

RESUMO

Histórico do grupo de pesquisa. Materiais, processos e equipamentos utilizados na fabricação de fios finos e capilares de metais não ferrosos. Pesquisas desenvolvidas em conformabilidade e em tribologia aplicada. Trabalhos futuros.

1. Histórico

No ano de 1976 iniciou-se no Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia de Campinas-UNICAMP, um programa de pesquisa sobre conformação plástica dos metais não ferrosos, visando o "estudo da qualidade e da fabricação de fios finos e capilares de metais não ferrosos (cobre, alumínio e ouro) destinados a ligação de microcircuitos". Esse programa, coordenado pelo Prof. Ettore Bresciani Filho, se inseria dentro de um outro maior que tratava de "pesquisas sobre materiais de grau eletrônico", sob a coordenação do Prof. Maurício Prates de Campos Filho, e tinha o apoio da Telebrás-Telecomunicações Brasileiras SA.

A partir de 1984, o Laboratório de Conformação Mecânica Fina foi constituído - com uma estrutura independente do programa inicial - dentro do Departamento de Engenharia Mecânica, e após 1987 dentro do Departamento de Engenharia de Materiais, absorvendo o projeto anterior de pesquisa sobre fios capilares e passando a contar com o apoio da Finep-Financiadora de Estudos e Projetos, da Secretaria de Ciência e Tecnologia do Estado de São Paulo, do Conselho Nacional de Pesquisas e do Fundo de Apoio às Pesquisas-UNICAMP. No ano de 1990 foi criada a Faculdade de Engenharia Mecânica, passando o Departamento de Engenharia de Materiais a fazer parte dessa Faculdade.

Os principais objetivos do laboratório são: desenvolvimento da tecnologia dos materiais e da fabricação por conformação plástica de produtos de pequenas dimensões e elevada precisão - caracterizando-se como um processo de fabricação mecânica de precisão -

(1) Trabalho apresentado no 4º Simpósio de Conformação Plástica dos Metais, EPUSP-UNICAMP, São Paulo, SP, 1990.

(2) Professor Titular e Chefe do Departamento de Engenharia de Materiais, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

constituídos principalmente de metais não ferrosos e destinados prioritariamente à indústria da microeletrônica; realização de pesquisas e formação de recursos humanos na área da ciência e da tecnologia da conformação plástica dos metais, com ênfase em estudos de conformabilidade plástica e de tribologia aplicada, e na área de desenvolvimento de ligas metálicas de elevada pureza.

A equipe atual de pesquisa do Laboratório é constituída de três professores do Departamento - Ettore Bresciani Filho (coordenador), Sérgio Tonini Botton (vice-coordenador para a área de processos de conformação) e Cecília Amélia de Carvalho Zavailla (vice-coordenadora para a área de materiais para a conformação) - além de alunos de pós-graduação e alunos de graduação em programas de iniciação científica.

2. Materiais e Processos de Fabricação de Fios Finos e Capilares

A fabricação de fios finos e capilares parte do processo de refino da matéria-prima através de procedimentos (refino por fusão zonal e refino eletrolítico) que conduzem a obtenção de materiais com graus de pureza dependentes dos requisitos de qualidade associados à utilização dos fios e às condições de conformação mecânica dos fios. Convm destacar que, em muitos casos, o requisito de elevada pureza da matéria-prima é estabelecido mais para permitir a conformação plástica - ou melhor, para elevar a conformabilidade plástica do material - do que para conferir determinadas propriedades mecânicas, físicas ou de resistência à corrosão. A pureza do material tem uma influência notável na capacidade desse material poder ser trefilado (trefilabilidade), e os materiais mais puros - e, melhor ainda, aqueles de elevada pureza mas contendo elementos de liga em pequenos teores (dopantes), que elevam a resistência mecânica sem prejuízo da ductilidade - são os que apresentam melhor condição de processamento sem ocorrência de rupturas.

Após o processo de refino, o material - metal puro, metal dopado ou ligas metálicas - é fundido na forma de pequenos tarugos, em ambiente de atmosfera protetora, para a seguir ser submetido aos processos de conformação mecânica; nessa fase de fundição, se for o caso, são preparadas as ligas ou providenciada a dopagem, para conferir propriedades mais específicas ao material.

A conformação mecânica inicial, para obtenção de fios grossos, pode ser conduzida através de um dos três processos básicos: laminação a quente e a frio, extrusão a quente e extrusão (a frio) hidrostática. A fabricação dos fios finos e capilares é feita pelo processo de trefilação aplicada a esses fios grossos.

3. Projetos de Equipamentos de Laboratório

Inicialmente foi projetada e construída uma máquina trefiladora de fios finos que permitiu processar fios com diâmetros de 1,000 até 0,200mm (1); para as bitolas mais reduzidas, ou seja, de 0,200 até 0,025mm foi projetada e construída uma máquina trefiladora de fios capilares, com comando e controle mais finos e aperfeiçoados (2). Em paralelo foram desenvolvidos dispositivos

de medição das forças de trefilação, adaptados às duas máquinas, para permitir o monitoramento do processo - evitando a ruptura do fio durante a sua fabricação - e para permitir o estudo da influência das diversas variáveis dos materiais dos fios e do processo na força de trefilação (1,3,4).

Para preparar a matéria-prima, na forma de fio grosso a ser processado na máquina trefiladora, foi projetada e construída uma máquina extrusora convencional que tornou possível a redução de uma barra de 6 ou 8mm - obtida por fundição - em um fio de 1mm (5,6); o processo era conduzido a quente, isto é, com o aquecimento da barra e do recipiente de extrusão a uma temperatura maior que a temperatura de recristalização do material da barra.

Como o fio obtido no processo de extrusão a quente apresentava-se com a superfície contaminada pela ação do meio-ambiente aquecido, e como a força de extrusão estava atingindo níveis muito elevados - devido ao efeito de atrito entre a superfície da barra e as superfícies do recipiente e da ferramenta de extrusão - foi projetado e construído um dispositivo de extrusão hidrostática adaptado a uma pequena prensa hidráulica; esse sistema recebeu a denominação de máquina de extrusão hidrostática (7,8).

No momento, estão em fase de montagem duas novas máquinas: uma máquina trefiladora com fileiras múltiplas controlada por microprocessador, e uma máquina extrusora hidrostática (prensa hidráulica adquirida com dispositivo de extrusão hidrostática adaptado) também controlada por microprocessador; esse conjunto deverá permitir a produção de fios capilares em condições de qualidade e produtividade bem mais elevadas.

4. Materiais Utilizados

Algumas das experiências foram realizadas com os metais não ferrosos alumínio, chumbo e cobre de pureza comercial, com a finalidade de verificar as relações entre parâmetros de processamento na extrusão e na trefilação, particularmente as relações entre velocidade e temperatura de extrusão (6), velocidade e tensão de trefilação (3) e velocidade e força de trefilação para diferentes condições de lubrificação (4).

5. Estudos Básicos de Conformabilidade e de Tribologia Aplicada à Conformação Mecânica.

5.1. Estudos básicos de conformabilidade

Os estudos de conformabilidade se apoiam na aplicação dos conhecimentos da área da metalurgia mecânica, ou seja, mais especificamente (9):

- * da área da metalurgia física: para identificação dos mecanismos microestruturais atuantes no processo de deformação plástica e de fratura dúctil em função da natureza microestrutural do material metálico, e para o estabelecimento de um modelo físico de comportamento mecânico;

- * da área da mecânica da fratura dúctil: para estabelecer um equacionamento matemático compatível com o modelo físico de comportamento mecânico, nas condições limites de solicitação mecânica;

- * da área da mecânica dos sólidos: para fornecer o equacionamen-

to físico-matemático, desenvolvido na teoria de plasticidade, a ser aplicado ao estudo do comportamento do material na deformação plástica e na fratura e à definição das condições externas de solicitação mecânica decorrentes na natureza do processo de conformação aplicado.

Entre os diversos trabalhos realizados e em andamento pode-se destacar como exemplo típico de estudo na área aquele que tratou da "conformabilidade plástica de fios capilares de ouro na trefilação" (2); nesse estudo foram associados os conhecimentos da mecânica da conformação, das propriedades mecânicas do material e dos critérios de fratura dúctil para estabelecer critérios de conformabilidade aplicáveis ao processo de trefilação de fios de ouro com o objetivo de definir as condições ótimas de processamento para minimizar a ocorrência de rupturas durante esse processamento.

5.2. Estudos básicos de tribologia aplicada à conformação mecânica.

Os estudos de tribologia é de natureza complexa, pois envolve a análise dos seguintes fatores de influência (10):

- * natureza dos sólidos em contato, ou seja, constituição do material (composição e microestrutura) e propriedades do material (resistência mecânica e à corrosão);

- * condições de solicitação (pressão, velocidade e temperatura) nas superfícies;

- * natureza geométrica das superfícies (microtopografia);

- * reações nas superfícies (reações químicas e de adsorção com formação de camadas de produtos das reações);

- * presença de filmes lubrificantes (gases, líquidos e sólidos).

A aplicação da análise desse conjunto desses fatores, que constitui o que se denomina **tribo-sistema**, aos processos de conformação está sendo realizada através de diversos trabalhos. Entre eles se destaca o estudo das condições tribológicas existentes no processo de extrusão hidrostática de fios grossos (8); nesse trabalho são estudados modelos de análise do regime de lubrificação, verificando-se a influência de diversos fatores: a deformação elástica ocorrida nas regiões de entrada e saída da matriz, a geração de calor causada pela deformação plástica do material na região de trabalho da matriz e pelo cisalhamento viscoso do lubrificante na região de entrada da matriz, o nível do trabalho redundante na região de trabalho da matriz, e o encruamento do material. É em um trabalho complementar está sendo analisada a influência da rugosidade da matriz na força de extrusão hidrostática (11).

6. Conclusões e Observações

O Laboratório possui hoje o domínio da tecnologia dos materiais, das ferramentas e das máquinas para a fabricação de fios capilares de metais não-ferrosos, e trabalha na direção de aperfeiçoar os conhecimentos adquiridos e poder transferir esses conhecimentos à área industrial. Os equipamentos e os processos desenvolvidos podem ser classificados como sendo da área de tecnologia da mecânica fina ou "mecânica de precisão", e os materiais a serem utilizados (metais dopados e ligas metálicas) como

substitutos dos tradicionais (metais de elevada pureza) podem ser considerados como "novos materiais" de grau eletrônico.

2-O programa de trabalho para os próximos anos está em fase de preparação e inclui as seguintes atividades: desenvolvimento da tecnologia de purificação e dopagem de metais não ferrosos para fios capilares; montagem e aperfeiçoamento das máquinas de trefilação e de extrusão controladas por microprocessadores; projeto e construção de máquina laminadora de tiras de metais não ferrosos e de prensa e ferramentas de estampagem de precisão para a fabricação de "estruturas condutoras" destinadas à construção dos dispositivos eletrônicos contendo os microcircuitos; e continuidade dos estudos fundamentais sobre a conformabilidade plástica e sobre tribologia aplicada à conformação mecânica.

3-Em paralelo a essa atividade de desenvolvimento, foram elaboradas - até agosto de 1990 - seis dissertações de mestrado e uma tese de doutorado, e, ainda, 31 trabalhos (apresentados em congressos e simpósios e/ou publicados); essas atividades de pesquisa permitiram formar o pessoal especializado que, em parte, atua no Laboratório.

4-Os trabalhos acadêmicos prosseguem, com uma dissertação de mestrado e uma tese de doutorado em andamento com os alunos de pós-graduação, além das atividades de iniciação científica dos alunos de graduação. Os assuntos dominantes tratados nesses trabalhos são: influência da rugosidade da matriz na força de extrusão hidrostática e modelagem físico-matemática do processo de extrusão hidrostática; esses dois assuntos se inserem na área de estudos da tribologia aplicada. Outros estudos referentes a essa área, bem como concernentes à área de conformabilidade plástica estão sendo planejados para serem realizados nos próximos anos.

Bibliografia Referida

- (1) ZAVAGLIA, C.A.C.-Contribuição ao Estudo da Trefilação de Fios Capilares de Metais Não Ferrosos, Dissertação de Mestrado, UNICAMP, Campinas-SP, 1979.
- (2) ZAVAGLIA, C.A.C.-Conformabilidade Plástica de Fios de Ouro. Tese de Doutorado, UNICAMP, Campinas-SP, 1988.
- (3) LIMA, P.M.-Influência da Velocidade de Trabalho na Tensão de Trefilação de Fios Frios de Cobre, Dissertação de Mestrado, UNICAMP, Campinas-SP, 1983.
- (4) NEVES, F.O.-Lubrificação Hidrodinâmica Aplicada à Trefilação, Dissertação de Mestrado, UNICAMP, Campinas-SP, 1989.
- (5) NERY, F.A.C.-Desenvolvimento de uma Máquina Extrusora de Laboratório para Fios de Metais Não Ferrosos, Dissertação de Mestrado, UNICAMP, Campinas-SP, 1980.
- (6) ALMEIDA, N.-O Aumento de Temperatura Resultante dos Fenômenos de Natureza Térmica Envolvidos na Extrusão a Quente do Chumbo, Dissertação de Mestrado, UNICAMP, Campinas-SP, 1981.
- (7) BUTTON, S.T.-Desenvolvimento de uma Máquina de Laboratório para a Extrusão Hidrostática de Metais Não Ferrosos, Dissertação de Mestrado, UNICAMP, Campinas-SP, 1985.
- (8) BUTTON, S.T.-Análise da Lubrificação no Processo de Extrusão Hidrostática (título provisório), Tese de Doutorado (em elaboração), UNICAMP, Campinas-SP, 1990.

- (9) BRESCIANI F. E. et alii-Conformação Plástica dos Metais, Livro (Manual em 2 Volumes), Editora da Unicamp, Campinas-SP, 1985 (2a-ed.), pp.90-107(29.vol.).
- (10) BRESCIANI F. E.-Tribologia na Conformação Plástica, Monografia de Pesquisa (a ser editada). EPUSP/UNICAMP, São Paulo/Campinas-SP, 1987.
- (11) OLIVEIRA, C. L.-Influência da Rugosidade da Matriz na Força de Extrusão Hidrostática (título provisório), Dissertação de Mestrado (em elaboração), UNICAMP, Campinas-SP, Campinas, 1990.

Bibliografia Complementar

- * BRESCIANI F. E.-Contribuição ao Estudo da Estampagem Profunda do Latão 70-30, Tese de Doutorado, EPUSP, São Paulo-SP, 1968.
- * BRESCIANI F. E.-Conformação Plástica de Chapas de Aço Galvanizadas, Tese de Livre-Docência, EPUSP, São Paulo-SP, 1980.
- * BRUNO, L. F. C.-Análise do Uso de Grelhas de Circuitos Impressos e do Conceito de Curvas Limites de Conformação na Avaliação da Conformabilidade de Chapas Metálicas Finas, Dissertação de Mestrado, EPUSP, São Paulo-SP, 1977.
- * DELJACOV, S.-Influência do Atrito na Força de Extrusão a Frio de uma Liga de Alumínio, Dissertação de Mestrado, EPUSP, São Paulo-SP, 1982.
- * HADDAD, E.-Métodos Macroscópicos para Avaliação da Anisotropia Plástica de Chapas Metálicas, EPUSP, São Paulo-SP, 1978.
- * PELEGRIINI, M. T.-A Influência do Tamanho Médio do Grão na Conformabilidade de Chapas Metálicas na Região de Estiramento, Dissertação de Mestrado, EPUSP, São Paulo-SP, 1989.
- * SILVA, I. B.-Método da Simulação para Determinar a Tensão de Extrusão a Frio, Dissertação de Mestrado, UNICAMP, Campinas-SP, 1989.
- * STIPKOVIC F. M.-Contribuição ao Estudo da Trefilação Hidrodinâmica, Tese de Doutorado, EPUSP, São Paulo-SP, 1989.

Observação: As dissertações de mestrado e as teses de doutorado mencionadas na bibliografia foram orientadas pelo autor deste trabalho.

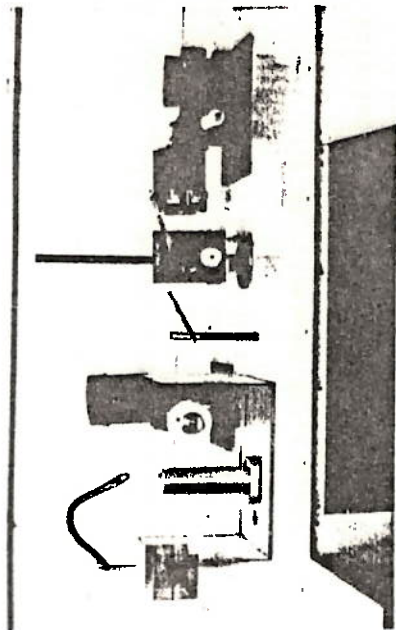


Foto n.1 - Máquina trefiladora de fios capilares.

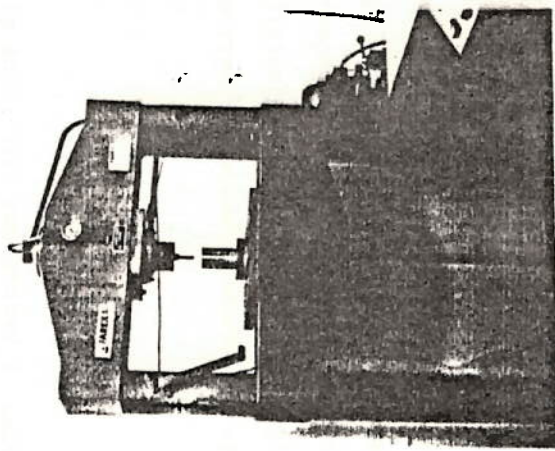


Foto n.2 - Dispositivo de extrusão hidrostática adaptado em prensa hidráulica.

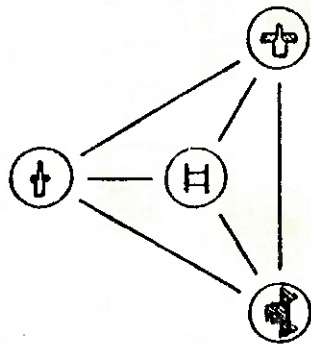


N.º 77876

IV SIMPÓSIO DE CONFORMAÇÃO PLÁSTICA DOS METAIS

27 e 28 de novembro de 1990

São Paulo



ANAIS



ESCOLA POLITÉCNICA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO



UNICAMP
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA