



ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS TÉRMICOS NA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DO PROCESSO DE FORJAMENTO

Jefferson Willyams Silva dos Santos

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, jefferson.santos@ufrgs.br

Lirio Schaeffer

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, schaeffer@ufrgs.br

Resumo. *O uso de programas computacionais de simulação numérica nas indústrias do setor metal-mecânico brasileiro vem crescendo substancialmente nos últimos anos. Tal uso se dá a partir da aquisição de um pacote fechado, ou seja, é adquirido um programa comercial que funciona como uma espécie de “caixa-preta” onde, a partir de dados inseridos, são obtidos determinados resultados. A obtenção de propriedades relacionadas à transferência de calor tem sido estudada em muitos países, uma vez que determinados coeficientes podem variar em função de sua composição química ou propriedades como a temperatura, por exemplo. A literatura, que normalmente serve como fonte de dados, apresenta uma considerável discrepância de valores para parâmetros como peso específico, calor específico, condutividade térmica, entre outros. O objeto de estudo deste trabalho é justamente avaliar até que ponto as variações nos parâmetros térmicos mais importantes relacionados ao forjamento influenciam nos resultados de uma simulação. Para tanto foi utilizada uma peça de geometria relativamente simples que serviu de modelo para verificar o efeito de cada variável.*

Palavras-chave: *Forjamento; Simulação Computacional; Parâmetros Térmicos.*

1. INTRODUÇÃO

Durante as duas últimas décadas, o desenvolvimento de tecnologia vem se tornando um fator preponderante na competitividade entre as indústrias do setor metal-mecânico. Busca-se cada vez mais produzir componentes com menor custo, maior qualidade final e com maior valor agregado em cada etapa de produção.

No caso do forjamento, um processo de conformação mecânica amplamente utilizado em virtude de sua boa precisão dimensional, pouca perda de material e excelentes propriedades mecânicas conferidas à peça, a obtenção da seqüência de produção ideal é complexa. Muitas vezes essa seqüência é obtida por métodos empíricos e isso leva à realização de muitos testes e ajustes, que tornam o projeto caro e dependente de recursos humanos muitas vezes não disponíveis.

Por volta da década de 80, ganhou força, conforme comentam Koller e Schaeffer, 2000, a análise via simulação numérica. Diversos códigos acadêmicos e comerciais passaram a ser uma realidade nas universidades, centros de pesquisa e no setor industrial. Dentre os métodos mais utilizados destacam-se o MEF (Método dos Elementos Finitos) e o MVF (Método dos Volumes Finitos).

Pelo fato de se tratar de uma tecnologia recente, muitas empresas adquirem um determinado software baseado em indicações ou pesquisa bibliográfica, o que resulta na aquisição de uma espécie de “caixa-preta” onde são inseridos dados e obtidos resultados nem sempre confiáveis. A confiabilidade dos resultados varia muito de acordo com o software utilizado e correta discretização das geometrias, propriedades dos materiais e parâmetros do processo.

Preenchimento parcial de matrizes, defeitos na peça e nas matrizes, bem como força de forjamento, distribuição de temperatura, de tensões e grau de deformação são alguns dos parâmetros passíveis de análise via simulação numérica. Desta forma é possível reduzir o tempo de projeto, além de eliminar o dispendioso método da “tentativa e erro”.

Em se tratando de desenvolver um novo processo de forjamento ou melhorar um já existente com o auxílio da simulação, deve-se ter em mente quais os principais parâmetros que um software comercial requer como dados de entrada. Não obstante, é necessário saber como encontrar estes dados, visto que eles normalmente não são fornecidos pelo vendedor do software. A Figura (1.1) mostra alguns dos principais fatores que podem influenciar diretamente nos resultados de uma simulação numérica do processo de forjamento.

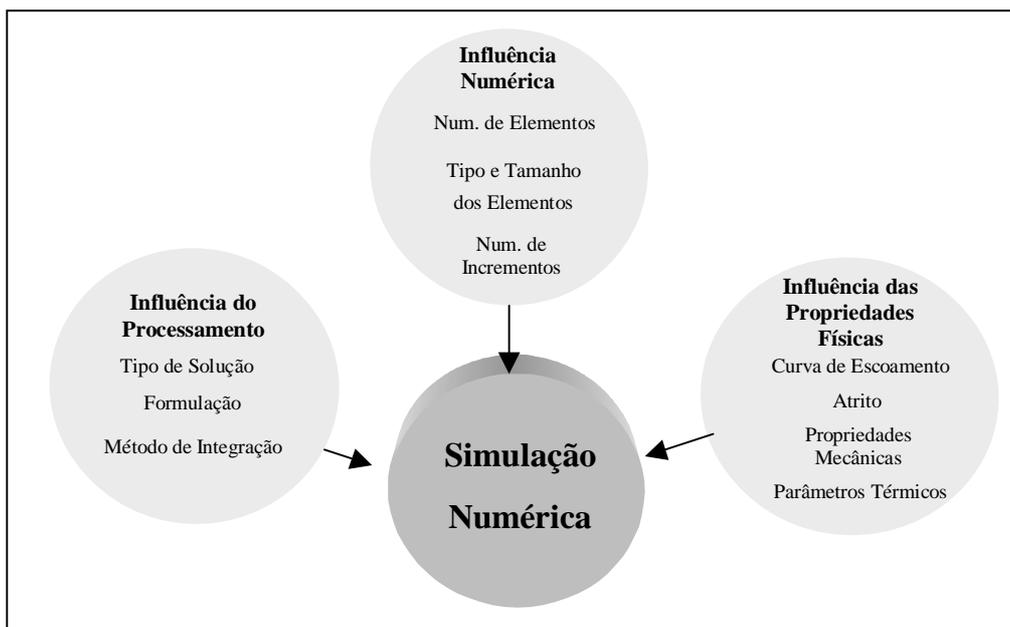


Figura 1.1 – Alguns dos fatores que podem influenciar na simulação numérica do forjamento

A influência numérica citada na Fig. (1.1) diz respeito ao número de elementos utilizados para descrever uma geometria, bem como o tipo e o tamanho de tais elementos (definição da malha). Estes podem ser do tipo triangulares, quadrados, hexagonais, entre outros. Também o número de incrementos em que foi dividida a análise pode afetar os resultados, ou mesmo causar uma divergência na solução numérica. Em geral, programas comerciais de simulação de forjamento possuem algoritmos que definem automaticamente a malha computacional, bem como o seu remalhamento.

No que tange ao processamento, a Fig. (1.1) destaca o tipo de solução utilizada, que pode ser mecânica, térmica, termo-mecânica e microestrutural. É destacada também a formulação utilizada no tratamento da malha, podendo ser lagrangiana, euleriana ou lagrangiana-euleriana arbitrária. Também o método de integração (implícita ou explícita) pode influenciar na solução dos cálculos. Maiores esclarecimentos sobre a influência dos parâmetros relacionados ao processamento fogem ao escopo deste trabalho, podendo ser encontrados em Koller e Schaeffer, 2000.

O terceiro conjunto de variáveis apresentado na Fig. (1.1) diz respeito às propriedades físicas e mecânicas inerentes ao processo de forjamento. Tendo em vista o fato de que estes dados, ao contrário dos anteriormente mencionados, devem obrigatoriamente ser fornecidos pelo usuário, fica evidente a importância da correta aquisição dos mesmos. É preciso conhecer perfeitamente o comportamento do material, ou seja, suas propriedades físicas e mecânicas.

Geralmente, dados como curva de escoamento, módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson, bem como calor específico, condutividade térmica e coeficiente de dilatação térmica são obtidos na

literatura. Entretanto, nem sempre estes dados correspondem com as características do processo real (temperatura dos componentes e do meio, por exemplo).

Este estudo se concentrará nos parâmetros térmicos, particularmente na condutividade térmica e no calor específico, analisando suas influências no processo de forjamento, particularmente na força necessária para realizar o processo numa liga de titânio Ti6Al4V.

2. PARÂMETROS TÉRMICOS

O processo de forjamento envolve os três modos de transferência de calor: condução, convecção e radiação. A condução se dá basicamente entre peça e matrizes, sendo que entre elas normalmente se encontram camadas de lubrificantes. Já a convecção ocorre entre os materiais e o ambiente, o mesmo valendo para a radiação. A Figura (2.1) mostra os parâmetros térmicos existentes em um processo de forjamento.

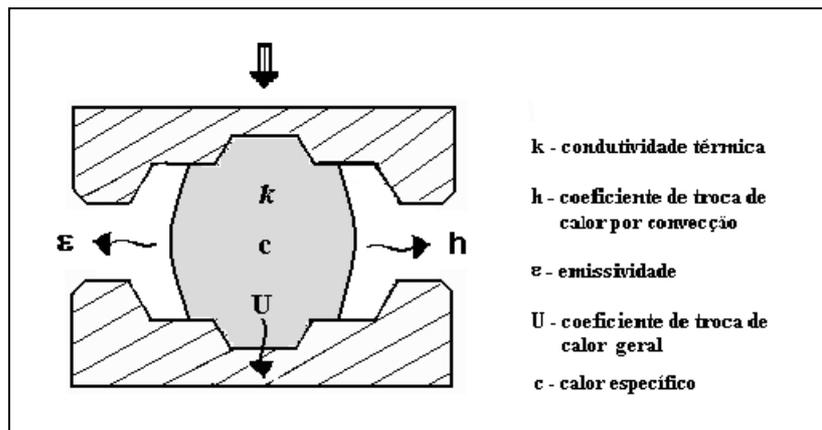


Figura 2.1 – Parâmetros térmicos do processo de forjamento

A emissividade ϵ está relacionada com a troca de calor por radiação. Ela depende fortemente do material da superfície e de seu acabamento, fornecendo uma medida da capacidade de emissão de energia desta superfície em relação a um radiador ideal (corpo negro).

O coeficiente de troca de calor por convecção h é a constante de proporcionalidade da lei do resfriamento de Newton e é dado em $W/m^2.K$. Incropera e DeWitt, 1998, informam que este parâmetro depende das condições na camada limite térmica, as quais, por sua vez, são influenciadas pela geometria da superfície, pela natureza do escoamento, entre outras propriedades termodinâmicas e de transporte. O coeficiente de troca de calor genérico U é usado pelo método dos elementos finitos e também possui como unidade $W/m^2.K$. Franzke, 1999, diz que este coeficiente é utilizado na determinação da troca de calor devido a diferentes temperaturas entre peça e matrizes, bem como entre a peça e meio.

Todos os parâmetros citados acima não oferecem boas condições para uma análise comparativa, pois variam conforme o processo. Procedimentos para determinação destes coeficientes estão sendo avaliados pelo Laboratório de Transformação Mecânica da UFRGS, em parceria com o Instituto de Conformação Mecânica da Universidade Técnica de Aachen/Alemanha. Os dois parâmetros restantes, condutividade térmica e calor específico, serão abordados a seguir.

2.1 Condutividade Térmica

Quando se estuda a condutibilidade térmica, a primeira idéia que surge é sua associação com a transferência de calor. Como a própria nomenclatura demonstra, esta é uma propriedade física relacionada com a condução de calor e, conseqüentemente, com a Lei de Fourier aplicada a tal

fenômeno. A Lei de Fourier associa o fluxo de energia com o gradiente de temperatura da seguinte forma:

$$q'' \propto \frac{\Delta T}{L} \quad (1)$$

O termo q'' representa o fluxo de calor em W/m^2 e o termo ΔT diz respeito à variação de temperatura ao longo do comprimento L em metros. A constante de proporcionalidade que é introduzida para garantir a igualdade da equação é a propriedade de transporte k denominada condutividade (ou condutibilidade) térmica, sendo uma característica do material que geralmente depende do estado termodinâmico (temperatura e pressão), da orientação do material em relação ao fluxo de calor (homogeneidade e isotropia) podendo, desta forma, variar ao longo do material. O caso geral é relativo a um meio condutor anisotrópico e não homogêneo.

A Figura (2.2) mostra a variação da condutividade térmica com a temperatura para a liga Ti6Al4V, segundo duas fontes distintas: Zwicker, 1974 e Contimet, 1966. Observa-se uma discrepância de valores na ordem de 30% de uma fonte para a outra, ao longo de toda a faixa de temperaturas (100°C a 800°C). Nota-se, ainda, que para uma mesma referência, a condutividade térmica k varia 93%, evidenciando a expressiva influência da temperatura neste parâmetro.

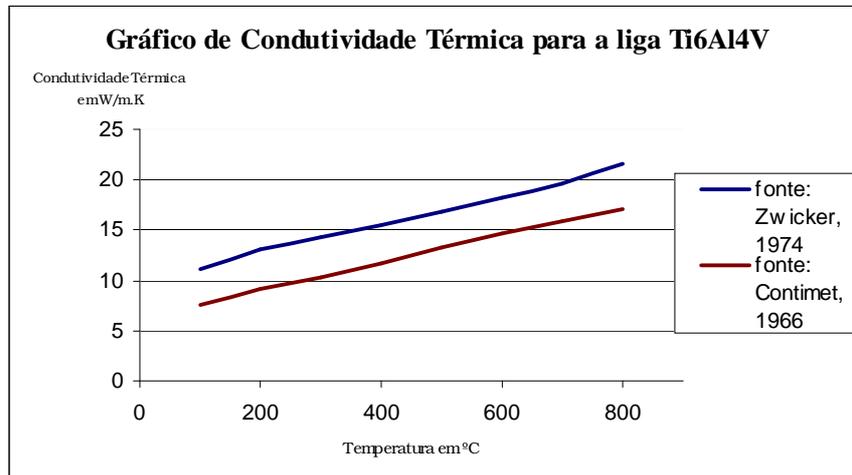


Figura 2.2 – Condutividade térmica k para a liga Ti6Al4V

2.2 Calor Específico

Diferentemente da condutividade térmica, que se trata de uma propriedade de transporte, o calor específico c é classificado como uma propriedade termodinâmica da matéria. Isto significa que c diz respeito ao estado de equilíbrio de um sistema. Um método simples de definir esta propriedade é explicando de maneira bem prática o conceito de calor.

Calor é o processo de transferência de energia de um corpo, através da fronteira deste sistema, para outro corpo com temperatura inferior ao primeiro, devido à diferença de temperatura entre eles. A capacidade térmica de um corpo

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \quad (3)$$

representa o quociente da quantidade de energia Q , em Joules, fornecida na forma de calor, pelo correspondente acréscimo de temperatura ΔT , em Kelvin, neste corpo. Para caracterizar não o

corpo, mas a substância que o constitui, defini-se o calor específico como a capacidade térmica por unidade de massa do corpo

$$c = \left(\frac{1}{m} \right) \cdot \left(\frac{Q}{\Delta T} \right) \quad (4)$$

onde m é a massa em kg. Analisando a unidade resultante desta propriedade, que é J/kg.K, chega-se a outra definição de calor específico, que é a quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de um grau por unidade de massa.

O chamado equivalente mecânico do calor é a relação $1 \text{ cal} = 4,2 \text{ J}$. No caso do forjamento a literatura mostra, como em Schaeffer, 1982, que entre 85% e 95% do trabalho de conformação é convertido em calor.

A Figura (2.3) apresenta a relação entre o calor específico e a temperatura para a liga Ti6Al4V. Observa-se que entre 100°C e 800°C há uma variação de 65% para o calor específico c .

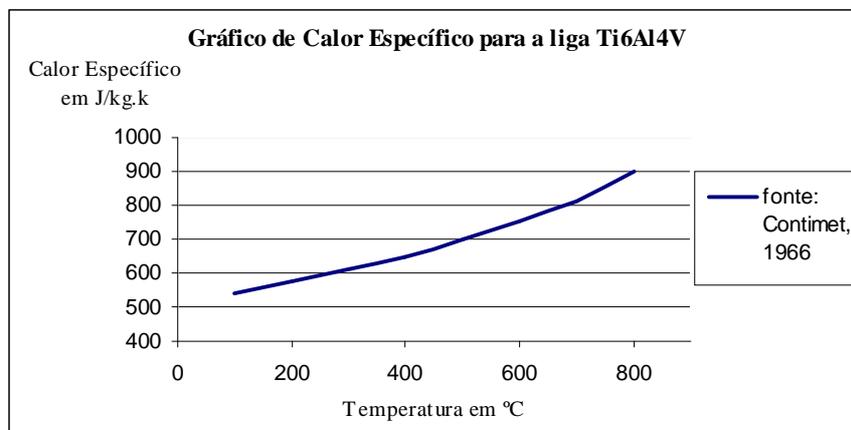


Figura 2.3 – Calor específico c para a liga Ti6Al4V

3. SIMULAÇÃO DO FORJAMENTO - INFORMAÇÕES PRÁTICAS

Este capítulo destina-se a analisar as informações teóricas e práticas utilizadas na simulação computacional do processo de forjamento em estudo. Primeiro é feita uma breve análise da teoria utilizada pelo software escolhido. Em seguida serão apresentados os dados relativos ao caso estudado e os valores para os parâmetros térmicos obtidos em diferentes referências (ver Tab. (3.2)).

3.1 Fundamentação Teórica do Software

Neste estudo será utilizado o programa QForm, da empresa russa Quantor Ltd. Este software trabalha com simetria axial ou plana. Utiliza o método dos elementos finitos (MEF) com formulação lagrangiana e integração implícita para encontrar a solução. Utiliza funções de interpolação lineares e quadráticas com elementos triangulares de seis nós e lados curvos para aproximar a solução. A malha é trocada a cada passo de tempo, aumentando a precisão e mantendo o número total de elementos dentro de valores aceitáveis. Funciona em sistema operacional Windows e possui interface gráfica própria para pré e pós-processamento.

A análise que será feita neste estudo adotará o modelo rígido-visco-plástico, onde o material é considerado incompressível, isotrópico e as deformações elásticas são negligenciadas. A tensão de escoamento é dependente da deformação, velocidade de deformação e da temperatura. A geração de calor pela deformação plástica ou fontes externas, por sua vez, também são consideradas através de um acoplamento termo-mecânico. É importante salientar que a opção pelo modelo rígido-visco-

plástico foi feita pelo fato de não se estar interessado em características elasto-plásticas como retorno elástico e tensões residuais, apesar de o software também fazer este tipo de análise.

Com relação aos parâmetros térmicos, observa-se que a equação governante é a do balanço de energia, seguindo a relação já conhecida da transferência de calor

$$\Delta \text{Energia}_{armazenada} = \text{Energia}_{que\ entra} + \text{Energia}_{gerada} - \text{Energia}_{que\ sai} \quad (5)$$

O termo *Energia_{que sai}* não aparece no manual do software, portanto nada se pode ser analisado a respeito. Os outros termos, entretanto, são conhecidos. O $\Delta \text{Energia}_{armazenada}$, por exemplo, é o termo da também chamada inércia térmica. Já o termo *Energia_{que entra}* considerada a difusão (condução) do calor, conforme a lei de Fourier. A *Energia_{gerada}*, que também poderia ser chamada de *Energia_{transformada}*, considera a energia térmica resultante do trabalho mecânico realizado. O termo $\beta = 0.9$ (ou 90%) representa a proporção de trabalho mecânico convertido em calor, o que vem de acordo com Schaeffer, 1982.

3.2 Modelo Utilizado

Para se obter uma base comparativa para análise, a Fig. (3.1) mostra a disposição usada como modelo.

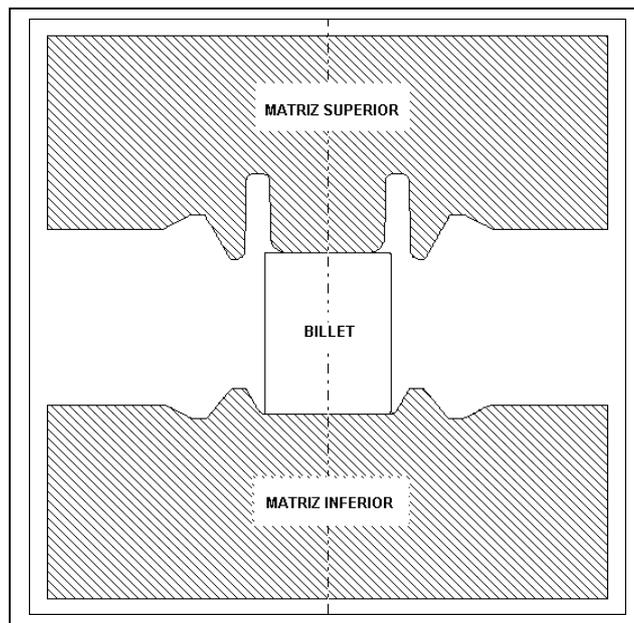


Figura 3.1 – Esquema do processo utilizado como padrão – matrizes e billet

Observando a Fig. (3.1), percebe-se que esta disposição representa um processo típico de forjamento. Durante o processo, a matriz inferior permanece fixa enquanto a matriz superior faz um movimento descendente, conformando a peça. Cabe salientar que as ferramentas não serão simuladas, portanto implicarão apenas na deformação da peça e na troca térmica com a mesma. O billet (ou geratriz) é de liga de titânio Ti6Al4V, possuindo 27mm de diâmetro e 35mm de altura.

Será admitido que a peça inicia o processo a 900°C e, por conseguinte, as matrizes apresentarão a mesma temperatura. O fator de atrito será estimado em 0.15 entre peça e matrizes para todos os casos simulados. O programa utilizado apresenta ainda outros valores-padrão para parâmetros como temperatura ambiente, coeficiente de troca de calor por convecção, emissividade, etc.

Por se tratar de um material estudado há anos, o software já vem com dados da liga Ti6Al4V na sua biblioteca. Basicamente o programa oferece valores para curvas de escoamento em diferentes

faixas de temperatura, peso específico, condutividade térmica, calor específico e temperatura de fusão.

O QForm User's Guide, 1999, diz que fatores relacionados ao critério de convergência e incremento máximo de deformação, por exemplo, possuem valores suficientes para garantir a qualidade (precisão) dos resultados. Os dados térmicos podem ser modificados de acordo com a vontade do usuário.

A fim de se definir uma base comparativa para posterior análise, todos os valores existentes na biblioteca do software serão considerados padrão, considerando que os mesmos descrevem perfeitamente o processo. Estes dados são mostrados na Tab. (3.1), que traz todas as informações básicas utilizadas nas simulações.

Tabela 3.1 –Dados utilizados em todas as simulações deste estudo

DADOS PARA SIMULAÇÃO	DADOS PARA SIMULAÇÃO
Tipo de Processo	Conformação em Prensa Hidráulica
Formato do Billet	Billet Cilíndrico
Tipo de Problema no Billet	Problema Térmico; Deformação Visco-Plástica
Tipo de Problema nas Ferramentas	Não Simular as Ferramentas
Características do Equipamento (Prensa)	Velocidade = 20 mm/s; Força = 7500 kN;
Distância Final entre Ferramentas	1 mm
Temperatura do Billet	900 °C
Material do Billet	DIN Ti6Al4V
Peso Específico do Material	4510 kg/m ³
Temperatura das Ferramentas	900 °C
Lubrificante	Fator de Atrito = 0.15
Temperatura Ambiente	20 °C
Emissividade	0.6
Coefficiente de Transferência de Calor	30 W/m ² .K
Coefficiente de Atrito	0.15

Os valores de maior interesse para este estudo são os relacionados à condutividade térmica e ao calor específico. A Tabela (3.2) traz os diferentes valores encontrados para estes parâmetros e a fonte onde os mesmos foram encontrados.

Tabela 3.2 – Dados encontrados para condutividade térmica e calor específico

Parâmetro	Valor ou Faixa de Valores	Fonte Bibliográfica
Condutividade Térmica, <i>k</i>	6.7 W/m.K	www.matweb.com
Condutividade Térmica, <i>k</i>	7.5 a 17.1 W/m.K	Contimet, 1966
Condutividade Térmica, <i>k</i>	11.2 a 21,7 W/m.K	Zwicker, 1974
Calor Específico, <i>c</i>	526.3 J/kg.K	www.matweb.com
Calor Específico, <i>c</i>	564.84 J/kg.K	www.metalsuppliersonline.com
Calor Específico, <i>c</i>	544 a 900 J/kg.K	Contimet, 1966

4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Ao todo foram realizadas oito simulações: uma padrão, três para diferentes valores de condutividade térmica, três para calor específico e outra com os valores considerados apropriados. O “**caso padrão**” foi definido com os valores disponíveis no software. Neste banco de dados apenas

a tensão de escoamento e a condutividade térmica eram função da temperatura para um intervalo de 600°C a 900°C, de modo que os principais parâmetros foram os seguintes:

- Temperatura das matrizes e peça $T = 900 \text{ }^\circ\text{C}$
- Calor específico do material $c = 544 \text{ J/kg.K}$
- Condutividade térmica do material $k(T) = 15 \text{ a } 19 \text{ W/m.K}$

Nos seis casos seguintes houve variação de apenas um valor para condutividade térmica ou calor específico, conforme o caso. O último caso, denominado “**caso ideal**”, foi realizado com os dados considerados mais apropriados para se obter uma resposta mais próxima da realidade, considerando os parâmetros condutividade térmica e calor específico dependentes da temperatura.

Como se pôde observar na Tab. (3.2), existem dois intervalos de valores para a condutividade k . O intervalo escolhido para k do “caso ideal” foi o apresentado segundo a empresa Contimet, 1966, uma vez que este é o que mais se aproxima, por extrapolação, dos 6.7 W/m.K já conhecidos para temperatura ambiente. O dado para calor específico também foi o apresentado pela Contimet, 1966, por ser o único que apresentava este parâmetro dependente da temperatura.

A Tabela (4.1) apresenta os casos montados e os dados para condutividade k e calor específico c que foram utilizados nos mesmos.

Tabela 4.1 – Plano de casos utilizados nas simulações

Caso	Condutividade Térmica k [W/m.K]	Calor Específico c [J/kg.K]
1	15 a 19	544
2	6.7	544
3	7.5 a 17.1	544
4	11.2 a 21.7	544
5	15 a 19	526.3
6	15 a 19	564.8
7	15 a 19	544 a 900
8	7.5 a 17.1	544 a 900

Como base comparativa, a variável *força* foi a escolhida para análise. Como exemplo de gráfico de força resultante da análise, a Fig. (4.1) mostra o resultante para o caso ideal.

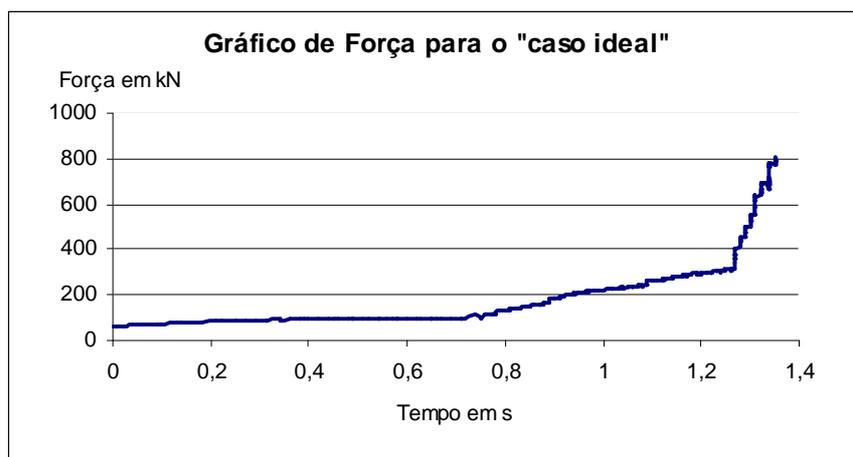


Figura 4.1 - Gráfico de força para o “caso ideal” obtido com o programa QForm

A Tabela (4.2) apresenta os valores de força resultante, em kN, para todos os casos. Vale lembrar que na indústria nacional o termo mais usado é a *tonelada-força* para designar a força (ou carga) necessária em um determinado processo. Para converter os valores contidos na Tab. (4.2) para *toneladas* com uma boa aproximação, basta dividir os mesmos por 10.

É importante comentar que outras geometrias foram simuladas para este mesmo material e o mesmo tipo de influência foi detectada nestas análises. Uma próxima etapa, entretanto, seria a verificação com outros softwares de mesmo propósito.

Tabela 4.2 – Resultados de Força para os casos desenvolvidos

Caso	Parâmetro Alterado	Força Máxima em kN
1	Nenhum (caso padrão)	620
2	$k = 6.7$ W/m.K	620
3	$k = 7.5$ a 17.1 W/m.K	640
4	$k = 11.2$ a 21.7 W/m.K	650
5	$c = 526.3$ J/kg.K	650
6	$c = 564.8$ J/kg.K	660
7	$c = 544$ a 900 J/kg.K	800
8	$k = 7.5$ a 17.1 W/m.K e $c = 544$ a 900 J/kg.K	810

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nas simulações mostraram que para as forças resultantes não houve grande variação em função da condutividade térmica k , ficando tais diferenças em torno de 3%. Ou seja, tanto a discrepância encontrada nas diferentes fontes bibliográficas quanto os 93% de variação em função da temperatura não revelaram grande influência nos resultados de força (ou carga) necessária para o forjamento da peça.

O calor específico c , por sua vez, apresentou uma razoável diferença, especialmente quando se usou este parâmetro como função da temperatura. O caso 7, que utilizou justamente este dado de c variando de 544 a 900 J/kg.K, mostrou que os 65% de variação no parâmetro c resultaram em uma diferença de 29% na força necessária para o forjamento. Este parâmetro, se não considerado, poderia causar problemas para a empresa que estivesse fazendo essa análise, haja visto que a prensa hidráulica poderia suportar no máximo 700 kN, por exemplo.

O caso 8, considerado “ideal”, apresentou praticamente o mesmo resultado que o caso 7, o que confirma a influência notória do calor específico variável com a temperatura e a pouca influência da condutividade térmica k nos resultados.

O fato de a condutividade térmica ter apresentado pouca influência e do calor específico ter influenciado consideravelmente nos valores de força não puderam, em primeira análise, ser explicados matematicamente. Fisicamente, entretanto, poder-se-ia levantar a seguinte hipótese: uma vez que a deformação foi a mesma em todos os casos (a forma final obtida foi sempre a mesma), conforme se aumentava o valor do calor específico, mais energia era necessária para elevar a temperatura da peça. Considerando que em todos os casos se precisava da mesma energia para que ocorresse essa deformação, quanto maior a capacidade térmica (produto do calor específico pela massa) do material, menor a variação (ou o acréscimo) da temperatura e, assim, mais rígido ficou o material. Com isso, foi preciso uma força maior para conformar este material. A condutividade térmica, por estar relacionada com potência (energia por unidade de tempo), não teria grande influência pelo fato de o processo analisado ocorrer muito rapidamente (menos de 1.5 segundos), não havendo tempo para influenciar os demais parâmetros.

Sendo a hipótese apresentada acima válida ou não, os resultados mostraram que de fato é preciso ter um cuidado muito grande na obtenção de dados termofísicos para uma análise via simulação computacional. Fica, portanto, a sugestão de novas análises para estes parâmetros, bem como as demais variáveis discutidas no capítulo 2.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio à pesquisa do CNPq e do DLR da Alemanha. Também fica registrado o agradecimento ao IBF/Aachen pelos anos de parceria no desenvolvimento de tecnologia em conformação mecânica no Laboratório de Transformação Mecânica da UFRGS.

7. REFERÊNCIAS

- Contimet GmbH, 1966. “Properties of Contimet Al V64 (Ti-6Al-4V) CT ½”, Titanium Engineering Bulletin Nr ½.
- Franzke, M., 1999. “Zielgroßenadaptierte Netzdiagnose und –generierung zur Anwendung der Finite Element Methode in der Umformtechnik”, Tese de Doutorado, RWTH, Aachen.
- Incropera, F. P., DeWitt, D.P., 1998. “Fundamentos da Transferência de Calor e de Massa”, LTC, 4ª Edição, Rio de Janeiro.
- Koller, L.; Schaeffer, L., 2000. “Características de três diferentes programas de simulação numérica de forjamento”, IVª Conferência Internacional de Forjamento (XX SENAFOR), Porto Alegre/Brasil – 25 à 26 de Outubro.
- QForm User’s Guide, 1999. “Getting Started”, Quantor Ltd, Russia.
- Santos, J. W. S.. “Análise da Influência dos Parâmetros Térmicos na Simulação Computacional do Processo de Forjamento”, Dissertação de Conclusão de Curso, DEMEC-UFRGS, Porto Alegre.
- Schaeffer, L., 1982. “Untersuchungen Zum Partiellen Schmieden”, Tese de Doutorado, Institut für Bildsame Formgebung, RWTH, Aachen.
- www.matweb.com
- Zwicker, U., 1974. “Titan und Titanlegierungen”, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.

8. DIREITOS AUTORAIS

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

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THERMAL PARAMETERS IN FORGING COMPUTER SIMULATION

Jefferson Willyams Silva dos Santos

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, jefferson.santos@ufrgs.br

Lirio Schaeffer

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, schaefer@ufrgs.br

***Abstract.** The use of numerical simulation software in Brazilian metal-mechanical industries is growing up widely in the last years. This use starts with the acquisition of a closed package, in other words, it is obtained a commercial software that works like a “black box” where, starting from some input data, results are reached. The obtaining of heat transfer coefficients has been studied in many countries because of the probable relation between these coefficients and their chemical composition or properties such as temperature, for example. References, usually used to search data, show us a considerable value discrepancy for density, specific heat, thermal conductivity, etc. This work has as object of study to evaluate how the variation of the most important thermal parameters of forging changes the simulation results. For this, it was used a simple work piece that worked as a model to analyze the effect of each variable.*

Keywords: Forging; Computer Simulation; Thermal Parameters.