

USO DO CAD/CAE/CAM NA PRODUÇÃO DE MATRIZES PARA OS PROCESSOS NOVOS DE CONFORMAÇÃO MECÂNICA

UTILIZACIÓN DEL CAD/CAE/CAM EN LA FABRICACIÓN DE MATRICES PARA LOS NUEVOS PROCESOS DE CONFORMACIÓN MECÁNICA

Marcos Espinoza*, Lirio Schaeffer**

INTRODUÇÃO

Os novos processos, o aumento da variedade de produtos, a diminuição dos ciclos de vida e a competência no mercado, são na atualidade os que exercem pressão na necessidade de se apresentar o desenvolvimento de produtos novos nos estágios de projeto e manufatura do ferramental.

Esta realidade impõe dentro das empresas um novo conceito de ENGENHARIA DIGITAL, que se caracteriza num ambiente virtual integrado que nos possibilita projetar, desenvolver, simular e gerenciar todas as informações do produto /1/.

Quando se fabricam peças acabadas, normalmente estas apresentam uma geometria complexa, como: furos, ângulos, raios, tolerâncias, etc. A competitividade deste processo em relação aos processos convencionais pode ser aumentada se for possível a automação do processo de projeto até a manufatura.

Uma automação pode ser obtida com a combinação de desenhos técnicos CAD (Computer Aided Design) com a simulação do processo CAE (Computer Aided Engineering) e com a etapa de fabricação do ferramental CAM (Computer Aided Manufacture).

O desenho técnico de uma peça com geometria complexa, é extremamente difícil pelos procedimentos convencionais com diferentes vistas e cortes. A solução moderna e mais econômica é o emprego de programas computacionais que automatizam o processo de visualização desses componentes. Desta forma obtém-se uma visão de toda a peça do ângulo que se deseja, podendo-se efetuar ou simular cortes localizados para observação de detalhes dimensionais, pode-se efetuar cálculos rápidos dos volumes, etc.

Palavras chaves: CAD/CAE/CAM, matrizes, mecânica.

RESUMEN

Los procesos modernos de conformación mecánica ejercen cada vez mayor presión sobre los fabricantes de coquillas, moldes, matrices, punzones o hileras, sean éstas de pequeño, medio o grande porte. Los ciclos de producción de piezas son cada vez más cortos y variados, y exigen respuestas rápidas de los fabricantes de matrices.

Procesos de fabricación modernos como Tixoforja, Inyección de polvos metálicos, forja isotérmica, fundición bajo presión, hidroconformación, etc., están exigiendo a los fabricantes de matrices mayor velocidad en la fabricación de las herramientas, en consecuencia de los cortos ciclos de fabricación y de la gran cantidad de piezas.

Los términos **CAD/CAE/CAM** están siendo comunes en la industria moderna y están relacionados con el empleo de computadoras en la fabricación de matrices.

Las etapas de desarrollo para la fabricación de una pieza, envuelven en la primera fase del dibujo técnico de la pieza, CAD (Computer Aided Design) con la simulación del proceso CAE (Computer Aided Engineering) y con la etapa final de fabricación de la herramienta CAM (Computer Aided Manufacture).

Palabras clave: CAD/CAE/CAM, matricería, mecánica.

* Centro de Tecnología de la UFRGS/RS/Brasil.

** Universidad Técnica de Aachen - Alemania Occidental.

Essa visualização computacional tridimensional de desenhos técnicos é obtida através de softwares comerciais denominados CAD – Computer Aided Design. O «Solidworks» ou «Autocad» são exemplos destes softwares que permitem uma visualização tridimensional de componentes com geometrias complexas.

A simulação do processo usando programas computacionais é muito importante porque evita o procedimento convencional das empresas que empregam a técnica da «tentativa e erro». Uma ferramenta é retocada várias vezes até produzir um componente dentro das especificações desejadas. Com a simulação pode-se observar antecipadamente os efeitos do local de injeção, machos, ângulos salientes, etc., sobre o fluxo do material. Modificações importantes no ferramental podem ser realizadas muito rapidamente minimizando os custos de fabricação da matriz.

Portanto, a combinação do desenho técnico (CAD) com o processo de simulação (CAE) pode reduzir enormemente os custos de fabricação de um componente. Por outro lado, espera-se assim reduzir o tempo de «set-up» (procedimentos operacionais até a produção do primeiro componente aceitável pelo controle de qualidade).

Este trabalho tem o objetivo efetuar uma integração do processo de fabricação de componentes complexos desde o desenho inicial da peça

pronta (CAD), passando pelo processo de simulação física relacionada com os fenômenos de injeção (CAE) finalizando com informações necessárias para a fabricação do ferramental (CAM).

A figura 1 mostra um esquema desta integração que atualmente esta sendo realizada em países com tecnologia de ponta /2/.

I. PROCESSO CAD

Para a obtenção dos desenhos das peças a fabricar, antigamente eram empregadas velhas pranchetas e uma serie de canetas de diversas cores para visualizar a peça. Na atualidade empregando sistemas computacionais de edições gráficas (sistemas CAD), estes desenhos ficaram uma tarefa rápida e prática, os programas tornaram também esta tarefa fácil de documentar e os projetos eram visualizados em 3D. Estes programas também permitem criar modelos geométricos incorporando solicitações térmicas ou mecânicas. A visualização de diferentes formatos pelo projetista permite também definir seu plano de fabricação.

Os sistemas CAD oferecem muitas vantagens aos desenhistas, e ou mais importante é a padronização gráfica, que permite que vários editores gráficos interpretem um desenho

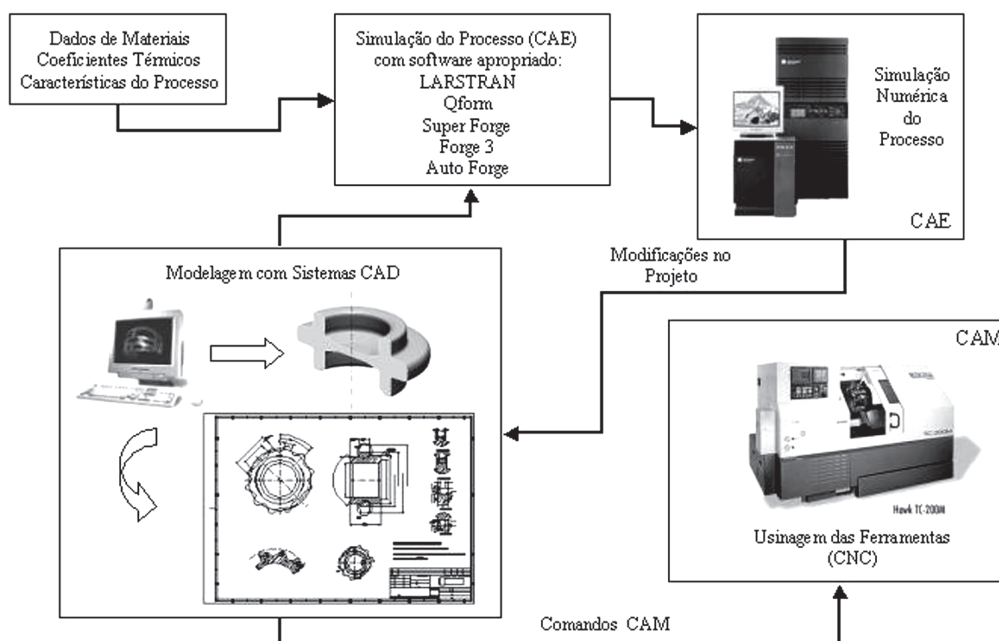


Figura N.º I. Sistema integrado do CAD/CAE/CAM /2/.

armazenando num arquivo padrão /3/. Os programas mas empregados são o **AUTOCAD e SOLIDWORKS**.

A descrição tri-dimensional de um componente num sistema CAD (Computer Aided Design), dentro de tolerâncias que atingem pelo mínimo 1/10mm é fundamental para uso destas informações para etapas seguintes: simulação (CAE) ou fabricação de matrizes (CAM). Já no Brasil a maioria das empresas fazem seus desenhos técnicos empregando programas de CAD. A modelagem de um componente com programas CAD são informações fundamentais tanto para a usinagem de eletrodos (quando o processo de fabricação das matrizes é através da eletroerosão) como para o comando de uma fresadora controlada por computador (CNC).

Uma vez existente o desenho da peça pronta, define-se o desenho da peça forjada. Neste momento são introduzidos ângulos (que por exemplo facilitam a retirada da peça da ferramenta), raios (cantos vivos são quase que impossíveis na fabricação de peças forjadas), espessura da base, etc. Estas são as informações importantes para a execução da próxima etapa que é a simulação do processo.

A figura 2 mostra a peça em três dimensões e seu desenho também em 3D. Os cortes nos darão as vistas desejadas em 2D.

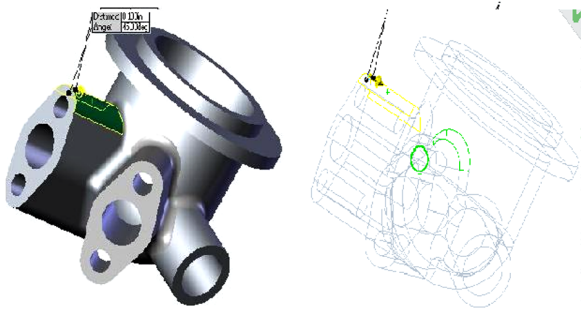


Figura N.º 2. A peça e seu possível desenho.

II. PROCESSO CAE

Na fase do CAE (Computer Aided Engineering) são executadas etapas de simulação do processo. Nesta fase visualizamos tensões e deformações, análises estrutural empregando o método de elementos finitos, também são revisadas as equações de conformação, preenchimento das matrizes, definição da necessidade de formas intermediárias,

esforços que ocorrem no ferramental, influência do tipo de máquina, preenchimento exato das cavidades, análise da influência de raios e cantos, deformação elástica das matrizes, determinação da garganta de rebarba, avaliação dos efeitos da dilatação térmica, determinação da linha de repartição, etc.

Observa-se portanto que na etapa da simulação são executadas operações de controle de um projeto estabelecido preliminarmente pelo projetista na etapa do desenho (CAD). No caso de se verificar que o esforço é exagerado para o equipamento disponível deve-se, por exemplo, projetar o forjamento de uma operação intermediária. Caso seja verificado um preenchimento imparcial da cavidade devem ser alterados raios, ângulos ou até mudar a temperatura de forjamento. No caso em que se verifica uma deformação elástica das matrizes (como no caso do forjamento a frio) é necessário prever um encamizamento do ferramental. Estes são alguns exemplos da etapa de simulação. No passado estas etapas eram sempre analisadas em prolongadas e oneradas operações experimentais. Empregando os módulos de simulação podemos também avaliar o comportamento dinâmico de peças móveis.

Os programas comerciais mais empregados são: **M.S.C. WORKING MODEL SOFTWARE, COSMOS /WORK e DYNAMIC MOTION SIMULATION**.

Na figura 3 se mostra a simulação de uma peça para poder determinar as condições para sua fabricação final, sempre tratando de otimizar matéria prima, tempo e ferramental neste processo. Uma vez atendidas todas as condições de conformação as informações retornam para o desenhista (CAD) onde se executarão os desenhos do ferramental. É possível que ocorra um processo interativo entre o desenho e a simulação até a otimização final do projeto. Uma vez definida a ferramenta encaminham-se as informações para o processo de fabricação do ferramental.

III. PROCESSO CAM

Após ter sido otimizado o projeto de um forjado (CAD) com um rigoroso acompanhamento da análise sobre o efeito das variáveis no processo (CAE) passa-se à etapa de fabricação do ferramental (CAM-Computer Aided Manufacture). A construção do ferramental com máquinas de usinagem com controle numérico (CNC) necessitam informações transmitidas diretamente da área de

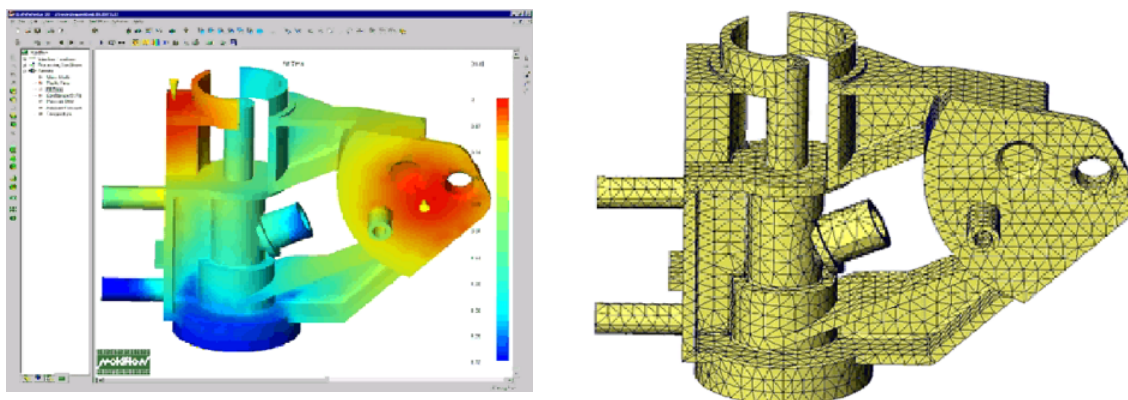


Figura N.º 3. A simulação por elementos finitos nos permite otimizar o projeto final /4/.

projetos onde as superfícies ou volumes foram precisamente descritas através de modelos matemáticos via CAD 3D /5/. Da mesma forma as máquinas de usinagem também necessitam disponibilizar de um sofisticado sistema CAD/CAM 3D para receber os dados e iniciar a operação de usinagem. O sistema CAM não trabalha completamente automatizado. Sempre é necessário técnicos especializados e altamente treinados. Existem na atualidade duas rotas básicas para a fabricação das ferramentas.

Os programas em CAD através de sua linguagem de programação, permitem a criação de rotinas personalizadas, e usando estes recursos criam entidades geométricas que definem o perfil da peça a ser usinada.

A fig. 4 mostra esquematicamente as duas rotas para a fabricação do ferramental. Esta automação permitiu a minimização de erros originando a fabricação com exigências de tolerâncias que não poderiam ser mantidas nos procedimentos tradicionais (desenho em papel, fabricação de modelos em madeira para uso em fresadoras-copiadoras, etc...).

- Método convencional via uso de eletroerosão
- Método de usinagem ultra-rápida (High Speed Milling – HSM)

Existem varios programas que são empregados neste processo como: **TEKNO-SOFT, MASTER-CAM, ESPRIT, CAM-WORK, etc.**

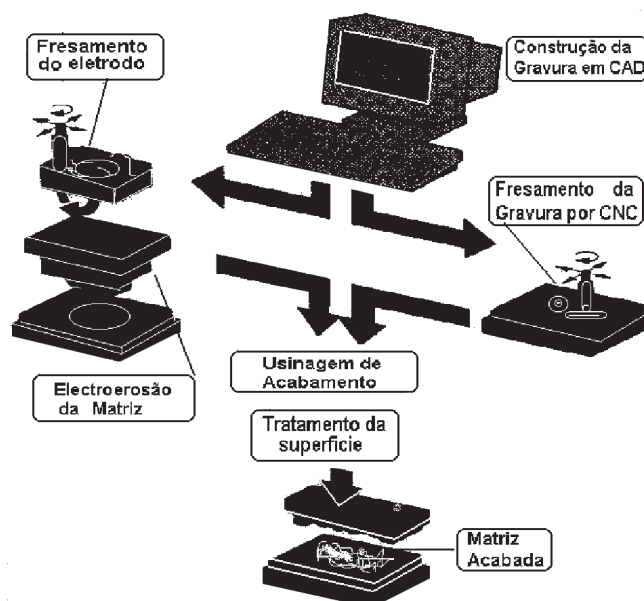


Figura N.º 4. Procedimento convencional com usinagem de eletrodos e usinagem rápida para fabricação de matrizes /6/.

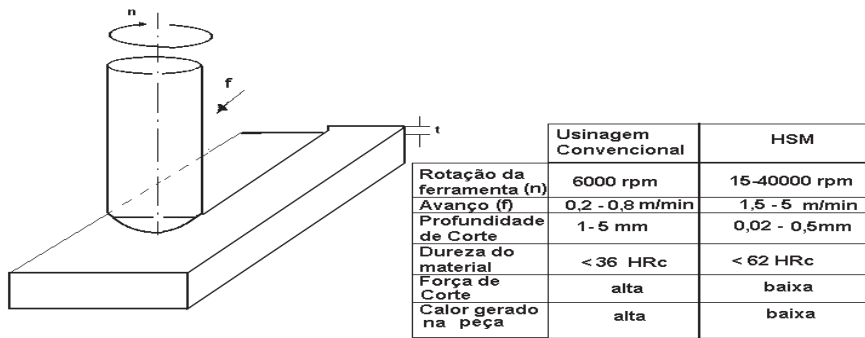


Figura N.º 5. Diferença entre a usinagem convencional de ferramentas e a usinagem ultra-rápida (HSM) /7/.

A fig. 5 mostra alguns valores quantitativos entre a usinagem convencional e a usinagem ultra-rápida. É importante frisar que na usinagem ultra-rápida pode-se trabalhar matrizes com a dureza até 62HRc.

O ESPRIT /8/ é um programa avançado mais empregado na indústria, e destaca todas as características de suas mais recentes versões, benefício adicionado pela representação contínua das partes da máquina durante toda a criação do processo de usinagem, potência de programação 100% Windows nativo, acesso a Web personalizado, uma comunicação associativa com todos os sistemas de CAD. É a solução mais produtiva no mercado. Os programas atuais fazem o trabalho de máquina em minutos, tanto para fabricantes de moldes, indústria mecânica, elétrica, automotiva e aeroespacial.

A compatibilidade e a maioria dos programas de CAD, CAE e com Windows inclui o suporte para tecnologias automaticamente gerar folhas de processo paralelamente a um programa de planilha eletrônica tal como Microsoft Excel. Estes programas podem enviar e receber arquivos de todo o

mundo, mais o acesso a página na Internet da DP Technology onde se tem acessos a suportes e/ou melhoramentos. Sem fechar o software, você pode mesmo receber o auxílio através do E-mail de seu centro de suporte. As maiorias de programas geram códigos a partir do dia da instalação. Inclui uma biblioteca de mais de 600 pós-processadores aprovados de fábrica que são facilmente e rapidamente customizados e pode gerar o código para todos os formatos e controles de máquina CNC.

IV. INTRODUÇÃO AOS PROCESSOS MODERNOS

4.1. Tixoforjamento

O forjamento semi-sólido ou tixoforjamento é uma tecnologia para fabricação de peças onde o metal no estado semi-sólido é forjado em uma matriz de aço ou matriz cerâmica. A matéria prima empregada deve possuir uma microestrutura globular, sem dendritas. Esta microestrutura no estado semi-sólido, escoia como se fosse um líquido de alta viscosidade sob tensões de cisalhamento pequenas, sendo possível produzir formas complexas com paredes extremamente finas /9/.

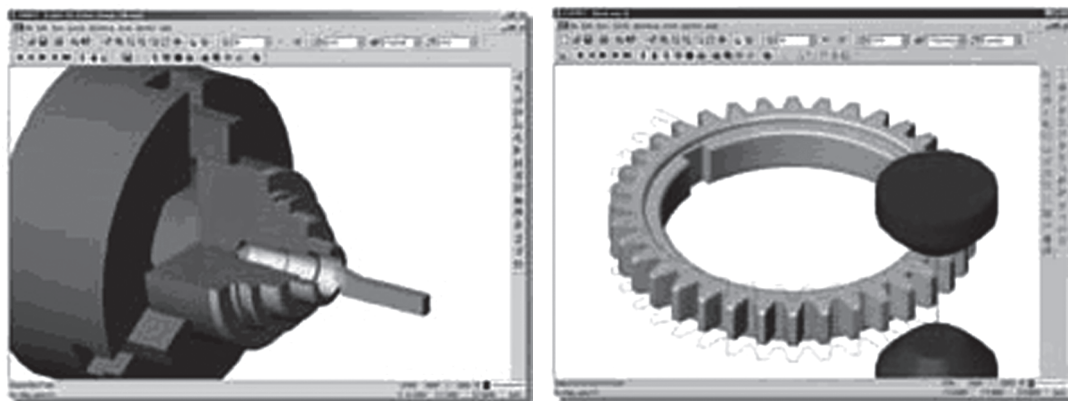


Figura N.º 6. Peças desenhadas pelo ESPRIT /8/.

Esta tecnologia oferece a possibilidade do emprego de prensas de baixa capacidade. O metal no estado semi-sólido possui valores baixos de resistência à deformação.

As matrizes para este processo devem ser fabricadas com desenho muito especial, que dependem da complexidade da peça e do metal a serem conformada.

Na figura 1 se mostra o cilindro mestre de freio, que possui muita complexidade no seu formato, a matriz deve permitir um preenchimento total de sua gravura e uma saída facilitada.

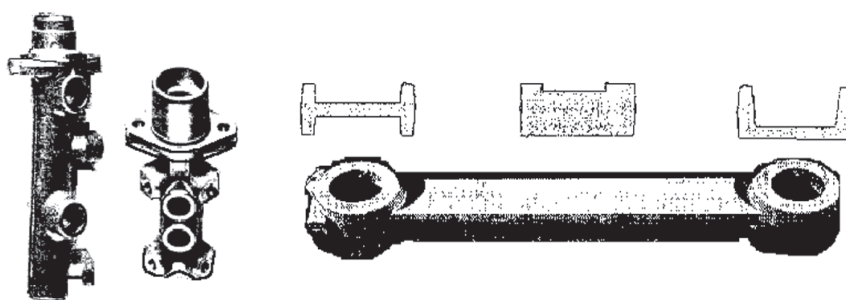


Figura N.º 7. Peças de formatos complexos que requer matrizes bem projetadas /9/.

4.2. Injeção de pós metálicos

O novo processo de fabricação de componentes de precisão denominado Moldagem de Pós Metálicos por Injeção (Metal Injection Moulding) permite a produção de componentes usados na indústria biomédica, automotiva, aeronáutica, eletro-eletrônica, armas, entre outras, e que podem ser fabricados na sua forma acabada (near net shape).

Este processo resulta da união da técnica de injeção de plásticos com a técnica da metalurgia dos pós /10/.

Na atualidade são fabricados implantes de titânio com acabamento superficial poroso, este fato facilita a integração óssea, resultando uma forte e duradoura adesão entre o osso e o implante, observa-se na figura 8 implantes de titânio para a fixação de próteses dentárias.

4.3. Forjamento isotérmico

O forjamento isotérmico consiste em forjar uma peça empregando a matriz na mesma temperatura da peça. É sem dúvida um processo de fabricação de componentes de ligas leves, mais

empregados na indústria automobilística e aeronáutica. Devido a que se sobressai pelo fator econômico e elevadas características mecânicas que as peças obtém. Estas peças podem atingir uma alta resistência à fadiga, tolerâncias e outros aspectos de segurança /11/.

Para que o processo de forjamento isotérmico seja competitivo em relação a outros processos, ou para que uma empresa seja competitiva em relação aos concorrentes é necessário que todas as etapas que envolvem a fabricação sejam otimizados.

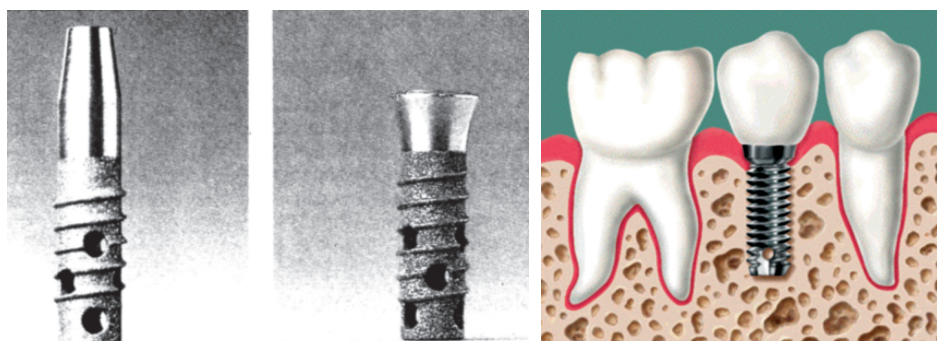


Figura N.º 8. Peças biomédicas injetadas de pó de titânio.

A figura 9 mostra as ferraduras de alumínio AA6351 que são forjadas por este processo, nota-se também o desenho desta empregando o solid works.

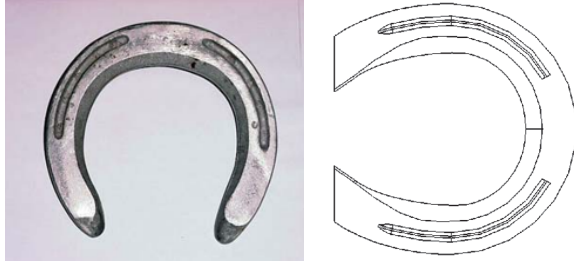


Figura N.º 9. Ferradura de alumínio para cavalos de corrida.

V. FABRICAÇÃO DAS MATRIZES

O projeto de matrizes ainda depende da experiência prática do projetista, devido a que não existem regras fixas ou normas para o projeto. Existem entre tanto, certas diretrizes e princípios desenvolvidos através de muitos anos de experiências.

Neste trabalho procuram-se abordar de uma forma geral particularidades do complexo tema que é o projeto das matrizes. Esse assunto é analisado com maior profundidade no guia desenvolvido pela «Drop Forging Research Association» /12/. A avaliação do projeto de matrizes para uma automação computacional pode ser encontrada no trabalho de A. Viecelli /13/.

O principal objetivo de um projeto perfeito é maximizar a vida útil do ferramental. Vários parâmetros podem afetar a durabilidade de uma ferramenta.

O emprego de sistemas **CAD/CAE/CAM** para a fabricação de matrizes nos permite alcançar:

1. Facilidade de fabricação ainda com formatos complexos.
2. Avaliar o fluxo de material para o adequado preenchimento da matriz.
3. Projetar a matriz final e se necessário, matrizes intermédias.
4. Projetar pré-formas e determinar o tamanho do BILLET.
5. Modificar, alterar e ajustar as dimensões finais.
6. Confeccionar as matrizes podendo ser usinadas direito no bloco de aço, empregando a CNC.

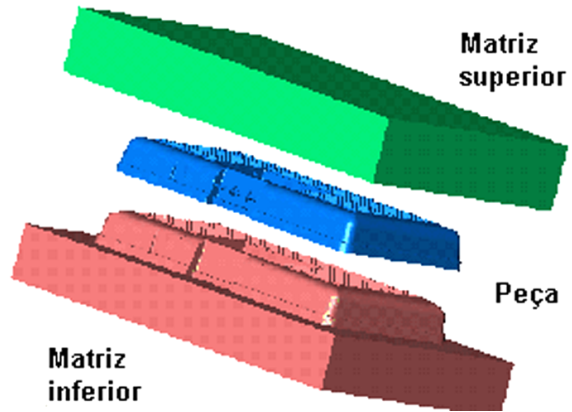


Figura N.º 10. Desenho de uma Matriz no CAD.

Em função ao fluxo de material a figura 11 mostra a influência da linha de repartição em combinação com a linha de repartição. Observa-se que o posicionamento da linha de repartição tem influência nas linhas de fluxo da peça acabada.

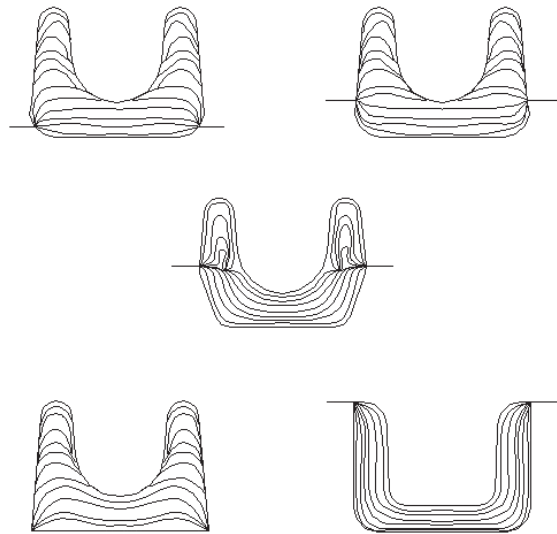


Fig. 11. Efeito da linha de repartição no fluxo do material.

VI. CONCLUSÕES

Pelo exposto, conclui-se que o conceito tradicional da engenharia de fabricação ou de manufatura de produtos, onde as operações que envolvem o desenho, análise e manufaturas estão se modernizando, devido as novas tecnologias, aos novos produtos e aos novos materiais que estão aparecendo no mercado.

VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Maximo de Mello, S. Et all. Projeto virtual de forjados: da concepção do produto à matriz de forjamento. VII Conferencia Internacional de Forjamento, 16 de Outubro de 2003, pp 123-129. Porto Alegre. RS-Brasil.
2. Schaeffer, L., Forjamento (Introdução ao processo) ,Editora Imprensa livre, capítulo 15. pp 15.1-15.10. ano 2001.
3. Costa de Oliveira, Fernando Soares e Anatólio Laschuk-Alternativas de sistemas computacionais de auxilio à programação CNC. – Revista Maquinas e Metais pp 112-120, Dezembro 1997.
4. Schaeffer, L., Forjamento (Introdução ao processo) -Editora Imprensa livre. Capítulo 14. pp 14.1-14.9. ano 2001.
5. Friedrich, H.: Schmiedeteilkonstruktion mit CAD/CAM. CAX in deutschen Schmieden (IDS), 1996, p. 7-9.
6. Adlof, W.: Schmiedeteile–Bedeutung Gestaltung Herstellung – Anwendung. Informationstelle Schmiedestück-Verwendung im Industrie Verband Deutscher Schmieden e.V. (IDS). 1998.
7. Peroni, R. e G. Martinelli: Experiences in High Speed Milling of Forging Dies. Anais da III Conferência Internacional de Forjamento (XIX SENAFOR), Porto Alegre, 1999, p. 283-288.
8. Manual do SPRIT.
9. Espinoza, Marcos Mallqui – Estudo de Parâmetros no Processo de Forjamento Semi-sólido da liga de Alumínio AA7075 – Tese de Doutorado.PPGEM/UFRGS. 1999. Porto Alegre /RS.
10. Randall M. German - Powder Injection Moulding, 1990, Metal Powder Industries Federation, New Jersey, USA .
11. Ribeiro, José e Cappelli, Paola – Forjamento Isotérmico de precisão da liga AlMgSi.- VIII Seminário Nacional de Forjamento. Porto Alegre, 1989 – pp 196-216.
12. Thomas, A.: Die Design. Drop Forging Research Association Ltd., Sheffield, 1981.
13. Viecelli, A.: Projeto de matrizes fechadas de forjamento a quente para peças axissimétricas com rebarba auxiliado pelo computador. Dissertação de Mestrado. PPGEM/UFRGS. 1995.