

Capítulo 7

Usinagem – folhas de processo

Em um ambiente industrial, o gerenciamento do produto e projeto ocorre em conjunto com o ciclo de produção, realizado pela Engenharia de Produto. Estão incluídos os dimensionamentos, a verificação dos esforços e desgastes, a simulação da vida útil de um componente e do conjunto. É necessária a condição de intercambialidade entre as peças componentes, mesmo que sejam fabricadas em épocas diferentes ou por empresas distintas. Há ainda a necessidade de tratamento térmico, as tolerâncias dimensionais, especificações de desvios de forma e posição, rugosidade superficial e o estudo das tolerâncias que permitam a montagem do conjunto. É importante que o profissional de projetos tenha vasta experiência técnica.

A simulação em poderosos *softwares* de engenharia possibilita a verificação antecipada de ocorrências que seriam percebidas somente no serviço do elemento de máquinas ou estrutura. Após os testes de protótipo do produto aprovados em funcionalidade e qualidade (um molde, uma matriz, um conjunto/subconjunto ou um produto montado), procura-se atingir um índice de credibilidade e satisfação, sem preocupação de reposição prematura de peças e componentes, ou até causar algum acidente em sua utilização. No caso de moldes, seus componentes usinados são os postigos, que definem o formato da peça a ser injetada, forjada ou fundida, e que poderão ser alterados ou trocados se o teste do molde for reprovado.

Com o desenho de produto liberado, a nova fase é a produção propriamente dita. Inicia-se a definição do processo de obtenção do material bruto e dos processos e etapas de fabricação. O produto poderá ser típico de lote unitário, se for um molde ou matriz, ou de média ou alta escala de produção, se for um produto de maior consumo e utilização, como engrenagens e eixos da caixa de câmbio de veículos automotores.

Para garantir as condições de projeto, é preciso planejar a fabricação por meio do planejamento de processos. O processo de fabricação, integrante da Engenharia de Fabricação e auxiliado pela Engenharia de Qualidade, é o intermediário entre o projeto e a produção e utiliza a metodologia de análise e tratamento tecnológico dos problemas. É necessário que os processos de usinagem garantam:

- a condição de utilização do componente, seja ele lote unitário ou seriado;
- a qualidade do produto constante em todos os lotes fabricados;
- os custos menores possíveis, fechando o ciclo de pré-requisitos que devem ser atingidos, para que o produto seja competitivo.

As Engenharias de Projeto, Processo e Qualidade estão em contato constante durante as etapas de fabricação. Uma possibilidade de melhoria na fabricação, que gere menor custo e mantenha ou melhore a qualidade, deve ser bem avaliada, principalmente por esses departamentos. As empresas estão adotando a Engenharia Simultânea para que as condições de projeto, de produção e verificação da qualidade sejam definidas inicialmente no nascimento do produto, para ganhar tempo de desenvolvimento do produto e menor índice de refugos.

Esse novo departamento da empresa é constituído pela Engenharia de Produto, Engenharia de Fabricação e Engenharia de Qualidade, reunidas para fazer uma avaliação crítica no desenvolvimento do produto e, assim, obter um produto mais bem elaborado, com baixo índice de necessidade de revisão e alteração de desenho. Isso facilita o gerenciamento e auxilia o planejamento da produção.

As informações e definições do processo de fabricação determinam importantes parâmetros. Envolvem os custos, o planejamento de produção e a efetivação da produção, bem como auxiliam em informações ao departamento de vendas quanto a prazos. Essas informações determinam e definem o fluxo de produção, a necessidade e disponibilidade de máquinas, de ferramentas e dispositivos. Fazem, ainda, análise crítica do projeto do produto. Os profissionais da Engenharia de Processos devem estar constantemente atualizados sobre as novidades que possam ser aplicadas na melhoria da produtividade e na redução de custos.

É importante destacar que, nas empresas, todos os dados, de projeto, de processo, de fabricação e de qualidade são absolutamente confidenciais. Essas informações definem a competitividade do negócio das empresas e não são aprovadas para divulgação.

Outros fatores econômicos e tecnológicos poderiam ser citados.

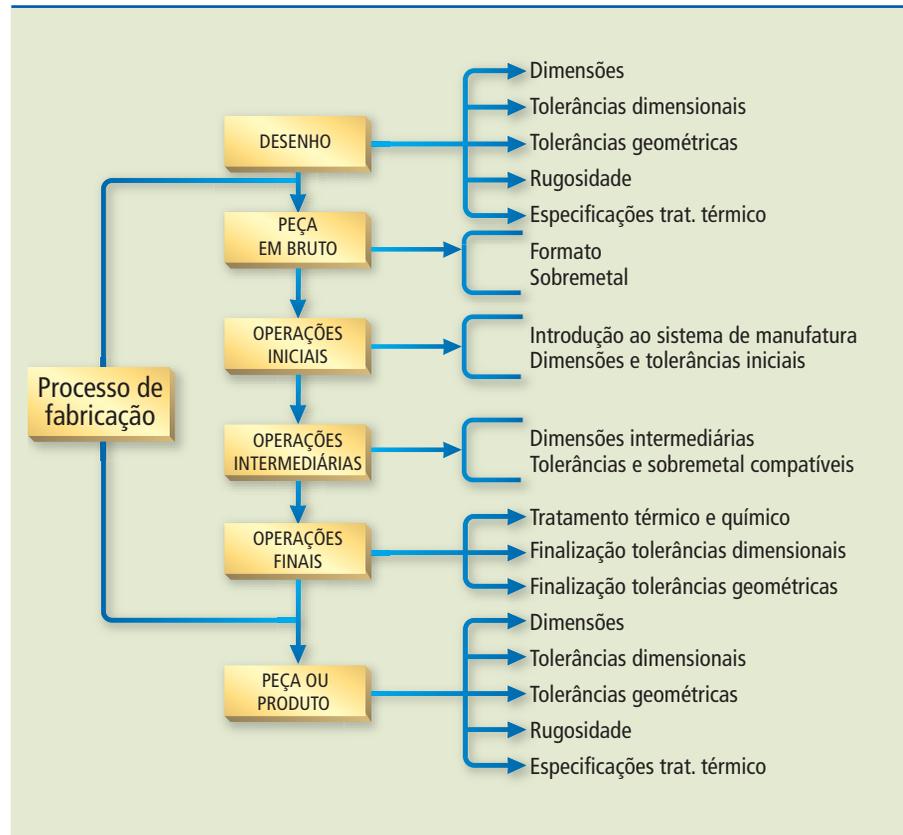
7.1 A folha de processo

A figura 7.1 é um diagrama genérico que representa o ciclo de um produto, desde sua necessidade e viabilidade no projeto, até a entrega ao cliente, interno ou externo à organização.

A Engenharia de Fabricação é responsável pela elaboração, entre outros, de processos de fabricação. Representa a ligação entre as responsabilidades de projetar, produzir e controlar a qualidade. A Engenharia de Fabricação auxilia na confecção de protótipos.

Partindo do desenho do produto final, os integrantes da Engenharia de Fabricação elaboram a folha de processo, que contém a seleção de processos de fabricação por usinagem e das máquinas-ferramenta, os roteiros e a descrição de atividades de cada etapa da fabricação, a definição do material em bruto, a dimensão, o sobremetal e a rugosidade das superfícies para a usinagem inicial e entre as operações intermediárias. Deve garantir que a última operação do roteiro gere a peça, atendendo exatamente às especificações do desenho.

Figura 7.1
Ciclo de um produto.



O planejamento de processos é usado em diversos tipos de processos de fabricação. Apesar de restringido apenas à usinagem, existem dificuldades e assuntos a serem conhecidos para estabelecer os roteiros e processos necessários para a maior parte das peças encontradas na indústria de transformação. A dificuldade está na grande variedade de tipos de peças e procedimentos.

Existem muitas empresas de usinagem que são mais especialistas do que generalistas, por exemplo, os usinadores de carcaça de alumínio ou de ferro fundido, usinadores de certos grupos de peças automotivas, usinadores de peças aeroespaciais, usinadores de moldes. Elas detêm quase todo o conhecimento técnico de aplicação na fabricação dos produtos que fornecem a seus clientes. Utilizam a tecnologia de grupo (TG), definida basicamente como a identificação e agrupamento de componentes similares em projeto e fabricação, assim como tiram vantagens das similaridades para ganhar em economia nos métodos do fluxo de produção.

Duas ou mais empresas concorrentes no fornecimento do mesmo segmento de peças, porém, podem ter pequenas diferenças no método de fabricação, apesar de usarem as economias possibilitadas pela TG. Isso faz parte das questões inerentes à competitividade entre elas.

A escolha adequada do formato da peça em bruto para a produção das peças acabadas necessita do conhecimento das características tecnológicas e econômicas dos processos primários de fabricação (laminação, fundição, forjamento

etc.), do parque fabril disponível e da capacidade dos fornecedores. Esses dados garantem menor custo e confiabilidade de fornecimento do material bruto. O objetivo é possibilitar o processamento em máquinas-ferramenta com a máxima capacidade de produção e realizando a menor remoção de cavaco possível. Outras informações importantes na definição da forma de fabricação e do material em bruto são:

- o tamanho do lote a ser produzido – por fatores econômicos, lotes menores tendem ao laminado/trefilado, enquanto em lotes maiores é mais utilizada a fundição e o forjamento. Na análise técnica de um item usinado, feito de laminado em que há grande remoção de material, por exemplo, eixos com ressaltos, em geral ocorre a redução da resistência mecânica da peça, quando comparada com a mesma peça obtida de forjado, necessitando de tratamentos térmicos intermediários na fase inicial de fabricação para normalização e alívio de tensões;
- o material e o tamanho da peça – conhecer o formato, o tamanho e as características mecânicas do material, para selecionar a matéria-prima, que vai influenciar na indicação da máquina e no ferramental a utilizar, em geral.
- a quantidade de material a ser removido – definido o material em bruto, escolhem-se a máquina e o ferramental a utilizar, em geral;
- o número de etapas e as fases de fabricação – os processos alternativos reduzem o ciclo, como o forjamento a frio, e impactam em ferramental de corte apropriado a esse processo.

A avaliação financeira do fornecimento do material depende da situação econômica mundial, de facilidades em geral e comparação de custos. Já é possível, por exemplo, o forjamento de precisão de engrenagens cilíndricas de dentes retos (ECCR) e, em alguns casos, de engrenagens helicoidais, com rugosidade, precisão dimensional e geométrica controladas entre as características dimensionais da peça e dos dentes das engrenagens, em vez de passar por várias etapas e fases de usinagem. Nesse caso, a peça já é fornecida acabada, sem necessidade de operações de usinagem.

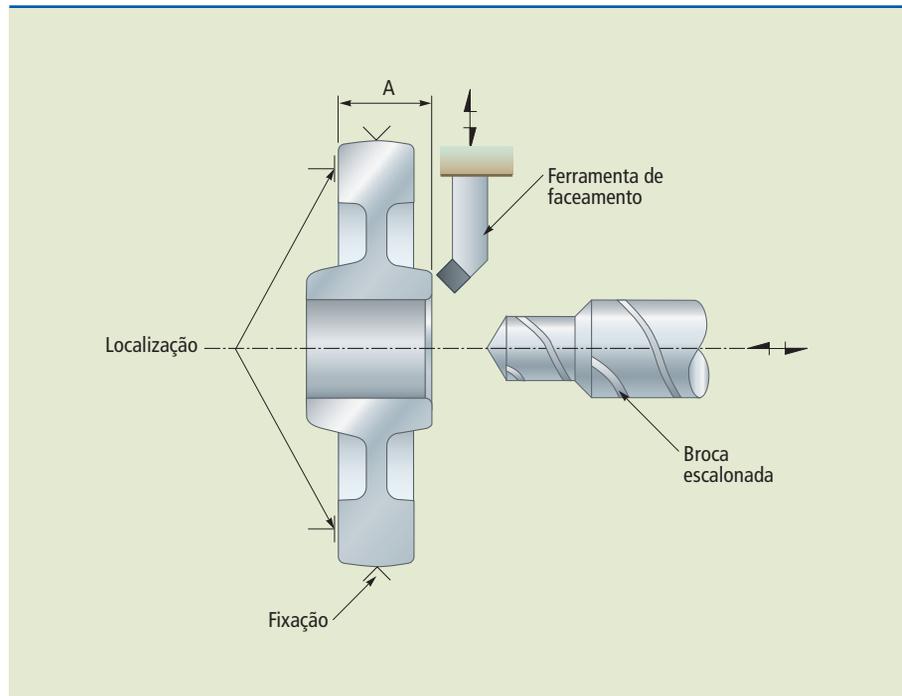
A definição das operações do roteiro de fabricação, partindo do desenho de produto, depende basicamente de duas condições e em cada operação do roteiro deve:

- permitir a execução das operações posteriores;
- ser executada com operações anteriores.

Para fabricar uma engrenagem em aço, por exemplo, em geral o material em bruto será forjado ou laminado. Ele necessita do torneamento em tolerâncias dimensional e geométrica, com rugosidade específica nas características da peça (furo e face de encosto principalmente) em que será fixado o material para usinar e gerar dentes com precisão. Nos esboços e desenhos de processos, utilizamos simbologia de fixação e localização, como nas figuras 7.2 e 7.3. A superfície de referência criada com a operação de faceamento deve ser seguida durante todas as outras operações subsequentes, para garantir a qualidade final das tolerâncias geométricas.

Figura 7.2

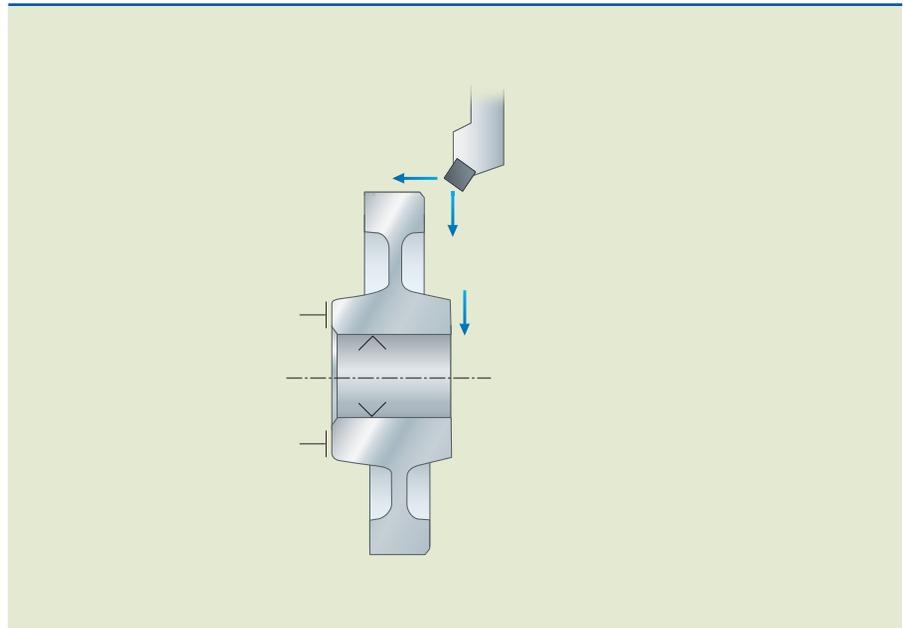
Operação inicial de faceamento do cubo e desbaste do furo de uma engrenagem – fase 10.



A superfície de referência criada com a operação de faceamento deve ser seguida durante todas as outras operações subsequentes, para garantir a qualidade final das tolerâncias geométricas. Nas folhas de processo são indicadas as tolerâncias dimensionais e geométricas, independentemente do desenho do produto, para garantir a qualidade dimensional e geométrica nas operações posteriores.

Figura 7.3

Operação de faceamento do cubo e desbaste do diâmetro externo da engrenagem, guiando-se pelo furo e pela face usinados anteriormente – fase 20.



A peça, posteriormente, tem operações de fresamento e acabamento dos dentes, arraste pelo furo (usinagem de rasgo de chaveta ou ranhurado interno por brochamento ou outro processo) para possibilitar o arraste pelo furo quando esta

engrenagem estiver em uso, além de outras possíveis operações de usinagem para acabamento dos dentes. Pode sofrer tratamento térmico e processo de retificação no furo, nas faces de encosto e, em alguns casos, nos dentes da engrenagem para atender à especificação dimensional e de rugosidade do projeto do produto. Enfim, busca-se a ordem no roteiro, mais lógica do ponto de vista das características do produto e das operações de usinagem.

A colocação lógica e ordenada das operações do roteiro depende da limitação dos processos e das características das operações. É necessário ter conhecimento dessas características das operações como dados fundamentais para elaboração dos documentos que se seguem nas etapas de fabricação: o desenho de processo e a folha de operações, ou, dependendo de cada empresa, de um documento único chamado folha de processo. Esse documento contém o desenho de processo, a descrição e os dados técnicos de cada operação, como a maneira de fixação da peça e ferramenta, qual ferramental deve ser empregado para o corte e fixação, os parâmetros e o tempo de usinagem ou produção horária.

O desenho de processo é elaborado com base no desenho de produto, resguardando-se as duas condições apresentadas acima e observando-se o sobremetal e o formato para operações posteriores, as limitações de tolerância de cada operação, compatíveis com o projeto e as dispersões do sistema máquina/ferramenta/dispositivo/peça.

Na necessidade de troca de componentes de fixação ou ferramental, bem como no início de lotes de fabricação, o operador da máquina dirige-se ao almoxarifado com a folha de processo para a retirada ou troca do acessório e registra a retirada ou o motivo da troca, se quebra ou desgaste, para atividades de gerenciamento do ferramental e produção.

O sobremetal de usinagem é a quantidade de material a ser retirada de uma superfície durante a usinagem. A definição dessa quantidade de material é motivada por valores técnicos e práticos entre as operações e deve ser analisada caso a caso pelo formato e dimensão da peça, pelas características das operações que vão retirar o material. Formas de análise do sobremetal necessário são, por exemplo: a deformação causada pelos tratamentos térmicos que obrigam deixar material mínimo necessário para uma retificação; os erros de fixação das peças, que resultam em deformidades e necessitam dessa quantidade mínima de material, somados a outros fatores como: erros inevitáveis de produção, de processamento de usinagem por causa dos métodos de fabricação da peça em bruto e da peça acabada, além de erros geométricos das máquinas-ferramenta. Essa análise define o sobremetal ideal entre operações, inclusive do material em bruto para a operação inicial.

A quantidade do sobremetal de usinagem afeta os aspectos econômicos de um processo de fabricação, principalmente na produção seriada. Quanto mais sobremetal a ser retirado, maiores serão as necessidades de tempo para remoção, o que aumenta os custos pelo trabalho dispensável, incluindo maior gasto com as ferramentas de corte e energia elétrica. Pode até ser preciso maior número de máquinas-ferramenta e maior área para a fabricação de determinado número de peças por

certo tempo definido. Já o sobremetal insuficiente acarreta aumento dos custos das peças produzidas, pelas perdas e refugos.

Tabela 7.1

Erros que ocorrem na fixação de peças no processo de torneamento

A tabela 7.1 mostra, por exemplo, os erros que ocorrem na fixação de peças em torneamento.

Valores médios de erros de montagem na fixação em placas de três castanhas.								
Tipo da superfície a ser fixada	Diâmetro da superfície a ser fixada D (mm)							
	até 50	50 a 120	120 a 260	260 a 500	até 50	50 a 120	120 a 260	260 a 500
	Deslocamento radial (mm)				Deslocamento axial (mm)			
Fundida em areia	0,30	0,40	0,50	0,60	0,10	0,12	0,15	0,20
Fundida em moldes permanentes	0,20	0,30	0,40	0,50	0,08	0,10	0,12	0,15
Fundida em <i>shell molding</i>	0,10	0,15	0,20	0,25	0,05	0,08	0,10	0,12
Forjado em martelo	0,30	0,40	0,50	0,60	0,10	0,12	0,15	0,20
Forjado em prensa	0,20	0,30	0,40	0,50	0,05	0,10	0,12	0,15
Usinagem de desbaste	0,10	0,15	0,20	0,25	0,05	0,08	0,10	0,12
Usinagem de acabamento	0,05	0,03	0,10	0,12	0,03	0,05	0,08	0,20
Retificada	0,02	0,03	0,04	0,05	0,01	0,02	0,03	0,03

O Departamento de Produção executa o arranjo físico, posicionando as máquinas e as estações produtivas por meio das informações recebidas da Engenharia de Processos de Fabricação. A Produção tem, ainda, as funções de:

- produzir as quantidades programadas dentro do prazo definido, de acordo com as necessidades de venda e entrega. Utiliza as informações técnicas detalhadas da folha de processos, com planejamento e previsões de quantidade para evitar eventuais problemas (lote mínimo para estoque mínimo). A Produção deve reportar as anormalidades e desvios ocorridos aos departamentos de Processo, Qualidade e Manutenção para as necessárias correções.
- com base na sequência de fabricação estabelecida pelos processos de fabricação, definir os tempos padrão para sua execução. Esses tempos possibilitam: determinar o custo da peça, o controle de eficiência da linha de fabricação e do operador, a relação entre horas trabalhadas e horas disponíveis e, em alguns casos, os prêmios de produção.

O Controle de Qualidade deverá assegurar que a peça esteja de acordo com a folha de processo em cada operação e, no fim do ciclo de fabricação, que tenha



as especificações do desenho de produto. Deverá fazer respeitar a qualidade do produto, auxiliando no desempenho esperado do produto e sua adequação aos meios produtivos disponíveis. O Controle de Qualidade tem ainda outras atribuições, como:

- determinar o plano de controle e avaliar os resultados obtidos pelo processo de fabricação ao longo do tempo. Essa comunicação com a Engenharia de Fabricação, por meio de estudos de capacidade de máquinas ou processos, auxilia na melhoria contínua dos processos de fabricação;
- conhecer as máquinas nas diversas operações do processo de fabricação e permitir que a produção fabrique peças dentro dos limites de rejeição estabelecidos, definindo periodicidade de inspeção.

7.2 Planejamento do processo

O planejamento do processo pode ser dividido nas seguintes fases:

- seleção do material em bruto;
- seleção das máquinas-ferramenta, dos processos, ferramentas e dispositivos;
- seleção das condições de processo;
- definição do roteiro de operações;
- seleção dos instrumentos de medição e periodicidade;
- determinação das dimensões intermediárias e das tolerâncias de produção;
- determinação dos tempos ativos e passivos;
- edição das folhas de processo contendo as informações detalhadas.

As informações iniciais importantes e necessárias para planejar a fabricação são:

- “desenho de produto detalhado com dimensões e respectivas tolerâncias dimensionais e geométricas;
- indicação da rugosidade superficial das superfícies;
- tipo e especificações do material;
- quantidade de peças a serem produzidas;
- outras especificações – tratamento térmico, dureza, camada de proteção, balanceamento, entre outros” (AGOSTINHO, 2004).

Com relação ao ambiente fabril, acrescentam-se a essas informações os dados necessários de características técnicas das máquinas-ferramenta disponíveis, ferramentas existentes, possibilidade de utilização de dispositivos padrão ou necessidade de dispositivos especiais, condições de trabalho, precisão. Pode-se definir por meio de um processo lógico a sucessão de passos que transformem o material bruto em produto acabado.

O profissional da área de Engenharia de Processos deverá ter conhecimentos técnicos e de aplicação das diversas operações de usinagem, por exemplo, o torneamento, o fresamento, a furação e a retificação. Deve atender à rotina de atividade da empresa em que estiver trabalhando e de acordo com o modo como elas ocorrem.

