

ADOÇÃO DE RESINA EPÓXI NO DESENVOLVIMENTO E CONSTRUÇÃO DE ESTAMPOS PARA PEÇAS-PROTÓTIPO

Aleff Dutra de Almeida

Vinicius Henrique Lima Alves

Sérgio Scuotto

Ronaldo Câmara Cozza

CEETEPS – Centro Estadual de Educação Tecnológica “Paula Souza”, Faculdade de Tecnologia – FATEC-Mauá – Departamento de Fabricação Mecânica, Av. Antônia Rosa Fioravante, 804 – 09390-120, Mauá – SP

e-mails: aleff.dutra@hotmail.com, viniciusfatec2012@gmail.com, sergio.scuotto@fatec.sp.gov.br, ronaldo.cozza@fatec.sp.gov.br

Resumo. O processo mecânico de estampagem é de reconhecida importância na cadeia produtiva de peças metálicas seriadas. Durante o projeto de ferramentas pertinentes a este processo, além de simulações computacionais, faz-se necessário, adicionalmente, a construção de estampos direcionados à fabricação de peças-protótipo. Neste caso, tais ferramentais são construídos em aço-carbono SAE 1045; entretanto, atualmente, tem-se as resinas epóxi, caracterizando-se por proporcionarem melhor usinabilidade que os aços e um menor custo de aquisição. Com isso, o objetivo deste trabalho é estudar a viabilidade técnica de aplicação de tais materiais termofixos na construção de um estampo para a fabricação de peças-protótipo, considerando-se tempo, custo e qualidade da peça-protótipo resultante. Então, para a peça-protótipo definida, foi projetado e construído um estampo a partir de uma resina epóxi. Com o auxílio de simulações computacionais, verificou-se que, para a fabricação de peças-protótipo, resinas epóxi satisfazem a necessidade quando em relação à redução de tempo e custo de usinagem do ferramental, além da qualidade técnica aceitável das peças-protótipo produzidas.

Palavras chave: Conformação Plástica dos Metais, Processo Mecânico de Estampagem, resina epóxi, usinagem, peças-protótipo, peças de baixa produção.

1. INTRODUÇÃO

Estampagem é um processo mecânico de fabricação conduzido em ferramentais denominados “estampos”, projetados e construídos com o propósito de realizar a deformação plástica de chapas metálicas, obtendo-se peças de formas variadas destinadas a aplicações diversas (SCHULER GmbH, 1998; Szumera, 2002).

Durante todo o procedimento de desenvolvimento e construção destas ferramentas, existem diversos processos mecânicos e metalúrgicos de fabricação envolvidos, além de um rigoroso controle e planejamento dos mesmos. Adicionalmente, estão inclusos custos diretos e indiretos, como mão-de-obra especializada, maquinário, insumos e materiais.

Para atender as necessidades de trabalho pelas quais as ferramentas são exigidas, os principais materiais utilizados na fabricação dos estampos são os aços-ferramentas, material este, de alto custo que, combinado aos processos de usinagem – convencionais e especiais – envolvidos, incrementa os investimentos financeiros necessários (Chiaverini, 1986).

Na indústria automobilística, o setor de ferramentaria é primordial no desenvolvimento de ferramentas responsáveis pela produção, em alta escala, de peças seriadas de carrocerias. Porém, há ocasiões em que é necessário o desenvolvimento de ferramentas para a fabricação de peças não-seriadas – peças-protótipo em escala real – concebidas para estudos, planejamento ou testes de projetos. Com isso, tratando-se de “peças-protótipo”, para a construção dos respectivos estampos, uma alternativa viável financeiramente é a adoção de compósitos poliméricos (resinas epóxi) em substituição aos tradicionais aços-carbono ou aços-ferramenta (RenShape 5166 Metal-Forming Board, 2019).

Qualitativamente, as resinas epóxi possuem características e propriedades importantes e necessárias para a conformação plástica de chapas metálicas, dentre as quais, cita-se: rigidez, resistência mecânica, resistência à compressão, resistência à flexão, tenacidade, módulo de elasticidade longitudinal, estabilidade dimensional e baixa absorção de umidade, estrutura homogênea e baixa densidade – massa reduzida, facilitando o manuseio do modelo (Resina Epóxi, 2019).

Adicionalmente, destaca-se a ótima usinabilidade que as resinas epóxi possuem, apresentando as seguintes características relacionadas aos processos de usinagem: (i) possível a adoção de elevadas velocidades de corte, (ii) pouco lascamento – mesmo adotando-se elevados valores de profundidade de corte, (iii) alta estabilidade dimensional e (iv) excelente qualidade (acabamento) superficial.

Logo, devido à excelente condição de usinagem apresentada, as resinas epóxi se tornam ideais para a execução de projetos que objetivam o desenvolvimento e análise de peças-protótipo, as quais requerem otimizações relacionadas ao tempo de fabricação, custos de manufatura dos estampos e tiragem relativamente limitada de peças.

Observando-se as características e propriedades das resinas epóxi quanto à usinabilidade e conformação plásticas de chapas metálicas, o objetivo deste trabalho é analisar a adoção de tais materiais na construção de um estampo para a fabricação de peças-protótipo, considerando-se “tempo”, “custo” e “qualidade da peça fabricada”.

2. DESENVOLVIMENTO E CONSTRUÇÃO DA FERRAMENTA DE ESTAMPAGEM

2.1. Definição e análise do produto

Para o desenvolvimento do estampo, inicialmente foi elaborado o Desenho Técnico Mecânico do produto em sistema CAD, de forma a determinar suas principais características geométricas e quais seriam os processos de conformação plástica por estampagem aplicados.

A Figura 1 apresenta a imagem do produto final em 3D, denominado “*Tampa de Tanque de Combustível*”¹. O mesmo possui diâmetro (D) de 145 mm e altura (h) de 18,4 mm.

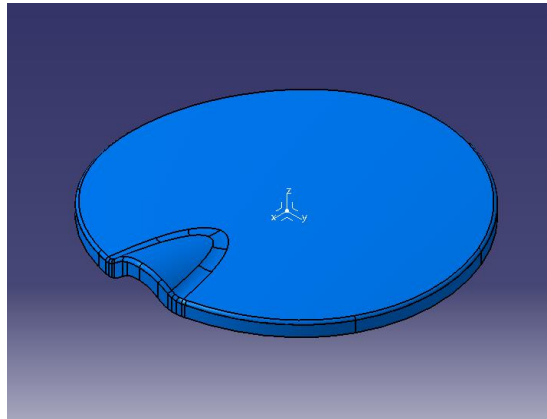


Figura 1. Imagem 3D do produto definido para o projeto da ferramenta de estampagem deste trabalho: *Tampa de Tanque de Combustível*.

2.2. Simulações computacionais do processo de estampagem – Plano de Métodos

O desenvolvimento da ferramenta de estampagem foi conduzido considerando-se baixa escala de produção, apenas na condição para a fabricação de peças-protótipo. O produto foi fabricado com uma chapa de aço-carbono SAE 1010-1020 com espessura de 0,6 mm, em apenas uma operação de embutimento, sem o uso de prensa-chapas e sob um curso de embutimento de 14 mm, aproximadamente.

A simulação computacional de estampagem proporcionou informações técnicas seguras e precisas quanto a estampabilidade do produto e a viabilidade do processo de estampagem propriamente dito, sendo sua condução necessária pelo fato da peça elaborada ter uma geometria relativamente complexa e o estampo não utilizar prensa-chapas.

A Figura 2 exibe uma simulação computacional de estampagem desenvolvida a partir do modelamento do Punção e da Matriz, representado o momento em que o Punção estaria a 13,43 mm do final de curso da ferramenta. Nota-se que, já a partir deste momento de estampagem, a simulação gráfica reporta a deformação da chapa metálica.

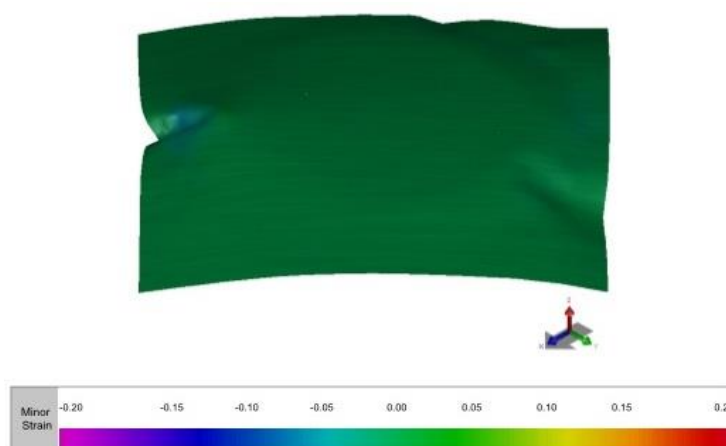


Figura 2. Simulação computacional de estampagem representando o início da deformação da chapa metálica, em uma posição em que o Punção estaria a 13,43 mm do final de curso.

A simulação computacional apresentada na Figura 3 mostra o Punção em seu curso final, no momento em que o mesmo conduz a chapa metálica até o fundo da Matriz, conformando, por completo e plasticamente, o produto. Adicionalmente, nesta simulação são apresentadas as deformações sofridas pelo produto sob sua geometria construtiva final.

¹ Em relação à indústria automobilística, a correta e rigorosa definição de “*Tampa de Tanque de Combustível*” está explanada no **APÊNDICE**.

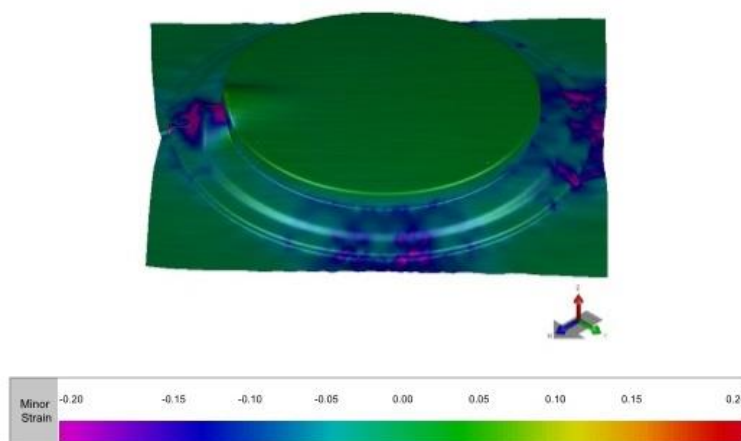


Figura 3. Simulação computacional de estampagem exibindo o produto em seu formato final, assim como os respectivos níveis de deformações sofridas pela chapa metálica.

Na Figura 4 verifica-se o comportamento da chapa metálica em cada superfície conformada do produto, assim como as previsões de possíveis falhas que poderiam ocorrer durante a sua conformação plástica e se em alguma superfície ou em alguma região de uma superfície venha ocorrer deformações fora dos padrões da superfície matemática do produto.

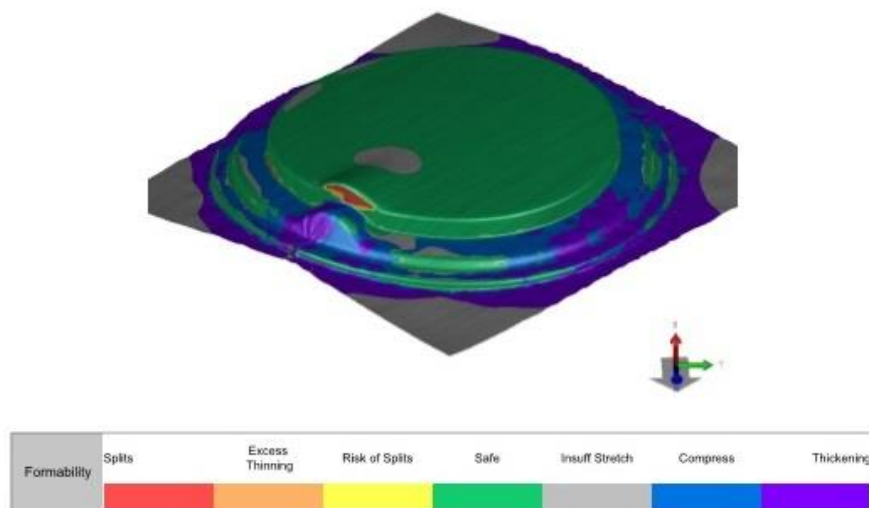


Figura 4. Análise mecânica comportamental da chapa metálica em sua conformação plástica final.

Em relação à Figura 4, as cores sinalizam as possíveis ocorrências/situações mecânicas definidas na Tabela 1.

Tabela 1. Explicação de cores provenientes da simulação computacional de estampagem conduzida para a definição do projeto final do estampo.

Cor		Ocorrência/situação mecânica na chapa metálica
Vermelho		Ruptura total.
Laranja		Estiramento excessivo.
Amarela		Nucleações de trincas.
Verde		Conformação plástica em condições classificadas como “boas”.
Cinza		Força insuficiente para a conformação plástica.
Azul		Conformação plástica classificada como “adequada”.
Roxa		Formação de rugas.

Após uma análise rigorosa de todas as simulações computacionais desenvolvidas, as regiões críticas reportadas foram facilmente corrigidas com pequenos ajustes de raios e superfícies de conformação do produto, tornando viável, tecnicamente, a construção do estampo. Adicionalmente, cita-se, também, que devido ao propósito deste trabalho, para o projeto do estampo, desconsiderou-se a recuperação elástica (*spring-back*) da chapa metálica.

2.3. Desenvolvimento do estampo

A Figura 5 apresenta as Vistas Isométricas do estampo projetado e construído para este trabalho.

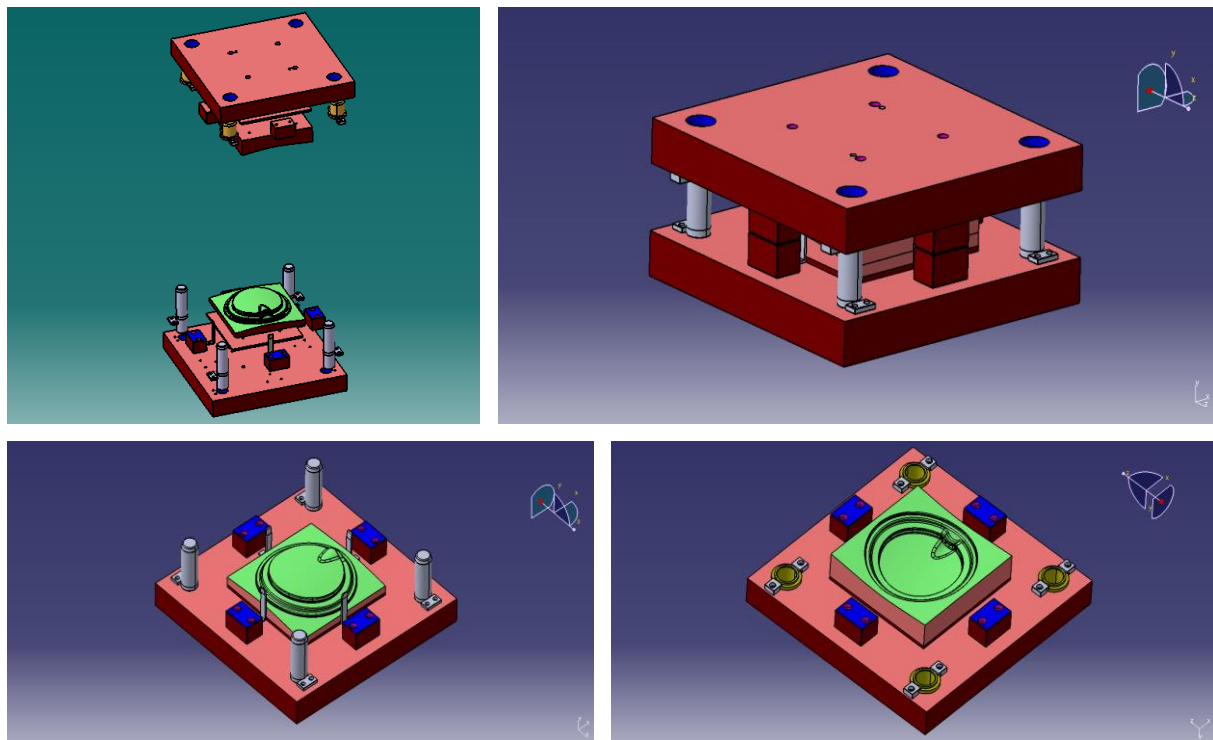


Figura 5. Vistas Isométricas do estampo projetado e construído para a realização deste trabalho.

Para a fabricação da referida ferramenta, foi adotado o NECURON® 1300, que tem como base polimérica, Resina de Poliuretano e Epóxi. Este material foi fabricado pela “NECUMER GmbH” – Alemanha (2019) e doado pela empresa “Globaltec Importadora Ltda.”; o mesmo atende padrões de qualidade internacionais e é assegurado por certificação e controle de qualidade pela Norma ISO 9001:2008 – Quality Management Systems – Requirements (2008).

As propriedades mecânicas do NECURON® 1300 fazem dele um excelente material para aplicações em estampagem de peças não-seriadas sob espessura máxima de chapas metálicas de 3 mm, devido às propriedades mecânicas mencionadas na Tabela 2 (NECUMER GmbH, 2019; NECURON®, 2019a; NECURON® 1300, 2019b).

Tabela 2. Propriedades mecânicas do NECURON® 1300 (NECUMER GmbH, 2019; NECURON®, 2019a; NECURON® 1300, 2019b).

Propriedade	Valor
Dureza – Shore D	79
Resistência à Compressão	87 MPa
Resistência a Impactos (Tenacidade)	27,5 kJ/m ³
Resistência à Flexão	92 MPa

2.4. Construção do estampo

Para comparação de tempos de usinagem, foram desenvolvidos programas CAM de usinagem para o NECURON® 1300 e para o aço-carbono SAE 1045 – material comumente utilizado na fabricação de ferramentas de estampagem direcionadas à fabricação de peças-protótipo, por possuir baixo custo de aquisição em relação aos aços-ferramenta de alta produção e atender a necessidade pela qual foi selecionado.

A Tabela 3 mostra os parâmetros e os tempos de usinagem (t_c) referentes à “Matriz”, peça de maior complexidade, com referência à Velocidade de Corte – V_c e à Profundidade de Penetração – a_p , assim como o custo de usinagem (C) da superfície da mesma.

Para o aço-carbono SAE 1045, foi calculado um tempo de usinagem $t_c = 4$ h 58 min, enquanto que, com a adoção do NECURON® 1300, a Matriz foi usinada em $t_c = 1$ h 10 min.

A Figura 6 mostra o “Punção” e a “Matriz” já usinados em NECURON® 1300, prontos para a estampagem da “Tampa de Tanque de Combustível”.

Tabela 3. Parâmetros, tempos e custos de usinagem para a fabricação da “Matriz”, com aço-carbono SAE 1045 e NECURON® 1300 – valores comparativos.

Parâmetros de Usinagem				
Etapas, tempos e custos de usinagem ↓	Aço-carbono SAE 1045 ⁽¹⁾		NECURON® 1300 ⁽²⁾	
	V_c [m/min]	a_p [mm]	V_c [m/min]	a_p [mm]
Desbaste	200	1	180	5
Acabamento	220	0,3	200	1,2
Tempo de usinagem – t_c	4 h 58 min		1 h 10 min	
Custo de usinagem – C	R\$943,67 (Usinagem de Superfície)		R\$221,67 (Usinagem de Superfície)	

(1) Para comparação de tempos de usinagem – t_c ;

(2) Parâmetros de usinagem recomendados pela NECUMER GmbH (NECUMER GmbH, 2019; NECURON®, 2019a; NECURON® 1300, 2019b) e Ciba Specialty Chemicals Cibatool® BM 5272 (2019).



Figura 6. “Punção” e “Matriz” usinados em NECURON® 1300.

3. ESTAMPAGEM DO PRODUTO

No primeiro procedimento de estampagem foi definido um blank quadrado de lado 200 mm, posicionado no centro da matriz.

Ao iniciar-se o processo de estampagem, foi reportado que o blank não apresentou bom comportamento durante a sua deformação plástica (Figura 7). Com, aproximadamente, 7 mm de penetração do Punção, o blank começou a dobrar, o que poderia danificar o próprio Punção e/ou a Matriz.



Figura 7. Primeira tentativa de estampagem da peça-protótipo.

Com isso, o processo mecânico foi interrompido. Porém, na tentativa de retomar o procedimento, o produto, já com conformação inicial, não se acomodou perfeitamente na Matriz, sendo finalizada a sua estampagem em um posicionamento diferente ao inicial; assim, este protótipo foi descartado.

Para o segundo procedimento de estampagem, foi definido um blank circular de diâmetro 200 mm com uma aba ligeiramente maior na região em que foi necessária maior quantidade de material para conformar a superfície com ressalto. A Figura 8 mostra o blank posicionado na Matriz, para o início da segunda tentativa de conformação plástica da chapa metálica.



Figura 8. Blank circular posicionado na Matriz.

A Figura 9a exibe o momento em que o Punção do estampo está sob uma posição a 5 mm do fim de curso – neste momento de estampagem, foi medida uma pressão de 196 kgf/cm^2 necessária para realizar a conformação plástica do material metálico; para este posicionamento do Punção, na Figura 9b tem-se o estampo aberto e o produto já com a sua conformação plástica inicial.

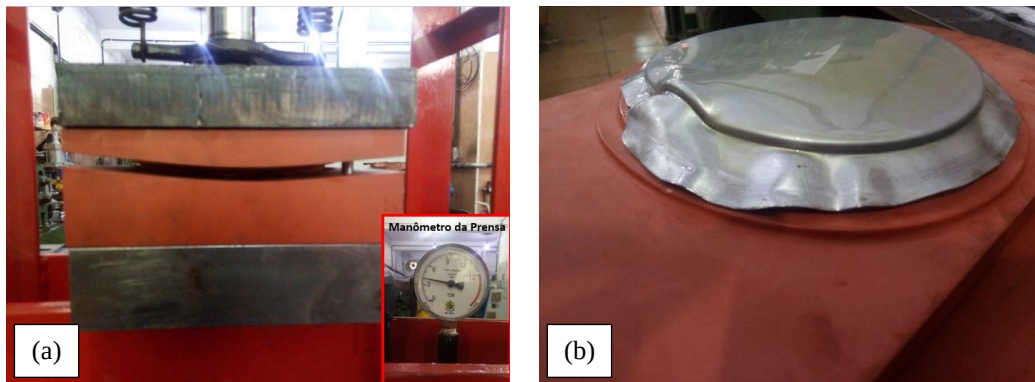


Figura 9. (a) Posição do Punção a 5 mm do fim de curso da ferramenta; (b) “Tampa de Tanque de Combustível” em conformação plástica inicial.

Foi observado que, desta vez, a conformação plástica da chapa metálica, até este momento, ocorreu de forma adequada. As superfícies do material não apresentaram rugas, estiramentos ou rupturas. Com isso, pôde-se dar continuidade no processo de estampagem e conduzir o Punção ao seu curso final de trabalho, conformando, plasticamente, a “Tampa de Tanque de Combustível”, por completo. Com a ferramenta em seu fim de curso, foi medida uma pressão de 294 kgf/cm^2 .

A Figura 10 apresenta o protótipo da “Tampa de Tanque de Combustível” já fabricado. Reporta-se que o comportamento da chapa metálica foi melhor do que o esperado durante o processo de estampagem, visto que, nas simulações computacionais, foram previstas possíveis rupturas e estiramentos, como denotou a Figura 4 mas, na prática, não foram reportados tais fenômenos mecânicos.



Figura 10. Protótipo fabricado da “Tampa de Tanque de Combustível”.

Em relação ao NECURON® 1300, material utilizado na fabricação do Punção e da Matriz, o mesmo apresentou excelente desempenho quando em solicitação de estampagem, pois a ferramenta não apresentou qualquer tipo de avaria mecânica.

4. CONCLUSÕES

Pelos resultados de estampagem obtidos, leva-se a concluir que estudos de simulação computacional são, atualmente, indispensáveis para o correto e adequado desenvolvimento de uma ferramenta de embutimento.

O NECURON® 1300 proporcionou um tempo de usinagem significativamente menor quando comparado ao aço-carbono SAE 1045, visto sua excelente usinabilidade. Adicionalmente, devido ao menor tempo de usinagem do NECURON® 1300, foi obtido um custo reduzido de fabricação da ferramenta necessária à estampagem da peça-protótipo considerada.

Em relação ao comportamento do NECURON® 1300 durante o processo de estampagem, o mesmo apresentou comportamento mecânico adequado para a fabricação de peças-protótipo, não ocorrendo qualquer tipo de anomalia física-mecânica durante a conformação plástica das chapas metálicas, como pôde ser observado na Figura 10.

Com referência à peça-protótipo fabricada, foi verificado que a mesma possui qualidades “mecânica” e “dimensional” condizentes para com o propósito de sua finalidade.

Tais comportamentos e resultados reportados justificam o emprego do material alternativo NECURON® 1300 em substituição ao tradicional aço-carbono SAE 1045 quando da fabricação de ferramentas de estampagem direcionadas à confecção de peças-protótipo. Tudo devido à sua viabilidade técnica aliada às diferenças representativas de reduções de tempo e custos de usinagem do ferramental, além da qualidade da peça-protótipo fabricada.

5. AGRADECIMENTOS

Os Autores deste trabalho agradecem ao Sr. Jorge Norberto Korndörfer – “Globaltec Importadora Ltda.”, pela doação do NECURON® 1300.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chiaverini, V., 1986. Tecnologia Mecânica – Processos de Fabricação e Tratamento – Volume II. 2ª edição. São Paulo: Editora PEARSON – Makron Books.
- Cibatool® BM 5272 – Board Material – Tooling systems, 2019. <<http://cibasc.com/>>.
- NECUMER GmbH, 2019. <<http://www.necumer.com/>>.
- NECURON® 1300 – BOARD MATERIAL – TECHNICAL DATA SHEET, 2019a. <<http://necumer.com/>>.
- Norma ISO 9001:2008 – Quality Management Systems – Requirements.
- Placas de Resina de Poliuretano e Epóxi. NECURON®, 2019b.
- RenShape 5166 Metal-Forming Board, 2019. <<https://www.freemansupply.com/>>.
- Resina Epóxi, 2019. <<http://www.baserevest.com.br/>>.
- SCHULER GmbH, 1998. Metal Forming Handbook. Berlin: Springer.
- Szumera, J., 2002. Metal Stamping Processes. Industrial Press, Inc.: New York.

7. APÊNDICE

Na indústria automobilística, procura-se dar ênfase ao detalhamento dos nomes das peças seriadas, com o objetivo de evitar confusões durante a montagem dos automóveis e, após, na assistência-técnica, no procedimento de pós-venda.

Assim, para o caso analisado neste trabalho, é necessário atentar que, com relação ao “*tanque de combustível*” de um automóvel, pode-se considerar três “*tampas*” envolvidas, conforme nomeações e explicações dadas a seguir:

- (1) “**Tampa de Acesso à Bóia do Tanque de Combustível**”: Este item é visível no porta-malas ou embaixo do banco traseiro do veículo, a partir da qual a mesma é instalada e tem-se acesso à Bóia do Tanque de Combustível (Figura A1).

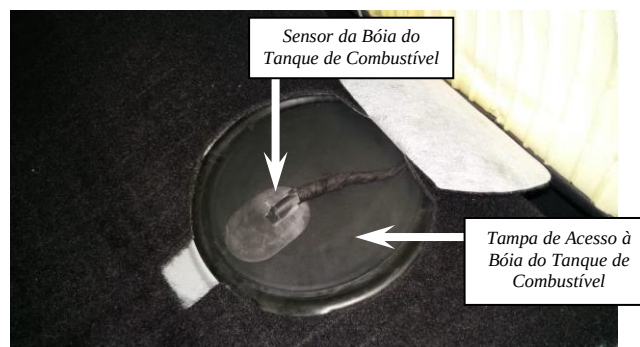


Figura A1. “Tampa de Acesso à Bóia do Tanque de Combustível”, localizada embaixo do banco traseiro do veículo.

- (2) **“Tampa do Bocal do Tanque de Combustível”**: A mesma é fixada por rosqueamento e aberta no momento de abastecimento do tanque de combustível do veículo (Figura A2).

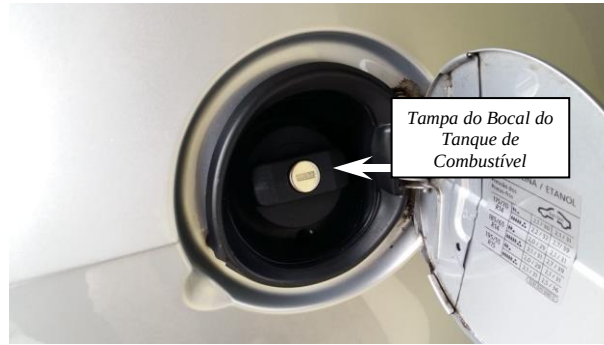


Figura A2. Exemplo de “Tampa do Bocal do Tanque de Combustível” de um veículo.

- (3) **“Portinhola de Acesso à Tampa do Bocal do Tanque de Combustível”**: Esta peça permite o acesso à “Tampa do Bocal do Tanque de Combustível”; a mesma faz parte da carroceria de um automóvel e sua importância está direcionada, também, ao design do veículo (Figura A3).



Figura A3. “Portinhola de Acesso à Tampa do Bocal do Tanque de Combustível”.

Com isso, a peça considerada neste estudo faz parte do conjunto “*Tampas e Portas*” de um veículo automotivo, recebendo, de forma correta e rigorosa, o nome de “*Portinhola de Acesso à Tampa do Bocal do Tanque de Combustível*”, conforme exemplificou a Figura A3.

Mas, ao longo do presente texto, o termo técnico “*Portinhola de Acesso à Tampa do Bocal do Tanque de Combustível*” foi substituído por “*Tampa de Tanque de Combustível*”, com o intuito de facilitar o entendimento, leitura e familiarização com a prática.

8. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os Autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

EPOXY RESIN ADOPTION ON THE DEVELOPMENT AND CONSTRUCTION OF STAMPS TO PROTOTYPE-PARTS

Abstract. The mechanical stamping process presents recognized importance in the production chain of serial metallic parts. During the design of tools to this process, beyond of computer simulations, additionally is necessary the construction of stamps directioned to manufacture of prototype-parts. Commonly, these tools are constructed with SAE 1045 carbon-steel; however, actually, there are the epoxy resins, which provide better machinability than the steels and a lower acquisition cost. Thereby, the purpose of this work is to study the technical viability application of these thermosetting materials on the construction of a stamp to the prototype-parts manufacturing. Then, to the defined prototype-part, was designed and constructed a stamp from an epoxy resin. With the help of computational simulation, it was verified that for the prototype-parts manufacturing, epoxy resins satisfy the need in relation to time and cost reductions, besides the acceptable technical quality of the produced prototype-parts.

Key-words: Plastic Conformation of Metals, Stamping Mechanical Process, epoxy resin, machining, prototype-parts, low production parts.