

INFLUÊNCIA DA LUBRIFICAÇÃO NA ESTAMPAGEM PARA OBTENÇÃO DA CURVA CLC

Luiz M. V. Tigrinho

Ricardo A. dos Santos

Ravilson A. C. Filho

Paulo V. P. Marcondes

Universidade Federal do Paraná
Setor de Tecnologia – Departamento de Engenharia Mecânica
Centro Politécnico – Caixa Postal 19011
CEP 81531 990 – Curitiba – Paraná – Brasil
tigrinho@netpar.com.br

Resumo. *A influência da lubrificação na estampagem de chapas metálicas é difícil de prognosticar, por isso, a avaliação é feita através de tentativa e erro, pois um lubrificante excelente para uma estampagem pode não ser bom para outra. Além da lubrificação a conformabilidade de um material é influenciada pelas propriedades do material, principalmente coeficiente de encruamento para estiramento e coeficiente de anisotropia para embutimento, geometria da ferramenta (punção e matriz), entre outras. Neste trabalho, estudou-se a influência de vários lubrificantes na conformabilidade de um aço para estampabilidade profunda. Inicialmente, foi obtido o gráfico DLC (diagrama limite de conformação) e a curva CLC (curva limite de conformação), através do ensaio Nakazima, sem lubrificação, que é a situação mais severa (crítica). Utilizou-se uma malha circular pré-impresa e mediram-se as deformações máximas, maior e menor, após a conformação. Em seguida utilizou-se somente corpos de prova de 200 x 200mm, simulando estiramento puro da chapa metálica, alternando somente o lubrificante, visando aumentar a deformação máxima menor, e assim verificando quais lubrificantes oferecem a possibilidade de deslocar os pontos para a direita da curva CLC.*

Palavras-chave: *Lubrificação, Ensaio Nakazima, Curva CLC*

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Keeler⁽¹⁾ e Kuzman⁽²⁾, para se obter sucesso na estampagem de chapas metálicas, algumas variáveis importantes devem ser consideradas, tais como: propriedades do material, geometria da ferramenta, lubrificação, velocidade de conformação, pressão na interface, entre outras, de forma que todas estas variáveis estão inter-relacionadas. Durante o *tryout* de ferramentas, no entanto, torna-se preferível fazer pequenas modificações no ferramental, avaliar lubrificantes diferentes, variar a velocidade de conformação, de modo a se evitar a substituição do material por outro de melhor estampabilidade, o que seria a solução mais cômoda, porém mais cara.

No presente trabalho, estudou-se a influência da lubrificação na estampagem o que, de acordo com Keeler⁽¹⁾, trata-se de uma variável difícil de ser prognosticada, devendo ser avaliada através de métodos de tentativa e erro, uma vez que um lubrificante excelente em uma operação de estampagem pode não ser igualmente eficiente em outra operação com características diferentes.

De acordo com Hosford et al⁽³⁾ com uma boa lubrificação a ruptura tende a ocorrer próximo do pólo e com alto valor da deformação menor (e_2), muitas vezes próximo da deformação maior (e_1).

Uma forma de se avaliar a performance de um lubrificante na estampagem é através da curva limite de conformação (CLC), a qual pode ser obtida pelo ensaio de estampagem proposto por Nakazima. Este ensaio consiste em fazer a estampagem de corpos de prova sem lubrificação, para se avaliar os modos de deformação por embutimento profundo e estiramento da chapa ensaiada.

Os pontos gerados no diagrama limite de conformação (DLC), através dos quais se obtém a CLC, devem-se as medições dos círculos, impressos na chapa antes do ensaio, que durante a conformação foram distorcidos formando elipses, cujos diâmetros maior e menor representam as duas direções principais de deformação no plano da chapa de aço, conforme relata Hosford et al⁽³⁾, Borsoi et al⁽⁴⁾, Keeler⁽⁵⁾, Lorentz et al⁽⁶⁾ e Schaeffer⁽⁷⁾.

Segundo Keeler⁽¹⁾, a lubrificação do punção não tem grande influência no embutimento profundo, ao passo que no estiramento o punção deve ser bem lubrificado, para que a CLC possa ser prolongada a um maior nível de deformação neste modo de deformação. Após levantamento da CLC, somente corpos de prova de 200 x 200mm, são necessários para simular a condição de estiramento, através dos quais, diferentes lubrificantes podem ser utilizados, com o objetivo de aumentar a deformação máxima menor na região do estiramento, sendo o propósito deste trabalho.

2. METODOLOGIA

2.1. Ensaio Proposto

Para realização do ensaio Nakazima, foram confeccionados corpos de prova a partir da chapa metálica DC06, com 0,7mm de espessura, a partir da qual se levantou a CLC. Ao todo foram utilizados 10 corpos de prova com diferentes dimensões, conforme a Figura 1, a fim de se produzir desde o modo de deformação por estiramento a embutimento profundo.

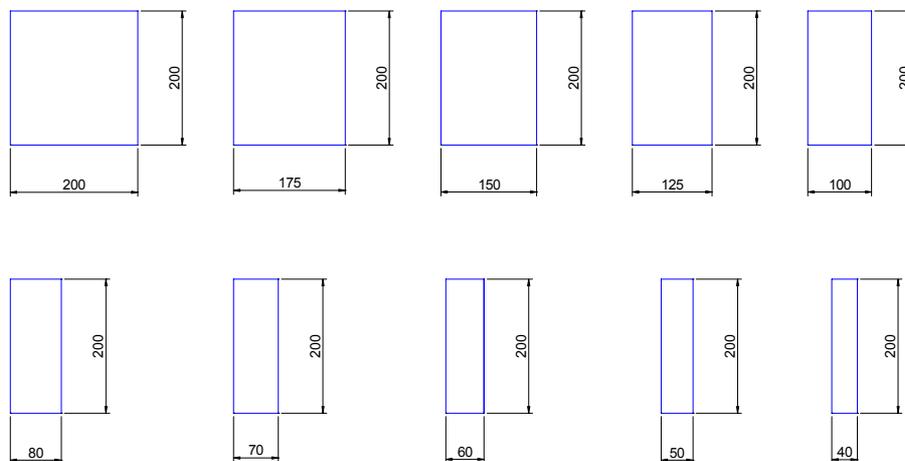


Figura 1. Corpos de prova para o ensaio Nakazima

Obs.: são 4 corpos de prova 200 x 200mm. Um corpo de prova para levantamento da curva CLC, sem lubrificação, e os outros 3 com variação da lubrificação.

Realizou-se o ensaio Nakazima até a ruptura do corpo de prova, a qual geralmente ocorre em apenas um dos lados do copo estampado, sendo medidas as elipses localizadas no lado oposto a ruptura do copo estampado. Assim sendo, foram medidos os diâmetros maior e menor das elipses que se encontram nos pontos de maior deformação do material. Os cálculos das deformações da chapa estampada, segundo Hosford et al⁽³⁾, são dados pelas seguintes equações:

$$e_1 = \frac{(Df_1 - Do_1)}{Do_1} \quad (1)$$

$$e_2 = \frac{(Df_2 - Do_2)}{Do_2} \quad (2)$$

$$e_3 = \frac{(Tf - To)}{To} \quad (3)$$

$$\varepsilon_1 = \ln(e_1 + 1) \quad (4)$$

$$\varepsilon_2 = \ln(e_2 + 1) \quad (5)$$

$$\varepsilon_3 = \ln(e_3 + 1) \quad (6)$$

Onde:

e_1 : Deformação maior da elipse;

e_2 : Deformação menor da elipse;

e_3 : Deformação no sentido da espessura da chapa;

$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$: Deformações verdadeiras;

$Do_1=Do_2$: Diâmetro inicial do círculo;

Df_1 : Diâmetro maior da elipse;

Df_2 : Diâmetro menor da elipse;

To : Espessura inicial da chapa;

Tf : Espessura final da chapa.

Analisou-se então, pela deformação dos corpos de prova 200 x 200mm, como os diferentes tipos de lubrificantes, agiram na tentativa de prolongar a CLC à direita do gráfico, na condição de estiramento.

2.2. Materiais e Equipamentos Utilizados

A prensa utilizada para o ensaio Nakazima deve fornecer uma interface de onde se possa obter total controle de velocidade de avanço do punção, devendo esta ser constante, desta maneira, a prensa utilizada para execução dos ensaios foi uma prensa hidráulica com velocidade de 0,0013m/s.

O método de obtenção da curva CLC através do ensaio Nakazima consiste na utilização de um punção hemisférico, com diâmetro de 100mm, cabeça de punção com raio de 50mm e matriz com diâmetro de 106mm. Este ferramental permite analisar chapas de aço com espessura de no máximo 3mm, pois chapas com espessura superior não permitiriam o desenvolvimento do curso do punção. Os lubrificantes utilizados foram sólido e líquidos. Ao todo foram 3 lubrificantes:

- Poliuretano (espessura da camada de 0,70mm)
 - Óleo sintético → miscível (1:2), com aditivos de extrema pressão (EP)
 - Óleo sintético + óleo vegetal → miscível (1:2), biodegradável
- Classes de óleos relatados por Klann⁽⁶⁾.

Os corpos de prova foram feitos a partir de uma chapa de aço, material DC06, norma DIN EN10152 (0,02%C, 0,020%P, 0,020%S, 0,25%Mn e 0,3%Ti), aço liga acalmado, laminado a frio, com 0,70 mm de espessura.

A malha de círculos, com diâmetro de 4,2mm, foi feita através de serigrafia. Trata-se de uma forma inovadora de confecção desta malha, pois geralmente ela é feita com tratamento eletroquímico ou com marcação a laser. Com a utilização de uma tela convencional de serigrafia, e tinta especial para metais, reproduz-se facilmente a malha de círculos nos corpos de prova.

Como o ensaio consiste em deformar o material até a sua ruptura, a maneira visual é uma das melhores formas para que se tenha o controle de parar o ensaio assim que houver a ruptura do material. Como o ferramental fica inteiramente fechado, impossibilitando a visualização interna durante o ensaio, instalou-se uma micro-câmera através de um orifício na base que suporta a matriz.

Desta forma o ensaio pode ser monitorado através de um monitor, o que garante a retirada da carga no momento exato da ruptura do corpo de prova.

A medição da malha dos corpos de prova foi realizada em um projetor de perfil, pois devido à concavidade adquirida durante o ensaio, paquímetros não garantiriam medidas precisas.

3. RESULTADOS

O gráfico da Figura 2 mostra a curva CLC do material em análise, obtida pelos ensaios dos corpos de prova, sem lubrificação, conforme a Figura 1, e os outros gráficos, Figuras 3 à 5, mostram os pontos atingidos pelos corpos de prova de 200 x 200mm ensaiados com diferentes lubrificantes.

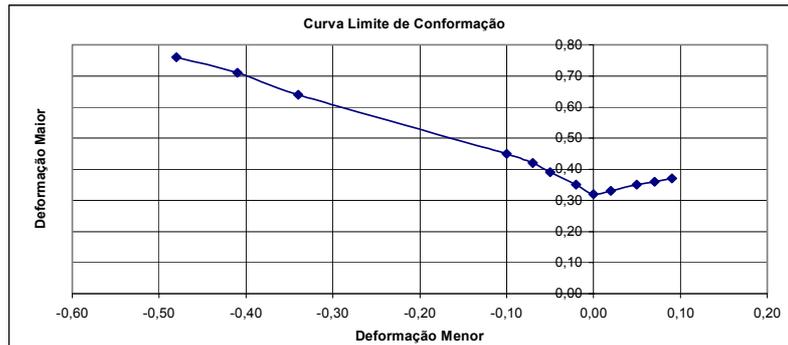


Figura 2. Diagrama Limite de Conformação para os diferentes corpos de prova

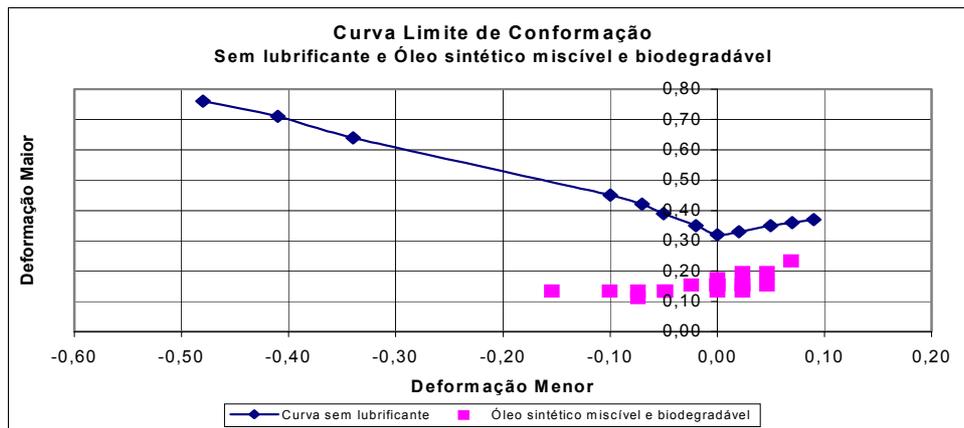


Figura 3. Diagrama Limite de Conformação sem lubrificação – lubrificante óleo sintético miscível e biodegradável

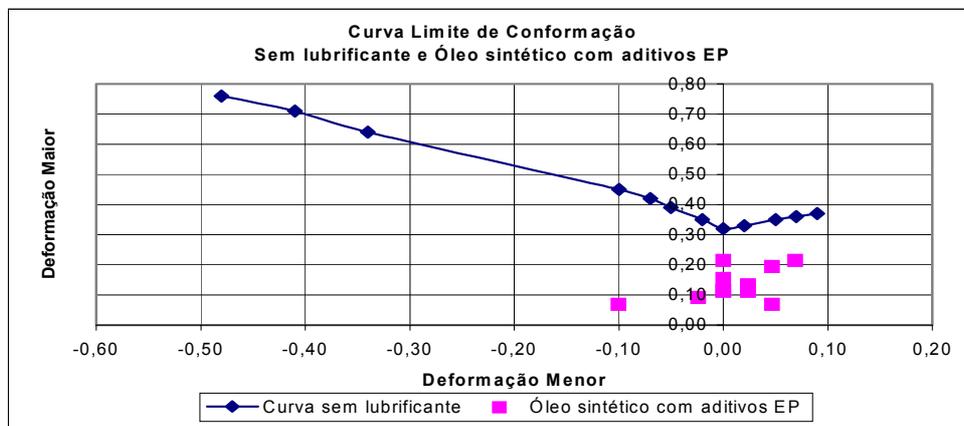


Figura 4. Diagrama Limite de Conformação sem lubrificação - lubrificante óleo sintético com EP

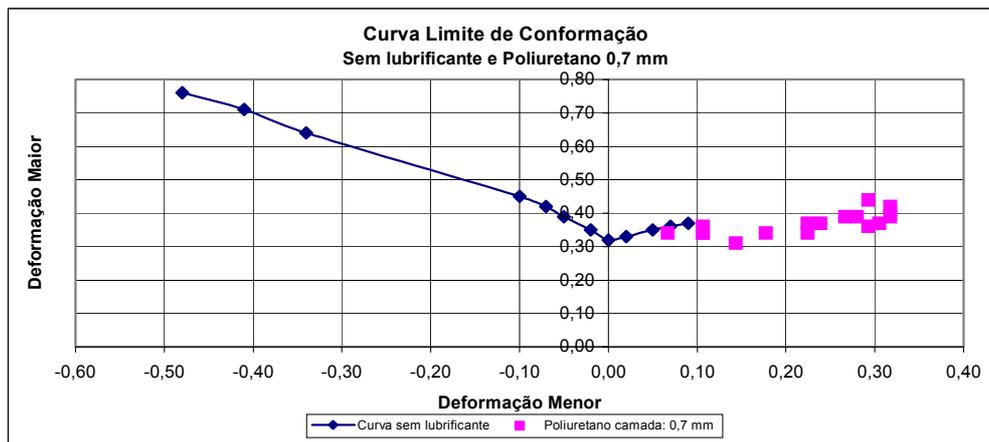


Figura 5. Diagrama Limite de Conformação sem lubrificação - lubrificante poliuretano

O gráfico da Figura 6, mostra a curva CLC do material em análise, obtida pelos ensaios dos corpos de prova, sem lubrificação e com o melhor lubrificante em questão, o poliuretano.

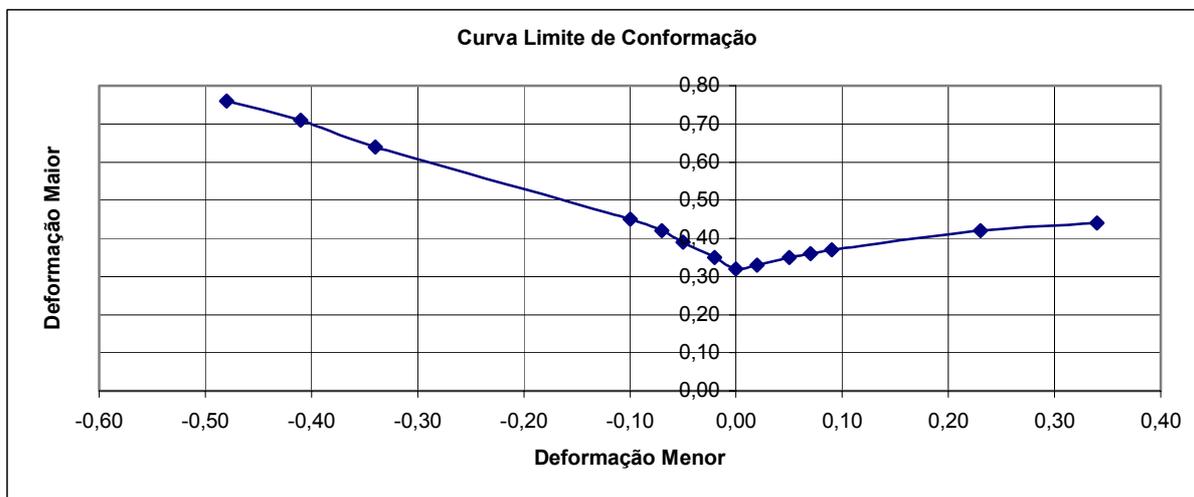


Figura 6. Diagrama Limite de Conformação final – sem lubrificação e com lubrificante poliuretano

4. DISCUSSÕES E ANÁLISES

Era de se esperar que com a redução do atrito, ou seja, com a utilização de lubrificantes, aumentassem as deformações antes da ruptura, caracterizando uma deformação mais homogênea, minimizando ou até mesmo eliminando os picos de deformação, analisado por Keeler⁽¹⁾. Analisando o digrama DLC da Figura 2, observa-se que o lado do estiramento não foi bem representado quando não se fez o uso de lubrificação. Com o uso do lubrificante poliuretano, mostrado na Figura 5, observa-se altas deformações caracterizando melhor a curva CLC do lado direito, demonstrando assim, a sua eficácia. Ao contrário, os outros lubrificantes, Figura 3 e Figura 4, não aumentaram a deformação máxima menor na curva CLC, caracterizando a sua ineficiência.

5. CONCLUSÕES

Após a realização dos ensaios ficou evidente a importância da lubrificação no estiramento de chapas metálicas, principalmente quando se utilizou poliuretano como lubrificante. Como visto no diagrama DLC, sem lubrificação, a deformação máxima menor é de apenas 0,10 e com o uso do poliuretano, chegou a 0,33. O que também foi constatado é que a ruptura ocorreu próxima ao pólo da amostra, caracterizando uma deformação mais homogênea, ou seja, sem picos de deformação.

Em contrapartida, os lubrificantes líquidos devem ser melhor avaliados, com um número maior de ensaios, para verificar se realmente são eficazes para o modo de deformação por estiramento.

6. REFERÊNCIAS

1. KEELER, S. P. 1968. **Understanding Sheet Metal Formability – Part 5 – Die Design and Lubrication**. New York.
2. KUZMAN, K. 2000. **Environmental Friendly Lubricants in Deep Drawing of Steel Sheet Metal**. Enform Project. TECOS Celje, Slovenia.
3. HOSFORD, W. F.; CADDELL, R. M. 1993. **Metal Forming – Mechanics and Metallurgy**. N. J.: 2nd ed. Prentice-Hall, 364 p.
4. BORSOI, C. A.; HENNIG, R.; SCHAEFFER, L. 2000. **Novo Teste Tecnológico no LdTM para a Melhor Determinação da Conformabilidade de Chapas Metálicas**. In: III Conferência Nacional de Conformação de Chapas, IV Conferência Internacional de Forjamento, Porto Alegre, p. 50-59.
5. KEELER, S. P. 1968. **Understanding Sheet Metal Formability – Part 2 – Visible Strain Patterns**. New York.
6. LORENTZ, R.; GILAPA, G. M. 1998. **Avaliação da Conformabilidade de Chapas de Aço Plano**. In: I Conferência Nacional de Conformação de Chapas, Porto Alegre, p. 141-150.
7. SCHAEFFER, L. 1999. **Conformação Mecânica**. Ed. Imprensa Livre, Porto Alegre, 167 p.
8. KLANN, R. **Lubricants for High-Speed Stamping**. Magazine Metal Forming. p. 30-33, December 2000. OH.

THE INFLUENCE OF THE LUBRICATION IN STAMPING AND THE FORMING LIMIT DIAGRAM

Luiz M. V. Tigrinho

Ricardo A. dos Santos

Ravilson A. C. Filho

Paulo V. P. Marcondes

Universidade Federal do Paraná
Setor de Tecnologia – Departamento de Engenharia Mecânica
Centro Politécnico – Postal Box 19011
ZIP CODE 81531 990 – Curitiba – Paraná – Brazil
tigrinho@netpar.com.br

Abstract. *The influence of the lubrication on stamping process is difficult to predict, thus, it must be evaluated on a trial and error basis. An excellent lubricant for one stamping may turn out to be a poor lubricant for another stamping. The lubrication of a material depends of the other variables – the forming characteristics of the material, punch and die geometry and many other factors. In the present work, was evaluated the influence of various lubricants in the DC 06 steel formability. In the first step, was made the FLD (Forming Limit Diagram), through of the Nakajima's procedure test, without lubrication, that is a more hard stamping condition. A circular grid (5mm of diameter) was printed in the blanks. The circles became ellipses after stamping tests, and its major and minor axis was measured. The tests with the 200 x 200mm blanks were repeated applying different lubricants, in order to increase the minor strain. The effect of each lubricant were evaluated by the comparison to the FLD without lubricant.*

Keywords. *Lubricants, Nakajima's Test, Forming Limit Diagram*