

# Simulação Computacional na Produção de Rolamento de Junta Homocinética



Tiago S. Gomes, LdTM - UFRGS, Porto Alegre/RS  
Diego Lima, LdTM - UFRGS, Porto Alegre/RS  
Gianpaulo Medeiros, LdTM - UFRGS, Porto Alegre/RS  
Tiago Colombo, LdTM - UFRGS, Porto Alegre/RS  
Lirio Schaeffer, LdTM - UFRGS, Porto Alegre/RS

Esse artigo tem como objetivo o estudo de uma anomalia de processo, que pode ocorrer em um dos componentes que compõem um eixo homocinético. Através da simulação computacional são analisadas as etapas que compõem o processo de fabricação do componente. Com os resultados da simulação, e com o conhecimento adquirido por experimentos anteriores, é possível caracterizar que o defeito ocorre na etapa de furação. Nessa etapa ocorrerá uma distorção da geometria final da peça

A origem do nome homocinética vem de: homo = igual, cinético = movimento. São componentes que têm a função de transmitir de forma constante a força (torque) do motor às rodas. Sua aplicação na linha automotiva aumentou com a adoção da tração dianteira nas últimas duas décadas. Basicamente, nos veículos com este tipo de tração são usados dois semieixos, um para cada roda motriz.

Cada semieixo é composto por duas juntas homocinéticas, uma fixa (lado roda) e outra deslizante (lado câmbio), podendo em algumas versões utilizar a deslizante tripóide (trizeta) em substituição às juntas deslizantes V.L. e D.O. A combinação das Juntas Universais Fixas e Deslizantes apresenta a vantagem de permitir maiores ângulos de trabalho, menor raio de giro em veículos de tração dianteira, maior capacidade de torque etc.

As juntas são compostas de um anel externo, outro interno, uma

gaiola de esferas e seis ou oito esferas, dependendo da configuração.

O caso específico a ser estudado será da peça que posiciona as esferas dentro de uma das extremidades da junta, conforme ilustra a Figura 1.

O anel interno é fabricado em um processo composto por quatro estágios, conforme ilustrado na Figura 2. Um tarugo de aço DIN 20MnCr5 e com um volume aproximado de 91,21 cm<sup>3</sup> entra no primeiro estágio a uma temperatura de 990° C.

Ele é conformado e passa para o estágio seguinte através de um sistema automatizado, assim suscetivelmente até sair da máquina com todo o processo de forjamento finalizado.

Um dos possíveis defeitos que podem surgir é a falta de material na peça forjada, conforme ilustra a Figura 3, que somente será detectado após a retífica.

O objetivo desse trabalho é, com a ajuda da simulação numérica computacional, identificar as possíveis causas desse efeito.

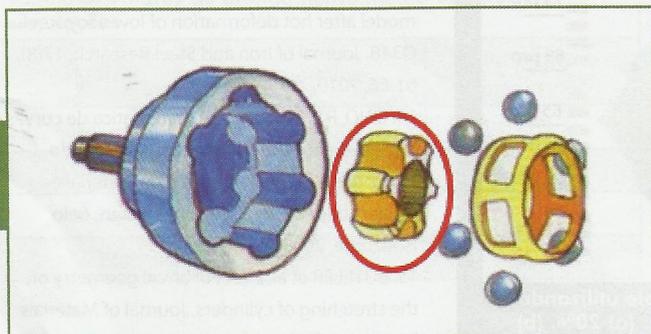


Figura 1. A peça a ser estudada está destacada na ilustração acima, que chamaremos de anel interno [1]

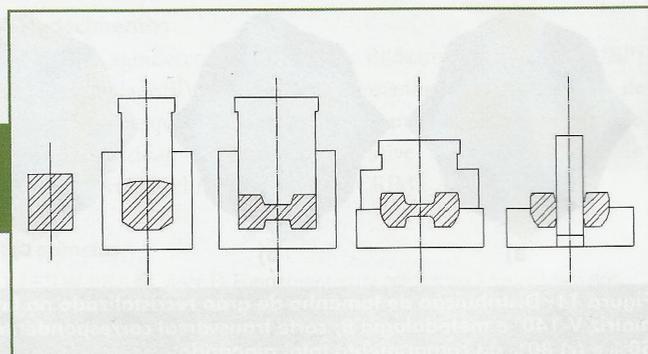


Figura 2. Esquema ilustrativo das etapas de prensa

# Simulação na Produção de Rolamentos

## Descrição do Processo

### Aspectos de Maquinário

O anel interno é produzido por uma prensa mecânica excêntrica e é dividido em quatro estágios. Uma definição importante é a descrição do equipamento, pois ela define parâmetros importantes do processo de conformação, como a velocidade de deformação e força total. Nesse contexto, é habitual que as prensas mecânicas sejam dimensionadas pelos fabricantes em função do processo de fabricação a que se destinam, de modo que as forças nominais sejam ideais com as características dos processos [2]. Assim, é necessário saber o raio da nivela, comprimento da biela, velocidade de revolução, que são os principais parâmetros para esse tipo de operação.

Os dois primeiros são intrínsecos da prensa e são dados obtidos por meio do fabricante do equipamento. Já a velocidade de revolução é inerente ao processo. Para esse estudo será utilizado um valor que comumente é utilizado na indústria para esse processo. A Figura 4 ilustra um esquema básico deste tipo de equipamento. A Tabela 1 apresenta os parâmetros de prensa adotados nas simulações numéricas.

Parâmetro	Valor
Raio da nivela (mm)	400
Comprimento de haste (mm)	1300
Velocidade de Revolução (rotação/min)	22

### Aspectos do Material

A tensão de escoamento ( $k_f$ ) é um dos parâmetros fundamentais do processo de forjamento e o conhecimento desse parâmetro para materiais a serem conformados torna-se imprescindível para quantificar força, trabalho, preenchimento da ferramenta, desgaste de ferramenta, tensões na ferramenta etc. [3]

A Figura 5 ilustra as curvas utilizadas nesse trabalho, retiradas do banco de dados do software de simulação Simufact Forming 10.0, juntamente aos demais dados referentes a este material.

### Aspectos de Temperatura e Troca de Calor

Outro aspecto do processo que é importante relatar é em relação à temperatura. Os parâmetros térmicos necessários para a realização de simulação numérica de processos de forjamento podem ser classificados em dois grupos: propriedades dos materiais e características do processo [4]. O tarugo entra no processo por volta de  $990^\circ\text{C}$ , porém tende a perder calor à medida em que passa pelos estágios da prensa. Essa perda de calor ocorre devido ao contato da peça com as matrizes e também para o ambiente. Essa troca de calor entre peça e ferramenta é influenciada pela taxa de transferência de calor tarugo-matriz, da temperatura de contato local do tarugo e da temperatura da matriz.

Algumas dessas informações necessitam de experimentos para ter uma descrição exata de processo, porém nesse trabalho foram utilizados dados obtidos na produção industrial. A Tabela 2 apresenta



Figura 3. Defeito aparente na peça após passar pelo processo de retificação

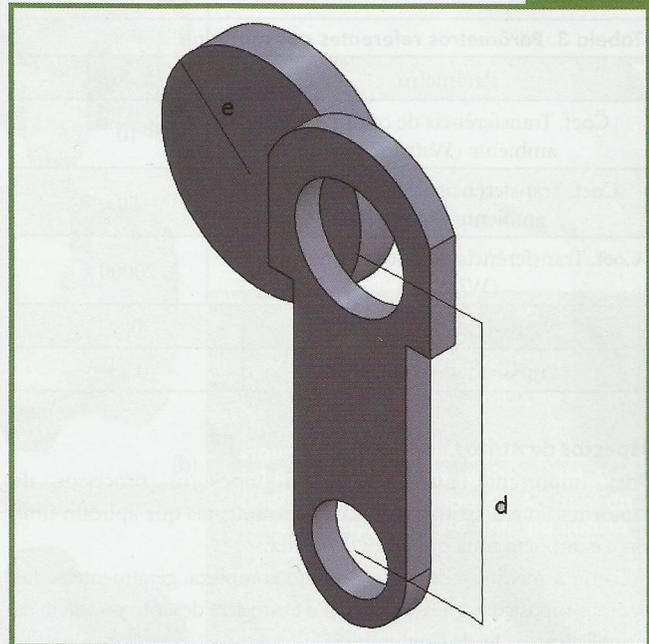


Figura 4. Esquema simplificado de uma prensa mecânica excêntrica

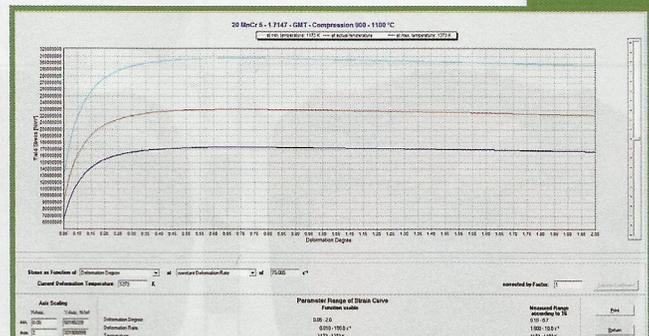


Figura 5. Curvas de escoamento do banco de dados do software de simulação

# Simulação na Produção de Rolamentos

os valores de temperatura em cada estágio da operação.

Tabela 2. Parâmetros referentes ao processo				
	Estágio 1	Estágio 2	Estágio 3	Estágio 4
Temperatura da peça (°C)	990	960	930	900
Temperatura da Ferramenta (°C)	300	270	240	210
Velocidade de Revolução (rotação/min)				22

As taxas de transferência de calor utilizadas são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Parâmetros referentes aos materiais	
Parâmetro	Valor
Coef. Transferência de calor peça-ambiente (Watt/m <sup>2</sup> K)	10
Coef. Transferência de calor matriz-ambiente (W/m <sup>2</sup> K)	50
Coef. Transferência de calor matriz-peça (W/m <sup>2</sup> K)	20000
Emissividade da peça	0,8
Emissividade da matriz	0,25

## Aspectos de Atrito

Uma importante preocupação em todos os processos de conformação é o atrito entre peça e ferramentas que aplicam uma força e impõem uma mudança de forma.

Como a mecânica de atrito é muito complexa, geralmente se faz algumas suposições e nesse trabalho o atrito será descrito por meio da simplificação da lei de Coulomb [5].

$$\mu = \frac{\tau}{\sigma_N}$$

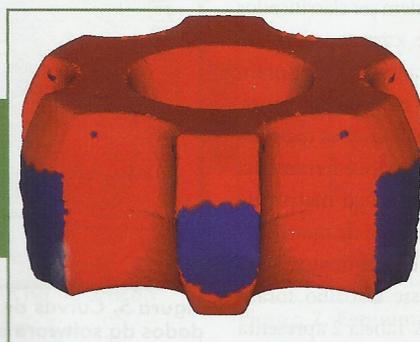
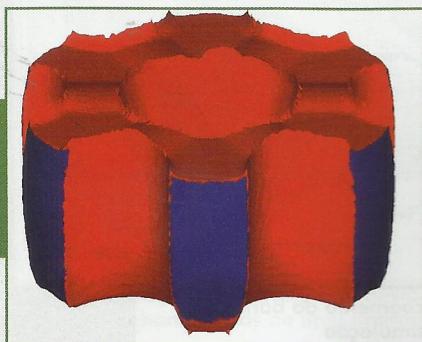


Figura 7. (a) Final da segunda etapa e (b) Final da terceira etapa. A parte da peça que está na cor vermelha é onde a peça está em contato com a matriz. A parte na cor azul representa onde não houve contato

Onde  $\mu$  é o coeficiente de atrito,  $\tau$  é a tensão de cisalhamento na interface e  $\sigma_N$  é a tensão normal à interface de contato. Assim, o valor do coeficiente de atrito utilizado é de 0,15. Esse valor foi retirado do banco de dados do software para um aço semelhante o DIN 16MnCr5.

## Montagem da Simulação

Após todos os parâmetros necessários inseridos, foi iniciado o processo de montagem da simulação computacional, utilizando o software Simufact Forming 10.0.

As etapas foram montadas uma de cada vez e realizadas separadamente, pois o resultado de cada etapa é a peça de entrada do próximo estágio. O curso de cada punção é determinado pela redução de altura necessária, ou no caso do último estágio, é determinando o deslocamento necessário pra a matriz atravessar a peça.

A Figura 6 ilustra como é a interface do software com o programador, onde são vistos as montagens das etapas e também todos os parâmetros necessários para a realização da simulação.

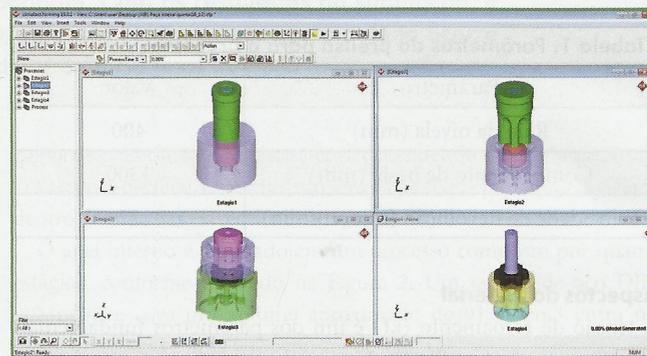


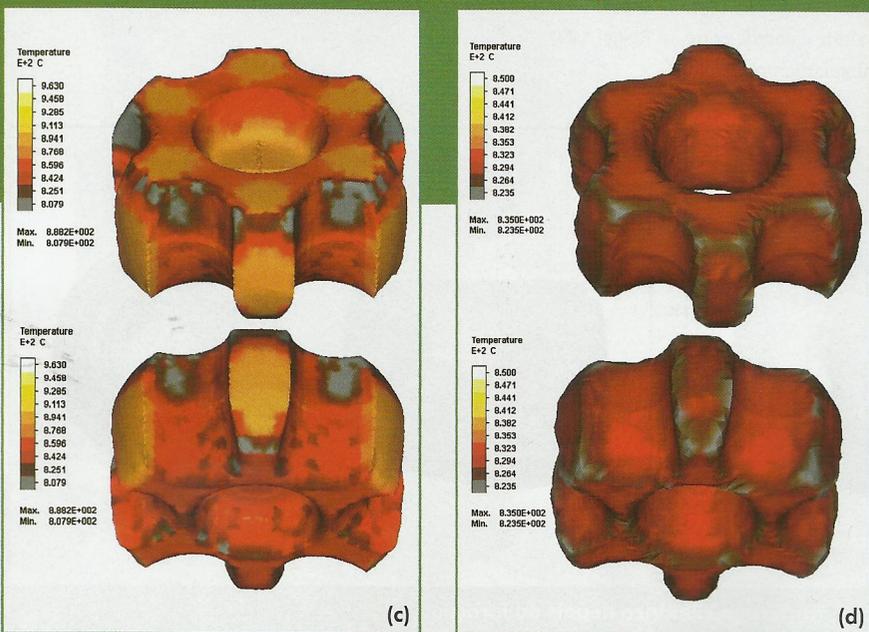
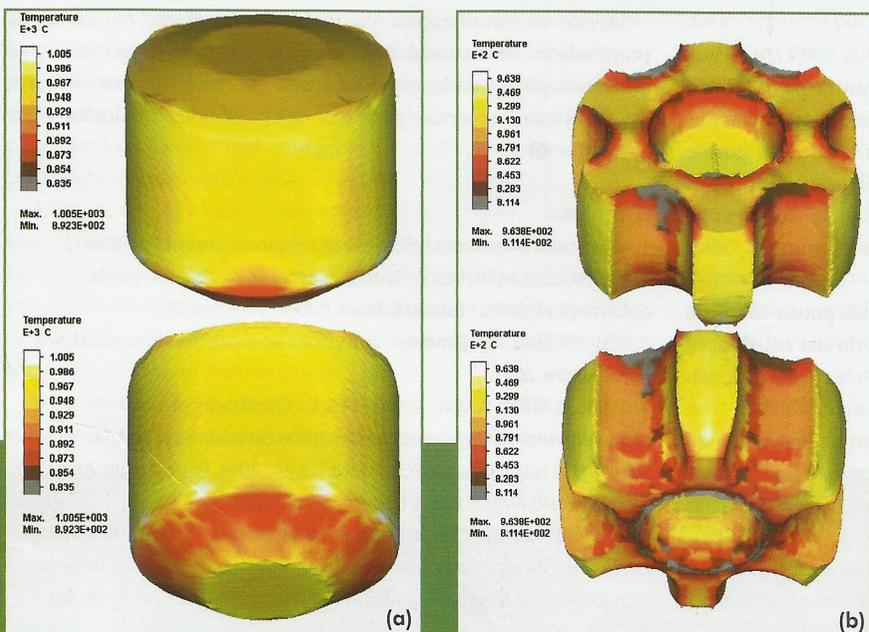
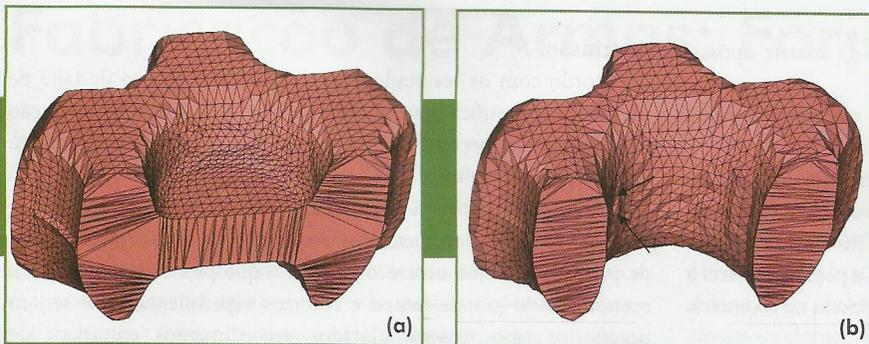
Figura 6. As quatro etapas do processo montadas no software de simulação

## Resultados e Discussão

### Aspectos Geométricos

Os primeiros resultados que foram analisados foram as geometrias após cada etapa de simulação. Foi feita uma comparação entre o desenho técnico fornecido pela empresa com os resultados da simulação. Foi observado que, utilizando os parâmetros de redução necessários para manter a peça com a geometria desejada, não

# Simulação na Produção de Rolamentos



# Simulação na Produção de Rolamentos

houve um preenchimento total das cavidades da matriz após o primeiro estágio.

É necessário uma análise dessas pré-formas na produção para identificar se esse efeito também ocorre.

Ainda em relação à geometria tem um efeito que ocorre no quarto estágio da simulação. No processo de furação ocorre uma pequena deformação na geometria da peça. A Figura 8 (a) ilustra a peça antes de sofrer a etapa de furação, e a Figura 8 (b) ilustra a peça após sofrer a furação, na qual é possível perceber um pequeno desvio na geometria na parede do furo (indicado por setas).

## Aspectos de Temperatura

A temperatura inicial do processo simulado foi de 990°C, e a cada passo do processo a peça foi perdendo temperatura pelo contato com as matrizes e para o ambiente. Como explicado anteriormente, esses coeficientes de troca de calor foram retirados de literatura e empregados na programação de simulação. A Figura 9 (a, b, c, d) ilustra a distribuição de temperatura para cada estágio do forjamento.

Não houve medições experimentais para comparar essas temperaturas com o processo real.

No último estágio ocorre um fenômeno que fica pouco claro nas simulações, mas por ensaios realizados no laboratório sua visualização fica clara. Quando a peça entra no último estágio ela encontra-se nas medidas externas finais ideais, faltando apenas o furo no centro.

Nessa etapa de retirada de massa pode haver um deslocamento do material causado pelas tensões intrínsecas do processo, e assim causar um abaulamento na peça, distorcendo sua geometria final, que já havia sido obtida.

Em um experimento simples feito em laboratório, onde um tarugo cilíndrico também sofre o processo de furação, ocorrem alterações geométricas, ilustradas na Figura 10.

A face externa do tarugo, que antes era retilínea, sofre uma considerável deformação. Somado a isso, fica claro que na região onde a parede entre o furo/superfície da peça é mais estreita, ocorre um abaulamento maior.

## Conclusão

De acordo com os resultados, possivelmente o defeito de falta de material após retífica deve-se a uma distorção causada na operação de furação da peça, a qual necessita ser otimizada visando à eliminação do defeito.

A simulação numérica é bastante útil neste estudo de caso, onde pôde-se detectar, por meio dos resultados de simulação, a etapa de processo em que ocorre o defeito, e que precisa ser otimizada, economizando grande tempo e recursos experimentais que seriam necessários caso fossem adotados procedimentos empíricos de “tentativa e erro”.

Devido às considerações discutidas anteriormente, em relação às propriedades de material utilizadas nas simulações, recomenda-se obter estas propriedades experimentalmente e inseri-las nos softwares de simulação numérica, para que sejam obtidos resultados mais confiáveis. 🌀

## Referência

1. <http://bestcars.uol.com.br/ct/homoc.htm> acessado em 19/03/2012
2. RODRIGUS, J, MARTINS, P. - Tecnologia mecânica - Tecnologia da deformação Plástica - Escolar Editora. Lisboa. 2005; vol. 2
3. SCHAEFFER, L. - Forjamento - Introdução ao processo. - Imprensa Livre. Porto Alegre. 2001.
4. GEIER, M, BRITO, A.M.G., SCHAEFFER, L. - Otimização de um processamento de forjamento pelo método de volumes finitos. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE FORJAMENTO, 24., 2004, Porto Alegre. Anais 24° Senafor. Porto Alegre: Brasul Ltda, p. 85-102, 2004.
5. LENHARD JR., A. L. - Análise da influência das propriedades do material e parâmetros de processo na simulação numérica do processo de forjamento - Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. PPGEM, 2007
6. SCHAEFFER, L. - Deformação dos metais. Metalurgia & mecânica. Editora Riegel, 1997.



Figura 10. (a) Tarugo cilíndrico antes da furação. (b) Tarugo cilíndrico depois da furação