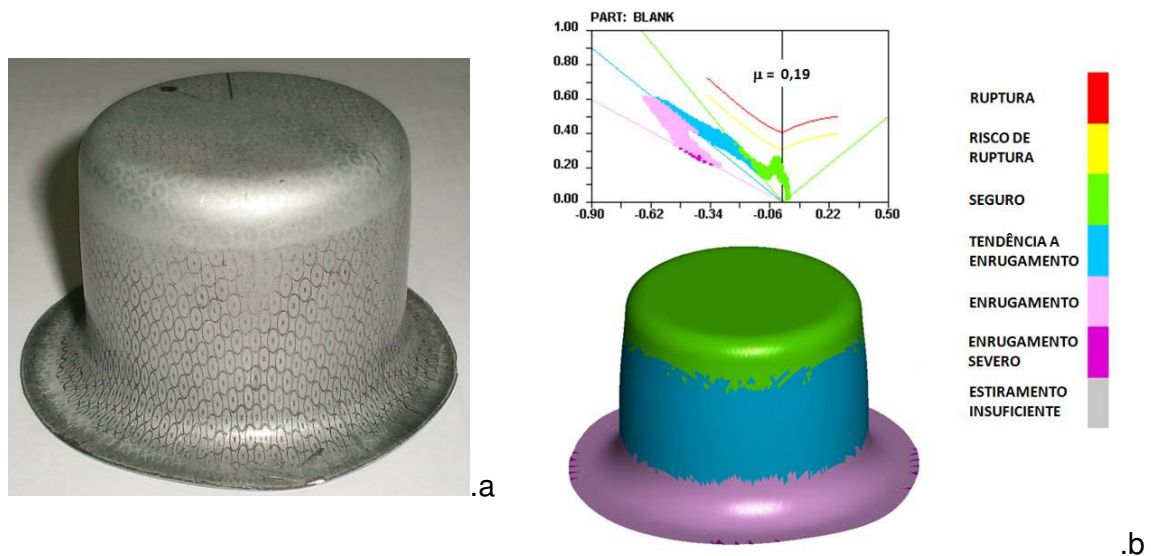


Figura 13. Copo de aço BH 180 produzida no processo sem lubrificação e da peça simulada.

4 DISCUSSÃO

4.1 Propriedades Mecânicas

Com relação às propriedades dos materiais estudados e utilizados na fabricação da carroceria dos automóveis, faz-se necessário a presença de boa

estampabilidade e posteriormente a cura da pintura, uma alta resistência mecânica. Pode-se afirmar que os *blanks* (geratriz) de aço BH 220 possuem uma maior resistência mecânica comparados ao aço BH 180, conforme visto na figura 8. A anisotropia dos materiais apresenta diferenças, contudo o mais importante é os altos valores da anisotropia alcançados nesses materiais, mostrando que possuem grande capacidade de embutimento. Já as curvas limites de conformação dos aços apresentam grande semelhança.

Conforme observado os dados da Tabela 4, as forças máximas alcançadas nos processos de estampagem sem lubrificação foram maiores, devido logicamente as maiores forças de atrito. Entretanto, não foi possível realizar a simulação numérica para os processos sem lubrificação, uma vez que, o software não permitiu o desenvolvimento do processo apresentando ruptura no material, ou seja, o coeficiente máximo permitido foi 0,19 utilizando os filmes de teflon.

4.2 Coeficiente de Atrito

O cálculo do coeficiente de atrito realizou-se através da força máxima obtida nos processos de estampagem profunda de uma caneca, contudo, os ensaios experimentais e simulados computacionalmente obtiveram diferentes respostas a força máxima, conforme visto na Figura 11 e Tabela 4. Essa diferença de resultados foi devido a alguns fatores, como as propriedades mecânicas do material e o coeficiente de atrito. Considerando as propriedades do material na diferença dos resultados, foca-se essa diferença na pouca deformação encontrada nos ensaios de tração, pois as deformações encontradas nos ensaios práticos são maiores. Com relação ao coeficiente de atrito, a diferença de resultados é baseada na simplificação que o software considera, pois o coeficiente de atrito é mantido constante em todo o processo, sendo que o mesmo varia durante o processo de estampagem.

Outro fato importante que aconteceu nas simulações é a necessidade de forças menores para estampar a geometria de estudo que no ensaio prático, sendo um fato delicado, pois se fosse baseado apenas na simulação poderia-se estimar equipamentos sem a força necessária para estampar completamente os componentes a serem fabricados.

Tanto para o cálculo do coeficiente de atrito quanto das deformações, foi estudada a geometria de uma caneca. Na Figura 12, observou-se as deformações ocorridas nas canecas em relação à curva limite de deformação. Como já esperava-se, devido a utilização do ensaio Nakazima para levantamento dos dados da CLC, as deformações ocorridas nas canecas ficaram abaixo da curva, mostrando a possibilidade de estampagem das canecas pelo critério da CLC. Na Figura 13 observou-se a peça conformada sem lubrificação e a peça simulada utilizando coeficiente de atrito 0,19, sendo que ambas ficaram abaixo da linha limite de conformação.

5 CONCLUSÃO

Através dos resultados encontrados, percebe-se a necessidade de realização de ensaios de compressão, pois estes alcançam deformações maiores nos materiais, aumentando-se assim a quantidade de dados inseridos no software sobre o material.

A discordância entre a simulação numérica e os ensaios experimentais requer uma maior atenção, pois os experimentos comprovaram a possibilidade de

estampagem de um copo de aço BH 180 e BH 220 com coeficientes de atrito superior a 0,19.

A simulação numérica foi utilizada apenas para as situações de estampagem de lubrificação com filme de teflon, com coeficiente de atrito abaixo de 0,19, visto que o software não permitiu o desenvolvimento do processo com a utilização de coeficientes de atrito superiores, mostrando ruptura na peça simulada.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Laboratório de Transformação Mecânica da UFRGS pela disponibilidade dos equipamentos.

REFERÊNCIAS

- 1 SCHAEFFER, L. Conformação de chapas metálicas. Porto Alegre/RS: Imprensa Livre, 2004.200p.
- 2 G. B. da C. RABELO, P. R. CETLIN, L. C. de O. MEYER. Avaliação comparativa de aços livres de intersticiais e aços endurecíveis por envelhecimento na cura da pintura da classe de 220MPa de limite de escoamento. XXXVII Seminário de Laminação, Processos e Produtos Laminados e Revestidos; 2000. ABM; Curitiba; PR.
- 3 CORTE & CONFORMAÇÃO. Estudo analisa principais propriedades dos aços usados na indústria automotiva. Aranda Editora. Ano III. Nº 33. p. 22-31.
- 4 JOSÉ LUIZ FERRARINI. Caracterização de chapas metálicas para estampagem. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2004.
- 5 SERGIO EGLAN SILVEIRA NETTO. Desenvolvimento do processo de construção de curvas limite de conformação. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio grande do Sul. 2004.
- 6 WOLFGANG BLECK, ZHI DENG, KOSTAS PAPAMANTELOS, CHRISTOPHER OLIVER GUSEK. A comparative study of the forming-limit diagram models for sheet steels. Journal of Materials Processing Technology 83 (1998) p. 223–230.
- 7 E. BAYRAKTAR, N. ISAC, G. ARNOLD. An experimental study on the forming parameters of deep-drawable steel sheets in automotive industry. Journal of Materials Processing Technology 162–163 (2005) 471–476
- 8 L. FRATINI, S. LO CASTO, E. LO VALVO. A technical note on an experimental device to measure friction coefficient in sheet metal forming. Journal of Materials Processing Technology 172 (2006) p.16–21.
- 9 FOLLE, LUIS. Proposta de uma metodologia de medição do coeficiente de atrito em estampagem e avaliação da influência da lubrificação e condições superficiais via simulação numérica. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2008.
- 10 PANKNIN, W., (1959) Die grundlagen des tiefziehens im anschlag unter besonderer berucksichtigung der tiefziehprufung. Forschungsberichte zur spanlose formgebung I. Muchael triltsch verlag dusseldorf.
- 11 SCHAEFFER, L. Conformação Mecânica. Imprensa Livre Editora. 1999. 167p.
- 12 KLEIN, L.N.T.; CERVELIN, F. Conformação de Chapas Finas. In; Congresso Anual da ABM, 37, 1982, Rio de Janeiro, RJ. Anais. Rio de Janeiro: 1982.