

# PROJETO DE MATRIZES PARA O FORJAMENTO A FRIO DE PONTAS INTERCAMBIÁVEIS UTILIZADAS EM PROCESSOS DE SOLDA A PONTO DE CHAPAS<sup>1</sup>

*Gilmar Cordeiro Silva<sup>2</sup>  
Carlos Augusto dos Santos<sup>3</sup>  
Antônio Eustáquio de Mello Pertence<sup>4</sup>  
Tarcísio José de Almeida<sup>5</sup>  
Paulo Roberto Cetlin<sup>6</sup>*

## Resumo

O estudo de uma seqüência de operações para o forjamento a frio de pontas intercambiáveis empregadas no processo de solda a ponto foi realizado utilizando o método de elementos finitos. Inicialmente, as operações necessárias ao forjamento da peça foram estabelecidas e, posteriormente, essas etapas foram simuladas no computador através do software DEFORM V\_8.0. Nas simulações, foi possível avaliar a carga necessária para a realização de cada operação bem como o comportamento da peça sendo conformada (preenchimento). Após as simulações, as operações envolvidas no forjamento foram analisadas experimentalmente, a fim de confirmar os resultados numéricos. As devidas correções foram feitas após a comparação dos resultados numéricos e experimentais, até a obtenção do projeto final para o forjamento. O objetivo das atividades aqui relatadas foi avaliar a possibilidade de substituição do atual processo de usinagem das pontas, pelo processo de forjamento a frio.

**Palavras-chave:** Processo de solda a ponto; Ponta intercambiável; Forjamento a frio; Método de elementos finitos.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica a ser apresentada no 3º Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes, 10 a 12 de agosto de 2005, São Paulo – SP.*

<sup>2</sup> *MSc., Engenheiro Mecânico, Brasição Industria e Comércio Ltda. [gilmarcord@iq.com.br](mailto:gilmarcord@iq.com.br)*

<sup>3</sup> *MSc., Engenheiro Mecânico, Aluno de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas, Escola de Engenharia – UFMG, Belo Horizonte, MG. [landre@demet.ufmg.br](mailto:landre@demet.ufmg.br)*

<sup>4</sup> *Dr., Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Mecânica – UFMG, Belo Horizonte. [pertence@ufmg.br](mailto:pertence@ufmg.br)*

<sup>5</sup> *MSc., Engenheiro Mecânico, Professor do Departamento de Engenharia Mecânica, PUC-MG – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. [bere@brfree.com.br](mailto:bere@brfree.com.br)*

<sup>6</sup> *Dr., Professor Titular do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Escola de Engenharia – UFMG, Belo Horizonte. [pcetlin@demet.ufmg.br](mailto:pcetlin@demet.ufmg.br)*

## 1 INTRODUÇÃO

A solda a ponto representa um dos processos de soldagem por resistência. Esse procedimento é utilizado em várias áreas de construção e manutenção de produtos, tais como: funilaria, suspensão de veículos e ponteamto de chapas finas.<sup>(1)</sup>

O processo consiste da aplicação de uma corrente elétrica em uma ponta condutora intercambiável a qual pressiona o material a ser soldado, conforme ilustra a Figura 1.

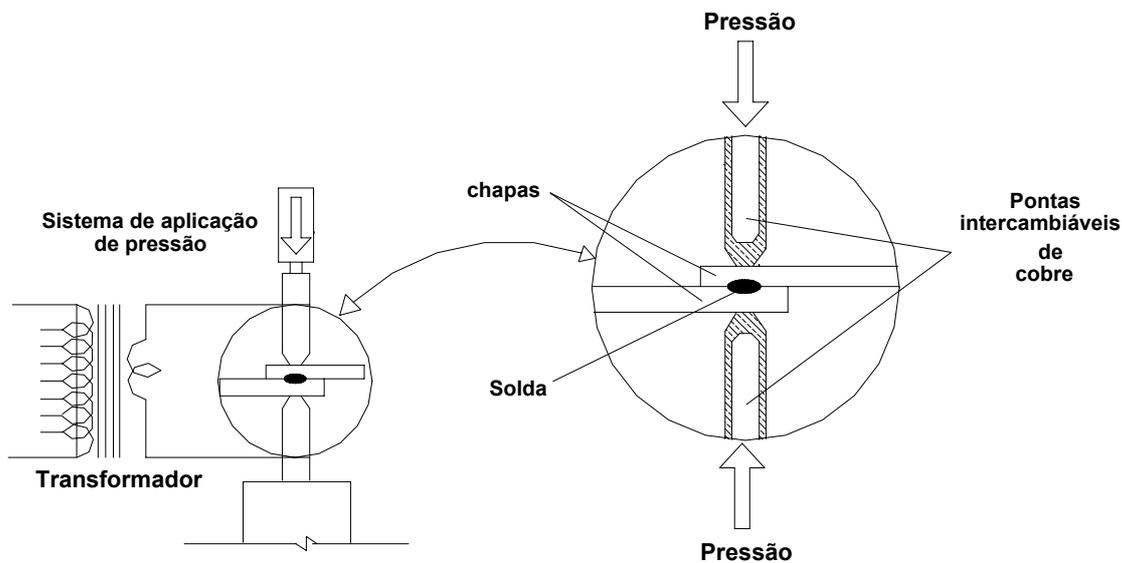


Figura 1. Esquema do processo de solda a ponto.

As pontas intercambiáveis são feitas em cobre devido às propriedades favoráveis desse metal, a saber: alta condutividade elétrica, excelente conformabilidade e resistência ao desgaste em temperaturas elevadas.

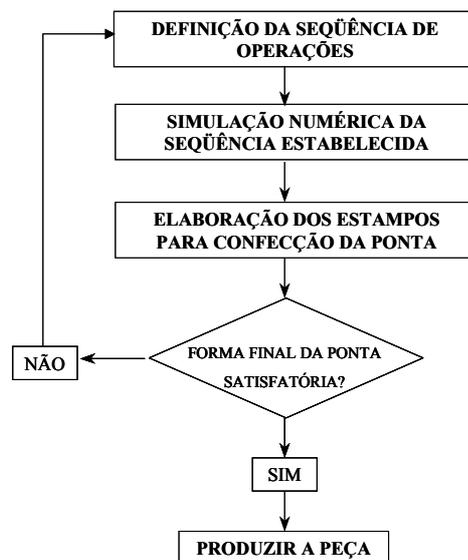
Atualmente, o processo adotado na fabricação das pontas intercambiáveis tem sido a usinagem. Esse processo requer tempo, custo operacional e consumo de materiais elevado. Em função disso, a substituição da usinagem torna-se interessante. Uma alternativa seria a fabricação das pontas utilizando a conformação a frio. Algumas vantagens da conformação a frio seriam: economia de material, devido a não geração de cavacos; repetibilidade dimensional; adequação das formas<sup>(2)</sup>.

Dentre os meios disponíveis para avaliar a possibilidade de conformação a frio da ponta, o método de elementos finitos mostra-se como uma poderosa ferramenta. Essa metodologia, empregada nos estudos da conformação mecânica desde 1969,<sup>(3)</sup> tem como características: possibilita uma ampla análise dos processos (verificação das deformações e tensões nas peças conformadas e nas ferramentas, avaliações do fluxo do material e preenchimento das matrizes); gera resultados em um tempo inferior àquele dos trabalhos experimentais; necessita de um custo inferior àquele dos trabalhos experimentais.

O presente trabalho apresenta a avaliação da conformação a frio da ponta intercambiável realizada através da simulação por elementos finitos. Os resultados obtidos nas simulações foram verificados experimentalmente e, quando se fez necessário, novas correções do projeto foram implementadas, simuladas e verificadas experimentalmente, até a obtenção do conjunto final de matrizes para o forjamento.

## 2 METODOLOGIA

A avaliação do forjamento da ponta intercambiável seguiu o fluxograma descrito na Figura 2.

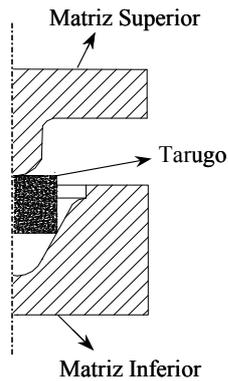


**Figura 2.** Fluxograma para avaliação do forjamento da ponta intercambiável.

Na etapa de definição da seqüência, o primeiro conjunto de operações analisado foi definido tendo como parâmetros a geometria desejada para a ponta e os conhecimentos anteriores sobre o forjamento de peças. Nas demais seqüências analisadas, junto aos parâmetros já mencionados, foram agregadas as informações obtidas com a simulação numérica da seqüência anterior.

As simulações em todas as seqüências analisadas foram consideradas axissimétricas devido às características do processo. Dessa forma, apenas metade da vista de corte de cada operação foi desenhada no pré-processador do programa (ver exemplo na Figura 3).

A curva de fluxo descrevendo as características do encruamento do material da ponta durante as simulações correspondeu à curva obtida no ensaio de tração da liga de cobre. O corpo de prova para o ensaio foi usinado de acordo com a norma NBR 6152<sup>(4)</sup> e o ensaio de tração realizado em uma máquina universal de ensaios INSTRON 5582 modelo EX 26300-100. As matrizes foram consideradas rígidas nas simulações, não sendo necessário definir suas características de material.



**Figura 3.** Desenho utilizado no pré-processador.

As malhas de elementos finitos nas análises foram geradas através do procedimento padrão de geração de malha do programa utilizado. O programa utiliza elementos isoparamétricos, lineares de quatro nós, os quais são indicados na literatura para análises de grandes deformações.<sup>(5,6)</sup>

As condições de contorno utilizadas nas simulações referentes à velocidade, à temperatura e ao intervalo tempo do passo foram: 20°C, 5,0 mm/s e 0,025 s.

O coeficiente de atrito  $\mu = 0.1$  utilizado na simulação foi retirado de dados da literatura relacionados ao forjamento de metais.<sup>(7,8)</sup>

Após a simulação de cada seqüência de operações analisada, os resultados de carga de forjamento e da forma final da peça em todas as operações foram analisados, a fim de confirmar a viabilidade numérica da seqüência. Todos esses resultados são fornecidos como variáveis de saída pelo programa de elementos finitos DEFORM 2D.

De posse dos resultados numéricos para uma seqüência específica, o conjunto de matrizes foi confeccionado, a fim de validar os resultados numéricos. As matrizes foram usinadas e os materiais utilizados são descritos na Tabela 1. As operações foram realizadas em uma prensa hidráulica de simples efeito com capacidade de 100 toneladas.

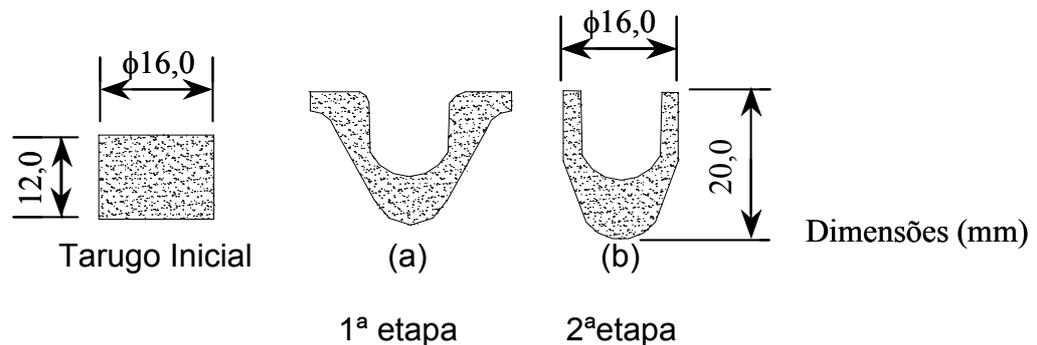
**Tabela 1.** Materiais utilizados para as matrizes.

Função	Material
Base das Matrizes	SAE 1020
Buchas, Colunas e Placa de Choque	SAE 1045
	Aço Prata
Fêmea e Punções	VC 131
	VND

Os resultados experimentais de carga e forma final da peça foram confrontados com os resultados numéricos. Enquanto houve divergência entre esses resultados (resultados experimentais x resultados numéricos), o procedimento descrito acima (ver Figura 2) foi repetido, a fim de obter uma seqüência de operações para o forjamento da ponta. O item a seguir mostra o número de seqüências analisadas, até a definição do conjunto de operações do forjamento em questão.

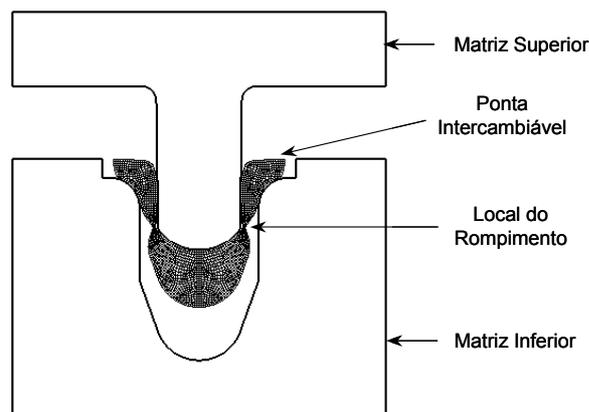
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 4 mostra a primeira seqüência analisada para o forjamento da ponta intercambiável.



**Figura 4.** Seqüência inicial do forjamento da ponta intercambiável.

De acordo com a Figura 4, a ponta seria obtida utilizando duas operações a partir do tarugo inicial. Entretanto, após a simulação dessa seqüência, verificou-se o rompimento do material na segunda operação. A forma rompida no final da segunda operação é apresentada na Figura 5.



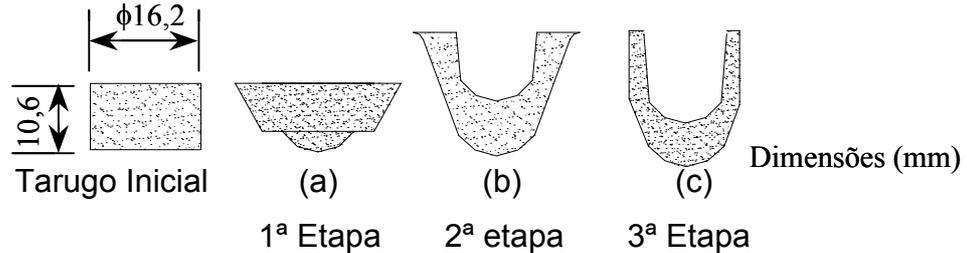
**Figura 5.** Peça rompida no final da segunda operação.

A fim de validar os primeiros resultados numéricos, três conjuntos de estampos foram construídos, a saber: estampo de corte (obtenção do tarugo inicial com  $\text{Ø}16\text{mm}$  e comprimento de 10mm); estampo intermediário (obtenção da peça da primeira etapa); estampo final (obtenção da ponta – segunda etapa). Os resultados experimentais também revelaram o rompimento da peça durante a operação do estampo final (ver Figura 6).



**Figura 6.** Resultados experimentais da primeira seqüência.

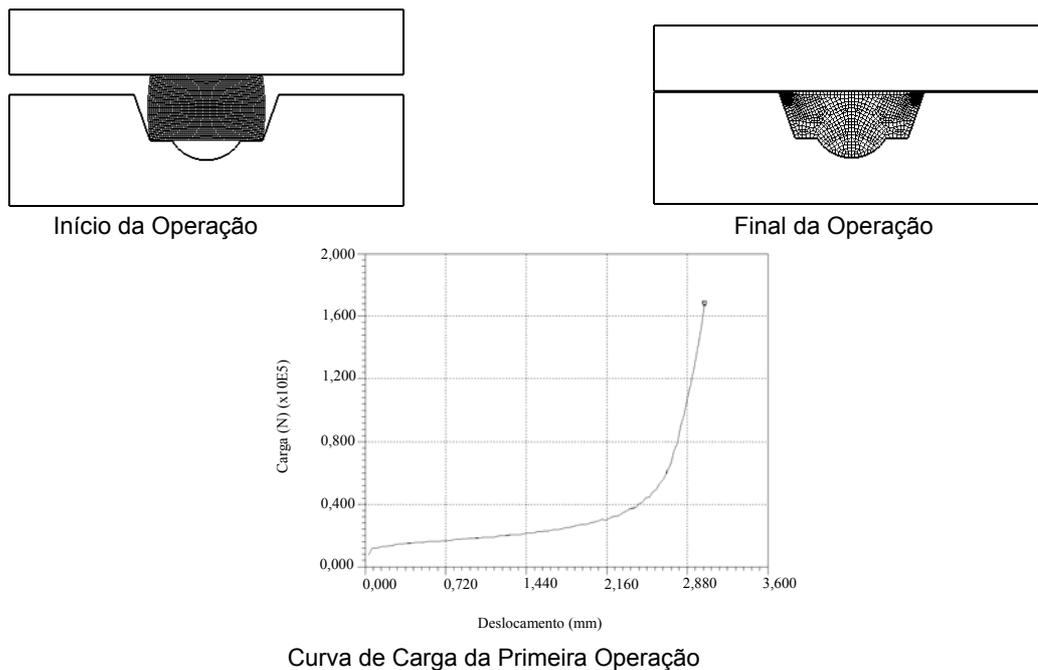
Diante das constatações experimentais (rompimento da peça), a seqüência inicial foi modificada, sendo as novas operações ilustradas na Figura 7.



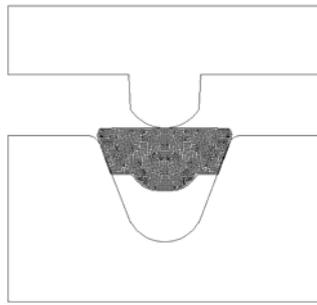
**Figura 7.** Segunda seqüência do forjamento da ponta intercambiável.

A nova concepção da deformação (Figura 7) procurou aproximar gradativamente a forma do material, de etapa para etapa, até sua forma final. Para isso, fez-se necessário reduzir o volume de material que escoava para dentro da cavidade da matriz em cada etapa. Tal procedimento levou ao acréscimo do número de etapas.

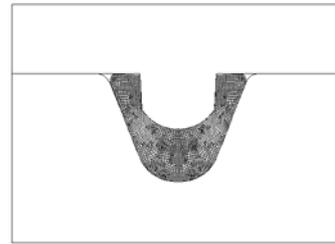
Os resultados numéricos de forma final e carga de forjamento para as simulações da segunda seqüência são mostrados nas Figuras 8, 9 e 10. A análise desses resultados indicou a possibilidade de produção das pontas a partir do projeto de matrizes estabelecido.



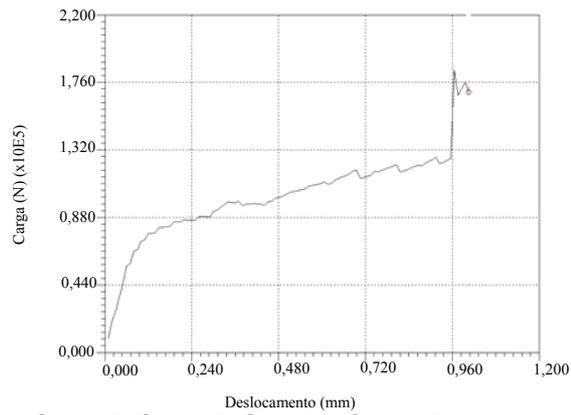
**Figura 8.** Resultados numéricos da primeira operação do segundo pré-projeto.



Início da Operação

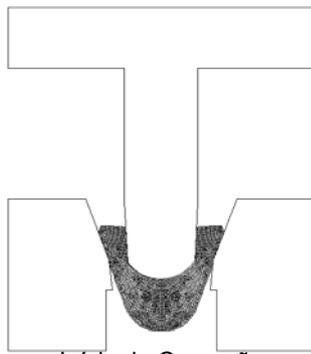


Final da Operação

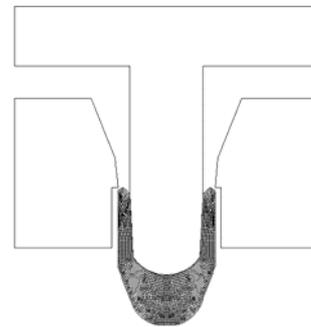


Curva de Carga da Segunda Operação

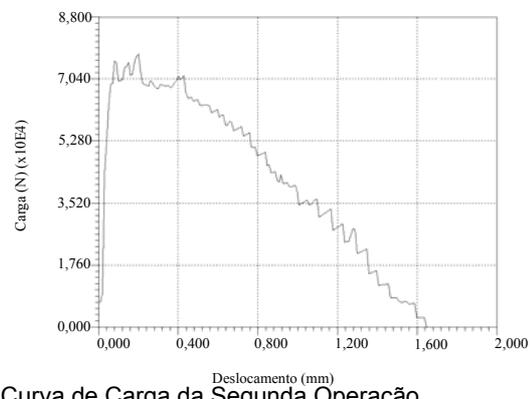
**Figura 9.** Resultados numéricos da segunda operação do segundo pré-projeto.



Início da Operação



Término da Operação



Curva de Carga da Segunda Operação

**Figura 10.** Resultados numéricos da terceira operação do segundo pré-projeto.

Seguindo o fluxograma da Figura 2, um novo conjunto de estampos foi produzido de acordo com as geometrias da segunda seqüência de operações, para confirmar a validade dos resultados numéricos. As matrizes foram obtidas da mesma forma descrita para o conjunto de estampos da primeira seqüência. As formas finais obtidas em cada operação são mostradas na Figura 11. Os valores de carga máxima de cada operação constam na Tabela 1.



**Figura 11.** Resultados experimentais da segunda seqüência.

**Tabela 1.** Valores de carga em cada operação da segunda seqüência.

	1ª Operação	2ª Operação	3ª Operação
Carga (Ton)	18	55	7

As análises da Figura 11 e da Tabela 1 confirmaram os resultados previstos pela simulação numérica (Figuras 8, 9 e 10). Dessa forma, o forjamento da ponta ficou definido pelas três operações descritas na Figura 7.

A partir dos dados obtidos com o forjamento da ponta, pode ser realizada uma comparação entre esta operação e a usinagem.

Na Tabela 2 são apresentadas as dimensões do tarugo necessárias para a fabricação das peças por usinagem e pelo forjamento proposto. Os dados indicam uma economia de material nas pontas forjadas da ordem de 56% em relação as pontas usinadas.

**Tabela 2.** Dimensões necessárias na fabricação por peça.

Método	Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)
Usinagem	16	24
Forjamento	16,2	10,6

A produção da ponta através do forjamento necessita de um tempo total de forjamento de 27 segundos. Considerando a etapa de acabamento final e as

especificidades de cada operador, o tempo de fabricação da peça fica em torno de 35 segundos. Comparando-se este valor com os 70 segundos necessários para produzir a peça por usinagem, verifica-se que o método proposto é de grande eficácia.

#### 4 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos indicam que a ponta intercambiável pode ser produzida através de três operações de forjamento, substituindo a atual usinagem do componente.

O forjamento da ponta apresenta vantagens de economia de material e também menor tempo de produção da peça, o que acarretará um custo menor para produção da ponta.

O método de elementos finitos, conforme ilustrado no artigo, apresenta-se como uma ferramenta importante nos projetos de matrizes para forjamento de componentes.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 MACHADO, I. G. Soldagem por resistência elétrica. In: MACHADO, I. G. **Soldagem e técnicas conexas**: processos. Porto Alegre: Ed. do Autor, 1996. cap. 11, p. 244-267.
- 2 GRÜNING, K. **Técnica da conformação**. São Paulo: Polígono, 1973.
- 3 ZIENKIEWICZ, O. C.; VALLIAPPAN, S.; KING, I. P. Elasto plastic solutions of enginegin problems: initial stress finite element approach. **International Journal of Numerical Methods in Engeneering**, v .1, p 75-100, 1969.
- 4 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6152**: Materiais metálicos - Determinação das propriedades mecânicas à tração. Rio de Janeiro, 1992.
- 5 BEHRENS, A.; JUST, H.; LANDGREVE, D. Prediction of cracks in multistage cold forging operations by finite-element-simulations with integrated damage criteria. **Metal Forming**, v.34, p. 245-252, Sept. 2000.
- 6 LEE, C. H., KOBAYASHI, S. Analyses of axisymmetric upsetting and plane-strain side-pressing of solid cylinders by the finite element method. **Journal of Engineering for Industry**, v.93, n.2, p. 445-454, May 1971.
- 7 CETLIN, P. R. **Fundamentos da conformação mecânica dos metais**. 2.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983.
- 8 LANGE, K. **Handbook of metal forming**. London: McGraw Hill, 1985.

# **DIE DESIGN FOR THE COLD FORGING OF REPLACEABLE TIPS USED IN THE SPOT WELDING OF SHEETS**

*Gilmar Cordeiro Silva  
Carlos Augusto dos Santos  
Antônio Eustáquio de Mello Pertence  
Tarcísio José de Almeida  
Paulo Roberto Cetlin*

## **Abstract**

An analysis of the cold forging steps for the manufacturing of a replaceable contact tip, used in the spot welding of sheets, was performed employing the Finite Element Method (FEM). An initial step sequence was established and then simulated with the FEM, utilizing the software DEFORM V\_8.0. The simulations allowed the evaluation of the processing loads and of the dies filling. After the simulations, the forging steps were performed experimentally and the results were compared with the numerical predictions. The problems indicated in the simulations and in the experiments were then corrected, and a final adequate design for the forging sequence of the welding tip was reached. The objective of the reported activities was the evaluation of the possibilities of replacing the present machining of the welding tip by cold forging.

**Key-words:** Spot welding; Replaceable tip; Cold forging; Finite element method.