

UMA NOVA PROPOSTA PARA O PROJETO E FABRICAÇÃO DE FERRAMENTAS EM FORJAMENTO A FRIO.

1. Villas Bôas Daniel

Resumo:

Este trabalho está direcionado para o forjamento a frio de peças com geometria complexa, que exigem grandes solicitações da matriz para suportar os esforços durante a operação, comprometendo sua vida útil. Objetiva-se aumentar a vida útil da ferramenta pela utilização de uma nova metodologia, baseada na simulação das operações de forjamento, utilizando-se um software comercial (FEM – eesy-2-form). Os resultados permitem avaliar o comportamento plástico da matéria-prima, e estabelecer a quantidade de operações necessárias para o forjamento. Na seqüência utilizou-se um software comercial (Matria), para análise de carregamento no inserto e anéis de contração. Esse permite dimensionar, otimizar e quantificar os anéis necessários. Tem-se também um dado extremamente importante nesse estágio, que é a pressão de montagem entre inserto e anéis. Finalmente, essa pressão é transferida ao eesy-2-form para análise de comportamento elástico do inserto.

Palavras-chave: forjamento, frio, simulação.

1. Introdução

Este trabalho foi desenvolvido com uma empresa de forjamento a frio, e tem forte perfil teórico - experimental devido a problemas enfrentados diariamente no chão de fábrica.

Com o aumento do interesse em produção de peças cilíndricas forjadas a frio, com geometria complexa e quase acabadas, os processos tenderam cada vez mais a trabalhar-se no limite, como resultado temos o comprometimento da ferramenta, que passou a ser cada vez mais solicitada e exigida durante o processo. [1]

Esse fator influenciou fortemente no custo do produto final, devido à baixa vida útil da ferramenta, associada ao alto grau de reposição. Neste instante, foi necessária uma mudança na visão do projeto e processo de peças complexas, ou seja, princípios técnicos anteriores davam ao projetista um direcionamento padronizado para questões de seqüência de operações e dimensionamento de ferramentas, mas não os atribuía as reais condições das sobrecargas que as ferramentas sofrem durante o processo.

Atualmente, com o advento da computação e software de simulação focado para o processo, já é possível conhecer a intensidade da sobrecarga atuante, bem como as condições de tensões que o material trabalhado e ferramenta são submetidos, passo a passo em cada operação.[2]

2. A Simulação Auxiliando o Projeto

A simulação no processo de forjamento é aplicada para eliminar defeitos, prever, e otimizar variáveis do processo e prevenir falhas prematuras em ferramentas em fase de projeto. [3]

Entre os resultados de uma simulação, destacam-se:

- Conhecimento da carga necessária para formar a peça;
- Antecipação da geometria correta do blank, e volume ideal da peça forjada;
- Controle preciso de fluxo do material durante o processo de forjamento;
- Análise criteriosa das tensões na peça e ferramenta;
- Otimização de pré-carga no inserto e anéis, otimizando interferências, bem como montagem do ferramental.

Para a realização desse trabalho foram utilizados dois softwares:

- Easy-2-form – Direcionado a uma análise completa de tensões na peça conformada, e componentes da ferramenta onde se dá a conformação (inserto, punção e pino extrator), trata-se de um software baseado em Método dos Elementos Finitos (FEM).
- Matria – Analisa as condições do carregamento no inserto e anéis de contração, e estabelece uma seqüência de montagem para o ferramental, esse se baseia em modelos matemáticos mais simples.

3. Metodologia Utilizada

A metodologia baseia-se nos dois princípios de análises, e segue uma seqüência lógica para interpretação dos resultados, que juntos, auxiliam e otimizam todas as fases de projeto do ferramental antes da fabricação. A análise de tensões inicia-se com o material trabalhado através do eesy-2-form, devido a seu alto grau de precisão (figura 2). Uma informação importante é adquirida através do Matria, a interferência aplicada no inserto (figura 10), ou seja, o carregamento externo necessário para suportar as pressões internas devido o contato na interface inserto - material trabalhado, e finalmente, parte-se para a uma análise detalhada de tensões no inserto, punção e demais componentes da ferramenta (figura 4 e 5), através dos resultados inicia-se a fase final de execução do projeto. [5]

Ambos simuladores trabalham com banco de dados próprios para o aço trabalhado e ferramenta, que são experimentados e estabelecidos em laboratórios [4]. Portanto, as variáveis como as de tratamento térmico, atrito e temperatura, foram controladas conforme característica técnica do processo de forjamento a frio, procurando restabelecer a similaridade dos dados entre a prática e simulação.

Para obter uma nova proposta de projeto e atingir condições de melhorias, vamos partir para um exemplo que se trata de um experimento com planejamento teórico e comprovação experimental, portanto, escolheu-se uma ferramenta com alto índice de falha e reposição de inserto. Esse inserto tinha uma relação de vida útil estimada em aproximadamente 3000 peças forjadas, objetivou-se inicialmente atingir o dobro de sua vida útil, reduzindo pela metade o custo de reposição.

3.1 Análise da Capacidade de Prensa

Iniciaremos esse estudo a partir da análise de força para forjar a peça, essa tarefa se torna mais dificultosa e menos precisa de acordo com o grau de complexidade da geometria da peça, a capacidade adequada é dada através do simulador (eesy-2form) em todo o trajeto da ferramenta (figura 1). Portanto, temos a informação do equipamento ideal para realizar a operação de forjamento.

3.2 Análise da Peça

Durante a operação de forjamento, o material trabalhado passa por diferentes condições de deformação, originando concentrações de tensões que atingem diferentes regiões da peça formada, então é proporcionada a análise de tensões na peça durante todo o processo (figuras. 2 e 3), comparando o resultado com o limite de resistência do material trabalhado, no caso o aço DIN 16Mn Cr5, tem-se a decisão de uma intervenção correta no processo, ou seja, pode-se alterar o grau de deformação, ou até mesmo a geometria do blank, para esse caso não houve alterações no processo.

3.3 Análise do Carregamento no Inserto

Depois de definida as condições ideais de geometria do blank e peça, têm-se as informações dimensionais do forjado, bem como diâmetros internos do inserto, que pode ser subdividido em partes (figura 8). Cada um desses diâmetros é estudado separadamente através do software Matria (figura 9), a fim de obter-se a melhor condição de interferência ou carregamento.

Os dados são introduzidos no Matria através da utilização do diâmetro interno do inserto "D1" (figura 8), como entrada de dados para "D1" (figura 9), e o diâmetro externo do anel de contração "D4" (figura 8) para entrada de dados "D4" (figura 9), nesse caso foi utilizado um diâmetro externo padronizado (família de anéis).

Através desses dados, e a escolha ideal dos materiais para insertos e anéis no Matria, é possível otimizar os resultados e estabelecer a pressão ideal para o carregamento no inserto "Ps1" (figura 9). A pressão neste caso (623MPa), será fornecida para carregar o inserto no software eesy-2-form (figura 10), dando seqüência a sua análise elástica.

3.4 Análise da Ferramenta

Nessa análise utilizou-se o aço ferramenta M2, partiu-se também para uma análise completa de tensões durante todo o processo, pois as pressões exercidas pelo contato peça – inserto geram diferentes tensões ao longo do inserto (figuras 4 e 5), já na análise desses resultados, são comparados na maioria das vezes com o limite de escoamento do material [7], mas para esse caso exigiu-se uma análise de tensões mais criteriosa do material utilizado no inserto, através dessas comparações foi possível estabelecer a necessidade ou não de divisões no inserto, e até mesmo uma revisão no processo, prosseguindo este estudo, concluiu-se que devido à alta tensão axial registrada na figura 5 (620MPa), foi necessário alterar o projeto para diminuir essa tensão.

4. Solução Proposta

Através dos resultados obtidos na simulação, o ponto crítico é conhecido, nessa condição atual, o inserto é bipartido para eliminar o estado de concentração de tensões (figuras 6 e 7), e utilizou-se outro material com propriedade mecânica mais adequada ao processo (maior tenacidade), neste caso o SINTER 23. Observando-se a tensão axial de ambos insertos bipartidos, verifica-se uma considerada redução, ou seja, valores de 43MPa (figura 6) e 141MPa (figura 7).

5. Fabricação e Montagem da Ferramenta

Mediante a solução proposta, concluiu-se o projeto e iniciou-se a fabricação da ferramenta, onde os diâmetros entre inserto e anéis intermediários, interferências do ferramental, bem como seqüência de montagem é precisamente estabelecida (figura. 9). Nesse estágio, já é possível confirmar a efetivação dos resultados através da análise gráfica de tensões (figura. 11), onde um dos inserto subdividido encontra-se em regime de compressão e os demais anéis em regime de tração.

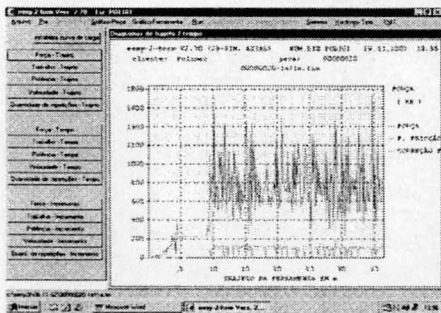


Fig.1 - Carga trajeto da ferramenta

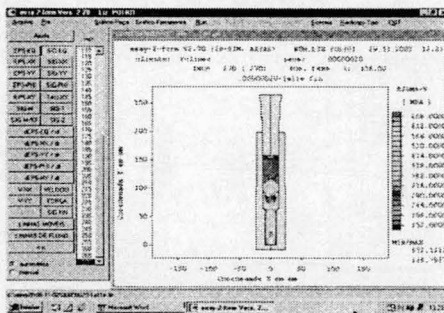


Fig.2 - Distribuição de tensão na peça

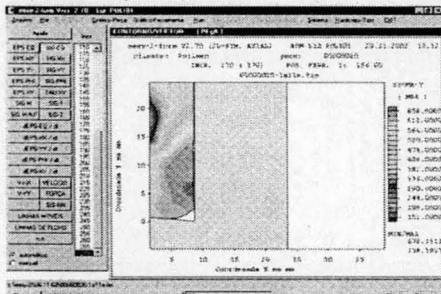


Fig.3 - Região com altas tensões

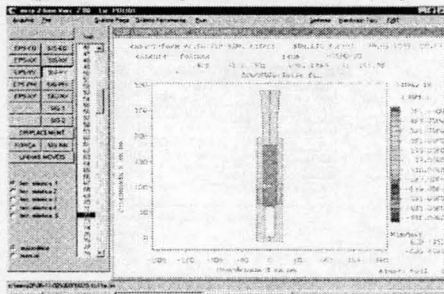


Fig.4 - Inserto crítico

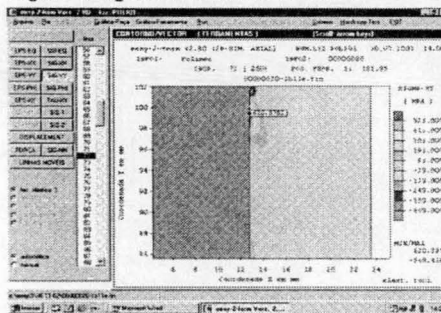


Fig.5 - Região de falha no inserto

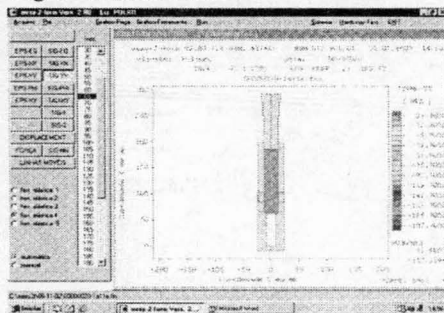


Fig.6 - Divisão 1 do inserto

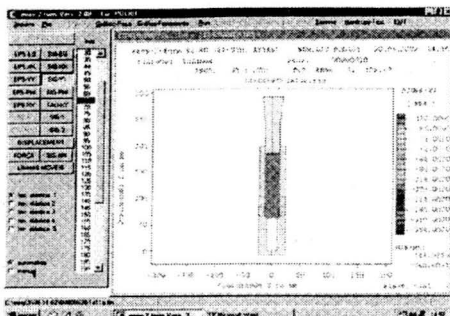


Fig.7 – Divisão 2 do inserto

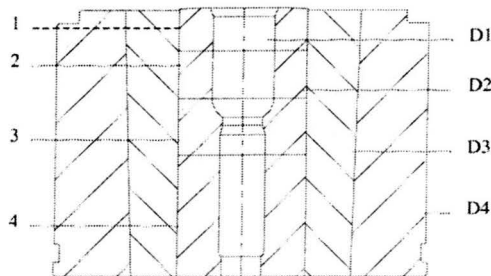


Fig.8 – Esquema de montagem

Substâncias		MatriA3																																						
D1	D2	D3	D4																																					
D1 25,58 mm	S2	S1	Sprache	D1 D2 D3 D4																																				
D2 58 mm																																								
D3 92 mm	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Werkstoffbezeichnung</th> <th>ASP23</th> <th>SNK213</th> <th>SNK213</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Werkstoffnummer</td> <td>1.2344 PW</td> <td>1.2721</td> <td>1.2721</td> </tr> <tr> <td>Physischer Zugs</td> <td>827</td> <td>826</td> <td>826</td> </tr> <tr> <td>E-Modul</td> <td>187000</td> <td>200</td> <td>200</td> </tr> <tr> <td>Ausdehnungskoeff.</td> <td>11</td> <td>250</td> <td>250</td> </tr> <tr> <td>Schwerkraft</td> <td>9,81</td> <td>10,00</td> <td>10,00</td> </tr> <tr> <td>Beschleunigung</td> <td>9,81</td> <td>25000</td> <td>25000</td> </tr> <tr> <td>Vergleichsspannung N/mm²</td> <td>1042</td> <td>1099</td> <td>877</td> </tr> <tr> <td>Tangentialspannung N/mm²</td> <td>0</td> <td>436</td> <td>596</td> </tr> </tbody> </table>				Werkstoffbezeichnung	ASP23	SNK213	SNK213	Werkstoffnummer	1.2344 PW	1.2721	1.2721	Physischer Zugs	827	826	826	E-Modul	187000	200	200	Ausdehnungskoeff.	11	250	250	Schwerkraft	9,81	10,00	10,00	Beschleunigung	9,81	25000	25000	Vergleichsspannung N/mm²	1042	1099	877	Tangentialspannung N/mm²	0	436	596
Werkstoffbezeichnung	ASP23	SNK213	SNK213																																					
Werkstoffnummer	1.2344 PW	1.2721	1.2721																																					
Physischer Zugs	827	826	826																																					
E-Modul	187000	200	200																																					
Ausdehnungskoeff.	11	250	250																																					
Schwerkraft	9,81	10,00	10,00																																					
Beschleunigung	9,81	25000	25000																																					
Vergleichsspannung N/mm²	1042	1099	877																																					
Tangentialspannung N/mm²	0	436	596																																					
D4 158 mm	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Innenring</th> <th>Mittelsring</th> <th>Außenring</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.2344 PW</td> <td>1.2721</td> <td>1.2721</td> </tr> <tr> <td>827</td> <td>826</td> <td>826</td> </tr> <tr> <td>187000</td> <td>200</td> <td>200</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>250</td> <td>250</td> </tr> <tr> <td>9,81</td> <td>10,00</td> <td>10,00</td> </tr> <tr> <td>9,81</td> <td>25000</td> <td>25000</td> </tr> <tr> <td>1042</td> <td>1099</td> <td>877</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>436</td> <td>596</td> </tr> </tbody> </table>				Innenring	Mittelsring	Außenring	1.2344 PW	1.2721	1.2721	827	826	826	187000	200	200	11	250	250	9,81	10,00	10,00	9,81	25000	25000	1042	1099	877	0	436	596									
Innenring	Mittelsring	Außenring																																						
1.2344 PW	1.2721	1.2721																																						
827	826	826																																						
187000	200	200																																						
11	250	250																																						
9,81	10,00	10,00																																						
9,81	25000	25000																																						
1042	1099	877																																						
0	436	596																																						
D1 1642 N/mm²	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Flügelgröße</th> <th>Flügelgröße</th> <th>Flügelgröße</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10,00</td> <td>10,00</td> <td>10,00</td> </tr> <tr> <td>25000</td> <td>25000</td> <td>25000</td> </tr> <tr> <td>10,00</td> <td>10,00</td> <td>10,00</td> </tr> <tr> <td>25000</td> <td>25000</td> <td>25000</td> </tr> </tbody> </table>				Flügelgröße	Flügelgröße	Flügelgröße	10,00	10,00	10,00	25000	25000	25000	10,00	10,00	10,00	25000	25000	25000																					
Flügelgröße	Flügelgröße	Flügelgröße																																						
10,00	10,00	10,00																																						
25000	25000	25000																																						
10,00	10,00	10,00																																						
25000	25000	25000																																						
S1 6 Ø/00	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Flügelgröße</th> <th>Flügelgröße</th> <th>Flügelgröße</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10,00</td> <td>10,00</td> <td>10,00</td> </tr> <tr> <td>25000</td> <td>25000</td> <td>25000</td> </tr> <tr> <td>10,00</td> <td>10,00</td> <td>10,00</td> </tr> <tr> <td>25000</td> <td>25000</td> <td>25000</td> </tr> </tbody> </table>				Flügelgröße	Flügelgröße	Flügelgröße	10,00	10,00	10,00	25000	25000	25000	10,00	10,00	10,00	25000	25000	25000																					
Flügelgröße	Flügelgröße	Flügelgröße																																						
10,00	10,00	10,00																																						
25000	25000	25000																																						
10,00	10,00	10,00																																						
25000	25000	25000																																						
S1 9,35 mm	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Flügelgröße</th> <th>Flügelgröße</th> <th>Flügelgröße</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10,00</td> <td>10,00</td> <td>10,00</td> </tr> <tr> <td>25000</td> <td>25000</td> <td>25000</td> </tr> <tr> <td>10,00</td> <td>10,00</td> <td>10,00</td> </tr> <tr> <td>25000</td> <td>25000</td> <td>25000</td> </tr> </tbody> </table>				Flügelgröße	Flügelgröße	Flügelgröße	10,00	10,00	10,00	25000	25000	25000	10,00	10,00	10,00	25000	25000	25000																					
Flügelgröße	Flügelgröße	Flügelgröße																																						
10,00	10,00	10,00																																						
25000	25000	25000																																						
10,00	10,00	10,00																																						
25000	25000	25000																																						
S2 2,2 Ø/00	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Flügelgröße</th> <th>Flügelgröße</th> <th>Flügelgröße</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10,00</td> <td>10,00</td> <td>10,00</td> </tr> <tr> <td>25000</td> <td>25000</td> <td>25000</td> </tr> <tr> <td>10,00</td> <td>10,00</td> <td>10,00</td> </tr> <tr> <td>25000</td> <td>25000</td> <td>25000</td> </tr> </tbody> </table>				Flügelgröße	Flügelgröße	Flügelgröße	10,00	10,00	10,00	25000	25000	25000	10,00	10,00	10,00	25000	25000	25000																					
Flügelgröße	Flügelgröße	Flügelgröße																																						
10,00	10,00	10,00																																						
25000	25000	25000																																						
10,00	10,00	10,00																																						
25000	25000	25000																																						
S2 0,282 mm	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Flügelgröße</th> <th>Flügelgröße</th> <th>Flügelgröße</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10,00</td> <td>10,00</td> <td>10,00</td> </tr> <tr> <td>25000</td> <td>25000</td> <td>25000</td> </tr> <tr> <td>10,00</td> <td>10,00</td> <td>10,00</td> </tr> <tr> <td>25000</td> <td>25000</td> <td>25000</td> </tr> </tbody> </table>				Flügelgröße	Flügelgröße	Flügelgröße	10,00	10,00	10,00	25000	25000	25000	10,00	10,00	10,00	25000	25000	25000																					
Flügelgröße	Flügelgröße	Flügelgröße																																						
10,00	10,00	10,00																																						
25000	25000	25000																																						
10,00	10,00	10,00																																						
25000	25000	25000																																						

Fig.9 – Resultados do Matria

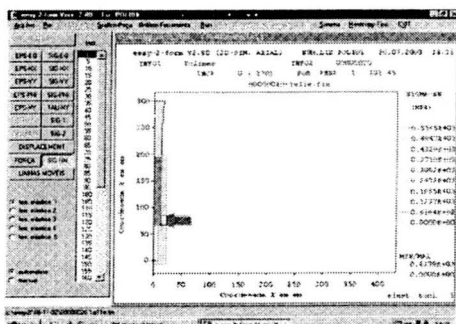


Fig.10 – Carregamento no inserto

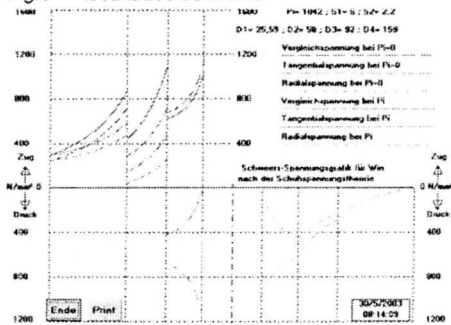


Fig.11 – Resultado gráfico do Matria

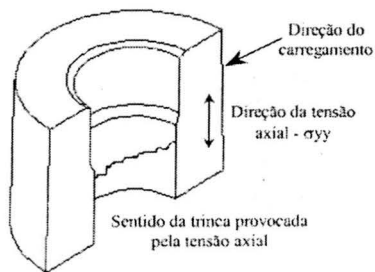


Fig.12 - Visão real da falha

Observação:

— A figura 8 - representa a montagem da ferramenta já otimizada com as respectivas subdivisões de insertos (1-4), na ferramenta sem modificação a subdivisão 1 e 2 não existia quando apresentava falha (figura 4).

— A figura 12 - representa a direção da tensão axial, o inserto está apoiado na superfície inferior sobre outra parte da ferramenta, e como o diâmetro externo tem formato cônico, a superfície externa não é paralela ao eixo de simetria, logo, o carregamento externo provocado pela interferência não está na direção radial (direção do eixo x). Baseado nessa condição, a decomposição desse carregamento tem uma componente na direção radial e uma componente na direção axial.

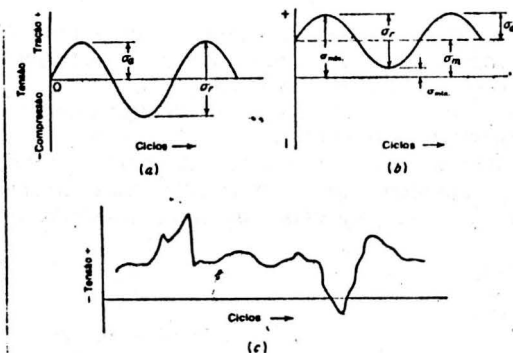


Fig.15 – Gráficos do estado de tensões

_ A figura 15 corresponde os ciclos de tensões típicos em fadiga [6], portanto, é importante que o inserto não tenha comportamento semelhante ao gráfico (a) e (c) quando solicitado em trabalho. Caso o comportamento for similar ao gráfico (b), e sua fabricação for proveniente do aço rápido, é necessário estabelecer um limite máximo para a tensão trativa. O comportamento que asseguraria maior vida útil ao inserto é semelhante ao gráfico (b), porém sobre estado de compressão para inserto fabricado de aço rápido e principalmente metal duro. Finalmente, durante o forjamento de uma peça, a tensão axial a que o inserto era submetido tinha similaridade ao gráfico (b), mas com valores extremamente elevados. Como a produção dessa peça é estipulada em lotes aproximados de 10.000 peças, tal fenômeno ocorre em ciclos repetitivos, caracterizando uma situação de fadiga. Existem outros estados de tensões que foram analisados, mas não foi justificado nesse trabalho por não apresentarem situações críticas.

6. Conclusão

Essa ferramenta é utilizada no processo de forjamento a frio, fazia parte de sua vida útil à quantidade de 3000 peças, atualmente já é favorável à quantidade de 15000 peças, pensando-se em triplicar esse resultado.

A experiência está sendo atribuída a outras ferramentas críticas, que já obtiveram resultados satisfatórios em trabalho.

Através da margem de segurança adquirida com esse novo conceito, o desenvolvimento de novos produtos ganhou mais velocidade na sua execução.

Atualmente, tem-se mais agilidade e competitividade em retornos de orçamentos.

Bibliografia

- [1] Bôas, V.D. **Estudo do Processo de Forjamento a Frio de Peças Automotivas**. São Paulo: Tese de Mestrado – Unicamp, 1998. P. 200.
- [2] Bramley, N.A; Mynors, J.D. **The use of Forging Simulation Tools**. Materials and Design, 21(2000). P. 279-286.
- [3] Hyunkee, K; Tetsuji, Y; Masahito, Y. **FE Simulation must Tool in Cold/Warm Forging Process and Tool Design**. Journal of Materials Processing Technology, 98 (2000). P. 143-149.
- [4] Roque, C.M.O.L; Chen, J; Pan, C; Button, S. T. **Metal Forming Simulation Using A Meshless Method** In: II Cong. Int. de Tecn. Metal. e de Materiais Anais do Congresso. SÃO PAULO - SP - BRASIL: , 1998. v.CD-ROM.
- [5] Santos, W, J; Müller, D; Glufke, A, L; Schaeffer, L. **Recursos Informáticos Agilizam o Processo de Conformação**. São Paulo: Revista Máquinas e Metais, 07/2001. P.146-157.
- [6] Shigley, E. J. **Mechanical Engeneering Design**; Michigan: McGraw-Hill, second edition, 1972. P. 219-288.
- [7] Taylan, A; Harold, L, G. tradução de Coelho, T, R; Adami, A,L. **Conformação Plástica de Metais: fundamentos e aplicações**; São Paulo: EESC/USP, 1999. P. 366.

A NEW METHODOLOGY FOR THE DESIGN AND MANUFACTURING OF COLD FORGING DIES

6. Villas Bôas Daniel

Abstract:

This work is related to the cold forging of complex parts that involve high stresses on the forging dies caused by the extreme forging loads that can significantly reduce tools life. The main objective of this work is to improve the life of cold forging dies by using a new methodology based on the simulation of the forging stages with a commercial software (FEM – eesy-2-Form). Simulation results allow to analyze the plastic flow of the raw material and to define the ideal number of forging stages. Also it was used another commercial software (Matria) to analyze the stresses on inserts and shrink rings. With Matria it is possible to design, optimize and calculate the number of rings. The assembly interference tensions between the die and rings are also easily calculated. Finally these tensions are transferred to Eesy Form 2 to analyze the elastic deformations of the forging die.

Keywords: cold forging, simulation