

PLANEJAMENTO
DE
PROCESSO

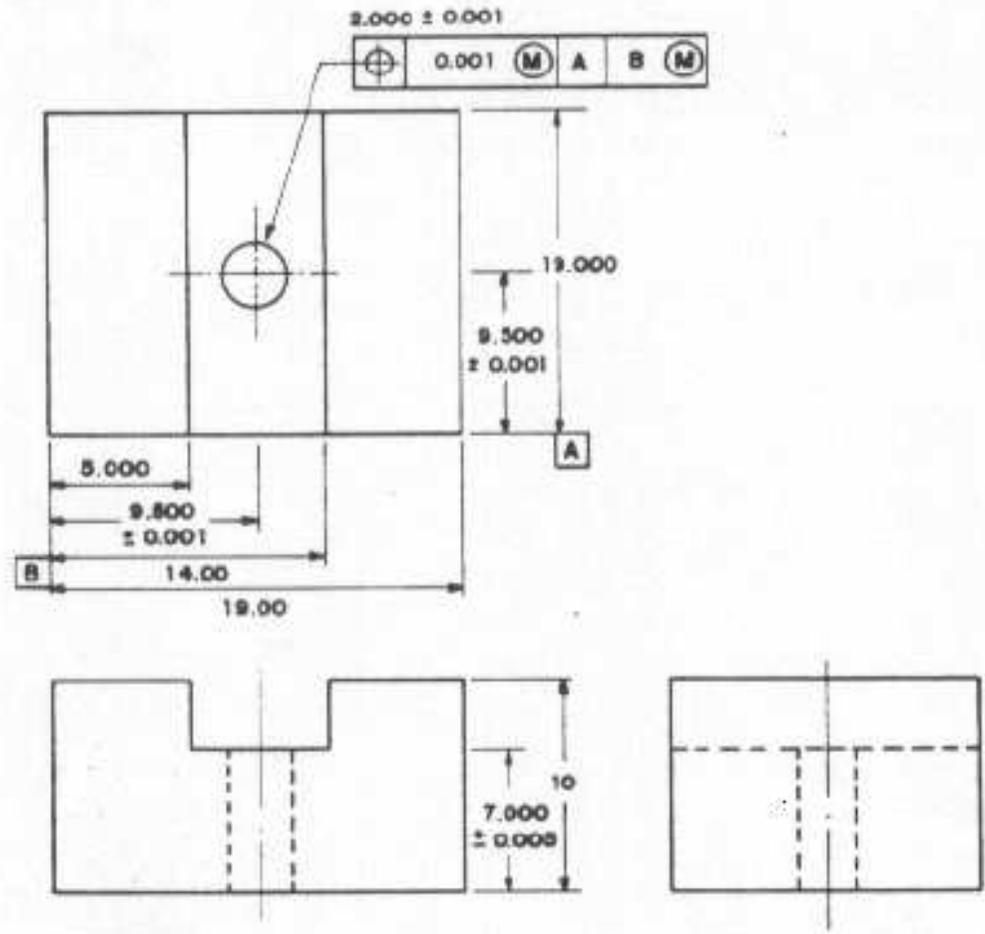
3 – Planejamento de Processos de Fabricação

O Planejamento do processo é a ligação entre a engenharia do produto e a manufatura. Diz respeito à seleção dos processos e ferramentas adequados para transformar a matéria-prima no produto final de acordo com as especificações do projeto. O planejamento do Processo pode então ser definido como um procedimento de determinação dos métodos e da seqüência de fabricação para produzir um componente com as especificações de projeto.

Tanto o planejamento do processo feito manualmente como o feito automaticamente pode ser dividido nas seguintes fases:



- Seleção das peças em bruto
- Seleção dos processos, ferramentas e dispositivos
- Seleção das máquinas-ferramentas
- Seleção das condições de processo
- Seqüenciamento das operações
- Seleção dos instrumentos de inspeção
- Determinação das dimensões intermediárias e das tolerâncias de produção
- Determinação dos tempos ativos e passivos
- Edição das folhas de processo contendo as informações acima



Tomemos a peça representada na figura acima. As informações iniciais que necessitamos para planejar sua fabricação são:

- Projeções e vistas em corte dando uma idéia completa do projeto e da forma da peça
- Dimensões e respectivas tolerâncias dimensionais e geométricas
- Indicação da rugosidade superficial das superfícies
- Tipo e especificações do material
- Peso da peça e tolerância de peso, se necessário
- Quantidade de peças a serem produzidas
- Outras especificações - tratamento térmico, dureza, camada de proteção, balanceamento, entre outros

Acrescentando-se a estas informações os dados necessários das máquinas-ferramentas disponíveis, tais como, ferramentas, dispositivos, condições de trabalho, precisão, pode-se definir através de um processo lógico a sucessão de passos que transformem o material bruto em produto acabado.

Numa avaliação geral do Planejamento do Processo pode-se dizer que o planejamento deve ser feito para todos os processos incluindo os processos de conformação, fundição, montagem, usinagem, etc. Neste curso, entretanto, abordaremos apenas o planejamento de processos de usinagem já que o objetivo central é o aprendizado da metodologia inerente ao Planejamento do Processo e por serem os processos de usinagem de uso mais freqüente.

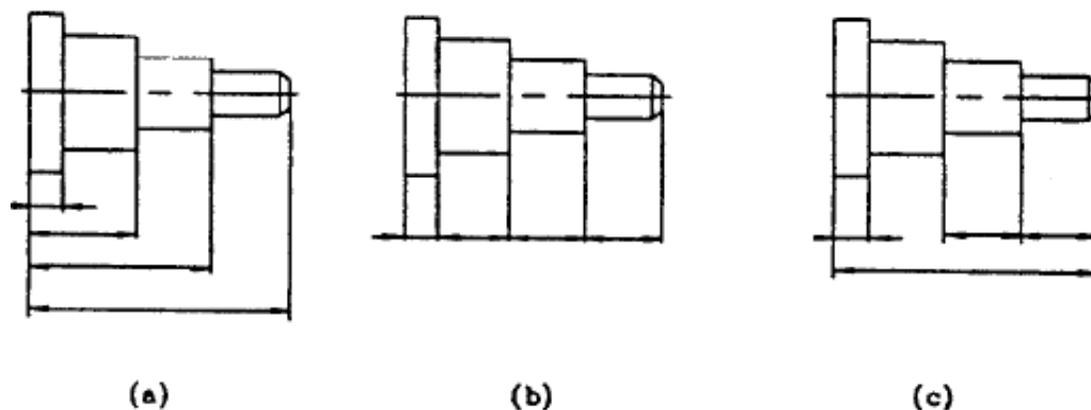
Dentre as etapas do Planejamento do Processo na usinagem nos limitaremos às seguintes:

- Seleção da peça em bruto
- Determinação das dimensões intermediárias entre as diversas operações
- Seleção dos processos de fabricação e das máquinas-ferramentas
- Seqüenciamento das operações
- Elaboração das folhas de processo

As demais etapas tais como, estabelecimento dos tempos, das condições de usinagem, escolha das ferramentas, dispositivos e instrumentos de verificação, serão objetivo de estudo em outros cursos da Etfar.

Planejamento do Processo – Usinagem

Mesmo restringindo a descrição do planejamento do processo à usinagem, uma série de dificuldades existem para se descrever, de maneira geral ou específica, os passos e processos necessários para a maior parte das peças encontradas na indústria de transformação. A grande variedade de tipos de peças e procedimentos para fabricação das mesmas tornam difícil esta tarefa. Como nosso objetivo, descrito anteriormente, é mais a apresentação da metodologia básica de planejamento do processo do que a compreensão dos procedimentos de fabricação de todas as peças produzidas normalmente, basearemos nosso estudo num produto típico abaixo:



Três meios diferentes de dimensionamento: (a) em relação a uma superfície; (b) sequencial; (c) combinado

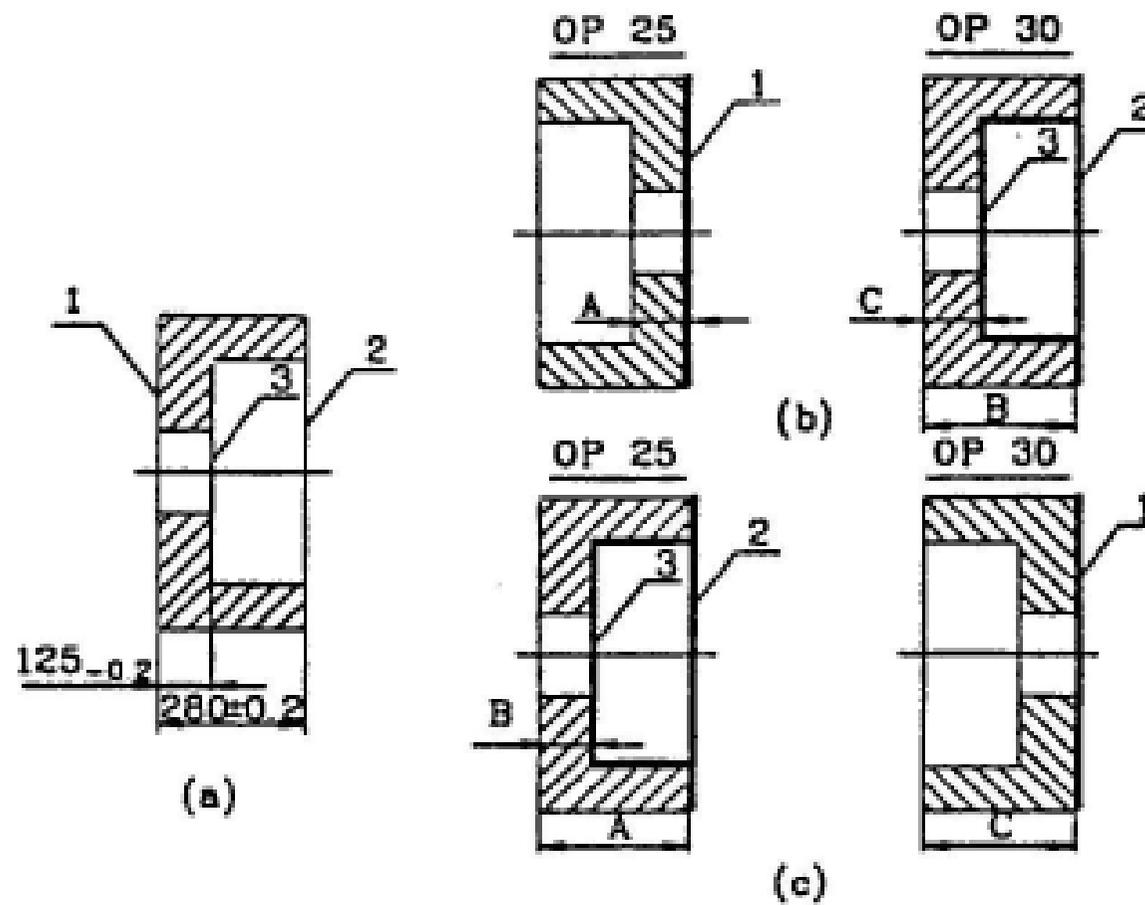
analisando detalhadamente a fabricação dos principais elementos constituintes deste componente mecânico.

Numa produção moderna, um dos fatores principais no desenvolvimento de técnicas de usinagem é a utilização de peças em bruto com formas economicamente projetadas que vão possibilitar seu processamento em máquinas-ferramentas com a máxima capacidade de produção e com a menor remoção de cavaco possível.

Esta necessidade obriga a desenvolvimentos constantes na precisão e no acabamento superficial das peças, tomando suas formas e dimensões as mais próximas possíveis das peças acabadas.

A seleção correta das peças em bruto, reduzindo os custos de mão-de-obra, irá proporcionar aumento de produtividade, sem aumento do espaço útil da fábrica, das máquinas e do ferramental de usinagem. Ao mesmo tempo, porém, a seleção das peças em bruto depende das condições de produção, grau de automação na usinagem, tamanho das peças e tamanho dos lotes.





Duas alternativas de seqüência de usinagem: (a) desenho de projeto da peça; (b) seqüência correta; (c) seqüência incorreta

A escolha de qualquer destes processos dependerá de uma série de considerações de ordem econômica e tecnológica. Entre as considerações de ordem econômica podemos citar:

- O tamanho do lote a ser produzido

Lotes de tamanho reduzido tendem a inviabilizar a utilização de processos que demandem um investimento grande em equipamentos e ferramental como por exemplo, o forjamento.

- A quantidade de material a ser removido

Dependendo do tempo necessário para remoção de cavaco o investimento em equipamentos e ferramental pode ser atrativo.

- O número de etapas de fabricação

A utilização de processos alternativos pode reduzir o número de etapas de fabricação levando a uma redução de custos como é o caso de forjamento a frio de eixos.



Precisões de usinagem e rugosidades obtidas economicamente através de diversos processos de usinagem para superfícies *cilíndricas externas*

<i>Processo</i>		<i>Classe de Tolerância IT</i>	<i>Rugosidade R_a (μm)</i>
Torneamento	Desbaste	12-13	10-80
	Semi-acabamento	10-11	2,5-10
	Acabamento	7-9	1,25-2,5
Abertura de canal	Num único passe	11-12	10-20
Retificação	Desbaste	7-9	0,63-2,5
	Semi-acabamento	6-7	0,16-0,63
	Acabamento	5-6	0,08-0,16
Lapidação	Semi-acabamento	5-6	0,04-0,63
	Acabamento	3-5	0,008-0,08
Super-acabamento		3-5	0,008-0,16

Precisões de usinagem e rugosidades obtidas economicamente através de diversos processos de usinagem para superfícies *cilíndricas internas*

<i>Processo</i>		<i>Classe de Tolerância IT</i>	<i>Rugosidade R_a (μm)</i>
Furação		11-13	5-80
Rebaixamento		10-11	1,25-20
Alargamento	Desbaste	8-9	1,25-5
	Semi-acabamento	7-8	0,63-1,25
	Acabamento	6-7	0,16-0,63
Mandrillamento	Desbaste	12-13	5-20
	Semi-acabamento	10-11	2,5-10
	Acabamento	7-9	0,63-2,5
	de Precisão	5-7	0,16-0,63
Brochamento	Semi-acabamento	9-10	0,32-2,5
	Acabamento	6-9	0,16-0,63
Retificação	Desbaste	7-9	0,63-2,5
	Semi-acabamento	6-7	0,16-0,63
	Acabamento	5-6	0,08-0,16
Brunimento	Semi-acabamento	6-7	0,16-1,25
	Acabamento	4-6	0,04-0,32
Lapidação	Semi-acabamento	5-6	0,04-0,63
	Acabamento	3-5	0,008-0,08
Super-acabamento		3-5	0,008-0,16

Precisões de usinagem e rugosidades obtidas economicamente através de diversos processos de usinagem para superfícies *planas*

<i>Processo</i>	<i>Classe de Tolerância IT</i>	<i>Rugosidade R_a (μm)</i>	
Fresamento	Desbaste	11-13	5-20
	Semi-acabamento	8-11	1,25-10
	Acabamento	6-8	0,32-1,25
Faceamento	Desbaste	12-13	10-80
	Semi-acabamento	10-11	2,5-10
	Acabamento	7-9	1,25-2,5
Aplainamento	Desbaste	11-13	5-20
	Semi-acabamento	8-11	2,5-10
	Acabamento	6-8	0,63-5
Brochamento	Semi-acabamento	10-11	0,63-2,5
	Acabamento	6-9	0,16-0,63
Retificação	Desbaste	7-9	0,63-2,5
	Semi-acabamento	6-7	0,16-0,63
	Acabamento	5-6	0,08-0,16
Lapidação	Semi-acabamento	5-6	0,04-0,63
	Acabamento	3-5	0,008-0,08
Super-acabamento	3-5	0,008-0,16	

Roteamentos de usinagem para superfícies *cilíndricas externas*

<i>Nº</i>	<i>Roteamento</i>	<i>Tolerância IT</i>	<i>Rugosidade R_a (µm)</i>
1	Torneamento (desbaste)	12-13	10-80
2	Torneamento (desbaste) → Torneamento (semi-acabamento)	9-11	2,5-10
3	Torneamento (desbaste) → Torneamento (semi-acabamento) → Torneamento (acabamento)	7-9	1,25-2,5
4	Torneamento (desbaste) → Torneamento (semi-acabamento) → Retificação (desbaste)	7-9	0,63-2,5
5	Torneamento (desbaste) → Torneamento (semi-acabamento) → Retificação (desbaste) → Retificação (acabamento)	5-6	0,08-0,16
6	Torneamento (desbaste) → Torneamento (semi-acabamento) → Retificação (desbaste) → Retificação (semi-acabamento) → Lapidação	3-6	0,008-0,63
7	Torneamento (desbaste) → Torneamento (semi-acabamento) → Retificação (desbaste) → Retificação (acabamento) → Super-acabamento	3-5	0,008-0,16

Roteamentos de usinagem para superfícies *cilíndricas internas*

N ^o	Roteamento	Tolerância IT	Rugosidade R _a (μm)
1	Furação	11-13	5-80
2	Furação → Rebaixamento	10-11	1,25-20
3	Furação → Escareado → Alargamento (desbaste) → Alargamento (semi-acabamento)	7-8	0,63-1,25
4	Furação → Rebaixamento → Brochamento (acabamento)	6-9	0,6-0,63
5	Furação → Mandrilamento (desbaste)	12-13	5-20
6	Furação → Mandrilamento (desbaste) → Mandrilamento (semi-acabamento)	10-11	2,5-10
7	Furação → Mandrilamento (desbaste) → Mandrilamento (semi-acabamento) → Mandrilamento (acabamento)	7-9	0,63-2,5
8	Furação → Mandrilamento (desbaste) → Mandrilamento (semi-acabamento) → Mandrilamento de precisão	5-7	0,16-0,63
9	Furação → Mandrilamento (desbaste) → Mandrilamento (semi-acabamento) → Retificação (desbaste) → Retificação (semi-acabamento)	6-7	0,16-0,63
10	Furação → Mandrilamento (desbaste) → Mandrilamento (semi-acabamento) → Retificação (desbaste) → Retificação (acabamento)	5-6	0,08-0,16
11	Furação → Mandrilamento (desbaste) → Mandrilamento (semi-acabamento) → Retificação (desbaste) → Brunimento	4-7	0,04-1,25
12	Furação → Mandrilamento (desbaste) → Mandrilamento (semi-acabamento) → Retificação (desbaste) → Lapidação	3-6	0,008-0,63
13	Furação → Mandrilamento (desbaste) → Mandrilamento (semi-acabamento) → Retificação (desbaste) → Super-acabamento	3-5	0,008-0,16

Roteamentos de usinagem para superfícies *planas*

<i>Nº</i>	<i>Roteamento</i>	<i>Tolerância IT</i>	<i>Rugosidade R_a (µm)</i>
1	Fresamento (desbaste)	11-13	5-20
2	Fresamento (desbaste) → Fresamento (semi-acabamento)	8-11	1,25-10
3	Faceamento (desbaste) → Faceamento (semi-acabamento)	10-11	2,5-10
4	Brochamento	6-11	0,16-2,5
5	Fresamento (desbaste) → Fresamento (semi-acabamento) → Fresamento (acabamento)	6-8	0,32-1,25
6	Fresamento (desbaste) → Fresamento (semi-acabamento) → Retificação (desbaste)	7-9	0,63-2,5
7	Fresamento (desbaste) → Fresamento (semi-acabamento) → Retificação (desbaste) → Retificação (acabamento)	5-6	0,08-0,16
8	Fresamento (desbaste) → Fresamento (semi-acabamento) → Retificação (desbaste) → Lapidação	3-6	0,008-0,63
9	Fresamento (desbaste) → Fresamento (semi-acabamento) → Retificação (desbaste) → Super-acabamento	3-5	0,008-0,16

Sequência de roteamento da bucha:

Superfície	Roteamento
1	Torneamento (desbaste) → Torneamento (semi-acabamento)
2	Torneamento (desbaste) → Torneamento (semi-acabamento)
3	Torneamento (desbaste) → Torneamento (semi-acabamento)
4	Torneamento (desbaste) → Torneamento (semi-acabamento)
5	Torneamento (desbaste) → Torneamento (semi-acabamento)
6	Mandrilamento (desbaste) → Mandrilamento (semi-acabamento) → Retificação (desbaste) → Retificação (semi-acabamento)
7	Mandrilamento (desbaste) → Mandrilamento (semi-acabamento)
8	Mandrilamento (desbaste) → Mandrilamento (semi-acabamento) → Retificação (desbaste) → Retificação (semi-acabamento)
9	Mandrilamento
10	Fresamento

- O material da peça

Dependendo das características mecânicas dos materiais das peças podem haver limitações para a escolha do processo. Como por exemplo pode-se citar a obtenção de eixos de ferro fundido que limita a utilização de processos de conformação e a necessidade de obtenção de eixos em bruto de materiais com altíssimo ponto de fusão que demandariam a utilização de processos de sinterização.

- O tamanho da peça

A obtenção de eixos de grandes dimensões, através de processos de conformação geralmente sofrem restrições em função de limitações nos equipamentos.





