

ANÁLISE EXPERIMENTAL DA INFLUÊNCIA DO PROCESSO PRODUTIVO NA FORMAÇÃO DE TENSÕES RESIDUAIS DE UMA PEÇA ESTAMPADA

Guilherme Germano Braga, guilhermebraga@ufsj.edu.br¹

Rafael de Brites Nascimento, rafaeldebrites@gmail.com¹

Fábio Assunção Rosa, fabiorosa@ufsj.edu.br¹

Frederico Ozanan Neves, fred@ufsj.edu.br¹

Márcio Eduardo Silveira, msilveira@ufsj.edu.br¹

¹UFSJ, Universidade Federal de São João Del Rei, DEMEC Campus Santo Antônio(CSA), Praça Frei Orlando, 170 Centro CEP: 36.307-352 São João del Rei - MG

Resumo: A estampagem é um processo de fabricação com larga aplicação industrial, inclusive no setor automobilístico. Vários parâmetros deste processo podem influenciar o desempenho de peças estampadas, no que diz respeito à confiabilidade de peças expostas a tensões cíclicas e à natureza das tensões residuais, o que pode trazer benefícios ou malefícios. Neste trabalho é analisada a influência que o tipo de material e lubrificante utilizados no processo tem sob a formação de tensões residuais. Para realizar essa análise foram feitos testes experimentais. As variáveis escolhidas para análise são: os materiais aço SAE 1010 e SAE 1020 (aços de baixo teor de carbono - até 0,25% de carbono) e alumínio comercial série 1000 (liga 1200 H14). Já os lubrificantes selecionados foram o Renoform MZA 20 (de base mineral) e óleos de milho, linhaça e mamona (de base vegetal). A geometria do corpo de prova foi definida de forma que este seja réplica de uma peça utilizada em produto com demanda de alta confiabilidade. Esta peça trabalha sob tensões cíclicas quando em uso e tem apresentado falha por fadiga. Os corpos de prova foram conformados por processo similar à operação de estampagem na indústria envolvendo dobramento e repuxo. Os materiais foram adquiridos em forma de chapas com espessura de dois milímetros e área suficiente para reproduzir todas as condições definidas para o experimento e suas respectivas réplicas. O material foi estampado e preparado para a análise. Para avaliar as tensões residuais, foi utilizada a técnica de indentação com o microdurômetro Vickers (Mitutoyo MVK - G1). A comparação entre resultados advindos dos diferentes níveis de lubrificantes/materiais utilizados na estampagem foi realizada através de uma Análise da Variância (ANOVA), considerando o planejamento experimental aleatorizado por níveis. Através dos resultados obtidos e da análise feita foi possível concluir que a variação do lubrificante usado no processo não gera alteração significativa na formação das tensões residuais. Já o material apresenta alteração significativa, ao passo que o aço SAE 1010 apresentou o maior nível de tensão residual após a estampagem.

Palavras-chave: estampagem, tensões residuais, lubrificação, material metálico

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de peças automotivas tem sofrido melhorias com o intuito de se tornarem mais leves e resistentes, visando reduzir o impacto ambiental e melhorar o desempenho (HAZRA *et al*, 2011). Um dos recursos utilizados para redução de peso é a substituição de materiais, porém o desempenho das peças/produtos também depende do processo de fabricação (conformação metal/mecânica, por exemplo).

As tensões residuais (TRs) são inevitáveis em quase todos os processos de manufatura e também podem surgir durante o uso de produtos. Estas vão ocorrer em quaisquer circunstâncias que levem à tração ou compressão de um corpo em que a tensão limite de escoamento for ultrapassada (JAMES, 2011).

Ainda de acordo com James (2011), evoluções nos métodos de medição de tensões residuais, trazem a oportunidade para entender as causas de tensões residuais e interpretar seus efeitos no desempenho da engenharia mecânica de uma forma muito mais abrangente.

As referidas tensões levam a uma série de efeitos, podendo gerar benefícios ou não, dependendo da aplicação do componente e da intensidade das tensões. O conhecimento da natureza destas é de extrema importância para garantir a qualidade e confiabilidade destes produtos, que muitas vezes trabalham submetidos a carregamentos cíclicos e podem falhar prematuramente (MELO, 2014).

Em face disso, uma abordagem é reduzi-las ao máximo, através da determinação de parâmetros ótimos de operação, porém encontrar tais parâmetros não é fácil, já que a operação de conformação sofre a influência de muitas variáveis como: geometria das ferramentas, velocidades do processo, materiais, lubrificação e refrigeração, entre outros.

Os óleos lubrificantes possuem duas origens, a biológica e a não biológica. Estes são utilizados entre duas superfícies na conformação, com o objetivo de diminuir os esforços e desgastes provenientes do movimento relativo entre elas.

Alguns fatores ecológicos têm ganhado importância em nossa sociedade, e vale ressaltar que o petróleo é a base para a maioria dos óleos não naturais. Diante dessa perspectiva é justificada a utilização crescente de óleos de origem vegetal. Syahrullail (2011) avaliou as propriedades do óleo de palma na extrusão direta a frio e constatou que ele possui potencial para ser utilizado como lubrificante vegetal.

Os lubrificantes vegetais possuem uma série de propriedades necessárias a um lubrificante, tais como alto índice de viscosidade, alta lubrificidade, baixa volatilidade e algumas vantagens em comparação com o mineral, como não ser nocivo ao homem e ser altamente biodegradável (WAN NIK *et al.*, 2005).

Outra variável do processo de conformação que tem sido estudada é o tipo de material e sua influência na formação das tensões residuais. Echeverri (2012) fez análise numérica e experimental com três diferentes ligas de aço para verificar o comportamento destes materiais, quanto à formação de tensões residuais, quando submetidos a processo de têmpera.

Nanu (2011) realizou uma investigação experimental sobre a influência do material sobre a interação entre as tensões residuais e recuperação elástica em processo de estampagem de chapas finas de liga de alumínio e liga de aço.

A indústria automobilística introduzia no passado três novos modelos de automóveis a cada dez anos. É notável que esse tempo para a introdução de novos modelos tem reduzido a cada dia. Essa redução do tempo de desenvolvimento, junto à tendência de redução de peso, leva a uma reconstrução da forma convencional dos procedimentos de projeto e fabricação de carros (TEKKAYA, 2000).

Este trabalho visou investigar a influência do tipo de material e dos lubrificantes na formação de tensões residuais, durante o processo de estampagem. O intuito foi avaliar o tipo de lubrificante e de material adequados para o processo de estampagem de peças que demandam maior confiabilidade em serviço, sem causar grande incremento no custo do processo produtivo e inviabilidade operacional.

2. METODOLOGIA

As variáveis escolhidas para análise neste trabalho são: o material a ser estampado e lubrificante utilizado no processo. Sendo os materiais aço SAE 1010 e SAE 1020 (aços de baixo teor de carbono - até 0,25% de carbono) e alumínio comercial série 1000 (liga 1200 H14). Já os lubrificantes foram selecionados com base nos trabalhos desenvolvidos por Tayer (2011), Menezes (2015) e Oliveira (2015), sendo estes: Renoform MZA 20 (de base mineral) e óleos de milho, linhaça e mamona (de base vegetal).

A geometria do corpo de prova foi definida de forma que este fosse uma réplica de peça utilizada em produto com demanda de alta confiabilidade. Esta peça tomada como referência trabalha sob tensões cíclicas, quando em funcionamento, e tem apresentado falha por fadiga. A Figura 1 apresenta a peça escolhida para este trabalho e destaca a região de avaliação das tensões residuais, correspondente a região de falha do produto.

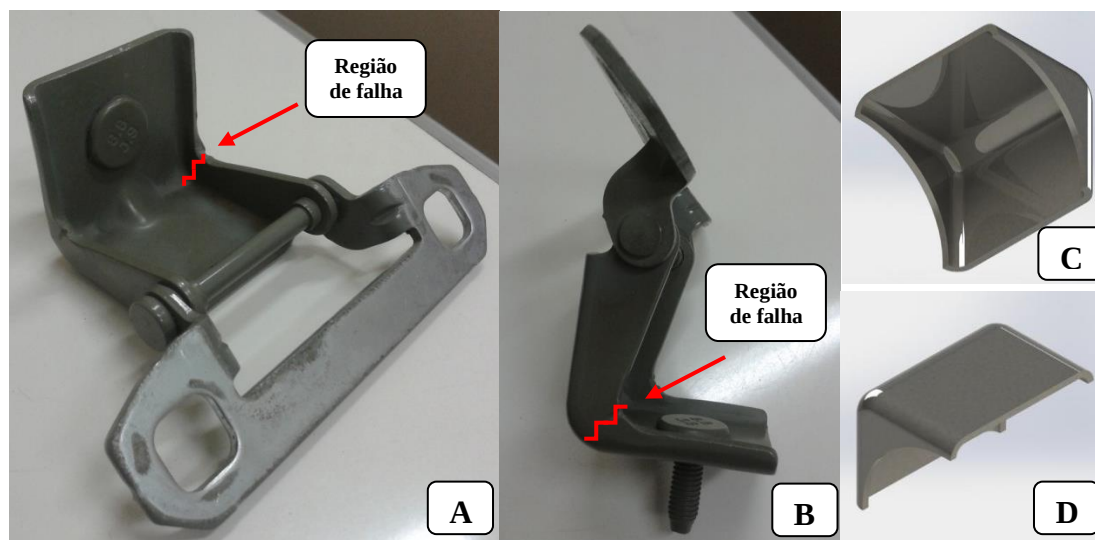


Figura 1. Dobradiça de porta automotiva (A e B), Corpo de prova definido (C e D).

Com auxílio de software de desenho e de simulação numérica foram projetados a matriz, punção e dispositivo de alinhamento para execução de ensaios, além de definir o *blank* para estampagem da peça. Apresentados na Figura 2.

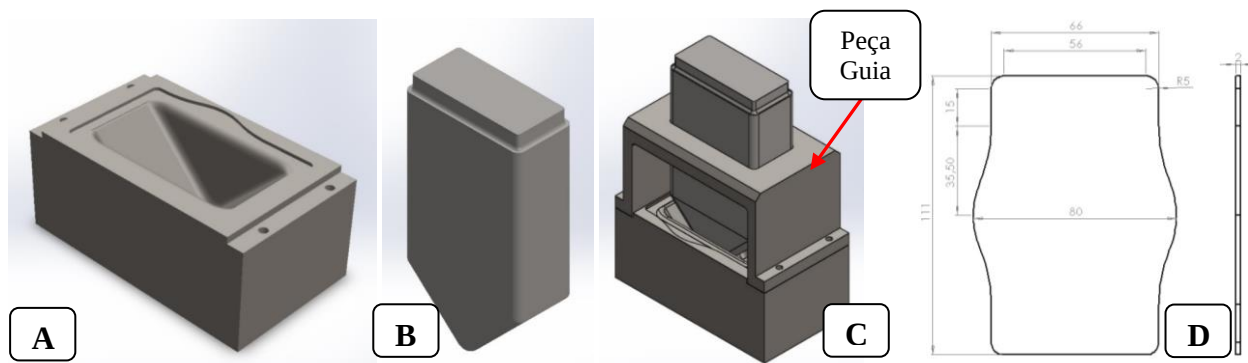


Figura 2. Ferramentas de estampagem. Matriz (A), punção (B), montagem com peça guia (C), *blank* (D).

2.1. Estampagem das Peças

As peças foram estampadas em uma prensa hidráulica com capacidade de 40 toneladas. Devido à simplicidade da prensa hidráulica, que possui apenas um controle quanto ao deslocamento do curso, todo o ferramental foi dimensionado de forma a utilizar o fim de curso do equipamento. Em todos os ensaios, o punção teve um deslocamento de aproximadamente 48 milímetros para executar a estampagem.

2.2. Planejamento do Experimento

Os ensaios físicos foram realizados através de um planejamento Fatorial Aleatorizado por níveis. Este tipo de planejamento tem como objetivo avaliar os efeitos das variáveis de influência selecionadas e estimá-las, através do teste de hipóteses apropriado.

O experimento foi realizado de acordo com a sequência apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Planejamento experimental do trabalho

Planejamento experimental								
Teste	Material	Lubrificante	Teste	Material	Lubrificante	Teste	Material	Lubrificante
1	Al 1200 H14	MZA 20	13	Aço ABNT 1010	MZA 20	25	Aço ABNT 1020	MZA 20
2	Al 1200 H14	Algodão	14	Aço ABNT 1010	Algodão	26	Aço ABNT 1020	Algodão
3	Al 1200 H14	Algodão	15	Aço ABNT 1010	Algodão	27	Aço ABNT 1020	Algodão
4	Al 1200 H14	Linhaça	16	Aço ABNT 1010	Linhaça	28	Aço ABNT 1020	Linhaça
5	Al 1200 H14	MZA 20	17	Aço ABNT 1010	MZA 20	29	Aço ABNT 1020	MZA 20
6	Al 1200 H14	Linhaça	18	Aço ABNT 1010	Linhaça	30	Aço ABNT 1020	Linhaça
7	Al 1200 H14	Mamona	19	Aço ABNT 1010	Mamona	31	Aço ABNT 1020	Mamona
8	Al 1200 H14	Algodão	20	Aço ABNT 1010	Algodão	32	Aço ABNT 1020	Algodão
9	Al 1200 H14	Mamona	21	Aço ABNT 1010	Mamona	33	Aço ABNT 1020	Mamona
10	Al 1200 H14	Mamona	22	Aço ABNT 1010	Mamona	34	Aço ABNT 1020	Mamona
11	Al 1200 H14	MZA 20	23	Aço ABNT 1010	MZA 20	35	Aço ABNT 1020	MZA 20
12	Al 1200 H14	Linhaça	24	Aço ABNT 1010	Linhaça	36	Aço ABNT 1020	Linhaça

Para esse teste, assume-se que os erros do modelo utilizado são normalmente e independentemente distribuídos com média zero e variância igual para todos os tratamentos (MELO, 2014).

2.3. Procedimento Experimental

O experimento foi realizado na sequência abaixo:

- Preparação das ferramentas (Matriz e punção), dispositivo de interface (peça guia) e *Blanks*;

- Definição do deslocamento do punção (replicado para todas as condições e réplicas);
- Lubrificação das ferramentas e *blanks* com o Renoform MZA20;
- Estampagem da peça, retirada do dispositivo e identificação da amostra;
- Remoção do lubrificante das ferramentas com acetona;
- Repetição dos passos anteriores utilizando os lubrificantes a base vegetal (algodão, mamona e linhaça) e devidas réplicas para análise estatísticas;
- Corte das amostras em tamanho adequado para o embutimento;
- Embutimento das amostras cortadas em massa plástica;
- Preparação das amostras embutidas para ensaio de microdureza Vickers (lixamento e polimento);
- Realização dos ensaios de microdureza Vickers e anotação dos resultados para todas as amostras;

A comparação entre resultados advindos dos diferentes níveis de lubrificantes/materiais utilizados na estampagem foi realizada através de uma Análise da Variância (ANOVA), considerando o planejamento experimental aleatorizado por níveis apresentado na Tabela 1.

2.4. Preparação das Amostras

Uma amostra do material foi cortada de cada peça estampada em tamanho adequado para realizar as indentações. Mostrado na Figura 3.



Figura 3. Região da peça destacada para análise.

Para cortar as amostras, foi usada uma máquina de corte com aplicação de óleo refrigerante, com o intuito de evitar que o corte gerasse calor na peça, garantindo assim que o processo não alterasse as TRs geradas na estampagem.

Na sequência, as amostras foram embutidas em tubos de PVC de 1" de diâmetro com comprimento de 20mm (o embutimento foi em massa plástica, pois a mesma não necessita de aquecimento), por fim, estas foram lixadas com lixas de granulometria 100, 240, 320, 400, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1500 e 2000. Em seguida, o material foi polido com alumina cinco microns.

Pode-se observar na Figura 4, que dois pontos foram marcados antes da realização dos cortes. Estes pontos serviram como referência do eixo central da peça, para fazer a medição de dureza na mesma região em todas as réplicas e para possibilitar a comparação com a simulação numérica nos mesmos pontos.

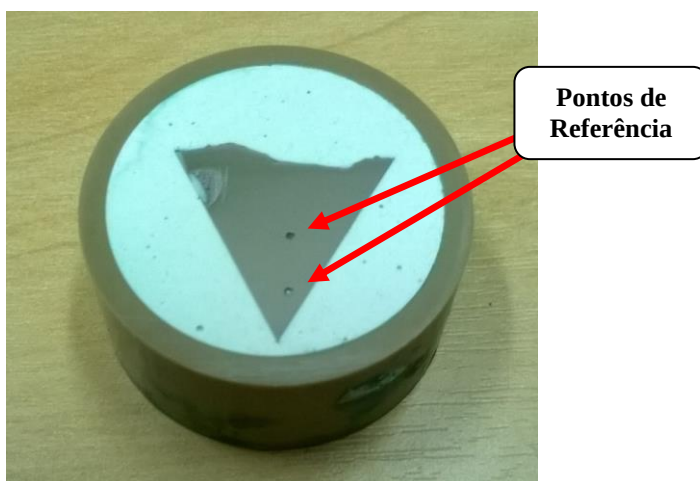


Figura 4. Amostra da região de análise da peça embutida.

Os testes de dureza foram feitos no microdurômetro alocado no laboratório de caracterização de materiais da UFSJ. Para o posicionamento da peça na máquina, inicialmente foi alinhada a peça na base, usando os pontos de referência para padronizar os pontos de indentação. Mostrado na Figura 5.

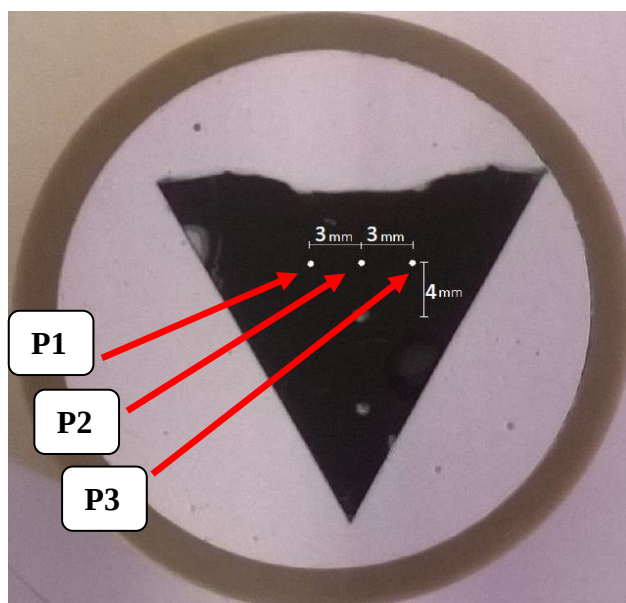


Figura 5. Pontos onde foram realizadas as indentações.

Depois de alinhada com o ponto de referência superior, as amostras foram movimentadas com o ajuste da base do microdurômetro por quatro milímetros para cima e três milímetros para cada um dos lados, fazendo três indentações (pontos: P1, P2 e P3) em cada amostra.

2.5. Ensaio de Microdureza

As amostras das peças estampadas foram submetidas ao ensaio de microdureza Vickers, conforme a norma ABNT NBR 6672. Este consiste na penetração de um pequeno indutor de diamante de geometria piramidal na superfície do material a ser ensaiado, no qual, ao final do ensaio, o penetrador é retirado.

A impressão deixada pelo penetrador é medida e a mesma é convertida em índices de dureza. Neste ensaio foi utilizado o equipamento Microdurômetro MVK - G1 Mitutoyo (Microdureza Vickers - Laboratório de Microscopia da UFSJ). Este foi ajustado com a carga de 500 gramas, tempo de 20 segundos e a lente com (x55).

3. RESULTADOS E ANÁLISES

Os ensaios foram realizados de acordo com o planejamento do experimento apresentado na Tabela 1. Na Figura 6 são mostradas uma amostra estampada das peças em alumínio (1-12), uma em aço ABNT 1010 (13-24) e uma em aço ABNT 1020 (25-36).



Figura 6. Amostras das peças estampadas. Alumínio (1), aço ABNT 1010 (13), aço ABNT 1010 (25).

3.1. Teste de dureza

Os resultados dos testes de dureza nos materiais como recebidos são apresentados na Tabela 2 abaixo. Foram escolhidos três pontos arbitrários em tais amostras, por não haver uma relação geométrica com as peças estampadas.

Tabela 2. Resultados de dureza nos materiais como recebidos (em HV).

Material	HV Ponto 1	HV Ponto 2	HV Ponto 3
Aço 1010	104,0	113,0	113,0
Aço 1020	119,0	125,0	112,0
Alumínio	42,3	40,8	42,0

A Tabela 3 apresenta os resultados de dureza para todas as condições do experimento, nos três pontos citados no Tópico 2.4 e demonstrados na Figura 4.

Tabela 3. Resultados de dureza nas amostras após processo de estampagem (em HV).

Código	Lubrificante	Material	HV Ponto 1	HV Ponto 2	HV Ponto 3
T13 L1 M1	MZA 20	Aço 1010	188,0	152,0	145,0
T25 L1 M2	MZA 20	Aço 1020	150,0	147,0	150,0
T1 L1 M3	MZA 20	Alumínio	43,5	41,4	41,9
T14 L2 M1	Algodão	Aço 1010	188,0	190,0	173,0
T26 L2 M2	Algodão	Aço 1020	176,0	130,0	155,0
T2 L2 M3	Algodão	Alumínio	47,3	39,3	40,2
T19 L3 M1	Mamona	Aço 1010	167,0	144,0	159,0
T31 L3 M2	Mamona	Aço 1020	142,0	154,0	172,0
T7 L3 M3	Mamona	Alumínio	48,6	41,1	44,8
T16 L4 M1	Linhaça	Aço 1010	178,0	156,0	168,0
T28 L4 M2	Linhaça	Aço 1020	152,0	175,0	159,0
T4 L4 M3	Linhaça	Alumínio	43,1	41,5	40,3
T17 L1 M1	MZA 20	Aço 1010	188,0	159,0	158,0
T29 L1 M2	MZA 20	Aço 1020	177,0	176,0	150,0
T5 L1 M3	MZA 20	Alumínio	46,7	47,2	42,7
T15 L2 M1	Algodão	Aço 1010	169,0	129,0	173,0
T27 L2 M2	Algodão	Aço 1020	192,0	177,0	183,0
T3 L2 M3	Algodão	Alumínio	43,7	39,3	42,8
T21 L3 M1	Mamona	Aço 1010	158,0	160,0	164,0
T33 L3 M2	Mamona	Aço 1020	176,0	154,0	160,0
T9 L3 M3	Mamona	Alumínio	40,3	40,6	48,0
T18 L4 M1	Linhaça	Aço 1010	152,0	176,0	172,0
T30 L4 M2	Linhaça	Aço 1020	165,0	150,0	162,0
T6 L4 M3	Linhaça	Alumínio	47,2	40,8	42,8
T23 L1 M1	MZA 20	Aço 1010	201,0	190,0	194,0
T35 L1 M2	MZA 20	Aço 1020	170,0	184,0	182,0
T11 L1 M3	MZA 20	Alumínio	45,4	43,5	43,1
T20 L2 M1	Algodão	Aço 1010	175,0	167,0	174,0
T32 L2 M2	Algodão	Aço 1020	179,0	154,0	159,0
T8 L2 M3	Algodão	Alumínio	42,1	42,9	45,7

Código	Lubrificante	Material	HV Ponto 1	HV Ponto 2	HV Ponto 3
T22 L3 M1	Mamona	Aço 1010	164,0	139,0	175,0
T34 L3 M2	Mamona	Aço 1020	180,0	181,0	180,0
T10 L3 M3	Mamona	Alumínio	39,7	40,3	46,4
T24 L4 M1	Linhaça	Aço 1010	190,0	185,0	191,0
T36 L4 M2	Linhaça	Aço 1020	171,0	160,0	159,0
T12 L4 M3	Linhaça	Alumínio	44,9	42,8	48,7

Foram realizados testes de normalidade para validar os resultados estatísticos apresentados. Os resultados de tais testes são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Testes de normalidade.

Testes de Normalidade		
Testes	Estatísticas	P-valores
Anderson - Darling	0,414	0,319
Kolmogorov - Smirnov	0,125	0,164
Shapiro - Wilk	0,968	0,371
Ryan - Joiner	0,986	0,399

Os resultados dos P valores apresentados na Tabela 4 são superiores a 0,05. Indicando assim, que os resultados de dureza dos ensaios possuem comportamento normal.

Também foi realizada a análise de variância dos resultados de dureza apresentados na Tabela 3 para verificar se existe influência, do tipo de material e dos óleos lubrificantes utilizados na estampagem, quanto ao resultado de dureza.

A variável de influência A é relativa ao ponto de medição (P1, P2 e P3). A variável B é relativa ao tipo de material estampado (Aço 1010, 1020 e Alumínio 1200 H14). Já a variável de influência C é referente ao óleo lubrificante utilizado no processo (MZA20, Algodão, Linhaça e Mamona). Os resultados da análise de variância são apresentados na Tabela 5 abaixo.

Tabela 5. Análise de variância (ANOVA).

	SS	GL	MSS	Fc	Ftab	
TOTAL	384174,257	107				
A	164,356	2	82,178	0,003	3,124	NÃO INFLUENCIA
B	365970,248	2	182985,124	7,114	3,124	INFLUENCIA
C	418,281	3	139,427	0,005	2,732	NÃO INFLUENCIA
AB	-2049637,218	4	-512409,305	-19,921	2,499	NÃO INFLUENCIA
AC	-1677438,873	6	-279573,146	-10,869	2,227	NÃO INFLUENCIA
BC	-2038725,178	6	-339787,530	-13,210	2,227	NÃO INFLUENCIA
ABC	3931410,248	12	327617,520	12,737	1,889	INFLUENCIA

Pelo resultado apresentado na Tabela 5, verifica-se que, estatisticamente, a variação do ponto de medição e o tipo de óleo lubrificante não possuem influência no resultado de microdureza. Somente o material apresentou influência nos resultados.

Como o tipo de lubrificante não influenciou o resultado de microdureza, podemos afirmar que qualquer um dos óleos testados pode ser utilizado no processo de estampagem da peça avaliada, sem prejuízo da resistência da peça na região avaliada, quando se considera a presença de tensões residuais. Pode-se, assim, considerar-se outros critérios de seleção de lubrificantes para este processo, como o custo ou a redução do impacto ambiental.

Um teste de contraste foi realizado para avaliar se existe diferença significativa entre os lubrificantes avaliados. Os resultados estão apontados na Tabela 6.

Percebe-se pela análise de contraste que a diferença entre os aços ABNT 1010 e 1020 quanto ao resultado de dureza não é estatisticamente significativa. A diferença é significativa quando são comparados os aços com o alumínio. Esse resultado é esperado devido à natureza do comportamento mecânico de tais materiais.

Tabela 6. Análise estatística - Contraste.

Contraste				
1010x1020	4140,500	0,161	3,974	IGUAL
1010xALUM	1028512,627	39,985	3,974	DIFERENTE
1020xALUM	1163168,361	45,220	3,974	DIFERENTE

Os resultados apresentados indicam que não há diferença significativa na medida de microdureza entre os pontos de medição P1, P2 e P3. Da mesma forma, não se verificou diferença entre os lubrificantes. Isto pode ser visualmente percebido na Figura 7, onde a influência do tipo de material nos resultados fica mais clara. Sendo os maiores resultados apresentados para os aços ABNT 1020 e 1010, que são iguais entre si.

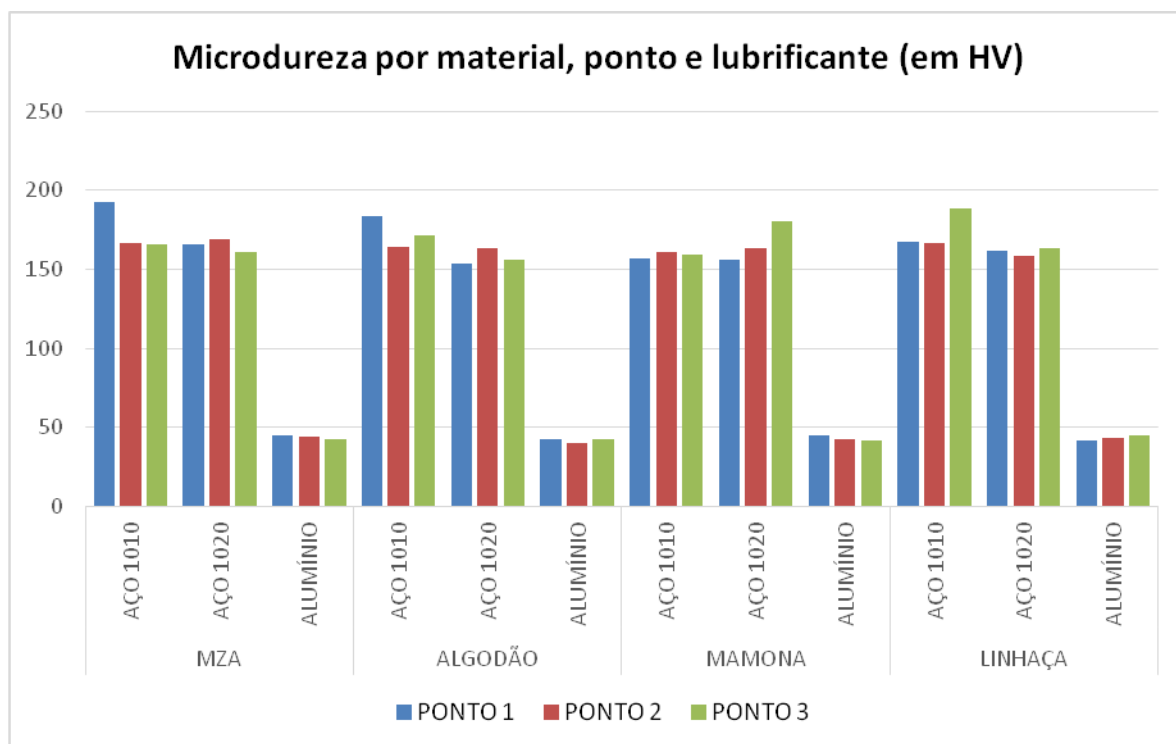


Figura 7. Microdureza por material, ponto e lubrificante (em HV).

A Tabela 7 e Figura 8 mostram uma comparação entre os resultados de microdureza nos materiais como recebidos e nas peças estampadas.

Os resultados indicam que o processo de estampagem das peças gerou um incremento na microdureza dos materiais. O incremento de microdureza gerado representa uma formação de tensões residuais com natureza compressiva. Entre os três materiais, o aço ABNT 1010 foi aquele que sofreu maior incremento de tensões residuais.

Tabela 7. Comparação entre resultados (HV) após estampagem e como recebidos.

	Aço 1020	Aço 1010	AL 1200 H14
Após Estampagem	165,1	169,8	43,4
Como Recebidos	118,7	110,0	41,7

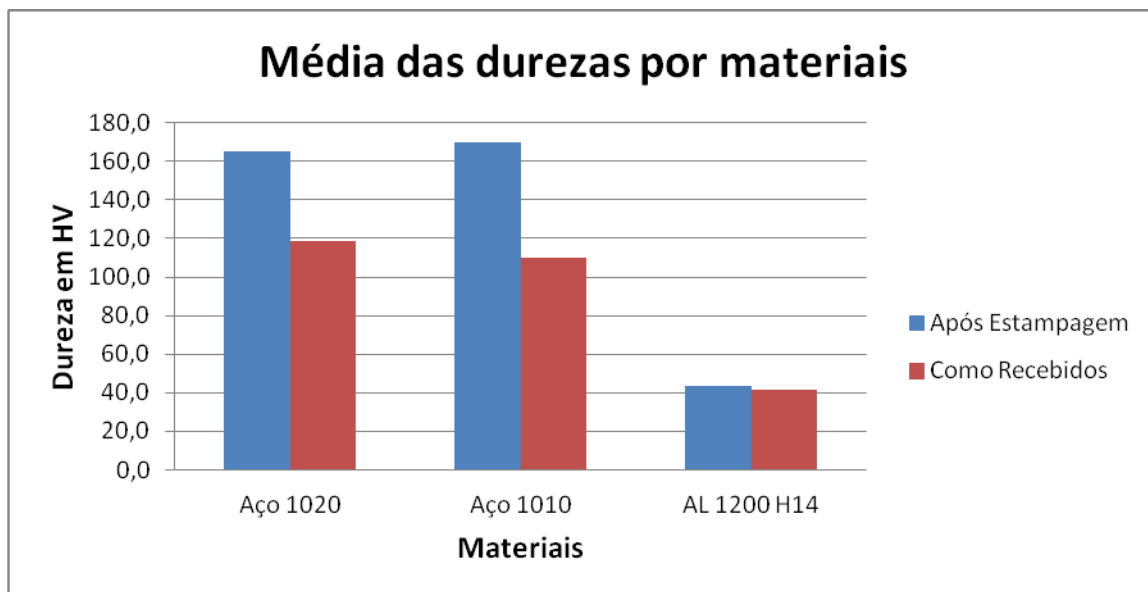


Figura 8: Comparação entre resultados (HV) após estampagem e como recebidos.

4. CONCLUSÕES

- Considerando que as peças analisadas nesta pesquisa são utilizadas em produtos que sofrem aplicação de tensões cíclicas, e que tensões residuais compressivas são benéficas para retardar falhas devido a esse tipo de solicitação, o material que apresenta melhores resultados quanto à formação de tensões residuais é o aço ABNT 1010.

- Na região da peça estudada foi verificada a introdução de tensões residuais compressivas. Entretanto, não houve diferença significativa ao longo desta mesma região, avaliada através dos pontos P1, P2 e P3. Entre os três materiais, o aço ABNT 1010 foi aquele que sofreu maior incremento de tensões residuais.

- Como já se esperava, o comportamento mecânico do material mostrou-se influente na geração de tensões residuais. Pela análise de contraste verifica-se que não há diferença significativa entre os aços ABNT 1010 e 1020, quanto ao resultado de dureza. Contudo, a diferença é significativa quando se compara os aços com o alumínio.

- Os resultados indicam que o tipo de óleo lubrificante não teve influência nos resultados de microdureza. Assim, conclui-se que é possível utilizar os lubrificantes vegetais estudados em substituição ao lubrificante mineral. Além disso, é possível ainda optar entre os lubrificantes de menor custo de aquisição, de descarte ou de impacto ambiental.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPEMIG pelo apoio financeiro para o desenvolvimento deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- Echeverri E.A.A., Análise numérica e experimental das tensões residuais geradas durante o processo de têmpera de cilindros de aço AISI 1045, 4140 e 4340, São Paulo. Dissertação de mestrado, USP, 2012.
- Hazra, S., Williams, D., Roy, R., Aylmore, R., Smith, A., "Effect of material and process variability on the formability of aluminium alloys". Journal of Materials Processing Technology 211 p. 1516 - 1526. 2011.
- James, M.N., "Residual stress influences on structural reliability". Engineering Failure Analysis 18 p. 1909–1920. 2011.
- Melo, A. P. B; Avaliação de tensões residuais na operação de cunhagem em um componente automotivo estampado. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de São João del-Rei. 2014.
- Meneses S.H., Influência do lubrificante na estampagem de um aço ARBL. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São João del Rei, 2015.
- Nanu, N., Brabie, G., Influence of material properties on the interaction between residual stress and springback in the case of in plane sheets forming. Archives of civil and mechanical engineering, University of Bacau, Romania, 2011.
- Oliveira T.L.L., Estudo do escoamento plástico de compósitos metálicos na extrusão direta a frio. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São João del Rei, 2015.
- Syahrullail, S. et al. Experimental evaluation of palm oil as lubricant in cold forward extrusion process. International Journal of Mechanical Sciences, v. 53, n. 7, p. 549-555, 2011.
- Tayer, S. S., Estudo da Influência do Lubrificante na Estampagem de Aço Eletro galvanizado. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São João del Rei, 2011.

- Tekkaya, A.E., State-of-the-art of simulation of sheet metal forming. Journal of Materials Processing Technology 103. 2000.
- Wan nik, W.B. et al. Rheology of bio-edible oils according to several rheology models and its potential as hydraulic fluid. Industrial Crops and Products, v. 22, n. 3, p.249-255, 2005.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE PRODUCTION PROCESS INFLUENCE ON RESIDUAL STRESS FORMATION IN A STAMPED PART

Guilherme Germano Braga, guilhermebraga@ufsj.edu.br¹

Rafael de Brites Nascimento, rafaeldebrites@gmail.com¹

Fábio Assunção Rosa, fabiorosa@ufsj.edu.br¹

Frederico Ozanan Neves, fred@ufsj.edu.br¹

Márcio Eduardo Silveira, msilveira@ufsj.edu.br¹

¹UFSJ, Universidade Federal de São João Del Rei, DEMEC Campus Santo Antônio(CSA), Praça Frei Orlando, 170 Centro CEP: 36.307-352 São João del Rei - MG

Abstract. The stamping is a manufacturing process with wide industrial applications, including the automotive sector. Various parameters of this process influences the stampings performance, with regard to the reliability of parts exposed to cyclic stresses and the nature of the residual stresses, which can benefit or harm. This paper analyzes the influence of the material type and lubricant in the formation of residual stresses. To perform this experimental analysis tests were done. The variables selected for analysis are materials: SAE 1010 steel and SAE 1020 (low carbon steel – less than 0.25% carbon) and commercial aluminum (1200 H14). The lubricants selected were Renoform MZA 20 (mineral-based) and corn oils, linseed and castor oil (vegetable-based). The geometry of the specimen was defined as replication of a high reliability demands part. This part works under cyclic stresses and has shown fatigue failure. The specimens were stamped by similar operation to industry process. The materials were purchased in two millimeters thickness plates. Then it was stamped and prepared for analysis. To evaluate the residual stresses, we used the indentation technique with Vickers micro hardness (Mitutoyo MVK - G1). The comparison between results from different levels of lubricants / materials used in printing was carried out through a Variance Analysis (ANOVA), considering the randomized levels experimental design. The results and analysis points that the lubricant used in the process, does not generate significant change in the residual stresses formation. On the other hand, the material shows a significant change, whereas the SAE 1010 steel showed the highest level of residual stress after stamping.

Keywords: stamping, residual stresses, lubrication, metallic material