



Estudo do processo de fabricação para uma matriz de extrusão direta de tamanho meso

Com o objetivo de manufaturar meso peças pelo processo de extrusão direta, diversos testes são realizados a fim de avaliar a fabricação das respectivas matrizes. Os resultados do processo de usinagem indicam que é possível fabricar as matrizes de extrusão através de brocas de aço rápido e polimento utilizando pasta diamantada com resultados satisfatórios.

O processo de extrusão é utilizado na fabricação de peças de geometria variada, sendo a peça empurrada contra a matriz de extrusão [1]. Os parâmetros de força de extrusão, atrito entre peça e matriz de extrusão entre outros aspectos do projeto possuem uma variada fonte de pesquisa para peças de tamanho macro, mas para tamanhos menores estes aspectos não podem ser aplicados diretamente por apresentarem diferenças baseadas no problema de tamanho de peça [2, 3, 4].

A definição de tamanho de peças está baseada em estudos de [2] para micro peças, caracterizada como a peça que tenha duas dimensões menores que 1 mm. Para peças que tenham tamanho em duas ou mais dimensões entre 1 e 10 mm, a nomenclatura define como peça de tamanho meso. Tamanhos acima de 10 mm são denominadas peças macro e as peças menores que 0,1 mm são denominadas de tamanho nano [5].

As peças resultantes deste processo de micro e meso extrusão podem ser aplicadas a sistemas MEMS¹

em telefones celulares, tocadores de MP3, outros equipamentos eletrônicos e também para equipamentos médicos que exigem componentes menores para reduzir traumas de cirurgias em pacientes [6, 7, 8].

No processo de fabricação de meso pinos por extrusão, o atrito entre peça e ferramenta, o estado da microestrutura do material, as tensões internas, entre outros itens, influenciam na força de conformação que deve ser aplicada ao material [5, 9].

Com o objetivo de manufaturar meso peças pelo processo de extrusão direta, matrizes de extrusão foram desenvolvidas e manufaturadas utilizando equipamentos como torno CNC² e centro de usinagem. Após o tratamento térmico das matrizes, estas foram polidas utilizando pasta diamantada. Com as matrizes prontas, foram extrudadas peças de latão para verificar o acabamento interno das matrizes.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS Extrusão

Com o processo de extrusão é

possível obter perfis com boa tolerância dimensional. Estes perfis podem ser conseguidos utilizando processos de extrusão direta e indireta [10]. A figura 1 mostra um desenho esquemático do processo de extrusão direta.

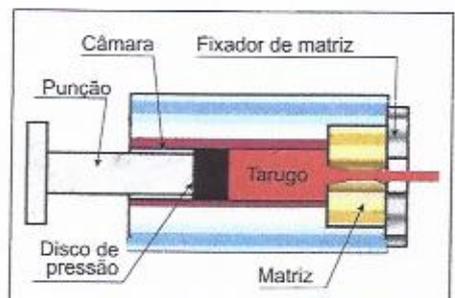


Figura 1 - Processo de extrusão direta.
Fonte: Adaptado de [10]

¹MEMS: do inglês Micro-Electro-Mechanical Systems, significa micro sistemas eletromecânicos. O termo foi inventado nos anos 80 para descrever os novos sistemas mecânicos, sofisticados em uma microplaqueta, tal como os micro motores elétricos, ressonadores, engrenagens, e assim por diante. Hoje, o termo MEMS é usado na prática para consultar todo o tipo de dispositivo microscópico com uma função mecânica (por exemplo, uma disposição das engrenagens microscópicas fabricadas em um microchip seria considerada um dispositivo de MEMS mas um componente feito a laser ou um relógio não) [wikipedia].

²CNC: do inglês Computer Numerical Control, que significa comando numérico computadorizado.

A diferença entre o processo de extrusão direta e indireta está no fato de que na primeira o punção empurra o material para dentro de uma matriz de conformação com o perfil desejado e na segunda, a matriz se movimenta contra a matéria prima. A figura 2 mostra o processo de extrusão indireta e lateral.

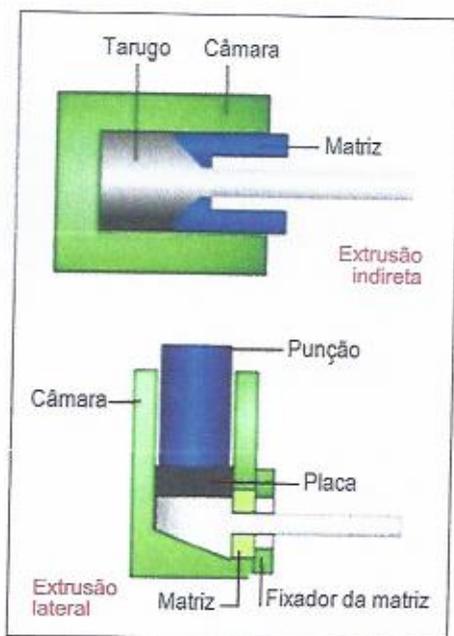


Figura 2 - Processo de extrusão indireta e lateral. Fonte: Adaptado de [11]

Com o processo de extrusão é possível fabricar pinos e perfis que podem ser utilizados em manipuladores, micro circuito, peças para pequenas turbinas, componentes para células de combustível, entre outras aplicações [12].

Quanto menor for o tamanho da peça extrudada, maiores as dificuldades de fabricação dos ferramentais, por causa das tolerâncias dimensionais. Uma peça de tamanho macro com tolerância dimensional de 0,1 mm possui uma razoável tolerância, mas para peças menores, como micro peças, essa tolerância representa no mínimo 10% do tamanho da peça. Isso também se configura para peças de tamanho meso, somente em menor escala [5].

Sistema CAD³ / CAE⁴ / CAM⁵

As tecnologias CAD/CAE/CAM auxiliam na etapa de projetar elementos estruturais, na escolha de materiais, no dimensionamento e processos de fabricação que resultam em projetos com menor quantidade de material e análises mais precisas de resistência mecânica e técnicas de usinagem mais aprimoradas [13].

Os sistemas CAD são softwares⁶ utilizados para criação, otimização, alteração, e análise de projetos de componentes nas mais variadas áreas do conhecimento. No caso de sistemas mecânicos como matrizes de forjamento, utilizando softwares com possibilidade de desenho em 3D⁷ é possível analisar as peças forjadas em ambiente virtual, avaliar possíveis defeitos e migrar os dados para softwares de sistemas CAM e/ou diretamente para centros de usinagem CNC, sem precisar desenvolver o programa da máquina de usinagem manualmente, evitando erros no processo de usinagem.

Os sistemas CAE auxiliam no projeto de peças mecânicas avaliando o comportamento desses componentes em diversas situações em modelamento virtual, sem necessidade de construção de modelos físicos que geralmente são caros e demoram certo tempo para ser confeccionados. A figura 3 mostra um exemplo de simulação de componente mecâ-

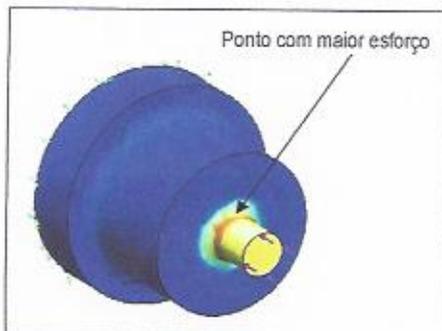


Figura 3 - Simulação em CAE de punção de extrusão com aplicação de carga de 50 kN. Fonte: Arquivo pessoal

nico que está sob ação de uma força em um dos seus extremos.

Com o auxílio do sistema CAD, o software CAM automatiza o processo de usinagem utilizando máquinas CNC. Os equipamentos CNC utilizam linguagem específica para cada tipo de comando que, através de uma série de instruções, faz com que a máquina realize movimentos pré-determinados sem a necessidade da intervenção humana [14].

Matriz de Extrusão

No processo de extrusão direta, algumas das características da matriz de extrusão dependem da redução por área do material, guiamento ou não do material, entre outros aspectos. Quando se trabalha com perfis complexos, o fator de transformação ou razão de extrusão é utilizado para verificar a quantidade de vezes que o metal contido no recipiente é reduzido em sua seção transversal. A figura 4 mostra as dimensões relevantes para o processo de extrusão utilizada neste trabalho.

onde

- h_k [mm] = Altura não extrudada;
- d_0 [mm] = Diâmetro da geratriz;
- d_1 [mm] = Diâmetro final da peça;
- α [°] = Ângulo de extrusão; e
- ϵ [°] = Ângulo de saída;

Neste trabalho foram variadas três das cotas presentes, sendo va-

³CAD: do inglês Computer Aided Design, significa projeto assistido por computador.

⁴CAE: do inglês Computer Aided Engineering, significa engenharia assistida por computador.

⁵CAM: do inglês Computer Aided Manufacturing, significa fabricação assistida por computador.

⁶Software: ou programa de computador, é uma sequência de instruções a serem seguidas e/ou executadas, na manipulação, redirecionamento ou modificação de um dado/informação.

⁷3D: abreviação da denominação três dimensões. É linguagem coloquial no setor ferramenteiro para denominar a representação gráfica eletrônica (modelamento) de uma peça em três dimensões.

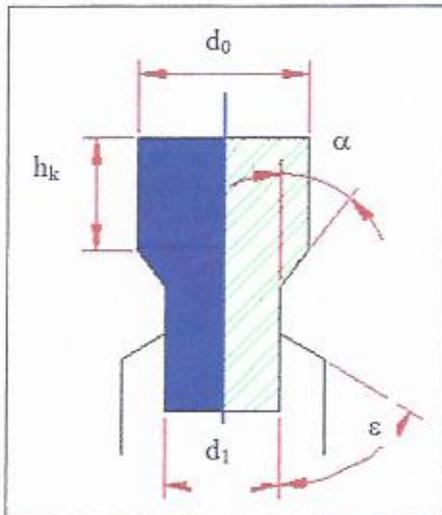


Figura 4 - Dimensões relevantes para o processo de extrusão utilizado. Fonte: Arquivo pessoal

riado o ângulo de extrusão de 30° , 45° e 60° .

PROCEDIMENTO DE MANUFATURA DAS MATRIZES DE EXTRUSÃO

O processo de usinagem utilizado foi o de furação a partir de um centro de usinagem CNC com brocas de aço rápido para realizar a abertura da câmara e da matriz de extrusão.

A seguir será descrito o processo utilizado para usinagem, tratamento térmico e polimento das matrizes deste trabalho.

Usinagem das Matrizes de Extrusão

O projeto das matrizes de extrusão foi dividido em duas partes: o projeto e a fabricação de uma matriz que daria suporte para as ferramentas de extrusão; e as ferramentas de extrusão propriamente ditas. O projeto e a manufatura das placas de suporte da matriz de extrusão não serão abordados neste trabalho. Apenas a manufatura das ferramentas de extrusão em si e os punções serão avaliados.

Para a manufatura das ferramentas de extrusão foi escolhido como material um aço para conformação

a frio ASTM⁶ D2 em estado recozido, em formato de barra redonda.

A figura 5 mostra o projeto das ferramentas da matriz de extrusão para diâmetros de material de entrada de 4 mm.

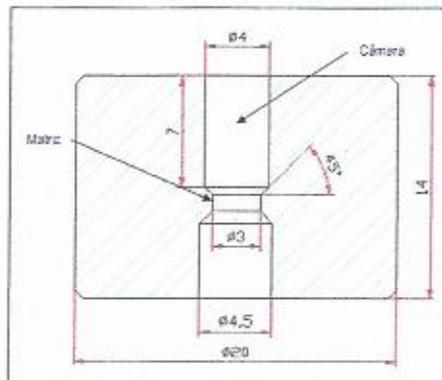


Figura 5 - Matriz de extrusão e punção em corte total com as respectivas cotas. Fonte: Arquivo pessoal

Para a preparação das matrizes de extrusão, 6 peças de $\varnothing 20$ mm e altura de 14 mm foram preparadas em torno convencional. A quantidade foi determinada levando em consideração que seriam usinadas uma peça de cada tipo de matriz e 3 peças reservas, caso alguma sofresse dano durante o processo de fabricação e utilização.

O primeiro furo a ser usinado faz referência a saída de material extrudado, sendo utilizado um diâmetro de broca 0,5 mm maior que o do material de entrada, no caso brocas de $\varnothing 4,5$ mm com ângulo de ponta de 90° . As furações foram feitas no centro de usinagem Romi Discovery 4022.

Com todas as peças furadas na saída de material extrudado, as matrizes foram retiradas da morsa do centro de usinagem e invertidas para a furação da cavidade onde o material será introduzido para o processo de extrusão, sendo que o ângulo de extrusão é feito pelo ângulo de afiação de ponta da broca. A figura 6 mostra as brocas de centrar $\varnothing 4$

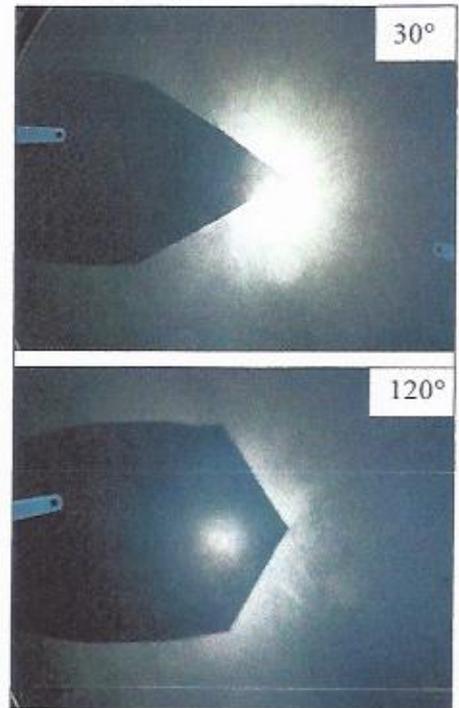


Figura 6 - Brocas de centrar utilizadas para abertura das furações das matrizes de $\varnothing 4$ mm. Fonte: Arquivo pessoal

mm utilizadas para a manufatura das matrizes de $\varnothing 4$ mm, com ângulos diferentes de afiação.

Na furação das matrizes de $\varnothing 4$ mm foram utilizados brocas de $\varnothing 4$ mm com ângulos de ponta conforme o ângulo de extrusão para cada matriz.

A última etapa de usinagem foi abrir a região de calibração, utilizando brocas de 3 mm para matrizes de $\varnothing 4$ mm. A figura 7 mostra a manufatura das matrizes no centro de usinagem e as matrizes usinadas prontas para o tratamento térmico.

Os punções foram fabricados em um torno CNC Romi Century 30D, usinados a partir de barras redondas

⁶ASTM: American Society for Testing and Materials (Sociedade Americana para Ensaio e Materiais) foi fundada em 1898 nos Estados Unidos da América, por um grupo de cientistas e engenheiros, para analisar as frequentes quebras dos trilhos de trem. Como resultado, o grupo desenvolveu uma norma para o aço utilizado nas ferrovias. É responsável pela produção de normas para diversas áreas da indústria, sendo muito usadas na padronização de materiais, como ligas de aço, alumínio, polímeros e combustíveis.



Figura 7 - Acima: manufatura no centro de usinagem das matrizes; abaixo: matrizes usadas. Fonte: Arquivo pessoal

de aço ASTM D2. A figura 8 mostra a usinagem dos punções utilizados para o processo de extrusão.

Tratamento Térmico e Polimento da Matriz

Após a usinagem das matrizes e



Figura 8 - Manufatura no torno CNC dos punções de extrusão. Fonte: Arquivo pessoal

punções, as peças foram tratadas termicamente em um forno da marca Jung com capacidade de aquecimento de até 1.200°C. A taxa de aquecimento utilizada foi de 7°C por minuto até um patamar de 950°C. O tempo de encharque foi de 20 minutos. Na sequência, as matrizes e os punções foram resfriados em óleo a temperatura ambiente.

Depois do tratamento de tempera⁹, as peças voltaram ao forno a uma temperatura de 400°C por 1 hora para revenimento¹⁰. A figura 9 mostra as peças após o tratamento térmico.



Figura 9 - Punções após o tratamento térmico. Fonte: Arquivo pessoal

Após o tratamento térmico, as peças foram submetidas ao processo de polimento utilizando para isso pasta de polimento diamantada com tamanho de partícula de 0,5 µm, madeira e uma furadeira de bancada. Na figura 10 podem ser vistas as matrizes no processo de polimento.

Foram testados três tipos diferentes de madeira que permitissem o polimento interno da matriz sem sofrer ruptura por torção. As madeiras testadas foram o pinus eliottii, eucalipto e o cedro, sendo o cedro a madeira mais indicada para esta finalidade de polimento pela boa flexibilidade da madeira e resistência mecânica a torção presente neste tipo de polimento de cavidades redondas.

Para finalizar, além do polimento mecânico foi utilizado um processo de polimento eletroquímico com



Polimento das matrizes



Pinos de madeira usados no polimento

Figura 10 - Polimento da matriz e hastes de madeira utilizadas no processo. Fonte: Arquivo pessoal

mistura de 100 ml de ácido nítrico 65% e 200 ml de álcool etílico 99,8%. Uma fonte de tensão constante foi utilizada com capacidade de até 50 V, sendo a tensão de trabalho de 22 V e um eletrodo de aço inoxidável aplicado como cátodo. O polimento foi realizado em cada matriz separadamente e mergulhada dentro da solução ácida em um béquer¹¹, com tempo de ataque eletroquímico de 1 minuto.

⁹Têmpera: Tratamento térmico caracterizado pelo resfriamento em velocidade superior a velocidade crítica de tempera de uma liga ferro-carbono, a partir de uma temperatura acima da zona crítica para aços hipoeutetóides e geralmente dentro da zona crítica para aços hipereutetóides, resultando em transformação da austenita em martensita.

¹⁰Revenimento: Revenimento é um processo feito após o endurecimento por tempera. Peças que sofreram tempera tendem a ser muito quebradiças. A fragilidade é causada pela presença da martensita. A fragilidade pode ser removida pelo revenimento. O resultado do revenimento é uma combinação desejável de dureza, ductilidade, tenacidade, resistência e estabilidade estrutural. As propriedades resultantes do revenimento dependem do aço e da temperatura do revenimento [www.cimm.com.br].

¹¹Béquer: Também denominado becker, copo ou gobelê é um recipiente simples utilizado em laboratório. Béqueres são geralmente de formato cilíndrico com fundo chato e um bico em sua parte superior. São graduados, oferecendo medidas pouco precisas. Não há tamanho padrão para esses materiais, podendo medir volumes muito pequenos, de poucos mililitros até volumes maiores, com vários litros.

A eficácia do polimento, para as matrizes de Ø4 mm, foi analisada visualizando a parte interna contra a luz e a procura de riscos de usinagem na parede da matriz. Para avaliar melhor o resultado da usinagem e do polimento das matrizes, pinos de latão C34000 foram extrudados e sua superfície analisada a procura de marcas e riscos de usinagem.

A figura 11 mostra a montagem das matrizes de extrusão na máquina de ensaio universal onde foi testado o processo de meso e micro extrusão.

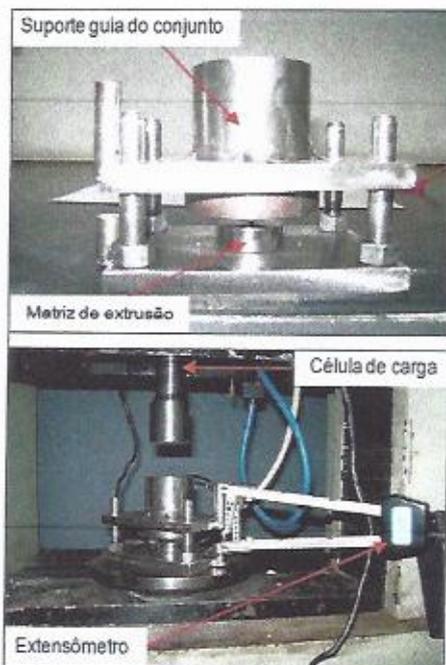


Figura 11 - Montagem da matriz de extrusão.
Fonte: Arquivo pessoal

Para avaliar as dimensões e o processo de polimento das matrizes, para cada matriz, um pino de latão sofreu extrusão, deixando parte do material sem extrudar para avaliar as medidas do ângulo de extrusão. Na figura 12 podem ser vistos os pinos extrudados em um projetor de perfil.

Além da visualização das peças extrudadas com o auxílio do projetor de perfil, as peças foram analisadas com uma lupa. A verificação das peças mostrou que o processo

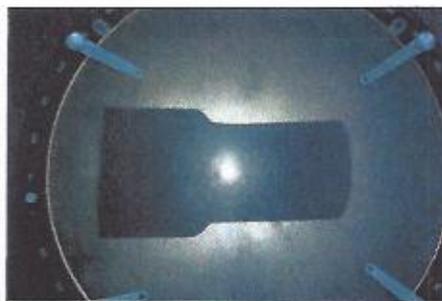


Figura 12 - Pino de Ø4 mm extrudado em um projetor de perfil. Fonte: Arquivo pessoal

de fabricação utilizando brocas com os ângulos de ponta igual ao ângulo de extrusão pode ser utilizado na fabricação de matrizes para perfil redondo.

CONCLUSÕES

A manufatura de matrizes de micro e meso extrusão de perfil redondo utilizando brocas de aço rápido com ângulo de ponta igual ao ângulo de extrusão desejado se mostrou eficaz tanto no dimensional obtido como na velocidade de manufatura, pois com um único passe pode-se chegar ao diâmetro final desejado e o ângulo de extrusão projetado.

A manufatura destas matrizes mostrou que o polimento é o processo mais demorado, sendo que a utilização de processo mecânico somado ao processo eletroquímico melhorou o aspecto interno das matrizes.

A ausência de riscos nas peças extrudadas mostrou a eficácia do processo de polimento das matrizes, principalmente o polimento eletroquímico para matrizes de pequenos diâmetros.

O teste final extrudando um pino de latão, mostrou que as dimensões projetadas e as dimensões do pino coincidem e que a ausência de riscos de usinagem no pino extrudado demonstram que o processo produtivo pode ser aplicado na manufatura de matrizes de pequeno e médio porte.



CASA DO
FERRAMENTEIRO

Disponibilizando o que há de
melhor para ferramentarias

A Evolução do Pino Extrator



Exclusivo



AV03

Ideal para moldes de
fundição sob pressão

Maior vida útil dos moldes

Menor nível de manutenção

Solicite catálogo técnico

Mecanismos para Moldes



Travas de Gaveta

Ganhe tempo de projeto utilizando
nossos modelos 3D



Puxadores de Placa



Intercambiável com os padrões
HASCO, CUMSA, DME E MISUM

Consulte-nos!

www.
casaferr
com.br

ferramental@casaferr.com.br

Fone (47) 3027.1019

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Schaeffer, L.; *Forjamento - Introdução ao processo*. Editora Imprensa Livre. 2 Edição, 2006.
- [2] Geiger, M.; et all.; *Microforming*. Anais do CIRP, 2001. Pg 445 - 462.
- [3] Vollerten, F. et all; *State of art in micro forming and investigations into micro deep drawing*. Journal of Material Processing Technology: Elsevier, 2004. Volume 151, pg 70 - 79.
- [4] Fleischer, J. et all; *Quality assurance in micro production*. Microsystem Technologies: Springer - Verlag, 2006. Volume 12, pg 707 - 712.
- [5] Milanez, A.; *Micro-extrusão de peças aplicadas a materiais ferrosos e não ferrosos*. Tese de Doutorado. PPGEM. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012.
- [6] Watanabe, N. et all; *Fabrication of micro parts using only electrochemical process*. Interlaken: 14th International Conference on Micro Electro Mechanical Systems: IEEE, 2001.
- [7] Qu, W.; Wenzel, C.; Drescher, K.; *Fabrication of low-cost capacitive accelerometers by 3D microforming*. Canberra: Conference on Optoelectronic and Microelectronic Materials and devices Proceedings: IEEE, 1997.
- [8] Sanchez - Salmeron, A. J. et all; *Recent development in micro - handling systems for micro - manufacturing*. Journal of Material Processing Technology: Elsevier, 2005. Volume 167, pg 499 - 507.
- [9] Krishnan, N.; Cao, J.; Dohda, K.; *Microforming: Study of friction conditions and the impact of low friction / high - strength die coatings on the extrusion of micropins*. Orlando: International Mechanical Engineering Conference and Exposition: ASME, 2005.
- [10] Saotome, Y.; Inoue, A.; *New amorphous alloys as micromaterials and the processing technologies*. Miyazaki: The Thirteenth Annual International Conference on Micro - Mechanical Systems: IEEE, 2000.
- [11] Bresciani, E. F.; Zavaglia, A. A. C.; Button, S. T.; Gomes, E.; Nery, F. A. C.; *Conformação plástica dos metais*. Editora da UNICAMP - 5ª edição - 1997, pp 63-89.
- [12] Cao, J. et all; *Microforming: Experimental investigation of extrusion process for micropins and its numerical simulation using RKEM*. Journal of Manufacturing Science and Engineering: ASME, 2004. Volume 126, pg 642 - 652.
- [13] Bertol, L. S.; *Contribuição ao estudo da prototipagem rápida, digitalização tridimensional e seleção de materiais no design de implantes personalizados*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre, RS, 2008.
- [14] Ferneda, A. B.; *Integração metrologia, CAD e CAM: uma contribuição ao estudo da engenharia reversa*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. Escola de Engenharia de São Carlos - USP, São Carlos, SP, 1999.

FONTES DE CONSULTA

- Cerveira, R. L. L. P.; Silva, F. R. D. A.; Batalha, G. F.; *Simulação de processos de fabricação: Influência do efeito da escala*. I Workshop de Processo de Fabricação - EPUSP - ITBA - AHK, 2004.
- Milanez, A.; Schaeffer, L.; Brito, A. M. G.; *Análise da força de extrusão de micro pinos utilizando aço SAE 1020*. 15ª Conferência Internacional de Forjamento. Porto Alegre, 2011.
- Osman, T. M.; *Introduction to the mechanical behavior of metals*. In: ASM Handbook - Mechanical Testing and Evaluation. Volume 8, ASM International. pg. 20 - 41, 2004.
- Schaeffer, L.; *Conformação Mecânica*. Editora Imprensa Livre. 2 Edição, 2004. ISBN: 85-86647-13-6.

Alexandre Milanez - Graduação em Engenharia Mecânica pelo Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina (2000). Mestrado (2006) em Engenharia Metalúrgica pelo programa de pós graduação em Minas, Metalurgia e Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Doutorado (2012) em Engenharia Metalúrgica pelo mesmo programa. É professor na Faculdade SATC para o curso de Engenharia Mecânica e na Escola Técnica da SATC para o curso de Técnico em Fabricação Mecânica. É professor na Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC para o curso de Engenharia de Materiais. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em Elementos de Máquinas e conformação mecânica. Na Faculdade SATC também é coordenador do Laboratório de Conformação Mecânica.
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9528403601813842>

Lirio Schaeffer - Engenheiro Mecânico e Mestre em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e Doutor na área de Conformação Mecânica pela Universidade Técnica de Aachen na Alemanha (Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule - RWTH). Coordenador do Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM) da Escola de Engenharia da UFRGS. Pesquisador na área de Mecânica, Metalurgia e Materiais do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), professor das disciplinas relacionadas aos processos de fabricação por conformação mecânica e vinculado ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Minas e Energia (PPGEM) da UFRGS. Autor de vários livros sobre conformação mecânica.
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1093242836059112>

Anderson Daleffe - Tecnólogo em Eletromecânica pela Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC, Mestre em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) onde cursa atualmente o Doutorado. Pós graduado em Psicopedagogia Institucional. Professor da Faculdade SATC para o curso de Tecnologia em Manutenção Industrial. Professor na Escola Técnica da SATC para o curso de Técnico em Mecânica e Fabricação Mecânica. Tem experiência na área de Educação, com ênfase em Ensino Técnico, Profissionalizante e Superior, atuando principalmente nos temas fabricação, usinagem convencional, usinagem CNC e Manutenção. Possui experiência industrial em processos de fabricação, CAM, usinagem convencional e CNC. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7569701338186684>