

AÇOS COM LUBRIFICANTES A SECO NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA E DE AUTOPEÇAS¹

Charles Morales²
Manoel Marcos Guimarães Lopes³
Reinaldo Caspani Nori⁴

Resumo

A Armco do Brasil, através do grupo de Engenharia de Aplicação vem buscando soluções de produto e processo em conjunto com seus clientes, visando melhorias no processo de estampagem de aços baixo teor carbono. Em função desse trabalho iniciou-se a produção e comercialização de lubrificantes a seco, como também, a produção de materiais extra baixo carbono com a finalidade de atender as especificações do mercado nacional e internacional em relação a problemas de estampagem. Além destes materiais descritos acima, existem como alternativos materiais revestidos com fosfato de zinco, cobre e chumbo. O uso de aço extra baixo carbono para conformação de peças apresenta vantagens no que diz respeito a maior eficiência no processo de estampagem, gerando maior rendimento metálico, menor custo por peça produzida, maior confiabilidade, menor desgaste do ferramental entre outros. Pode-se aliar a utilização de aço extra baixo carbono, como também, a outros aços utilizados para a mesma finalidade, lubrificantes a seco, visando uma melhor eficiência, limpeza, lubrificação para a etapa de conformação. O presente trabalho mostra o desempenho destes aços na Armco do Brasil, enfatizando sua aplicabilidade e características técnicas mais importantes.

Palavras-chave: Estampagem; Lubrificantes; Aço.

DRY LUBRICANT STEELS FOR AUTOMOTIVE INDUSTRY

Abstract

Armco do Brazil, by its application engineering group, is searching for process and products solutions, together with its customers, providing improvements on low carbon steel stamping process. From this work, the dry-lub production and commercialization was started, as well as the use of extra low carbon materials with the purpose of attend national and international specifications related to the stamping problems. Beyond these developed materials described, there are other alternative coated materials with zinc phosphate, cooper and lead. The extra low carbon steel for conformation of parts presents advantages related to the stamping efficiency, generating biggest metallic income, lower cost for produced parts, biggest reliability and minor tool consumption. The dry-lubricant can be used with the extra low carbon steel and also other steels used for the same purpose, aiming best efficiency, cleanliness, lubrication in forming stages. The present work shows the state of art of this steel in the Armco do Brazil, emphasizing its applicability and technical characteristics.

Key words: Stamping; Lubricant; Steels.

¹ *Contribuição técnica ao 63º Congresso Anual da ABM, 28 de julho a 1º de agosto de 2008, Santos, SP, Brasil*

² *Engenheiro de Produção – Engenharia de Aplicação – Armco do Brasil.*

³ *Engenheiro Químico – Diretor Comercial Aplicação – Armco do Brasil.*

⁴ *Engenheiro de Produção – Engenharia de Aplicação Aplicação – Armco do Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

Os problemas de estampagem podem ter três origens diferentes, conforme esquema ilustrado abaixo, porém neste trabalho estaremos descrevendo apenas dois fatores, ambos relacionados ao material, ou seja, matéria prima e lubrificação.

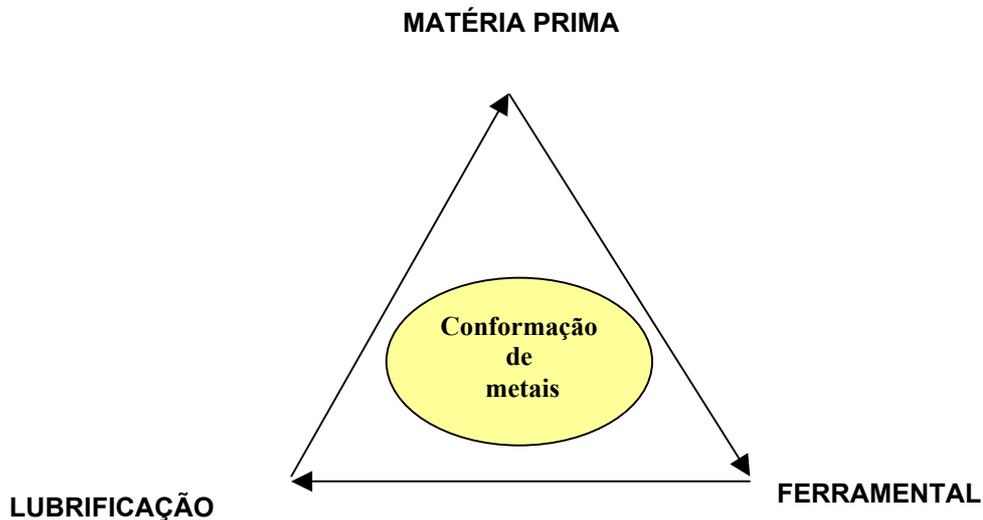


Figura 1. Dados necessários para uma boa conformação de metais

2 LUBRIFICANTES

O atrito tem o papel predominante no processo de conformação mecânica sendo que seria impossível conformar chapas de aço sem se ter o atrito como também seria impossível conformar com atrito grande demais.

Os conhecimentos físicos e químicos sobre o fenômeno de atrito permitem classificá-lo, dependendo de condições da interação entre as superfícies em contato, em três tipos:

1. Entre superfícies sólidas sem filme lubrificante.
2. Interação mediante filme lubrificante (óleos, graxas, lubrificantes a seco).
3. Entre rugosidade de superfícies diferentes.

Geralmente, o processo de conformação de chapas de aço se encaixa na classificação de interação mediante filme lubrificante, porém na sua maioria utilizando óleos, graxas ou até sebos, fato que gera grande desperdício de material e de tempo de processo em muitos casos, decorrentes de desengraxe para eliminação do óleo utilizado para conformação, além de não necessariamente promover perfeita lubrificação devido à falta de uniformidade da película lubrificante.

Assim a Armco do Brasil, apresenta como solução aços revestidos com fosfato de zinco, cobre e chumbo, além de lubrificante a seco para aços baixo carbono com ou sem revestimento. Os lubrificantes a seco, apresentam grandes vantagens quando comparado com lubrificantes convencionais, podendo-se salientar seu baixíssimo coeficiente de atrito, trazendo maior vida útil para as ferramentas e matrizes de estampagem, dispensando etapas de limpeza e afiação constantes.

2.2 Lubrificantes a Seco AFP E DL

Inicialmente foi desenvolvido e comercializado o produto conhecido como Lubrificante a Seco AFP, sendo que AFP tem como significado *antifingerprint*, ou

seja, anti impressões digitais. Porém com a evolução mundial no segmento de lubrificantes a seco, a Armco do Brasil vem modernizando sua família de lubrificantes a seco, já oferecendo ao mercado um novo produto conhecido como Lubrificante à Seco DL, produto tal possuidor das mesmas características do produto anterior, contudo com um grau de lubricidade muito superior.



Figura 1. Fotos comparativas de material com “DL” e sem “DL”

2.2.1 Características principais

Tabela 1. Comparativo dos vernizes “DL” e “AFP”

	LUBRIFICANTES À SECO AFP	LUBRIFICANTE À SECO DL
Características	Lubrificante à base de água	Lubrificante à base de água
	Termoplástico	Termoplástico
Soldabilidade	Boa	Excelente
Toxicidade	Não tóxico	Não tóxico
Película	Permanente	Temporária
Coefficiente de Atrito	Médio coeficiente de atrito	Baixíssimo coeficiente de atrito
Manuseio	Anti impressões digitais	Anti impressões digitais

2.2.2 Coeficiente de atrito

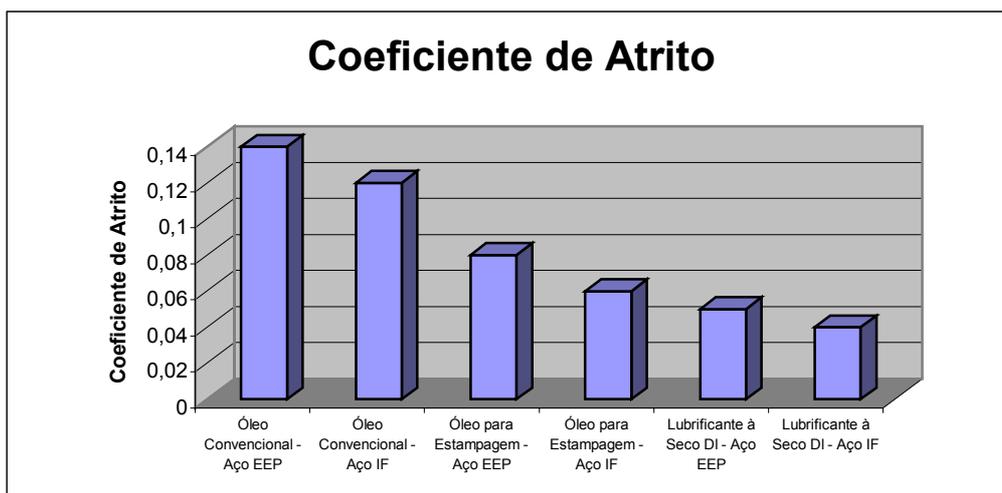


Figura 2. Dados obtidos em testes efetuados na Armco (USA) Equipamento Draw Bead Simulator

Pode-se utilizar os mesmo gráficos acima apresentados para o lubrificante a seco AFP, porém com um acréscimo de 30% nos valores descritos ao lubrificante a seco DL.

2.2.3 Principais vantagens dos lubrificantes à seco

- Alternativa aos aços revestidos com óleo.
- Melhoria housekeeping.
- Melhor lubrificação que óleo (Figura 1 – Palheta de limpador pára-brisa)
- Usado onde existe repuxo severo
- Película Temporária / Película Permanente
- Proteção contra corrosão similar aos óleos protetivos
- Aplicável em materiais com e sem revestimento, podendo ser revestido uma ou duas faces.
- Performance de conformação pode permitir redução do grau do aço (EEP PC x EEP; IF x EEP PC).
- Em casos onde não sofrerá pintura evita a necessidade de desengraxe posterior (redução de lead time / custos, no cliente).
- Boa aderência de pintura a pó ou líquida. (Figura 1 – eletrozincado DL + pintura cataforética)
- Não interfere na fosfatização posterior
- Não interfere na soldabilidade (Ponto ou Projeção)
- Melhor performance na etapa de conformação mecânica devido a maior uniformidade de camada em relação aos lubrificantes convencionais.
- Menor índice de atrito em relação aos lubrificantes convencionais, evitando constantes etapas de usinagem.
- Menor formação de partículas e cavacos no ferramental / punção durante no processo de conformação de chapas de aço revestidas ou não, evitando etapas de limpeza de ferramental e problemas de riscos nas peças já conformadas.
- Eliminação de etapas de desengraxe para remoção de lubrificantes convencionais, tais como: óleos, graxas ou sebos.
- Diminuição de impressões digitais em materiais eletrozincados devido seu manuseio.
- Aumento de resistência à corrosão por meio de barreira.

3 MATÉRIA PRIMA

3.1 Matéria Prima Adequada para Estampagem

De acordo com o grau de severidade no repuxo da peça final, é possível avaliar que tipo de grau de m.prima é o mais adequado para estampagem.

Pode-se trabalhar com m.primas de duas procedências:

A)**Proveniente de usina**, quando dentro da necessidade a tolerância de espessura e suas bitolas padrões usuais atendem sem problema a especificação final.

B)**Proveniente de processo de relaminação**, quando espessuras diferenciadas e tolerâncias de maior controle são necessárias à aplicação final.

Dentro destas duas situações podemos referenciar os limites de escoamento máximo, com os graus de estampagem atualmente mais utilizados no mercado nacional, e também aplicados às normas internacionais.

Tabela 2. Dados da NBR 5915

Usina L.esc. max	EEP [Mpa]	EEP-PC [Mpa]	IF [Mpa]
$e \leq 1,20$	230	190	130/170
$1,20 < e < 2,00$	230	190	140/180
$e \geq 2,00$	230	190	140/190

Tabela 3. Dados da NBR 5007

Relaminado L.esc. máx	G4 RL [Mpa]	G4 RL – PC [Mpa]
E < 0,70	255	210
E >= 0,70	235	190

3.2 Redução de Debaste para Obtenção de Propriedade

A redução de debaste para obtenção da propriedade final é um fator importante, devido a sua relação direta com a obtenção de um plano de orientações cristalográficas, visando um material com qualidade de estampagem low-earring.

3.3 Ciclos de Recozimentos em Função da Redução X Propriedade Final

O ciclo desempenha o papel final nas propriedades, onde o tempo x temperatura no processo deve ser suficiente para garantir as propriedades mecânicas desejáveis após a laminação de acabamento, onde se tem a necessidade de eliminar o patamar de escoamento, bem como as conhecidas linhas de luder's, ou quebras de superfície.

3.4 Acabamento de Superfície do Metal Base

O acabamento de superfície é responsável também pelo bom desempenho da estampagem, sendo que atualmente existem processos de impressões da rugosidade em cilindros de laminação que permitem obter uma superfície de forma homogênea quanto à densidade de picos x Ra. Normalmente o acabamento mais indicado para peças de conformação crítica é o acabamento fosco (0,60/1,50 Ra) – Usina, e (0,80/1,80 Ra) – Relaminação.

O Quadro 1 indica quais as aplicações mais indicadas para os diferentes tipos de acabamento.

Quadro 1. Dados da NBR 5915

Acabamento de superfície	Rugosidade $\mu\text{m. Ra}$	Indicação de Uso
Brilhante	0,60 máximo	Adequado por revestimento por eletrodeposição ou acabamento em que se deseja brilho.
Fosco	0,60 – 1,50	Adequado para fosfatização e pintura.
Áspero	1,50 – 3,00	Aplicável quando se deseja superfície com maior rugosidade.

4 CURVA “CLC” (Curva limite de conformação).

4.1 Objetivo

O objetivo deste relatório foi o de avaliar o efeito da utilização de verniz e lubrificante na estampabilidade de chapas de aço de baixo carbono.

Para tal, foram determinadas as curvas limite de conformação (CLC) de um aço baixo carbono com aplicação de verniz “DL”, com aplicação de bissulfeto de molibdênio e com aplicação conjunta de verniz “DL” e bissulfeto de molibdênio

4.2 Desenvolvimento do Trabalho

A ARMCO e a UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina), trabalharam com chapas de aço baixo carbono com espessura de 1mm, cuja composição é mostrada na Tabela 1. Parte destas amostras estavam revestidas com verniz “DL” e parte sem revestimento. A camada do verniz “DL” era de 1,5 / 1,9 g/m² de verniz.

Tabela 5 - Composição química do aço estudado (% em peso)

Elementos	C	Mn	Si	S	Ti
Aço	0,03	0,23	0,27	0,008	0,001

Foram realizadas, também, análises estruturais, dureza (HRB), rugosidade (Ra), resultados do ensaio de tração, resultados do coeficiente de encruamento, anisotropia normal e planar e valores de ensaio Erichsen.

Foram realizados ensaios de estampabilidade através da determinação de curvas limite de conformação (CLC) para verificar o efeito da aplicação de “DL”. Foram determinadas as curvas CLC utilizando apenas a aplicação de verniz “DL”, com aplicação de bissulfeto de molibdênio e com aplicação conjunta de verniz “DL” e bissulfeto de molibdênio.

As curvas CLC foram determinadas através do ensaio de Nakazima. O ensaio de Nakazima foi realizado de acordo com a norma ASTM E2218-02, tendo sido utilizadas nove amostras de diferentes larguras para cada curva obtida. O ensaio de Nakazima possibilita diferentes níveis de deformação nos corpos-de-prova ensaiados. As curvas CLC indicam os estados de deformação a que as chapas foram submetidas, bem como a condição de máxima deformação combinada que gera falha no material.

Destaca-se que com a variação das larguras dos corpos-de-prova utilizados no ensaio de Nakazima pode-se obter vários pontos de uma CLC com uma única ferramenta, permitindo a construção dos dois lados de curva, ou seja, com deformações tração-tração e tração-compressão. Tal condição não é conseguida por outros ensaios simulativos, como o ensaio Erichsen, que permite obter somente uma condição de carregamento para cada perfil de punção utilizado, gerando assim um único ponto no gráfico das deformações principais $\varepsilon_1 \times \varepsilon_2$.

4.3 Ensaio de Nakazima (Feito pela UFSC)

O ensaio de Nakazima foi realizado de acordo com a norma ASTM E2218-02, tendo sido utilizadas 09 amostras de cada condição de lubrificação. Estas amostras foram cortadas paralelas à direção de laminação das chapas. As dimensões foram iguais a 30, 55, 75, 95, 115, 135, 155, 195 e 215 mm na largura, comprimento de 215 mm e espessura de 1 mm.

Antes da realização do ensaio, foram gravadas na superfície das chapas por método de *silk-screen* uma rede de círculos, para permitir a posterior obtenção das CLC's. O diâmetro dos círculos impressos foi igual a 3mm.

O ferramental utilizado foi montado em uma máquina de tração-compressão (ZDM U 30T – Laboratório de Conformação Mecânica/UFSC). As chapas foram fixadas com uma placa de aperto com um *draw bead* para evitar o escorregamento da chapa durante a deformação. O critério utilizado para o término do ensaio foi a fratura da chapa.

Após o ensaio, os corpos-de-prova foram avaliados com relação ao posicionamento da fratura e então medidas as deformações dos círculos impressos que se deformaram naquela região. Estas medições foram realizadas considerando-se círculos impressos na região adjacente a falha. Os círculos avaliados estão indicados na Figura 3.

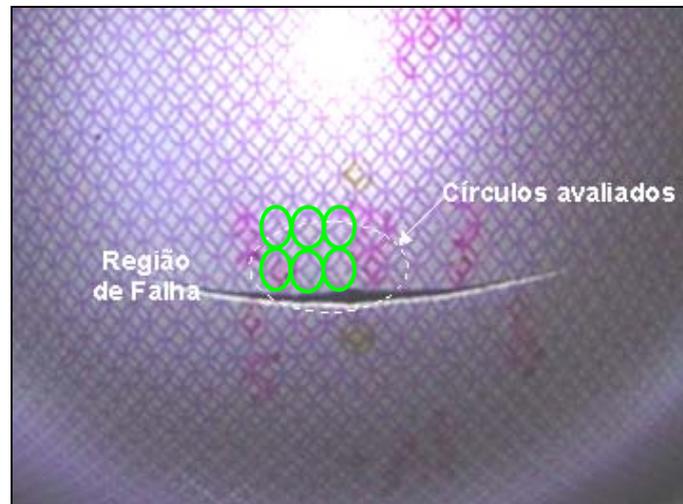


Figura 3. Região de medida dos círculos nos corpos-de-prova Nakazima ensaiados.

A medição das duas deformações principais nos círculos foi realizada por meio de fotografias, que foram posteriormente submetidas a um software de análise de imagem (IMAGE PLUS) para a determinação das deformações em cada ponto. Destaca-se que para reduzir o erro de tais medidas durante o cálculo das deformações relativas, fotografias também foram feitas nas chapas antes dos ensaios serem executados.

A partir das medidas dos círculos deformados, foram então calculadas as deformações principais, ε_1 e ε_2 , que posteriormente foram apresentadas em um gráfico $\varepsilon_1 \times \varepsilon_2$. Para ajustar os resultados de modo a poder se definir a curva CLC para cada chapa ensaiada, foi utilizado um polinômio do segundo grau.

4.4 Resultados Obtidos

A Figura 4 (Fotos 3 e 4), mostram a microestrutura das chapas ensaiadas. Pode-se observar uma microestrutura constituída de ferrita com glóbulos de cementita distribuídos na matriz e contorno de grão. Os tamanhos de grãos de ferrita são de 7 μm a 8 μm . Estes tamanhos de grãos são menores do que é normalmente utilizado em chapas para estampagem que é da ordem 15 μm .

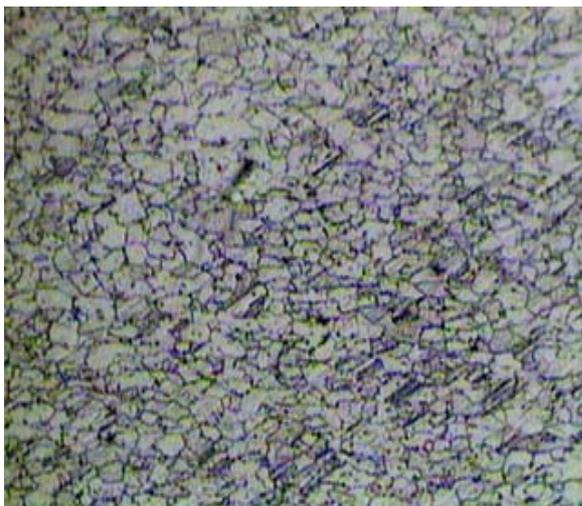


Foto 3 (100X)

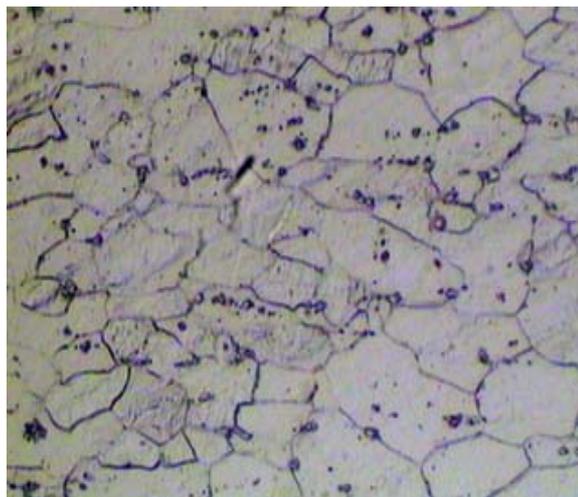


Foto 4 (400X)

Figura 4. Microestrutura das chapas ensaiadas.

A dureza medida foi de 45 HRB, os limites de escoamento e resistência no ensaio de tração foram de 220 MPa (22,0 kgf/mm²) e 328 MPa (32,8 kgf/mm²), alongamento, com base de medida de 50mm, foi de 43% e o coeficiente de encruamento (n) de 0,21. Estes valores estão dentro do padrão utilizado em chapas para estampagem.

O coeficiente de anisotropia normal (\bar{R}) medido foi de 1,14 e o coeficiente de anisotropia planar (Δr) foi 0,16. O valor de \bar{R} de 1,14 é baixo para chapas a serem estampadas, que devem ter, como valores de referência, \bar{R} acima de 1,5 este baixo valor pode ser atribuído a baixa textura cristalográfica do material, que em parte pode ter sido ocasionada pelo pequeno tamanho de grão ferrítico do aço estudado.

Foi observada uma redução na rugosidade da chapa ao se aplicar o verniz "DL". A rugosidade (R_a) passou de 0,914 – 0,891 μ m sem verniz para 0,664 – 0,717 μ m com verniz.

As Figuras 5 e 6 mostram as curvas CLC do aço estudado ensaiadas com aplicação de verniz "DL", com aplicação de bissulfeto de molibdênio e com aplicação conjunta de verniz "DL" e bissulfeto de molibdênio. Na Figura 5 são mostradas as curvas obtidas a partir de valores de deformação médias na região da falha e na Figura 6 as curvas foram obtidas a partir do valor máximo. Pode-se observar, principalmente na figura 6, um melhor comportamento, quanto a estampabilidade da curva com aplicação somente do verniz "DL". Este mesmo comportamento foi observado no ensaio Erichsen onde a chapa somente com aplicação do verniz "DL" apresentou a maior profundidade de copo. Os resultados do ensaio Erichsen foram: com DL 11,30 mm, com lubrificante 10,90 mm e sem DL e sem lubrificante 10,40 mm.

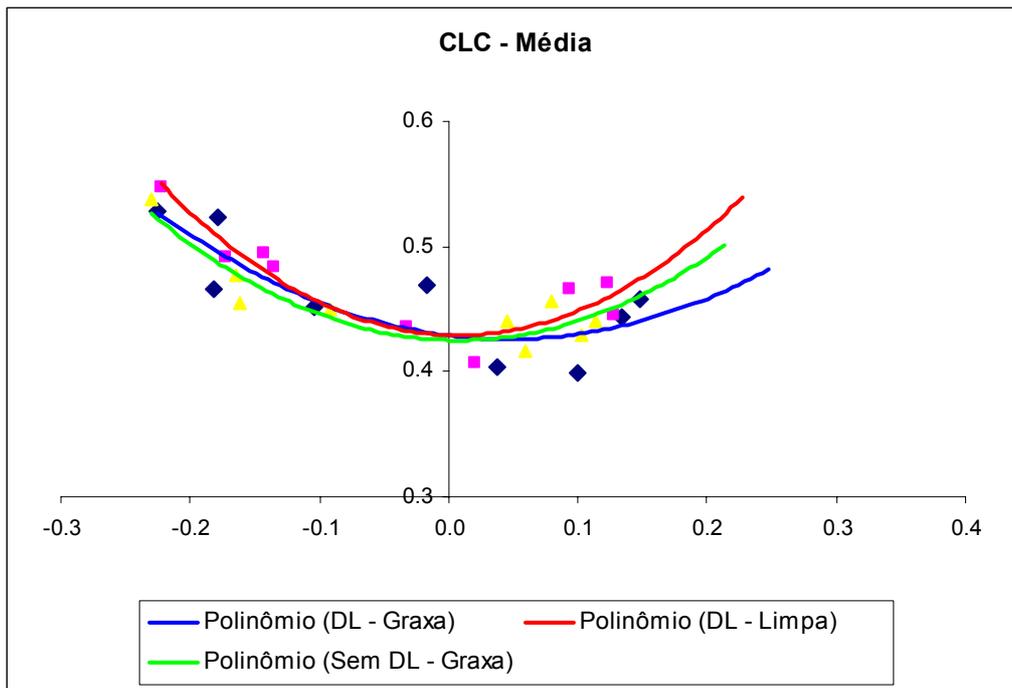


Figura 5. Curvas CLC obtidas a partir de valores de deformação médias na região da falha

A redução da estampabilidade da chapa com aplicação de DL e bissulfeto de molibdênio em relação a com aplicação somente de DL pode estar relacionada com a redução da rugosidade da chapa após a aplicação de DL, que reduziu a aderência do lubrificante. Entretanto, há necessidade de novos estudos para avaliação do efeito da rugosidade na estampabilidade do aço.

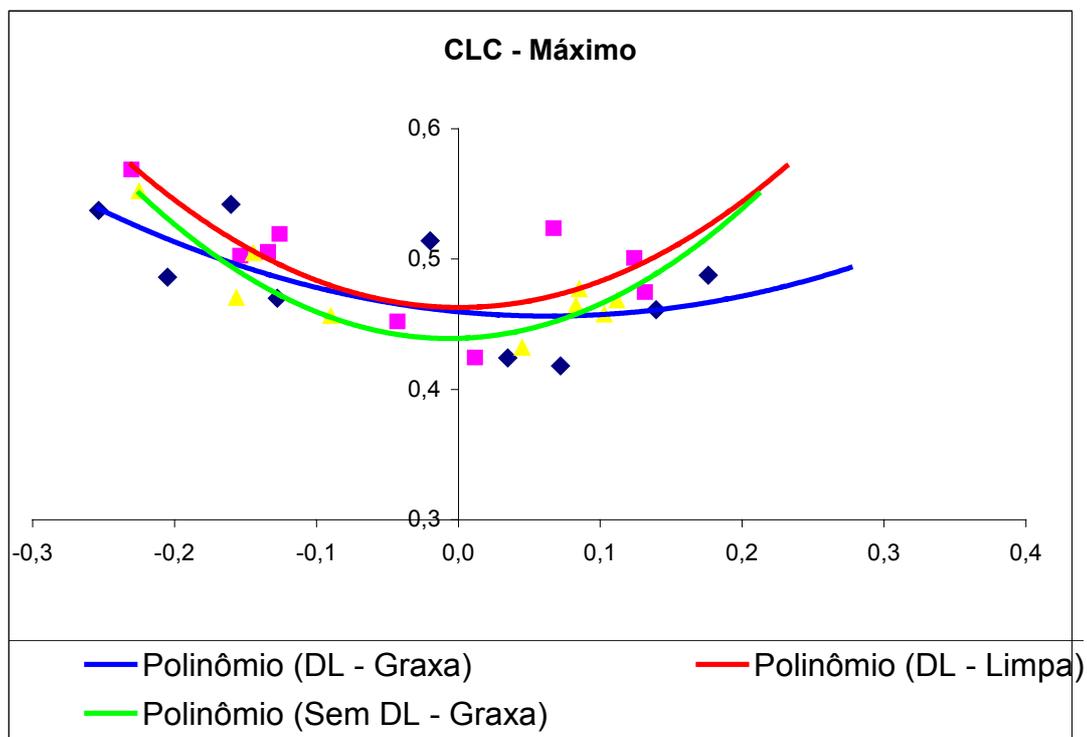


Figura 6 Curvas CLC obtidas a partir do valor máximo

4.5 Conclusões do Ensaio De Nakazima

- Foi observado um melhor comportamento quanto a estampabilidade de chapas de aço baixo carbono com verniz “DL” aplicado em relação as chapas com aplicação de bissulfeto de molibdênio e com aplicação conjunta de verniz “DL” e bissulfeto de molibdênio.
- Este melhor comportamento foi observado tanto nas curvas CLC como no ensaio Erichsen.
- A aplicação de verniz “DL” reduziu a rugosidade (Ra) das chapas.

5 ESTUDO DE CASO 1

Peça componente motor caminhão.

Características do Processo: Estampagem severa sem óleo / Ferramenta excêntrica de 1950.

Problemas: Perda de aproximadamente 45% do lote processado, por motivo de trincas no processado de estampagem / Set-up muito grande / Housekeeping Inadequado / Custo unitário de peça muito alto.

Processo anterior: Desengraxe + Fosfato de Mn + Aplicação manual de sebo + Aplicação manual de papel higiênico + Estampagem + Desengraxe (10 minutos) + Fosfato de Zn + Pintura.

Processo atual: Eletrozincado DL + Estampagem + Desengraxe leve (2 minutos) + Pintura.



Figura 7. Foto ilustrativo do produto descrito

5.1 Conclusão do Estudo de Caso

Foram avaliadas as propriedades do material e do lubrificante a seco em relação a sua estampabilidade, ou seja, sobre suas performances no processo de conformação mecânica, chegando às seguintes conclusões sobre:

Lubrificantes à Seco

- Os problemas de conformação possuem três origens distintas, porém o ferramental possui custo muito elevado, assim o mercado tem apostado na matéria prima e lubrificação para eliminar problemas de estampabilidade.
- Os lubrificantes a seco AFP e DL, apresenta características de lubrificação superiores aos lubrificantes convencionais, melhorando suas características de conformação.

- Os lubrificantes a seco AFP e DL eliminam etapas no processo do cliente final, além de melhorar seu housekeeping.
- Com a utilização de lubrificantes a seco, obtém-se uma vida útil maior de ferramental devido ao menor coeficiente de atrito material / ferramental.
- A utilização de lubrificante a seco não prejudica de nenhuma forma processos posteriores, tais como: pintura, soldagem, fosfatização, silk-screen entre outros.

Aços para Conformação

- Aliada à tecnologia dos novos lubrificantes a seco (DL) e Antifingerprint (AFP), é possível obter-se resultados de estampabilidade em graus G4RL-PC a nível de um grau IF, G4RL a nível de um grau EEP-PC, e assim pode-se reduzir de forma satisfatória o custo de processo em relação à m.prima utilizada.

Observação: Pode-se aliar matéria prima específica para conformação com lubrificação a seco, visando melhorias de estampagem para situações de difícil conformação (alto repuxo).

Agradecimentos

Ao Eng^o / Professor ,Carlos A. S. de Oliveira, e aos seus alunos, os quais ajudaram a ARMCO a realizar o teste da curva CLC.

Ao Eng^o Valdir Alvez da Silva, que nos ajudou na produção e seleção das amostras para o trabalho.

A todo grupo de Engenharia de aplicação da ARMCO do Brasil.

BIBLIOGRAFIA

- 1 Metalfinishing Guide book
- 2 www.fem.unicamp.br
- 3 www.krupp.com.br
- 4 XXXV SEMINÁRIO DE LAMINAÇÃO PROCESSOS E PRODUTOS LAMINADOS E REVESTIDOS. “Comportamento do Coeficiente de Atrito no Caso da Lubrificação Hidrodinâmica“. São Paulo. 1998
- 5 Zinc Plating –Robert Geduld