

INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS DE CONFORMAÇÃO NAS CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS E PROPRIEDADES MECÂNICAS DE LIGA DE ALUMÍNIO P/M EXTRUDADA

César Edil da Costa¹Giovani Cerbato²Masahiro Tomiyama³Cleber Remi Vitorino⁴

Resumo

O objetivo deste trabalho é o estudo das variáveis de extrusão de preformas obtidas por metalurgia do pó. O material extrudado foi a liga AA6061 (Al,Mg,Si), obtida por atomização. Dentre as variáveis envolvidas no processo, estudou-se a geometria da ferramenta sendo analisada do ponto de vista microestrutural, através da microscopia óptica. 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, resultando em uma redução de 96% (25:1) da seção, contudo os ângulos de cone eram diferentes 60, 90, 120 e 180°. Após 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 se observou 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.

INFLUENCE OF THE VARIABLES OF CONFORMATION IN THE CHARACTERISTICS STRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF EXTRUDED P/M ALUMINUM ALLOYS

Abstract

The present work aims at studying the variables associated with extrusion of specimens manufactured using powder metallurgy. The aluminum alloy AA 6061 (Al,Mg,Si) used in the extrusion process was obtained via atomization. The study is focused on the effects of the tool geometry in the microstructure of the extruded material. The analyses have been performed using optical microscopy. The specimens have been prepared using the conventional metal powder techniques with a 300 MPa pressure for the uniaxial compaction and a temperature of 450°C. All tools have been designed to provide the same reduction ratio (96 % or 25:1) with different cone angles (60, 90, 120, and 180°). The final extruded material located in the cone (region with no material flow) was split in half and prepared for metallographic analysis. The study evinced the friction effect during the forming process and showed greater flow uniformity in samples with larger cone opening angles (60° and 90°) and the existence of a “dead zone” in the sample with a 180° cone-opening angle.

Key words: Aluminum; Extrusion; Powder metallurgy.

I 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.

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

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 permite eliminar operações posteriores de usinagem. A qualidade do produto final extrudado depende fundamentalmente do controle variáveis envolvidas no processo.^(1,2)

As principais variáveis da extrusão são: (3-5)

- Características do material – o comportamento do material durante a deformação deve ser analisado principalmente quando está sujeito a altas temperaturas;
- 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 ferramentas de extrusão, evitar a oxidação excessiva do tarugo e a possibilidade de aparecimento da fragilização a quente (fenômeno provocado pela fusão de microconstituintes de menor ponto de fusão);
- 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;
- Condições de lubrificação – utiliza-se lubrificantes resistentes à alta temperatura a base de óleos com grafita ou simplesmente grafita, para melhorar o acabamento superficial do extrudado e reduzir o desgaste da ferramenta;
- Geometria da ferramenta – a pressão tende a diminuir quando se utilizam ferramentas com abertura de cone maior, contudo o maior contato entre o material e a ferramenta faz aumentar a pressão. Convém ressaltar 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°.

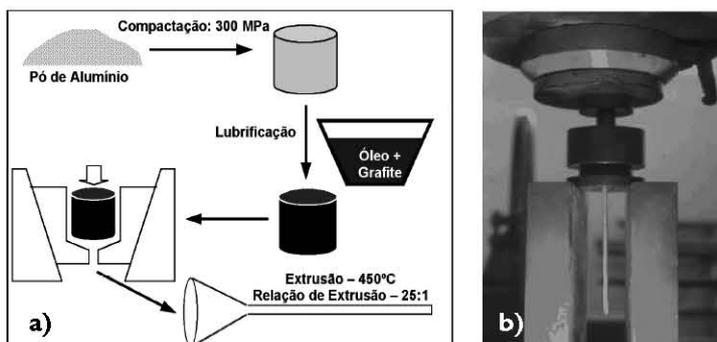


Figura 1. (a) Processo utilizado para a produção do extrudado, (b) ilustração do sistema de extrusão.

- 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 influência é a geometria da ferramenta.
- 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 com a presença de fase líquida. Outra grande vantagem da utilização do processo de extrusão é poder obter perfis de grandes dimensões, o que em geral é uma limitação do processo de metalurgia do pó.⁽⁶⁻⁸⁾

Este trabalho tem por objetivo estudar a conformação de preformas obtidas por metalurgia do pó e analisar a influência do ângulo de deformação, e definir uma metodologia a ser utilizada para a produção de perfis fabricados por extrusão de preformas porosas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O material extrudado foi 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 300 MPa.

A extrusão dos corpos de prova foi realizada a uma temperatura de 450°C, pressão máxima de 580 MPa e uma velocidade de 90mm/min, apesar de que cada condição teve uma pressão adequada de extrusão. Analisou-se a influência do ângulo de deformação para a mesma taxa de redução de área (96%). As ferramentas com ângulos de cone de 60, 90, 120 e 180° estão representadas na Figura 4. A Figura 1 mostra as partes constituintes da matriz de extrusão: prensa, pistão, disco de pressão, material a ser extrudado e ferramenta, bem como o ferramental utilizado.

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.

3 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O produto obtido do processo está representado na Figura 2. Pode-se observar a região onde o material ainda não extrudou, denominado de cone, e o filete extrudado (comprimento médio de 30cm).

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 preformas 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

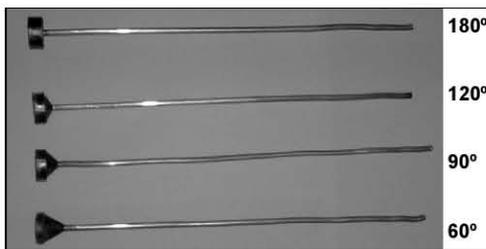


Figura 2. Barras obtidas pela extrusão de preforma porosas.

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

Ângulo de deformação	AA6061 Pressão MPa
60°	414
90°	396
120°	375
180°	390

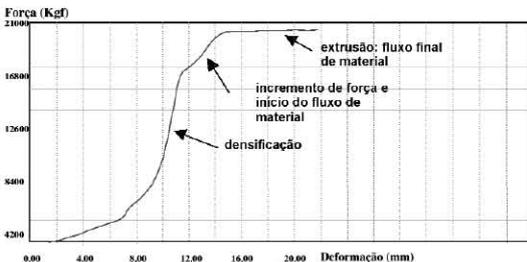


Figura 3. Variação da força de extrusão em diferentes etapas de consolidação de uma preforma porosa durante a extrusão.

relativamente baixa, o que é factível em processos industriais. Este comportamento é exemplificado na Figura 3.

Com a análise microscópica pôde-se verificar o efeito da alta taxa de deformação observada através do alongamento dos grãos. A revelação das microestruturas foi através do ataque químico com o reagente de Keller's.

Na Figura 4 estão representados os cones de amostras da liga AA6061 extrudadas.

Na região onde o material ainda não começou a escoar (representada pelo ponto 1 na figura 4 (d)) os grãos são aproximadamente equiaxiais. Estes grãos ainda não deformados foram observados nas quatro amostras, e estão representados na Figura 5 (amostra com ângulo de 60°).

A deformação (representada pelos pontos 2 na Figura 4 (a, c e d)) é notada à medida que os grãos vão se alongando, seguindo o sentido da deformação. Os grãos deformados podem ser observados na figura 6 representando as amostras com ângulos de cone de 60, 90 e 180° respectivamente. Observa-se que os grãos estão mais deformados na amostra extrudada com ângulo de cone de 180° com relação às amostras com ângulo de cone de 60° e 90°.

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 7.

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, evidenciando o efeito do atrito nas regiões de contato da matriz. Na Figura 8 podemos observar este

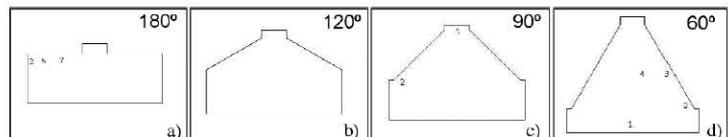


Figura 4. Cones de extrusão de diferentes ângulos de deformação

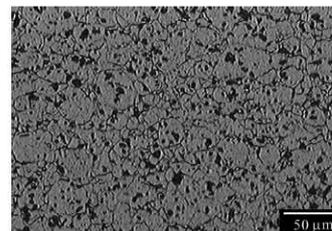


Figura 5. Grãos equiaxiais ainda não deformados (60°).



Figura 6. Amostras extrudadas mostrando grãos seguindo o sentido da deformação, a) 60°, b) 90° e c) 180°.

efeito nos materiais estudados em que na micrografia 8(a) observamos a região de contato (representada pelo ponto 3 na Figura 4 (d)) e a Figura 9 mostra a região mais interna (representada pelo ponto 4 na Figura 4 (d)).

Em regiões onde a deformação é muito grande (representada pelo ponto 4 da Figura 4(d), não se consegue mais observar os contornos de grão, somente o sentido do escoamento, como mostra a Figura 9, onde os grãos estão totalmente deformados e os contornos de grão não são mais visíveis.

Na amostra com ângulo de 180°, quando o material passa pela ferramenta, a região mais interna escoou, mas a região mais externa fica retida na ferramenta, criando uma “zona morta”. Este fato pode ser observado na Figura 10 (a e b), que representam respectivamente os pontos 6 e 7 da Figura 4 (a). Os grãos deformados no sentido do escoamento são mostrados na Figura 10 (b).

A dureza dos produtos estudados independe do ângulo de extrusão sendo que para todos os produtos obtidos a deformação foi suficiente para obter um material totalmente consolidado, isento de porosidades, sendo que a dureza do material após extrudado resultou em média de 150HV.

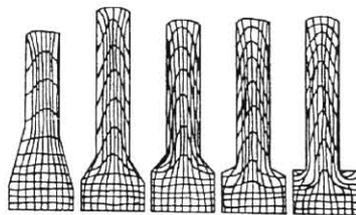


Figura 7. Ilustração do escoamento do material em função do ângulo da ferramenta.⁽⁴⁾

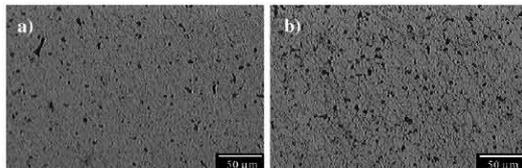


Figura 8. Efeito do atrito das paredes da matriz no escoamento do material. (a) região de contato da preforma com a parede da matriz (deformação intensa dos grãos) e (b) região sem contato com a matriz.

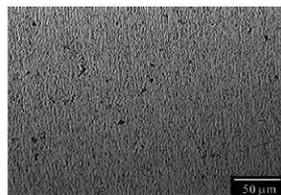


Figura 9. Microestrutura da amostra representada pelo ponto 4 da figura 4 (d).

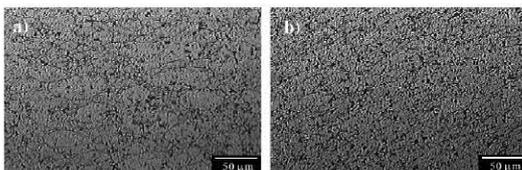


Figura 10. Representação da microestrutura da “zona morta” (a) e região mais interna (b).

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 sem tratamentos térmicos de endurecimento. A Tabela 2 mostra os valores obtidos.

Considerando o processo de extrusão como um processo de consolidação de preformas porosas podemos considerar que os resultados obtidos são compatíveis com produtos obtidos por técnicas convencionais de extrusão utilizando tarugos fundidos ou forjados. Assim a extrusão pode ser perfeitamente utilizada como uma alternativa para obter produtos com grandes dimensões a partir de preformas fabricadas por tecnologias de pós.

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

Ângulo de deformação	Alumínio - AA 6061 Resistência à tração (MPa)
60°	208
90°	197
120°	191
180°	190

4 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;

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), podendo ainda com tratamentos térmicos alcançar valores ainda maiores.

Agradecimentos

Agradecemos a UDESC pela bolsa PIBIC do acadêmico Giovani Cerbato.

REFERÊNCIAS

- 1 ARNHOLD, V.; BAUMGARTEN, J. Dispersion strengthened aluminium extrusions. **Powder Metallurgy International**, v.17, n. 4, p. 168-172, 1985.
- 2 Associação Brasileira do Alumínio. **Guia técnico do alumínio: extrusão**. São Paulo, 1990.
- 3 ALTAN, T. **Conformação de metais: fundamentos e aplicações**. São Carlos : EESC-USP, 1999.
- 4 BRESCIANI FILHO, E. **Conformação plástica dos metais**. Campinas: Editora da Unicamp, 1997.
- 5 ONUH, S. O.; EKOJA, M.; ADEYEMI, M. B. Effects of die geometry and extrusion speed on the cold extrusion of aluminium and lead alloys. **Journal of Materials Processing Technology**, v.132, n. 1-3, p. 274-285, Jan. 2003.
- 6 TAKEDA, Y.; HAYASHI, T.; ODANI, Y.; AMANO, N.; KUROISHI, N. Hot forgeability of hot extruded P/M Al-Si-Fe-X alloys. In: GUMMESON, P.U.; GUSTAFSON, D.A. (eds.) Princeton, NJ : Metal Powder Industries Federation, 1988. p. 533-545 (Modern Developments in Powder Metallurgy, v.19)
- 7 WEBER, J. H.; KEMPPINEN, A. I. Characteristics of Extrusions made from IncoMAP alloy Al-9052. **Advances in Powder Metallurgy & Particulate Materials**, v. 7, p.303-314, 1992.
- 8 GALANTY, M.; KAZANOWSKI, P.; KANSUWAN, P.; MISIOLEK, W. Consolidation of metal powders during the extrusion processes. **Journal of Materials Processing Technology**, v.125-126, p. 491-496, Sept. 2002.

Recebido em: 01/12/05

Aceito em: 29/03/06

Proveniente de: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 60., 2005, Belo Horizonte. São Paulo : ABM, 2004.