

ANÁLISE DOS EFEITOS DA VELOCIDADE DE PROCESSAMENTO NA TÉCNICA DE Prensagem em Canais Equiangulares via o Método dos Elementos Finitos

Neil de Medeiros, neil@metal.eeimvr.uff.br
Luciano Pessanha Moreira, luciano.moreira@metal.eeimvr.uff.br
Jefferson Fabrício Cardoso Lins, jfclins@metal.eeimvr.uff.br
Jayme Pereira de Gouvêa, jpg@metal.eeimvr.uff.br

Programa de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica, Universidade Federal Fluminense

Avenida dos Trabalhadores, 420, Volta Redonda - RJ, 27255-125, Brasil.

Resumo: *O presente trabalho tem como objetivo analisar, via o método dos elementos finitos, a influência da velocidade de processamento de materiais metálicos por meio da técnica de prensagem em canais equiangulares (PCEA) sobre as previsões de carga e deformação plástica efetiva, utilizando-se o programa Ansys 11.0. Para tanto, um tarugo com propriedades mecânicas próximas àquelas obtidas em condições de tração uniaxial para um aço LI (Livre de Intersticiais) e comportamento plástico descrito segundo a lei de encruamento de Peirce combinada ao critério de plasticidade isotrópico de von Mises, foi deformado por um único passe de prensagem, em temperatura ambiente, através de matrizes com geometrias distintas. As configurações geométricas empregadas para o ferramental envolveram a ausência de raios de adoçamento, raios de adoçamento idênticos e apenas o raio externo. Além disso, o ângulo de interseção dos canais da matriz foi de 90° para todos os arranjos geométricos considerados. De forma geral, os resultados mostraram que a carga e a deformação plástica efetiva possuem forte dependência com a geometria da matriz e, em menor grau, com relação à taxa de deformação. Assim, para uma dada velocidade, as maiores previsões de carga e deformação efetiva foram observadas em ausência de raios de adoçamento, seguidas por valores intermediários quando foram adicionados raios idênticos, enquanto que a matriz composta por somente o raio externo forneceu os menores resultados. Estas características foram confirmadas por meio das curvas tensão x deformação efetivas.*

Palavras-chave: *Método dos elementos finitos, prensagem em canais equiangulares, lei de encruamento de Peirce, critério de von Mises, aço LI.*

1. INTRODUÇÃO

A técnica de prensagem ou extrusão em canais equiangulares (PCEA / ECEA) é definida por Segal (1995) como um método de deformação plástica severa que consiste na passagem de um tarugo lubrificado no interior de uma matriz composta por dois canais de seções transversais idênticas, deformando-se por cisalhamento simples ao atravessar a região de interseção destes canais. O trabalho desenvolvido por Prell et al. (2008) demonstrou que as propriedades mecânicas da liga de alumínio AA6061, a saber, resistência ao escoamento plástico, capacidade de encruamento e dureza se tornam superiores após a prensagem. Ainda, Srinivasan (2001) e Valiev et al. (2006) reportaram que esta técnica se destaca pela possibilidade de ciclos repetitivos de prensagem do material analisado, o que permite a imposição de níveis elevados de deformação plástica ao mesmo durante o processo de conformação.

De acordo com Segal (2004), a qualidade do produto final obtido após a prensagem está relacionada à existência de uma zona homogênea de deformações plásticas ao longo das porções médias do tarugo deformado. Além disso, Nakashima et al. (1998) e Shan et al. (1999), destacaram a importância de parâmetros como a geometria da matriz e o comportamento plástico do material deformado na questão da uniformidade das deformações plásticas atribuídas à amostra durante a sua deformação, o que foi confirmado recentemente por Semiatin et al. (2000) e Chen et al. (2005). Ainda, a importância das condições de atrito sobre a homogeneidade de deformações plásticas em amostras de titânio deformadas via PCEA foi investigada por Stolyarov et al. (2004), La et al. (2005) e, recentemente, por Son et al. (2007). Entretanto, os trabalhos de May et al. (2005) e Wang et al. (2007) revelaram a importância de se considerar também os efeitos da taxa de deformação sobre a homogeneidade de deformações plásticas.

O emprego da simulação computacional, especialmente os modelos numéricos baseados no método dos elementos finitos, no estudo de materiais processados via a técnica PCEA teve início com o trabalho desenvolvido por Prangnell et al. (1997) destinado a avaliar o efeito das condições de atrito durante a prensagem da liga Al-0,15%Mn. A partir de então, destaca-se o trabalho de Nagasekhar et al. (2004) destinado à análise dos efeitos de geometria da matriz sobre a homogeneidade das deformações plásticas na liga de alumínio AA1100, em condições fixas de atrito. Além disso, as pesquisas de Dumoulin et al. (2005) e Djavanroodi e Ebrahimi (2010) avaliaram, simultaneamente, os efeitos de geometria da matriz, condições de atrito, contrapressão e propriedades mecânicas dos materiais sobre as previsões numéricas de homogeneidade de deformações plásticas. Todavia, as pesquisas relacionadas ao estudo da influência da velocidade de prensagem e, assim, da taxa de deformação sobre as propriedades mecânicas do material conformado ainda se encontram bastante reduzidas. Neste contexto, somente o trabalho de Pei et al. (2005) relacionado às análises experimentais e numéricas via o método dos elementos finitos dos efeitos da velocidade de prensagem e temperatura de ensaio sobre as propriedades mecânicas das ligas Al-1%Mn e Al-3%Mn se encontra disponível na literatura.

Após esta revisão, fica evidente a necessidade de uma investigação aprofundada da relação entre a velocidade de prensagem e os respectivos níveis de carga e deformação plástica atribuídos ao material. Dessa forma, o presente trabalho busca avaliar a influência da velocidade do ensaio e geometria da matriz de prensagem, a partir de modelos numéricos de elementos finitos aproximados à condição de deformação plana, sobre a carga e a deformação plástica efetiva obtidas após um único passe de extrusão a frio, em tarugos fabricados a partir de um material hipotético com propriedades mecânicas próximas àquelas observadas para um aço LI (Livre de Intersticiais) testado sob tração uniaxial e comportamento viscoplástico macroscópico descrito pela lei de Peirce, em Perić et al. (1992), combinada ao critério de plasticidade isotrópico de von Mises.

2. METODOLOGIA

2.1. Materiais

Neste trabalho utilizou-se um material hipotético com propriedades mecânicas similares àquelas obtidas para um aço LI (Livre de Intersticiais) em ensaios de tração uniaxial a frio. A curva de comportamento viscoplástico do material, após ajustada por um modelo combinado entre as leis de encruamento macroscópico de Hollomon e Peirce forneceu:

$$\sigma_y = 500(\bar{\epsilon})^{0,20} \left(1 + \frac{\dot{\bar{\epsilon}}}{\eta} \right)^{0,05} \quad (1)$$

onde σ_y , $\bar{\epsilon}$ e $\dot{\bar{\epsilon}}$ denotam a tensão de escoamento do material em tração uniaxial, a deformação plástica efetiva e a taxa de deformação plástica efetiva, respectivamente. O parâmetro η representa a viscosidade do material ao qual se atribuiu o valor de 1,0. É importante destacar que os efeitos da velocidade de prensagem foram avaliados por meio da comparação entre o modelo de Hollomon, ou seja, descartando-se o termo associado à taxa de deformação e a lei combinada de Hollomon e Peirce definida na Eq. (1).

2.2. Métodos

Os modelos numéricos de elementos finitos desenvolvidos para fins de simulação computacional consistiram da matriz de prensagem e o tarugo a ser deformado e foram discretizados por elementos do tipo PLANE 182, de acordo com a terminologia do programa comercial Ansys 11.0, cuja formulação interna foi aproximada ao caso particular de deformação plana.

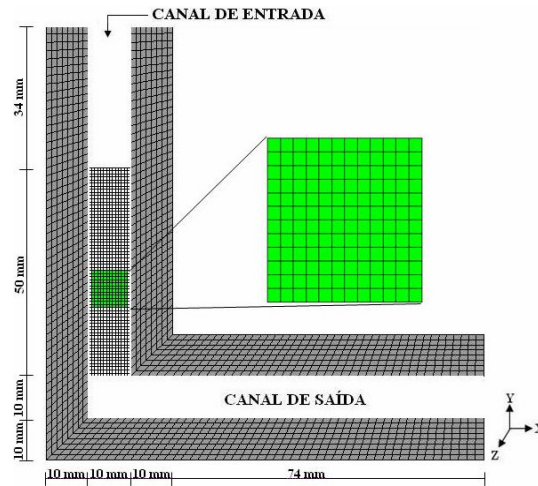
Em relação à matriz de prensagem, utilizaram-se canais com seção transversal quadrangular de 10 mm e foram considerados três arranjos geométricos distintos, a saber, a ausência de raios de adoçamento, somente o raio de adoçamento externo, R_{ext} , de 5 mm e raios de adoçamentos idênticos de 5 mm. As dimensões do ferramental são apresentadas na Fig. (1). Ainda, em todos os casos analisados, o ângulo Φ de interseção dos canais foi mantido constante e igual a 90°. Por fim, foram atribuídas ao ferramental as propriedades elásticas referentes ao aço ferramenta H13, ou seja, o módulo de elasticidade $E = 210$ GPa e o coeficiente de Poisson $\nu = 0,3$.

No que se refere ao tarugo, as dimensões adotadas foram 50 mm x 9,8 mm x 1 mm (altura x largura x espessura) e para sua discretização empregaram-se um total de 938 elementos, ou seja, 14 elementos ao longo do comprimento e 67 ao longo da altura.

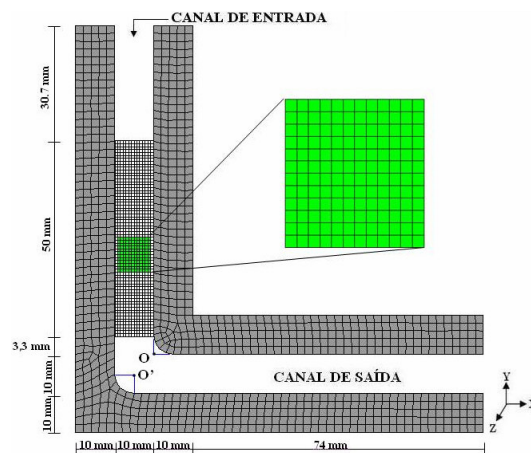
Em relação às condições de contorno, a pressão exercida pelo punção sobre a porção superior do tarugo foi também representada por incrementos compressivos de deslocamento ao longo do eixo Y, vide Fig. (1). Os deslocamentos totais considerados foram de 40 mm para as matrizes sem adoçamentos e com raios idênticos, respectivamente mostradas nas Figs. (1a) e (1c) e 45 mm para a configuração composta por somente o adoçamento externo, vide Fig. (1b).

A velocidade de prensagem foi mantida constante e igual a 1 mm/s e em relação ao atrito, assumiu-se uma condição de lubrificação ideal com $\mu = 0,05$ por meio da rotina TAUMAX associada ao algoritmo de contato fornecido pelo método de Lagrange aumentado.

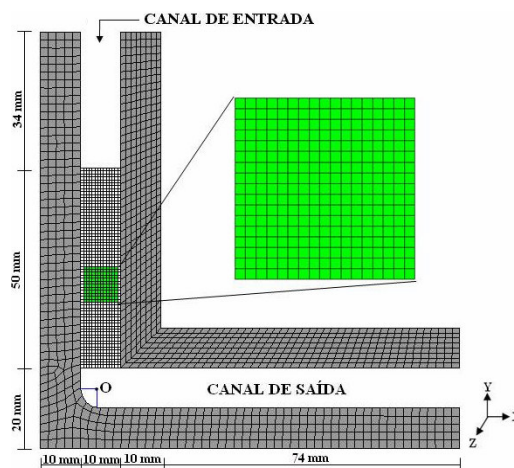
Os resultados de carga de prensagem em função do deslocamento do tarugo foram obtidos na forma de reações ao longo da porção superior da amostra. Por outro lado, as previsões numéricas de grandezas efetivas de tensão e deformação plástica foram obtidas a partir de valores médios representativos de cada tarugo deformado, os quais foram tomados no conjunto de elementos finitos dos blocos quadrados destacados em verde na Fig. (1), totalizando 144 elementos por bloco.



(a)



(b)



(c)

Figura 1. Matrizes destinadas à validação da solução para a taxa de deformação. (a) sem adoçamentos; (b) raios de adoçamento iguais e (c) com adoçamento externo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura (2) compara as previsões numéricas de carga obtidas para o material modelo com comportamento plástico descrito de forma distinta pela lei de Hollomon e pela sua combinação à parcela de taxa de deformação definida pelo modelo de Peirce, deformado de cada matriz mostrada na Fig. (1). Pode-se notar que em todos os casos considerados, a inclusão do modelo de Peirce na descrição do comportamento plástico do material conduziu a um pequeno aumento da carga de prensagem, o que concorda plenamente com a contribuição aditiva desta lei à Eq. (1). Entretanto, cabe ressaltar que a pequena elevação de força de prensagem relacionada ao efeito da taxa de deformação se deve à baixa dependência do material modelo frente a parâmetros de viscoplasticidade traduzida pelo valor de 0,05 atribuído ao expoente de sensibilidade à taxa de deformação. Indiferentemente do modelo de encruamento adotado, a influência da geometria da matriz permite identificar a ausência de adoçamentos como condição mais severa de processamento, Figura 2(a), exigindo níveis mais elevados de carga, o caso intermediário referente à presença de raios idênticos e a configuração menos severa dentre as analisadas, caracterizada pelo emprego somente do raio externo. Tal influência do ferramental pode ser confirmada no trabalho recente desenvolvido por Djavanroodi e Ebrahimi (2010).

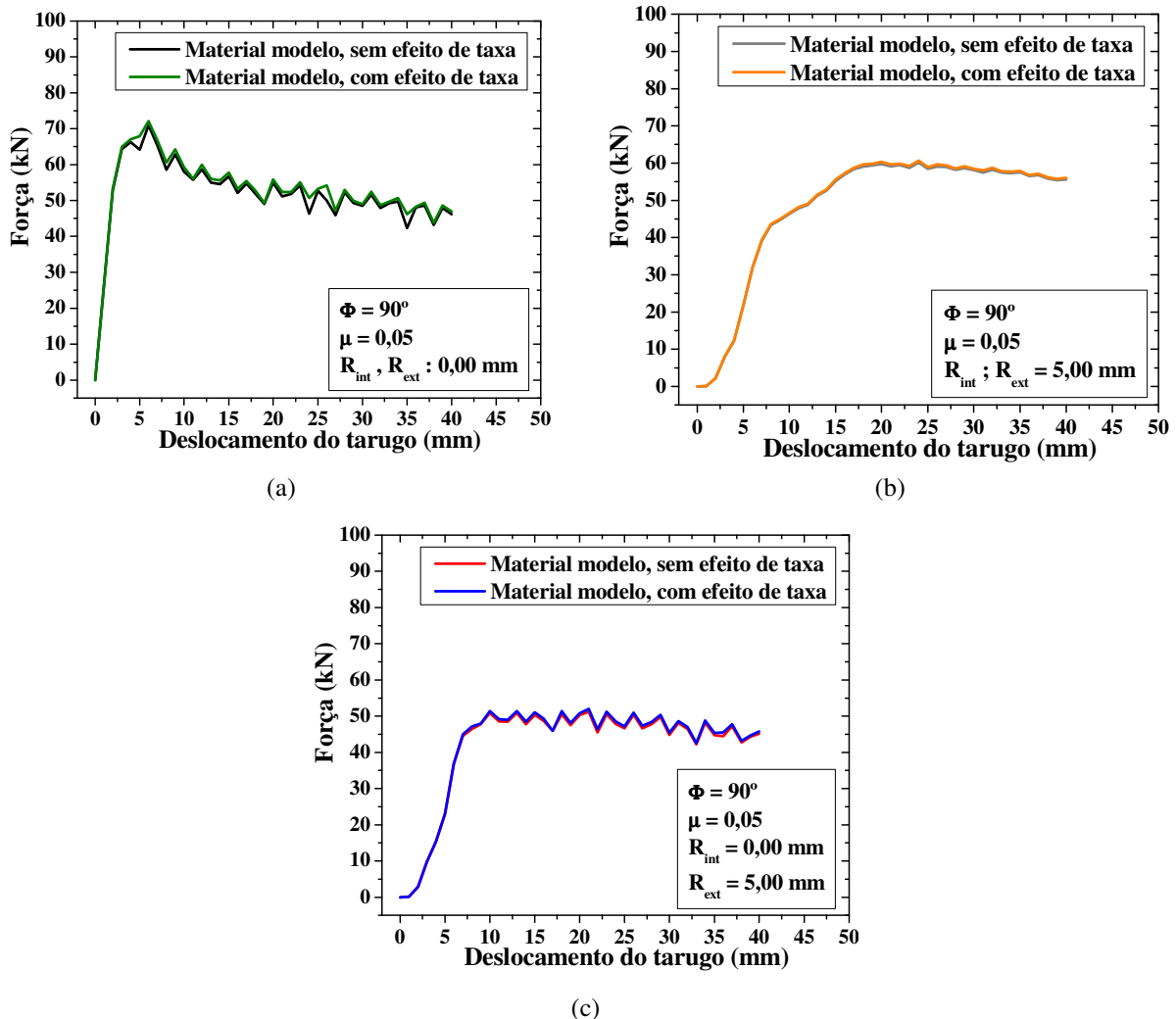


Figura 2. Comparação entre as curvas de carga do material hipotético para distintos modelos de encruamento. (a) sem raios de adoçamento; (b) raios iguais e (c) raio externo.

A Figura (3) compara as previsões numéricas de tensão efetiva média oriundas do critério de von Mises associadas às mesmas condições geométricas da matriz e de atrito utilizadas na determinação das curvas de carga de prensagem apresentadas na Fig. (2). De fato, a inclusão do efeito viscoplástico ao comportamento do material modelo causou o aumento da tensão efetiva, principalmente após cerca de 10 mm de deslocamento onde o escoamento plástico do tarugo

se mostra intenso, quando comparado ao material com comportamento plástico governado somente pela lei de Hollomon, o que justifica o aumento da carga de prensagem mostrado na Figura (2). O efeito de taxa de deformação representado pela lei de Peirce promoveu a elevação da tensão de escoamento do material e induziu a estados de tensão superiores que são traduzidos de forma equivalente pela tensão efetiva, ou seja, aumenta a sua resistência ao escoamento plástico embora de forma suave já que o material modelo apresenta baixa sensibilidade aos efeitos de viscoplasticidade.

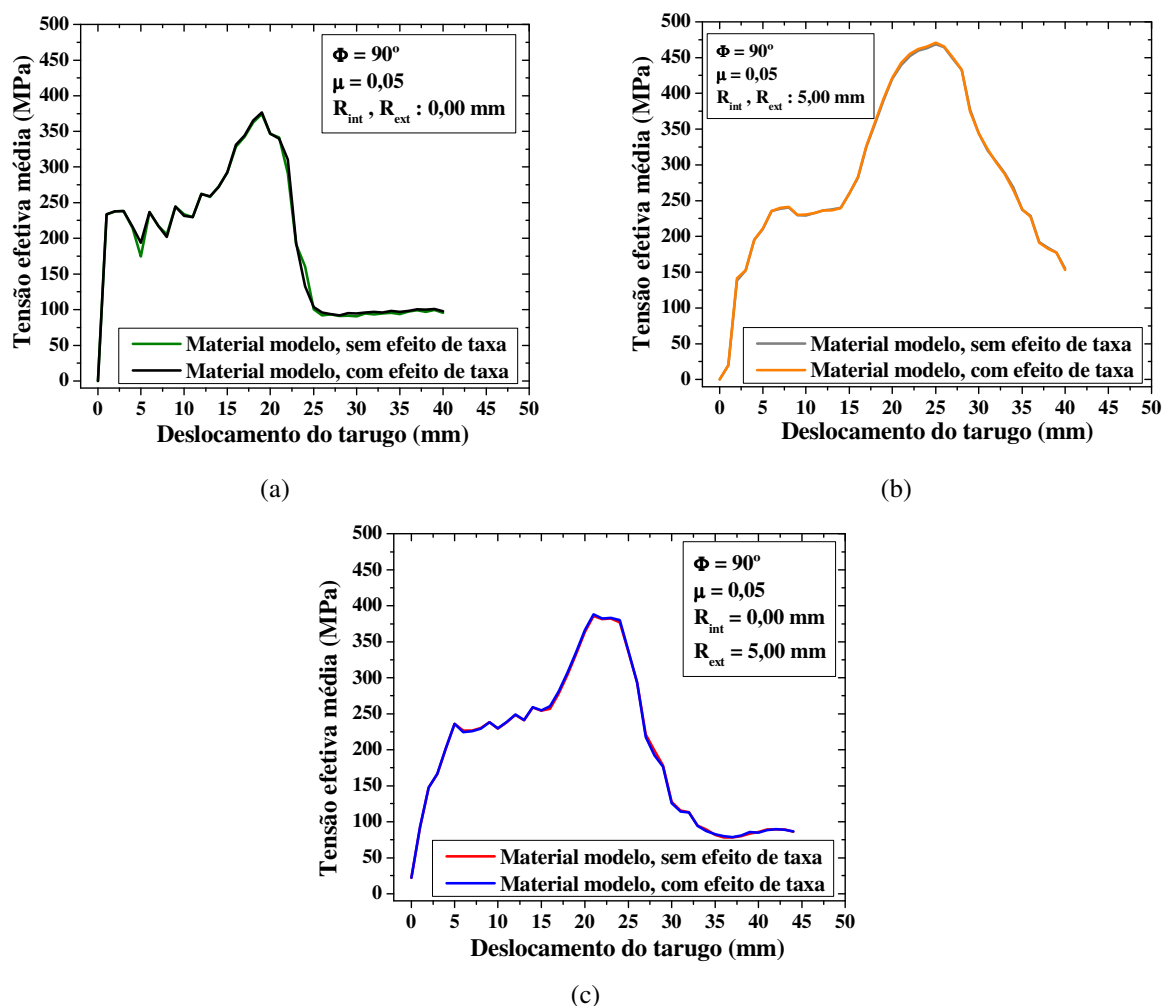


Figura 3. Comparação entre as curvas de tensão efetiva média do material hipotético. (a) sem raios de adoçamento; (b) raios de adoçamento iguais e (c) raio de adoçamento externo.

A Figura (4) mostra as curvas de deformação plástica efetiva média x deslocamento do tarugo, obtidas por meio de simulação computacional, referentes à prensagem do material modelo independente da taxa de deformação, Fig. (4a), e sensível aos efeitos viscoplásticos, Fig. (4b) através de configurações geométricas distintas para a matriz.

A matriz desprovida de raios de adoçamento forneceu uma previsão máxima em torno de 1,18 obtida após 22 mm de deslocamento do tarugo para ambos as descrições de encruamento. Este resultado concorda com as previsões numéricas obtidas por Yoon e Kim (2008). Além disso, a proximidade entre tais resultados confirma a idéia de Iwahashi et al. (1996) de que as deformações experimentadas pelo material dependem da geometria da matriz, o que atesta a validade do modelamento numérico proposto para materiais com ou sem sensibilidade à taxa de deformação.

A introdução do adoçamento externo conduziu à queda de deformações plásticas efetivas em razão da maior facilidade de escoamento do material. Nesse sentido, os valores máximos observados foram de 1,14 após cerca de 30 mm de deslocamento da peça. Além de promover a diminuição da deformação, o adoçamento externo causou também o deslocamento da curva para a esquerda, em comparação ao caso anterior. A presença de adoçamento externo aumentou a distância a ser percorrida pela peça para atingir a porção inferior da matriz.

Em relação à validade destes modelos numéricos, Dumoulin et al. (2005) obteve previsões numéricas próximas a 1,0 considerando tal geometria de matriz e considerando materiais perfeitamente plásticos e distintas condições de atrito. Previsões numéricas de deformação plástica efetiva próximas à unidade foram também encontradas por Alkorta e Sevillano (2003) considerando valores distintos para o expoente de encruamento do material e em ausência de atrito, o que reforça a dependência das deformações plásticas efetivas somente com a geometria da matriz.

Os ferramentais constituídos por raios de adoçamento iguais forneceu previsões máximas de 1,18, ou seja, idênticas ao caso das matrizes sem raios de adoçamento. A saturação, com deformações iguais a 1,18 ocorreu após

cerca de 30 mm de deslocamento. O aumento dos deslocamentos necessários à saturação das deformações plásticas efetivas está relacionado também à maior distância percorrida pelo tarugo ao ser introduzido o raio de adoçamento interno. A forma exibida pela curva de carga, caracterizada pela presença de ondulações, é um indicativo direto da influência combinada entre as componentes de cisalhamento e, possivelmente, da componente horizontal associada diretamente ao efeito da contrapressão.

No que diz respeito à validade destes modelos numéricos, Pérez (2004) realizou a simulação da prensagem de materiais perfeitamente plásticos a partir deste arranjo para a ferramenta, variando-se as condições de atrito. O máximo valor encontrado pelo autor para todas as condições de atrito empregadas foi de 0,8. Sendo assim, pela concordância entre os resultados obtidos no presente trabalho e a literatura, pode-se verificar a validade do modelamento proposto para materiais que exibem ou não a dependência à taxa de deformação já que a geometria da matriz exerce importância fundamental sobre as previsões de deformação plástica efetiva. Vale destacar que as previsões obtidas no presente trabalho se referem a valores médios associados a um bloco de elementos que representam o comportamento da peça.

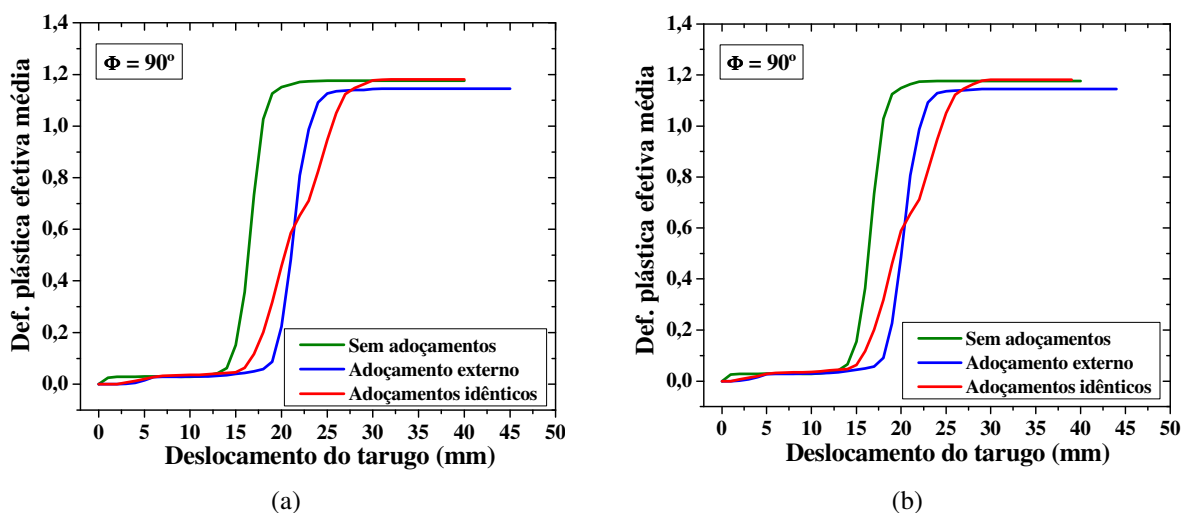


Figura 4. Previsões de deformação plástica efetiva resultantes de geometrias distintas para a matriz. (a) sem efeitos viscoplásticos e (b) com efeitos viscoplásticos.

4. CONCLUSÕES

Adotando-se a condição de lubrificação ideal e arranjos geométricos da matriz que envolvem a ausência de raios de adoçamento, raios de adoçamentos idênticos e presença somente do raio de adoçamento externo, verificou-se que a inclusão dos efeitos viscoplásticos definidos pela lei de encruamento de Peirce ao material modelo conduziu a um leve aumento na previsões da carga de prensagem para todos os casos geométricos analisados, pela comparação aos resultados obtidos quando apenas o encruamento plástico definido pela lei de Hollomon é considerado. Este comportamento foi confirmado por meio da comparação entre as respectivas previsões numéricas da tensão efetiva calculadas com o critério de plasticidade de von Mises, já que a inclusão da viscoplasticidade acarreta o aumento da tensão de escoamento do material e, por conseguinte, eleva a sua resistência ao escoamento plástico acompanhada pelo acréscimo das tensões efetivas.

Os efeitos individuais da geometria da matriz mostraram que a condição mais severa de prensagem é aquela em ausência de raios de adoçamento. Além disso, o raio de adoçamento externo, R_{ext} , contribuiu para o decréscimo de carga enquanto o raio de adoçamento interno, R_{int} , causou a sua elevação porém a níveis abaixo daqueles obtidos no primeiro caso.

5. AGRADECIMENTOS

Neil de Medeiros agradece ao CAPES pelo financiamento das pesquisas para o doutoramento e pós-doutoramento.

6. REFERÊNCIAS

- Alkorta, J. and Sevillano, J.G., 2003, "A comparison of FEM and upper-bound type analysis of equal-channel angular pressing (ECAP)". *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 141, pp. 313-318.
- Chen, L.J., Ma, C.Y., Stoica, G.M., Liaw, P.K., Xu, C. and Langdon, T.G., 2005, "Mechanical behavior of a 6061 Al alloy and an Al₂O₃/6061 Al composite after equal-channel angular processing", *Materials Science and Engineering A*, Vol. 410/411, pp. 472-475.

- Dumoulin, S., Roven, H.J., Werenskiold, J.C. and Valberg, H.S., 2005, "Finite element modeling of equal channel angular pressing: Effect of material properties, friction and die geometry", *Materials Science and Engineering A*, Vol. 410/411, pp. 248-251.
- Iwahashi, Y., Wang, W., Nemoto, M. and Langdon, T.G., 1996, "Principle of equal-channel angular pressing for the processing of ultra-fine grained materials", *Scripta Materialia*, Vol.35, pp. 143-146.
- La, P.Q., Ma, J.Q., Zhu, Y.T., Yang, J., Liu, W.M., Xue, Q.J. and Valiev, R.Z., 2005, "Dry-sliding tribological properties of ultrafine-grained Ti prepared by severe plastic deformation", *Acta Materialia*, Vol. 53, pp. 5167-5713.
- May, J., Höppel, H.W. and Göken, M., 2005, "Strain rate sensitivity of ultrafine-grained aluminium processed by severe plastic deformation", *Scripta Materialia*, Vol. 53, pp. 189-194.
- Nagasekhar, A.V. and Tick-Hon, Y., 2004, "Optimal tool angles for equal channel angular extrusion of strain hardening materials by finite element analysis", *Computational Materials Science*, Vol. 30, pp. 489-495.
- Nagasekhar, A.V., Tick-Hon, Y. and Seow, H.P., 2007, "Deformation behavior and strain homogeneity in equal channel angular extrusion/pressing", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 192/193, pp. 449-452.
- Nakashima, K., Horita, Z., Nemoto, M. and Langdon, T.G., 1998, "Influence of channel angle on the development of ultrafine grains in equal-channel angular pressing", *Acta Materialia*, Vol. 46, pp. 1589-1599.
- Pei, Q.X., Hu, B.H. and Lu, C., 2005, "Thermo-mechanical modeling and analysis of equal channel angular pressing", *Journal of Metastable and Nanocrystalline Materials*, Vol. 23, pp. 263-266.
- Pérez, C.J.L., 2004, "On the correct selection of the channel die in ECAP processes", *Scripta Materialia*, Vol. 50, pp. 387-393.
- Perić, D., Owen, D.R.J. and Honnor, M.E., 1992, "A model for finite strain elastoplasticity based on logarithmic strains: Computational issues", *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, Vol. 94, pp. 35-61.
- Prangnell, P.B., Harris, C. and Roberts, S.M., 1997, "Finite element modelling of equal channel angular extrusion", *Scripta Materialia*, Vol. 37, pp. 983-989.
- Prell, M., Xu, C. and Langdon, T.G., 2008, "The evolution of homogeneity on longitudinal sections during processing by ECAP", *Materials Science and Engineering A*, Vol. 480, pp. 449-455.
- Segal, V.M., 1995, "Materials processing by simple shear", *Materials Science and Engineering A*, Vol. 197, pp. 157-164.
- Segal, V.M., 2004, "Engineering and commercialization of equal channel angular extrusion (ECAE)", *Materials Science and Engineering A*, Vol. 386, pp. 269-276.
- Semiatin, S.L., DeLo, D.P. and Shell, E.B., 2000, "The effect of material properties and tooling design on deformation and fracture during equal channel angular extrusion", *Acta Materialia*, Vol. 48, pp. 1841-1851.
- Shan, A., Moon, I.G., Ko, H.S. and Park, J.W., 1999, "Direct observation of shear deformation during equal channel angular pressing of pure aluminum", *Scripta Materialia*, Vol. 41, pp. 353-357.
- Son, I.H., Jin, Y.G., Im, Y.T., Chon, S.H. and Park, J.K., 2007, "Sensitivity of friction condition in finite element investigations of equal channel angular extrusion", *Materials Science and Engineering A*, Vol. 445/446, pp. 676-685.
- Srinivasan, R., 2001, "Computer simulation of the equichannel angular extrusion (ECAE) process", *Scripta Materialia*, Vol.44, pp. 91-96.
- Stolyarov, V.V., Shuster, L.Sh., Migranov, M.Sh., Valiev, R.Z. and Zhu, Y.T., 2004, "Reduction of friction coefficient of ultrafine-grained CP titanium", *Materials Science and Engineering A*, Vol. 371, pp. 313-317.
- Valiev, R.Z. and Langdon, T.G., 2006, "Principles of equal-channel angular pressing as a processing tool for grain refinement", *Progress in Materials Science*, Vol.51, pp. 881-981.
- Wang, M. and Shan, A., 2007, "Effect of strain rate on the tensile behavior of ultra-fine grained pure aluminum", *Journal of Alloys and Compounds*, article in press, doi:10.1016/j.jallcom.2007.01.166.
- Yoon, S.C. and Kim, H.S., 2008, "Finite element analysis of the effect of the inner corner angle in equal channel angular pressing", *Materials Science and Engineering A*, Vol. 490, pp. 438-444.

7. DIREITOS AUTORAIS

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



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

ANALYSIS OF THE PROCESSING VELOCITY EFFECTS IN THE EQUAL CHANNEL ANGULAR PRESSING TECHNIQUE VIA THE FINITE ELEMENT METHOD

*Neil de Medeiros, neil@metal.eeimvr.uff.br
Luciano Pessanha Moreira, luciano.moreira@metal.eeimvr.uff.br
Jefferson Fabrício Cardoso Lins, jfclins@metal.eeimvr.uff.br
Jayme Pereira de Gouvêa, jpg@metal.eeimvr.uff.br*

Programa de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica, Universidade Federal Fluminense

Avenida dos Trabalhadores, 420, Volta Redonda - RJ, 27255-125, Brasil.

Abstract. *The present work aims at analyzing, via the finite element method, the metallic materials processing velocity influence on the load and the effective plastic strain predictions by mean of the equal channel angular pressing technique (ECAP) by using the program Ansys 11.0. For that, a billet with mechanical properties similar to IF steel (Interstitial Free) tested in uniaxial tension conditions was employed. Its plastic behaviour described by the Peirce hardening law combined to the von Mises isotropic plasticity criterion and the workpieces were deformed after a single pass of pressing at room temperature through distinct tooling arrangements. The ECAP die geometries consisted of absence of fillet radii, identical radii and only the outer fillet radius. For all the considered cases, the die channels intersection angle was assumed to be 90°. In general words, the results showed that the pressing force and the effective plastic strain present a great dependence with the die geometry and, in a lesser degree, with the plastic strain-rate. Thus, for a given velocity, the highest load and effective plastic strain predictions were observed in absence of fillet radii and, then, for intermediary values in the case of equal fillet radii. On the other hand, the die with only the outer fillet radius provided the lower results of both pressing force and effective plastic strain. These characteristics were confirmed by the effective stress-strain curves.*

Keywords: *Finite element method, equal channel angular pressing, Peirce hardening law, von Mises criterion, IF steel*