

EXTRUSÃO DE LIGAS DE ALUMÍNIO M/P: INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS DE CONFORMAÇÃO NAS CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS E PROPRIEDADES MECÂNICAS⁽¹⁾

César Edil da Costa⁽²⁾
Giovani Cerbato⁽³⁾
Masahiro Tomiyama⁽⁴⁾
Cleber Remi Vitorino⁽⁵⁾

Resumo

O objetivo deste trabalho é o estudo das variáveis de extrusão de preformas obtidas por metalurgia do pó. O processo de extrusão é um dos mais importantes na consolidação de materiais permitindo obter produtos com uma grande relação comprimento/diâmetro, e também com controle rigoroso da microestrutura. Dentre as variáveis envolvidas no processo, a geometria da ferramenta é analisada do ponto de vista microestrutural, através da microscopia óptica. Os materiais extrudados foram o alumínio puro e a liga AA6061 (Al,Mg,Si). Com as técnicas de metalurgia do pó produziu-se corpos de prova através da compactação uniaxial com uma pressão de 300 MPa. A extrusão foi realizada a uma temperatura de 450°C, e uma pressão máxima de 580 MPa. As ferramentas utilizadas possuíam o mesmo tamanho final, produzindo uma redução de 96% (25:1) da seção, contudo os ângulos de cone eram diferentes 60, 90, 120 e 180°. Feita a extrusão o cone (região onde o material não escoou) foi separado do filete e depois cortado ao meio, para que assim fosse feita a análise metalográfica. O estudo evidenciou o efeito do atrito durante o processo de conformação em que observou-se uma maior uniformidade de escoamento nas amostras com maior abertura de cone (60° e 90°) e a existência de uma “zona morta” na amostra com ângulo de 180°.

Palavras-chave: Alumínio; Extrusão; Metalurgia do pó.

¹ 60º Congresso Anual da ABM - Internacional, Julho 2005, Belo Horizonte – Brasil.

² Prof. Dr. Eng., edil@joinville.udesc.br, UDESC-CCT / Joinville.

³ Acadêmico de Eng. Mecânica, UDESC-CCT / Joinville

⁴ Prof. Dr. Eng., UDESC-CCT / Joinville.

⁵ Acadêmico de Eng. Mecânica, UDESC-CCT / Joinville.

INTRODUÇÃO

A indústria está investindo em novas tecnologias para se manter atuante no mercado, buscando novas técnicas para a melhoria de materiais convencionais e também melhorar a performance dos novos materiais. Um dos processos mais importantes na consolidação de materiais é a extrusão e com este processo consegue-se cumprir com um dos critérios para o desenvolvimento de materiais, a relação propriedades/microestrutura.

O alumínio e suas ligas apresentam boa ductilidade, permitindo o seu uso em processos que implicam elevados graus de deformação, como a extrusão. A produtividade é alta e garante-se significativa redução nos custos quando se emprega este tipo de processo de fabricação, pois elimina-se operações posteriores de usinagem. A qualidade do produto final extrudado é boa, desde que se tome os devidos cuidados com as variáveis envolvidas no processo. (Arnhold and Baungarten, 1995)

As principais variáveis da extrusão são: (Altan, 1999; Bresciani filho, 2002)

- a) Características do material – o comportamento do material durante a deformação e quando está sujeito a altas temperaturas, deve ser analisado;
- b) Temperatura de trabalho – deve ser suficiente para melhorar a capacidade de conformação plástica do material conduzindo à recristalização. Contudo não deve ser muito alta para evitar gastos excessivos de energia, desgastes das peças da máquina de extrusão, evitar a oxidação excessiva do tarugo e a possibilidade de aparecimento da fragilidade a quente (fenômeno provocado pela fusão de microconstituintes de menor ponto de fusão);
- c) Velocidade de extrusão – quanto maior for a velocidade de extrusão maior será o calor gerado e maior será a temperatura. Deve-se ter cuidado, pois este aumento de temperatura provocado pode fazer o metal atingir o ponto de fusão;
- d) Condições de lubrificação – utiliza-se óleos com grafita, ou simplesmente grafita, resistentes a alta temperatura, para melhorar o acabamento superficial do extrudado e reduzir o desgaste da ferramenta;
- e) Geometria da ferramenta – a pressão tende a cair quando se utiliza ferramentas com abertura de cone maior, contudo o maior contato entre o material e a ferramenta faz aumentar a pressão. “Convém realçar também que o aumento da parte cilíndrica da ferramenta, usada para regularizar e calibrar as dimensões da seção transversal do extrudado, também eleva a força de extrusão da força de atrito”. Apesar do esforço de extrusão ser maior, nas ferramentas cônicas o escoamento do material é mais uniforme com relação às ferramentas de superfícies planas, de 180°.
- f) Pressão de extrusão – depende de vários fatores tais como: natureza do material, mudanças das propriedades com a temperatura e com a velocidade de trabalho, geometria da ferramenta. O fator de maior destaque é a geometria da ferramenta.
- g) Modos de escoamento – “As propriedades e a qualidade do produto extrudado, inclusive a presença de defeitos, depende da forma como o metal escoar e da intensidade e distribuição das deformações, ou seja, depende do modo de escoamento”.

A metalurgia do pó é uma técnica muito aplicada para o desenvolvimento de novos materiais, principalmente quando a segregação de fases é um fator limitante em processos a partir de fase líquida. (Takeda et al, 1988; Weber and Kemppinen, 1992)

Este trabalho tem por objetivo analisar a influência destas variáveis, com ênfase ao ângulo de deformação, e definir a metodologia a ser utilizada para a produção de peças fabricadas por extrusão utilizando preformas porosas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais extrudados foram o alumínio comercialmente puro e a liga 6061 (Al-Mg-Si). Os corpos de prova (tarugo) foram produzidos utilizando-se as técnicas da metalurgia do pó através da compactação uniaxial com uma pressão de 300MPa.

A extrusão dos corpos de prova foi realizada a uma temperatura de 450°C, pressão máxima de 580MPa e a uma velocidade de 90mm/min, apesar de que cada condição teve uma pressão adequada de extrusão. Analisou-se para a mesma taxa de redução de área (96%) a influência do ângulo de deformação. As ferramentas possuíam ângulos de cone de 60, 90, 120 e 180°, representadas na Figura 2. A Figura 1 apresenta o procedimento adotado.

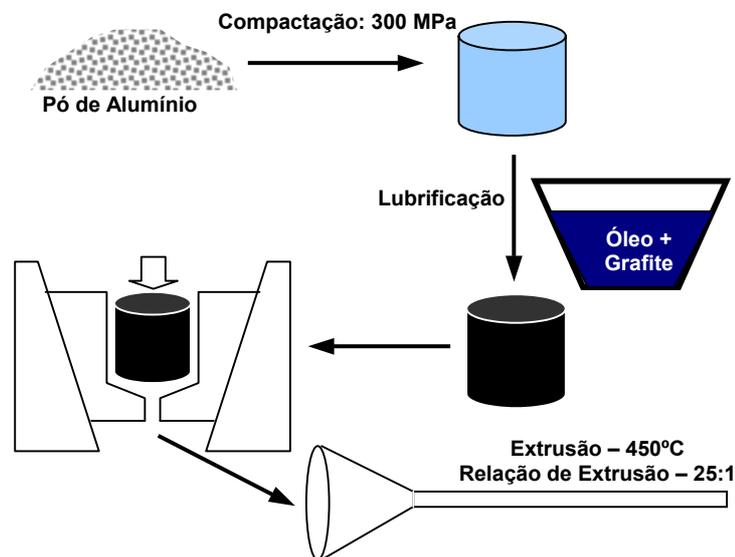


Figura 1. Processo utilizado para a produção do extrudado.

A Figura 2 mostra as partes constituintes da matriz de extrusão: prensa, pistão, disco de pressão, material a ser extrudado e ferramenta.

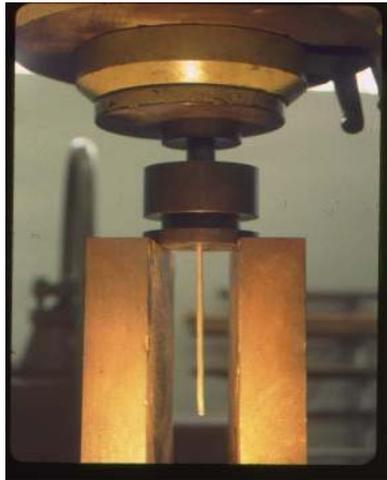


Figura 2. Representação do sistema de extrusão.

Realizada a extrusão, o cone (região onde material não extrudou) foi separado do filete e depois cortado ao meio para a análise metalográfica para verificar o fluxo de material.

Apresentação e discussão dos Resultados

O produto obtido do processo está representado na Figura 5. Pode-se notar a região onde o material ainda não extrudou, denominado de cone. O tamanho médio do filete (região que se deformou) foi de 30cm. Na figura, de cima para baixo, foram utilizados as ferramentas com ângulo de 180, 120, 90, 60° respectivamente.

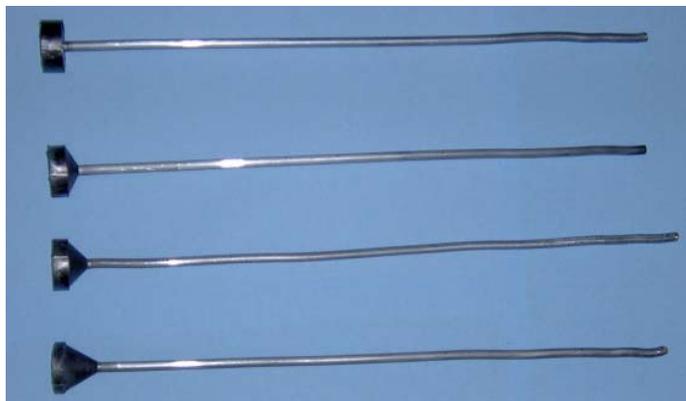


Figura 3. Barra obtida pela extrusão de preforma porosas.

A pressão de extrusão varia em função do ângulo de conformação devido ao atrito gerado entre a preforma e as paredes da matriz. A Tabela 1 mostra os valores correspondentes à extrusão das diferentes preformas evidenciando a maior força para a deformação para o ângulo de 60° em que ocorre uma maior área de contato entre preforma e matriz. O processo de conformação de preforma obtidas por metalurgia do pó ocorre em diferentes etapas primeiro uma densificação, ocorrendo a eliminação da porosidade residual, que é uma etapa relativamente rápida, em seguida ocorre um incremento da força até que começa a fluir o material e por último a etapa de extrusão em que a força é mais estacionária. As pressões necessárias

para a conformação, são em torno de 400 MPa é relativamente baixa, o que é factível em processos industriais. Este comportamento é exemplificado na Figura 4.

Tabela 1. Pressão de extrusão da liga de alumínio AA6061 em função do ângulo da feira.

AA6061	
Ângulo de deformação	Pressão MPa
60°	414,4
90°	395,5
120°	374,8
180°	389,8

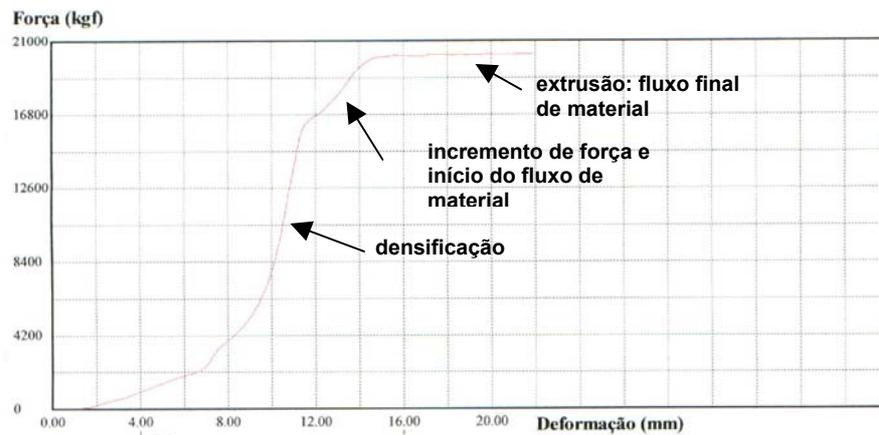


Figura 4. Variação da força de extrusão em diferentes etapas de consolidação de uma preforma porosa durante a extrusão.

Com a análise microscópica pôde-se verificar a alta taxa de deformação, analisando o alongamento dos grãos. O ataque utilizado para se fazer a microscopia foi o Keller's.

Na Figura 5 estão representados os cones (que foram separados dos filetes e depois cortados ao meio) de amostras de AA6061 extrudadas.

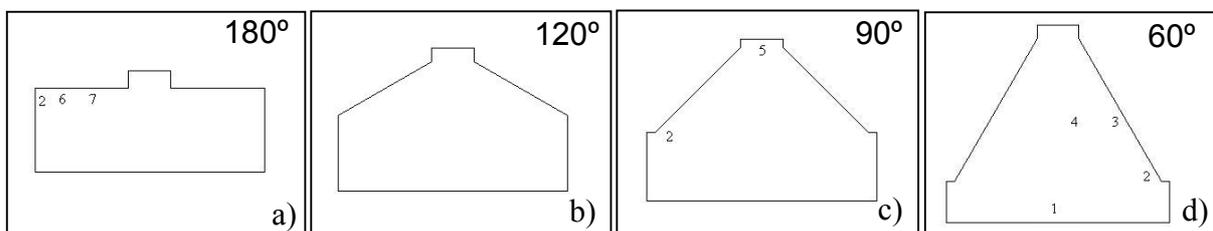


Figura 5. Representação da amostra com diferentes ângulos de deformação.

Na região onde o material ainda não começou a escoar (representada pelo ponto 1 na Figura 5 (d)) os grãos são aproximadamente equiaxiais. Estes grãos ainda não deformados foram observados nas quatro amostras, e estão representados na Figura 6 (amostra com ângulo de 60°).

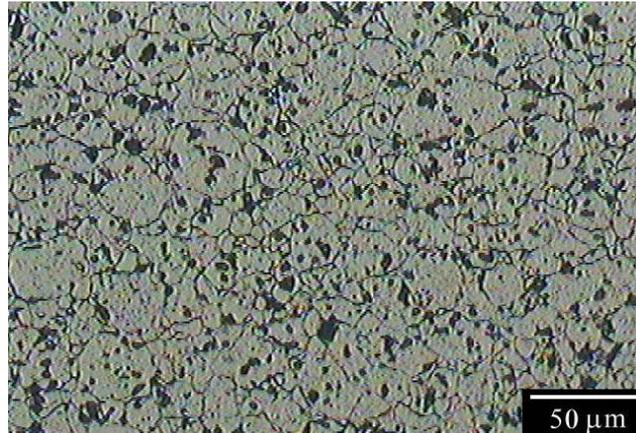


Figura 6. Grãos equiaxiais ainda não deformados (60°).

A deformação (representada pelos pontos 2 na Figura 5 (a,c e d) é notada à medida que os grãos vão se alongando, seguindo o sentido da deformação. Escolheu-se a região de deformação onde o material começa a sua passagem pela ferramenta. Os grãos deformados podem ser observados na Figura 7 representando as amostras com ângulos de cone de $60,90$ e 180° respectivamente. Observa-se que os grãos estão mais deformados na amostra com ângulo de cone de 180° com relação às amostras com ângulo de 60° e 90° .

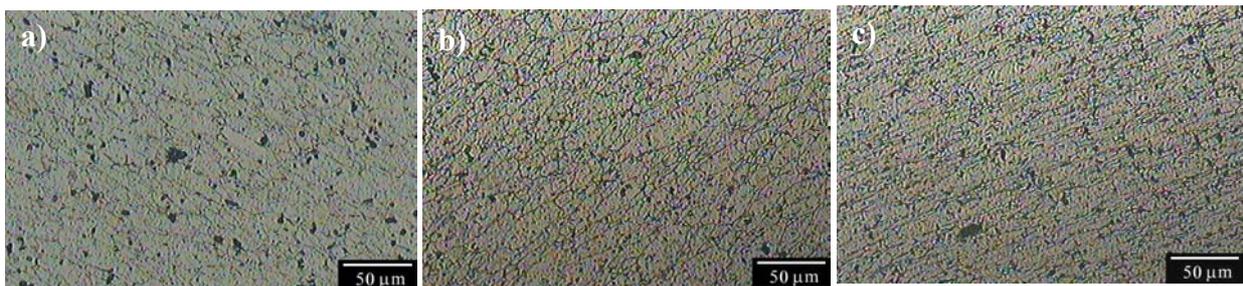


Figura 7. Grãos seguindo o sentido da deformação, a) 60° , b) 90° e c) 180° .

Os grãos estão mais deformados na amostra com ângulo de 180° , pois o escoamento do material é mais desuniforme do que as com abertura cônica. Com relação às amostras de abertura cônica, quanto maior a abertura (menor ângulo da ferramenta) mais uniforme é o escoamento do material. Esta maior uniformidade no escoamento está exemplificada na Figura 8.

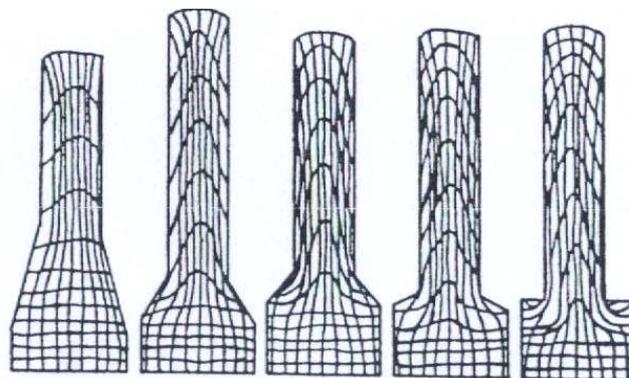


Figura 8. Ilustração de como o ângulo da ferramenta modifica o escoamento do material. (Bresciani Filho, 2002)

Observa-se nas quatro amostras que na região de contato entre o corpo de prova e a matriz de extrusão a deformação é maior que na região interna, isto se deve ao maior atrito presente. A Figura 9 (a) apresenta a região de contato (representada pelo ponto 3 na Figura 5 (d)) e a Figura 9 (b) mostra a região mais interna (representada pelo ponto 4 na Figura 5 (d)).

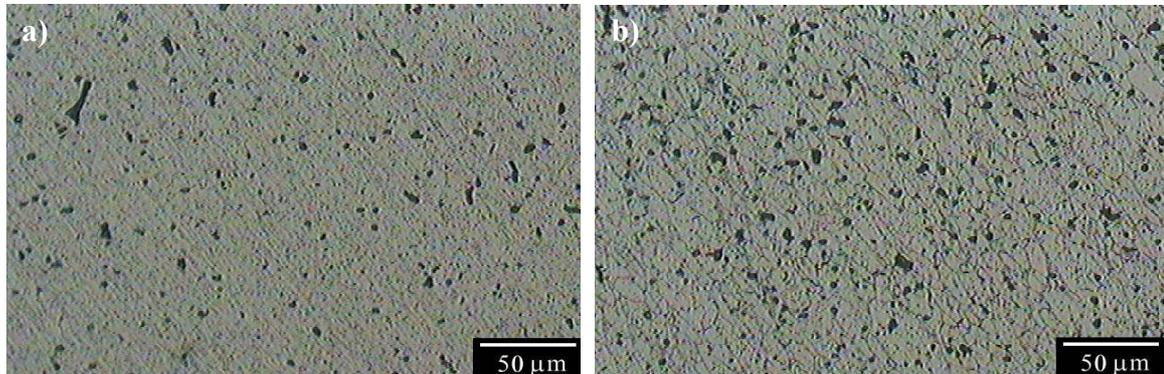


Figura 9. Deformação intensa dos grãos (a) e (b) região mais interna os grãos não se apresentam tão deformados como na Figura 7 (c).

Em regiões onde a deformação é muito grande (representada pelo ponto 5 da Figura 5 (c)) não se consegue mais observar os contornos de grão, somente o sentido do escoamento. Os grãos totalmente deformados são observados na Figura 10.

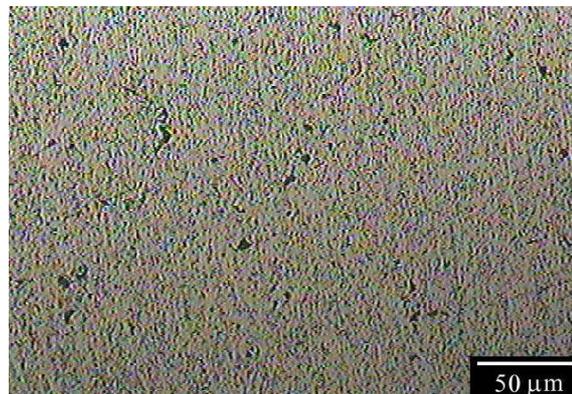


Figura 10. Os contornos de grão não são mais visíveis.

Na amostra com ângulo de 180° observa-se que quando o material passa pela ferramenta, a parte mais interna escoia, mas a parte mais externa fica retida na ferramenta, criando uma “zona morta”. Este fato pode ser observado na Figura 11 (a e b), que representam respectivamente o pontos 6 e 7 da Figura 5 (a).

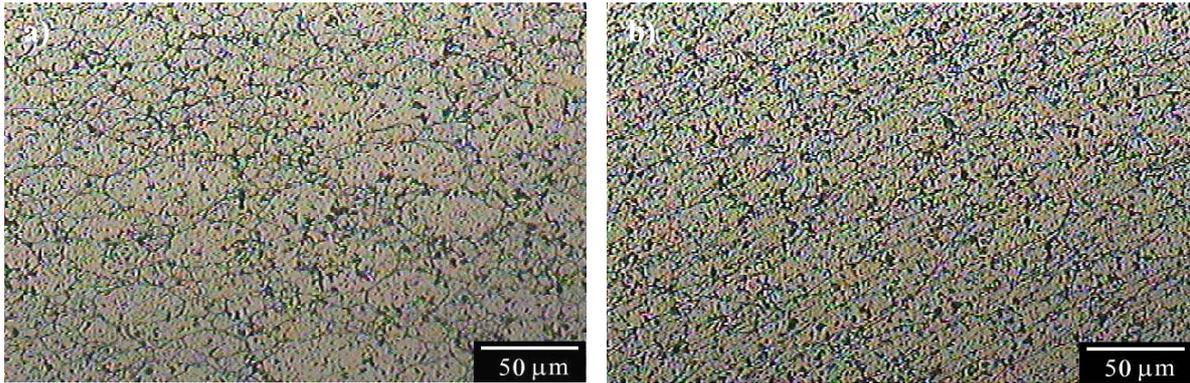


Figura 11. Representação da (a) “zona morta” e (b) região mais interna. Grãos deformados no sentido do escoamento.

A dureza dos produtos estudados independe do ângulo de extrusão sendo todos os meios suficientes para obter um material totalmente consolidado, isento de porosidades, sendo que a dureza do material após extrudado ficou em média de 150 HV.

A resistência à tração varia em função do ângulo de deformação da matriz, sendo que os resultados obtidos são bons considerando que o material está no estado extrudado. A Tabela 2 mostra os valores obtidos.

Tabela 2. Resistência à tração da liga AA 6061, após extrusão com diferentes ângulos da matriz.

	AA6061
Ângulo de deformação	Resistência à tração MPa
60°	208
90°	197
120°	191
180°	190

CONCLUSÕES

- O escoamento torna-se mais uniforme à medida que diminui o ângulo da ferramenta;
- A pressão de extrusão aumentou quando diminuiu-se o ângulo da ferramenta utilizada, pois a área de contato entre a ferramenta e o tarugo é maior, elevando a força de atrito;
- Ocorreu uma maior deformação na região de contato entre o corpo de prova e a matriz, com relação à região mais interna, fato devido ao atrito;
- A pressão de extrusão utilizada para o alumínio puro foi menor que para a liga AA6061, pois apresenta maior ductilidade;
- Nas regiões de intensa deformação os contornos de grão não são mais visíveis. Somente o sentido do escoamento pode ser observado.
- A dureza final dos extrudados fica em torno de 150HV, não ocorrendo variações significativas para os diferentes ângulos.
- A resistência à tração dos extrudados varia em função do ângulo de deformação, sendo o maior valor para o ângulo de 60° (208 MPa), sendo que com tratamento térmico pode-se alcançar valores ainda maiores.

Agradecimentos

Agradecemos a UDESC pela bolsa PIBIC do acadêmico Giovani Cerbato.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 Altan Taylan - Conformação de metais: fundamentos e aplicações.EESC-USP São Carlos, 1999, 166p.
- 2 Arnhold, V. and Baumgarten,J – Dispersion Strengthened Aluminium Extrusions. Powder Metallurgy International, vol17, No4 pp. 168-172, 1985.
- 3 Bresciani Filho, E – Conformação Plástica dos Metais. Editora da Unicamp, 1997, 185p.
- 4 Galanty,M., Kazanowski,P, Kansuwan,P and Misiolek,W – Consolidation of Metal Powders During the Extrusion Processes. Journal of Materials Processing Technology, pp. 491-496, 2002.
- 5 Guia Técnico do alumínio:Extrusão. Associação Brasileira do Alumínio, 1990, 130p.
- 6 Measurement of Pressure Distribution on Die Surface and deformation of extrusion Die in Hot Extrusion 1050 Aluminium Rod. Journal of Materials Processing Technology, pp. 421-425, 2002.
- 7 Onuh,S.O., Ekoja,M. and Adeyemi,M.B. – Effects od Die Geometry and Extrusion Speed on the Cold Extrusion of Aluminium and Lead Alloys. Journal of Materials Processing Technology, pp. 274-285, 2003.
- 8 Takeda,Y, Hayashi,T, Odani,Y, Amano, N. And Kuroishi,N – Hot Forgeability of hot extruded P/M Al-Si-Fe-X alloys. Modern Developments in Powder Metallurgy, vol.19, pp 533-545, 1988.
- 9 Weber, J.H. and Kemppinen, A.I. - Characteristics of Extrusions made from IncoMAP alloy Al-9052. Advances in Powder Metallurgy & particulate Materials , vol7,pp.303-314, 1992.

EXTRUSION OF P/M ALUMINUM ALLOYS: INFLUENCE OF THE VARIABLES OF CONFORMATION IN THE CHARACTERISTICS STRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES⁽¹⁾

César Edil da Costa⁽¹⁾
Giovani Cerbato⁽²⁾
Masahiro Tomiyama⁽³⁾
Cleber Remi Vitorino⁽⁴⁾

Abstract

The main aim of this work is the study of extrusion variables of Al-alloys the powder metallurgy preforms. The extrusion process is the more important in the material consolidation for high ratio length/diameter and microestrutural control. The variables studied are the geometry of die and the analysis of the microstructure by optical microscopy. The materials studied are the AA6061 alloy and pure aluminum. The preforms were obtained through uniaxial compactation with 300 MPa. The extrusion is to carry out a 450 °C and 580 MPa as maximum pressure. The dimension of the die is the 5 mm of diameter and different angles of deformation of 60°, 90°, 120° and 180°. The analysis of the results indicated that the better angle of the extrusion is the 120° because the more homogeneity flow of material during the forming.

Key-words: Aluminum; Extrusion; Powder metallurgy.

¹ Prof. Dr. Eng., edil@joinville.udesc.br, UDESC-CCT / Joinville.

² Acadêmico de Eng. Mecânica, UDESC-CCT / Joinville

³ Prof. Dr. Eng., UDESC-CCT / Joinville.

⁴ Acadêmico de Eng. Mecânica, UDESC-CCT / Joinville.