

## **OTIMIZAÇÃO DO PROJETO DE MATRIZES DE FORJAMENTO A FRIO ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO NUMÉRICA POR ELEMENTOS FINITOS**

**Jackson Ferreira Dal Comuni, jackson@ciser.com.br**  
**Rafael Gomes König, rafael@ciser.com.br**  
**Sandro Luis de Aquino Roseira, sandror@ciser.com.br**

Ciser Parafusos e Porcas, Rua Cachoeira, 70 – 89205-070, Joinville – Santa Catarina

**Resumo:** Atualmente, a simulação numérica por elementos finitos vem se destacando como o método de análise mais eficaz para estudo da distribuição de esforços sobre punções e matrizes utilizados no processo de forjamento a frio de parafusos. Os softwares de simulação permitem que os usuários definam os parâmetros de processos e simulem o comportamento do conjunto de ferramentas durante o forjamento, realizando um try-out virtual. A simulação, além de apresentar o fluxo do material no momento do forjamento, tem como saída também a distribuição de tensões nas ferramentas, permitindo a verificação de concentradores de tensão que possam prejudicar o desempenho das mesmas em serviço. O objetivo deste trabalho é apresentar um estudo de caso onde a simulação numérica foi de suma importância para a resolução de um problema de quebra excessiva de matrizes durante o forjamento a frio de parafusos em latão com cabeça sextavada flangeada. Neste caso, a simulação numérica foi utilizada para verificar se as dimensões do núcleo, das capas e a interferência de montagem da matriz estavam adequadas em relação à pressão interna que estava sendo gerada durante o forjamento. Um projeto de matriz é considerado adequado se as tensões tangenciais encontradas no núcleo forem somente tensões tangenciais de compressão, convencionalmente adotadas tensões com valores negativos. A vida média desta ferramenta, após a otimização apresentada neste estudo, foi de 150.000 peças produzidas; valor muito superior se comparado ao rendimento médio das matrizes com configuração original: apenas 5.000 peças por matriz. Esta diferença nos valores de vida útil justifica os custos inerentes a alteração do projeto para a nova configuração.

**Palavras-chave:** Simulação numérica; forjamento a frio; parafuso.

### **1. INTRODUÇÃO**

A utilização de softwares computacionais capazes de realizar simulações de diferentes etapas do processo de fabricação tem se tornado prática comum dentro de empresas do segmento, auxiliada pelo avanço da tecnologia computacional.

A simulação numérica é realizada normalmente na etapa de forjamento, onde a matéria-prima, arame, é deformada dentro de matrizes. Esta etapa é extremamente crítica, pois define algumas das principais características geométricas do produto final. A grande vantagem na utilização da simulação numérica está na realização de try-out virtual: previsão das geometrias intermediárias e final do produto, definição da seqüência de conformação ideal e análise de tensões e deformações no produto e no ferramental. Reduz-se assim tempo e custo no desenvolvimento de novos produtos e nas melhorias de processos.

O presente trabalho apresenta um exemplo de aplicação da ferramenta de simulação numérica no processo de forjamento de parafusos, com ênfase em análise de tensões no ferramental.

### **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **2.1. Software**

Para a realização da simulação numérica do processo de forjamento a frio foi utilizado o software *Eesy-2-Form*. Este software permite realizar a simulação, em duas dimensões, do processo de forjamento de produtos que apresentam geometrias próximas à de sólidos de revolução, tipicamente elementos de fixação como parafusos, porcas e rebites.

## 2.2. Produto

O produto analisado neste trabalho, apresentado na Fig. (1), é um parafuso em latão com cabeça sextavada flangeada, utilizado na fixação de um componente em lavadoras de roupas.

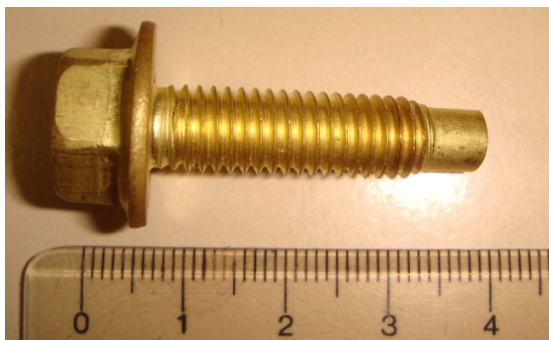


Figura 1. Foto do parafuso analisado

## 2.3. Projeto do Ferramental

As matrizes utilizadas nas prensas de forjamento de elementos de fixação são normalmente compostas de um núcleo de metal duro (classe de resistência G4, G5 ou G6) ou aço rápido (AISI M2 ou AISI M42) montado com interferência de medida em uma capa de aço (AISI H13 ou AISI 4340).

O material do núcleo possui uma elevada resistência ao desgaste, porém é extremamente frágil e possui uma resistência à tração muito baixa. O material da capa possui maior tenacidade e, conseqüentemente, maior resistência à tração. O núcleo é montado com determinada interferência dimensional na capa para evitar o surgimento de tensões tangenciais de tração, decorrentes da pressão interna gerada durante a etapa de conformação. Estas tensões são responsáveis pela quebra prematura do núcleo, implicando em aumento do custo de produção e perda da eficiência produtiva.

A simulação numérica é utilizada nestes casos para verificar se as dimensões do núcleo, da capa e interferência de montagem estão adequadas em relação à pressão interna que está sendo gerada durante o forjamento.

O projeto é considerado adequado se as tensões tangenciais encontradas no núcleo forem somente tensões tangenciais de compressão (Schulz, 1968), convencionalmente adotadas, tensões com valores negativos. Caso essas tensões tangenciais de compressão apresentem valores positivos, há a possibilidade de inserir um anel intermediário entre o núcleo e a capa. Este anel intermediário é normalmente composto de aço (AISI S1 ou AISI H13). Este material possui maior tenacidade e, conseqüentemente, maior resistência à tração, assim como a capa. O anel intermediário é montado com determinada interferência dimensional com o núcleo para evitar o surgimento de tensões tangenciais de tração e, posteriormente montado com a capa com a mesma finalidade. Essa matriz é normalmente chamada de “*Matriz com Duplo Encarçamento*”.

## 2.4. Desenvolvimento do Projeto

Inicialmente, desenvolveu-se uma matriz composta de um núcleo de metal duro (classe de resistência G4) montado em uma capa de aço (AISI H13), conforme Fig. (2). As composições químicas do metal duro G4 e do aço AISI H13 são apresentados nas Tab. (1) (Schulz, 1968) e Tab. (2) (VILLARES METALS, 2007) respectivamente.

Tabela 1. Composição química média do metal duro G4 (%)

%WC	%Co
80	20

Tabela2. Composição química média do Aço AISI H13 (%)

%C	%Mn	%Mo	%Si	%Cr	%V
0,40	0,35	1,30	1,00	5,20	0,90

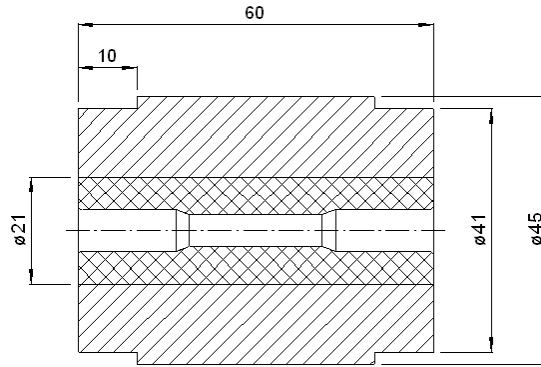


Figura 2. Matriz com encarcamento simples

O rendimento médio desta ferramenta foi baixo e a matriz retirada de máquina por quebras excessivas. O aspecto da quebra era característico da ação das tensões tangenciais de tração geradas na ferramenta durante o processo de forjamento.

Então, para verificar os níveis de tensões tangenciais aos quais o núcleo estava sendo solicitado, foi realizada a simulação do processo de forjamento deste produto.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Resultados obtidos na Simulação

O resultado da simulação das tensões tangenciais na ferramenta é apresentado na Fig. (3). Através da simulação, é possível visualizar que em algumas regiões do núcleo as tensões tangenciais estão com valores positivos, indicando tensões de tração. Conforme apresentado na seção 2.3, estas tensões tangenciais positivas implicam na quebra da matriz em um curto período de utilização. Portanto, o projeto da matriz teria que ser melhorado para haver um aumento na vida útil, pois as dimensões do núcleo, da capa e a interferência de montagem da matriz estavam inadequadas em relação à pressão interna que estava sendo gerada durante o forjamento.

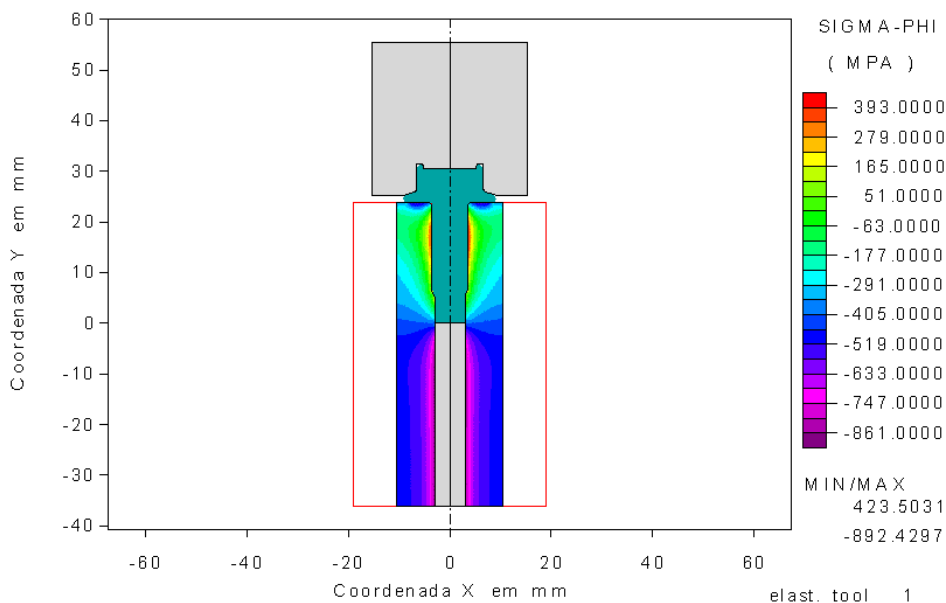


Figura 3. Nível de tensões tangenciais da matriz com encarcamento simples

Com base nos resultados apresentados pela simulação, desenvolveu-se uma matriz, conforme mostrado na Fig. (4). Esta nova matriz utiliza o conceito do duplo encarcamento, composta por um núcleo de metal duro (classe de resistência G4), um anel intermediário de aço (AISI S1) e uma capa de aço (AISI H13), conforme discutido na seção 2.3. A composição química do aço AISI S1 é apresentada na Tab. (3) (VILLARES METALS, 2007).

Tabela3. Composição química média do Aço AISI S1 (%)

%C	%W	%Mo	%Si	%Cr	%V
0,45	2,00	0,20	1,00	1,40	0,20

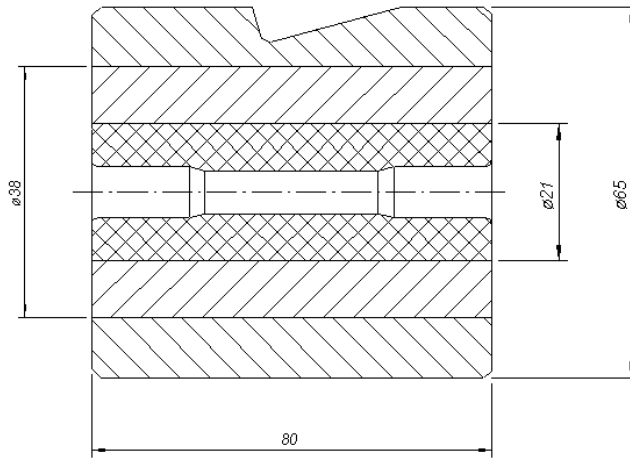


Figura 4. Matriz com duplo encarcamento

Os valores apresentados pela simulação da matriz com duplo encarcamento foram satisfatórios. Pode-se observar nas Fig. (5) e Fig. (6), que os valores de tensões tangenciais do núcleo e do anel intermediário apresentaram valores negativos, o que nos permite concluir que as dimensões do núcleo, do anel intermediário, da capa e as interferências de montagem da matriz estavam adequadas em relação à pressão interna que estava sendo gerada durante o forjamento.

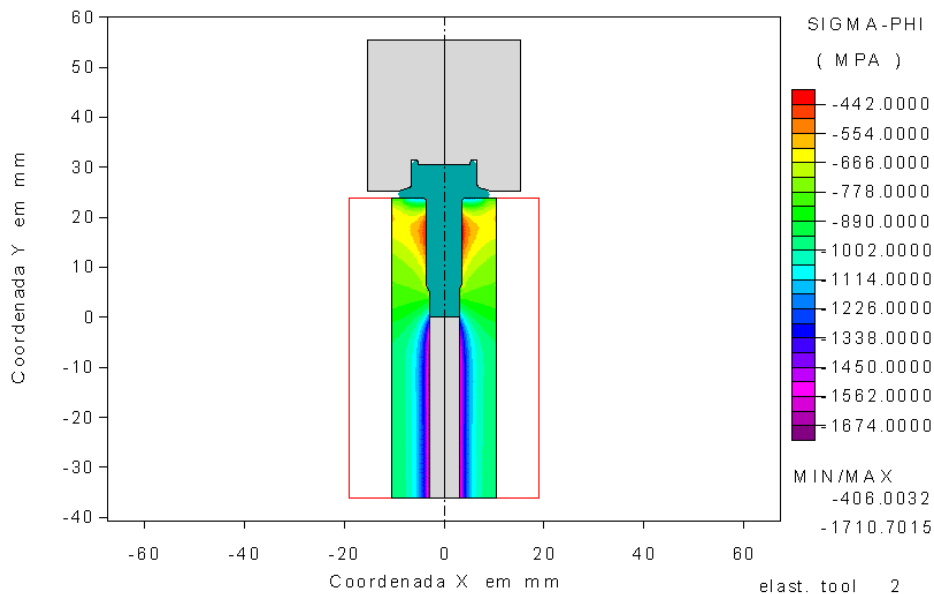
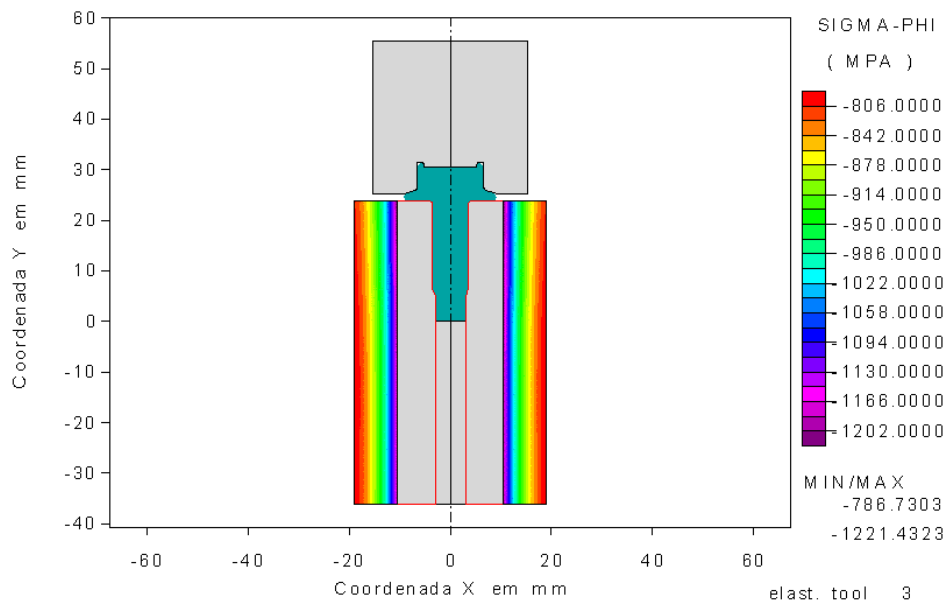
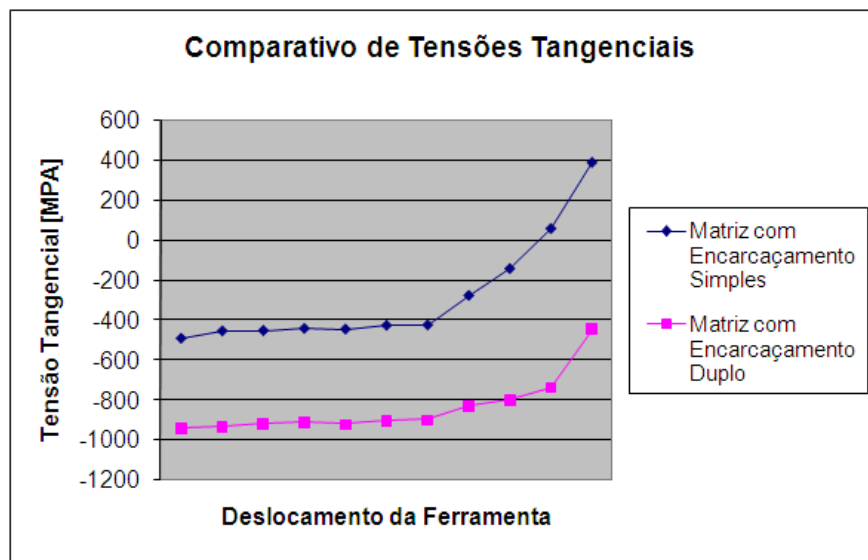


Figura 5. Nível de tensões tangenciais do núcleo de metal duro da matriz com duplo encarcamento



**Figura 6. Nível de tensões tangenciais do anel intermediário da matriz com duplo encarcamento**

A Figura (7) apresenta um gráfico comparativo das tensões tangenciais entre a matriz com simples encarcamento (Fig. (3)) e a matriz com duplo encarcamento (Fig. (5)).



**Figura 7. Comparativo das tensões tangenciais na matriz para os dois projetos analisados**

#### 4. CONCLUSÕES

Após os resultados da simulação, foram confeccionadas matrizes com a nova configuração de projeto, com duplo encarcamento. O rendimento médio destas matrizes, após a otimização apresentada neste estudo, foi de 150.000 peças produzidas, valor muito superior se comparado ao rendimento médio das matrizes com encarcamento simples, apenas 5.000 peças por matriz. Esta diferença nos valores de vida útil justifica os custos inerentes a alteração do projeto para a nova configuração.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Ciser Parafusos e Porcas pela oportunidade e pelo incentivo, fundamentais para a realização do estudo.

#### 6. REFERÊNCIAS

Schulz, E. Cálculo de úteis pretensados para la estampación em frio de aceros. Alambre, Coburg, n. 61, p. 1-13- 376, 1968.

VILLARES METALS. Catálogo técnico sobre aços ferramenta. São Paulo, 2007.

## **7. DIREITOS AUTORAIS**

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.