

Tópicos em Fabricação Mecânica

João Paulo Pereira Marcicano.

São Paulo
2001

Índice

Centros de Usinagem.....	3
Tipos de Centros de Usinagem e Torneamento.....	6
Características e Capacidades dos Centros de Usinagem.....	7
Seleção.....	9
Bibliografia.....	9
Computer Integrated Manufacturing Systems.....	10
Introdução.....	10
Sistemas de Manufatura.....	10
Computer Integrated Manufacturing (CIM).....	11
Projeto e Engenharia Auxiliados por Computador – CAD (Computer Aided Design) e CAE (Computer Aided Engineering).....	14
Manufatura Auxiliado por Computador.....	18
Planejamento de Processos Auxiliado por Computador.....	19
Material-Requirements Planning (MRP) e Manufacturing Resource Planning (MRP-II).....	21
Simulação em Computador dos Processos e Sistemas de Manufatura.....	21
Tecnologia de Grupo (GT).....	22
Células de Manufatura.....	23
Sistemas Flexíveis de Manufatura.....	25
Produção Just-in-Time (JIT).....	28
Bibliografia.....	30
Efeitos Ambientais das Atividades de Manufatura.....	31
Poluição.....	31
Prevenção à Poluição - Conceitos e definições.....	32
Processos Avançados de Usinagem.....	38
Introdução.....	38
Usinagem Química.....	39
Eletroerosão.....	41
Usinagem por Laser.....	42
Fabricação de Peças de Plástico e Materiais Compósitos.....	46
Extrusão.....	47
Moldagem por Injeção.....	50
Moldagem por Sopro.....	54
Termoconformação.....	55
Processamento de Plásticos Reforçados.....	56
Processamento de Compósitos com Matriz Metálica.....	57
Processamento de Compósitos com Matriz Cerâmica.....	58
Bibliografia.....	58

Centros de Usinagem

Este capítulo descreve os principais progressos no projeto e capacidades de máquinas ferramenta controladas por computador. Conhecidos como centros de usinagem e centros de torneamento, estas máquinas possuem flexibilidade e versatilidades que outras máquinas ferramentas não possuem, sendo por isto a primeira escolha na seleção de máquinas ferramentas.

De um modo geral, as máquinas ferramenta tradicionais mesmo automatizadas são projetadas para executar basicamente um tipo de operação. As peças a serem fabricadas por sua vez podem necessitar diferentes operações para serem produzidas.

As peças da figura apresentam uma variedade de características geométricas necessitando uma variedade de operações tais como: fresamento, faceamento, furação, rosqueamento, alargamento e mandrilamento para obter estas geometrias dentro das tolerâncias e acabamento superficial especificados.

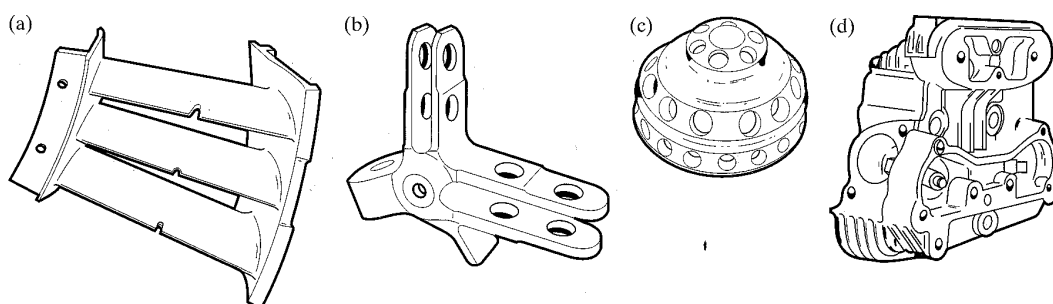


Figura – Peças que podem ser completamente usinadas por Centros de Usinagem (adaptado de KALPAKJIAN,2001).

Tradicionalmente, as operações de usinagem são executadas pela transferência da peça de uma máquina ferramenta para outra até que a usinagem seja completada. Este método de manufatura que pode ser automatizado é viável, e é o princípio por trás das “transfer lines”. Utilizadas na produção em larga escala, as linhas de transferência consistem de várias máquinas ferramenta montadas em seqüência. Por exemplo, uma peça como um bloco de motor, é movimentada de estação em estação, com uma operação de usinagem específica sendo executada em cada estação.

Entretanto, existem tipos de produtos e situações onde as linhas de transferência não são viáveis, particularmente quando os tipos de produtos a serem usinados mudam rapidamente. Um conceito importante, desenvolvido no final dos anos 50, a dos centros de usinagem, que são máquinas ferramenta controlada por computador é capaz de executar uma variedade de operações de usinagem em superfícies e direções diferentes na peça. Em geral, a peça permanece parada e as ferramentas de corte giram, como em operações de fresamento e furação.

O desenvolvimento de centros de usinagem está relacionado aos avanços no controle numérico de máquina ferramenta.

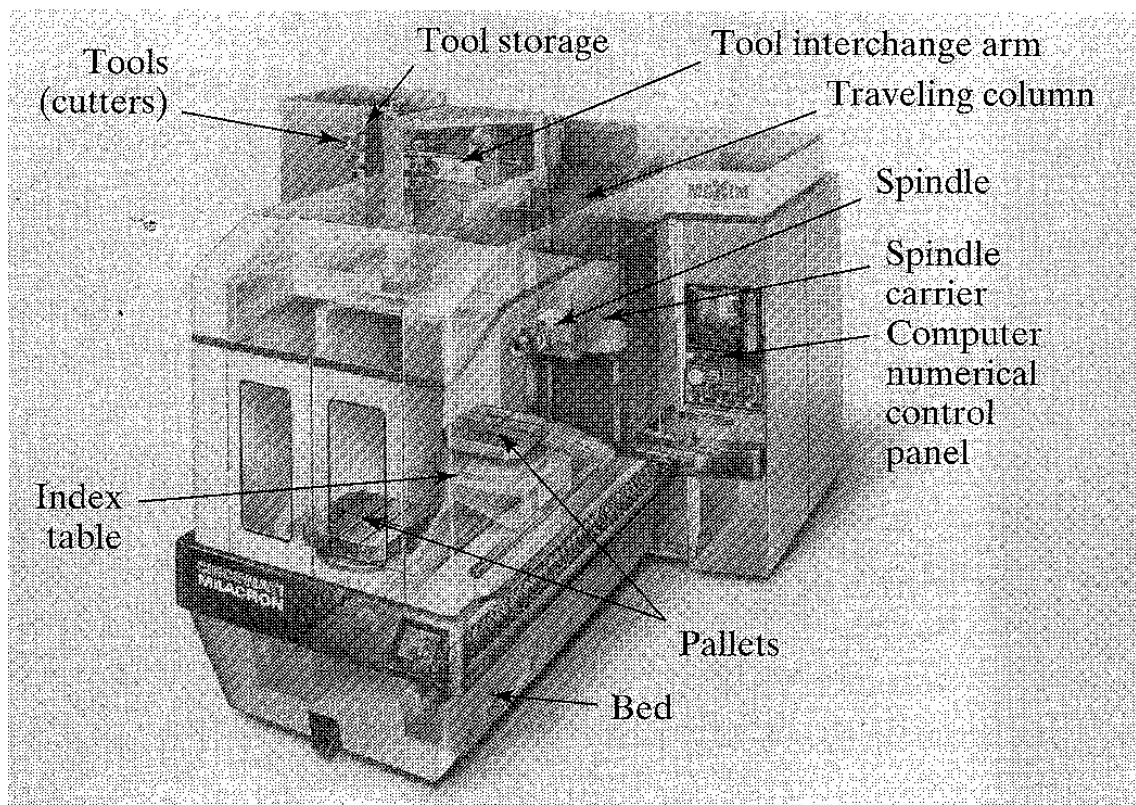


Figura – Centro de Usinagem Horizontal (adaptado de KALPAKJIAN,2001).

A peça em um centro de usinagem é colocada em um “pallet” ou módulo que pode ser movido e orientado em várias direções. Após uma determinada operação de usinagem ter terminado, a peça não necessita ser transportada para outra máquina para executar outras operações, em outras palavras as ferramentas e as máquinas são trazidas para a peça.

Após o término das operações, o pallet automaticamente sai com a peça terminada e outro pallet com outra peça a ser usinada é posicionado pelo alimentador automático de pallet. Todos os movimentos são controlados por computador e o tempo de troca dos pallets é da ordem de 10 a 30 segundos. Estações de pallets são disponíveis com vários pallets trabalhando para o centro de usinagem. As máquinas podem também ser equipadas com acessórios como dispositivos para alimentação e retirada de peças.



Figura – Centro de Usinagem Horizontal, fabricante Cincinnati.

O centro de usinagem é equipado com um sistema de troca de ferramenta programável. Dependendo da máquina, até 200 ferramentas podem ser armazenadas em um magazine, cilindro ou correia. Sistemas auxiliares de armazenamento de ferramentas para mais ferramentas são disponíveis em alguns centros de usinagem. As ferramentas são automaticamente selecionadas com acesso aleatório e considerando-se o melhor trajeto até o cabeçote da máquina. O braço de troca de ferramenta monta a ferramenta no cabeçote da máquina.

As ferramentas são identificadas por etiquetas codificadas, código de barras, ou chips fixados nos suportes da ferramenta. O tempo de troca da ferramenta é da ordem de 5 a 10 segundos, este tempo pode ser menor que um segundo para ferramentas pequenas, ou de até 30 s para ferramentas pesando 110 Kg. A tendência em trocadores de ferramentas é a utilização de mecanismos simples para acelerar o processo.

Os centros de usinagem podem ser equipados com dispositivos para inspeção de ferramenta e/ou peça que podem obter informações para que o controle numérico compense qualquer variação nos ajustes e desgaste de ferramenta. Probes de toque podem

automaticamente: determinar superfícies de referência da peça, selecionar dados de ajuste de ferramentas, e inspecionar em tempo real as peças fabricadas.

Tipos de Centros de Usinagem e Torneamento

Apesar de existirem diferentes várias formas construtivas de centros de usinagem, os dois tipos básicos são: com cabeçote vertical, com cabeçote horizontal, mas muitas máquinas são capazes de usar os dois eixos. A dimensão máxima que as ferramentas podem alcançar na peça é conhecida como envelope de trabalho, este termo foi inicialmente utilizado em robôs industriais.

Centros de usinagem com cabeçote vertical ou centros de usinagem vertical, são apropriados para executar diversas operações de usinagem em superfícies planas com cavidades profundas, por exemplo, na fabricação de moldes e ferramentas. Nestas máquinas, a componente de força de usinagem na direção de separação atua no sentido descendente empurrando a peça para baixo, em função da forma construtiva a rigidez é grande, como resultado as peças podem ser produzidas com boa precisão dimensional. Estas máquinas, de um geral, são mais baratas que os centros de usinagem horizontais.

Centros de usinagem com cabeçote horizontal ou centros de usinagem horizontal são adequados para a usinagem de peças pesadas e grandes que necessitam usinagem em várias superfícies. O pallet pode ser orientado segundo diferentes eixos em posições angulares variadas.

Outra categoria de máquinas com eixo horizontal são os centros de torneamento, que são tornos controlados por computador com vários recursos. Estas máquinas podem possuir vários placas para fixação de peças e várias torres para as ferramentas.

O centro de usinagem universal é equipado com cabeçotes vertical e horizontal. Este tipo de máquina possui vários recursos e são capazes de usinar todas as superfícies de uma peça : vertical, horizontal e diagonal.

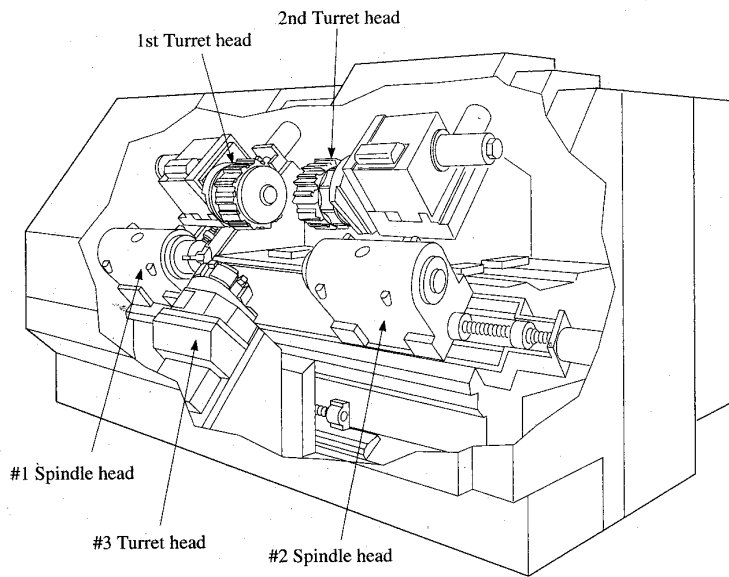


Figura – Centro de Torneamento. (adaptado de KALPAKJIAN,2001).



Figura – Centro de Torneamento, fabricante Cincinnati.

Características e Capacidades dos Centros de Usinagem

As principais características dos centros de usinagem são:

- Capacidade de manipular uma grande variedade de tamanhos e formas de peças eficientemente, economicamente e com alta exatidão dimensional, as tolerâncias dimensionais são da ordem de $\pm 0,0025$ mm.

- As máquinas são versáteis, tendo em média seis eixos de movimento linear e angular, e são capazes de rapidamente mudar de um tipo de produto para outro, então a necessidade de máquinas diferentes e espaço físico são significativamente reduzidos.
- O tempo necessário para alimentar e retirar as peças, troca de ferramentas, calibração, e ajustes são reduzidos, então a produtividade é aumentada, reduzindo a necessidade de mão de obra (especialmente mão de obra treinada) e minimizando os custos de produção.
- São altamente automatizados e relativamente compactos, um operador pode supervisionar duas ou mais máquinas ao mesmo tempo.
- As máquinas são equipadas com dispositivos de monitoramento da condição da ferramenta para a detecção de quebra de ferramenta e desgaste, bem como com probes para compensação de desgaste de ferramenta e para posicionamento de ferramenta.
- Calibração e inspeção em processo e após processo são disponíveis em centros de usinagem.

Os centros de usinagem são disponíveis com uma grande variedade de tamanhos e recursos, os custos estão na faixa de 50.000 a 1 milhão ou mais. A potência é de até 100 hp e a máxima rotação é de 4000 a 8000 rpm, alguns podem trabalhar até 75000 rpm. Alguns pallets podem suportar peças que pesam 7000 Kg.

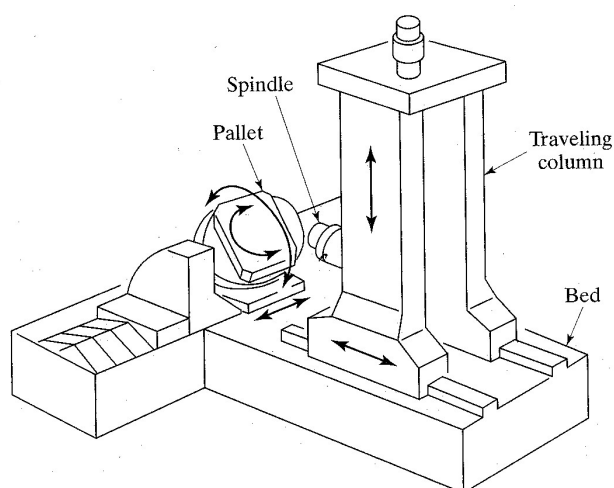


Figura – Centro de Usinagem Horizontal com 5 eixos (adaptado de KALPAKJIAN,2001).



Figura – Centro de Usinagem Vertical, fabricante Cincinnati.

Seleção

Centros de Usinagem podem necessitar de significativos dispêndios de capital, para haver retorno geralmente tem de ser utilizados em pelo menos dois turnos por dia. Conseqüentemente deve haver demanda suficiente para mantê-lo em funcionamento. Por causa da sua versatilidade, os centros de usinagem podem ser utilizados para produzir uma vasta gama de produtos particularmente com o conceito de just-in-time.

A seleção do tipo e capacidade do centro de usinagem depende de vários fatores:

- Tipo de produtos, tamanho e complexidade de forma dos mesmos.
- Tipo de operações a serem executadas e o tipo e número de ferramentas de usinagem necessários.
- Precisão dimensional necessária.
- Taxa de produção.

Apesar da versatilidade ser o fator chave na seleção de centros de usinagem, estas considerações sevem ser consideradas frente ao alto investimento de capital necessário e comparar com os custos de manufatura do mesmo produto utilizando máquinas ferramenta tradicionais.

Bibliografia

KALPAKJIAN,2001 – Kalpakjian,S.;Schmid,S.R.; Manufacturing Engineering and Technology, 2001; 4o edição; Prentice Hall.

Computer Integrated Manufacturing Systems

Introdução

A integração significa que os processos de fabricação, operações e o gerenciamento são tratados como um sistema, onde é possível exercer total controle dos recursos de fabricação com conseqüente aumento de produtividade, qualidade do produto, confiabilidade e redução dos custos de fabricação.

No ambiente CIM as funções tradicionalmente separadas de pesquisa&desenvolvimento, projeto, produção, montagem, inspeção e controle de qualidade são integradas. Esta integração exige o conhecimento quantitativo da interface entre projeto do produto, materiais, processos de fabricação e capacidades de máquinas e outras atividades relacionadas ao ciclo de fabricação. Deste modo, mudanças nos requisitos de materiais, tipos de produtos ou demanda podem ser ajustadas pelo sistema.

As máquinas, ferramentas, e as operações de fabricação devem possuir um certo grau de flexibilidade, para ser capaz de responder a mudanças e garantir a entrega pontual dos produtos. Falhas relacionadas ao prazo de entrega na atividade industrial podem destruir planos de produção e agendamento de atividades causando um significativo impacto econômico. Em um ambiente globalizado altamente competitivo, atrasos na entrega de produtos podem significar a perda de clientes que podem facilmente escolher outro fornecedor.

Sistemas de Manufatura

A palavra de origem grega systema significa combinar. De um modo geral sistema é entendido como um arranjo de entidades físicas caracterizadas por parâmetros quantificáveis de interação entre as entidades. A fabricação engloba atividades interdependes em entidades distintas como: materiais, ferramentas, máquinas, energia e recursos humanos; podendo ser vista como um sistema.

A fabricação é um sistema complexo, porque é composto por elementos físicos diversos e humanos, sendo alguns difíceis de serem previstos e controlados, como suprimentos e custo de matéria prima, mudanças de mercado e comportamento e performance humana.

De modo ideal, devemos ser capazes de representar um sistema através de modelos matemáticos e físicos onde pode-se demonstrar a natureza e interdependência das variáveis envolvidas. Em um sistema de manufatura, um distúrbio em algum ponto do sistema requer que o próprio sistema se ajuste de modo a continuar funcionando eficientemente. Por exemplo, se o suprimento de uma determinada matéria-prima é reduzido e seu custo aumentado, materiais alternativos devem ser selecionados. A seleção deve ser feita após cuidadosa análise dos efeitos que a mudança pode acarretar na qualidade do produto, taxa de produção e custos de fabricação.

A modelagem como um sistema complexo pode ser difícil, por causa da falta de dados confiáveis e completos de muitas variáveis envolvidas. Além disso, não é fácil prever corretamente e controlar algumas variáveis. Por exemplo:

- Características de máquinas ferramenta, sua performance, e resposta a distúrbios externos não podem ser modelados precisamente;
- Custos de matérias-primas são difíceis de serem previstos precisamente e;
- Comportamento humano são difíceis de modelar.

Apesar destas dificuldades, muitos progressos têm sido feitos na modelagem e simulação de sistemas de manufatura permitindo em muitos casos que efeitos de distúrbios como alterações na demanda, disponibilidade de materiais e performance de máquinas possam ser previstas com razoável exatidão.

Computer Integrated Manufacturing (CIM)

Os vários níveis de automação nas operações de manufatura tem sido ampliados pela inclusão de informações das funções de processamento, utilizando rede de computadores. O resultado é a integração da manufatura por computador, o CIM que descreve a integração através de computadores de todos os aspectos de projeto, planejamento, manufatura, distribuição e gerenciamento.

CIM é uma metodologia e o objetivo, atualmente a tecnologia para a implementação do CIM está dominada e disponível. Idealmente, o CIM deveria englobar todas as operações de uma empresa, para isso necessitaria de um extenso banco de dados contendo dados técnicos e de negócios. Conseqüentemente, a implementação completa e ao mesmo tempo de todos os módulos pode ser muito cara particularmente para pequenas e médias empresas. A implementação do CIM em plantas industriais em operação pode ser feita com módulos instalados em várias fases da operação. Para plantas novas, por outro lado, a implementação deve considerar o todo e um planejamento que cubra todas as fases da operação de modo a usufruir de todo potencial do CIM. Os planos de implementação devem levar em conta:

- Disponibilidade de recursos;
- A missão, os objetivos, e cultura da organização;
- O nível de integração desejado.

Sistemas CIM consistem de subsistemas que são integrados, os subsistemas são:

- Planejamento e suporte de negócios;
- Projeto de produtos;
- Planejamento dos processos de manufatura;
- Controle de processos;
- Sistemas de monitoramento do chão de fábrica; e
- Automação de processos.

Os subsistemas são projetados, desenvolvidos e colocados em funcionamento de modo que a saída de um sistema sirva de entrada para outro. Em termos organizacionais estes subsistemas são divididos para desempenhar as funções de planejamento e de execução. As funções de planejamento de negócios consistem de atividades como: Previsão de cenários, agendamento, planejamento de necessidades de materiais, compras e contabilidade. As funções de execução de negócios incluem produção e controle de processos, manipulação de materiais, testes e inspeções.

A eficácia do CIM depende principalmente da presença de sistemas de comunicação integrada compostos de computadores, máquinas e respectivos controles. Os maiores problemas encontrados na implementação estão na área de comunicação da fábrica por causa da dificuldade de interfaceamento entre diferentes tipos de computadores e máquinas

de diferentes fabricantes e de diferentes épocas, em função disso, há uma forte tendência a padronização para fazer os equipamentos compatíveis .

Figura – Um esquema de um sistema de manufatura integrado por computador.

Os benefícios do CIM são os seguintes:

- capacidade de se adaptar: ao encurtamento dos ciclos de vida de produtos, mudanças na demanda e competição global;
- ênfase na qualidade e uniformidade do produto conseguidos através de um melhor controle de processos;
- melhor uso de materiais, máquinas, e pessoal e redução de estoques em processo, que acarretam aumento de produtividade e redução de custo do produto; e
- melhor controle da produção, agendamento e gerenciamento de toda a operação de manufatura, resultando em custo de produto menor.

Banco de Dados

Um sistema CIM eficiente necessita de um banco de dados que possa ser compartilhado por toda organização. Banco de dados consiste de informações atualizadas, detalhadas e precisas sobre produtos, projetos, máquinas, processos, materiais, produção, finanças, compras, vendas, marketing, e estoques. Estes dados são armazenados em computadores e podem ser recuperados e modificados se necessário por pessoas ou pelo próprio sistema CIM enquanto controlando as atividades de projeto e fabricação.

O banco de dados geralmente contém os seguintes itens, que podem ser classificados como dados técnicos e não técnicos:

- dados do produto, como formato geométrico, dimensões e especificações;
- dados de gerenciamento, como autor, revisão e número da peça;
- dados de produção, como processos de fabricação utilizados;
- dados operacionais, como agendamentos, tamanhos de lote, e requisitos de montagem;

- dados de recursos, como capital, máquinas, equipamentos, ferramentas e pessoal e suas capacidades.

Os bancos de dados são alimentados por pessoas e por sensores nas máquinas de produção. Dados podem ser coletados automaticamente por sistemas de aquisição de dados, que podem informar o número de peças produzidas por unidade de tempo, precisão dimensional, acabamento superficial, peso e assim por diante, em intervalos especificados de amostragem.

Os componentes dos sistemas de aquisição de dados (SAD) incluem microprocessadores, transdutores, e conversores analógico-digital. Os SAD são capazes de analisar os dados e transferi-los para outros computadores para o propósito de análise estatística, relatório.

Vários fatores são importantes no uso e implementação de banco de dados:

- eles devem ser rápidos, exatos, facilmente acessíveis, facilmente compartilhados e amigáveis;
- possuir capacidade de tratamento de erros , ser capaz de se restaurar;
- ser flexível para poder ser utilizado por diferentes usuários;
- permitir controle de acesso;

Projeto e Engenharia Auxiliados por Computador – CAD (Computer Aided Design) e CAE (Computer Aided Engineering)

Projeto auxiliado por computador consiste no uso do computador para criar projetos e modelos de produtos. CAD normalmente está associado com computadores gráficos interativos (conhecidos como sistemas CAD). Sistemas CAD são ferramentas poderosas, são usadas em projeto mecânico e modelagem geométrica de produtos e componentes.

Engenharia auxiliada por computador simplifica a criação de banco de dados, por permitir que várias aplicações compartilhem informações. Estas aplicações incluem, por exemplo: análise por elementos finitos de tensões, deformações, deflexões, distribuições de temperatura em estruturas e geração, armazenamento e recuperação de programas de controle numérico, e projeto de circuitos integrados e outros dispositivos eletrônicos.

No CAD a prancheta é substituída por dispositivos eletrônicos de entrada e saída, por exemplo, plotters, mesas digitalizadoras e data tablets, que é dividida em seções, cada seção representa um elemento geométrico tais como: pontos, linhas, planos, círculos ou cilindros.

Na utilização de sistemas CAD, o projetista pode conceber o produto a ser projeto de modo mais fácil visualizando-o no monitor e pode tentar alternativas de projeto ou modificar rapidamente um projeto para satisfazer uma determinada necessidade. Uma vez que o produto esteja modelado no CAD, o projetista pode submetê-lo a análises de engenharia para poder verificar problemas potenciais (tensões ou deflexões excessivas). A velocidade e precisão deste método de projeto ultrapassam os métodos tradicionais.

O sistema CAD rapidamente e precisamente produz a definição de produtos e seus componentes. Uma das saídas destes sistemas são os desenhos de trabalho que geralmente são melhores que os produzidos manualmente. Os desenhos podem ser reproduzidos quantas vezes se deseja com diferentes graus de redução ou ampliação.

Adicionalmente as características geométricas e dimensionais outras informações, tais como: lista de materiais, especificações e instruções de fabricação podem ser armazenadas no banco de dados CAD. Usando estas informações o projetista pode fazer análise econômica de diferentes alternativas de projeto.

Padrões para Intercâmbio de Dados

Por causa da variedade de sistemas CAD de diferentes características e fornecedores, a comunicação e intercâmbio de dados entre estes sistemas tornou-se um problema. No momento, a melhor alternativa para solucionar este problema de compatibilidade é o padrão IGES (Initial Graphics Exchange Specification). Para permitir a portabilidade dos dados, os desenvolvedores de sistemas CAD devem providenciar tradutores para preprocessar os dados para o formato neutro e posprocessadores para ler os dados do formato neutro. O IGES é usado para tradução nos dois sentidos (entrada e saída do sistema) e também é utilizado para tratar dados 3D e de superfície.

Recentemente foi desenvolvido um padrão para modelagem de sólido, chamado PDES (Product Data Exchange Specification) que é baseado no IGES. Apesar do IGES ser adequado para muitas aplicações, PDES requer uma quantidade menor de memória e pode

ser processado mais rapidamente e é menos suscetível a erros. Atualmente, diferentes padrões são utilizados em países diferentes, mas espera-se que estes padrões serão unificados em um padrão internacional chamado Standard for the Exchange of product Model Data (STEP).

Componentes de um Sistema CAD

O processo de projeto em um sistema CAD consiste de quatro estágios:

Modelamento Geométrico

No modelamento geométrico, um objeto físico é descrito matematicamente ou analiticamente. O projetista inicialmente constrói um modelo geométrico fornecendo comandos que criam ou modificam linhas, superfícies, sólidos, dimensões, e textos que, juntos são um preciso e completo bi ou tridimensional representação do objeto.

Os resultados destes comandos são mostrados no vídeo, eles podem ser movidos e qualquer seção pode ser ampliada para ver detalhes. Estes dados são digitais e são armazenados em banco de dados na memória do computador.

Os modelos podem ser de três tipos:

- Representação de linha (“wire-frame”): os contornos do modelo são visíveis como linhas sólidas. A imagem pode ser ambígua, especialmente para formas complexas, então várias cores são utilizadas em diferentes partes do objeto para facilitar a visualização. Os três tipos de representação wire-frame são 2-D, 2 ½ D, e 3 D. Imagens 2D mostram vistas do objeto. Uma imagem 2 ½ D pode ser obtida por translação de uma seção. Para objetos de seção transversal circular um modelo 2 ½ D pode ser gerado pela rotação do modelo 2 D em torno de um eixo.
- No modelo de superfície todas as superfícies visíveis são mostradas no modelo.
- No modelo sólido, todas as superfícies são mostradas, mas os dados descrevem o volume interno. Modelos sólidos podem ser construídos a partir de volumes extrudados ou a partir da junção de primitivas. Na representação de contornos B-rep, superfícies são combinadas para gerar o modelo sólido. Na constructive solid geometry (CSG) , formas simples como esferas, cubos, paralelepípedos, cilindros e

cones, chamados primitivas de sólidos, são combinados para gerar o modelo sólido. Apesar da modelagem por sólidos apresentar vantagens, facilidade de análise do projeto e facilidade para gerar dados para a fabricação, ela requer maior capacidade de processamento que a modelagem por wire-frame ou por superfície. Ou forma de modelagem sólida é a octree representation, que consiste em dividir volumes com octaedros que são identificados como sólidos, vazios ou parcialmente preenchidos. Os parcialmente preenchidos são divididos em octaedros menores e reclassificados. Com o aumento da resolução pode-se representar detalhes em peças com grande precisão. Este processo é bastante utilizado em aplicações bio médicas na modelagem de ossos.

Análise e Otimização do Projeto

Após o término da modelagem geométrica do produto que está sendo projetado, o projeto normalmente é submetido à análise. Nesta análise pode-se verificar tensões, deformações, deflexões, vibrações, transferência de calor, distribuição de temperatura, ou tolerâncias dimensionais. Existem vários programas sofisticados que podem calcular estas quantidades precisamente e rapidamente. Por causa da relativa facilidade com que estas análises podem ser feitas, os projetistas tem optado por analisar extensivamente antes de se passar a fase de produção.

Revisão e Avaliação do Projeto

Um estágio importante no projeto é a revisão para verificar interferências entre componentes. Esta atividade é importante para evitar problemas na montagem ou uso do produto e para determinar se partes móveis como mecanismos funcionarão de modo adequado. Existem programas que dispõem de capacidade de animação para identificar problemas com partes móveis e outras situações dinâmicas. Nesta fase o produto é precisamente dimensionado e as tolerâncias são definidas no grau requerido para a fabricação.

Documentação e Desenho

Após o estágio anterior, o projeto pode ser reproduzido em plotters para documentação e referência. Nesta fase, desenhos de detalhe e fabricação podem ser obtidos.

Manufatura Auxiliado por Computador

Computer Aided manufacturing (CAM) consiste no uso de computadores e da tecnologia de informática para auxiliar em todas as fases de manufatura de um produto, incluindo processos, planejamento de produção, usinagem, agendamento, gerenciamento e controle de qualidade. Em função dos benefícios, o projeto auxiliado por computador e a manufatura auxiliada por computador são freqüentemente combinados em sistemas denominados CAD/CAM. Esta combinação permite a transferência de informações do projeto para o planejamento da manufatura do produto sem necessidade de reentrar dados da geometria do produto manualmente. O banco de dados gerado no CAD é armazenado e processado pelo CAM, gerando dados e instruções para operação e controle de máquinas de produção, equipamentos de manipulação de materiais, e teste e inspeções automatizadas.

Nas operações de usinagem, um importante recurso do CAD/CAM é a sua capacidade de gerar o caminho das ferramentas para várias operações tais como torneamento, fresamento e furação. Os programas para o controle numérico das máquinas são geradas pelo sistema e podem ser modificados pelo programador para otimizar as operações. O engenheiro ou técnico pode visualizar o caminho da ferramenta para verificar a possibilidade de colisões com morsas, dispositivos, ou outras interferências.

O caminho da ferramenta pode ser modificado a qualquer hora, para implementar outras partes a serem usinadas. Sistemas CAD/CAM permitem a codificação e classificação de peças em grupos com formato semelhantes, utilizando códigos alfanuméricos.

A inovação introduzida pelos sistemas CAD/CAM causou grande impacto na área de manufatura, pela padronização do desenvolvimento de produtos e redução do trabalho de projeto, testes e necessidade de protótipos, o que trouxe significativa redução de custos e aumento de produtividade. O Boeing 777, por exemplo, foi projetado completamente em computador com 2000 workstations ligadas a 8 computadores. O avião foi construído diretamente a partir do sistema CAD/CAM desenvolvido (um sistema CATIA melhorado),

não foram necessários protótipos. O custo de desenvolvimento foi da ordem de US\$ 6 bilhões.

Algumas aplicações típicas do CAD/CAM são:

- programação para controle numérico, controle numérico computadorizado, e robôs industriais;
- projeto de matrizes e moldes para fundição, onde as contrações podem ser previstas;
- matrizes para operações de estampagem, como matrizes complexas para conformação de chapas e ferramentas de estampagem progressiva;
- projeto de ferramentas, suportes e eletrodos de eletroerosão;
- controle de qualidade e inspeção através de máquinas de medição de coordenadas comandadas numericamente;
- planejamento de processos e programação; e
- layout de fábrica.

Planejamento de Processos Auxiliado por Computador

Para que uma operação de manufatura seja eficiente, todas as atividades envolvidas devem ser planejadas. Esta atividade tradicionalmente é feita pelo planejador de processos. Planejamento de processos está relacionado a seleção de métodos de produção: ferramentas, dispositivos de fixação, máquinas, seqüência de operações e montagem.

A seqüência de processos e operações a serem realizadas, as máquinas a serem utilizadas, o tempo padrão para cada operação, e outras informações são documentadas na folha de processo. Quando elaborada manualmente, esta tarefa é trabalhosa e demorada dependente da experiência do planejador de processos. A tendência atual é de manter a folha de processos no computador e a peça ser identificada por um código, quando necessário a mesma pode ser consultada no computador.

O Planejamento de processos auxiliado por computador executa a tarefa de planejamento de processos considerando toda a operação como um sistema integrado, então cada operação individual e passos envolvidos na fabricação de cada peça são coordenados com outros e são executados eficientemente de modo confiável. O CAPP é um importante parceiro do CAD e do CAM.

Apesar do CAPP necessitar de sistemas computacionais complexos e coordenação com o CAD/CAM ele é uma ferramenta poderosa para planejamento e programação eficiente das operações de manufatura. CAPP é particularmente útil no caso de lotes pequenos, e grande variedade de peças que necessitem de operações de usinagem, conformação e montagem.

Existem dois tipos de sistemas CAPP: variante e generativo.

O variante, também denominado derivativo, baseia-se no uso de processos padrões para cada tipo de peça. Após a seleção de um plano padrão, o mesmo pode ser alterado para considerar características particulares da peça, gerando após este procedimento a folha de processos para a peça.

O generativo gera automaticamente o plano de processos com base nos procedimentos lógicos que são tradicionalmente utilizados por planejador de processos. Sistemas deste tipo são complexos porque eles devem possuir um conhecimento amplo e detalhado das formas e dimensões da peça, capacidades de processo, seleção de métodos de manufatura, máquinas e ferramentas, e a seqüência de operações a ser realizada.

O sistema generativo é capaz de criar novos planos ao invés de utilizar e modificar planos existentes, como o variante faz. Apesar da sua utilização mais restrita, o sistema generativo apresenta as seguintes vantagens: flexibilidade e consistência no planejamento de processos para novos produtos e alta qualidade de planejamento por causa da capacidade de decisão lógica que pode otimizar o plano e utilizar tecnologias de manufatura atualizadas.

O planejamento de processos por computador podem ser integrados no planejamento e controle dos sistemas de produção. Estas atividades formam um subsistema do CIM. Com isso várias funções podem ser desempenhadas como: planejamento da capacidade da planta para satisfazer o plano de produção, controle de estoques, compras e plano de produção.

As vantagens do CAPP com relação aos métodos tradicionais de planejamento de processos são os seguintes:

- A padronização do plano de processos aumenta a produtividade do planejador de processos, reduz tempo de preparação, reduz custos de planejamento, aumenta a qualidade e confiabilidade do produto.
- Os planos de processos podem ser preparados para peças com similaridades de forma e podem ser reutilizados na produção de novas peças.

- Os planos de processos podem ser modificados para satisfazer determinadas necessidades.
- Folhas de processos podem ser preparadas rapidamente.
- Outras funções tais como: estimativa de custos e padrões de trabalho podem ser incorporados no CAPP.

Material-Requirements Planning (MRP) e Manufacturing Resource Planning (MRP-II)

Sistemas computacionais para gerenciamento de estoques e planejamento de entregas de matérias primas e ferramentas são denominados sistemas de planejamento de necessidades de materiais. Esta atividade, algumas vezes classificada como controle de estoques, consiste do registro dos estoques de materiais, suprimentos, peças em vários estágios de fabricação, ordens de fabricação, compras e programação.

Vários arquivos são normalmente utilizados no plano mestre de produção. Estes arquivos referem-se aos requisitos de matérias primas, estrutura de produtos (itens que compõe um produto, como componentes, sub montagens e montagens) e planejamento.

Um desenvolvimento do MRP que através de feedback controla todos os aspectos do planejamento da manufatura é o MRP II , apesar da sua complexidade, ele é capaz de planejar de modo real a produção, monitorar os resultados verdadeiros em termos de performance.

Um recente avanço nesta área é o enterprise resource planning (ERP) que engloba também o marketing e regras de negócios.

Simulação em Computador dos Processos e Sistemas de Manufatura

Simulação de processos tem duas formas básicas:

- Pode ser o modelo de uma operação específica com o intuito de determinar a viabilidade do processo, otimiza-lo ou aumentar sua performance;

- Pode modelar vários processos e suas inter relações com o intuito de auxiliar planejadores de processos e projetistas de plantas na definição do layout de máquinas e recursos.

Processos de fabricação específicos podem ser modelados, por exemplo, com análise de elementos finitos. Problemas típicos são a análise de viabilidade, por exemplo, conformação de chapas em matriz e otimização de processo, por exemplo, análise do escoamento em operações de forjamento para identificar defeitos potenciais ou projeto de moldes de fundição para eliminar pontos quentes, uniformizar o resfriamento e minimizar defeitos.

A simulação de um sistema de manufatura com vários processos e equipamentos auxilia engenheiros de fábrica a organizar as máquinas e a identificar pontos críticos no processo. Adicionalmente, estes modelos podem auxiliar engenheiros de fabricação com o planejamento e roteamento (por simulação de eventos discretos).

Tecnologia de Grupo (GT)

Muitas peças são similares com relação a forma e método de manufatura. Tradicionalmente, cada peça é vista como única e é produzida em lotes individualizados. Tecnologia de Grupo é um conceito que procura tirar vantagem das similaridades geométricas e de fabricação entre as peças a serem produzidas.

Este conceito, inicialmente desenvolvido na Europa por volta de 1900, inicia com a classificação das peças e registro das mesmas em arquivos ou em pastas. O conceito evoluiu nos anos 50 e o termo tecnologia de grupo foi utilizado pela primeira vez em 1959. A difusão do conceito ocorreu paralelamente a disponibilidade de computadores nos anos 70.

A similaridade nas características de peças semelhantes possibilita a obtenção de benefícios através da classificação e codificação destas peças em famílias. Observações em fábricas indicam que é comum a existência de similaridades entre as peças, estas observações consideram as peças individuais de cada produto.

Como exemplo, consideremos uma bomba d'água, ela pode ser decomposta em componentes básicos como: motor, eixos, vedações, flanges, etc. Apesar da variedade de bombas manufaturadas, cada um destes componentes é basicamente o mesmo em termos de

projeto e métodos de fabricação. Conseqüentemente todos os eixos podem ser colocados na família de eixos.

Este conceito torna-se importante em vista da crescente demanda do mercado por grande variedade de produtos, cada um em menor quantidade. Nestas condições manter a eficiência em operações em lote é difícil.

O tradicional fluxo de produtos na fabricação em lotes com máquinas arranjadas em grupos do mesmo tipo, denominado layout funcional não é eficiente por causa da movimentação desnecessária de produtos em processo. O layout celular por outro lado minimiza as movimentações de produtos em processo.

As principais vantagens da tecnologia de grupo são:

- Torna possível a padronização do projeto de peças e minimização da duplicação de projetos. Os projetos de peças novas podem ser feitos utilizando projetos similares já desenvolvidos.
- Facilita a construção e acesso a informações em bancos de dados.
- Custos de manufatura podem ser estimados mais facilmente, e informações estatísticas sobre materiais, processos, número de peças e outros fatores podem ser facilmente obtidos.
- Planos de processo podem ser padronizados e programados mais eficientemente, ordens de produção podem ser agrupadas aumentando a eficiência e a utilização de máquinas é melhorada. Tempos de preparação são reduzidos, e as peças são produzidas mais eficientemente e com melhor qualidade. Ferramentas similares, dispositivos de fixação e máquinas são compartilhadas na produção de famílias de peças.
- Com a implementação do CAD/CAM, manufatura celular, e CIM, a tecnologia de grupo é capaz de melhorar significativamente a produtividade e reduzir custos na produção de lotes pequenos como em produção em massa. Dependendo do nível de implementação, os custos podem diminuir de 5 a 75%.

Células de Manufatura

O conceito de tecnologia de grupo pode ser implementado efetivamente na manufatura celular, que consiste de uma ou mais células de manufatura. Uma célula de manufatura é uma pequena unidade composta por uma ou mais estações de trabalho, dentro de um sistema de manufatura. Uma estação de trabalho normalmente possui uma máquina ou várias máquinas que executam diferentes operações nas peças.

As máquinas podem ser modificadas, reequipadas e re-agrupadas para linhas de produtos diferentes dentro da mesma família de peças. Células de manufatura são efetivas na produção de famílias de peças que possuem demanda constante.

Inicialmente, a manufatura celular foi utilizada na usinagem e em conformação de chapas. As máquinas ferramentas normalmente utilizadas em células de manufatura são tornos, fresadoras, furadeiras, retificadoras, máquinas de eletroerosão e centros de usinagem. Na conformação de chapas, os equipamentos são cortadeiras, puncionadeiras, dobradeiras e outras máquinas de conformação.

A manufatura celular tem algum grau de controle automático para as seguintes operações:

- Alimentação e retirada de matéria-prima e peças nas estações de trabalho;
- Troca de ferramentas nas estações de trabalho;
- Transferência de peças em processo e ferramentas entre estações de trabalho;
- Programação e controle da toda operação na célula.

O principal nestas atividades é o sistema de transporte de materiais para transferir materiais e peças entre as estações de trabalho. Em células de usinagem supervisionadas por um operador materiais podem ser movidos e transferidos manualmente pelo operador ou por robôs industriais posicionados na parte central da célula. Equipamentos automatizados de inspeção e teste podem fazer parte desta célula.

Uma característica importante da manufatura em célula é a economia obtida na redução do trabalho em andamento e na rápida detecção de problemas na qualidade do produto, estes fatos incrementam a produtividade. Adicionalmente, por causa da variedade de máquinas e processos, o operador torna-se multifuncional e com isso evita-se o tédio de trabalhar-se sempre na mesma máquina.

De um modo geral, obtém-se aumento de produtividade, redução de tempo e trabalho de preparação porque as peças fabricadas na célula possuem algum grau de similaridade.

Layout de Células de Manufatura

Em função das características singulares das células de manufatura a implementação das mesmas requer a reorganização da planta industrial e rearranjo das linhas de produção. As máquinas podem ser organizadas em linha, em forma de U, em forma de L ou na forma de laço. Para células onde os materiais são manipulados por um operador a forma em U é mais conveniente e eficiente porque o operador pode alcançar facilmente várias máquinas. Com transporte mecanizado o arranjo linear e na forma de laço são mais eficientes.

A seleção de máquinas e manipuladores deve levar em conta fatores como: taxa de produção, tipo de produto, forma, tamanho e peso.

Célula de Manufatura Flexível

Considerando-se as mudanças que tem ocorrido no mercado consumidor que quer maior variedade de produtos e em menores quantidades torna-se necessário flexibilizar as operações de manufatura. As células de manufatura podem ser flexibilizadas pelo uso de máquinas CNC, centros de usinagem, e por meio de robôs industriais e outros sistemas mecanizados de manipulação de materiais.

As células de manufatura flexíveis requerem maior atenção, seu projeto e operação são mais exigentes que para outros tipos de célula. A seleção de máquinas e robôs, incluindo tipos e capacidades dos atuadores e seus controles, são importantes para o bom funcionamento da FMC. A probabilidade de mudanças significativas na demanda por famílias de peças deve ser considerada no projeto da célula, para garantir que os equipamentos tenham flexibilidade e capacidades adequadas.

O custo das células de manufatura flexíveis é alto, porque requer um número maior de máquinas ferramenta, mas esta desvantagem é compensada pelo aumento da velocidade de fabricação, flexibilidade e controle do processo.

Sistemas Flexíveis de Manufatura

Um sistema de manufatura flexível (flexible manufacturing system – FMS) integra os principais elementos de manufatura em um sistema altamente automatizado. Inicialmente utilizado no final dos anos 60, FMS consiste de várias células de manufatura, cada uma equipada com um robô industrial e um sistema automatizado de manipulação de materiais, todos interligados a um computador central.

Este sistema é altamente automatizado e é capaz de otimizar cada passo da operação de manufatura. Estes passos podem envolver um ou mais processos e operações como usinagem, retificação, corte, conformação, metalurgia do pó e tratamento térmico, bem como a manipulação de matérias primas, inspeção e montagem. As aplicações mais comuns de FMS são em usinagem e operações de montagem.

Sistemas de manufatura flexível representam o mais alto grau de eficiência, sofisticação e produtividade já obtidos em plantas industriais. A flexibilidade do FMS está relacionada a sua capacidade de tratar uma grande variedade de peças e produzi-las em qualquer ordem.

O FMS pode ser compreendido como um sistema que combina as vantagens de dois tipos de sistemas: linhas de montagem que apresentam alta produtividade, mas são inflexíveis, e por encomenda que podem produzir grande variedade em máquinas isoladas, mas com ineficiência.

No FMS o tempo necessário para mudar a programação de produção é pequeno. A resposta rápida ao produto e variações de demanda de mercado é a principal característica do FMS.

Elementos do FMS

Os componentes básicos de um sistema de manufatura flexível são:

- Estações de trabalho;
- Manipuladores e transportadores de materiais e peças automatizados.
- Sistemas de controle.

As estações de trabalho são preparadas para permitir grande eficiência na produção com um fluxo coordenado de materiais, peças e produtos no sistema.

Os tipos de máquinas nas estações de trabalho dependem do tipo de produção. Para operações de usinagem utilizam-se centros de usinagem de 3 a 5 eixos, tornos CNC, fresadoras, furadeiras e retificadoras. Além destes, são utilizados outros equipamentos

como sistemas de inspeção automatizados como máquinas de medição de coordenadas, equipamentos para montagem e limpeza.

Outros tipos de fabricação onde se pode utilizar FMS são conformação de chapas, punçionamento e corte e forjamento, onde se utilizam fornos, prensas de forjamento, prensas de rebarbação, equipamentos para tratamento térmico e equipamentos para limpeza de peças.

Por causa da flexibilidade do FMS, sistemas de manipulação de materiais, armazenamento e busca são muito importantes. A manipulação de materiais é controlada por um computador central e feita por veículos guiados automaticamente (automated guided vehicles – AGV) , correias e outros mecanismos de transporte. O sistema é capaz de transportar matérias primas, peças em bruto e peças em vários estágios de acabamento para qualquer máquina e a qualquer momento. Peças prismáticas são normalmente transportadas em pallets especificamente projetados. Peças com simetria rotacional são normalmente transportadas por dispositivos mecânicos e robôs.

O cérebro do FMS é o seu sistema de controle por computador, composto por vários programas e equipamentos. Este subsistema controla as máquinas e equipamentos nas estações de trabalho e o transporte de matérias prima, peças em bruto, e peças em vários estágios de acabamento de uma máquina para outra. Este sistema também é responsável pelo armazenamento de dados e pode apresentar os dados em terminais.

Programação

O FMS necessita de grandes investimentos de capital, por isso a utilização eficiente das máquinas é essencial, as máquinas não podem ficar paradas. Deste modo, uma programação de produção adequada é crucial.

A programação para FMS é dinâmica, ao contrário da utilizada na fabricação seriada, onde a programação é relativamente rígida. O sistema de programação para FMS especifica os tipos de operações a serem executados em cada peça, e identifica as máquinas ou células de manufatura a serem utilizadas. Programação dinâmica é capaz de responder a rápidas mudanças no tipo do produto e também responder a decisões em tempo real.

Por causa da flexibilidade no FMS, não ocorre desperdício de tempo de preparação na troca de operações de manufatura, o sistema é capaz de executar operações diferentes em seqüências diferentes e em máquinas diferentes. Entretanto, as características, performance, e confiabilidade de cada componente do sistema deve ser verificada, para garantir que as peças passando entre as estações de trabalho tenham qualidade aceitável e exatidão dimensional.

Retorno financeiro do FMS

Produção Just-in-Time (JIT)

O conceito de produção just-in-time foi implementado no Japão para eliminar desperdícios de materiais, máquinas, capital, mão de obra e estoque no sistema de manufatura.

O conceito JIT tem os seguintes objetivos:

- Receber os suprimentos no momento exato em que são utilizados;
- Produzir peças no momento exato em são utilizadas em sub montagens;
- Produzir sub montagens no momento exato que são utilizadas na montagem do produto final;
- Produzir e entregar os produtos acabados no momento exato em que são vendidos.

Na manufatura tradicional as peças são feitas em lotes, colocadas em estoque e utilizadas quando for necessário. Este método é conhecido um sistema que empurra, significando que as peças são feitas de acordo com uma programação e são estocadas para serem usadas se e quando elas forem necessárias. Por outro lado, just-in-time é sistema que puxa, que significa que as peças são produzidas para uma venda fechada e a produção é combinada com a demanda para montagem final do produto.

Não há armazenamento de itens, com a produção ideal de quantidade consegue-se estoque zero, produção sem estoques, e programação da demanda. Além disso, as peças são inspecionadas pelos funcionários assim que são produzidas e são utilizadas em um intervalo curto de tempo.

Dessa forma, os funcionários mantêm um controle contínuo da produção, identificando imediatamente peças defeituosas, e reduzindo variações do processo produzindo produtos de qualidade. O funcionário orgulha-se da boa qualidade do produto, e também movimentações adicionais de peças estocadas em processo são eliminadas.

A implementação do conceito JIT requer que todos os aspectos das operações de manufatura sejam revistos e monitorados, de modo que todas as operações e usos de recursos que não adicionam valor sejam eliminadas. Este método enfatiza o sentimento de satisfação e dedicação na produção de produtos de alta qualidade, a eliminação de recursos inúteis, trabalho em equipe entre funcionários, engenheiros e gerência para resolver rapidamente qualquer problema.

O conceito JIT considera importante os prazos de entrega de suprimentos e peças de fornecedores externos e de outras divisões da empresa, este aspecto influencia a redução de estoques. Como resultado, a necessidade de áreas para estocagem é pequena e estas áreas podem ser utilizadas para atividades produtivas. Dos fornecedores espera-se que eles entreguem diariamente as mercadorias pré-inspecionadas conforme elas sejam necessárias á produção. Esta solução necessita de fornecedores confiáveis, cooperação e confiança entre a empresa e seus vendedores e um sistema de transporte confiável. Para uma operação mais uniforme é necessário trabalhar com um número reduzido de fornecedores. Por exemplo, a Apple Computer reduziu de 300 para 70 fornecedores.

Apesar dos conceitos básicos do JIT terem origem Norte Americana , eles foram postos em prática em larga escala em 1953 pela Toyota com o nome de Kanban, que significa registro visível ou cartão. Estes cartões normalmente são de dois tipos:

- Cartão de produção: que autoriza a produção de um container ou carrinho com peças idênticas em uma estação de trabalho.
- Cartão de transporte: que autoriza a transferência de um contêiner ou carrinho de peças de uma particular estação de trabalho para outra onde as peças serão utilizadas.

Os cartões contêm informações sobre o tipo da peça, o local de circulação, o código da peça, e o número de peças. Estes cartões têm sido substituídos por códigos de barras e

outros dispositivos. O número de contêineres em circulação a qualquer momento é completamente controlados e podem ser programados para máxima eficiência na produção.

As vantagens do JIT são as seguintes:

- baixos custos de manuseio de estoque;
- Rápida detecção de defeitos na produção ou nos suprimentos.
- Diminuição das atividades de inspeção e retrabalho de peças.
- Alta qualidade das peças produzidas a baixo custo.

Podem existir grandes variações, mas a implementação do JIT resulta em redução de 20 a 40% no custo do produto, de 60 a 80% nos custos de estoque, e até 90% no custo de peças rejeitadas, de 90% em tempos mortos, 50% em retrabalho e custos de garantia e incremento de 30 a 50% na produtividade do trabalho direto e de 60% na produtividade do trabalho indireto.

Bibliografia

KALPAKJIAN, S. ; SCHIMID, S.R. ; Manufacturing Engineering and Technology; 4o edição; Prentice Hall; London; 2001.

Efeitos Ambientais das Atividades de Manufatura

Atualmente os efeitos adversos das atividades industriais na saúde dos trabalhadores e no ambiente são reconhecidos pelos industriais, público em geral e governo. As condições do ambiente e controle da qualidade do ar, água e solo são aspectos importantes na atividade industrial bem como a conservação dos recursos naturais.

As atividades industriais potencialmente podem causar a nível global: mudanças climáticas, destruição da camada de ozônio, destruição da biodiversidade, e a nível local, vazamentos de óleo, contaminação do solo em locais de armazenamento de dejetos, disseminação de produtos venenosos e vazamentos em tanques de armazenamento.

No Brasil, o IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente), a CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental), o Ministério do meio Ambiente, o CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) são órgãos responsáveis pela elaboração de regras, legislação, pesquisa e fiscalização das atividades que podem interferir com o meio ambiente.

A seguir, apresentam-se dois textos extraídos do site da CETESB <http://www.cetesb.sp.gov.br/index.htm> o primeiro sobre poluição e o segundo prevenção à poluição. Neste mesmo site pode-se obter informações adicionais sobre o tema.

Poluição

É característica da atividade humana provocar desequilíbrios. Da mesma forma como o homem obtém energia e trabalho a partir de desequilíbrios térmicos (nas máquinas a vapor ou de explosão) ou de desequilíbrios mecânicos (energia hidráulica) ou de desequilíbrios químicos (pilhas elétricas) ou ainda desequilíbrios atômicos (energia nuclear), ele procura, através de desequilíbrios ecológicos, obter maior rendimento energético.

Quando alteração ecológica afeta, de maneira nociva, direta ou indiretamente, a vida e o bem estar humano, trata-se de poluição. É a modificação de características de um ambiente de modo a torná-lo impróprio às formas de vida que ele normalmente abriga. Uma pequena

redução de teor normal de oxigênio de um curso de água, por exemplo, causado por uma insignificante elevação de sua temperatura, pode provocar o desaparecimento e substituição de um grande número de pequenos seres excepcionalmente ávidos de oxigênio, como as larvas de libélulas. Isso pode se constituir numa séria alteração ecológica em um rio de montanha, de águas muito frias, pois provoca uma sensível mudança qualitativa de sua flora e fauna. Mas se a queda de concentração de oxigênio for insuficiente para afetar a vida de peixes e a fauna original for substituída por organismo que ainda lhe sirvam de alimento, essa alteração ecológica não poderá ser considerada poluição.

A nocividade da poluição tem um caráter passivo e não ativo. Caracteriza-se pela perda das condições propícias à vida de determinadas espécies vegetais e animais. Um incêndio não é um fator ecológico e, assim, não é poluição. O fogo, além disso, não tem valor seletivo, do ponto de vista biológico.

A presença e a permanência de um tóxico na água de um rio pode ter valor seletivo, eliminando parte da poluição biológica e permitindo a sobrevivência e a proliferação da outra parte ou mesmo o aparecimento de nova flora em substituição às primeiras. Mas é um elemento ativo e não passivo. Da mesma forma, o lançamento de uma rede de pesca tem valor seletivo, destruindo apenas certos tipos de organismos (peixes) de acordo com seu tamanho. Mas, sendo um processo ativo, não pode ser considerado elemento ecológico ou poluidor.

Texto do Prof. Samuel Murgel Branco (ex-diretor da Cetesb)

Prevenção à Poluição - Conceitos e definições

Introdução

A estratégia de redução ou eliminação de resíduos ou poluentes na fonte geradora consiste no desenvolvimento de ações que promovam a redução de desperdícios, a conservação de recursos naturais, a redução ou eliminação de substâncias tóxicas (presentes em matérias-primas ou produtos auxiliares), a redução da quantidade de resíduos gerados por processos e produtos, e conseqüentemente, a redução de poluentes lançados para o ar, solo e águas.

Diversos termos, tais como: Produção mais Limpa (Cleaner Production), Prevenção à

Poluição (Pollution Prevention), Tecnologias Limpas (Clean Technologies), Redução na Fonte (Source Reduction) e Minimização de resíduos (Waste Minimization) têm sido utilizados, ao redor do mundo, para definir este conceito. Algumas vezes, estes termos são considerados sinônimos, e, às vezes, complementares, requerendo uma análise aprofundada das ações e das propostas inseridas dentro de cada contexto.

A CETESB utiliza os termos Prevenção à Poluição (P2) e Produção mais Limpa (P+L). O primeiro já é consagrado nos EUA (Estados Unidos da América) e foi disseminado pela EPA (Agência Ambiental Americana), através de um Decreto Lei promulgado pelo Governo Federal Americano, em 1990. O segundo foi definido pelo UNEP (Organização Ambiental das Nações Unidas) durante o lançamento do Programa de Produção mais Limpa, em 1989.

O glossário apresentado a seguir tem a finalidade de promover uma uniformização terminológica relativo ao tema Prevenção da Poluição e Produção+Limpa, de modo a facilitar a compreensão deste assunto e ressaltar que qualquer ação que promova a redução ou eliminação de poluentes na fonte geradora deve sempre ser priorizada dentro da hierarquia de gerenciamento ambiental.

Definições

Minimização de resíduos: inclui qualquer prática, ambientalmente segura, de redução na fonte, reuso, reciclagem e recuperação de materiais e/ou do conteúdo energético dos resíduos, visando reduzir a quantidade ou volume dos resíduos a serem tratados e adequadamente dispostos. (CETESB, 1998)

Produção mais limpa (P+L): é a aplicação contínua de uma estratégia ambiental preventiva integrada aos processos, produtos e serviços para aumentar a eco-eficiência e reduzir os riscos ao homem e ao meio ambiente. Aplica-se a:

Processos Produtivos: conservação de matérias-primas e energia, eliminação de matérias-primas tóxicas e redução da quantidade e toxicidade dos resíduos e emissões;

Produtos: redução dos impactos negativos ao longo do ciclo de vida de um produto desde a extração de matérias-primas até a sua disposição final;

Serviços: incorporação das preocupações ambientais no planejamento e entrega dos serviços.

Produção +Limpa requer mudanças de atitude, garantia de gerenciamento ambiental

responsável, criação de políticas nacionais direcionadas e avaliação de alternativas tecnológicas. (Conferência das Américas-1998)

Prevenção à Poluição (P2) ou Redução na Fonte: Refere-se a qualquer prática, processo, técnica ou tecnologia que vise a redução ou eliminação em volume, concentração e/ou toxicidade dos resíduos na fonte geradora. Inclui modificações nos equipamentos, nos processos ou procedimentos, reformulação ou replanejamento de produtos, substituição de matéria-prima e melhorias nos gerenciamentos administrativos e técnicos da entidade/empresa, resultando em aumento de eficiência no uso dos insumos (matérias-primas, energia, água etc).

As práticas de reciclagem fora do processo, tratamento e disposição dos resíduos gerados, não são consideradas atividades de Prevenção à Poluição, uma vez que não implicam na redução da quantidade de resíduos e/ou poluentes na fonte geradora, mas atuam de forma corretiva sobre os efeitos e as conseqüências oriundas do resíduo gerado. (USEPA, 1990)

Reuso: é qualquer prática ou técnica que permite a reutilização do resíduo, sem que o mesmo seja submetido a um tratamento que altere as suas características físico-químicas. (CETESB, 1998)

Reciclagem: é qualquer técnica ou tecnologia que permite o reaproveitamento de um resíduo, após o mesmo ter sido submetido a um tratamento que altere as suas características físico-químicas. A reciclagem pode ser classificada como:

Reciclagem dentro do processo: permite o reaproveitamento do resíduo como insumo no processo que causou a sua geração. Exemplo: reaproveitamento de água tratada no processamento industrial.

Reciclagem fora do processo: permite o reaproveitamento do resíduo como insumo em um processo diferente daquele que causou a sua geração. Exemplo: reaproveitamento de cacos de vidro, de diferentes origens, na produção de novas embalagens de vidro. (CETESB, 1998)

Hierarquia de gerenciamento ambiental de resíduo



A figura mostra, esquematicamente, um modelo de gerenciamento ambiental, cuja estratégia visa priorizar as ações de P2 dentro do contexto da minimização de resíduos e /ou poluentes. Na impossibilidade de implementar ações de P2, outras medidas de minimização de resíduos, tais como reciclagem e reuso fora do processo, devem ser consideradas, pois promovem a conservação de recursos naturais e reduzem os impactos ambientais causados pelo armazenamento, tratamento e disposição final de resíduos.

Finalmente, medidas adequadas de controle ambiental devem ser consideradas para o tratamento e disposição final ambientalmente segura dos resíduos e/ou poluentes remanescentes.

A escolha da melhor opção para uma determinada situação dependerá de um estudo prévio de viabilidade técnica e econômica a ser realizado pela organização, bem como da avaliação dos benefícios ambientais e econômicos resultantes das medidas a serem implementadas.

Quem pode implementar ações de P+L/P2?

Qualquer pessoa / organização que:

- visa otimizar o uso de insumos / recursos disponíveis (água, energia, matérias-primas,

etc.)

- visa reduzir a geração de resíduos ou o uso de substâncias perigosas em suas atividades ou processos produtivos

- deseja melhorar a qualidade ambiental local e global

- visa o bem estar da comunidade e das futuras gerações

- visa operar de forma ambientalmente segura e responsável

- deseja alcançar um estágio superior ao de seus concorrentes em relação à melhoria da qualidade ambiental

- visa reduzir os custos envolvidos no tratamento de resíduos, na compra de matérias-primas e nos processos produtivos

Como fazer?

Qualquer pessoa pode implementar ações de P+L/P2, adotando simples atitudes no seu dia-a-dia, tais como: otimizar o uso de água, energia e demais recursos, evitando o desperdício; dar preferência à compra de materiais que causem menor impacto ambiental; deixar o carro próprio na garagem, reutilizar embalagens; separar materiais recicláveis e enviar para um centro de coleta seletiva.

A implementação de ações de P+L/P2 por uma organização implica no desenvolvimento de um Programa de P2. A metodologia sugerida pela CETESB obedece a seguinte seqüência:

- comprometimento da direção da empresa
- definição da equipe de P2
- elaboração da Declaração de Intenções
- estabelecimento de prioridades objetivos e metas
- elaboração de cronograma de atividades
- disseminação de informações sobre P2
- levantamento de dados
- definição de indicadores de desempenho
- identificação de oportunidades de P2
- levantamento de tecnologias
- avaliação econômica
- seleção das oportunidades de P2

- implementação das medidas de P2
- avaliação dos resultados
- manutenção do programa

* Vide informações mais detalhadas no **Manual de Implementação de um Programa de Prevenção à Poluição** disponível para "download"

Quais os benefícios ?

A implementação de ações de P+L/P2 resulta em:

- Melhoria da cidadania e desenvolvimento sustentável
- melhor qualidade de vida e melhoria da conscientização ambiental
- melhoria da qualidade ambiental local e global
- economia de consumo de água e energia
- redução do uso de matérias-primas tóxicas
- redução da geração de resíduos
- aumento da segurança no ambiente de trabalho, com conseqüente redução de afastamentos por acidentes
- redução ou eliminação de resíduos, com conseqüente redução dos gastos relativos ao gerenciamento dos mesmos
- minimização da transferência de poluentes de um meio para o outro
- melhoria do desempenho ambiental
- redução ou mesmo eliminação de conflitos junto aos órgãos de fiscalização
- melhoria da motivação dos funcionários
- melhoria da imagem pública da empresa
- redução de possíveis conflitos com a comunidade circunvizinha
- melhoria da competitividade da empresa e da qualidade do produto

Processos Avançados de Usinagem

Introdução

Os processos de usinagem convencionais removem material por formação de cavaco, abrasão ou microusinagem. Existem situações onde estes processos não são adequados, econômicos ou viáveis, pelas seguintes razões:

- Dureza e resistência do material elevadas (acima de 400 HB) ou o material é muito frágil.
- A peça é muito flexível, ou delicada para resistir as forças de usinagem, ou as peças são de difícil fixação.
- A forma da peça é complexa, incluindo características externas e internas ou furos de pequeno diâmetro em bicos injetores de combustível.
- Requisitos de acabamento superficial e tolerância dimensional são mais rigorosos.
- Aquecimento e tensões residuais na peça não são desejados ou permitidos.

Estas necessidades levaram ao desenvolvimento de outros métodos de remoção de material baseados em processos químicos, elétricos, laser, e outros. Com início nos anos 1940, estes métodos avançados, que no passado foram chamados de não tradicionais ou não convencionais, são apresentados na tabela.

Quando selecionados e aplicados de modo apropriado, os processos de usinagem avançados oferecem mais vantagens técnicas e econômicas que os processos tradicionais.

Tabela 1 – Características dos Processos Avançados de Usinagem.

<i>Processo</i>	<i>Características</i>	<i>Parâmetros de Processo e taxas de remoção de material ou velocidades de corte típicas</i>
Usinagem Química (CM)	Cavidades rasas (até 12 mm) em superfícies planas ou curvadas; corte de chapas finas, baixo custo de ferramentas e equipamentos; adequado para lotes pequenos	0,0025 a 0,1 mm/min
Usinagem Eletroquímica (ECM)	Formas complexas com cavidades profundas; a maior taxa de remoção de material entre os processos não tradicionais; equipamentos e ferramentas caras; alto consumo de energia; lotes médios e grandes.	V: 5 a 25 DC; A: 1,5 a 8 A/mm ² ; 2,5 a 12 mm/min (dependendo da

<i>Processo</i>	<i>Características</i>	<i>Parâmetros de Processo e taxas de remoção de material ou velocidades de corte típicas</i>
		densidade de corrente)
Retificação Eletroquímica (ECG)	Corte e afiação de materiais duros, tais como ferramentas de carboneto de tungstênio; taxa de remoção de material maior que a da retificação.	A: 1 a 3 A/mm ² ; 25 mm ³ /s
Eletroerosão (EDM)	Conformação e corte de peças complexas feitas de materiais duros, podem provocar danos na superfície, também utilizada como retificação e processo de corte; equipamentos e ferramentas caras.	V: 50-380; A: 0,1 a 500; 300 mm ³ /min.
Eletroerosão a Fio	Corte de contornos de superfícies planas ou curvas; equipamento caro.	
Usinagem por Laser (LBM)	Corte e furação em materiais de pequena espessura; zona termicamente afetada; não necessita vácuo; equipamentos caros; alto consumo de energia.	0,5 a 7,5 m/min.
Usinagem por Feixe de Elétrons (EBM)	Corte e furação em materiais de pequena espessura; furos de pequeno diâmetro; zona termicamente afetada; necessita vácuo; equipamento caro.	1 a 2 mm ³ /min.
Usinagem por Jato d' Água (WJM)	Corte de todos os tipos de materiais não metálicos. Adequado para corte de contornos; não afeta termicamente o material; barulhento.	
Usinagem por Jato d' Água Abrasiva (AWJM)	Corte de materiais metálicos e não metálicos; multicamada.	Até 7,5 m/min.
Usinagem por jato abrasivo (AJM)	Corte, limpeza de materiais metálicos e não metálicos; controlado manualmente; tende a arredondar os cantos cortados; perigoso.	

Usinagem Química

A usinagem química baseia-se no ataque químico de metais para remover pequenas quantidades de metal da superfície utilizando reagentes como ácidos e soluções alcalinas.

Dos processos de usinagem não convencionais, a usinagem química é o mais antigo, sendo utilizado para marcação de metais e pedras, e mais recentemente na produção de placas de circuitos impressos e chips de microprocessadores.

Na usinagem química, cavidades rasas podem ser produzidas em placas, chapas, forjados e extrudados para redução de peso. A profundidade de cavidade pode chegar até 12 mm. O ataque é seletivo e controlado por camadas de material, denominadas máscaras ou por imersão parcial no reagente.

1. O procedimento de usinagem química é realizado nas seguintes etapas:
2. Remoção de tensões residuais da peça a ser usinada, para evitar deformações posteriores.
3. Limpeza da superfície para remoção de qualquer tipo de resíduo inclusive óxidos resultantes de tratamento térmico. Para permitir perfeita aplicação da máscara e ação do reagente.
4. Aplicação da máscara, na forma de película ou tinta. As máscaras podem ser de borracha, neoprene ou plásticos, é importante que não reaja quimicamente com o reagente.
5. Retirada da máscara nas regiões que devem ser atacadas
6. Aplica-se o reagente, para alumínio utiliza-se hidróxido de sódio, para aços, usa-se ácido nítrico. Durante o ataque deve-se controlar a temperatura e agitação do reagente.
7. Após o ataque deve-se eliminar completamente o reagente por lavagem.
8. Elimina-se a máscara das regiões protegidas, e a peça deve ser novamente lavada.
9. Esta seqüência pode ser repita para obter cavidades com degraus.

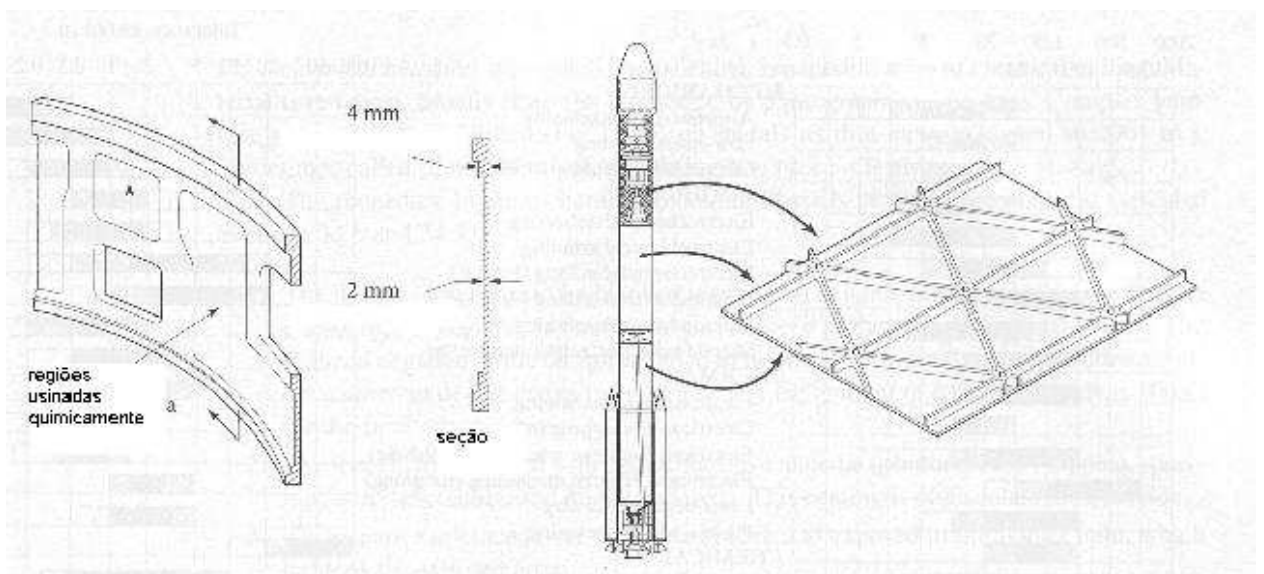


Figura 5.12 – Peças usinadas quimicamente(adaptado de KALPAKJIAN,2001)

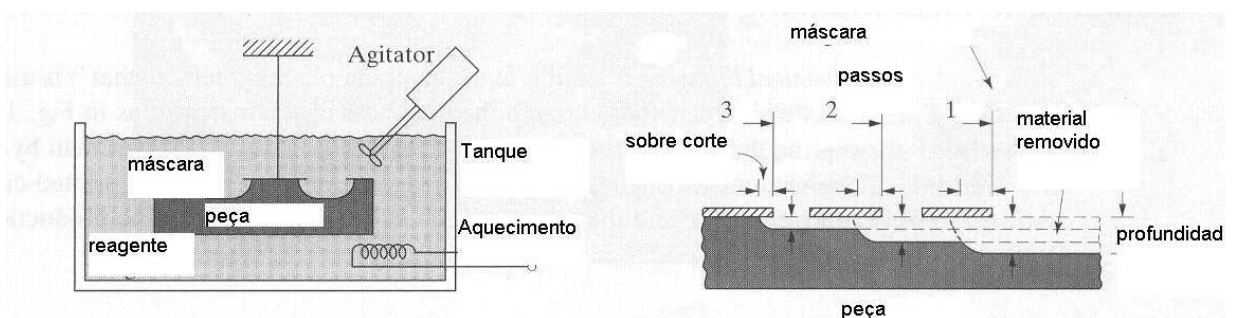


Figura 5.13 – Processo de usinagem química(adaptado de KALPAKJIAN,2001)

Em termos de capacidade do processo, as superfícies usinadas apresentam rugosidade Ra na faixa de 0,8 a 6,3 μm e a tolerância dimensional de 0,025 a 0,1 mm.

Em alguns casos a usinagem química causa problemas como ataque intergranular que diminui a qualidade da superfície.

Eletroerosão

Este processo de usinagem remove o material por erosão causada por descargas elétricas. Apesar do princípio ser conhecido desde a descoberta da eletricidade, somente em 1940 foi construída a primeira máquina que utiliza este processo.

Uma máquina EDM basicamente é composta de eletrodo, peça, fonte DC e fluido dielétrico. Quando a diferença de potencial entre a peça e o eletrodo é suficientemente elevada, uma descarga ocorre através do fluido dielétrico removendo uma pequena quantidade de metal da superfície da peça. Este processo ocorre na frequência entre 50 kHz e 500 kHz, com voltagem entre 50 V a 380 V e corrente de 0,1 a 500 A .

O fluido dielétrico desempenha um papel importante no processo. Ele atua como um isolante até que a diferença de potencial seja suficientemente alta, retira as partículas removidas de metal e resfria o eletrodo e a peça.

Os fluidos dielétricos mais comuns são querosene e água desionizada.

O processo de eletroerosão pode ser utilizado com qualquer material que seja condutor de eletricidade. O ponto de fusão e o calor latente de fusão são importantes para determinar a quantidade de material removido por descarga. Tipicamente a quantidade de material removido por descarga é da ordem de 10^{-6} a 10^{-4} mm³.

Como o processo não trabalha com energia mecânica, a dureza, resistência e tenacidade não influenciam a taxa de remoção de material. A frequência de descarga ou a energia por descarga controlam a velocidade de remoção de material. A velocidade de remoção e a rugosidade da superfície aumentam com o aumento da densidade de corrente e diminuição da frequência.

Os eletrodos para eletroerosão normalmente são feitos de grafite, mas podem ser feitos de cobre ou ligas de cobre. O desgaste do eletrodo compromete a tolerância dimensional da

peça produzida, por isso deve ser mínimo. O desgaste está associado ao ponto de fusão do material, por isso, o melhor material para o eletrodo é o grafite.

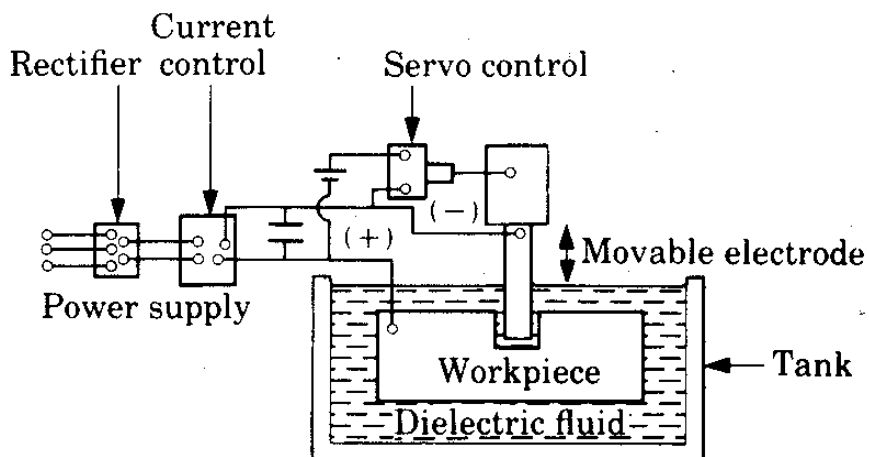


Figura – Representação esquemática do processo de eletroerosão. (adaptado de KALPAKJIAN,2001)



Figura – Máquina de eletroerosão da EDM Solutions.

Usinagem por Laser

Na usinagem por laser, a fonte de energia é um laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation), que concentra energia luminosa na superfície da peça. A energia

altamente concentrada funde e evapora pequenas regiões do material de modo controlado. Este processo, que não necessita de vácuo, é utilizado para usinar uma grande variedade de materiais metálicos e não metálicos.

Os tipos de laser utilizados nas operações de fabricação são:

- CO₂.
- Nd:YAG (neodímio: ítrio –alumínio silicato).
- Nd: neodímio rubi.
- Por excitação de moléculas.

Na usinagem por laser, a refletividade da superfície, a condutividade térmica, calor específico e calor latente de fusão do material são propriedades importantes no processo. Quanto menor forem estas propriedades mais eficiente será o processo. A superfície produzida por LBM normalmente é rugosa e apresenta uma zona termicamente afetada, que em aplicações críticas deverá ser removida ou tratada termicamente.

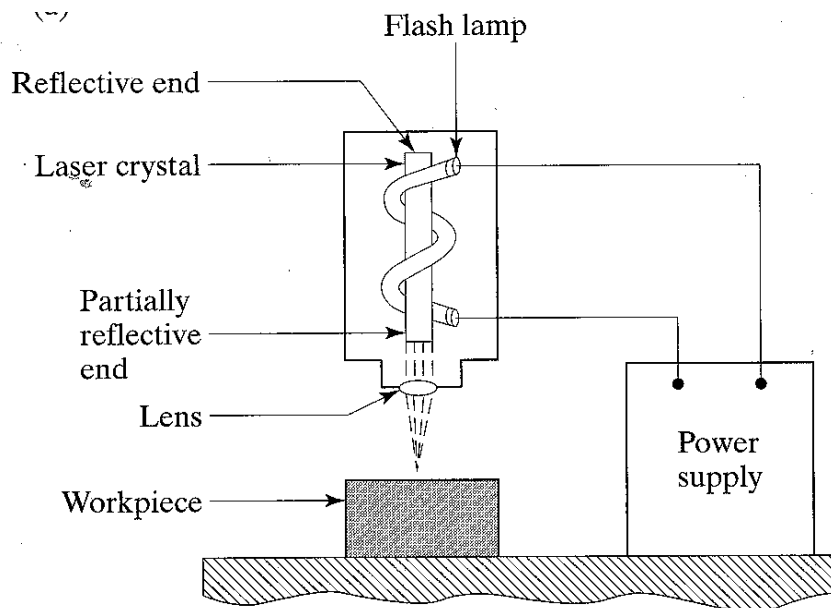


Figura – Representação esquemática usinagem por laser. (adaptado de KALPAKJIAN,2001)

O feixe de laser pode ser utilizado combinado com fluxo de gás, como oxigênio, nitrogênio ou argônio (laser-beam torch), para cortar chapas finas. O processo auxiliado por gás inerte a alta pressão é utilizado no corte de aço inox e alumínio, este processo deixa a

região cortada livre de óxidos facilitando a soldagem posterior. Os fluxos de gás também auxiliam na retirada de material fundido e vaporizado da superfície.

A usinagem por laser é largamente utilizada na furação e corte de metais, não metais, cerâmicas e materiais compósitos. A natureza abrasiva dos materiais compósitos e a necessidade de limpeza do processo fazem da usinagem por laser uma alternativa interessante.

Furos tão pequenos quanto 0,005 mm, com relação profundidade-diâmetro de 50:1, tem sido produzidos em diversos materiais, apesar de que o mínimo prático é 0,025 mm. Chapas de aço com espessura de 32 mm podem ser cortadas com laser.

O uso da usinagem por laser tem aumentado especialmente na indústria eletrônica e automotiva. Furos de sangramento em bombas de combustível e furos de lubrificação em mancais da transmissão são furados por laser. Os furos de refrigeração das pás do primeiro estágio de turbinas do Boeing 747 são também produzidos por laser. Redução de custos tem sido obtida pelo uso da usinagem por laser.

A usinagem por laser também pode ser utilizada para:

- Soldagem.
- Tratamento térmico localizado e em pequena escala de metais e cerâmicas para modificar as propriedades mecânicas e tribológicas da superfície.
- Na marcação de peças, com letras, números e códigos. A marcação pode também ser feita por processos tais como: tinta, dispositivos mecânicos como punções, pinos, ou estampos e por gravação. Apesar da utilização do laser para marcação é mais cara que os métodos tradicionais, ela tem sido utilizada em relação de melhorias na: precisão, reprodutibilidade, flexibilidade, facilidade de automação.

A flexibilidade inerente do processo de corte por laser, fixação simples, pequenos tempos de preparação, e a disponibilidade de máquinas multi-kW e sistemas 2D e 3D controlados por computador são recursos atraentes para a utilização do processo.

Considerações de projeto para peças usinadas por laser:

- Refletividade da superfície.
- Cantos vivos devem ser evitados.
- Efeitos de elevadas temperaturas devem ser considerados.



Figura – Operação de corte com laser.



Figura – Máquina de corte laser da LMI.

Fabricação de Peças de Plástico e Materiais Compósitos

O processamento de plásticos utiliza operações semelhantes às utilizadas na fabricação de peças de metais. Os plásticos podem ser moldados, fundidos, conformados, usinados e soldados, eles podem ser fabricados em formas variadas com relativa facilidade e em poucas operações. A temperatura de fusão do plástico é baixa, por isso, ao contrário dos metais eles podem ser facilmente manipulados e necessitam de menos energia para a fabricação. Entretanto, as propriedades das peças e componentes de plástico são grandemente influenciadas pelo método de fabricação e pelos parâmetros de processamento, deste modo o controle destes é essencial para a qualidade da peça.

Plásticos são normalmente adquiridos na forma de grãos ou pós, e são amolecidos (termoplásticos) no momento da fabricação. Plásticos estão também disponíveis na forma de chapas, placas, tarugos e tubos, que podem ser conformados em vários produtos. Plásticos na forma líquida são utilizados na fabricação de peças de plástico reforçadas.

Tabela 1 – Características dos processos de fabricação de peças de plástico e materiais compósitos.

Processo	Características
Extrusão	Seções longas, uniformes, sólidas ou vazadas; alta taxa de produção; baixo custo de ferramentas; tolerâncias abertas.
Moldagem por Injeção	Formas complexas de dimensões variadas, eliminação de montagem, alta taxa de produção; alto custo da ferramenta; boa precisão dimensional.
Moldagem de Plástico Aerado Estrutural	Peças grandes com elevada relação rigidez peso; ferramentas mais baratas que as utilizadas na moldagem por injeção; baixa taxa de produção.
Moldagem por Sopro	Peças ocas de paredes finas; alta taxa de produção; baixo custo da ferramenta.
Moldagem Rotativa	Peças ocas grandes de formato simples; baixo custo da ferramenta; baixa taxa de produção.
Termoconformação	Cavidades rasas ou relativamente profundas; baixo custo da ferramenta, taxa de produção média.

Moldagem por Compressão	por	Semelhante ao processo de forjamento; baixo custo da ferramenta; taxa de produção média.
Moldagem por transferência	por	Peças mais complexas que as da moldagem por compressão; alta taxa de produção; perda de matéria prima; custo da ferramenta médio.
Fundição		Formas simples ou complexas fabricadas com moldes flexíveis; baixa taxa de produção.
Processamento de Materiais Compósitos	de	Ciclos Longos; tolerâncias e custos de ferramenta dependem do processo

Extrusão

No processo de extrusão, a matéria prima na forma de grânulo ou pó termoplástico é colocada no funil de alimentação do cilindro de extrusão. O cilindro é equipado com um parafuso que mistura os grânulos e os transporta através do cilindro. O atrito interno da ação mecânica do parafuso ao longo do parafuso com aquecedores, aquece os grânulos e os liquefaz. A ação do parafuso também gera pressão no cilindro.

Os parafusos de extrusão possuem três seções distintas:

Alimentação que transporta o material do funil de alimentação para a região central do cilindro;

Fusão ou transição região onde o calor gerado por atrito e pelos aquecedores causa o início da fusão.

Região de bombeamento onde a fusão se completa e ocorre aumento da pressão.

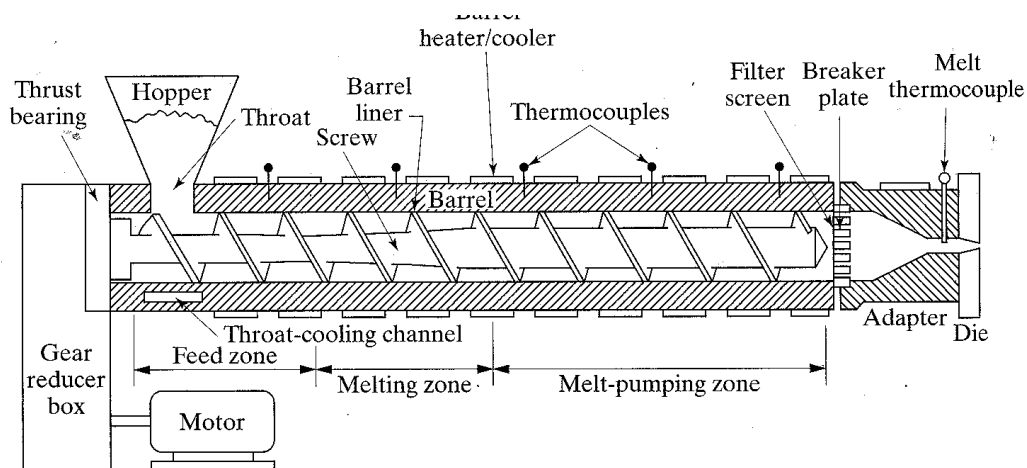


Figura – Representação esquemática do cilindro de extrusão(adaptado de KALPAKJIAN,2001).

O comprimento dessas seções pode ser alterado para acomodar as características de fusão dos diferentes plásticos. O plástico ou elastômero amolecido é forçado através da matriz, de modo similar a extrusão de metais. O produto extrudado é então resfriado ou por exposição ao ar ou por passagem em um canal preenchido com água. Controle da taxa e uniformidade do resfriamento é importante para minimizar contração e distorção.

Formas complexas com seção transversal uniforme podem ser extrudadas com ferramentas de baixo custo. O produto extrudado pode ser cortado no comprimento desejado.

Por causa do contínuo suprimento de matéria prima no funil de alimentação, produtos longos, tais como barras, canais, tubos, perfis, e chapas podem ser extrudados. Um progresso recente é a extrusão de tubos rígidos de plástico por um processo onde a matriz é rotacionada; conseqüentemente o polímero é cisalhado uniformemente e orientado de modo biaxial. O tubo produzido por este processo exibe elevado nível de resistência e alta relação resistência peso.

Fios elétricos, cabos e tiras revestidos por plástico também são extrudados por este processo. O arame é alimentado em uma abertura da matriz a uma velocidade controlada com a extrusão do plástico para produzir um revestimento uniforme.

Pellets, que são usados em outros processos são fabricados por extrusão. Barras de pequeno diâmetro são extrudadas e cortadas com pequeno comprimento assim que são

extrudadas. Com algumas pequenas alterações, as extrusoras podem ser utilizadas para fundir o plástico em outros processos tais como moldagem por injeção e moldagem por sopro.

Parâmetros do processo como rotação do parafuso, temperaturas na parede do cilindro, da matriz, e velocidades de resfriamento e extrusão devem ser controladas para extrudar produtos com precisão dimensional uniforme. Uma tela metálica é colocada antes da matriz para filtrar material não fundido, ela deve ser trocada periodicamente.

As extrusoras normalmente são classificadas pelo diâmetro D do cilindro e pela relação entre comprimento e diâmetro (L/D) do cilindro. Tipicamente as unidades possuem diâmetros de 25 a 200 mm com relação L/D de 5 a 30. Os custos de equipamentos de extrusão podem ser da ordem de US\$ 300000, incluídos os equipamentos de resfriamento do produto. Grandes lotes de produção são necessários para justificar estes custos.

Extrusão de chapas e filmes: Chapas e filmes de polímero podem ser produzidos pelo uso de matriz de extrusão plana. O polímero é extrudado pela passagem forçada através de uma matriz especialmente projetada para este propósito e a seguir é suportado por rolos resfriados por água e finalmente é puxado por um par de rolos revestidos com borracha.

Filmes finos de polímeros e sacos de plástico são fabricados a partir de um tubo produzido por uma extrusora. Neste processo denominado “blown film”, um tubo de parede fina é extrudado verticalmente de baixo para cima, a seguir é expandido na forma de um balão pela introdução de ar através do centro da matriz até que a espessura desejada é obtida. O balão normalmente é resfriado por ar de um anel de resfriamento montado ao redor dele, este anel pode também servir como uma barreira a expansão do balão para controlar a sua dimensão.

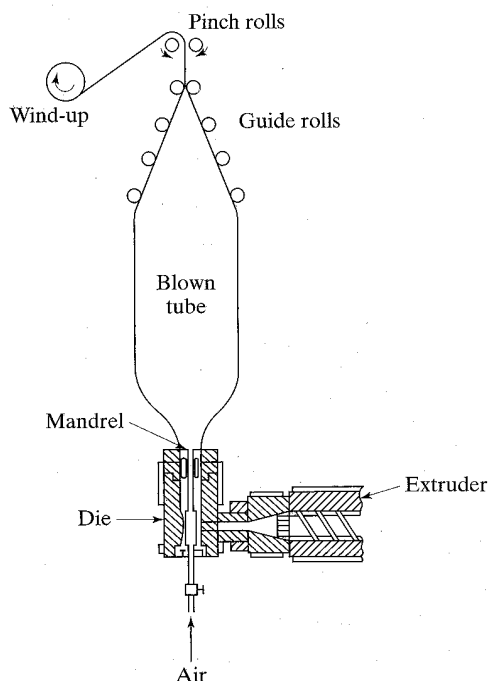


Figura – Extrusão de filmes finos (adaptado de KALPAKJIAN,2001).

Moldagem por Injeção

Moldagem por injeção é essencialmente o mesmo processo que é utilizado na fundição sob pressão. Do mesmo modo que na extrusão, o cilindro é aquecido para deixar o polímero em estado pastoso. Entretanto, nas máquinas de moldagem por injeção, a parcela de calor gerado por atrito entre o polímero e o parafuso é apreciável. Os “pellets” ou grânulos são alimentados no cilindro de aquecimento, é o material é forçado em uma matriz fechada que pode ser aberta no final do processo, por um pistão hidráulico ou por um parafuso rotativo.

Os equipamentos mais modernos utilizam parafuso com movimento alternativo. Nestes equipamentos assim que a pressão aumenta na entrada do molde, o parafuso rotativo retorna uma certa distância, este movimento controla o volume de material a ser injetado. O parafuso então para de girar e é empurrado para frente por um dispositivo hidráulico forçando o material plastificado na cavidade do molde. As pressões de injeção normalmente utilizadas estão na faixa de 70 MPa a 200 MPa.

Os produtos normalmente fabricados por moldagem por injeção são copos, caixas, revestimentos, empunhaduras de ferramenta, componentes elétricos e de comunicação,

brinquedos. Na moldagem de termoplásticos os moldes são relativamente frios, mas no caso de termofixos o molde deve ser aquecido para permitir a polimerização.

Em ambos os casos, após a peça ser suficientemente resfriada (para termoplásticos) ou curada (para termofixos), os moldes são abertos e a peça é retirada. Os moldes são então fechados, e o processo é repetido automaticamente. Elastômeros também são moldados por este processo.

Como o material é moldado quando é injetado no molde, pode-se obter formas complexas com boa precisão dimensional. Moldes com partes móveis, denominadas gavetas, que podem se movimentar de modo retilíneo ou serem desparafusadas, permitem a moldagem de peças com múltiplas cavidades e roscas internas e externas.

Os moldes podem ter vários componentes: gavetas, cavidades, canais de resfriamento, insertos, pinos extratores, canais de alimentação, canais de corte, canais de distribuição.

Existem três tipos básicos de moldes:

Molde com canal frio de duas placas, é o projeto mais simples;

Molde com canal frio de três placas, neste caso os canais de alimentação são separados da peça quando o molde abre;

Molde com canal quente, neste tipo o plástico é mantido aquecido nos canais de alimentação do molde.

Nos moldes com canal frio, o material solidificado nos canais de alimentação (canais que conectam a saída do cilindro de injeção com a cavidade do molde) deve ser removido por corte da peça injetada. Os canais podem ser reciclados. Em moldes de canal quente, que são mais caros, nenhuma parte fica presa a peça injetada no final do processo. O ciclo de trabalho é mais curto, porque somente é necessário resfriar e ejetar a peça injetada.

Componentes metálicos, tais como parafusos, pinos e placas podem também ser colocados na cavidade do molde e tornar-se parte do produto injetado. Os exemplos mais comuns desta combinação são componentes elétricos.

Moldagem de multicomponentes também denominada co-injeção ou moldagem sanduíche permite a formação de peças com uma combinação de cores e formas. Um exemplo é a moldagem multicolor de lanternas para automóvel composta de diferentes materiais. É possível também, montar filmes impressos na cavidade do molde, de modo a eliminar a necessidade de decorar ou etiquetar após a moldagem.

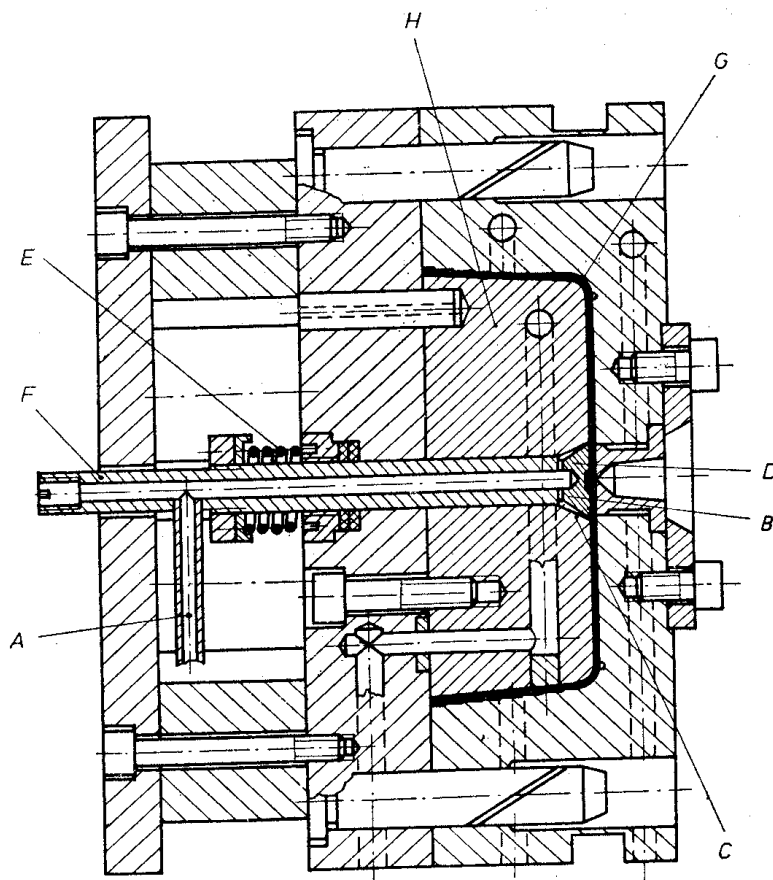


Figura – Molde de injeção (adaptado de SORS)

Sobremoldagem: Este termo é utilizado para designar o processo de produzir peças formadas por partes encaixadas que devem se movimentar umas com relação as outras, sem necessidade de montagem posterior. Para este propósito utiliza-se plásticos diferentes em cada peça para evitar a junção das peças.

Um novo processo denominado “ice-cold molding”, utiliza o mesmo tipo de plástico para formar as peças. O processo é executado em um ciclo em uma máquina padrão de moldagem por injeção. É preciso um molde com duas cavidades e o uso de insertos de resfriamento posicionados na área de contato entre o primeiro e segundo componentes da junta.

Capacidade do Processo

Moldagem por injeção é um processo de alta taxa de produção e permite bom controle dimensional. Tipicamente o tempo do ciclo de trabalho é de 5 a 60 segundos, mas ele pode ser de vários minutos para termofixos. Os moldes normalmente são feitos de aço ferramenta

, ligas de berílio e cobre, ou alumínio, e eles podem possuir várias cavidades, permitindo que mais de uma peça seja feita por ciclo. O custo de um molde pode ser de até US\$ 100000; a vida pode ser da ordem de 2 milhões de ciclos para moldes de aço, mas para moldes de alumínio da ordem de 10000.

O projeto do molde e o controle do fluxo do material nas cavidades são fatores importantes na qualidade do produto. Muitos progressos tem sido feitos na análise e projeto de moldes e do escoamento do material. Técnicas de modelagem estão sendo desenvolvidas para otimizar sistemas de canais, preenchimento da cavidade, resfriamento do molde, e distorção do produto; levando em consideração fatores como pressão de injeção, temperatura, e condição da resina. Existem programas de computador que auxiliam o processo de projeto para moldar peças com grande precisão dimensional e boas propriedades mecânicas .

Máquinas

As máquinas de moldagem por injeção normalmente são horizontais. Máquinas verticais são utilizadas na fabricação de peças pequenas com tolerâncias estreitas e para moldagem de insertos. A força de fechamento nos moldes normalmente é aplicada por dispositivos hidráulicos, apesar de que atualmente são disponíveis dispositivos elétricos. Os dispositivos elétricos são mais leves e mais silenciosos que os hidráulicos.

As máquinas de moldagem por injeção são classificadas de acordo com a capacidade de moldagem e força de fechamento. Na maioria das máquinas, esta força varia de 100 a 250 toneladas. A maior máquina em operação tem a capacidade de 5000 toneladas, e pode produzir peças pesando 25 Kg, a maior parte das peças pesa de 100 a 600 g. O custo de uma injetora de 100 toneladas varia de US\$ 60000 a US\$ 90000, e de 300 toneladas de US\$ 85000 a US\$ 140000.

O alto custo dos moldes, tipicamente de US\$ 20000 a US\$ 200000, necessitam de um alto volume de produção para justificar o custo. Máquinas modernas são equipadas com microprocessadores e microcomputadores em um painel de controle monitorando todos os aspectos da operação.

Moldagem de Espuma Estrutural

O processo de moldagem de espuma estrutural é usado para fabricar produtos de plástico com camada externa sólida e internamente com uma estrutura de célula. Os produtos tipicamente fabricados por este processo são objetos de decoração, gabinetes de TV, caixas de baterias. Apesar de existirem vários processos de moldagem de espuma, eles são semelhantes a moldagem por injeção ou extrusão. Tanto termoplásticos quanto termofixos podem ser utilizados na moldagem de espuma, mas os termofixos são processados na forma líquida de modo similar aos polímeros na moldagem por injeção reativa.

Na moldagem por injeção de espuma, os termoplásticos são misturados com um agente gasoso, normalmente um gás inerte como nitrogênio, que expande o material. A parte central da peça tem estrutura celular e a casca externa é rígida. A espessura da casca pode ser de até 2 mm, e a densidade da peça tão pequena quanto 40% da densidade da peça sólida. Deste modo, estas peças exibem uma considerável razão rigidez-peso.

Moldagem por Sopros

Moldagem por sopro é um processo modificado de extrusão e moldagem por injeção. Na extrusão por sopro, um tubo é inicialmente extrudado, então é fechado em um molde com uma cavidade muito maior que o diâmetro do tubo, e finalmente inflado para preencher a cavidade do molde. A inflagem é feita por ar comprimido a pressão de 350 kPa a 700 kPa. Em algumas operações a extrusão é contínua e o molde se move com o tubo.

Os moldes fecham-se ao redor do tubo extrudado, fechando as extremidades, e abrem assim que o ar é injetado na parte tubular. A peça é então resfriada e ejetada. Tubos corrugados e tubos normais são feitos por moldagem contínua por sopro em que o tubo é extrudado horizontalmente e inflado nos moldes móveis.

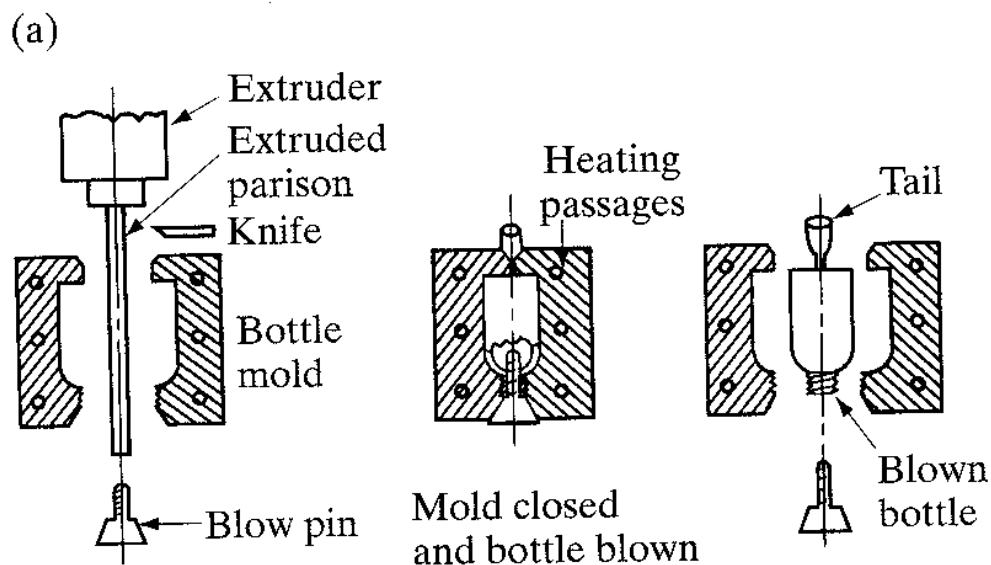


Figura – Moldagem por sopro (adaptado de KALPAKJIAN,2001).

Na moldagem por sopro com injeção, uma peça tubular curta é inicialmente moldada por injeção. Os moldes são abertos e esta peça é transferida para um molde de sopro. Ar quente é injetado dentro da peça, que expande até alcançar as paredes da cavidade do molde. Este processo é utilizado para fabricar garrafas plásticas de refrigerante e recipientes vazados.

Moldagem por Sopro multicamada consiste no uso de tubos co-extrudados que permitem a fabricação de estruturas multicamada. Um exemplo típico de estrutura multicamada são as embalagens plásticas para alimentos e bebidas, que devem possuir barreiras a odores e proteger o sabor e aroma, resistência, permitir a impressão, e permitir o vazamento de líquidos quentes. Outras aplicações podem ser encontradas na indústria cosmética e farmacêutica.

Termoconformação

Termoconformação é um conjunto de processos para conformação de placas ou filmes de plástico sobre um molde, através da aplicação de calor e pressão. Neste processo, a placa é aquecida no forno até o ponto de amolecimento. A placa é removida do forno, colocada sobre o molde, e forçada contra o molde através da aplicação de vácuo. O molde normalmente é mantido a temperatura ambiente, deste modo a forma do plástico começa a ser definida quando o mesmo entra em contato com o molde. Por causa da baixa resistência

do plástico amolecido, a diferença de pressão causada pelo vácuo normalmente é suficiente para conformar o material, apesar de que ar comprimido ou ação mecânica direta podem ser utilizados na fabricação de algumas peças por este processo.

As peças normalmente fabricadas por termoconformação são cartazes de propaganda, prateleiras de refrigeradores, embalagens. Como a termoconformação é uma operação de estampagem e estiramento, parecida com a estampagem de chapas de metal, o material deve possuir alto índice alongamento uniforme, caso contrário poderá empescoçar e romper. Os termoplásticos possuem alongamento uniforme elevado, devido a sua elevada sensibilidade a taxa de deformação. As placas utilizadas na termoconformação são fabricadas por extrusão. Peças com aberturas ou furos não podem ser fabricadas por este processo, porque a diferença de pressão não poderia ser mantida durante a conformação.

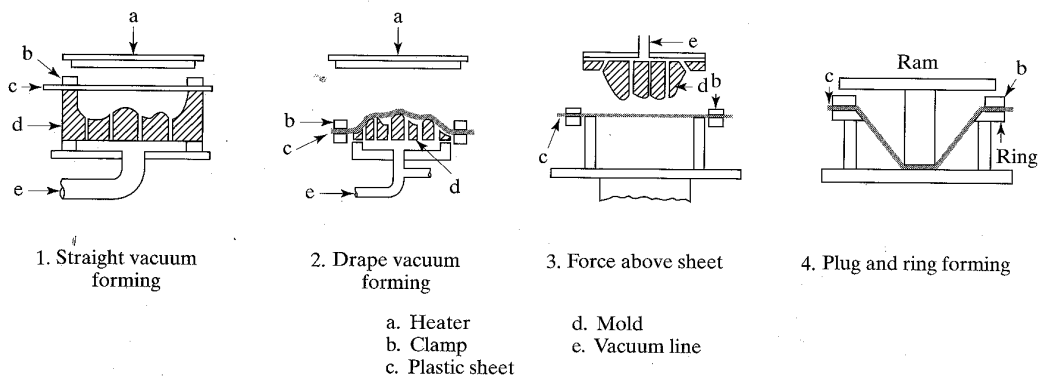


Figura – Processos de termoconformação (adaptado de KALPAKJIAN,2001).

Os moldes para termoconformação são normalmente feitos de alumínio, porque não é necessária alta resistência. Os furos no molde para permitir o vácuo costumam ser menores que 0,5 mm, para não deixar marcas na peça. Os moldes são baratos. Com relação a qualidade deve-se controlar rasgos, uniformidade de espessura das paredes, preenchimento do molde, e definição da peça.

Processamento de Plásticos Reforçados

Plásticos reforçados são um tipo de compósito, e são um dos mais importantes materiais de engenharia. Podem ser manipulados para satisfazer determinados requisitos de projeto, tais como, elevada relação resistência-peso, rigidez-peso e resistência a fluência. Por causa

da sua estrutura única, os plásticos reforçados necessitam de métodos especiais para transformá-los em produtos.

Os cuidados necessários e as várias etapas envolvidas na fabricação de plásticos reforçados encarecem a fabricação, e geralmente, eles não são competitivos com os materiais tradicionais. Esta situação necessitou de análise cuidadosa e integração do projeto e manufatura (engenharia concorrente) para minimizar custos e manter a integridade dos produtos e taxa de produção. Um aspecto importante relacionado a segurança e poluição se refere a poeira gerada durante o processamento, sabe-se que fibras de carbono permanecem por longo período no ambiente de trabalho.

O reforço pode ser feito por fibras cortadas, tecido, malha ou fibras retorcidas.

Para obter uma boa junção entre as fibras de reforço e a matriz de polímero, bem como protege-las durante o processamento, as fibras sofrem um tratamento superficial por impregnação. Fibras curtas são normalmente adicionadas em termoplásticos em moldagem por injeção; fibras pulverizadas podem ser usadas na moldagem por injeção com reação, fibras longas são usadas principalmente na moldagem por compressão.

Processamento de Compósitos com Matriz Metálica

Os três métodos básicos de fabricação de peças de matriz metálica com forma próxima a final (“near-net-shape”) são:

Processamento na fase líquida: consiste basicamente de fundição da matriz líquida e das fibras de reforço em estado sólido, utilizando tanto os processos convencionais de fundição quanto a fundição sob pressão. Na fundição sob pressão gás pressurizado é utilizado para forçar a matriz de metal líquida sobre uma pré forma (placa ou fios) feitos de fibras de reforço.

Processamento na fase sólida: consiste basicamente do uso de técnicas da metalurgia do pó, incluindo prensagem isostática a frio e a quente. Neste processo é importante a mistura apropriada para obter uma distribuição homogênea das fibras. Como exemplo de produtos, podem ser fabricados por este processo ferramentas de carboneto de tungstênio e ferramentas com cobalto como material da matriz. Na fabricação de peças complexas com reforço de fibras, a geometria do molde e o controle das variáveis de processo são importantes para garantir a apropriada distribuição e orientação das fibras no interior da

peça. Peças com matriz metálica fabricadas por processos de metalurgia do pó são normalmente tratadas termicamente para otimizar as propriedades.

Processamento bifásico (fases líquida e sólida): consiste na mistura das fibras com a matriz em estado bifásico.

Exemplo de Compósitos de Matriz Metálica: Alguns discos de freio têm sido fabricados em compósitos de matriz de alumínio reforçado com 20 % de partículas de carboneto de silício (SiC). As peças são fundidas em areia verde, molde permanente ou em casca. Estes discos pesam a metade dos feitos de ferro fundido e conduzem três vezes mais rápido o calor, e possuem a rigidez e resistência ao desgaste de materiais cerâmicos e reduzem ruídos e vibração.

Processamento de Compósitos com Matriz Cerâmica

Infiltração de suspensão: é o processo mais comum. Consiste na preparação de uma pré-forma de fibra que é prensada a quente e impregnada com a suspensão que contém a matriz, um líquido para auxiliar o transporte e um aglomerante orgânico. Alta resistência, tenacidade e estrutura uniforme são obtidas por este processo, mas o produto tem baixa resistência a temperatura, por causa do baixo ponto de fusão do material utilizado como matriz.

Síntese química: este processo utiliza técnicas de sol-gel e “polymer-precursor”. No processo sol-gel, o sol (fluido coloidal) com as fibras é convertido em gel, que é então submetido a tratamento térmico para produzir o compósito com matriz cerâmica. O método “polymer-precursor” é análogo ao processo utilizado fabricação de fibras de cerâmica.

Infiltração Química de Vapor: Uma pré-forma de fibra porosa é infiltrada com a fase da matriz através de técnicas de deposição química de vapor. O produto obtido apresenta boa resistência a temperatura, mas o processo é custoso e demorado.

Bibliografia

SORS – Sors,L.; Bardócz,L.; Radnóti,I.; Plásticos Moldes & Matrizes; Hemus.
KALPAKJIAN,2001 – Kalpakjian,S.;Schmid,S.R.; Manufacturing Engineering and Technology, 2001; 4o edição; Prentice Hall.