



AULAS 5 e 6

HISTÓRIA E CONCEITOS DE MANUFATURA

SEM-0407 - Introdução ao Projeto e Manufatura

Professores

Alessandro Roger Rodrigues

Luciana Montanari



INTRODUÇÃO

1. O que é manufatura?
2. Materiais em manufatura
3. Processos de manufatura
4. Sistemas de produção



Manufatura é importante ...

- Tecnologicamente
- Economicamente
- Historicamente



Tecnologicamente ...

Tecnologia: aplicação da ciência para atender desejos e necessidades da sociedade

- Tecnologia fornece produtos para ajudar a sociedade a viver melhor
- O que estes produtos têm em comum?
 - São manufaturados
- Manufatura é o fator essencial que torna a tecnologia possível

Economicamente ...



Manufatura é a maneira pela qual as nações podem criar riquezas materiais

Economia dos EUA:

<u>Setor</u>	% PIB
Manufatura	20%
Agricultura, minérios etc	5%
Construção e utilidades	5%
Setor de serviços: varejo, transporte, bancos, comunicação, educação, governo etc	70%



Historicamente ...

Ao longo da história, as culturas humanas que foram melhores em produzir “coisas” tiveram mais sucesso na evolução

- Fabricar melhor ferramentas significava produzir melhor armas e utensílios manuais
 - Podia-se viver melhor
 - Podia-se conquistar territórios e culturas
- Em linhas gerais, a história da civilização está intimamente ligada à habilidade de construir “coisas”

Historicamente ...

TABLE I.2

Historical Development of Materials and Manufacturing Processes

Period	Dates	Metals and casting	Various materials and composites	Forming and shaping	Joining	Tools, machining, and manufacturing systems
Egypt: 3100 B.C. to 300 B.C. Greece: 1100 B.C. to 146 B.C. Roman Empire: 500 B.C. to 476 A.D. Middle Ages: 476 to 1492 Renaissance: 14th to 16th centuries	Before 4000 B.C.	Gold, copper, meteoric iron	Earthenware, glazing, natural fibers	Hammering		Tools of stone, flint, wood, bone, ivory, composite tools
	4000–3000 B.C.	Copper casting, stone and metal molds, lost-wax process, silver, lead, tin, bronze		Stamping, jewelry	Soldering (Cu-Au, Cu-Pb, Pb-Sn)	Corundum (alumina, emery)
	3000–2000 B.C.	Bronze casting and drawing, gold leaf	Glass beads, potter's wheel, glass vessels	Wire by slitting sheet metal	Riveting, brazing	Hoe making, hammered axes, tools for ironmaking and carpentry
	2000–1000 B.C.	Wrought iron, brass				
	1000–1 B.C.	Cast iron, cast steel	Glass pressing and blowing	Stamping of coins	Forge welding of iron and steel, gluing	Improved chisels, saws, files, woodworking lathes
	1–1000 A.D.	Zinc, steel	Venetian glass	Armor, coining, forging, steel swords		Etching of armor
	1000–1500	Blast furnace, type metals, casting of bells, pewter	Crystal glass	Wire drawing, gold- and silversmith work		Sandpaper, windmill-driven saw
	1500–1600	Cast-iron cannon, tinplate	Cast plate glass, flint glass	Water power for metalworking, rolling mill for coinage strips		Hand lathe for wood
	1600–1700	Permanent-mold casting, brass from copper and metallic zinc	Porcelain	Rolling (lead, gold, silver), shape rolling (lead)		Boring, turning, screw-cutting lathe, drill press

Historicamente ...

TABLE I.2

Historical Development of Materials and Manufacturing Processes (cont.)						
Period	Dates	Metals and casting	Various materials and composites	Forming and shaping	Joining	Tools, machining, and manufacturing systems
Industrial Revolution: 1750-1850	1700-1800	Malleable cast iron, crucible steel (iron bars and rods)		Extrusion (lead pipe), deep drawing, rolling		
	1800-1900	Centrifugal casting, Bessemer process, electrolytic aluminum, nickel steels, babbitt, galvanized steel, powder metallurgy, open-hearth steel	Window glass from slit cylinder, light bulb, vulcanization, rubber processing, polyester, styrene, celluloid, rubber extrusion, molding	Steam hammer, steel rolling, seamless tube, steel-rail rolling, continuous rolling, electroplating		Shaping, milling, copying lathe for gunstocks, turret lathe, universal milling machine, vitrified grinding wheel
	1900-1920		Automatic bottle making, bakelite, borosilicate glass	Tube rolling, hot extrusion	Oxyacetylene; arc, electrical-resistance, and thermit welding	Geared lathe, automatic screw machine, hobbing, high-speed-steel tools, aluminum oxide and silicon carbide (synthetic)
	1920-1940	Die casting	Development of plastics, casting, molding, polyvinyl chloride, cellulose acetate, polyethylene, glass fibers	Tungsten wire from metal powder	Coated electrodes	Tungsten carbide, mass production, transfer machines
	1940-1950	Lost-wax process for engineering parts	Acrylics, synthetic rubber, epoxies, photosensitive glass	Extrusion (steel), swaging, powder metals for engineering parts	Submerged arc welding	Phosphate conversion coatings, total quality control
WWII	1950-1960	Ceramic mold, nodular iron, semiconductors, continuous casting	Acrylonitrile-butadiene-styrene, silicones, fluorocarbons, polyurethane, float glass, tempered glass, glass ceramics	Cold extrusion (steel), explosive forming, thermomechanical processing	Gas metal arc, gas tungsten arc, and electroslag welding; explosion welding	Electrical and chemical machining, automatic control

Historicamente ...

TABLE I.2

Historical Development of Materials and Manufacturing Processes (cont.)						
Period	Dates	Metals and casting	Various materials and composites	Forming and shaping	Joining	Tools, machining, and manufacturing systems
Industrial Revolution: 1750-1850	1700-1800	Malleable cast iron, crucible steel (iron bars and rods)		Extrusion (lead pipe), deep drawing, rolling		
	1800-1900	Centrifugal casting, Bessemer process, electrolytic aluminum, nickel steels, babbitt, galvanized steel, powder metallurgy, open-hearth steel	Window glass from slit cylinder, light bulb, vulcanization, rubber processing, polyester, styrene, celluloid, rubber extrusion, molding	Steam hammer, steel rolling, seamless tube, steel-rail rolling, continuous rolling, electroplating		Shaping, milling, copying lathe for gunstocks, turret lathe, universal milling machine, vitrified grinding wheel
	1900-1920		Automatic bottle making, bakelite, borosilicate glass	Tube rolling, hot extrusion	Oxyacetylene; arc, electrical-resistance, and thermit welding	Geared lathe, automatic screw machine, hobbing, high-speed-steel tools, aluminum oxide and silicon carbide (synthetic)
	1920-1940	Die casting	Development of plastics, casting, molding, polyvinyl chloride, cellulose acetate, polyethylene, glass fibers	Tungsten wire from metal powder	Coated electrodes	Tungsten carbide, mass production, transfer machines
	1940-1950	Lost-wax process for engineering parts	Acrylics, synthetic rubber, epoxies, photosensitive glass	Extrusion (steel), swaging, powder metals for engineering parts	Submerged arc welding	Phosphate conversion coatings, total quality control
WWII	1950-1960	Ceramic mold, nodular iron, semiconductors, continuous casting	Acrylonitrile-butadiene-styrene, silicones, fluorocarbons, polyurethane, float glass, tempered glass, glass ceramics	Cold extrusion (steel), explosive forming, thermomechanical processing	Gas metal arc, gas tungsten arc, and electroslag welding; explosion welding	Electrical and chemical machining, automatic control

Historicamente ...

TABLE I.2

Historical Development of Materials and Manufacturing Processes (cont.)						
Period	Dates	Metals and casting	Various materials and composites	Forming and shaping	Joining	Tools, machining, and manufacturing systems
Space Age	1960–1970	Squeeze casting, single-crystal turbine blades	Acetals, polycarbonate, cold forming of plastics, reinforced plastics, filament winding	Hydroforming, hydrostatic extrusion, electroforming	Plasma-arc and electron-beam welding, adhesive bonding	Titanium carbide, synthetic diamond, numerical control, integrated circuit chip
	1970–1990	Compacted graphite, vacuum casting, organically bonded sand, automation of molding and pouring, rapid solidification, metal-matrix composites, semisolid metalworking, amorphous metals, shape-memory alloys (smart materials), computer simulation	Adhesives, composite materials, semiconductors, optical fibers, structural ceramics, ceramic-matrix composites, biodegradable plastics, electrically conducting polymers	Precision forging, isothermal forging, superplastic forming, dies made by computer-aided design and manufacturing, net-shape forging and forming, computer simulation	Laser beam, diffusion bonding (also combined with superplastic forming), surface-mount soldering	Cubic boron nitride, coated tools, diamond turning, ultraprecision machining, computer-integrated manufacturing, industrial robots, machining and turning centers, flexible-manufacturing systems, sensor technology, automated inspection, expert systems, artificial intelligence, computer simulation and optimization
	1990–2000s	Rheocasting, computer-aided design of molds and dies, rapid tooling	Nanophase materials, metal foams, advanced coatings, high-temperature superconductors, machinable ceramics, diamondlike carbon	Rapid prototyping, rapid tooling, environmentally friendly metalworking fluids	Friction stir welding, lead-free solders, laser butt-welded (tailored) sheet-metal blanks, electrically conducting adhesives	Micro- and nano-fabrication, LIGA (a German acronym for a process involving lithography, electroplating, and molding), dry etching, linear motor drives, artificial neural networks, six sigma

Source: J.A. Schey, C.S. Smith, R.F. Tylecote, T.K. Derry, T.I. Williams, S.R. Schmid, and S. Kalpakjian.



O que é Manufatura?

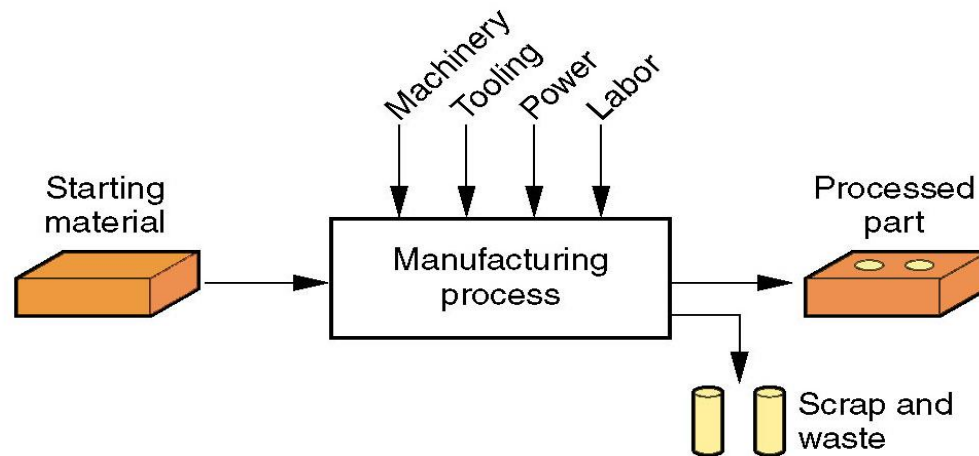
- A palavra manufatura é derivada do Latin *manus* (mão) e *factus* (fazer), ou seja, fazer à mão
- Descreve métodos de fabricação que foram usados pela primeira vez no idioma inglês (manufacture) em, aproximadamente, 1567 DC
 - A manufatura moderna utiliza equipamentos e máquinas automatizados supervisionados por pessoas

Tecnologicamente ...

Aplicação de processos físicos e químicos para alterar a geometria, propriedades e/ou aparência de um material de partida (matéria-prima) para fabricar peças ou produtos

- A manufatura também inclui a montagem
- Quase sempre é executada com uma sequência de operações

Figura 1(a):
Manufatura
como processo
técnico



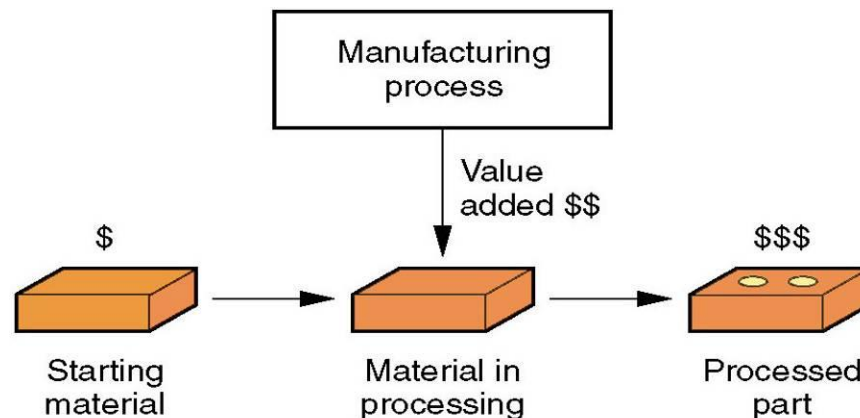
(a)

Economicamente ...

Transformação de materiais em itens de maior valor agregado por meio de um ou mais processos de fabricação e operações de montagem

- Manufatura adiciona valor ao material, mudando a forma ou propriedades, ou pela combinação de ambos

Figura 1(b):
Manufatura
como processo
econômico





Indústrias de Manufatura

Consiste de organizações que produzem bens de e serviços

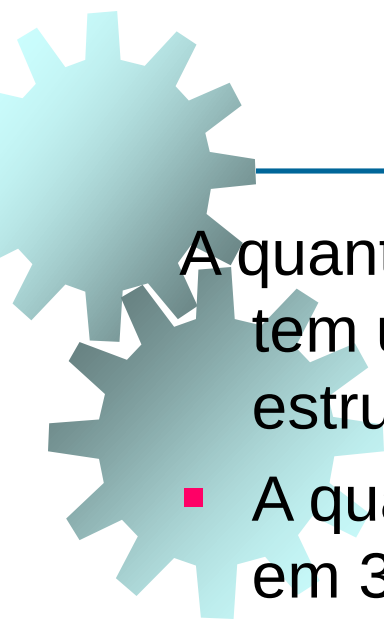
- Podem ser classificadas como:

1. Setor primário: cultivam ou exploram recursos naturais, como agricultura e mineração
2. Setor secundário: tomam os produtos do setor primário e transformam em bens de capital (**manufatura é a principal atividade**)
3. Setor terciário: serviços



Indústrias de Manufatura

- Setor secundário inclui manufatura, construção, energia etc
- Manufatura inclui várias indústrias, como vestuário, bebidas, química, alimentos etc
- No nosso caso (Engenharia de Materiais, Mecânica, Manufatura etc), os produtos são equipamentos
 - Parafusos, porcas, forjados, automóveis, aeronaves, peças plásticas, produtos cerâmicos, computadores etc



Quantidade de Produção (Q)

A quantidade de produtos Q produzidos por uma fábrica tem uma influência importante na organização e estrutura da própria empresa

- A quantidade de produção anual pode ser classificada em 3 faixas:

Faixa de produção

Quantidade anual Q

Baixa

1 a 100 unidades

Média

100 a 10.000 unidades

Alta

10.000 a milhões de unidades



Variedade de Produtos (P)

Variedade de produtos P refere-se aos diferentes tipos ou modelos produzidos na empresa

- Diferentes produtos têm diferentes características
 - São requeridos por diferentes mercados
 - Alguns têm mais componentes que outros
- A variedade de produtos pode ser contabilizada ou quantificada pela empresa
- Quando P é alto, a variedade de produtos é elevada (mais flexibilidade na manufatura)

P versus Q em Processos de Manufatura

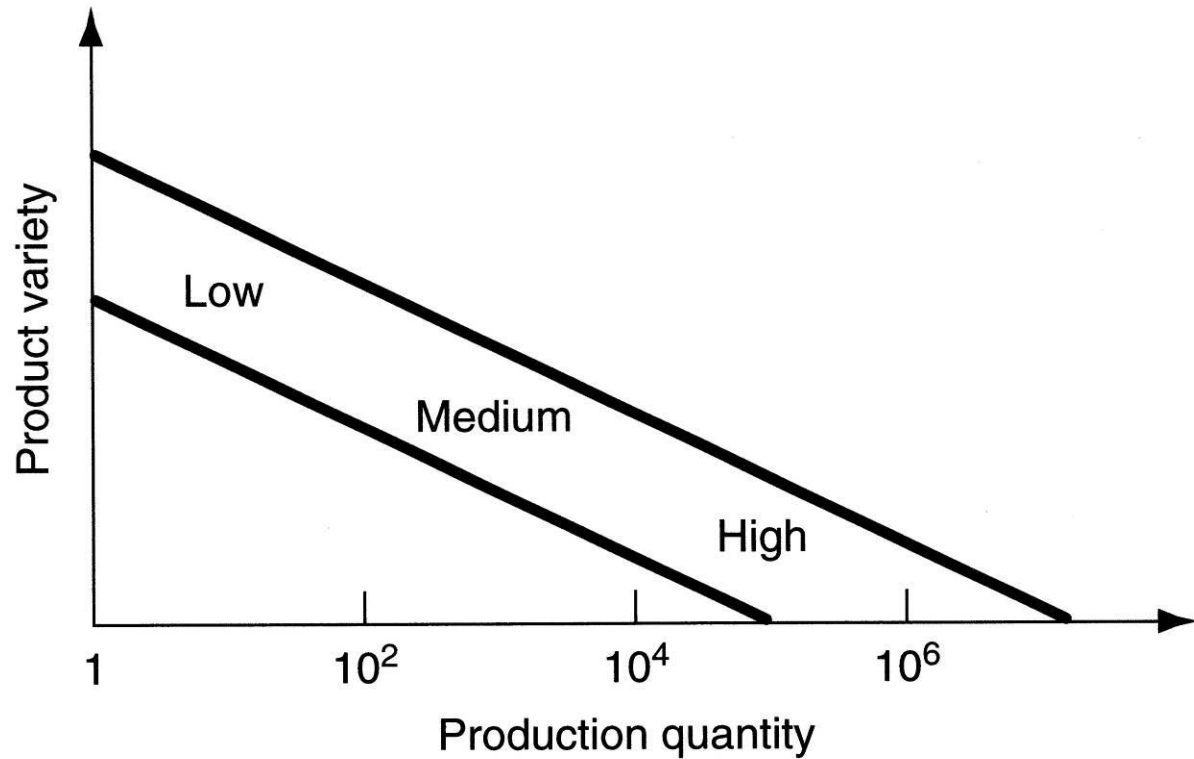


Figura 2: Relação entre P e Q



Mais sobre Variedade de Produção (P)

Embora P seja um parâmetro quantitativo, ele é muito menos exato que Q , porque detalhes de como as peças diferem-se entre si não são mensurados simplesmente pelo número de peças diferentes

- *Variedade baixa*: pequenas diferenças entre produtos, por exemplo, entre modelos de carros produzidos na mesma linha de produção com componentes em comum
- *Variedade alta*: produtos substancialmente distintos, tais como carros pequenos e caminhões, com poucas peças em comum, se houver



Capabilidade na Manufatura

Uma indústria do segmento de manufatura consiste de processos e sistemas (incluindo pessoas) projetados para transformar matéria-prima em produto com valor agregado

- Manufatura moderna envolve 3 partes: materiais, processos e sistemas
- A cababilidade na manufatura inclui:
 1. Capabilidade de processamento tecnológico
 2. Limitações físicas do produto
 3. Capacidade de produção



1. Capacidade de Processamento Tecnológico

É o conjunto disponível de processos de manufatura em uma indústria

- Certos processos são adequados a certos materiais
 - Especializando-se em certos processos, a indústria será especialista em certos materiais
- Inclui não apenas processos físicos, mas também *expertise* da equipe técnica da empresa



2. Limitações Físicas do Produto

Dada uma indústria com um certo conjunto de processos, sempre haverá limitações de peso e tamanho de peças ou produtos que podem ser processados

- O tamanho e peso das peças influem:
 - nas máquinas de produção
 - nos equipamentos de manuseio/transporte
- Tais máquinas e equipamentos, bem como a própria planta devem ser planejados para produtos que se enquadrem nas faixas de tamanho e peso



3. Capacidade de Produção

Definida como a quantidade máxima que uma empresa pode produzir em um dado período de tempo (mês, ano) sob certas condições de operação

- Condições de operação referem-se ao número de trocas semanais, nível técnico da equipe, tipos de máquinas empregadas, parâmetros de processo etc
- Geralmente medida em termos de unidades de saída da produção, como toneladas de aço ou número de carros produzidos etc
- Também chamada de capacidade da planta industrial



Materiais na Manufatura

A maioria dos materiais de engenharia pode ser classificada em 3 categorias básicas:

1. Metais
2. Cerâmicas
3. Polímeros

- Suas composições químicas são distintas
- Suas propriedades físicas e mecânicas são distintas
- Tais diferenças afetam os processos de manufatura que podem ser empregados na fabricação de produtos a partir deles

Adicionalmente: Compósitos

Misturas não homogêneas de dois ou mais tipos de materiais básicos

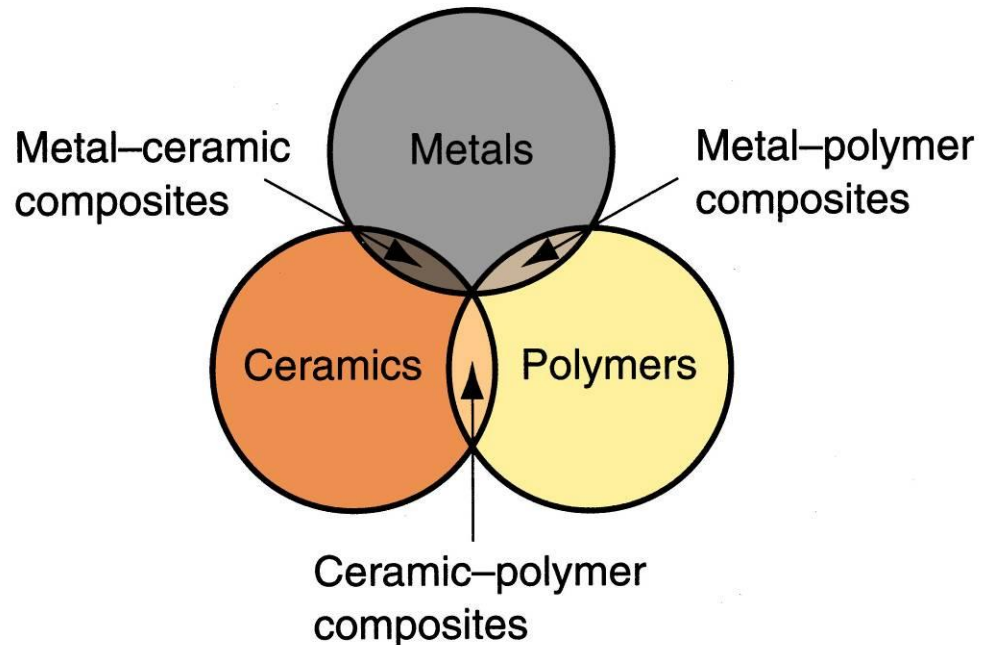
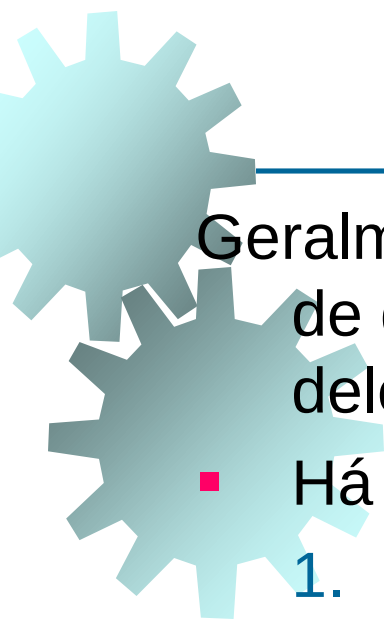


Figura 3: Diagrama de Venn dos 3 materiais básicos para compor os materiais compósitos

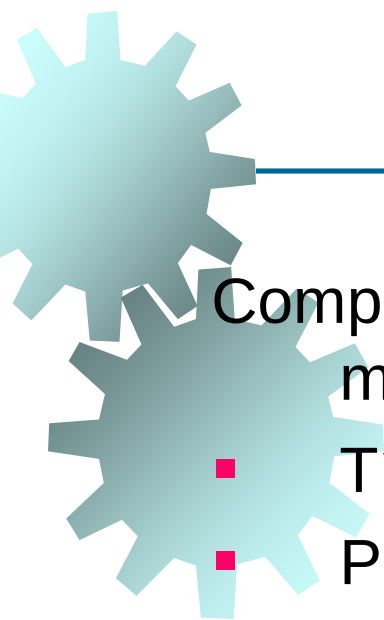


1. Metais

Geralmente na forma de ligas metálicas, são compostos de dois ou mais elementos, sendo pelo menos um deles metálicos

■ Há dois grupos básicos:

1. Metais ferrosos: baseado no ferro, compreende cerca de 75% dos metais no mundo:
 - Aço = liga Fe-C (0,02 a 2,11% C)
 - Ferro fundido = liga Fe-C (2,11% a 4% C)
2. Metais não-ferrosos: baseados em todos os demais elementos metálicos e/ou suas ligas, como alumínio, cobre, magnésio, níquel, prata, titânio, estanho etc



2. Cerâmicas

Compostos contendo elementos metálicos (ou semi-metálicos) e não-metálicos

- Típicos elementos não-metálicos: O, N, C

- Para processamento, as cerâmicas são divididas em:

1. Cristalinas:

- Cerâmicas tradicionais, como argila
- Cerâmicas modernas, como alumina (Al_2O_3)

2. Vidros: baseados em sílica (SiO_2)



3. Polímeros

Compostos formados por unidades de repetição estrutural (meros), cujos átomos compartilham elétrons para formar moléculas grandes

- São divididos em 3 categorias:
 1. Termoplásticos: podem sofrer ciclos de aquecimento e resfriamento múltiplas vezes sem alterar a estrutura molecular
 2. Termorrígidos: não permitem sofrer aquecimento sem serem degradados quimicamente
 3. Elastômeros: apresentam comportamento elástico significativo



4. Compósitos

Material consistindo de duas ou mais fases que são processadas separadamente e, então, unidas para alcançar propriedades superiores às dos seus constituintes isoladamente

- A estrutura usual consiste de partículas ou fibras (primeira fase) misturadas em uma matriz (segunda fase)
- As propriedades dependem das fases, como tamanho, forma, composição e combinação

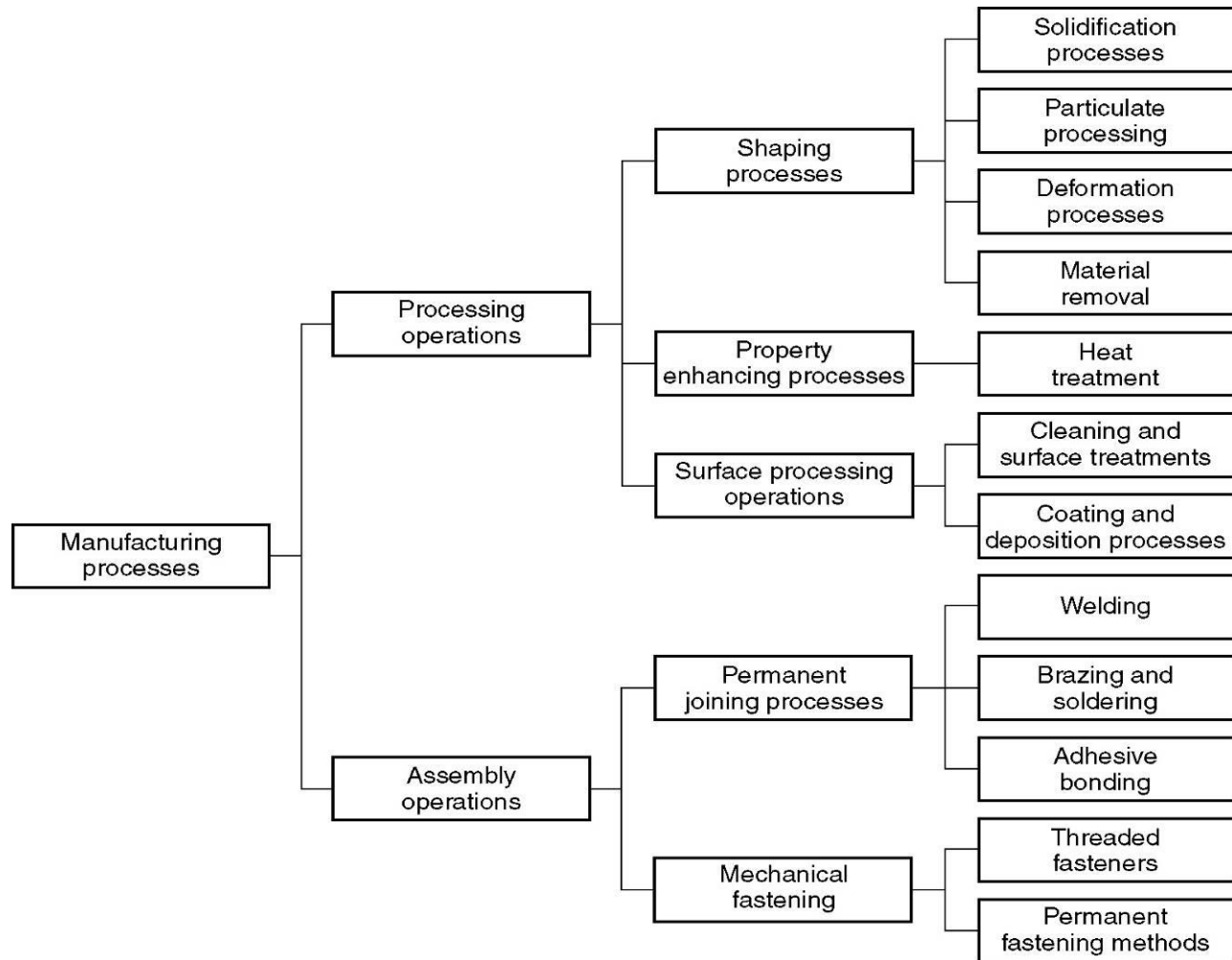


Processos de Manufatura

Dois tipos básicos:

1. Operações de processamento: visam transformar a matéria-prima de um estado a outro mais avançado (produto)
 - Operações que mudam a geometria, propriedades, aparência do material de partida
2. Operações de montagem: visam unir dois ou mais componentes para criar um conjunto ou sistema

Figure 4: Classificação geral dos processos de manufatura





Operações de Processamento

Alteram a forma, a aparência e as propriedades físicas da matéria-prima objetivando adicionar valor

São 3 categorias de operações de processamento:

1. Operações de forma: alteram a geometria do material de partida (matéria-prima)
2. Operações de melhoria das propriedades: aprimoram as propriedades físicas sem alterar a forma
3. Operações de processamento da superfície: limpam, tratam, depositam material na superfície da peça

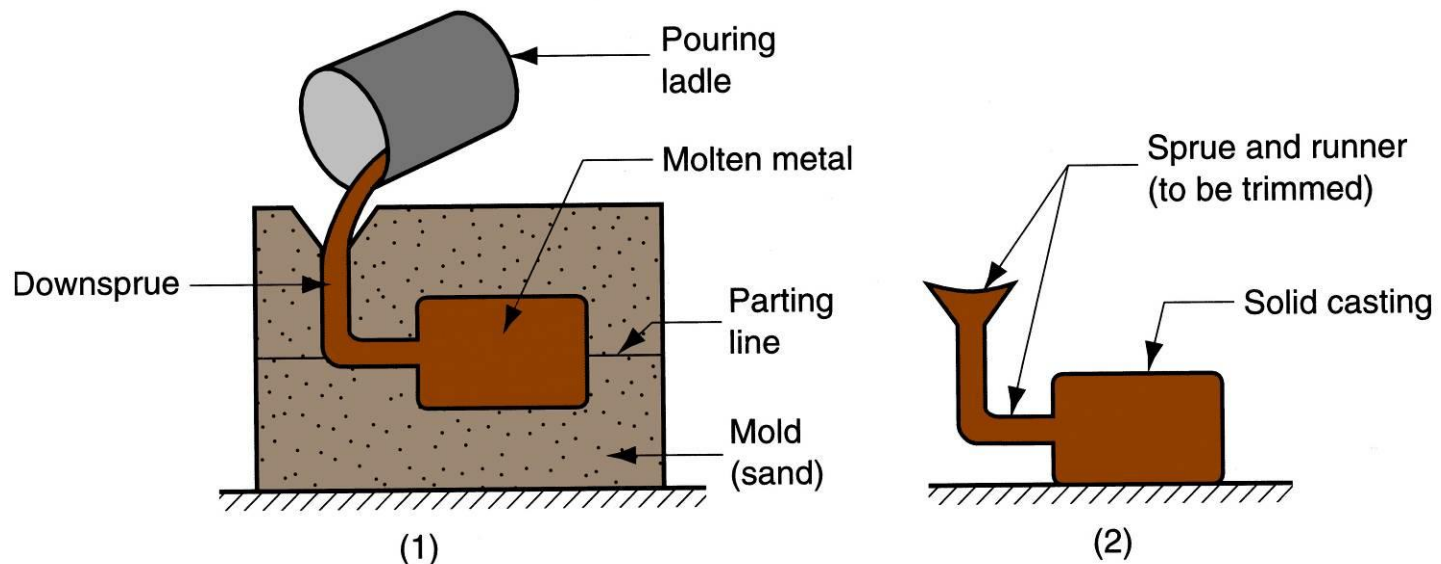


Processos de Forma: 4 Categorias

1. Processos de solidificação: o material é aquecido, fundido e moldado
2. Processamento de particulado (pós): a matéria-prima consiste de pós comprimidos/prensados e sinterizados
3. Processos de deformação: a matéria-prima é dúctil (geralmente metais)
4. Processos de remoção de material: o material de partida é um sólido dúctil ou frágil

Processos de Solidificação

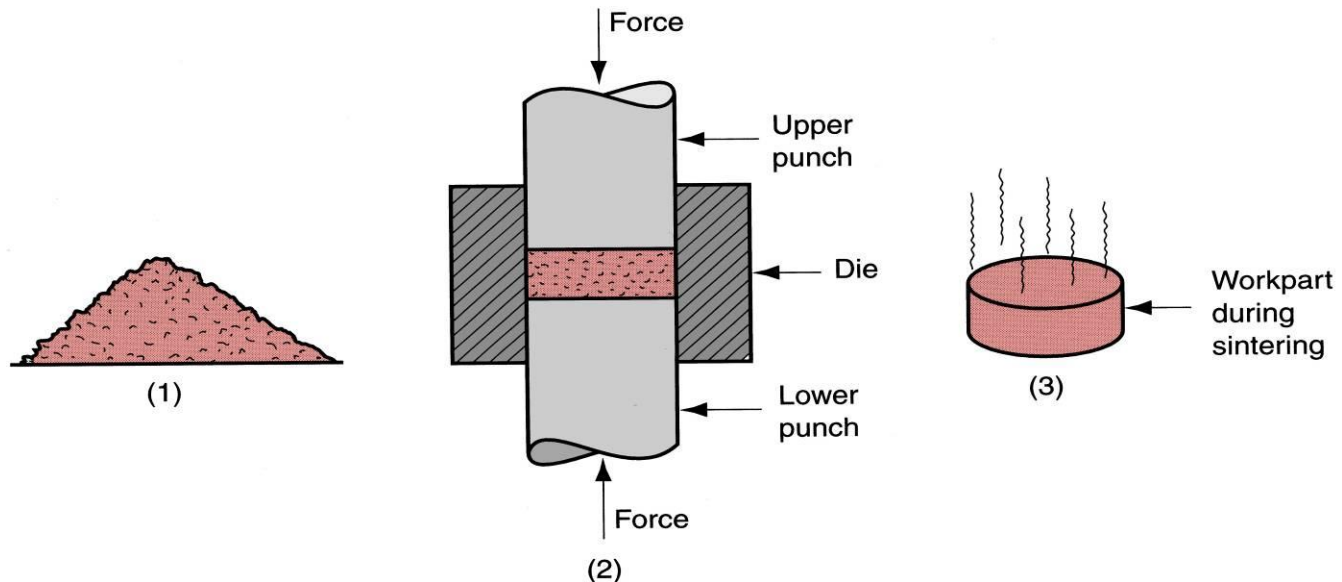
- A matéria-prima é aquecida suficientemente para transformá-la em líquido ou no estado plástico
- Exemplos: fundição de metal ou moldagem de plásticos



Processamento de Particulados

O material de partida é composto de pós metálicos ou cerâmicos

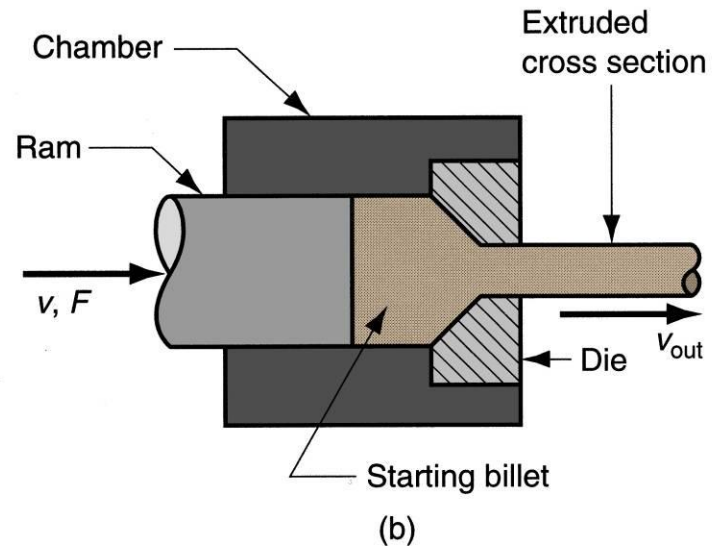
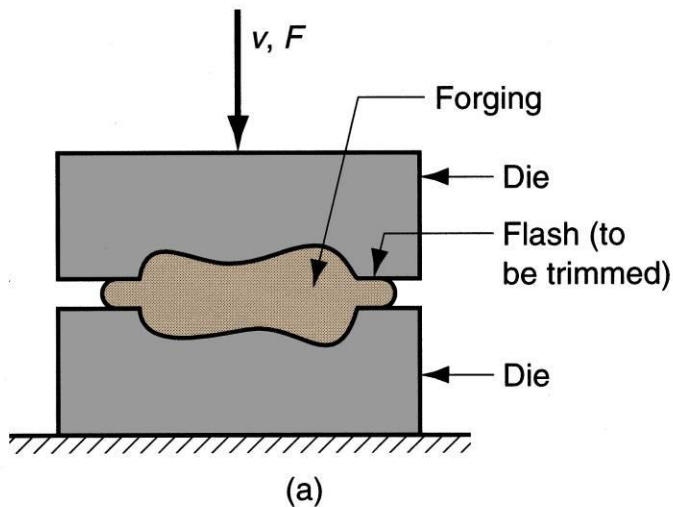
- Envolve compressão e sinterização de pós visando proporcionar resistência mecânica



Processos de Deformação

O material de partida é conformado pela aplicação de tensões que excedem o limite de escoamento do material

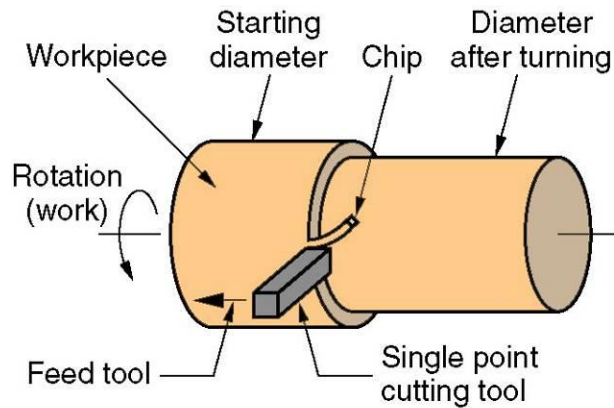
- Exemplos: (a) forjamento, (b) extrusão



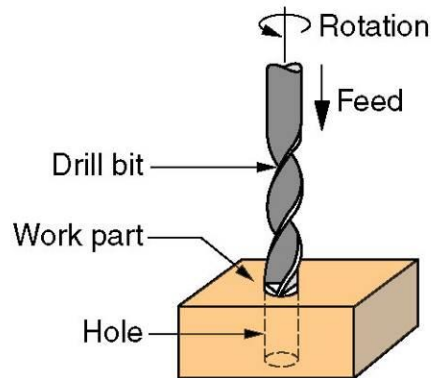
Processos de Remoção de Material

O excesso de material é removido da matéria-prima visando obter a geometria final da peça

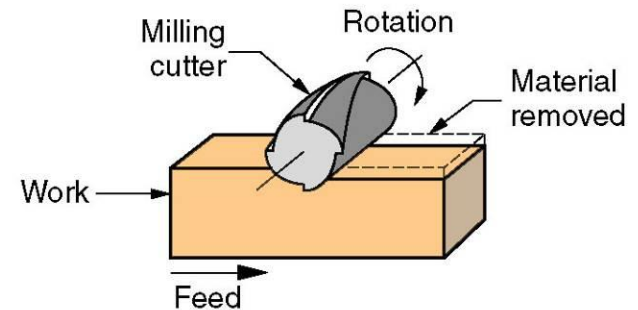
- Exemplos: (a) torneamento, (b) furação, (c) fresamento, retificação e processos não-convencionais (laser, plasma etc)



(a)



(b)



(c)



Desperdício em Processos de Forma

Desejável minimizar o material excedente

- Processos de remoção de material são os que mais têm material excedente
- Fundição, moldagem e processamento de particulados desperdiçam pouco material
- Terminologia para processos de mínimo desperdício de material:
 - *Net shape* processes: quando a maioria do material de partida é usada sem usinagem subsequente
 - *Near net shape* processes: quando mínima quantidade de usinagem é requerida



Processos de Melhoria de Propriedades

Realizados para aprimorar as propriedades físicas e mecânicas do material da peça

- A geometria da peça não é alterada, exceto não intencionalmente
 - Exemplo: empenamento da peça após tratamento térmico
- Exemplos:
 - Tratamento térmico de metais e vidros
 - Sinterização de pós metálicos e cerâmicos



Operações de Processamento de Superfície

- Limpeza: processos químicos e mecânicos para remover sujeira, óleo ou contaminantes da superfície da peça
- Tratamentos superficiais: trabalho mecânico (jateamento de areia) ou processos físicos (difusão)
- Revestimentos: deposição de filmes finos na superfície da peça



Operações de Montagem

Duas ou mais peças separadas são unidas para formar uma nova entidade (conjunto)

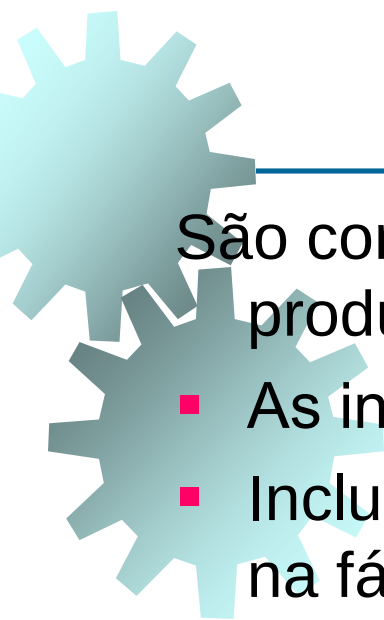
- Tipos de operações de montagem:
 1. Processos de união: criam uma união permanente
 - Soldagem, brazagem, colagem
 2. Montagem mecânica: fixação por métodos mecânicos
 - Roscas, parafusos, porcas, encaixes, pinos etc



Sistemas de Produção

Pessoas, equipamentos e procedimentos utilizados visando a manufatura de produtos

- As indústrias de manufatura devem ter procedimentos eficientes para realizar o tipo de produção especificado
- Há duas categorias:
 - Instalações da produção
 - Sistemas de apoio à manufatura
- Ambas categorias incluem pessoas (estas que fazem o sistema funcionar)



Instalações da Produção

São compostas da fábrica, dos equipamentos de produção e dos sistemas de manuseio de material

- As instalações da produção “tocam” o produto
- Inclui o modo como os equipamentos são arranjados na fábrica (*layout*)
- Os equipamentos geralmente são organizados em grupos lógicos chamados sistemas de manufatura
 - Exemplos:
 - Linha de produção automatizada
 - Células de usinagem consistindo de máquinas-ferramentas e robôs para alimentação



Instalações *versus* Quantidade de Produção

Uma empresa projeta seu sistema de manufatura e organiza sua fábrica para atender a uma missão particular de cada planta

- Certos tipos de instalações da produção são reconhecidas como as mais adequadas para um dado tipo de manufatura:
 1. Baixa produção – 1 a 100
 2. Média produção – 100 a 10.000
 3. Alta produção – 10.000 a $> 1.000.000$
- Diferentes instalações são requeridas para cada uma das três faixas de produção



Baixa Produção

Job shop é o termo usado para este tipo de instalação da produção

- Um sistema *job shop* produz baixa quantidade de produtos customizados ou específicos
 - Os produtos são tipicamente complexos, tais como na indústria aeroespacial, aeronáutica, agricultura etc
- A qualificação profissional é muito alta
- Produtos projetados para a máxima flexibilidade



Média Produção

Dois tipos diferentes de instalações, dependendo da variedade de produção:

- *Produção por lote (**batch**)*
 - Adequada para variedade baixa
 - Requer *setups* entre lotes
- *Manufatura celular*
 - Adequada para variedade alta
 - Células organizadas para processar peças sem *setups* entre estilos diferentes de peças



Alta Produção

- Refere-se à produção em massa
 - Alta demanda pelo produto
 - Sistema de manufatura dedicado à produção de um dado produto específico
- Duas categorias de produção em massa:
 1. Produção por quantidade (**em massa**)
 2. Produção em fluxo contínuo (**linha ou flow shop**)



Produção por Quantidade

Produção em massa de uma peça única em máquina única ou pequeno número de máquinas

- Envolve tipicamente máquinas padrões equipadas com ferramentas específicas
- O equipamento é dedicado o tempo todo à produção de uma peça ou tipo de produto
- *Layouts* típicos usados na produção por quantidade são por processos ou celular



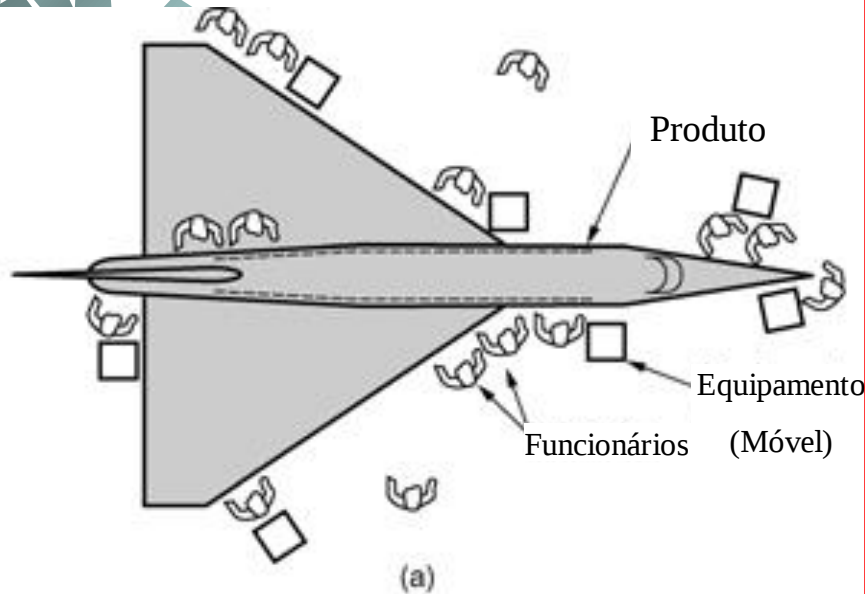
Produção em Linha

Múltiplas máquinas ou estações de trabalho
arranjadas em sequência (linhas de produção)

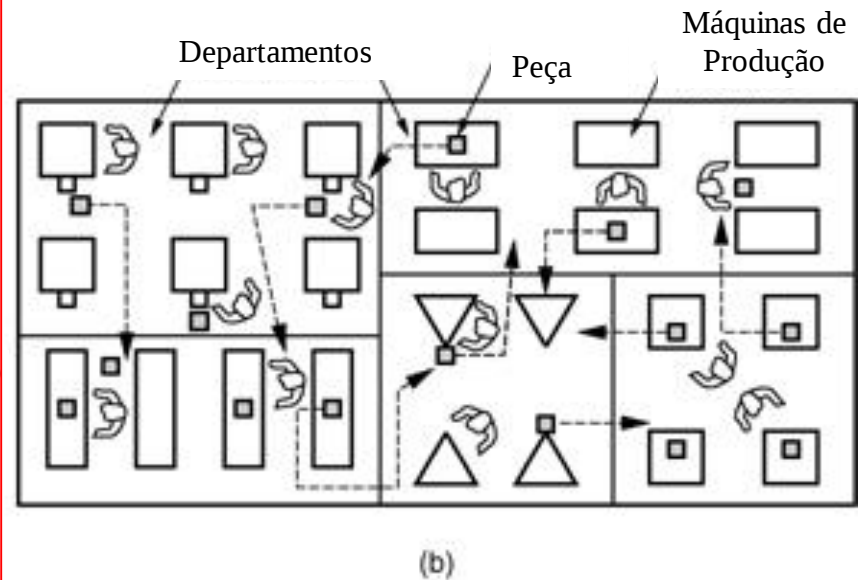
- Produto é complexo
 - Requer múltiplos processamentos ou operações de montagem
- As unidades de trabalho são estrategicamente posicionadas na linha para fabricar o produto
- As estações de trabalho e os equipamentos são projetados especificamente para maximizar a eficiência da produção

Tipos de Layout

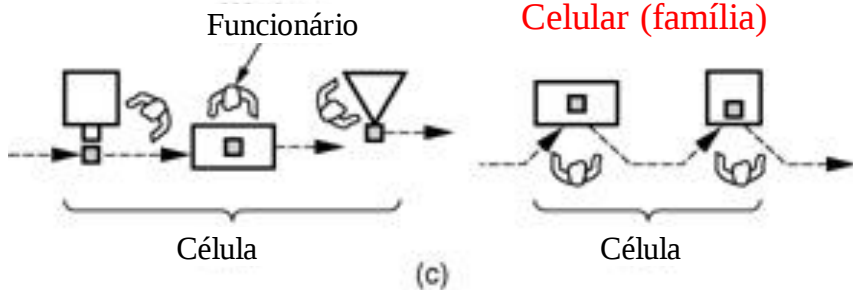
Posicional (fixo)



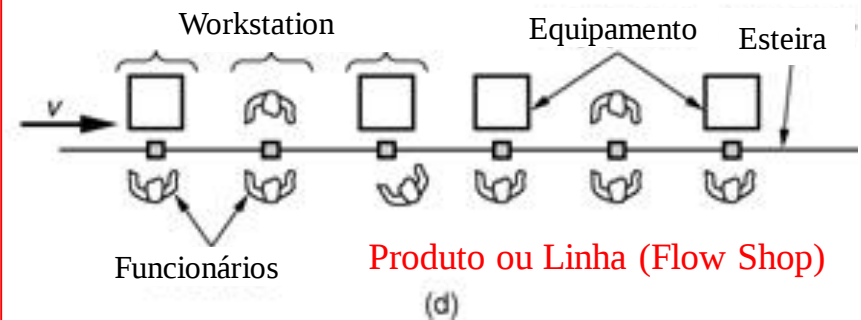
Processo ou Funcional (Job Shop)



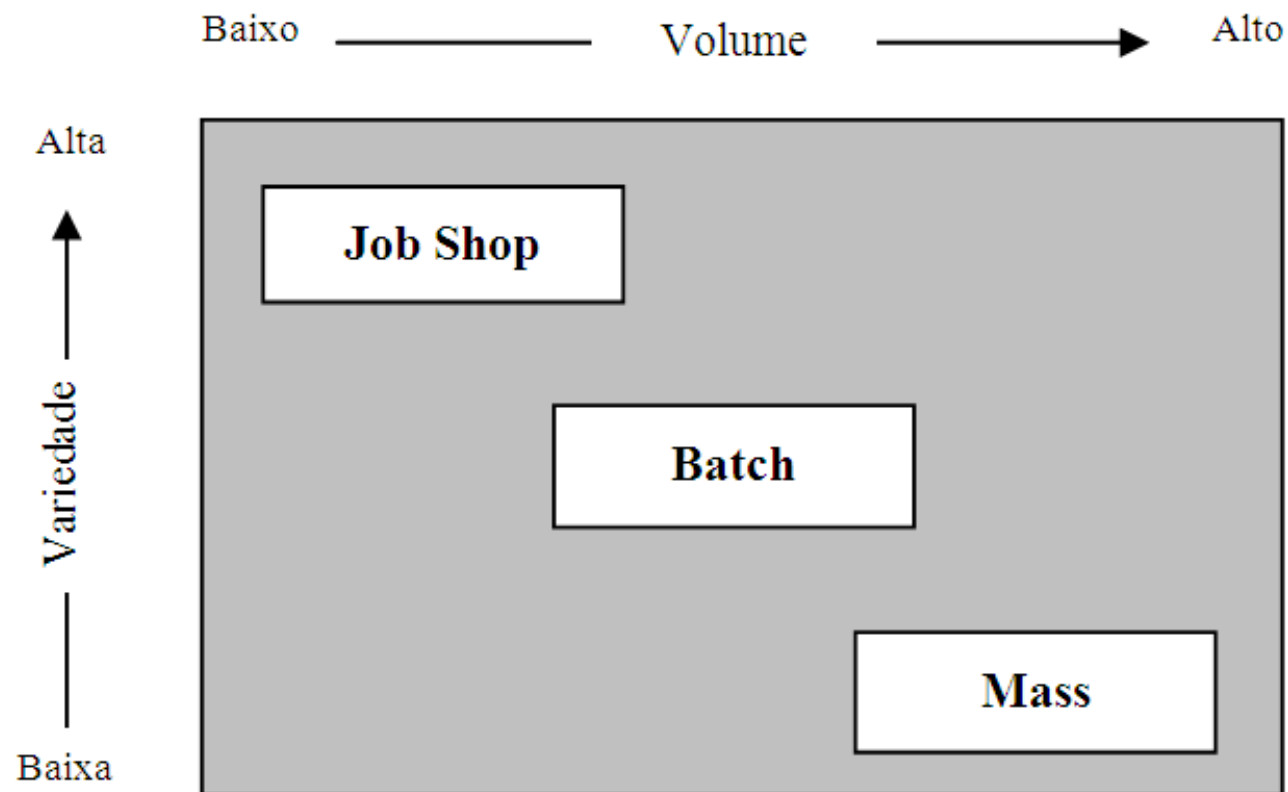
Celular (família)



Produto ou Linha (Flow Shop)



Escala Produtiva



Arranjo Físico (Layout)



Fluxo Intermitente

Baixo

Volume

Alto

Alta

Variedade

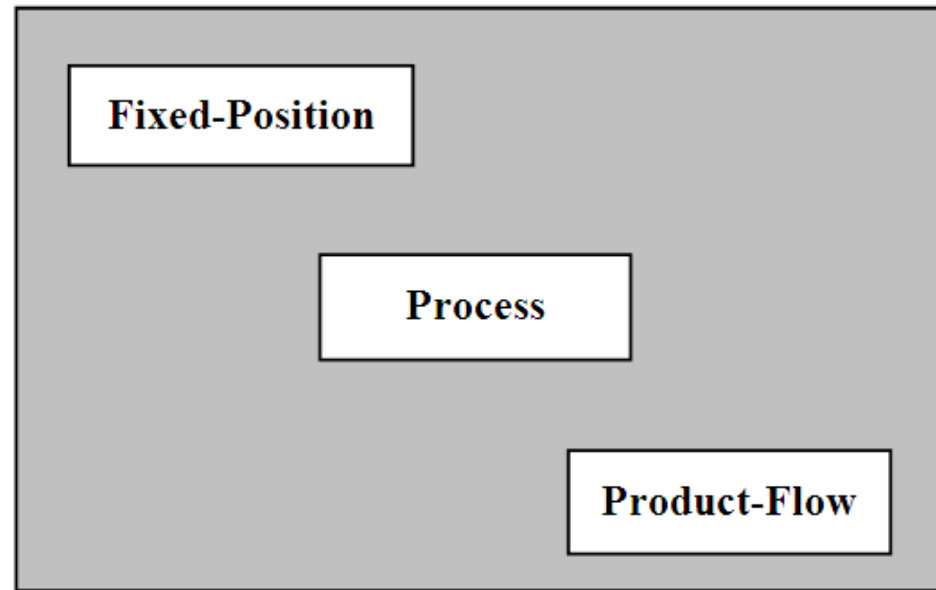
Baixa

Fixed-Position

Process

Product-Flow

Fluxo Contínuo





Sistemas de Apoio à Manufatura

Uma empresa deve se organizar para projetar os processos e os equipamentos, planejar e controlar a produção, e atender aos requisitos de qualidade do produto final

- É realizado pelos sistemas de apoio à manufatura: pessoas e procedimentos pelos quais uma empresa gerencia suas operações de produção
- Departamentos típicos:
 1. Engenharia de manufatura
 2. Planejamento e controle da produção
 3. Controle de qualidade

Visão Geral

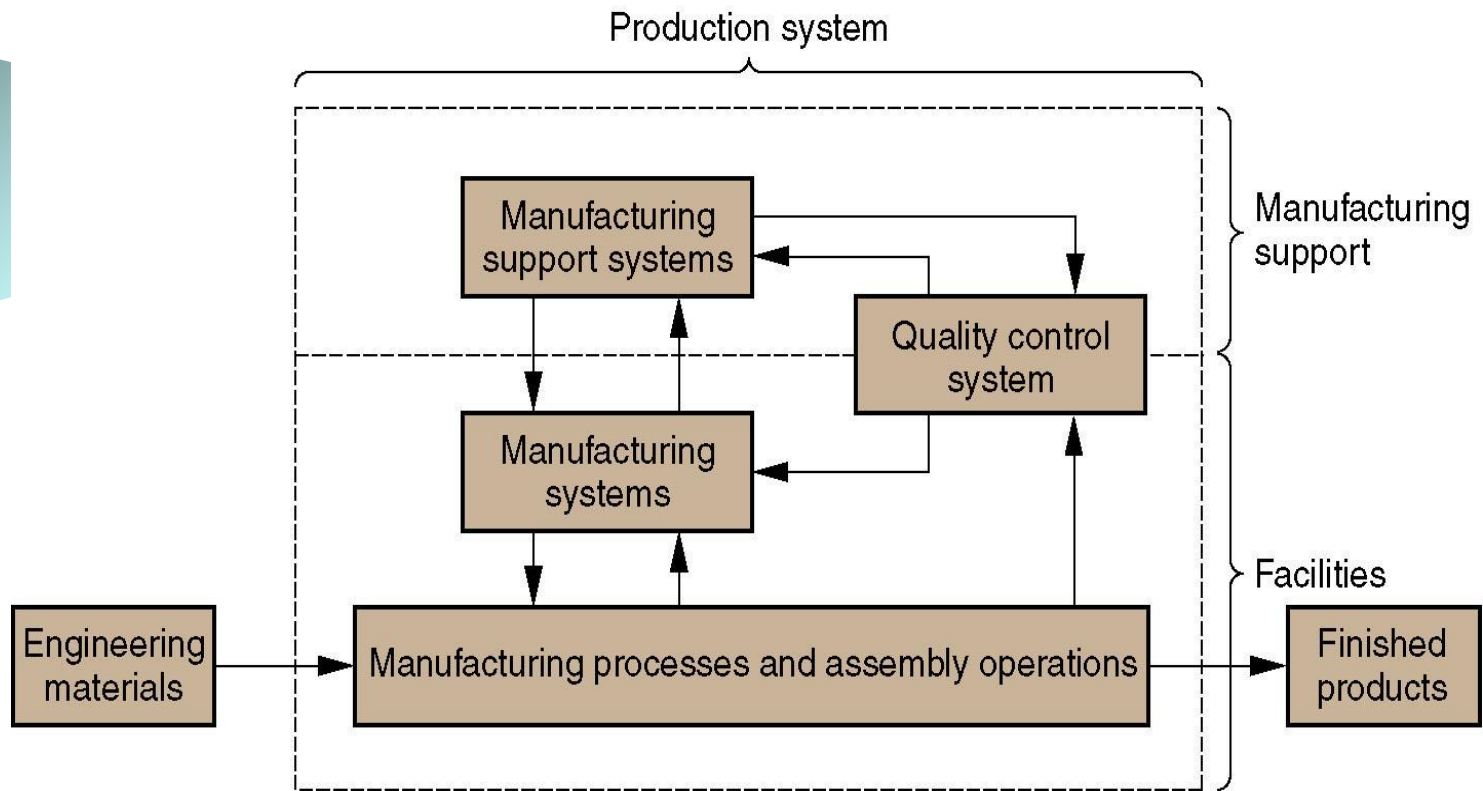
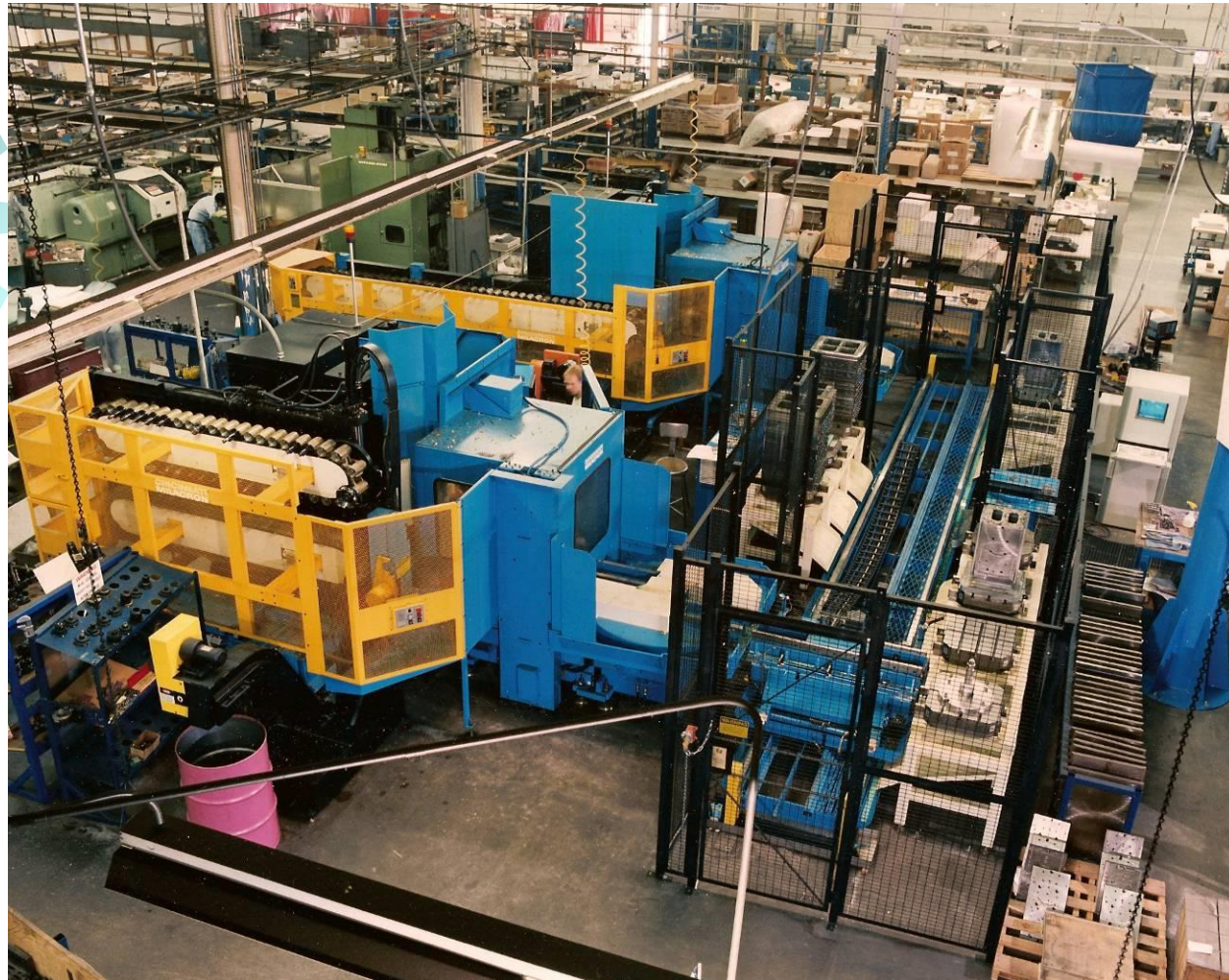


Figura 10: *Overview* do sistema de produção.

Célula de usinagem consistindo de dois centros de usinagem horizontais alimentados por sistemas de transporte de peças (paletes)



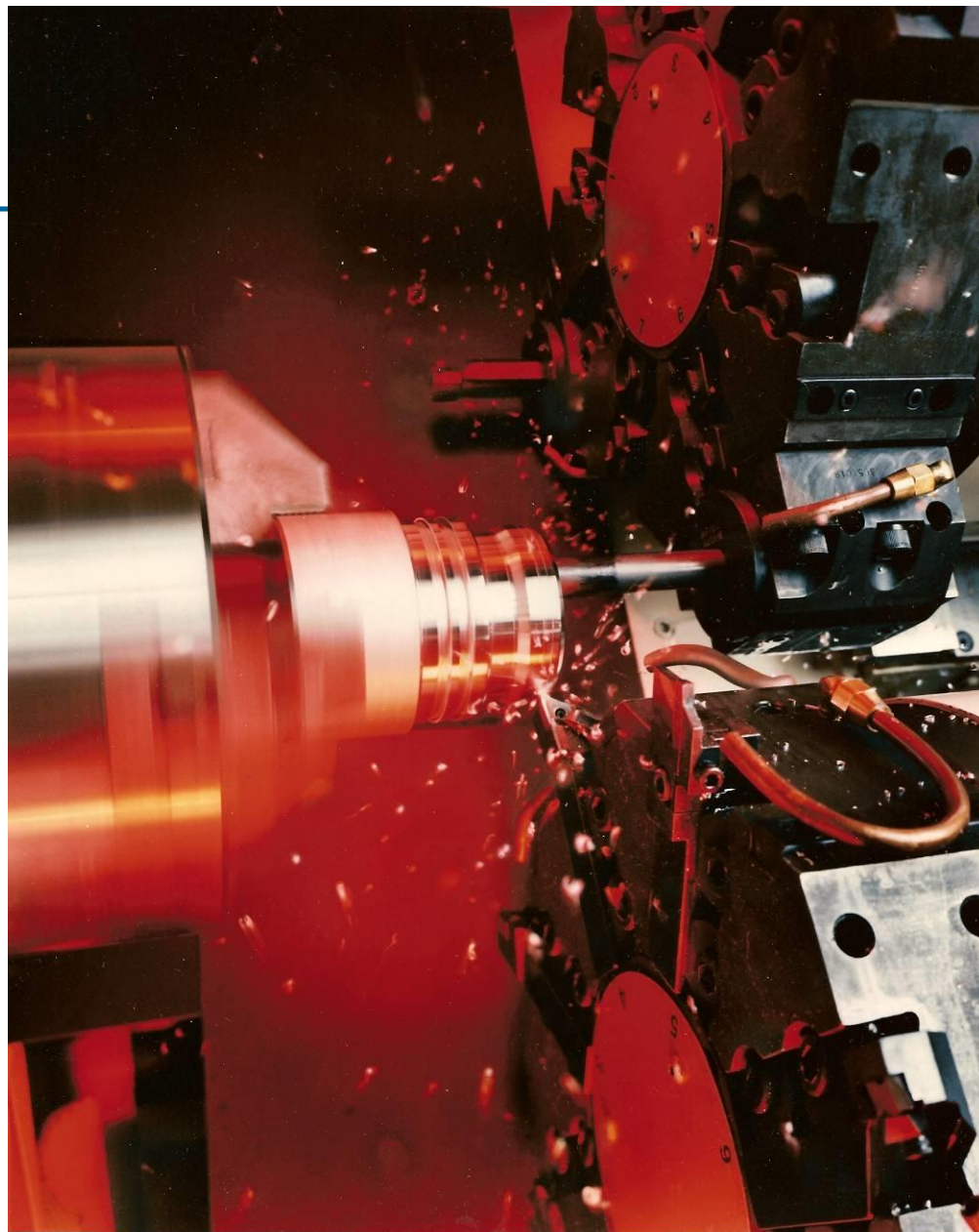


Braço robótico carrega e descarrega o centro de torneamento usando um sistema de garra

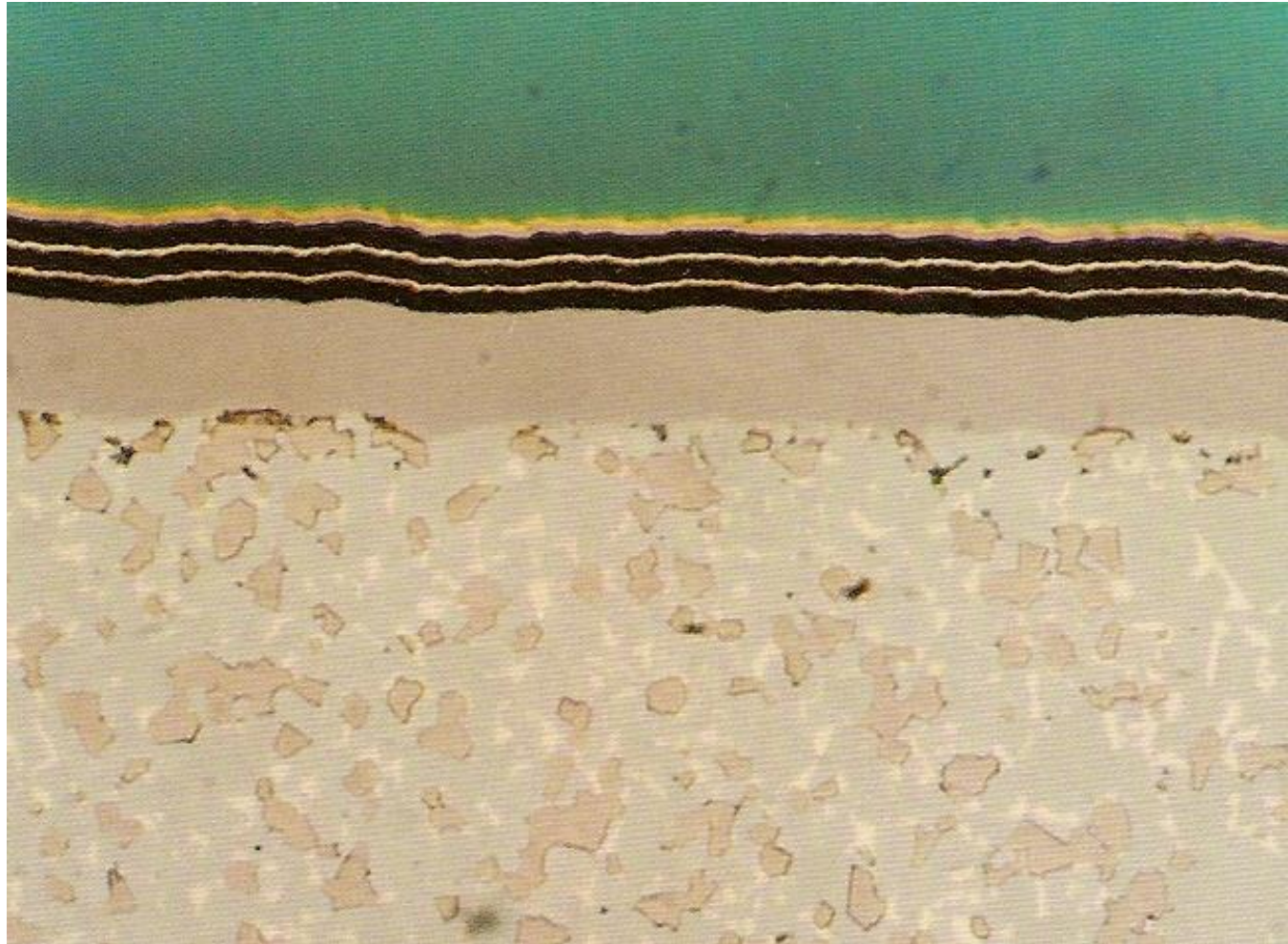




Torneamento CNC de material metálico



Fotomicrografia da seção transversal de uma ferramenta de usinagem constituída de carbeto de tungstênio (metal duro) revestida com nitreto de titânio e óxido de alumínio



Lote de *wafers* de silício entra no forno aquecido a 1000 °C durante a fabricação de circuitos integrados em condições de sala limpa



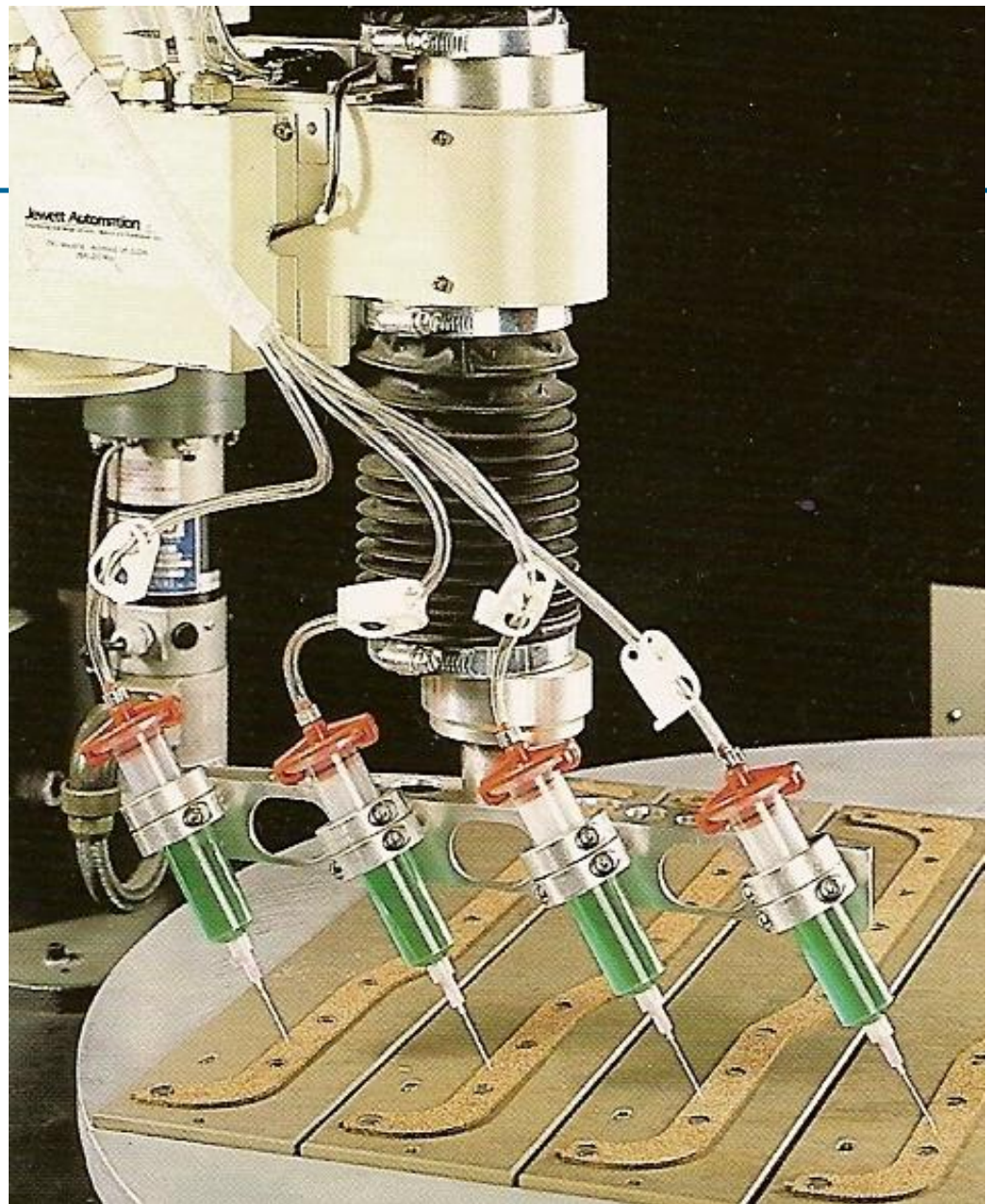


Soldagem a arco elétrico em tubo de aço



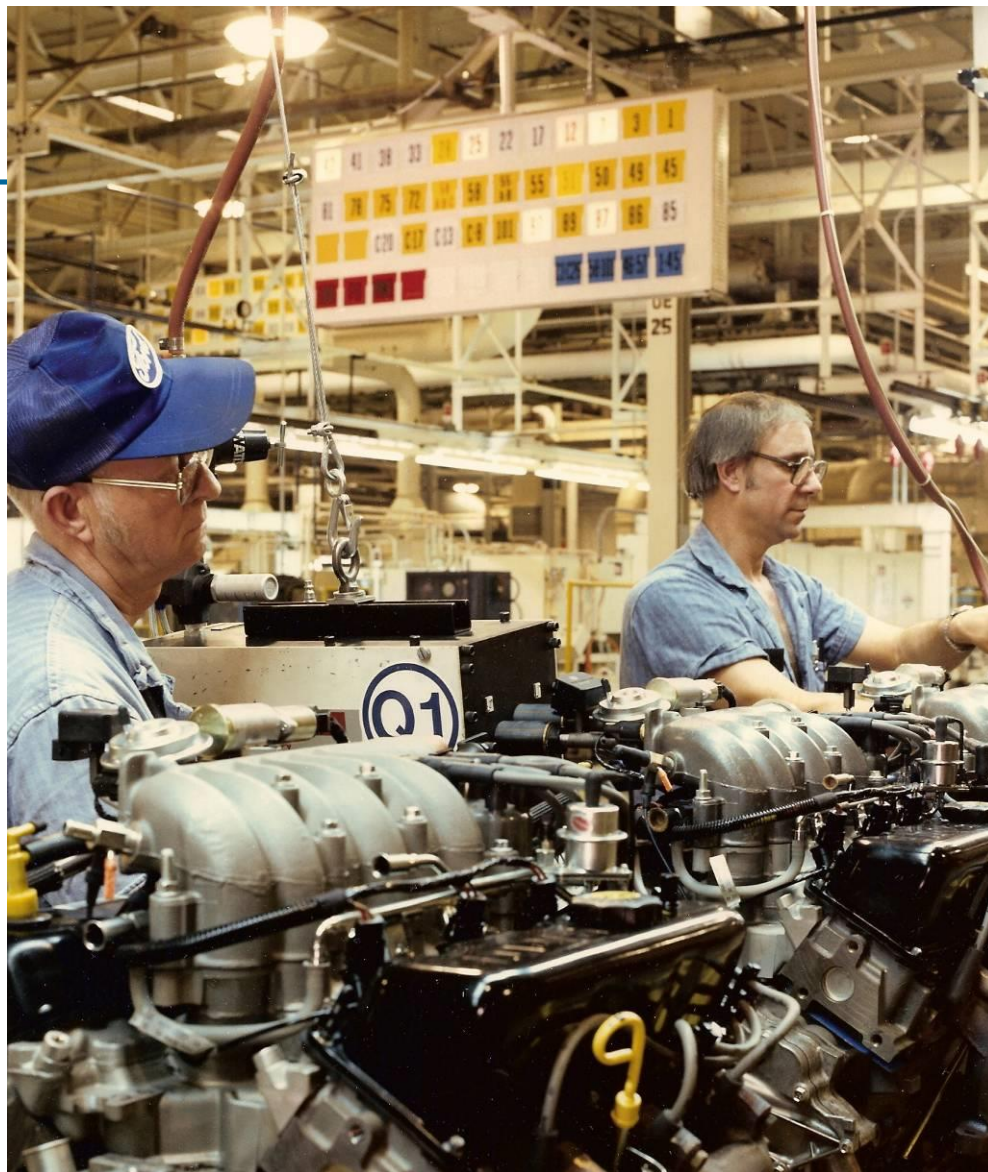


Deposição automatizada
de adesivo em
componentes antes da
montagem





Montagem de motor
automotivo na empresa
Ford





Operações de montagem da aeronave Boeing 777

