



21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

INFLUÊNCIA DO LUBRIFICANTE NA ESTAMPAGEM DE UM AÇO ARBL

Sarita Hauck Menezes Pinto, saritahauck@hotmail.com¹

Frederico Ozanan Neves, fred@ufsj.edu.br¹

Valéria Glória de Lima, limag.valeria@bol.com.br¹

Alex Sander Chaves da Silva, achaves@ufsj.edu.br¹

Rafael de Brites, rafaeldebrites@gmail.com¹

Adriana Caldas Carvalho, adrianaccarvalho@gmail.com¹

Márcia Cristina Belício Alves Souza, marciabelicio@hotmail.com¹

Guilherme Germano Braga, guilhermegbraga@gmail.com¹

¹Universidade Federal de São João del-Rei, Praça Frei Orlando, 170 – CEP: 36.307-352 – São João del-Rei – MG.

Resumo: A estampagem é um processo largamente utilizado na indústria, especialmente na indústria automobilística. Para a obtenção de produtos estampados com boas qualidades superficiais, livres de defeitos e resistência mecânica superiores, a presença de fluido lubrificante é essencial para reduzir o atrito e melhorar o escoamento plástico. Entretanto, óleos lubrificantes de origem mineral são muito prejudiciais à natureza e à saúde do homem. Este trabalho investiga a influência de lubrificantes na estampagem de um aço de alta resistência e baixa liga, comparando o desempenho de óleos minerais com óleos vegetais, para verificar a possibilidade de substituição daqueles por estes. Foram testados seis lubrificantes, dos quais quatro óleos são vegetais, sendo eles milho, linhaça, mamona e algodão e dois lubrificantes minerais de alto desempenho na indústria, chamados neste trabalho por LUB A e LUB B. As variáveis de respostas estudadas foram a espessura da chapa e a rugosidade superficial (R_a , R_z e R_t). O produto fabricado é um copo, produzidos a partir de chapas de aço ARBL com 1 mm de espessura, através do ensaio Swift. O experimento foi conduzido através de Planejamento estatístico fatorial aleatorizado por níveis e os resultados foram analisados através de uma Análise de Variância. Os resultados obtidos indicam possibilidade de substituição dos óleos minerais por vegetais, em alguns casos com vantagem.

Palavras-chave: Estampagem profunda, ARBL, Lubrificante, Espessura, Rugosidade.

1. INTRODUÇÃO

O mercado consumidor está cada dia mais exigente, buscando bom preço e qualidade, fatores de grande importância e muitas vezes definitivos na decisão por sua escolha. O setor metal-mecânica apresenta grandes vantagens, principalmente no desenvolvimento de produtos com excelente acabamento superficial, devido à facilidade dos metais em se adaptar as necessidades demandadas pelo mercado. O metal é capaz de ser deformado assumindo novas formas geométricas e alterando significativamente suas propriedades.

É um processo altamente produtivo, possibilitando a geração de formas irregulares, além do alto índice de capacidade de produção do processo e baixo custo de produção para grandes volumes. Este é um dos principais processos de conformação adotados nas indústrias metal-mecânica (CALDIN, 2006).

O processo de embutimento do material, se não realizado de forma correta, pode apresentar defeitos que afetam totalmente a integridade superficial do produto, provocando a incapacidade para o trabalho e afetando o aspecto visual do produto, tornando impraticável sua comercialização.

O Ensaio Swift é um dos testes mais utilizados para avaliar a capacidade de estampagem do aço, o qual consiste na deformação de um disco metálico preso em uma matriz, com um punção na forma cilíndrica.

A conformação a frio exige a presença de lubrificação com o propósito de reduzir o atrito envolvido entre as superfícies e o desgaste de ferramentas. Entretanto, este elemento é agressivo ao homem e a natureza. Recentemente, tem-se dado atenção à substituição de lubrificantes de base mineral por lubrificantes de base renovável (WILLING, 2001). Os estudos tem se concentrado nos efeitos dos lubrificantes de base vegetal (renovável) sobre a natureza e o ser

humano, ficando bem estabelecido o benefício advindo de sua aplicação, além de serem biodegradáveis e com curto tempo para degradação.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de lubrificantes vegetais em relação a estampagem de uma chapa de aço de Alta Resistência e Baixa Liga – ARBL (*High Strength Low Alloy - HSLA*), comparando os resultados obtidos com os valores resultantes da estampagem do mesmo material sob a ação de lubrificantes convencionais a base mineral, utilizado pelas indústrias automobilísticas. O propósito é verificar a possibilidade de substituição dos óleos minerais pelos vegetais, sem perda da qualidade e da integridade superficial do produto.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Aço de Alta Resistência e Baixa Liga – ARBL (High Strength Low Alloy – HSLA)

As siderúrgicas estão em constante desenvolvimento de novos aços para suprir as necessidades mercadológicas. Com foco no atendimento a indústria automotiva, que necessitava de um aço com grande capacidade de estampagem e mais leve, foi desenvolvido um tipo de aço de Alta Resistência e Baixa Liga – ARBL. No final da década de 1950, começaram os estudos sobre os efeitos de micro-adições de V, Ti e Nb nas propriedades mecânicas de aços de baixo carbono, onde os efeitos encontrados revolucionaram a siderurgia e os tratamentos termomecânicos desenvolvidos permitiram a obtenção de aços com microestrutura com tamanho do grão reduzido. Com a redução do grão, é possível aumentar a resistência mecânica e a tenacidade da chapa, permitindo diminuir os teores dos elementos de liga do aço, em especial o carbono (C) (GORNI, 2009).

Conforme Alves (2009), os aços microligados formam um grupo de aços de Alta Resistência e Baixa Liga (ARBL), onde elementos de liga comumente adicionados como o Nb, o Ti, o zircônio (Zr), o V e o boro (B) estão presentes em teores inferiores a 0,1% em peso cada. A adição dos elementos acontece de acordo com a aplicação mais adequada para determinados projetos.

2.2. Estampagem

A estampagem é um dos processos de conformação mecânica, comumente realizado a frio, onde uma chapa plana é submetida a um conjunto de operações, resultando em uma peça com nova forma geométrica. Ocorre então a deformação plástica do material, devido à utilização das prensas de estampagem, com o auxílio de dispositivos denominado matrizes (CHIAVERINI, 1983). É um processo altamente utilizado por indústrias de vários segmentos, principalmente o automobilístico, visando à produção em grande escala, reduzindo os custos e energia gasta no processo.

A estampagem é considerada profunda quando a altura do corpo embutido é muito maior do que a largura da abertura de embutimento. Dieter (1996) define embutimento (estampagem profunda) como a deformação de um disco metálico que, ao ser pressionado pelo punção escoa para dentro de uma matriz auxiliado por uma prensa hidráulica ou mecânica, conforme Figura 1.

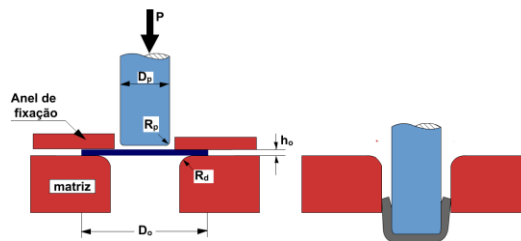


Figura 1. Estampagem profunda de um copo cilíndrico (Adaptado de Dieter, 1996, p. 587).

No processo de estampagem, dependendo das propriedades mecânicas do material, da complexidade geométrica da peça e do atrito interfacial, pode ocorrer o estiramento, dobra e embutimento, o que interfere no estado de tensões do elemento estampado. Uma tensão elevada pode gerar uma trinca ou uma ruptura do componente exposto a qualquer força externa (SANTOS, 2011).

O ensaio Swift é um teste que avalia o embutimento e a estampabilidade do material analisado é expressa em termos de *Razão Limite de Estampagem* (DIETER, 1996). Conforme Tigrinho (2005), o ensaio Swift é o mais representativo dos ensaios de conformação. Consiste em uma série de ensaios, onde se aumenta gradativamente o diâmetro do corpo de prova, até que não seja mais possível estampar completamente o material sem que ocorra a ruptura do mesmo. Para realizar este ensaio, é necessário realizar um grande número de ensaios com corpos de prova com tamanhos diferentes, para se obter um único valor. Esse valor mensura a estampabilidade do material analisado, sendo medida pela razão entre o diâmetro do punção e o diâmetro máximo do corpo de prova estampado sem ruptura.

2.3. Lubrificantes

“Lubrificante é todo ou qualquer material sólido ou líquido de baixa resistência ao cisalhamento, cuja função é a de manter separadas as superfícies da ferramenta (punção e matriz) do material a conformar, reduzindo o atrito” (TAYER, 2011). As condições de atrito na interface matriz material influenciam no escoamento do metal, na formação de defeitos superficiais e internos, tensões e forças que atuam no processo, sendo que essas condições vão depender do tipo de lubrificação adotada.

Os lubrificantes convencionais utilizados pelas indústrias de diversos setores são de base mineral e possuem propriedades diversas adequadas a cada tipo de aplicação. Este tipo de lubrificante é altamente prejudicial à saúde humana e a natureza, porém apresentam resultados satisfatórios para a conformação. Com o objetivo de obter resultados tão bons quanto aos produtos estampados com a utilização de lubrificantes minerais apropriados, vários estudos têm sido realizados utilizando lubrificantes de base renovável (óleo vegetal), pois são biodegradáveis, se degradam em curto tempo e não são prejudiciais à saúde humana. Os trabalhos já realizados apresentaram resultados positivos sobre a capacidade de estampagem do material perante a utilização dos lubrificantes de fontes renováveis.

2.4. Rugosidade

A importância do estudo do acabamento superficial aumenta conforme crescem as exigências do projeto, pois as superfícies dos componentes devem ser adequadas ao tipo de função que exercem. Os diferentes processos de fabricação de componentes determinam diversos acabamentos em suas superfícies. Por mais perfeita que a superfície seja, ela apresentará irregularidades.

Por ser um termo de alta complexidade, a caracterização e avaliação da textura superficial, faz-se necessário a compreensão dos desvios superficiais gerados pelos processos de fabricação e os sistemas de medição existentes para quantificá-los. Estes sistemas requer o conhecimento do mecanismo de aquisição de perfis e das condições de operação em função do objetivo da caracterização da superfície. Esses aspectos podem ser definidos por referências específicas de fornecedores e por normas internacionais (MACHADO, 2009). Neste trabalho são abordadas as medidas de rugosidade Ra, Rz e Rt.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados 6 óleos lubrificantes no processo de estampagem, para verificar a influência do lubrificante na qualidade superficial do corpo de prova. Os lubrificantes de base mineral, utilizados pelas indústrias, e lubrificantes de base vegetal, usados de forma opcional, tendo seus resultados confrontados. O procedimento adotado na confecção da ferramenta de estampagem para a geração do corpo de prova, os processos e as condições utilizadas nos testes serão descritos. A qualidade superficial foi analisada através da medição da rugosidade Ra, Rz e Rt.

3.1. Corpo de prova

Para a confecção dos corpos de prova foi utilizado um aço de Alta Resistência e Baixa Liga. A chapa foi cortada em formato quadrado, medindo 75 x 75 mm. Em seguida foi submetida ao processo de usinagem, sendo fixada em um torno e recortada no formato de discos com diâmetros Ø 56, 60, 64, 66 e 68 mm, fabricados em chapas de Aço ARBL com 1 mm de espessura, conforme mostrado na Figura 2.



Figura 2. Corpo de prova. (a) Antes do ensaio Swift; (b) Após o ensaio Swift; (c) Com ruptura (Autoria própria).

Os ensaios *Swift* foram realizados utilizando 6 lubrificantes diferentes, sendo 4 de origem vegetal e 2 de origem mineral. São eles: Algodão, Linhaça, Mamona, Milho, Lub A e Lub B, respectivamente. Os óleos minerais, Lub A e Lub B, são muito utilizados pelas indústrias nos processos de estampagem e extrusão de peças. A temperatura utilizada foi a do ambiente.

3.2. Ferramental

O ferramental foi confeccionado em Aço ABNT 1045. O mesmo é composto por punção (A), matriz (B) e prensa chapas (C), conforme mostrado na Figura 3.



Figura 3. (A) Punção, (B) prensa-chapas e (C) matriz (Autoria própria).

As dimensões da matriz e do punção foram confeccionadas de acordo com a Tabela 1, em função da espessura da chapa.

Tabela 1. Dimensões da ferramenta para o Ensaio Swift em função da espessura (MARCONDES, 2010).

Punção		Matriz		Espessura da chapa
Diâmetro (mm)	Raio de concordância (mm)	Diâmetro (mm)	Raio de concordância (mm)	(mm)
19	2,7	20,2	4,3	0,30 - 0,43
		20,71	6,1	0,43 - 0,61
		21,43	8,7	0,61 - 0,87
		22,45	12,4	0,87 - 1,24
32	4,5	33,28	4,5	0,32 - 0,45
		33,80	6,4	0,45 - 0,64
		34,56	9,1	0,64 - 0,91
		35,64	13,0	0,91 - 1,30
50	5,0	51,80	6,4	0,45 - 0,64
		52,56	9,1	0,64 - 0,91
		53,64	13,0	0,91 - 1,30
		55,20	18,6	1,30 - 186

3.3. Planejamento Experimental

Neste experimento, realizou-se a análise estatística para avaliar a influência do lubrificante na estampagem do aço com diferentes diâmetros. Os ensaios foram conduzidos de forma aleatória. O planejamento experimental utilizado foi um experimento fatorial aleatorizado por nível. A análise dos resultados foi feita através de uma Análise de Variância, assumindo um nível de confiança igual a 95%. As variáveis de influência são o diâmetro inicial em 3 níveis e o lubrificante em 6 níveis. As variáveis de resposta são: as rugosidades Ra, Rz e Rt, para lateral e fundo dos copos estampados e a espessura do produto na lateral e na curva do copo.

3.4. Procedimentos experimentais

O experimento foi realizado aplicando um filme lubrificante em ambas as faces dos discos de Aço ARBL. Foram realizadas 3 réplicas para cada condição, 6 diferentes tipos de lubrificantes e 5 diferentes diâmetros. O ensaio Swift foi realizado em uma prensa hidráulica manual. O ensaio seguiu a seguinte sequência: Foram estampados copos com discos de 56 mm de diâmetro, na presença de todos os lubrificantes. Como os discos não apresentaram ruptura, repetiu-se a operação para os discos de 60 mm. Não havendo ruptura, estampou-se copos com discos de 64 mm. Os discos com 68 mm apresentaram ruptura para todos os lubrificantes empregados. Então foram produzidos os discos de 66 mm, medida intermediária ao copo estampado sem defeito (64 mm) e ao copo estampado com defeito (68 mm), para verificar com mais precisão o limite de embutimento. Esses copos também apresentaram ruptura.

As amostras foram submetidas ao ensaio de Rugosidade, onde se utilizou o perfilômetro Taylor Robson. Foi criado um dispositivo de fixação do corpo de prova, como é possível observar na Figura 4, para que o mesmo não se movimentasse durante o processo de medição da peça. Para cada corpo de prova foram realizadas 3 medidas na lateral e 3 medidas no fundo, ou seja, 3 réplicas para avaliar o erro experimental.

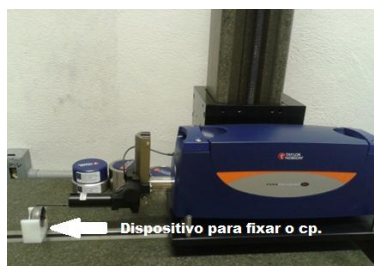


Figura 4. Perfilômetro Taylor Robson (Autoria própria).

Para realizar as medidas de espessura, o corpo de prova foi cortado ao meio e em seguida embutido e lixado. As amostras foram submetidas a esta medição para verificar se houve variação na espessura da chapa de aço após o processo de estampagem. Para isso foi utilizado o microscópio óptico da Olympus BX51W1, as medidas foram realizadas na curva e na parede do copo, conforme Figura 5.



Figura 5. Posições da medida da espessura (Autoria própria).

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1. Rugosidade

A análise dos resultados, sobre a rugosidade do material, foi feita individualmente para as rugosidades Ra, Rz e Rt e para altura e fundo do corpo de prova. A Figura 6 mostra a variação da rugosidade em função do lubrificante empregado, onde se pode ver que a rugosidade no fundo do copo é maior que a rugosidade na lateral do copo, independente do tipo de medição. Isso se explica pelo fato de o fundo do copo sofrer menor quantidade de deformação que a lateral do copo. Assim, pode-se deduzir que o aumento da intensidade de deformação diminui a rugosidade superficial na conformação de copos. Como se espera um produto com menor rugosidade superficial, podemos afirmar que a conformação contribui para um produto de melhor qualidade neste quesito.

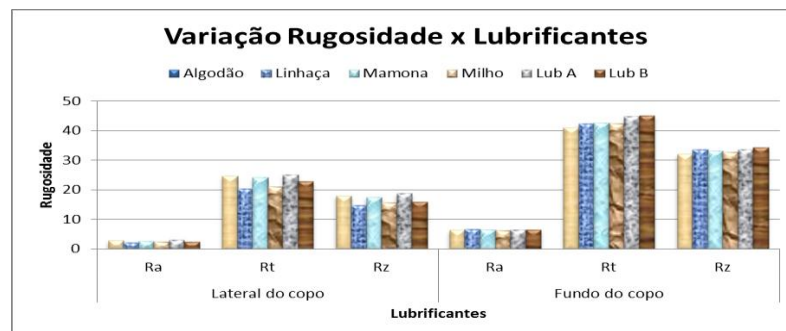


Figura 6. Variação da rugosidade em função dos lubrificantes.

A Análise da variância mostrou que os lubrificantes influenciam o resultado, bem como o diâmetro inicial do disco a embutir. Mas não existe interação entre as variáveis. Na Tabela 2, a variável A é o lubrificante e a variável B é o diâmetro inicial.

Tabela 2. Análise da Variância de Ra.

	GL	MS	Fcalc	Ftab	Decisão
SST	0,831	162			
SSA	0,232	2	0,116	36,997	3,058
SSB	0,126	5	0,025	8,081	2,277
SSAB	0,019	10	0,002	0,615	1,897
SSE	0,454	145	0,003		

Em que SST é a soma dos quadrados de todas as medidas; SSA é a soma do quadrado das somas das medidas dos lubrificantes; SSB é a soma do quadrado das somas das medidas dos diâmetros; SSAB é a soma do quadrado das interações entre A e B; SSE é a soma do quadrado dos erros experimentais; GL é o grau de liberdade de cada tratamento; MS é razão do tratamento analisado pelo seu grau de liberdade; Fcalc é o valor calculado para a variância de Fisher e Ftab é o valor tabelado para distribuição de Fisher para 5% de significância (95% de confiabilidade). Se Ftab maior do que Fcalc, implica que a variável não influencia no resultado obtido. E vice-versa.

Um teste de contrastes mostra que existe diferença entre todos os lubrificantes, exceto entre o milho e o Lub B. A

Figura 7 apresenta o resultado das médias da Rugosidade em função do Lubrificante. Como se pode ver, a menor média foi obtida com o Lubrificante óleo de linhaça. Sendo a rugosidade menor mais interessante para a qualidade final do produto. Em termos de rugosidade Ra, pode-se indicar o uso deste lubrificante.



Figura 7. Variação da rugosidade Ra em função dos lubrificantes.

As Figura 8, 9 e 10 apresentam um comparativo entre as medidas realizadas na lateral e no fundo dos copos. Para as medidas realizadas nas laterais, é possível verificar que, para as três situações medidas (Ra, Rt e Rz), o óleo de Linhaça apresentou menor rugosidade. A lateral do copo apresenta rugosidade consideravelmente menor do que no fundo. Isso ocorre devido a deformação plástica na lateral do copo, que é maior do que a deformação no fundo.



Figura 8. Comparativo entre a rugosidade Ra medida na lateral e no fundo.

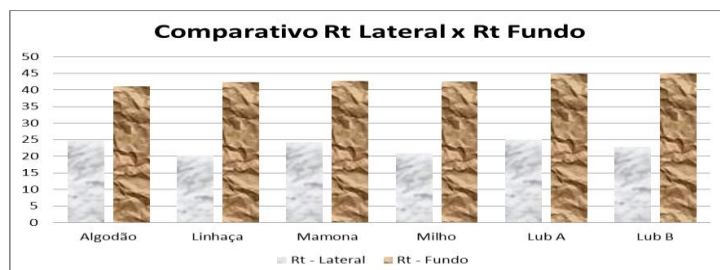


Figura 9. Comparativo entre a rugosidade Rt medida na lateral e no fundo.



Figura 10. Comparativo entre a rugosidade Rz medida na lateral e no fundo.

A rugosidade também foi avaliada em função do diâmetro de partida de fabricação do copo. A Figura 11 mostra a variação da Rugosidade obtida.

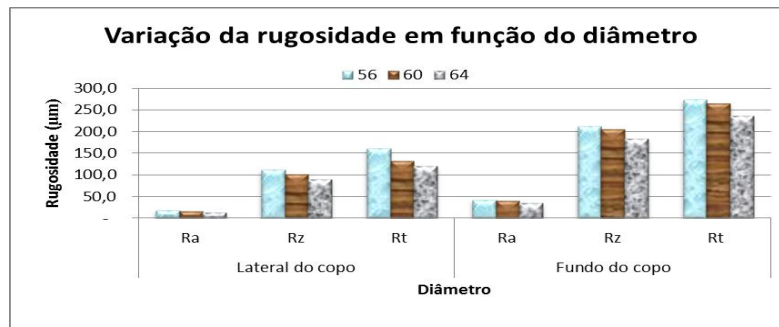


Figura 11. Variação da rugosidade em função do diâmetro do disco.

Conforme se verifica no gráfico, a Rugosidade no fundo do copo é superior à rugosidade na lateral do copo, para todos os tipos de medição. Como explicado anteriormente, o fundo do copo sofre menor quantidade de deformação que a lateral do copo. Isto também se observa em relação ao diâmetro a embutir. Como diâmetros maiores formam copos de altura maior, com o mesmo diâmetro interno, verifica-se que quanto maior a altura embutida, menor é a rugosidade medida, independente do tipo de medição.

Ao analisar a rugosidade no fundo dos copos, através da análise de variância, verificou-se que para as rugosidades Ra e Rt, houve influência apenas dos diâmetros. A Tabela 3, mostra que os diâmetros influenciaram na rugosidade máxima (Rz), assim como houve a interação entre os diâmetros e os lubrificantes.

Tabela 3. Rugosidade Rz no fundo do copo.

	GL	MS	Fcalc	Ftab	Decisão	
SST	40,588	162				
SSA	8,381	2	4,190	22,721	3,059	DIFERENTE
SSB	0,929	5	0,186	1,007	2,277	IGUAL
SSAB	4,537	10	0,454	2,460	1,897	DIFERENTE
SSE	26,742	145	0,184			

Dessa forma, foi realizado o contraste para verificar qual condição apresenta menor rugosidade, o que é benéfico ao processo.

Tabela 4. Contraste no fundo do copo para rugosidade Rz - SSA diâmetros.

CONTRASTE SSA - DIÂMETROS				
	MSC	Fcalc	Ftab	Decisão
56x60	0,3837	2,0807	3,9064	IGUAL
56x64	7,6108	41,267	3,9064	DIFERENTE
60x64	4,5766	24,815	3,9064	DIFERENTE

De acordo com os dados extraídos do contraste entre o diâmetro 56 e os lubrificantes, podemos verificar que a interação entre alguns lubrificantes influenciaram na rugosidade Rz, são eles: Algodão x Lub A e Milho x Lub A. O contraste entre o diâmetro de 60 e os lubrificantes, apresentou influência da interação entre os lubrificantes Linhaça x Milho e Linhaça x Lub A. Verificou-se ainda que, a interação entre os óleos Algodão x Milho, Algodão x Lub B e Linhaça x Lub B, apresentaram influência na rugosidade Rz medida no fundo do copo, como pode ser visto na Tabela 4. Contraste no fundo do copo para rugosidade Rz - SSA diâmetros..

De acordo com os contrastes apresentados, pode-se dizer estatisticamente que, os óleos de Linhaça e Algodão apresentaram os melhores resultados, quando comparados com todos os lubrificantes utilizados no estudo, pois resultou em menor rugosidade Rz. As Figura 8, 9 e 10 mostram que, para todos os tipos de rugosidade (Ra, Rz e Rt) medidos na lateral do copo, onde a deformação é maior, o óleo de Linhaça apresentou o melhor desempenho.

4.2. Espessura

A espessura foi medida para avaliar o comportamento do material para todos os lubrificantes utilizados no processo. A Figura 12 exemplifica como foram medidas as espessuras na lateral e na curva do copo. As medidas do fundo do copo foram desprezadas, pois não mostraram diferença significativa com a espessura da chapa inicial.

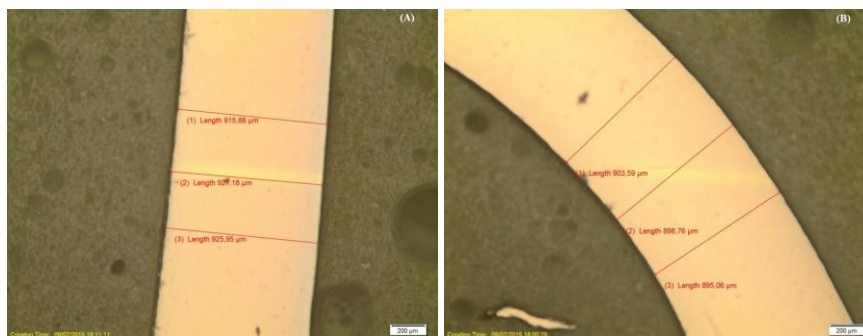


Figura 12. Imagem microscópica da medição da espessura na parede (A) e na curva do copo

Durante a estampagem, o efeito do prensa chapas impede a formação de rugas, controlando a deformação na entrada da matriz. Entretanto, uma força exagerada no prensa chapas impede o deslizamento do material e este então é estirado para o interior da matriz com o afinamento da espessura da parede do copo formado. Se o afinamento for muito acentuado, ocorre a estricção e a consequente ruptura da parede do copo. A região da curva no fundo do copo é a região mais crítica e mais propensa à ruptura. Uma lubrificação ineficiente também produz o mesmo efeito. A lubrificação ineficiente aumenta o atrito entre a chapa e o prensa chapas, podendo produzir o estiramento. Assim, a medida da espessura da parede do copo formado indica a qualidade da lubrificação obtida e, por extensão, a qualidade do lubrificante do material, levando-o a esticar-se.

A Análise da Variância mostrou que houve influência de todas as variáveis de influência e houve interação entre elas. As Figura 13 e 14 mostram a variação da espessura na curva e na lateral do copo em função dos lubrificantes. Em ambos podemos ver, de modo geral, que a espessura diminui à medida que o diâmetro de partida aumenta como já explicado anteriormente.

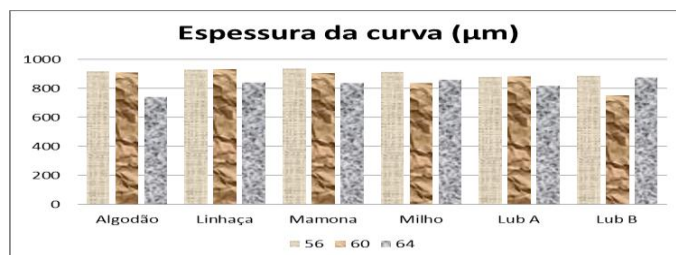


Figura 13. Comparativo da espessura curva entre os lubrificantes e os diâmetros.



Figura 14. Comparativo da espessura parede lateral entre os lubrificantes e os diâmetros.

A Figura 15 mostra o comportamento da espessura do copo na parede lateral e na curva, em função do lubrificante empregado. Como se verifica e era esperado, a espessura da parede do copo é maior do que na curva, onde a deformação é mais intensa.



Figura 15 - Comparativo da espessura entre os lubrificantes e as posições medidas.

Um teste de contraste entre os lubrificantes mostra que o lubrificante de milho é o mais eficiente, pois produziu as maiores espessuras. Os lubrificantes minerais produziram as menores espessuras. Desta forma, podemos afirmar que, em relação à espessura, os lubrificantes vegetais podem substituir os lubrificantes minerais com vantagem.

5. CONCLUSÕES

1. A qualidade superficial avaliada através da rugosidade da parede lateral e do fundo da peça mostrou-se influenciadas pela aplicação dos diferentes óleos e pela profundidade do embutimento. De forma geral, pode-se concluir que o aumento da quantidade de deformação reduz a rugosidade superficial do produto, nos três tipos de medição.
2. Estatisticamente, podemos dizer que os óleos de Linhaça e Algodão apresentaram melhores resultados quando comparados com todos os lubrificantes utilizados no estudo, resultando em uma menor rugosidade Rz. Para todos os tipos de rugosidade medida na lateral do copo, onde a deformação é maior, o óleo de Linhaça apresentou o melhor desempenho.
3. Em relação à espessura, o fundo do copo mantém a espessura da chapa inicial. A região de curvatura do fundo do copo apresenta espessura menor que a região lateral do copo, e ambas menores do que a espessura da chapa inicial. A redução de espessura está associada à capacidade de redução de atrito do lubrificante, reduzindo as forças de conformação e, em consequência, o estiramento da chapa durante o processo.
4. A redução de espessura também está associada à quantidade de deformação exigida na fabricação do copo. Diâmetro de partida menor produziu, de modo geral, uma redução menor da espessura do corpo. Para a espessura, podemos verificar que o lubrificante de milho é o mais eficiente, por produzir espessuras maiores. Os lubrificantes minerais produziram as menores espessuras.

Desta forma, de acordo com a proposta deste estudo e considerando todas as variáveis de resposta estudadas, concluímos que os óleos de linhaça, algodão e milho responderam positivamente, sendo, portanto adequados para substituir os óleos minerais estudados, em alguns casos com vantagem.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à UFSJ pelo apoio para realização deste trabalho. Agradecemos a FAPEMIG e a CAPES/CNPQ pelo apoio financeiro para realização da pesquisa.

7. REFERÊNCIAS

- Alves, G. G. Recristalização do aço ARBL microligado ao nióbio CSN 2336. 148 p. Dissertação de Mestrado (Engenharia de Materiais), Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo – SP, 2009.
- American Society for Testing and Materials – ASTM E8M.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO 4287:2002; Especificação Geométrica do Produto (GPS) – Rugosidade: Método do Perfil – Termos, definições e cps da rugosidade. Rio de Janeiro: ABNT. 2002.
- Caldin, R. Estudo da Conformabilidade na Hidroconformação de Recortes de Chapas de Aço Soldadas a Laser. 121p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 2006.
- Chiaverini, V. Aços e Ferros Fundidos. 4ed. Associação Brasileira de Metais, São Paulo, 1983.
- Dieter, G. E. Metalurgia Mecânica. 4ed. Rio de Janeiro - Guanabara Dois, 1996.
- Gorni, A. A. Aços Avançados de Alta Resistência: Microestrutura e Propriedades Mecânicas. 5º Congresso de Corte e Conformação de Metais, Aranda Eventos, São Paulo, 2009.
- Machado, A. Avaliação da Rugosidade em Superfícies Complexas. 106 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. Instituto Superior Tupy. Joinville, 2009.
- MARCONDES, P. Ensaios de estampabilidade. Disponível em: <<http://www.siedro.com/Conformacao/Aula%2010%20-%20Ensaio%20de%20Estampabilidade.pdf>> Acesso em: 15/06/2013.
- Santos, C. H; Estudo do alívio das tensões residuais, em peça estampada, pela técnica de vibrações mecânicas. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. Universidade Estadual Paulista – SP, 2011.
- Tayer, S. S. Estudo da Influência do Lubrificante na Estampagem de Aço Eletro galvanizado. 132 p. Dissertação de Mestrado (Engenharia Mecânica), Universidade Federal de São João del Rei – MG, 2011.
- Tigrinho, L. M. V. Influência da lubrificação na estampagem via análise das deformações obtidas em uma chapa de aço de alta estampabilidade. 112 p. Dissertação de Mestrado (Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Paraná – Curitiba, 2005.
- Willing, A. Lubricants based on renewable resources – an environmentally compatible alternative to mineral oil products. Chemosphere. v.43, p.89-98. Abril, 2001.

8. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

LUBRICANT INFLUENCE ON STAMPING A HSLA STEEL

Sarita Hauck Menezes Pinto, saritahauck@hotmail.com¹

Frederico Ozanan Neves, fred@ufsj.edu.br¹

Valéria Glória de Lima, limag.valeria@bol.com.br¹

Alex Sander Chaves da Silva, achaves@ufsj.edu.br¹

Rafael de Brites, rafaeldebrites@gmail.com¹

Adriana Caldas Carvalho, adrianaccarvalho@gmail.com¹

Márcia Cristina Belício Alves Souza, marciabelicio@hotmail.com¹

Guilherme Germano Braga, guilhermegbraga@gmail.com¹

¹Universidade Federal de São João del-Rei, Praça Frei Orlando, 170 – CEP: 36.307-352 – São João del-Rei – MG.

Stamping is a process widely used in industry, especially in the automotive industry. To obtain stamped products with good surface qualities, free of defects and superior mechanical strength, the presence of fluid lubricant is essential to reduce friction and improve plastic flow. However, lubricants of mineral oils are very nocive to nature and man's health. This work investigates the influence of lubricants on stamping of a high strength and low alloy steel (HSLA), comparing the performance of mineral oils to vegetable oils to verify the possibility of replacing those by these. Six lubricants were tested, of which four are vegetable oils (corn, linseed, castor bean and cotton) and two are mineral oils of high performance in industry (called in this work by Lub A and Lub B). The response variables were the surface roughness (Ra, Rz and Rt) and the wall thickness of the product. The product is a cup produced by a Swift cup drawing test, from HSLA steel sheet with thickness of 1 mm. The experiment was conducted by a factorial design randomised by levels and the results were analyzed by an Analysis of Variance. The results obtained indicate it is possible to substitute the mineral oils by vegetable oils, in some cases with advantage.

Keywords: Deep drawing. HSLA. Lubricants. Thickness. Roughness.