



Diretrizes para projeto de ferramenta de estampagem Final

O desenvolvimento do projeto com base em critérios técnicos claros e precisos permite a redução do tempo de construção e a melhoria da qualidade da ferramenta de estampagem. É altamente recomendada a adoção de uma rotina de verificação de itens construtivos e parâmetros de processo.

Nesta edição, a conclusão do artigo traz os detalhes do punção e dos sistemas de extração e sujeição do estampo. Ao final, recomenda uma lista de verificação (*check list*) tornando possível proceder ao desenvolvimento do projeto com base em uma seqüência lógica de ações que minimizarão falhas na execução de ferramentas de estampagem.

Punção

Os punções são os elementos que atuam sobre a chapa com a função de conformá-las com a geometria desejada. São produzidos a partir de uma peça única quando de formas simples, porém, se apresentam formas complexas, podem ser feitos com peças variadas para facilitar a reposição em caso de ruptura. Tratando-se de punções com grandes dimensões é conveniente fabricá-los com várias peças, procurando diminuir custos, pois a matéria-prima com maiores dimensões tem valores mais elevados.

Estes elementos possuem a for-

ma determinada pela matriz, porém, sempre é necessário haver uma folga entre punção e matriz de modo que o primeiro possa ser introduzido no orifício do molde para ocorrer a conformação. Uma determinação correta desta folga significa o aumento da vida útil da ferramenta, pois as arestas de corte não terão desgaste excessivo.

A folga varia em função do material e da espessura da chapa. Para chapas de espessura fina, a folga é praticamente desprezível, mas em se tratando de espessuras maiores, deve ser considerável. Enumerando as diferentes classes de materiais, a folga é mais acentuada para aços de maior resistência, decrescendo em relação aos materiais mais maleáveis como alumínio e latão. A Figura 16 faz uma relação da variação entre punção e matriz de

acordo com a espessura de chapa.

Partindo deste princípio, pode-se deduzir que as matrizes determinam as dimensões externas das peças, enquanto os punções determinam as dimensões dos furos. Desta forma, os punções têm as dimensões correspondentes ao limite superior das peças. Se a peça contiver detalhes tais como reentrâncias, a matriz nas partes reentrantes funcionará como punção de furação e, nesta situação, o punção verdadeiro terá suas dimensões acrescidas da folga.

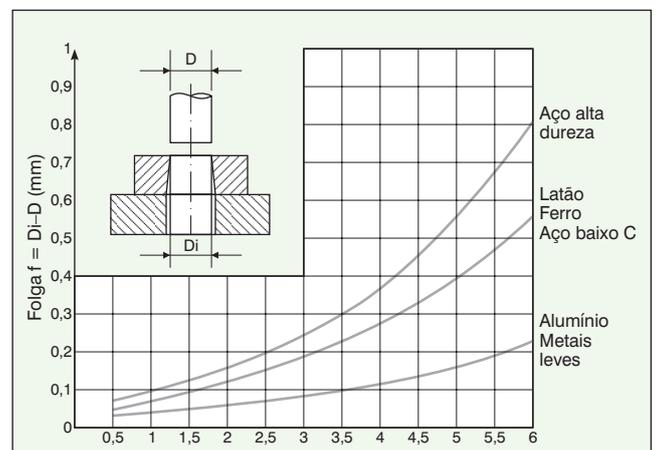


Figura 16 - Folga entre punção e matriz de corte [4, 5, 6]

Para ferramentas de embutimento, a folga deve possibilitar o escoamento uniforme da chapa sem formação de rugas ou diminuição da espessura. Em chapas finas pode ser igual à espessura da chapa. Para chapas mais espessas a folga é igual à espessura máxima da chapa acrescentada de 20% da tolerância máxima de laminação [6].

Nas operações de embutimento a chapa normalmente adere ao punção, pois ocorre uma retenção de ar que, por vezes, dificulta a extração da peça. No caso de punções que são envolvidos pela chapa, este problema é eliminado com furos de saída de ar nos machos. Quando se trata de punções ocos que envolvem a peça, a solução é incluir um extrator acionado pelo martelo da prensa ou por molas contidas no punção.

Como os punções são comprimidos axialmente, existe a necessidade de que sejam dimensionados de forma a resistir aos esforços de compressão sob o risco de ocorrer flambagem. Para evitar este inconveniente, é recomendado seguir a equação (8) deduzida por Euler:

$$l_0 = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E \cdot J_{\min}}{F}} \quad (8)$$

válida para

$$\lambda = \frac{l_0}{\rho_{\min}} \geq 100$$

onde l_0 é o comprimento de flambagem em milímetros (mm), E é o módulo de elasticidade do material em megaPascal (Mpa), J_{\min} é o momento de inércia mínimo em mm^4 , F é a força axial em kgf, λ é o índice de

esbeltez e ρ_{\min} é o raio de giração mínimo, em milímetros. Para $\lambda \leq 100$ (punções pouco esbeltos), o fenômeno de flambagem não deverá preocupar em demasia, pois este se verificaria após a ruptura por esmagamento.

Quando a chapa tem espessura elevada e o punção é muito estreito pode se dar a situação em que a pressão exercida pelo punção seja maior que a resistência do mesmo, impossibilitando o corte. Então, a tensão de operação não deve superar a tensão admissível do material com o qual é produzido e, como regra prática de segurança, convém que a espessura seja igual ou menor que a largura do punção menor. Apenas para aço doce e punção cilíndrico, a máxima espessura de chapa a ser cortada é igual a 1,2 vezes o diâmetro do punção [2].

Em punções progressivos, onde ocorre corte e embutimento ou corte e dobra, geralmente o elemento cortante deve atuar primeiro, sendo seguido pelo macho de embutimento – contido na matriz – e, por fim, se houver furo, o punção de furação. Para separar as operações deve ser usado um sistema com molas, sendo que, quando o punção de corte atua sobre a chapa e desliza pelo orifício da matriz até encontrar resistência, as molas que são ligadas ao mesmo se comprimem. O punção de furação fixado à placa de choque, é acionado até atingir a chapa. O cavaco resultante sai pela superfície inferior da matriz.

A placa de choque é situada entre os punções e o cabeçote do estampo, tendo a função de impedir que ocorra penetração entre estes elementos. Deve ser confeccionada com metal temperado, pois é um componente importante por manter a rigidez dos punções.

A placa porta-punções é um elemento com duas faces paralelas, a qual é fixada à placa de choque por meio de parafusos e chavetas e onde são ajustados os punções a fim de impedir que se desviem de seu percurso. Para isto é preciso que a placa porta-punções tenha espessura suficiente e bom ajuste.

As colunas guia são componentes com a função de garantir o alinhamento da parte móvel do estampo – punção – com a parte fixa – base e matriz – proporcionando segurança e exatidão no processo. Uma extremidade da coluna é fixada no conjunto móvel, a outra na base estática do estampo e sua localização deve permitir a passagem do material a ser estampado e a liberdade de movimentos do operador da prensa. O uso de material que apresente boa resistência ao desgaste e tenacidade é conveniente e recomenda-se o SAE 8620 ou equivalente, temperado e revenido para as colunas.

A placa guia dos punções, tem como função guiar os punções no seu curso de operação e desprender o retalho que fica aderido a tais punções, podendo ser chamada também de placa extratora. Geralmente é uma placa com faces paralelas que possui as mesmas geometrias e disposição da matriz, na qual é fixada por meio de parafusos e pinos guia. O bom funcionamento e duração do molde dependem do ajuste dos punções nesta placa, que deve ser deslizante.

Com relação à espessura da placa-guia, usualmente, é aproximado por quatro décimos da altura do punção e a distância entre a placa e a matriz para entrada da chapa gira em torno de três vezes a espessura da chapa. Se o passo for demasiadamente largo, convém que a dis-

tância seja menor.

A lubrificação da placa guia é importante e, para isto, sugere-se que sejam feitos escareamentos na parte superior dos furos para servir de depósito de óleo.

a) Espiga

Este é o elemento com a função de fixar o conjunto do punção ao martelo da prensa. Usualmente é ligada ao cabeçote do punção ou diretamente na placa de choque.

A espiga deve ser localizada no centro de gravidade e não necessariamente no centro do estampo. Se não ocorrer desta forma, as forças não se concentrarão uniformemente ao redor do componente, o que ocasionará uma inclinação no punção motivada pela folga das guias do cabeçote da prensa. Esta inclinação tornará irregular a folga entre punção e matriz e a peça apresentará rebarbas e imprecisão dimensional, além de um desgaste da ferramenta. Nestas pode até ser ocasionada a quebra do punção e da matriz.

São usados aços de menor dureza para sua confecção, sendo os mais usuais o SAE 1020 e 1040 com cementação, contudo, se o sistema de fixação ao cabeçote for uma rosca, esta não deverá ser cementada. A fixação à ferramenta pode ser feita, também, através de parafusos. Para isto, é necessário que a espiga seja produzida com uma base para alocação dos parafusos.

As dimensões das espigas são normatizadas, devendo-se eleger o tamanho correspondente à prensa que será utilizada. As normas podem ser encontradas em [4, 5, 6].

b) Projeto do ferramental

O conjunto que forma o punção sofre algumas alterações em rela-

ção ao anterior. Este é constituído pela espiga que prende o conjunto à prensa, a placa de choque, onde os punções de corte são fixados por meio de parafusos, a placa porta-punções que serve de guia para os punções e, finalmente, os punções que cortam a chapa e atribuem a forma final à peça.

A folga entre os punções de corte e a matriz foi determinada em função da espessura e do material do qual a peça é produzida. Baseado no diagrama da Figura 16, a folga estabelecida é 0,135 mm.

As modificações partiram da forma com que os punções de corte são fixados. No punção anterior, estes eram colocados através do porta-punções com folga e seu deslocamento vertical era impedido por uma pequena chapa batente na extremidade superior do punção e a placa de choque. Isto não impedia, porém, que houvesse um deslocamento horizontal ao longo das operações, sendo que existia folga.

No projeto atual, determina-se que os punções devem ser passantes pela placa porta-punções com interferência para evitar o deslocamento longitudinal. A interferência atribuída é de 0,01 mm, não havendo nenhum cálculo para obter este valor. Os punções passam a ser fixos por parafusos à placa de choque e são projetados com sobre metal na direção axial servindo como uma "cabeça" para prender o parafuso. Na placa de choque são feitas cavidades para conter este sobre metal e furos passantes para os parafusos. Os punções são colocados pelo lado inferior da placa e os parafusos pelo lado superior.

Seguindo a equação (8), verifica-se o comprimento de flambagem para os punções. Tomando

como exemplo o perfil de corte número 3 demonstrado na Figura 13, onde $d = 17,68$ mm, $E = 210$ GPa e $J_{\min} = 4.796,21$ mm⁴, é visto que l_0 resultará em 141,8 mm. Desta forma, sendo $\rho = 4,42$ mm, o índice de esbeltez será inferior a cem, concluindo que a flambagem não deverá afetar este punção durante a operação. O comprimento determinado para os punções, neste caso, é 94,6 mm e são fabricados com o mesmo material da matriz (aço VC-131). Foram acrescentadas ainda duas colunas guia – SAE 8620 – para garantir o ajuste entre punção e matriz.

A espiga é dimensionada conforme a série métrica para diâmetro de quarenta milímetros. Porém, o sistema de fixação não é do tipo rosca, e sim com uma base acoplada à haste que é fixada na placa de choque por parafusos. O centro de gravidade da ferramenta é situado no ponto [75,44; 107,15], tendo origem no canto esquerdo da aresta de entrada da chapa e o eixo axial da espiga deverá coincidir com o mesmo.

A placa guia seguiu com as mesmas modificações da matriz principal. Neste elemento há um canal pelo qual passa a chapa que é cortada com a função de guiá-la. O compartimento tem altura de quatro milímetros e sua largura na entrada é 85 mm. A chapa utilizada na produção tem largura igual a 84 mm e, sendo assim, entra com uma folga total de 1 mm na largura.

O controle de passo é do tipo cutelo. Após diversas modificações de geometria e simulações da chapa sendo conformada, a melhor posição para o batente que regula o passo foi estabelecida a 100,4 mm do ponto de entrada da matriz e ocorre uma redução de seção. A

chapa é colocada entre a placa guia e a matriz principal, empurrada manualmente até encontrar o batente, ocorre o corte e, a seguir, passa para o estágio posterior, onde ocorre o corte final. A peça é retirada à medida que a chapa é empurrada.

Extrator e Sujeitador

Quando a operação envolve geometrias irregulares e de proporções esbeltas, normalmente a peça prende-se à matriz ou ao punção, deixando sobras de retalho nas superfícies dos mesmos. Este inconveniente é resolvido colocando um elemento extrator para retirada das peças cortadas. Os extratores podem ser acionados por barras, alavancas, molas (helicoidais, prato, borracha) ou ar comprimido, e podem ser aplicados aos punções ou às matrizes.

Na extração por barras, estas são acionadas pela base superior da prensa, onde um pino passante pela espiga atua em contato com uma contra-placa no interior do cabeçote do punção, que por sua vez aciona as barras de extração. São sugeridas três barras para evitar desequilíbrio no momento da extração do material.

Os extratores com molas – Figura 17 – também são usuais. Neste sistema, a mola está contida no interior do punção e quando a peça a encontra durante a operação, a mola comprime-se. No retrocesso do punção, a mola volta ao seu comprimento inicial, extraíndo a peça.

Quando uma carga axial é aplicada, a mola sofre uma deformação que tende a alongá-la ou encurtá-la, dependendo do sentido. Esta deformação é denominada flecha. As molas tracionadas, apesar de sofrerem um ajuste de fábrica, devem

ser montadas com pré-carregamento adicional para afastar as espiras. Mas, podem também ser produzidos extratores com molas de plastiprene sob a forma de tarugos e vantagens tais como durabilidade maior, capacidade de suportar cargas altas e fácil montagem.

Os extratores inferiores são fixos à mesa da prensa e têm a função de retirar as peças e retalhos da matriz. O impulso para cima a fim de extrair as peças, é feito por um sistema elástico, o qual deve ser de grande potência. O sistema mais comumente usado é o de uma mola, situada na parte inferior da ferramenta, que opera sobre uma placa. Neste caso, a mola costuma ser guiada por um eixo com uma porca e, além disso, pode ser oco, para que os pedaços cortados pelo punção superior caiam no seu interior. A Figura 18 mostra o sistema.

A força de extração, usualmente, é aproximada para 10% da força de estampagem. Quando o extrator tem dispositivo de regulagem de avanço, é conveniente dimensionar a mola com coeficiente de segurança igual a 3, ou seja, $F_{EX} = 0,3.F$.

O sujeitador, também conhecido como prensa chapas, é um componente de fundamental importância nas ferramentas de embutimento. Tem a função de tensionar a área de chapa que é conformada pelo punção, para evitar que ocorra a formação de rugas na peça resultante. Também atua como extrator

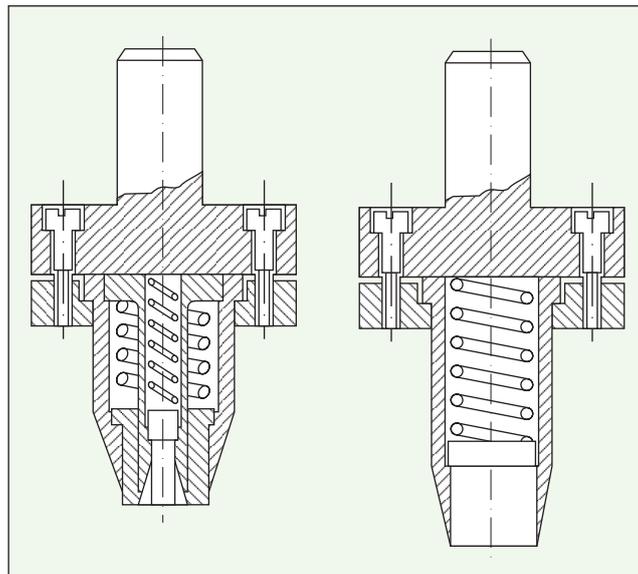


Figura 17 - Sistema de extração superior

do retalho da chapa que está sendo embutida, pois normalmente ao cortar a mesma, o retalho fica aderido ao punção, fazendo com que o restante da chapa seja erguido com o retrocesso do punção.

Este elemento envolve o punção, atuando simultaneamente com o mesmo. Pode tratar-se de um anel com diâmetro interno suficiente para conter o punção e folga suficiente para permitir o deslizamento do componente. Geralmente é fixado à placa de choque por meio de pinos que limitam o deslocamento do anel. Os pinos são envolvidos por molas que fornecem a tensão necessária para firmar a chapa contra a matriz e impedir a de-



Figura 18 - Sistema de extração inferior

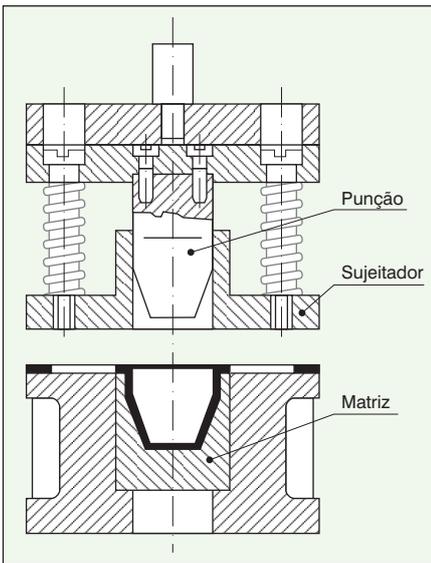


Figura 19 - Sujeitador com molas

formação. A Figura 19 mostra o sistema.

Outro sistema utilizado para os sujeitadores é do tipo acionamento por placa, onde as molas são dispensadas. Neste sistema, os pinos de sustentação do sujeitador são tensionados por uma placa contida na espiga. O sujeitador volta a sua posição de origem quando a placa sofre a compressão de um pino que encontra um batente no martelo da prensa. Este sistema é ilustrado na Figura 20.

A pressão exercida pelo sujeitador durante o processo de embutimento é um parâmetro importan-

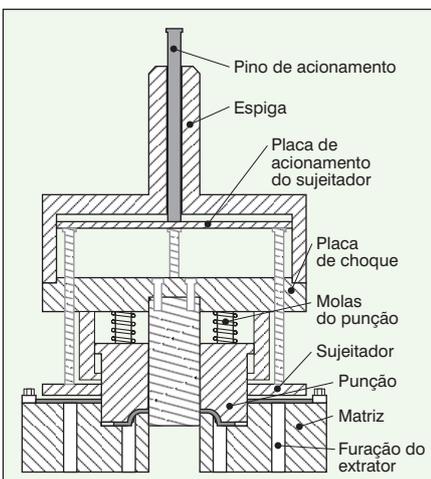


Figura 20 - Sujeitador com placa

te, pois uma pressão insuficiente pode provocar a formação de rugas na peça. Uma pressão excessiva pode causar a ruptura do material. Esta pressão é relacionada à superfície da chapa compreendida entre a face superior da matriz e o plano do sujeitador e para chapas de aço, está entre 10 e 20 kgf/cm² considerando a lubrificação do sistema. Para chapas de alumínio, a pressão está dentro do limite de 8 e 10 kgf/cm².

Em uma primeira aproximação, pode-se dizer que $P_{Sj} \approx 0,3P$, onde P_{Sj} é a pressão de sujeição e P a pressão de repuxo. A pressão, na verdade, varia com o material e a espessura de chapa, sendo que quanto menor for a espessura da chapa, maior deverá ser a pressão.

Indicando como S_{Sj} a superfície de sujeição, a força do sujeitador é dada pela equação (9):

$$F_{Sj} = S_{Sj} \cdot P_{Sj} \quad (9)$$

Para a manutenção constante da pressão de sujeição durante a operação, é sempre recomendado prover o sujeitador com dispositivos como os citados nas Figuras 19 e 20.

CONCLUSÃO

O trabalho fez abrangência aos parâmetros básicos que devem ser adotados para a elaboração de uma ferramenta de conformação por estampagem. Partindo do procedimento mostrado, é possível projetar um estampo que opere com melhor precisão e, conseqüentemente, aumente sua vida útil. Fatores que podem passar despercebidos como o uso de cantos vivos em demasia na matriz podem resultar

em uma ferramenta obsoleta em curto prazo.

Através do exemplo mostrado, permitiu-se verificar que erros cometidos no projeto da ferramenta ocasionaram falha na mesma, comprometendo a aplicação da peça por ela produzida. O fato originou lotes defeituosos do rolamento montado com a peça estampada que, mais tarde, transformaram-se em inúmeros casos de reembolso para a empresa. O projeto apresentado como solução para o problema não só eliminou os equívocos apurados na ferramenta anterior, como implementou melhorias que beneficiam a precisão e tempo de produção da peça, sendo a redução do número de estágios e colocação de colunas guia alguns exemplos. Esta medida sugere que a procura pela melhor configuração para o processo deve sempre ser exercida e, no caso citado, existiu uma que proporcionou melhores resultados.

Uma questão de vital importância no projeto de ferramentas é a determinação dos materiais utilizados para a fabricação. Foi possível concluir que, por mais simples que seja a peça a fabricar, se deve optar pelo material que reúna as características mais apropriadas, não somente por sua resistência, como também pela facilidade de usinagem e tratamento, e especialmente, pelo fator econômico, que pode influir consideravelmente no custo de fabricação. Também os parâmetros como a determinação dos esforços necessários, seleção de prensa e aplicação correta de dispositivos como extratores e sujeitadores devem ser rigorosos para obtenção de uma produção livre de falhas e com bom rendimento.

A ficha técnica na página xx

desta edição recomenda uma lista de verificação (*check-list*) para o projeto de ferramentas de estampar.

Para a continuidade do estudo realizado, sugerimos a pesquisa por ferramentas específicas dos demais segmentos da estampagem como repuxo por inversão, por extrusão

de materiais plásticos e por trefilação, onde as matrizes possuem uma redução nas dimensões de suas cavidades para conseguir o adelgaçamento¹ de uma peça previamente repuxada.

O estudo dos diversos sistemas de ferramentas progressivas tam-

bém é oportuno, tendo em vista que um estampo deste tipo pode substituir duas ou mais ferramentas de aplicação simples proporcionando ganhos significativos na produção.

¹Adelgaçar: tornar delgado, fino. Afinar [8].

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ROSSI, M.; *Estampado en Frio de La Chapa: Estampas, Matrices, Punzones, Prensa y Máquinas*, São Paulo, Dossat, 1979.
- [2] POLACK, Antônio V.; *Manual Prático de Estampagem*, São Paulo: Hemus, 1974.
- [3] CHIAVERINI, Vicente; *Tecnologia Mecânica: Processos de Fabricação e Tratamento*, 2 ed., São Paulo: McGraw-Hill, 1986
- [4] PROVENZA, F.; *Estampos*, Vol. I, São Paulo, PRO-TEC, 1982.
- [5] PROVENZA, F.; *Estampos*, Vol. II, São Paulo, PRO-TEC, 1982.
- [6] PROVENZA, F.; *Estampos*, Vol. III, São Paulo, PRO-TEC, 1982.
- [7] STANLEY, F. A.; *Estampado y Matrizado de Metales: Proyecto, Construcción y Empleo de Punzones y Matrices*, Barcelona, José Montesó, 1957.
- [8] FERREIRA, A. B. de H.; *Novo Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa*, 3ª Edição, Editora Positivo, 2004.
- [9] Catálogo VILLARES, 2004.
- [10] ÁLVAREZ-SOLER; *Estampos*. São Paulo: Mestre Jou, 1972.

BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS

- BENDIX, Friedrich; *Principie a Trabalhar o Metal*, Rio de Janeiro: Reverte, 1967.

Fabício Dreher Silveira – Engenheiro Mecânico pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Pós-graduando pela UFRGS na área de Conformação Mecânica. Profissional com experiência em projeto e desenvolvimento de ferramental de diferentes processos de fabricação. Atuação como encarregado de estamperia e ferramentaria e Engenheiro de projetos e desenvolvimento de produto na Unidade de Metalurgia do Pó da Universidade Luterana do Brasil (ULBRA).

Lírio Schaeffer - Engenheiro Mecânico pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e Doutor na área de Conformação pela Universidade Técnica de Aachen/Alemanha (RWTH). Coordenador do Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM) do Centro de Tecnologia da Escola de Engenharia da UFRGS. Pesquisador na área de Mecânica, Metalurgia e Materiais do CNPq, professor das disciplinas de processos de fabricação por conformação mecânica e vinculado ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Minas e Energia da UFRGS. Autor de vários livros sobre conformação mecânica.