



FABRICAÇÃO AERONÁUTICA

Aeronautical Manufacturing

Componentes Metálicos/Metal Components



Preparado por/Prepared by
J. M. Lourenço da Saúde

Editado por/Edited by
Pedro V. Gamboa, 2014



Índice

Table of contents

Tecnologias produtivas em aeronáutica

Processos convencionais

- limpeza e protecções de superfície
- tratamentos orgânicos
- processos de deformação de chapa metálica

Processos não convencionais



Componentes metálicos
Metal components

FABRICAÇÃO
MANUFACTURING

Fabricação de peças simples
Processing operations

Montagens
Assy Operations

Enformação
Shaping Processes

Melhoria de propriedades
Property Enhancing Processes

Protecções de Superfície
Surface Processing operations

Ligações Permanentes
Permanent joining processes

Ligações mecânicas
Mechanical Fastening

Fundição, moldes
Casting, molding

Sinterização
Particulate processing

Deformação
Deformation processes

Corte por arranque de apar
Material removal

Tratamentos térmicos
Heat treatment

Granalhagem
Shot peening

Tratamentos orgânicos
Organic treatments

Tratamentos não orgânicos
Inorganic treatments

Outros tipos de protecções
Other types of protections

Limpeza de superfícies
Surface Cleaning

Soldadura
Welding

Brazagem
Brazing

Colagens
Adhesive bonding

Roscadas
Threaded fasteners

Métodos permanentes de ligação
Permanent fastening Methods



FABRICAÇÃO
MANUFACTURING

Fabricação de peças simples
Processing operations

Enformação
Shaping Processes

Deformação
Deformation processes

Corte por arranque de aparas
Material removal



Hydroforming



Unidade de estiragem
Stretching machine



Unidade de prensagem
Pressing machine

Componentes metálicos
Metal components



FABRICAÇÃO
MANUFACTURING

Fabricação de peças simples
Processing operations

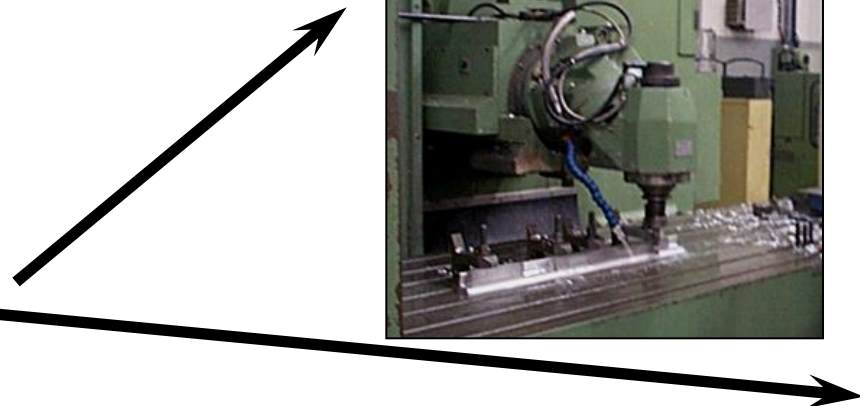


Fresadora CNC de 3 eixos
CNC 3 axes milling machine

Enformação
Shaping Processes

Deformação
Deformation processes

Corte por arranque de aparas
Material removal

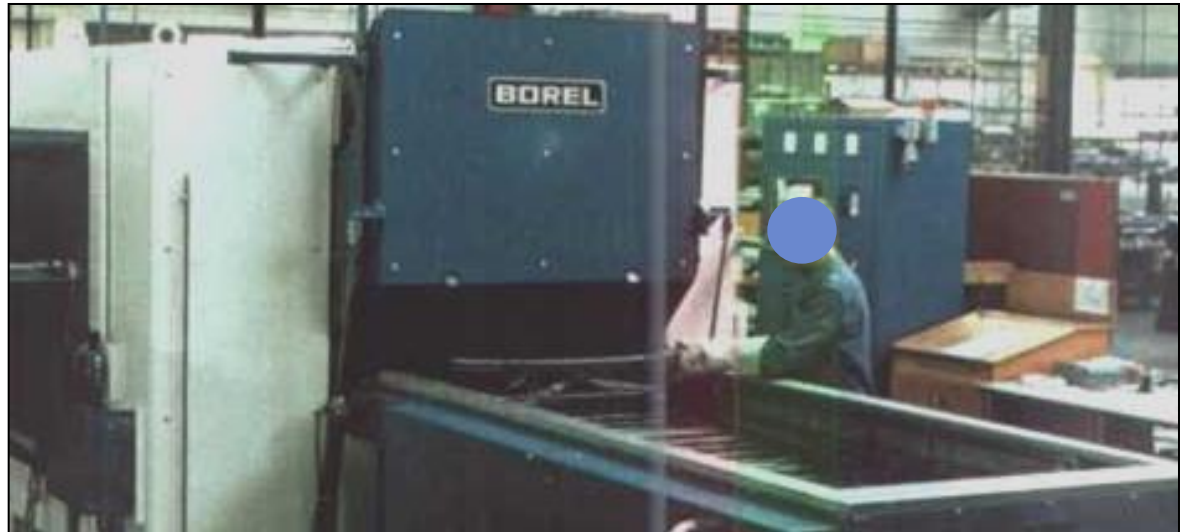
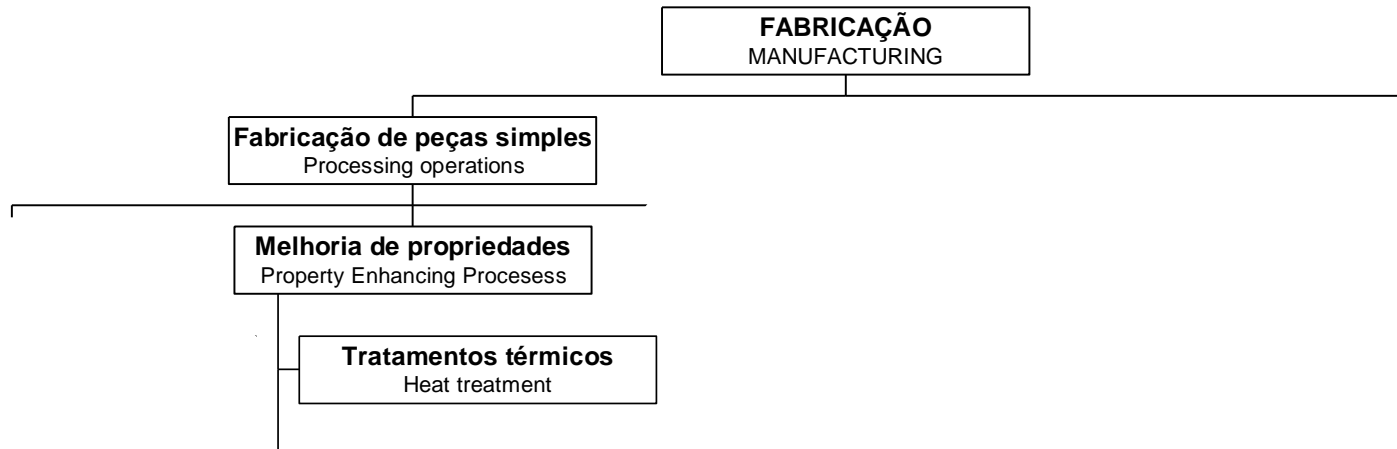


Fresadora CNC de 5 eixos de pórtico
CNC 5 axes milling machine gantry type

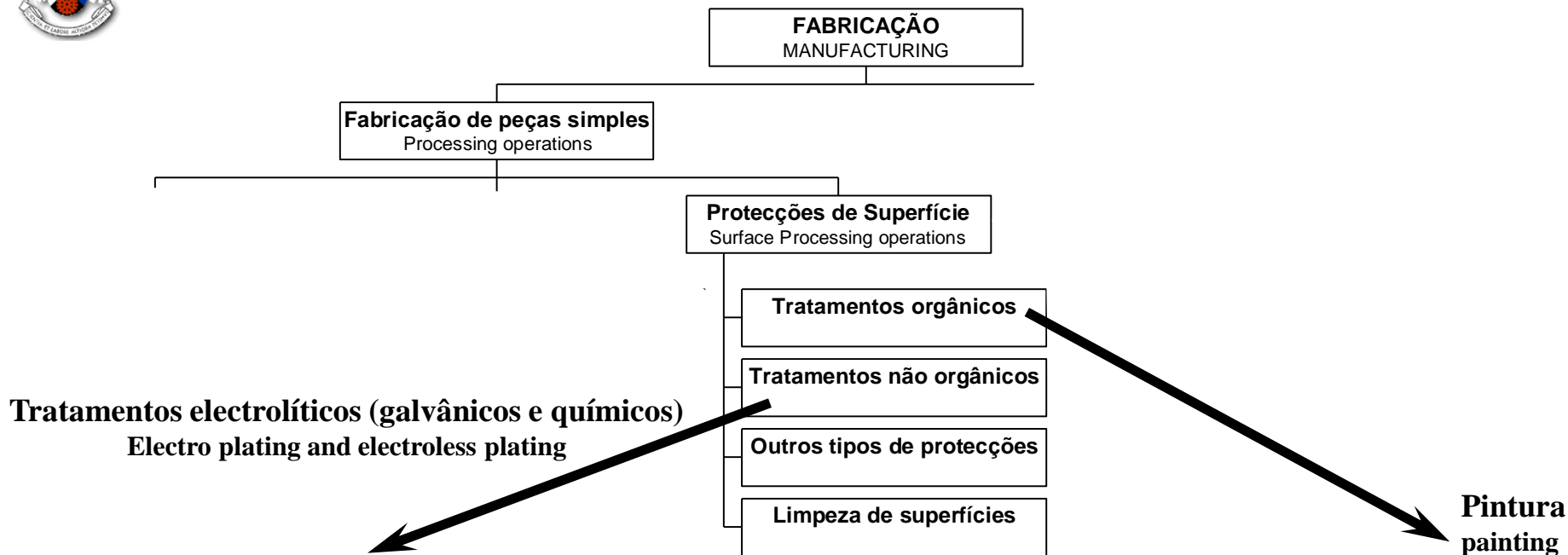
Unidade de recorte e furação
CNC router



Componentes metálicos
Metal components



Fornos de tratamentos térmicos
Heat treatment furnaces



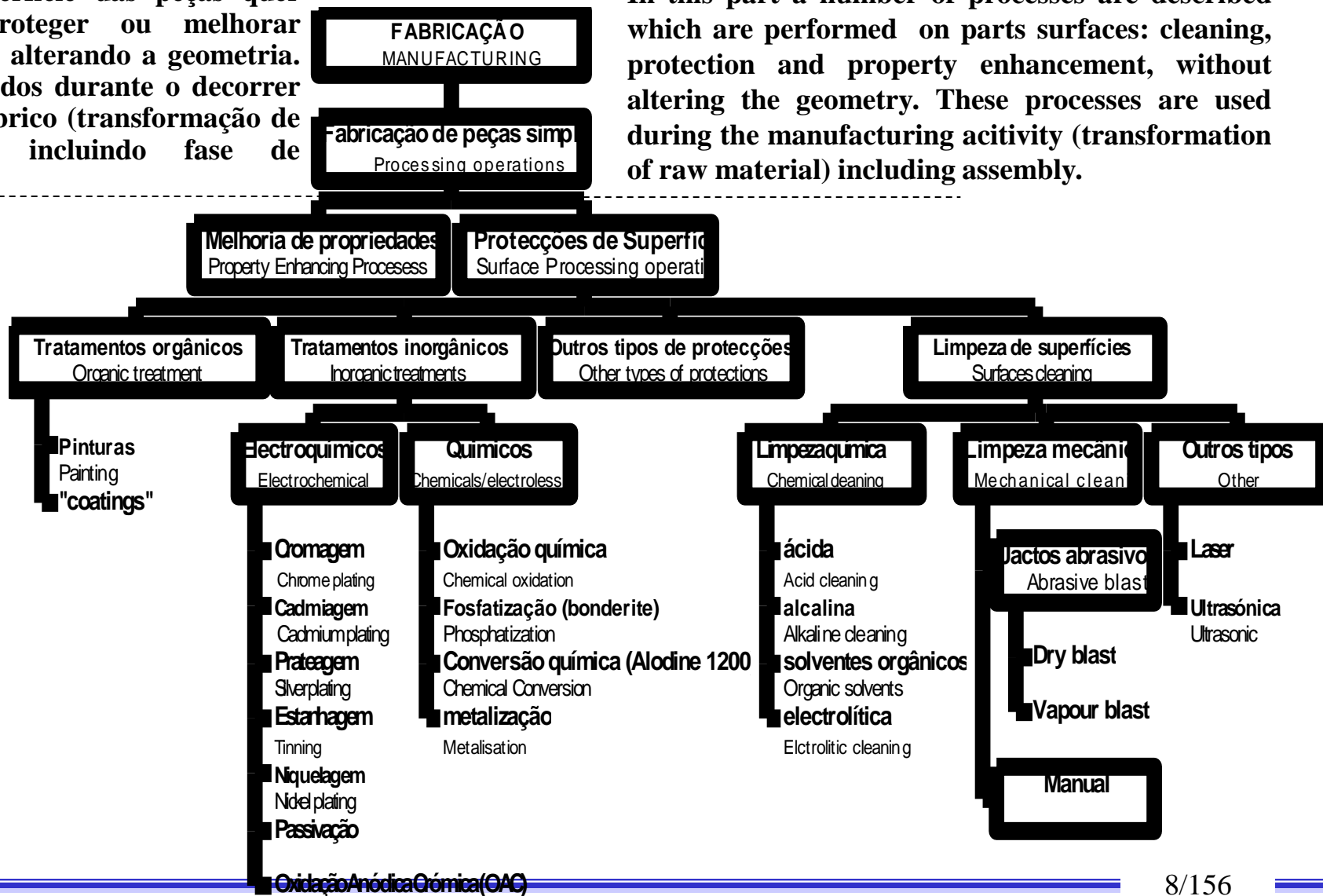


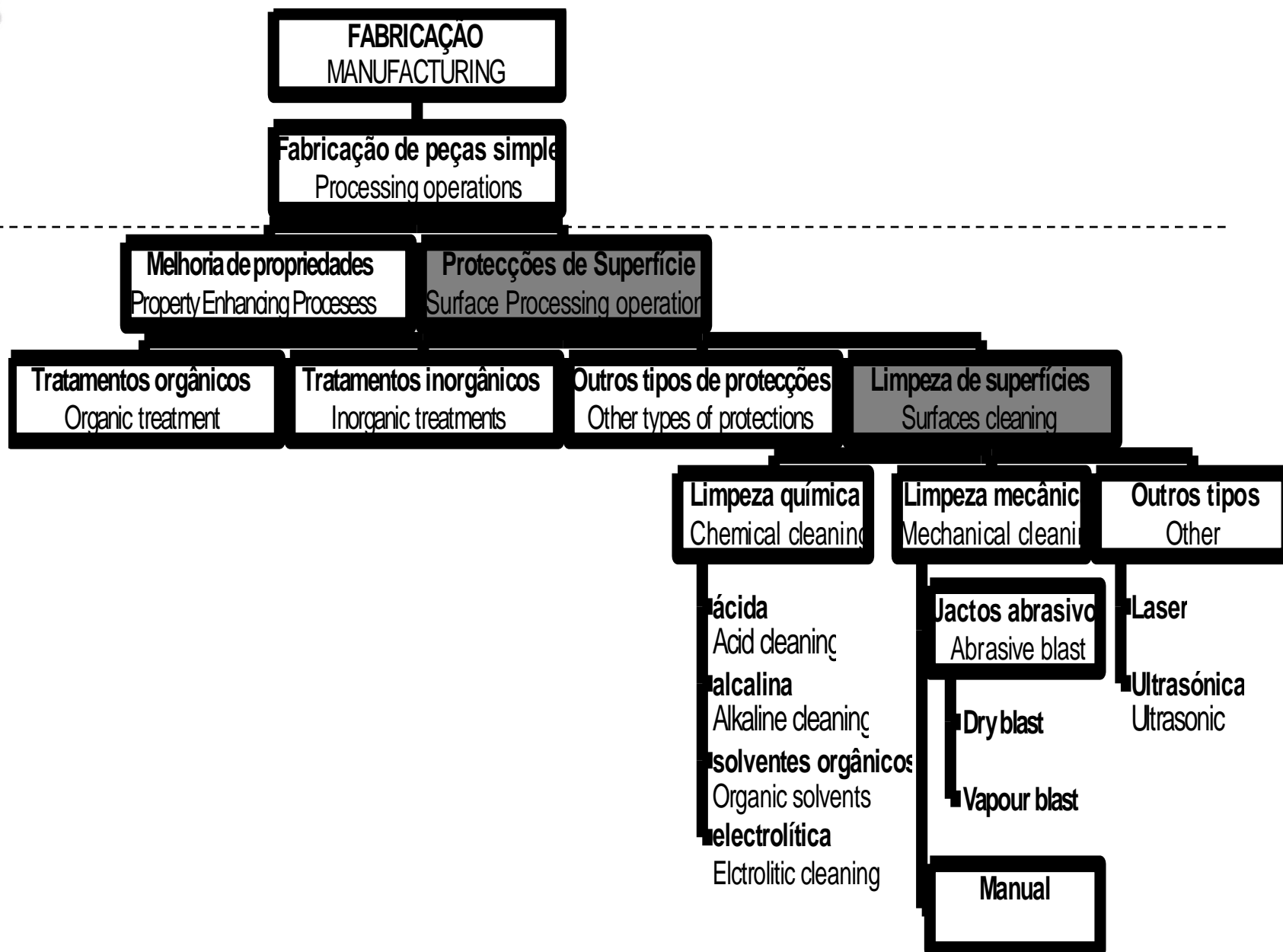
PROCESSOS CONVENCIONAIS – LIMPEZA E PROTECÇÕES DE SUPERFÍCIE

Cleaning & Surface protection

Nesta parte abordam-se vários processos aplicados na superfície das peças quer para limpar, proteger ou melhorar propriedades, não alterando a geometria. São processos usados durante o decorrer do processo de fabrico (transformação de matéria prima) incluindo fase de montagem.

In this part a number of processes are described which are performed on parts surfaces: cleaning, protection and property enhancement, without altering the geometry. These processes are used during the manufacturing activity (transformation of raw material) including assembly.







TRATAMENTOS DE SUPERFÍCIE -GENERALIDADES **SURFACE TREATMENTS - General**

Os tratamentos de superfície têm por objectivo

- (1) alterar o aspeto dos produtos;
- (2) permitir a preparação das superfícies para facilitar a aplicação de subsequentes processos;
- (3) regenerar superfícies degradadas por desgaste, erosão, corrosão
- (4) melhorar resistência à oxidação a altas temperaturas;
- (5) alterar as propriedades de resistência à luz;
- (6) melhorar as propriedades mecânicas (resistência à fadiga, dureza, ductibilidade);
- (7) melhorar as propriedades de resistência ao uso (atrito, desgaste, aderência, corrosão, etc.);
- (8) melhorar as propriedades eléctricas (conductibilidade, resistência, etc);
- (9) melhorar as propriedades térmicas;
- (10) melhorar as propriedades ópticas;
- (11) melhorar as propriedades magnéticas.

The surface treatments exist in order to:

- (1) Enhance product appearance;
- (2) Prepare surfaces for subsequent processing;
- (3) Rebuild surfaces worn, eroded or corroded.
- (4) Improve resistance to high temperatures oxidation;
- (5) Improve resistance to light;
- (6) Improve mechanical properties (fatigue, hardness, ductility);
- (7) Improve resistance to use (friction, wear, adherence, corrosion, etc)
- (8) Improve electrical properties (conductibility, resistance, etc):
- (9) Improve thermal properties;
- (10) Improve optical properties;
- (11) Improve magnetical properties.



Os processos de tratamento de superfície podem ser divididos em :

- **Preparação de Superfícies;**
- **Revestimentos;**
- **Tratamentos de Conversão;**
- **Tratamentos Estruturais.**

A PREPARAÇÃO DE SUPERFÍCIES é obrigatória em todos os casos em que as peças sejam submetidas a qualquer tipo de tratamento posterior, permitindo:

- **remover camadas de sujidade, matéria orgânica ou óxidos metálicos, de modo a melhorar o contacto entre a superfície da peça e o seu posterior revestimento;**
- **permitir a transformação subsequente (como polimento) quando se pretende reduzir a rugosidade da peça a tratar para melhorar, por exemplo as características de um depósito posterior;**
- **proteger a peça entre as etapas de fabrico o que se faz protegendo-a com um revestimento de um filme adequado.**

The surface treatments can be divided in :

- **Surface preparation;**
- **Coatings;**
- **Conversion treatments;**
- **Structural treatments**

THE SURFACE PREPARATION is essential in all the cases when parts are to be submitted to a further treatment allowing to:

- **Remove any layer of dirt, organic materials or metal oxides, thus improving the contact between bare material and the coating to be applied;**
- **Permit further transformation (like polishing) when roughness needs to be diminished to allow a better coating;**
- **Protect the parts during the production process with an appropriate layer of product that will prevent part from being contaminated.**



NOS REVESTIMENTOS, o material a depositar não reage quimicamente, ou reage moderadamente com o material da peça, a qual não sofre, por isso, modificações estruturais apreciáveis.

Os revestimentos podem ser obtidos por via química, por via electrolítica, por imersão ou por projecção de um material diluído num solvente (pintura).

NOS TRATAMENTOS DE CONVERSÃO há um transformação físico-química da camada superficial da peça, podendo haver modificações estruturais ou não, conforme a conversão seja mais ou menos difusa. As camadas de conversão obtêm-se por via química (Alodine 1200), por via electroquímica (Oxidação Anódica).

NOS TRATAMENTOS ESTRUTURAIS, a peça sofre alterações estruturais na superfície, as quais são geralmente induzidas por tratamento mecânico, térmico e por implantação iónica.

When using **COATINGS**, the material to be applied does not react chemically (ou reacts in a moderate way) with the material which does not suffer any appreciable structural modifications.

The coatings can be obtained through chemical deposition, electrolytic, immersion or projection of a material dissolved in a solvent (paint).

In the **CONVERSION TREATMENT** there is a physical and chemical transformation of the surface of the material, being possible to have structural modifications, depending on the level of the conversion diffusion. The conversion layers are obtain via chemical media (Alodine 1200) or electrochemical conversion (Anodic Conversion).

In the **STRUCTURAL TREATMENTS**, the part suffers modifications of its surface, being those induced by mechanical treatment and via ionic deposition.



Limpeza/Cleaning

A limpeza de peças é uma actividade essencial na medida em que as peças estão normalmente contaminadas seja com óleos/filmes protectores seja com sujidade ou outros contaminantes.

Desta forma, as peças carecem de limpeza (por várias vezes ao longo ciclo produtivo) a fim de:

- preparar a superfície;
- garantir a higiene do processo e desta forma as condições e a qualidade do trabalho;
- remover contaminantes que poderiam reagir com os produtos a aplicar;
- melhorar o aspecto das peças/produtos.

Na selecção do processo de limpeza vários factores deverão ter-se em conta:

- o tipo de contaminantes a remover;
 - : óleos e gorduras;
 - : partículas sólidas, e.g., pó, limalhas, etc;
 - : componentes de polimento;
 - : ferrugem/corrosão.
- o nível de limpeza pretendido;
- os produtos a usar para evitar reacções com o metal base a limpar.
- objectivo da limpeza;
- factores ambientais e de segurança;
- requisitos e custos de produção.

Cleaning is an essential activity because parts are normally contaminated with oil/grease, protecting films, dust or other contaminants.

As such, the parts require cleaning (various times along the production cycle) in order to:

- prepare the surface;
- ensure hygiene and safety of workers thus the conditions of work;
- remove contaminants which could react with the products to be applied;
- improve the aspect of parts/products.

Part of the cleaning selection process, a number of aspects must be taken into account:

- Type of contaminants to remove;
 - : oil, grease;
 - : solid particles, e.g., dust, metal chips;
 - : polishing compounds;
 - : rust/corrosion.
- level of cleaning desired;
- product to be used to avoid reactions with the substrate material to be cleaned;
- objective of cleaning;
- environmental and safety factors;
- Production and cost requirements.



Os processos químicos correntes de limpeza são os seguintes:

- Limpeza alcalina;
- Por emulsão;
- Por solventes;
- Ácida;
- Ultrasónica.

1. LIMPEZA ALCALINA:

Trata-se do processo mais generalizado, que como o nome indica engloba a utilização de produtos alcalinos para remover óleos, gorduras, cêras, incluindo vários tipos de limalhas (carbono, sílica, etc).

As limpeza alcalinas recorre a soluções em água de sais, como exemplo:

- hidróxido de Sódio (NaOH);
- hidróxido de potássio (KOH);
- carbonato de sódio (Na₂CO₃);
- borax (Na₂B₄O₇);
- incluindo fosfatos de sódio e de potássio combinados com dispersantes .

O processo de limpeza realiza-se mergulhando as peças (ou sujeitando-as a um spray) a temperaturas entre 50 a 95 °C. Depois da aplicação da solução alcalina as peças são lavadas em água corrente para remover resíduos alcalinos.

CHEMICAL CLEANING PROCESSES

The current chemical cleaning processes are:

- Alkaline cleaning;
- Emulsion cleaning;
- Solvent cleaning;
- Acid cleaning;
- Ultrasonic.

1. ALKALINE CLEANING:

It is the most widely used process as its name indicates employs alkali to remove oils, greas.

The alkali cleaning uses water with salts solution:

- Sodium Hydroxyde (NaOH)
- Potassium Hydroxyde (KOH);
- Sodium Carbonate (Na₂CO₃);
- Borax (Na₂B₄O₇);
- phosphates of sodium and potassium combined with dispersants.

The cleaning process is carried out by immersion (or using spray) at temperatures between 50-95 °C.

After application of the alkali parts are washed in lceaned water to remove any contaminants.



1. LIMPEZA ALCALINA (cont):

Limpeza electrolítica é um processo similar à limpeza alcalina em que uma corrente contínua de 3V a 12V é aplicada à referida solução.

Com isso consegue-se a formação de bolhas gasosas à superfície da peça a limpar, provocando “scrubbing” ajudando na remoção adicional dos contaminantes.

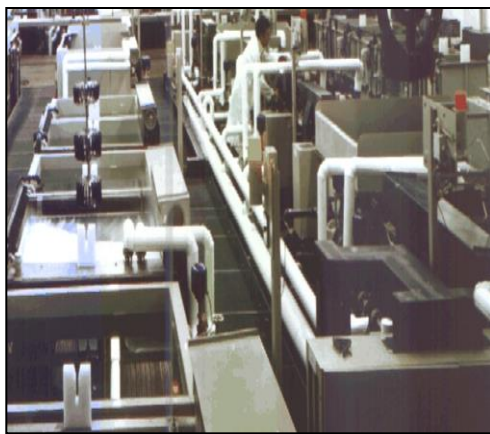
Existem 3 tipos de limpeza electrolítica:

- limpeza anódica em que a peça a limpar é carregada positivamente e as bolhas formadas são de O_2 ;
- Limpeza catódica em que a peça a limpar é carregada negativamente e as bolhas formadas são de H_2 ;
- Limpeza com polarização periodicamente invertida (na peça a limpar).

2. LIMPEZA POR EMULSÃO

Este tipo de limpeza recorre a solventes orgânicos (óleos) que se dispersam numa solução aquosa.

O uso de emulsões adequadas (sabões) resulta num produto de limpeza de 2 fases, cuja função é emulsionar os contaminantes à superfície das peças. Este processo de limpeza pode ser usado tanto em metais como em não-metais. Todavia tem que ser encerrado com uma limpeza alcalina para eliminar resíduos orgânicos.



1. ALKALINE CLEANING (cont) :

The electrolytic cleaning is similar process to the alkaline cleaning where direct current of 3-12 V is applied to generate gas bubbles inside the solution causing scrubbing action that aids removal of contaminants.

There are 3 types of electrolytic cleaning:

- anodic electrocleaning in which the part is positively charged and the scrubbing action is caused by release of O_2 at the part surface.
- cathodic electrocleaning in which the part is negatively charged and the scrubbing action is caused by release of H_2 at the part surface.
- Periodic reversal electrocleaning in which polarity is reversed several times during cleaning action.

2. EMULSION CLEANING

This type of cleaning uses organic solvents (oils) dispersed in aqueous solution. The use of suitable emulsifiers (soaps) results in a two-phase cleaning fluid (oil in water) which functions by dissolving or emulsifying the contaminants. This can be used for metal and non-metal parts.

However it must be followed by alkaline cleaning to remove organic solvents.



3. LIMPEZA POR SOLVENTES

Trata-se de um processo de limpeza assente na limpeza por solventes químicos, os quais são aplicados manualmente, por imersão, por vaporização (spray) ou sujeitando as peças a ambiente de vapor dos solventes. Os solventes mais comuns são normalmente à base de cloro ou fluor, sendo os mais usados:

- Tricloroetileno (C_2HCl_3);
- Percloroetileno (C_2Cl_4);
- 1,1,1-tricloroetano (CH_2Cl_2).

O ponto de ebulição deste tipo de solventes varia entre 40°C a 120°C.

Este tipo de produtos é potencialmente perigoso para o meio ambiente e para as pessoas, o que significa que o seu uso deve ser feito de forma adequada.

4. LIMPEZA ÁCIDA

Tal como nos processos anteriores a limpeza ácida pode ser feita de forma manual, com aplicação de spray ou em banho ácido, podendo ser realizado à temperatura ambiente ou a temperaturas elevadas.

Os fluidos de limpeza mais comuns são soluções ácidas normalmente combinadas com solventes, e.g., miscíveis em água. Os ácidos mais comuns usados são o:

- clorídrico (HCl),
- nítrico (HNO_3),
- fosfórico (H_3PO_4),
- sulfúrico (H_2SO_4)

3. SOLVENT CLEANING

This type of process is based on the dissolution of oils and greases by means of a chemical element.

The application of the chemicals include wiping, immersion, spraying and vapour degreasing.

The vapour degreasing is an important process using hot vapour of chlorinated or fluorinated solvents to remove the contaminants.

The principal solvents are:

- Trichloroethylene (C_2HCl_3);
- Perchloroethylene (C_2Cl_4);
- 1,1,1-trichloroethane (CH_2Cl_2);

Their boiling points range from 40°C to 120°C.

All these solvents are potential dangerous for environment and humans, meaning that use and disposal must be done properly.

4. ACID CLEANING

As in similar processes application of acid cleaning can be made wiping, immersion, spraying, at ambient or elevated temperatures. Common cleaning fluids are acid solutions combined with solvents (water-miscible), being the most common acids the following:

- Hydrochloric (HCl),
- Nitric (HNO_3),
- Phosphoric (H_3PO_4),
- Sulfuric (H_2SO_4)



5. LIMPEZA ULTRA-SÓNICA

Este tipo de processo combina a utilização da limpeza química com vibração do meio por modo a tornar mais eficiente o processo de remoção de contaminantes.

O líquido de limpeza é normalmente uma solução com agentes alcalinos.

O mecanismo de limpeza ultra-sónico é o seguinte, em termos gerais:

- um gerador de frequência (25-40 kHz) provoca a vibração do meio com amplitude suficiente para causar cavitação, formação de bolhas de vapor de baixa pressão;
- À medida que ondas vibratórias se deslocam no seio do líquido (65-85°C) devido ao diferencial de pressão, a seguir à região de baixa pressão sucede uma de alta pressão, o que leva à implosão das cavidades, desta forma produzido uma onda de choque capaz de remover as partículas contaminantes.
- Este processo repete-se ciclicamente, por efeito da acção do gerador tornando o processo de limpeza eficaz.

5. ULTRASONIC CLEANING

USC combines chemical cleaning with mechanical agitation of the cleaning fluid thus providing effective method for removing surface contaminants.

The cleaning fluid is generally an aqueous solution containing alkaline detergents.

The cleaning mechanism is the following:

- The mechanical vibration is produced by high-frequency vibrations (25-40 kHz) of sufficient amplitude to cause cavitation, formation of low pressure vapour bubbles or cavities.
- As the vibration wave passes a given point in the liquid (65-85 °C) , the low-pressure region is followed by a high-pressure front that implodes in the cavities, thereby producing a shock wave capable of penetrating contaminant particles adhering to the part surface.
- This rapid cycle of cavitation and implosions occurs throughout the liquid thus making the USC effective in simple or complex shapes.



PROCESSOS MECÂNICOS DE LIMPEZA **E DE** **PREPARAÇÃO DE SUPERFÍCIES**

Os processos mais comuns de limpeza de peças incluem limpeza em meio seco e húmido, recorrendo a jactos abrasivos (dry blast e wet blast).

O processo mais conhecido é o de limpeza por jacto de areia (sandblasting) usando sílica (SiO_2). Todavia existem outros agentes de limpeza, e.g., óxido de alumínio (Al_2O_3), bem como elementos mais macios como é o caso do nylon e de caroço de fruta. Os elementos são projectados a partir de ar comprimido ou força centrífuga.

Shotpeening é um processo de projecção de materiais (metálicos ou de outra natureza) com o fim de induzir tensões de compressão à superfície de peças. Embora tenha objectivo distinto da limpeza, acaba no final também por ter efeito semelhante.



Equipamentos tipo de limpeza
Example of mechanical equipments

«----- Dry blast

Wet blast-----»

MECHANICAL CLEANING PROCESSES **AND** **SURFACE PREPARATION**

Dry blast and wet blast are the most common processes to mechanically clean parts.

The most well know process is sandblasting using grits of sand (SiO_2).

However other media agents exist, such as Aluminium oxide (Al_2O_3), as well as pther soft elements like nylon and crushed nut shells. The media is propelled using compressed air or cenfiugal forces.

Shotpeening is process where metal or other elements are projected against at a metallic surface with the effect of inducing compressive stresses into the surface layers.





DIFUSÃO E IMPLANTAÇÃO DE IÕES

A difusão de iões é um processo de alteração das características dos materiais através da difusão de átomos para endurecer a superfície ou melhorar a resistência ao desgaste ou corrosão.

São exemplos de difusão iónica, cementação (pelo carbono), nitruração, carbo-nitruração.

Vários tipos de elementos podem ser adicionados à superfície, a temperaturas de difusão que variam entre 900°C - 1200°C, valor que determina a profundidade da penetração que pode ir desde 0,025mm até 1mm.

A implantação de iões é um processo alternativo ao anterior, segundo o qual iões são projectados num jacto de elevada energia para a superfície criando uma camada espessa.

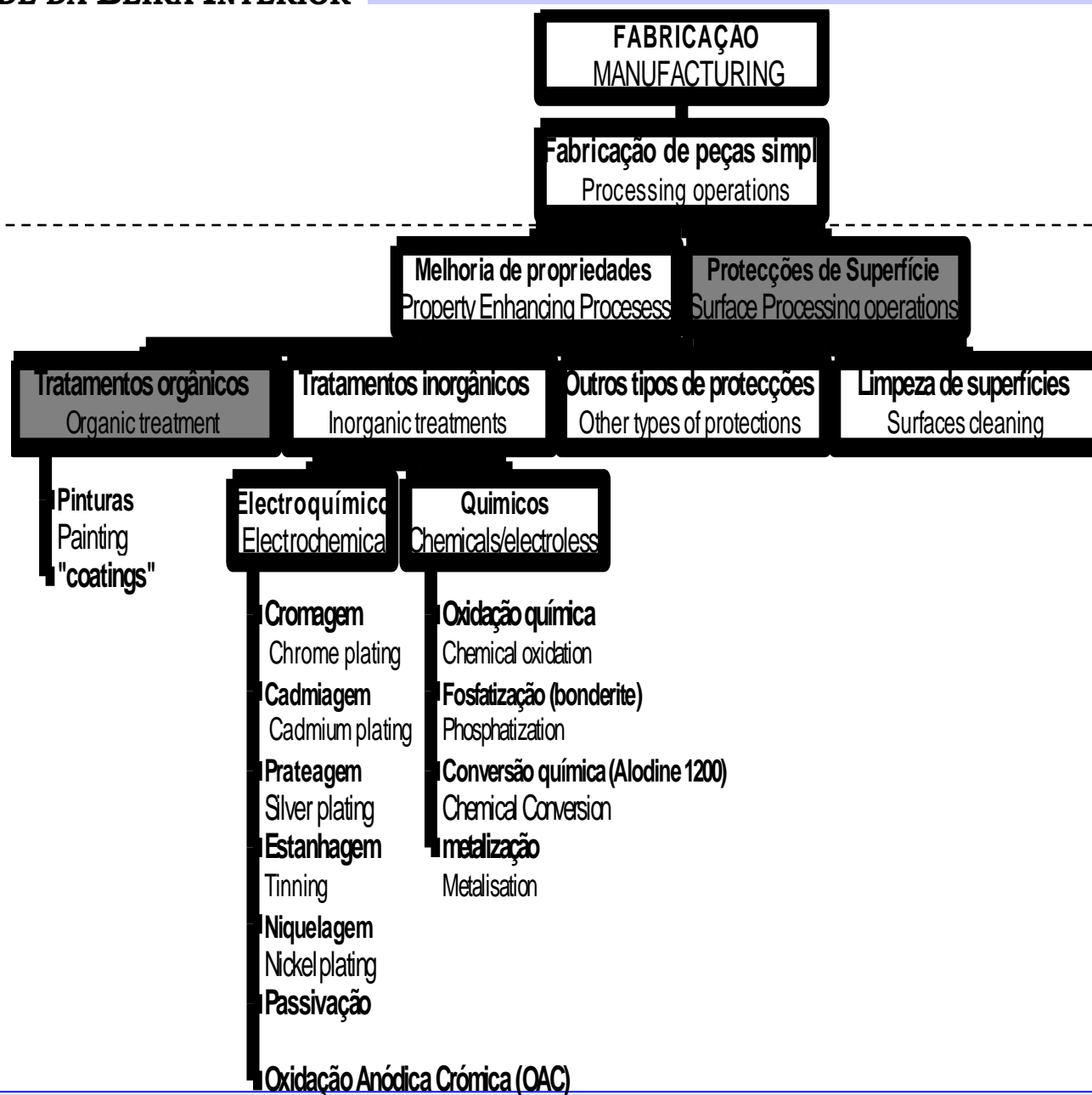
DIFFUSION AND ION IMPLANTATION

Ion diffusion is a process aimed to alter the surface characteristics through the diffusion of atoms to harden the surface of materials.

Carburizing (using carbon), nitriding and carbonitriding are typical examples of ion diffusion whose objective is to harden the surface in order to improve resistance to wear as well as corrosion.

Ion diffusion elements are added to surface at temperature ranging from 900-1200 °C, value that determines the level of depth to which ion will penetrate the surface, which may range from 0,025 mm to 1 mm.

Ion implantation is an alternative process to diffusion. This process includes projection of ions using a high energy beam of ionized particles.





TRATAMENTOS ORGÂNICOS **ORGANIC TREATMENTS**

Os tratamentos orgânicos são compostos de polímeros e resinas, obtidos de forma natural ou produzidos sinteticamente, quase sempre disponibilizados sob a forma de líquidos (ou pós) que secam e/ou endurecem sob a forma de camadas finas (filmes) sob o material base.

Os revestimentos orgânicos contêm os:

- elementos de ligação (binders), os polímeros (fixadores/aglomerantes);
- os pigmentos de coloração (dyes/pigments),
- solventes para diluir os polímeros;
- Aditivos.

Os binders (fixadores/aglomerantes) incluem os polímeros que dão as características ao revestimento, como resistência, aderência. Os binders mais comuns são as resinas de poliésteres, poliuretanos, epóxi, acrílicas e celulósicas.

Os pigmentos são elementos de coloração insolúveis nos “binders”.

Os solventes são usados para dissolver os *binders*, sendo os mais comuns materiais alifáticos e aromáticos, e.g., alcóois, ésteres, acetonas e solventes clorados.

The organic coatings are made of polymers and resins, produced either synthetically or naturally, formulated to be applied as liquid (or powder) that dry or harden as thin surface films.

The organic coatings are made of:

- a binder made of polymers;
- dye /pigments that give the colour;
- solvents that act like a vehicle.
- additives.

The binders include polymers that give the characteristics to the surface of the material, such as, strength and adherence. The most common binders are resins of polyesters, polyurethanes, epoxies, acrylics and cellulose.

The dyes/pigments give the coloration to the coating and are insoluble in the binder.

The solvents are used to dissolve the binders, being the most common aliphatic and aromatic hydrocarbon, e.g., alcohol, esters, ketones and chlorinated solvents.

Os aditivos são elementos que conferem ao revestimentos propriedade adicionais, e.g.,

- fungicidas,
- espessantes,
- catalizadores para promover as ligações químicas cruzadas,
- estabilizadores de calor e luz;

The additives which are products that provide additional properties to the coating, include, among others:

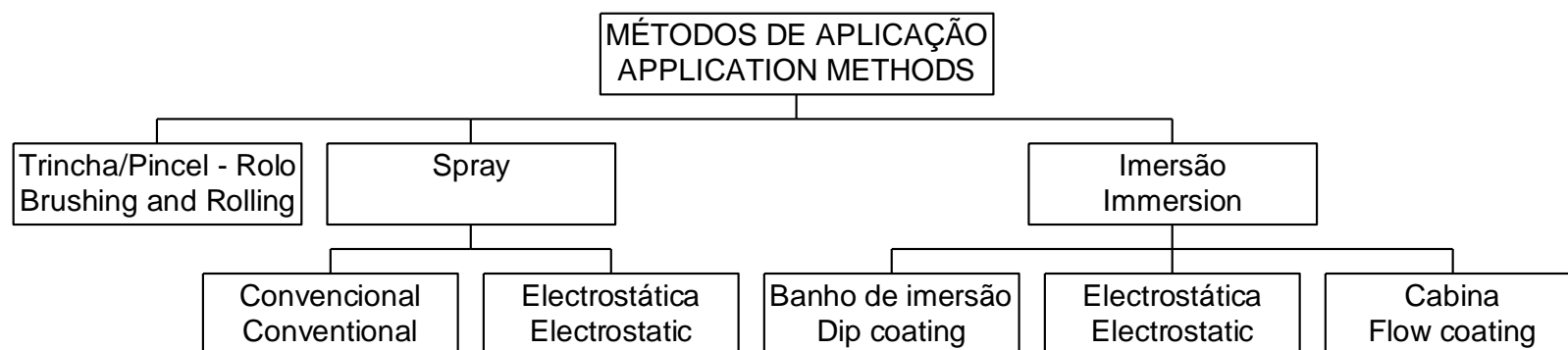
- fungicides;
- thickeners;
- catalysts to promote cross-links;
- heat and light stabilizers.

Este tipo de ingredientes permite obter diferentes tipos de revestimentos, e.g., tintas, lacas, vernizes.

These type of ingredients permit to obtain various types of coatings, that is, paints, lacquers and varnishes.

Os métodos actuais de aplicação de revestimentos são os seguintes:

The current methods related to coating applications are the following:



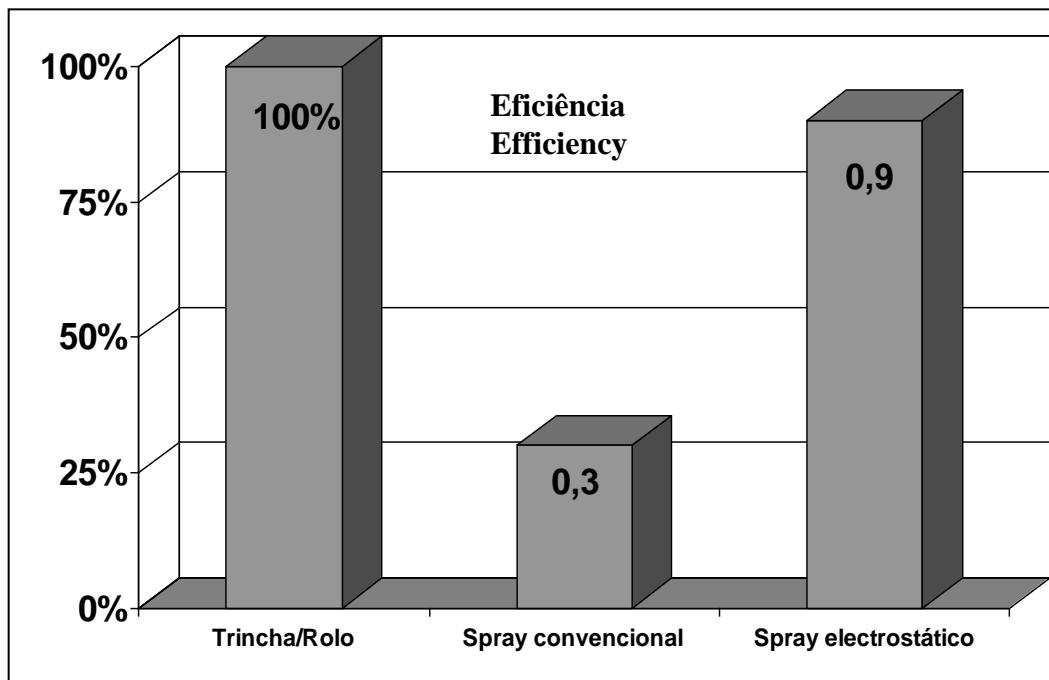


Cada um dos métodos de aplicação do revestimento apresenta valores de eficiência distintos, isto é, a razão entre o revestimento vertido sobre a superfície e o que efectivamente adere.

Each of the application methods have different efficiency values, that is, the coating supplied vs the actual value deposited.

O gráfico a seguir apresenta valores típicos de eficiência para aplicação de revestimentos (pintura).

The picture below exhibits the typical values of the efficiency related to the coating processes (painting).

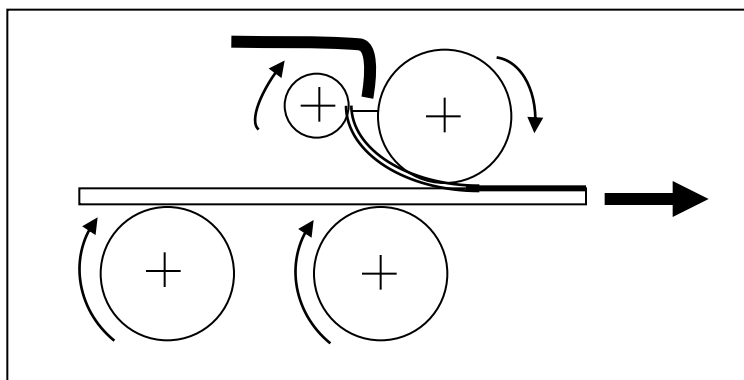


APLICAÇÃO COM TRINCHA/ROLO

É o processo mais comum de aplicação de revestimentos com uma eficiência da ordem de 100%. É um processo para poucos volume de trabalho excepto na aplicação por rolo que permite elevada produtividade.

BRUSHING AND ROLLING

This type of process has an efficiency close to 100%. The brushing process has a low productivity level while the rolling process can reach high values.



**PROCESSO DE APLICAÇÃO POR ROLO
ROLLING PROCESS SCHEMATICS**

DEPOSIÇÃO POR SPRAY

A deposição por spray é um processo de grande produtividade em que a deposição é uniforme, embora de eficiência baixa. Todavia, é possível aumentar recorrendo a deposição electrostática (como se observa em pintura de aeronaves), podendo os valores ascender a cerca de 90%.

SPRAY DEPOSITION

Spray deposition is a high effectivity process where material deposition is very uniform although with low efficiency.

However it is possible to increase it if electrostrastic deposition is used (like in aircraft painting), being possible to reach 90%.



IMERSÃO

Aplicação de revestimentos engloba:

- banho por imersão;**
- banho electrostático;**
- Aplicação em cabina.**

A eficiência de todos estes processos é elevada na medida em que tratando-se de imersão com reaproveitamento não existe desperdício de revestimento.

SECAGEM E CURA

Uma vez aplicado o revestimento este deve ser convertido de líquido em sólido.

O termo secagem corresponde a esta conversão a qual envolve na maior parte dos casos a evaporação dos solventes que compõem o revestimento. Todavia para garantir que o revestimento é durável é necessário conversão adicional: cura.

A cura envolve alterações químicas na resina orgânica envolvendo polimerização ou ligações cruzadas para endurecer o revestimento.

IMERSION

The application of coatings using this process includes:

- Dip coating;**
- Electrostatic Dip Coating;**
- Flow Coating.**

The efficiency of these process is high, because the coating not used is covering the all the surface as well as due to the nature of the process it is recovered (close loop).

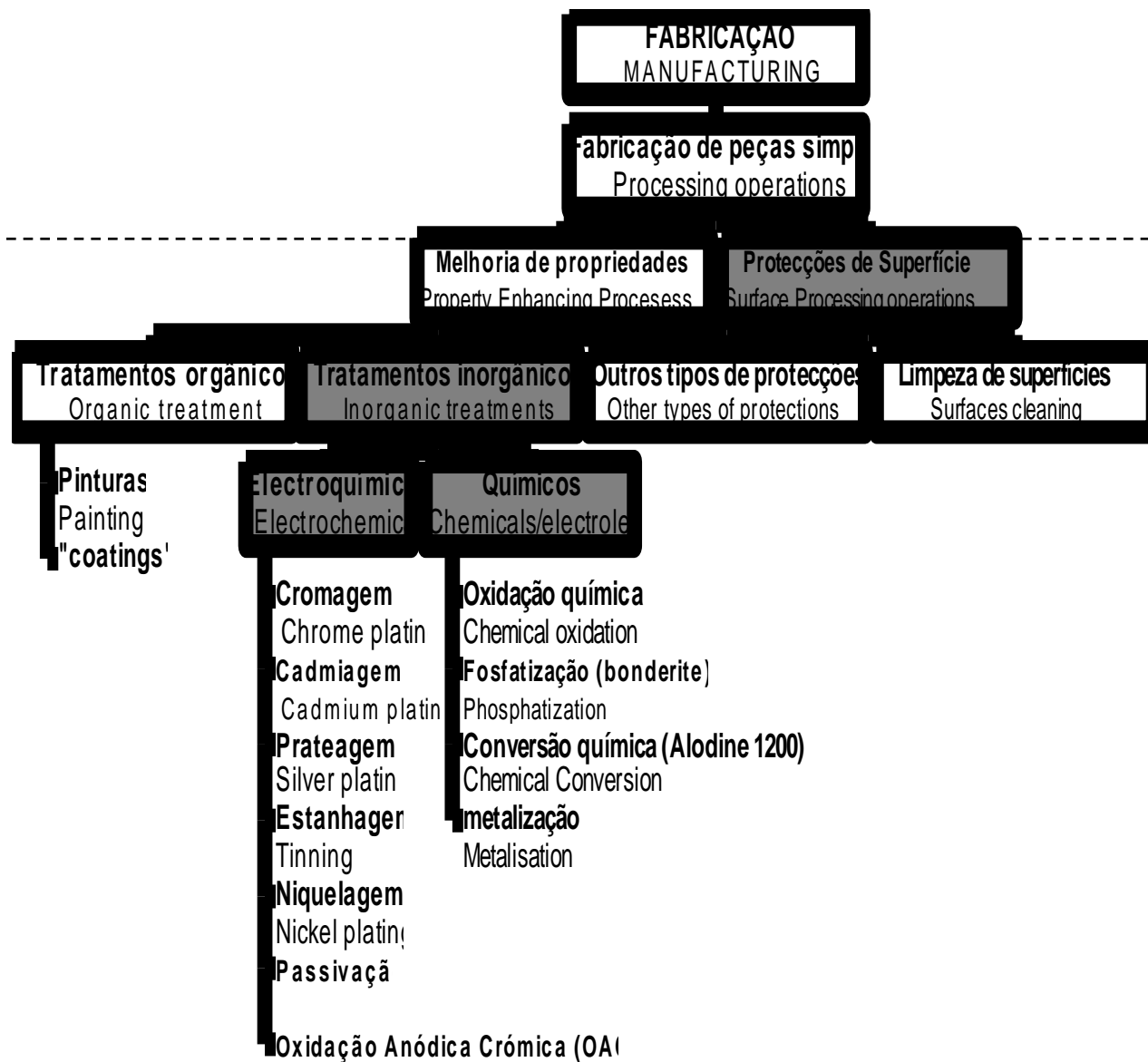
DRYING AND CURE

Once applied the coating must be converted into solid.

The drying process corresponds to a conversion which involves evaporation of the solvents.

However to ensure that coating is durable it is required an additional conversion: a cure.

The cure involves chemical changes of the organic resin with polimerization or the establishing of cross link to harden the coating.





TRATAMENTOS DE SUPERFÍCIE APLICADOS AOS ALUMÍNIOS
SURFACE TREATMENT APPLICABLE TO ALUMINIUM

Conversão Química do Alumínio, (“Alodine 1200”)

APLICAÇÃO

O tratamento de Conversão Química aplica-se ao tratamento químico de metais e/ou revestimentos metálicos em soluções contendo ácido crómico, cromatos ou dicromatos como constituintes principais.

Este tratamento produz na superfície metálica uma película protectora de conversão formada por compostos de crómio.

Os objectivos principais do tratamento de conversão química são os seguintes:

- aumentar a resistência à corrosão do metal ou do revestimento metálico;
- aumentar a aderência de tintas ou outros revestimentos orgânicos.

ESPECIFICAÇÕES

A especificação mais utilizada para a aplicação do tratamento por conversão química do alumínio é a SAE AMS-C-5541.

Chemical Conversion of Aluminium (“Alodine 1200”)

USE

The Chemical Conversion is applied to the chemical treatment of metal and/or metal coatings in solutions containing chromic acids, cromates and dicromates as main components.

This treatment produces in the surface of the material a protective film made of chromium components.

The main objectives of the chemical conversion are the following:

- increase corrosion resistance of its metal coating;
- improve the adherence of painting or of other organic coatings.

SPECIFICATIONS

The mostly common specification related to the chemical conversion is SAE AMS-C-5541.



Neste processo podem distinguir-se dois tipos de películas:

Classe 1A – película colorida que confere à superfície a máxima resistência à corrosão e melhora a adesão dos revestimentos por pintura.

Classe 3 – película ligeiramente colorida que confere à superfície uma baixa resistência eléctrica.

LIMITAÇÕES

As películas de conversão química da Classe 1A não são aplicadas a superfícies exteriores que posteriormente não sejam protegidas com acabamentos orgânicos.

Não se aplicam películas de conversão química em peças que posteriormente vão ser coladas ou soldadas.

EXEMPLOS

Vide próximas figuras

In this process two types of cover films can be defined:

Class 1A – a colour film which gives to the surface maximum resistance to corrosion and improves adherence of painting;

Class 3 – a slightly colourful film which give to the surface of the part low electrical resistance.

LIMITATIONS

The Class 1A chemical conversion will not be used in material surface to be protected with organic coatings.

Chemical converison is not used when parts are to be bonded or welded.

Examples

See next figures.



Cauda de helicóptero
Helicopter Tail



Secção de fuselagem (cauda)
Rear fuselage section



OXIDAÇÃO ANÓDICA

APLICAÇÃO

A anodização do alumínio consiste em produzir na superfície do metal uma película de óxido de alumínio (alumina) quando o alumínio funciona como ânodo num processo de electrólise.

ESPECIFICAÇÕES

A especificação mais utilizada para a aplicação do tratamento por conversão química do alumínio é a SAE AMS-A-8625.

CLASSIFICAÇÃO

De acordo com a especificação em referência as películas de anodização podem ser dos tipos seguintes:

Tipo I,IB,IC	Oxidação Anódica Crómica (OAC)
Tipo II,IIB	Oxidação Anódica Sulfúrica (OAS)
Tipo III	Oxidação Anódica Dura (OAD)

Classes

A classe é definida de acordo com a impregnação que é feita:

- Classe 1- Colorida
- Classe 2- Não colorida

ANODIC OXIDATION

APPLICATION

The anodizing of aluminium consists in producing a metal surface with aluminium oxide (alumina) when aluminium acts like anode in the electrolyses process.

SPECIFICATION

The mostly used specification related to the chemical conversion is SAE AMS A-8625.

CLASSIFICATION

Pursuant to the specification concerning the anodizing films they can be classified as follows:

Type I, IB, IC Oxidation Anodic Chromic
Type II, II B Oxidation Anodic Sulphuric
Type III Oxidation Anodic Hard

Classes

Based on the dye/prigments used the classes can be:

- Class 1 – Colorful
- Class 2 – No colour



Oxidação Anódica Crômica (OAC)

A oxidação anódica crômica promove uma boa resistência à corrosão, quando pintada posteriormente.

LIMITAÇÕES

O tratamento OAC não se aplica a ligas de alumínio que contenham mais do que 5% em cobre, ou ligas que contenham mais do que 7% em silício, ou, em geral, a todas as ligas que contenham mais do que 7,5 % de elementos de liga.

Oxidation Anodic Chromic

The OAC promotes good resistance to corrosion when part is then painted.

LIMITATIONS

The OAC does not apply to aluminium alloys with more than 5% of copper, or alloys with more than 7% silica or in general any alloy with more than 7,5%.



TRATAMENTOS DE SUPERFÍCIE APLICADOS AOS AÇOS
SURFACE TREATMENT APPLICABLE TO STEEL

PASSIVAÇÃO

Caracterização

Durante as operações de maquinação e moldagem podem ficar embutidas na superfície das peças em aços inoxidáveis algumas partículas de aço ou partículas metálicas estranhas.

Estas partículas se não forem removidas da superfície podem originar pontos de óxido ou estabelecer pares galvânicos que podem ser prejudiciais para as peças.

O tratamento de passivação permite remover essas partículas estranhas à peça e acelerar o processo de formação da camada de óxido superficial por meio de soluções químicas (ácido nítrico) aumentando a resistência à corrosão das mesmas.

Trata-se de um tratamento que não produz alterações dimensionais nas peças tratadas.

ESPECIFICAÇÃO

A especificação mais utilizada para a aplicação do tratamento por passivação é a SAE AMS-QQ-P-35.

PASSIVATION

General

During machining and casting operations of stainless steel pieces, it is possible that steel and other undesired particles contaminate such item.

Shall such parts not be removed from the surface then oxide spots can appear and eventually establish galvanic pairs which can be harmful to the parts.

The passivation treatment allows to remove such particles as well as accelerate the process of formation of superficial oxides using chemical solutions (e.g., nitric acid) whilst improving the corrosion resistance.

This type of treatment does not produce any dimensional changes to the treated parts.

SPECIFICATION

The most common specification applicable to this process is SAE AMS-QQ-P-35.



Esta especificação define o tipo de passivação a aplicar conforme o tipo de liga

Tipo I – Passivação com ácido nítrico.

Tipo II – Passivação com ácido nítrico e dicromato de sódio

A tabela abaixo identifica o tipo de aços a que se aplicam os vários tipos de passivação.

Tipo de Passivação – Passivation Type	Tipo de Liga - Steel Alloy
I	Aços austeníticos - Austenitic
II	Aços martensíticos e ferríticos -Martensitic

This type of specification defines the Passivation type to be used according to the type of alloy.

Type I – Nitric acid Passivation

Type II –Nitric acid and dicromate sodium Passivation

The table below identifies the type of steels to which Passivation is applicable.

FOSFATAÇÃO

Caracterização

A fosfatização, também designada por fosfatação, é um tratamento dos aços não electrolítico para o pré-tratamento antes de pintura ou para a prevenção à corrosão (similar à conversão química).

PHOSPHATIZATION

General

Phosphatization is a non electrolytic process applicable to steel, used as a:

- pre-treatment for painting;
- corrosion prevention (similar to chemical conversion).



FOSFATAÇÃO

Especificação

As películas de fosfatação classificam-se em 2 tipos:

Tipo M – base manganês

Tipo Z – Base Fosfato de Zinco (processo mais utilizado)

Em geral, a fosfatação tipo Z é aplicada nas peças com pintura posterior, enquanto que a fosfatação tipo M usa-se quando sobre as peças se aplicar um lubrificante.

Limitações do Processo

As películas de fosfatação do Tipo Z, não devem ser aplicadas a peças que estejam sujeitas a ambientes alcalinos ou que sejam submetidas a temperaturas superiores a 93°C, enquanto para o tipo M este valor não deve ultrapassar 121°C.

Aplicações

Utilizado em peças onde não é possível aplicar a cadmiagem. É aplicado em zonas que estão sujeitas a tensões pequenas, com movimentos limitados e com adição de lubrificante.

PHOSPHATIZATION

Specification

The phosphatization film can be classified in 2 types;

Type M – Mn base

Type Z – Zinc phosphate base (mostly used process)

In general, the Z type phosphatization is applicable when parts are to be painted while Type M is used when parts are to be lubricated.

Process limitation

The type Z must not be used in environment where alkali exists or if parts are to be submitted to temperatures above 93 °C whilst for Type M maximum part temperature shall be 121 °C .

Application

This type of process is used when cadmium plating can not be applied. It is also used in parts submitted to low values of stress, with limited movements and when lubrication is used.



CADMIAGEM

Caracterização

Revestimento utilizado para proteger o metal base de agentes atmosféricos corrosivos ou com o objectivo de diminuir pares galvânicos entre dois metais dissimilares (por exemplo, aço/alumínio).

As películas de cádmio devem ser depositadas directamente sobre o metal base sem qualquer tratamento prévio, no entanto, no caso de aços inoxidáveis é necessária uma deposição prévia de níquel ou cobre.

Especificação

A especificação mais utilizada é SAE AMS-QQ-P-416.

A especificação é aplicada a aço e ferro, podendo ser aplicada no alumínio e níquel, mediante a aplicação de um revestimento aderente, por exemplo de zinco (“Zincate”).

De acordo com o tratamento suplementar à cadmiagem electrolítica, podem distinguir-se 3 tipos de tratamento:

- Tipo I** –Sem tratamento suplementar.
- Tipo II** –Com tratamento suplementar de cromatos.
- Tipo III** –Com tratamento suplementar de fosfatos.
Este tipo é muito usado quando se pretende uma boa base para pintura.

CADMIUM PLATING

General

Plating used to protect the base metal from corrosive environment agents or to reduce the galvanic pairs between two different materials, e.g., aluminum and steel.

Cadmium plating shall be applied directly on the base bare material, without any previous treatment, except in stainless steel which requires previous nickel or copper plating.

Specification

SAE MAS-QQ-P-416 is the most common specification.

The specification can be applied to steel and iron, as well as to aluminium and nickel. In this case a previous coating shall be applied, like Zincate.

Pursuant to the supplementary treatment that can be applied to the cadmium plating, 3 types can be defined:

- Type I** – without any additional treatment;
- Type II** – with chromate treatment;
- Type III** – with phosphate treatment. This type of additional treatment is used when a good painting base is required.



De acordo com a espessura de cádmio a aplicar, podem distinguir-se três classes:

Classe 1	–	Espessura de 13 a 20 μm ;
Classe 2	–	Espessura de 8 a 13 μm ;
Classe 3	–	Espessura de 5 a 8 μm .

Limitações

Os revestimentos de cádmio não devem ser utilizadas nas seguintes aplicações:

- Em peças em contacto com fluídos hidráulicos, óleos lubrificantes, ou outros fluidos derivados do petróleo;
- Em peças que em operação tenham de estar submetidas a temperaturas superiores a 235°C, ou em contacto com outras peças que atinjam essa temperatura;
- Em peças que posteriormente sejam soldadas;
- Sobre o titânio ou em peças que após cadmiagem sejam colocadas em contacto com peças de titânio;
- Em peças sujeitas a atrito durante a sua utilização.

According to the cadmium plating thickness 3 classes exist:

Class 1	–	[13, 20] μm ;
Class 2	–	[8 , 13 [μm ;
Class 3	–	[5 , 8 [μm .

Limitações

The cadmium plating can not be used in parts under the following circumstances:

- When it is in contact with hydraulic fluids, lubricant oils, or with any petroleum originated oils.
- When it is submitted to temperatures above 235 °C, or with parts reaching such temperatures;
- If it is to be welded;
- In titanium parts or in parts that will be in contact with titanium parts;
- In parts submitted to friction during use.



CROMAGEM

Caracterização

A deposição de crómio (duro) é frequentemente utilizada para proteger o metal base contra a corrosão, desgaste (atrito), abrasão e calor.

Este tratamento é utilizado ainda para a recuperação das dimensões originais de peças desgastadas.

Os revestimentos de crómio duro devem ser depositados directamente sobre o metal base sem qualquer tratamento prévio, no entanto, no caso de aços inoxidáveis é necessária uma deposição prévia de níquel (cfr cadmiagem).

Especificação

A mais utilizada para a cromagem é SAE AMS-QQ-C-320 a qual define um conjunto de classes, sendo as mais utilizadas:

Classe 1 – Espessura de crómio controlada, sem rectificação posterior.

Classe 2a – Espessura final de crómio obtida mediante rectificação - deve estar compreendida entre 50 a 200 microns.

Limitações

Os revestimentos de crómio duro não devem ser utilizados em peças cuja temperatura de serviço seja superior a 450°C e em áreas onde ocorra a concentração de tensões.

CHROME PLATING

General

This type of plating is frequently used to protect the base metal against corrosion, wear as well as to improve heat resistance.

It allows also to recover original dimensions of worn parts.

The chrome plating must be applied directly on the bare material without any previous treatment, except in the case of stainless steel where nickel plating shall be applied before (see cadmium plating).

Specification

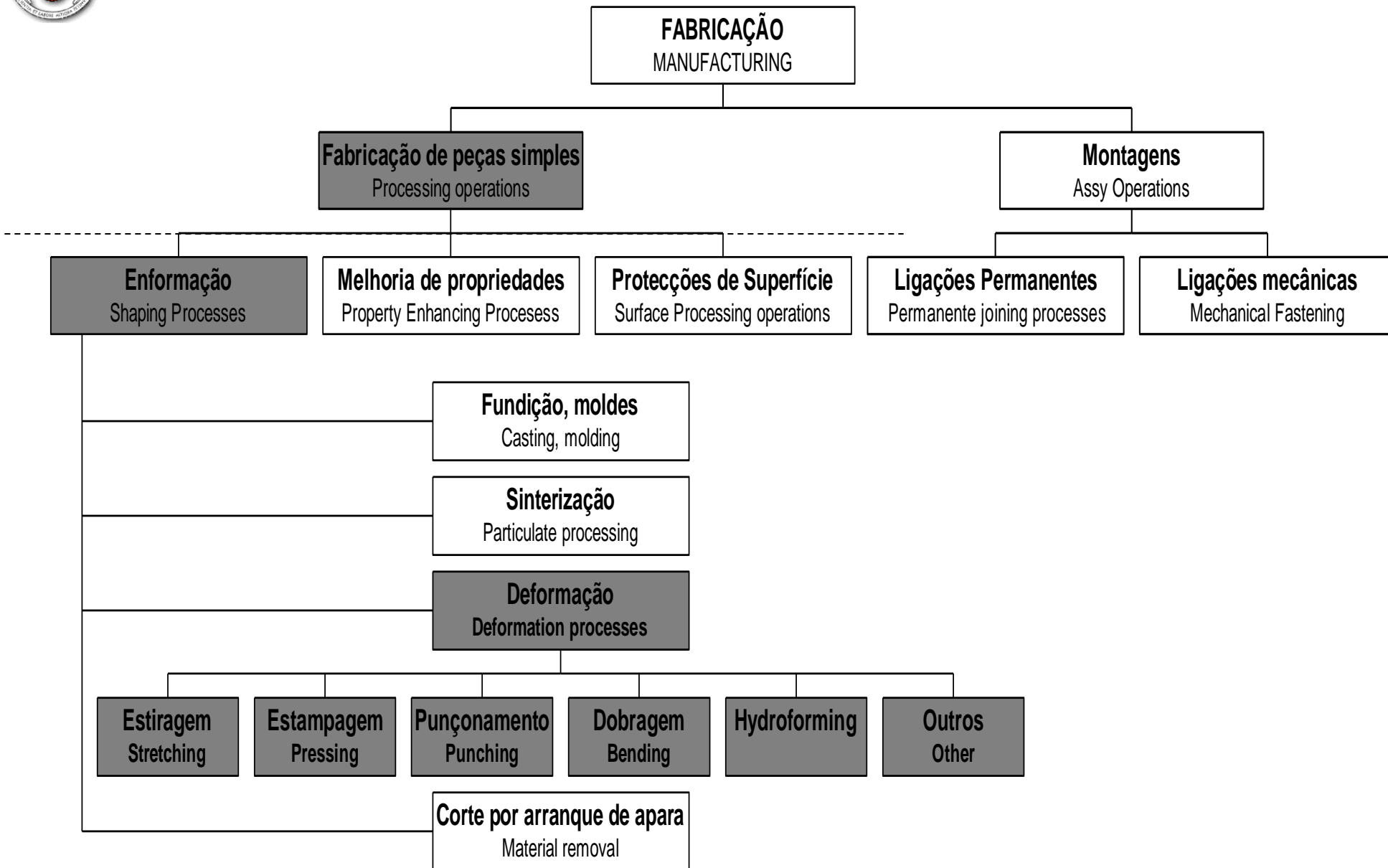
SAE AMS-QQ-C-320 is the most common spec which defines a set of classes, being the most used:

Class 1 – Chrome plating thickness without further grinding;

Class 2a – Final chrome plating thickness obtained by grinding. Limits [50-200] μm .

Limitation

Chrome plating shall not be used in parts to be operated above 450°C or with high stress concentration.





PROCESSOS DE DEFORMAÇÃO DE CHAPA METÁLICA **METAL SHEET DEFORMATION PROCESSES**

Em aeronáutica os principais processos de deformação associados à fabricação de componentes metálicos para a feitura em chapa de fuselagem, portas, asas, fairings, nacelles, superfícies de sustentação e de controlo (flaps, ailerons, lemes de direcção e de profundidade, etc) recorrem no essencial a:

- Dobragem;
- Estiragem;
- Estampagem.

A estes ainda se adiciona, *hydroforming* bem como deformação superplástica.

Dada a intensa utilização de elementos em chapa nas aeronaves, importa abordar a sua fabricação, designadamente, o processo de estiragem.

Realça-se que o processo de deformação é apenas parte de um ciclo de fabricação que envolve tratamentos térmicos, protecções de superfície e ainda a montagem final.

Esses processos são tratados individualmente, sendo a sua integração feita no processo global de industrialização.

In aeronautics the main processes related to the fabrication of sheet metal components used in fuselage elements, doors, wings, fairings, nacelles, control surfaces (flaps, ailerons, rudders, elevators, etc) include:

- Bending;
- Stretching;
- Drawing.

There are other processes, namely hydroforming and superplastic deformation part of the deformation technologies.

Given the intense use of sheet metal components in aircraft manufacturing it is essential to approach the stretching process as one of the most important among all.

It is important to emphasize the fact that stretching is only part of the global manufacturing cycle which also encompasses heat treatments, surface protections as well as final assy.

These processes are handled individually.



Estes processos de fabrico são completados por outros a que anteriormente já se aludiu sucintamente e que envolvem:

- Corte por arranque de aparas (rectificação, torneamento, fresagem, etc);
- Corte por arrombamento;
- Forjagem (a frio ou a quente);
- Hydroforming.

DOBRAGEM

Como o nome indica trata-se de um processo cujo propósito é deformar um material/peça em torno de um eixo.

Durante o processo de deformação a parte externa na peça é sujeita a tensões de tracção enquanto a parte interna é sujeita a tensões de compressão.

A dobragem produz pouca ou nenhuma redução da espessura da peça.

Existem 2 tipos de dobragem, a saber, em:

- V (centrada);
- e a com apoio/encastrada (descentrada).

These type of manufacturing processes are completed by others, which have already been briefly mentioned, that include:

- material removal (grinding, turning and milling);
- blanking;
- casting;
- Hydroforming.

BENDING

As the name indicates it is a process whose objective is to deform a part around a predefined axis .

During the deformation process the external part of the part is stretched while the internal part is compressed.

Bending produced little or no change in the thickness of the metal.

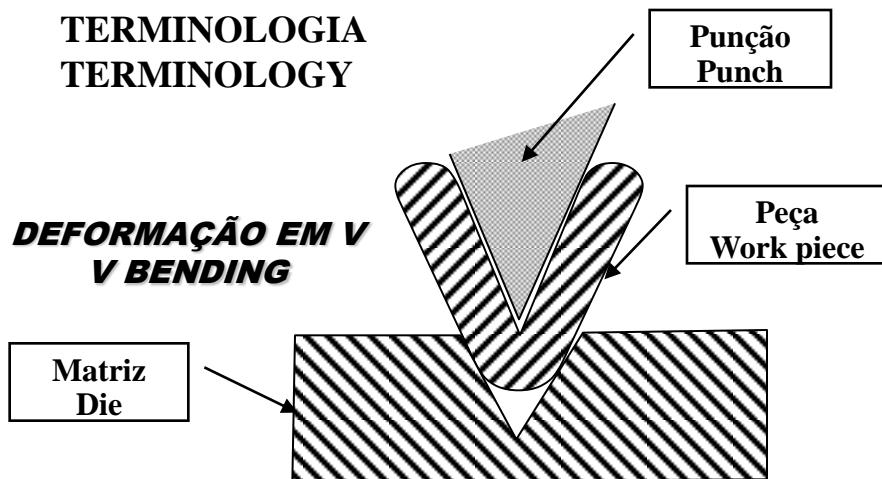
There are 2 types of bending:

- V bending;
- Edged bending.

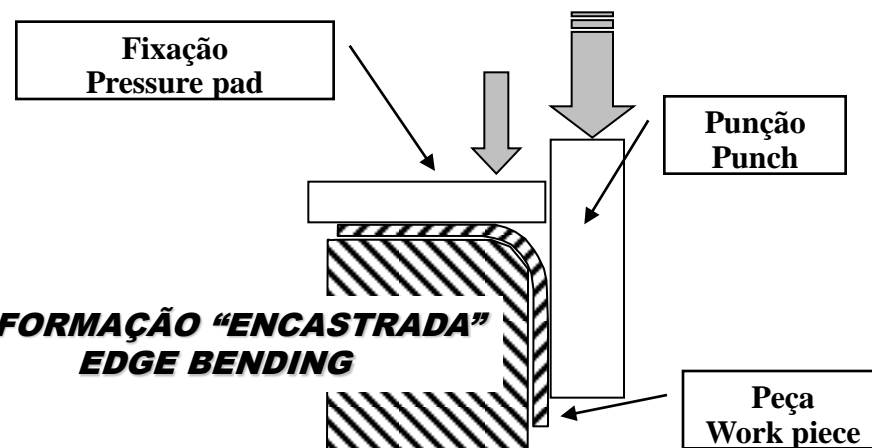


TERMINOLOGIA
TERMINOLOGY

DEFORMAÇÃO EM V
V BENDING



DEFORMAÇÃO "ENCASTRADA"
EDGE BENDING





ANÁLISE DO PROCESSO DE DOBRAGEM **BENDING ANALYSIS**

A metodologia de análise do processo de dobragem envolve a determinação de 3 aspectos:

- TOLERÂNCIA DE DOBRAGEM**
- EFEITO DE MOLA;**
- FORÇA DE DOBRAGEM**

Seguidamente, apresenta-se cada um dos aspectos acima referidos.

TOLERÂNCIA DE DOBRAGEM

A tolerância de dobragem permite determinar o comprimento final do eixo neutro (1) o qual está relacionado com o alongamento da peça dobrada, pois na prática corresponde a deformação (a qual poderá levar a operações adicionais de corte para garantir que a peça se mantém dentro das especificações).

(1) Ver esquema página seguinte.

The methodology related to the bending analysis includes determination of 3 aspects, that is,

- BENDING ALLOWANCE;**
- SPRINGBACK EFFECT.**
- BENDING FORCE.**

The following paragraph describes each of these aspects.

BENDING ALLOWANCE

The bending allowance permits to estimate the amount of stretch (if any) of the bended part. The problem is to determine the length of the neutral axis (1) before bending to account for stretching of the final bent section – this is essential to determine whether or not the deformed part will require additional operations to ensure part will meet the specified dimension.

(1) See figure in the next page.

A determinação da tolerância de dobragem (BA) é feita de acordo com a fórmula [1], em que:

BA=Tolerância de dobragem

A = ângulo de dobragem (graus)

R = raio de dobragem em mm

The Bending Allowance (BA) is made in accordance with formula [1], where:

$$BA = 2\pi \frac{A}{360} (R + K_{ba} t) \quad [1]$$

$$K_{ba} = \begin{cases} R < 2t \rightarrow K_{ba} = 0,33 \\ R \geq 2t \rightarrow K_{ba} = 0,5 \end{cases}$$

BA = Bending Allowance

A = Bending angle (degrees)

R = Bending radius [mm]

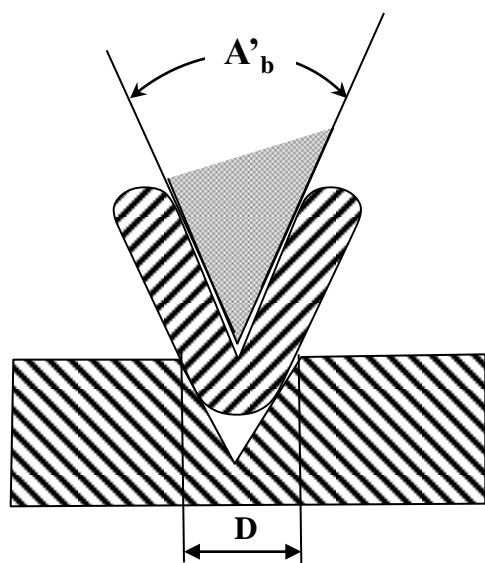


Fig 1

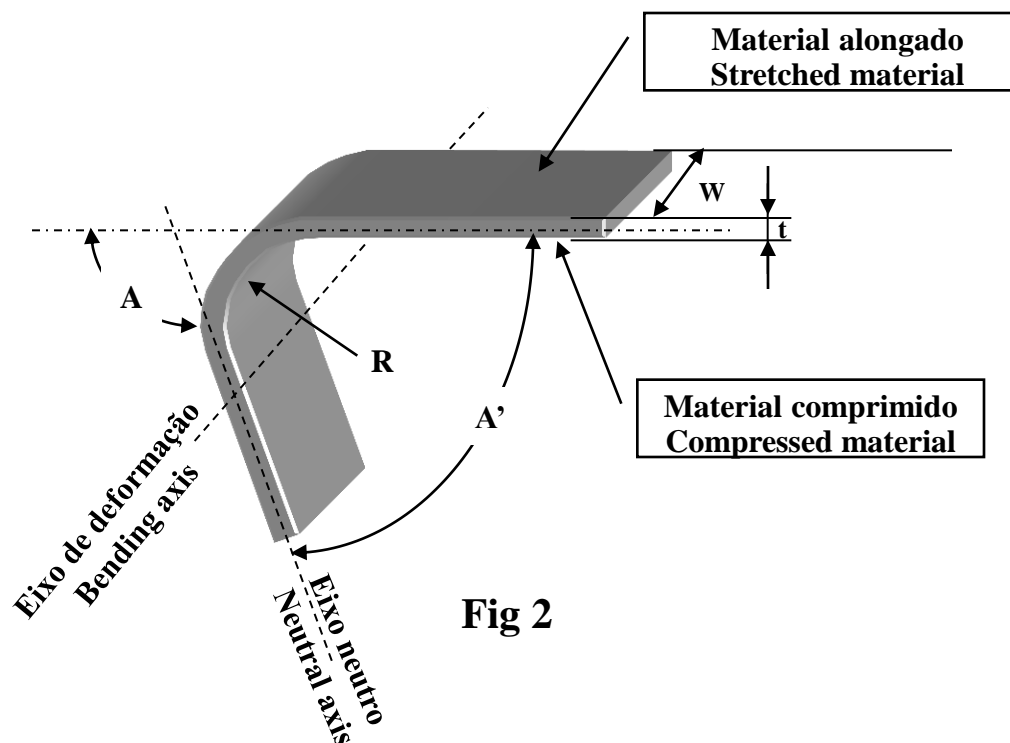


Fig 2

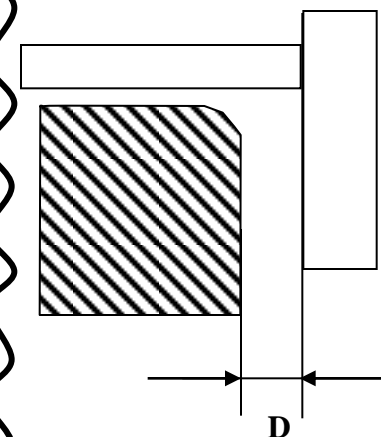


Fig 3

EFEITO DE MOLA (SB)

O seu valor é dado por [2], em que

- A' é o ângulo da peça (cfr figura anterior);
- A'_b é o ângulo da ferramenta.

Compensação pelo efeito de mola pode ser conseguido fazendo “overbending” ou por “bottoming”, isto é, por aumento de dobragem ou por achatamento da peça (zona de dobragem), respectivamente.

FORÇA DE DOBRAGEM (F)

A força de dobragem (F) é dada por [3] em que:

- K_{bf} é dado por [3.1];
- TS é a tensão de rotura MPa/(lb/in²).
- D (cfr fig 3 e 4) em mm/in;
- w, t (cfr fig 2) em mm/in.

$$[3.1] \quad K_{bf} = \begin{cases} K_{bf} = 1,33 & : \text{Dobragem em V/V bending} \\ K_{ba} = 0,33 & : \text{Dobragem encastrada/Edge bending} \end{cases}$$

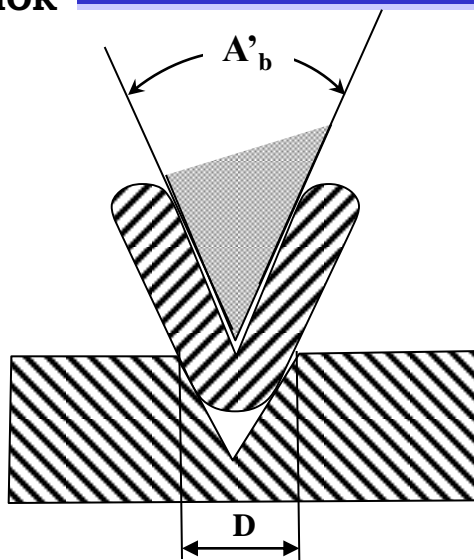


Fig 4

SPRINGBACK EFFECT (SB)

Its value is given by [2], where

- A' is the angle of the part (cfr previous figure);
- A'_b is the angle of the tool (punch).

Compensation due to springback effect can be done by “overbending” or by “bottoming”, that, increasing the bending or squeezing the part.

BENDING FORCE (F)

The bending force (F) is given by [3], where

- K_{bf} is given by [3.1];
- TS Tensile strenght MPa/(lb/in²).;
- D (cfr fig 3 and 4) in mm/in;
- w, t (cfr fig 2) in mm/in.



EXERCÍCIO- EXERCISE

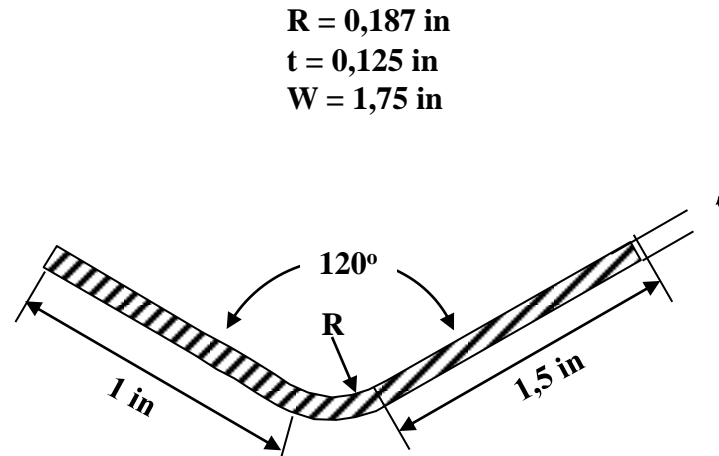
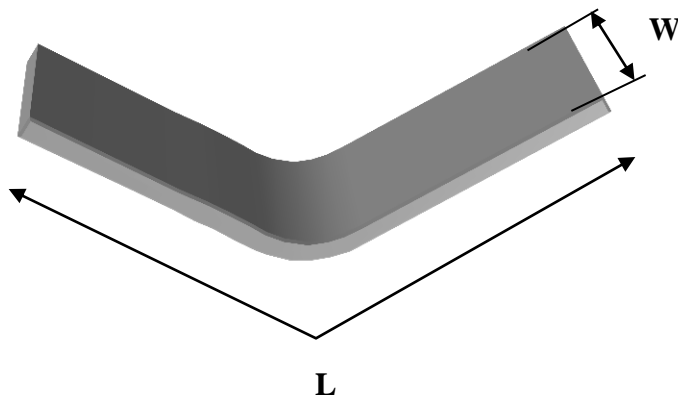
Uma peça em metal deverá ser quinada. O material tem uma tensão de rotura de 65 K Lb/in².
Para a peça a quinar determinar:

- o comprimento L da peça a dobrar;
- a Força a aplicar para uma dobragem em V, sabendo que a abertura (D) da ferramenta é 1 in.

A sheet metal part is to be bent. The material has a tensile strenght of 65 K Lb/in².

For the part to be bent, determine:

- the lenght of the L to be bent
- the strenght force for a V bending, with opening $D = 1$ in.



Peça a quinar – Part to be bent



SOLUÇÃO – SOLUTION

Fórmulas-Formulae

$$K_{ba} = \begin{cases} R < 2t \rightarrow K_{ba} = 0,33 \\ R \geq 2t \rightarrow K_{ba} = 0,5 \end{cases}$$

$$BA = 2\pi \frac{A}{360} (R + K_{ba} t)$$

$$F = \frac{K_{bf} T S w t^2}{D}$$

$$K_{bf} = \begin{cases} K_{bf} = 1,33 & : \text{Dobragem em V/V bending} \\ K_{ba} = 0,33 & : \text{Dobragem encastrada/Edge bending} \end{cases}$$

$$\begin{aligned} R &= 0,187 \text{ in} \\ t &= 0,125 \text{ in} \\ R/t &= 1,5 < 2 \Rightarrow K_{ba} = 0,33 \end{aligned}$$

$$A = 120^\circ$$

$$A + A' = 360^\circ \Leftrightarrow A = 360^\circ - 120^\circ \Leftrightarrow A = 60^\circ$$

$$BA = 2\pi \frac{60}{360} (0,187 + 0,33 \times 0,125) = 0,239 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} L &= 1 + 1,5 + 0,239 \\ L &= 2,739 \text{ in} \end{aligned}$$

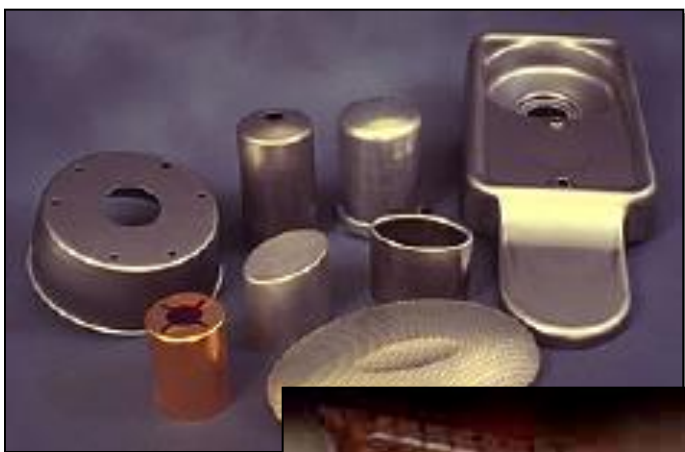
$$F = \frac{1,33 \times 65000 \times 1,75 \times 0,125^2}{1} = 2.364 \text{ Lb}$$



ESTAMPAGEM - DRAWING

A estampagem é um processo de enformação através do qual a forma do material é alterada por modo a obter geometrias do tipo às que se exibem nas figuras abaixo. Para tanto usa-se um elemento gerador de pressão o qual pressiona uma chapa contra uma matriz que dará a forma (final ou não) pretendida.

The drawing is an enformation process which allows to obtain complex parts similar to those exhibited in the next figures. To obtain such form a element that generates pressures is used on a sheet metal which is pressed against a die, thus obtaining the (final or not) shape.



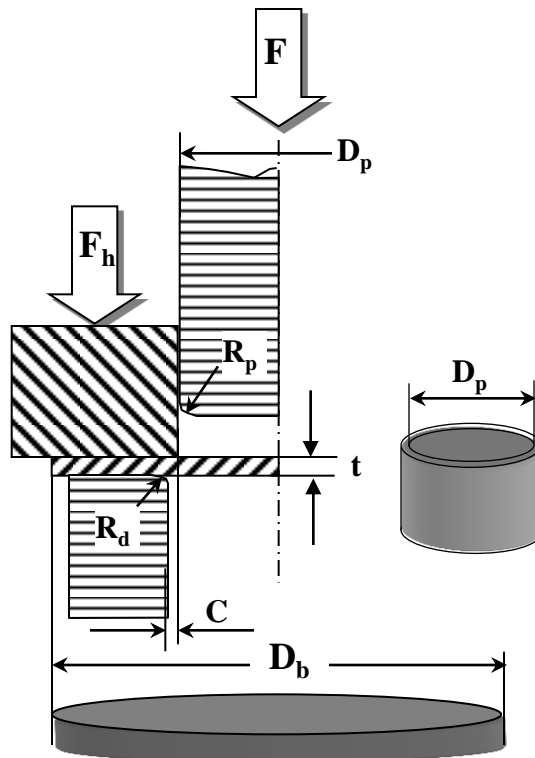
ANÁLISE DO PROCESSO DE ESTAMPAGEM DRAWING ANALYSIS

Razão de estampagem (DR)

Embora a estampagem dependa de factores como o atrito, lubrificação, raios da matriz, etc, pode considerar-se $DR \leq 2$ como o limite superior para que a estampagem se possa realizar com sucesso.

Ou se se quiser em termos da diminuição “r” $\leq 0,5$.

Um outro modo de limitar a estampagem é a razão entre a espessura “t” e “D_b”, (t/ D_b) cuja razão desejavelmente deve ser superior a 1%



Drawing ratio (DR)

Notwithstanding the fact drawing operation depends upon friction, lubricant, die radius, etc, one may consider $DR \leq 2$ as the upper limit to draw with success.

Or int terms of “r” it should not exceed 0,5

Another way of determining drwaing limits is through the ration between “t” and “D_b”, (t/ D_b) whose value should be higher than 1%.

Fig 5

$$DR = \frac{D_b}{D_p} \leq 2 \qquad r = \frac{D_b - D_p}{D_p} \leq 0,5$$



No que concerne à força de estampagem (F), o seu valor pode ser dado por [1], em que

- TS é a tensão de rotura em Lb/in² ou MPa
- D_p e D_b é e, in/mm

In what concerns the drawing force (F), its value can be given by using [1], where

- TS is the Tensile Strenght in Lb/in² or MPa
- D_p e D_b in in/mm

$$F = \pi \times D_p \times t \times (TS) \times \left(\frac{D_b}{D_p} - 0,7 \right)$$

[1]

Um elemento importante é o cálculo da força de fixação F_h cujo valor pode ser dado por [2]

Also an important element is the holding force (F_h) which value can be given by [2]

$$F_h = 0,015 \times Y \times \pi \times \left[D_b^2 - (D_p + 2 \times t + 2R_d)^2 \right]$$

[2]

Em que :

Y é a tensão de cedência do material in lb/in² or MPa
D_b, D_p, R_d são dados na figura 5 (previous page).

Where :

Y is the yield strenght in lb/in² or Mpa
D_b, D_p, R_d and t are given in figure 5 (previous page).



EXERCÍCIO- EXERCISE

Uma peça em metal deverá ser estampada para formar um pequeno reservatório cilíndrico (corpo de filtro). Tem como dados de projecto:

A part is to be submitted to a drawing process to form a cylindrical element (filter body). The project data is:

- diâmetro interno/internal diameter = 3 in;
- Altura/height = 2 in
- comprimento da peça a estampar/leng of blank = 5.5 in
- espessura da peça/thickness = 3/32 in
- Tensão de rotura/tensile strenght = 70.000 Lb/in²
- Tensão de cedência/yield strenght = 40.000 Lb/in²
- Raio da matriz = 0,25 in

Determinar:

- a) viabilidade da operação de estampagem/Feasibility of operation;
- b) Força de estampagem/Force of drawing
- c) Força de fixação/Holding Force.

Solução-solution:

- a) Determina-se se o processo satisfaz os critérios de DR, r e t/D_b
Determination if the process meets DR, r and t/D_p criteria.

$$DR = \frac{5.5}{3} = 1,853 \leq 2$$

$$r = \frac{5.5 - 3}{5.5} = 0,454 \leq 0,5$$

$$\frac{t}{D_b} = \frac{3/32}{5.5} = 0,017 \geq 0,01$$



b) Cálculo da Força de Estampagem (F)
Calculation of the drawing force

$$F = \pi \times 3 \times (3 / 32) \times (70.000) \times \left(\frac{5.5}{3} - 0,7 \right) = 70.097 \text{lb}$$

c) Cálculo da Força de Fixação (F_h)
Calculation of the holding force

$$F_h = 0,015 \times 40.000 \times \pi \times \left[5.5^2 - \left(3 + 2 \times \frac{3}{32} + 2 \times 0,25 \right)^2 \right] = 31.121 \text{Lb}$$

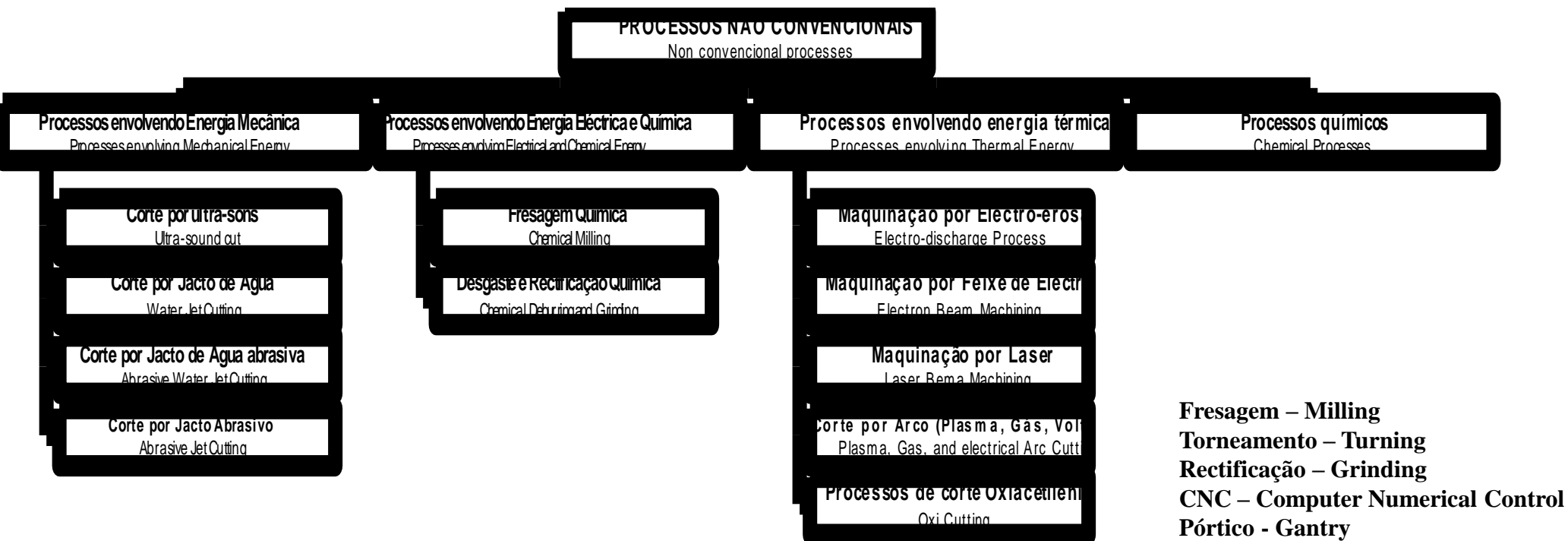


PROCESSOS NÃO CONVENCIONAIS

Non-conventional

Consideram-se processos não-convencionais uma vez que envolve maquinaria sem recorrer à ferramenta de corte – na perspectiva tradicional . Envolvem no essencial o uso individualizado ou combinado de energia mecânica, eléctrica, térmica e química para realizar as operações de fabricação.

A group of processes called non-conventional is considered due to the fact machining is performed without using the standard cutting tool – traditional perspective. Such processes include individual or combined use of mechanical, electrical, thermal and chemical energies to carry the manufacturing activities.





PROCESSOS ENVOLVENDO ENERGIA MECÂNICA

Processes using Mechanical Energy

Neste grupo tecnológico incluem-se a(o):

This technological group includes:

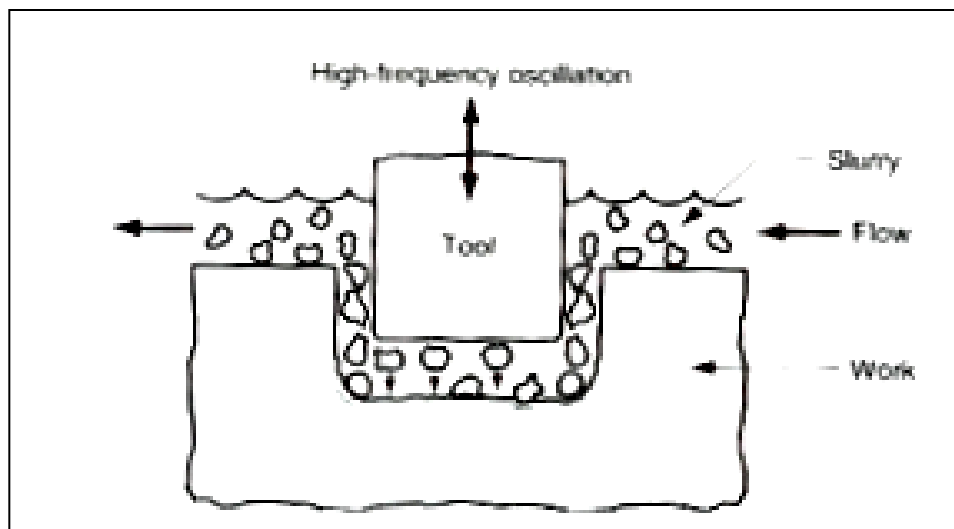
- Maquinação ultrasónica/Ultrasonic Machining
- Corte por ultrasons/ Ultrasound cutting (USC);
- Corte por jacto de água/Water jet Cutting (WJC);
- Corte por jacto de água com abrasivo/Abrasive Water Jet Cutting;
- Corte por jacto abrasivo/Abrasive Jet

MAQUINAÇÃO ULTRASÓNICA/Ultrasonic Machining

USM é um processo através do qual, material abrasivo por acção de uma ferramenta que vibra a baixa amplitude (0,08 mm) e elevada frequência (20 KHz), provoca o desgaste na superfície de um material para assim se obter a forma desejada.

USM is a process in which abrasives contained in a slurry are driven at high velocity against the work material by a tool vibrating at low amplitude of around 0,08 mm and high frequency 20 KHz. The tool oscillates in a direction perpendicular to work surface and is fed slowly into the work forming with the action of the abrasives thus machining the part with the desired shape.

MAQUINAÇÃO ULTRASÓNICA/Ultrasonic Machining



Mecanismo geral e equipamento típico
General mechanism and typical equipment

Este tipo de processo usa-se no corte de aços bem como de material cerâmico, vidro, titânio e ainda tecidos.
It is used to cut steel, ceramics, glass, titanium and textiles.

O fluido abrasivo é formado por uma mistura de água que pode combinar com boro (carboneto e nitrato), óxidos de alumínio, carbonetos de silício e diamante.

The slurry consists of a mixture of water and abrasive particles (20-60%) such as boron nitride, boron carbide, aluminum oxide, silicon carbide and diamond.

CORTE ULTRASÓNICO/Ultrasonic Cutting (USC)

Tal como na maquinação ultrasónica, neste processo também se usa ferramenta que vibrando a frequências elevadas provoca o corte de material. Usa-se, entre outros aspectos, para cortar “tecidos” que compõe a fabricação de materiais aeronáuticos.

As in the USM, this process uses a tool that vibrates at high frequencies to cut the material. Among others, it is used to cut “textiles” in the manufacturing process of composite materials in aeronautics.



Aspecto geral da faca de corte (actuando sobre “ninho de abelha”) e equipamento típico
Kniff cutter aspect (cutting honeycomb) and typical equipment

As unidades de corte por ultra-sons normalmente requerem programação CNC.
The USC normally requires CNC programming of machines.

PROCESSOS USANDO ÁGUA E ABRASIVOS /Processes using water and abrasives



wjcutting[1].mov

Neste grupo tecnológico incluem-se por:
This technological group includes:

- Corte por jacto de água/Water jet Cutting (WJC);
- Corte por jacto de água com abrasivo/Abrasive Water Jet Cutting;
- Corte por jacto abrasivo/Abrasive Jet

Corte por jacto de água/Water Jet Cutting (WJC)

Neste processo usa-se um jacto fino de água, com pressão elevada e velocidade, o qual é dirigido para a superfície de trabalho permitindo o corte – cfr figura.

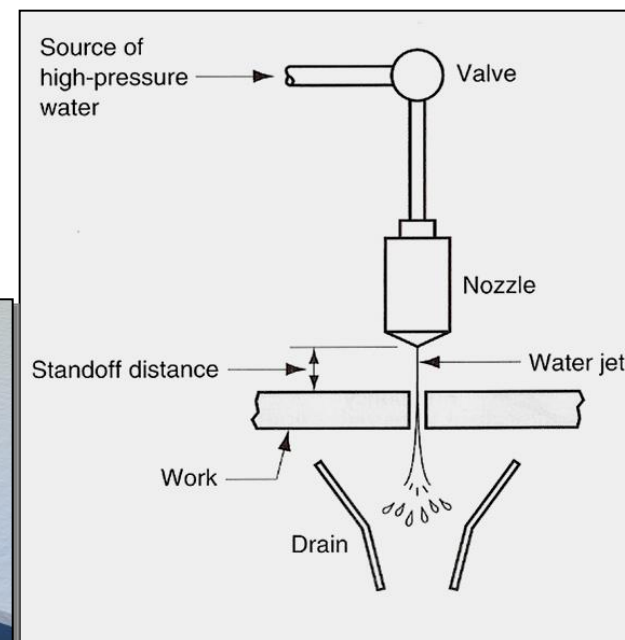
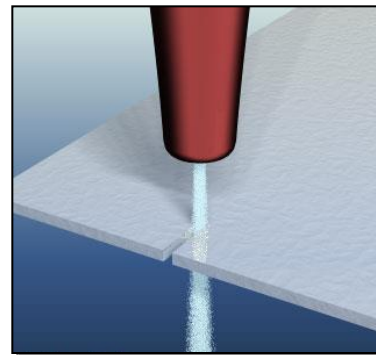
This process uses a fine, high-pressure, high velocity stream of water directed at the surface of the material to cause cutting of the work, as in the picture.

Os valores tipo da instalação de trabalho são:
The typical instalation parameters are:

Diâmetro de bucal/Nozzle diameter 0,1 –0,4 mm

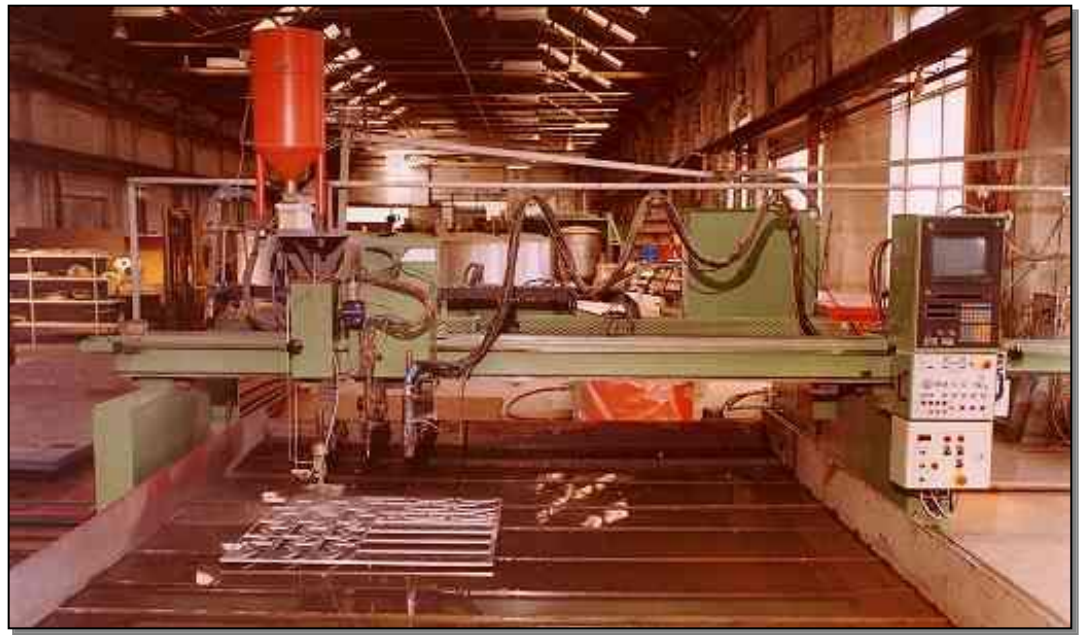
Pressão/Pressure = 600 Mpa

Velocidade de escoamento/Flow Velocity = 900 m/s



Corte por jacto de água/Water Jet Cutting (WJC)

Na aeronáutica as instalações de corte por jacto de água são relativamente grandes, como se observa nas figuras.
In aeronautics the WJC installations are normally with a relative size, as depicted in the pictures.



**Instalações tipo de corte por jacto de água
WJC typical instalations**

O corte por jacto de água pode ser usado (excepto vidro) no corte de plásticos, compósitos (aplicações aeronáuticas)
WJC can be used (except in glass) to cut plastics and composite materials.

Corte por jacto de água abrasivo/Abrasive Water Jet Cutting (AWJC)

Trata-se de uma variante do corte por jacto de água (CJA) adicionando para o efeito material abrasivo que permita o corte de materiais metálicos. Os materiais abrasivos são normalmente, óxidos de alumínio, dióxido de sílica. O material abrasivo é normalmente adicionado à saída do escoamento de água.

Os parâmetros de funcionamento são idênticos ao CJA, designadamente a pressão.

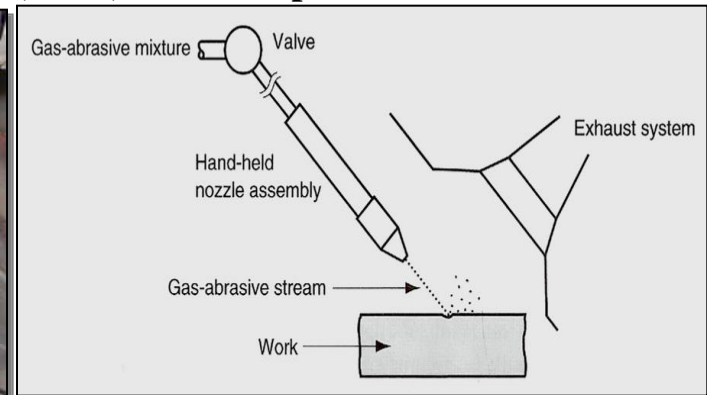
It is a process similar to WJC now with the addition of abrasive materials, such as aluminium oxide and silicon dioxide, which are normally added at the exit of the water stream. The functioning parameters are similar to those of WJC, namely, the pressure.

Corte por jacto abrasivo/Abrasive Jet Cutting (AJC)

Este processo inclui a projecção de material abrasivo do tipo similar a CJA, recorrendo para isso a um gás podendo ser ar seco, azoto, CO₂ ou hélio. Usa-se, normalmente, para remover rebarba, acertos de cotas, limpar e polir. Os parâmetros típicos da instalação são:

The process includes the projection of abrasive material (similar to AWJC) using a gas as the media, which can be dry air, nitrogen, carbon dioxide and helium. AJC is normally used to debur, trim, clean and polish. The installation parameters are typically

- Pressão de gás/Gas pressure: 0,2-1,4 MPa
- Velocidade do gás/Gas velocity: 2,5-5 m/s,



PROCESSOS ENVOLVENDO ENERGIA ELECTROQUÍMICA

Processes using Electrochemical Energy

Neste grupo tecnológico incluem-se os seguintes processos:

This group of non-conventional processes include:

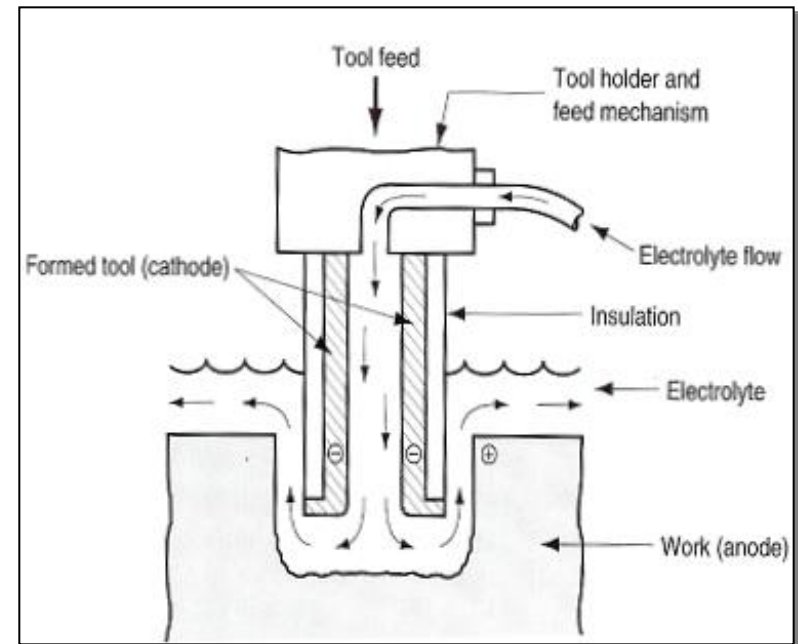
- Maquinação electroquímica (MEQ);
Electrochemical machining (ECM);
- Desbaste e rectificação electroquímica;
Electrochemical Deburring and Grinding;

Maquinação Electroquímica/ Electrochemical machining

A MEQ é um processo que inclui a remoção de material através da dissolução anódica, na qual a forma final de uma peça (feita de material electricamente condutor) é obtida à custa de uma ferramenta (eléctrodo-cátodo) que actua na proximidade.

O material removido (ânodo) que se deveria depositar no cátodo é disso impedido pelo fluido electrólito, à base de água e de sais (e.g., NaCl) – ver figura.

The ECM removes metal from an electrically conductive workpiece by anodic dissolution, in which the shape of the workpiece by a formed electrode tool in close proximity to, but separated from, the work by a rapidly flowing electrolyte, having water as the basis with salts (e.g., NaCl) – see figure.



Maquinação Electroquímica/ Electrochemical machining

O regime de remoção de material é determinado pela Lei de Faraday, cuja fórmula a adoptar é a seguinte:

The removal rate in ECM is governed by the Faraday's Law, being the formula to adopt the following:

Em que/where :

C = Specific removal rate (cm³/A-s)

Specific removal rate (cm³/A-s)

E = Tensão (V)

Voltage (V)

A = Área transversal do eléctrodo (cm²)

Electrode front area (cm²)

t = Tempo de maquinação (s)

Machining/operation time (s)

g = Folga entre cátodo e ânodo (peça e ferramenta) (cm)

Gap between electrode and anode (cm)

r = Resistividade do eléctrodo (Ω-cm)

Electrode resistivity (Ω-cm).

θ = Eficiência da remoção

$$V = \frac{C \times E \times A \times t}{g \times r}$$

No que concerne à velocidade de avanço de ECM (feed rate) , a equação é:

The feed rate of the ECM process is then given by,

Em que/where

I = Intensidade da corrente (A)

Current Intensity (A)

θ = Efficiency of removal

$$f_r = \frac{C \times I}{A} \times \theta$$



Instalações tipo de ECM
WJC typical installations



Maquinação Electroquímica/ Electrochemical machining

Os valores a adoptar para C são os definidos na tabela 1.

Typical values of specific removal rate in ECM are defined in table 1

Exemplo/example

Pretende-se realizar um furo de passagem numa chapa de alumínio com ½ “ de espessura. A área do furo é de 0,375 x 1,25 in², com uma eficiência de 95% e com uma corrente de 1200 A. Determinar a velocidade de avanço e tempo de operação.

An ECM is used to cut a hole in an aluminum plate with ½” thickness. The area of the hole is 0,375 x 1,25 in². The ECM efficiency of the operation is expected to be 95% at 1200A of the current intensity. Determine the feed rate and time to cut the plate.

Resolution:

C, from table 1, 1,26x10⁻⁴;

A = 0,375 x 1,25 in² = 0,469 in²

$$f_r = \frac{0,000126 \times 1200}{0,469} \times 0,95 = 0,306 \text{ in / min}$$

$$T_m = \frac{0,50}{0,306} = 1,63 \text{ min}$$

Work Material	Specific Removal Rate C	
	in. ³ /A-min	(cm ³ /A-s)
Aluminum	1.26 × 10 ⁻⁴	(3.44 × 10 ⁻⁵)
Copper	2.69 × 10 ⁻⁴	(7.35 × 10 ⁻⁵)
Iron	1.35 × 10 ⁻⁴	(3.69 × 10 ⁻⁵)
Steels		
Low alloy	1.1 × 10 ⁻⁴	(3.0 × 10 ⁻⁵)
High alloy	1.0 × 10 ⁻⁴	(2.73 × 10 ⁻⁵)
Stainless	0.9 × 10 ⁻⁴	(2.46 × 10 ⁻⁵)
Nickel	1.25 × 10 ⁻⁴	(3.42 × 10 ⁻⁵)
Titanium	1.0 × 10 ⁻⁴	(2.73 × 10 ⁻⁵)

Tabela 1 – Valores típicos de C

Table 1 – Typical values of C

Maquinação ECM é geralmente usadas em aplicações onde o metal tem elevada dureza ou de difícil maquinação, uma vez que a dureza do material não interfere no processo, o qual não assenta em processos mecânicos convencionais.

Electrochemical machining is generally used in applications where the work metal is very hard or difficult to machine, as part hardness makes no difference to ECM, because removal of material is not mechanical.

Rectificação e remoção de rebarba Electroquímica

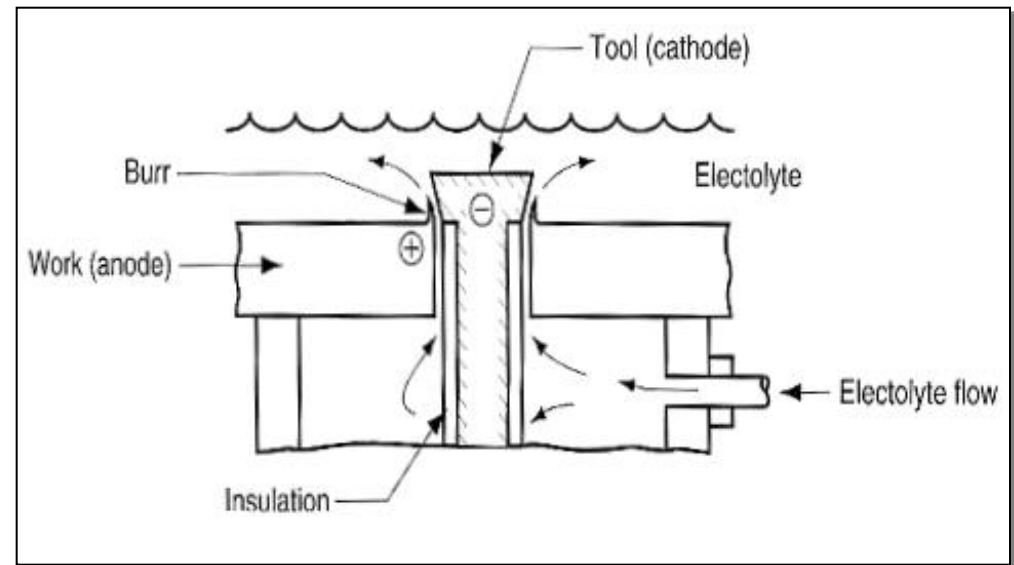
Electrochemical deburring & grinding

Remoção de rebarba

Deburring

Este tipo de maquinação é uma adaptação de ECM para remover rebarba, rectificar superfícies, etc recorrendo a dissolução anódica. Um esquema possível de instalação para este tipo de ECM é mostrado na figura.

This type of operation is an adaptation of the ECM process to remover burrs or to round sharp corners by anodic dissolution. A possible scheme of the installation is shown in next picture.



Rectificação electroquímica/Electrochemical grinding

Processo ECM que consiste na utilização rotativa de uma mó feita de material condutor e que por dissolução anódica permite remover material (ânodo). Um esquema possível de instalação para este tipo de ECM é mostrado na figura abaixo.

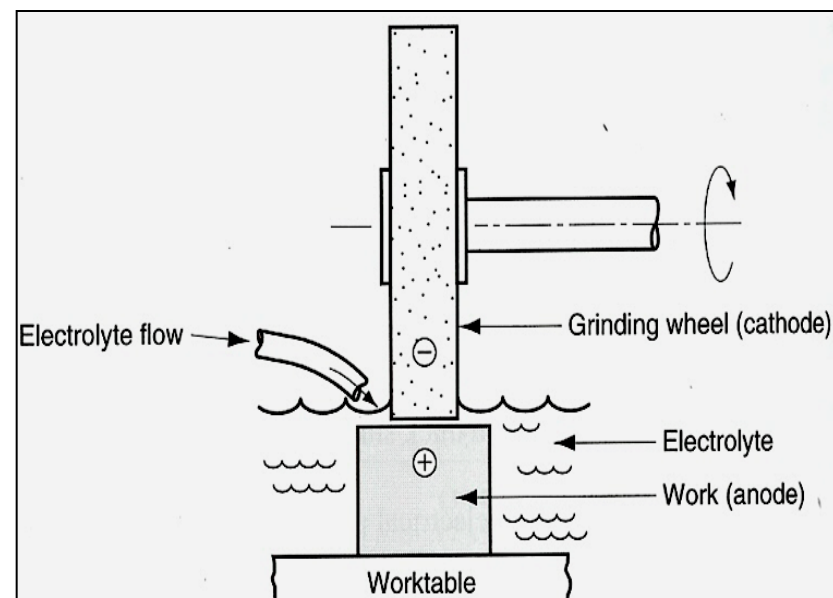
This type of operation is an adaptation of the ECM process to remover burrs or to round sharp corners by anodic dissolution. A possible scheme of the instalation is shown in next picture.

A mó rotativa é normalmente feita de óxidos de alumínio e diamante. O material de ligação na mó tanto pode ser metálico (para abrasivos à base de diamante) como resinas impregnadas com partículas metálicas para assegurar a condutibilidade eléctrica.

O líquido electrólito permite escoar o material removido evitando deposição no cátodo.

Na rectificação electroquímica a remoção química (deplating) é responsável por mais de 95% enquanto a mó somente remove o remanescente.

The abrasives of the grinding wheel are mainly made of aluminium oxide. The bond material is either metallic (for diamonds abrasives) or resin bond impregnated with metal particles to make the grinding wheel conductive (for aluminium oxide). The electrolyte stream avoids metal deposition on the cathode. Deplating is responsible for more then 95% of the removal process while 5% or less represents removal using the grinding wheel.





PROCESSOS ENVOLVENDO ENERGIA TÉRMICA

Processes using Thermal Energy

Processos de remoção de material que envolvam energia térmica caracterizam-se por apresentar temperaturas elevadas na zona de remoção, suficientemente elevadas que levam à fusão ou vaporização local do material. Dadas as temperaturas elevadas, este tipo de processos causa dano físico e metalúrgico às peças, o que obriga a processamento adicional.

Os processos aqui abrangidos, que apenas incidem sobre materiais electricamente condutores, são:

- maquinação por descarga eléctrica (electro-erosão);
- maquinação por descarga eléctrica por fio (electro-erosão por fio);
- maquinação por feixe de electrões;
- maquinação por feixe de laser;
- maquinação por arco de plasma;
- maquinação por processos térmicos convencionais.

Material removal processes based on thermal energy are characterized by very high local temperatures – hot enough to remove material by fusion or vaporisation. Because of this, these processes cause physical and metallurgical damage to the part, thus requiring to smooth the surface.

The processes included in this group, covering only electrically conductive materials, are:

- electric discharge machining;
- electric discharge wire cutting;
- electron beam machining;
- laser beam machining;
- plasma arc machining;
- Conventional cutting process.

Electro-erosão/Electric Discharge Machining

O processo de electro-erosão é um dos mais usados. A figura ao lado apresenta o esquema geral de uma instalação.

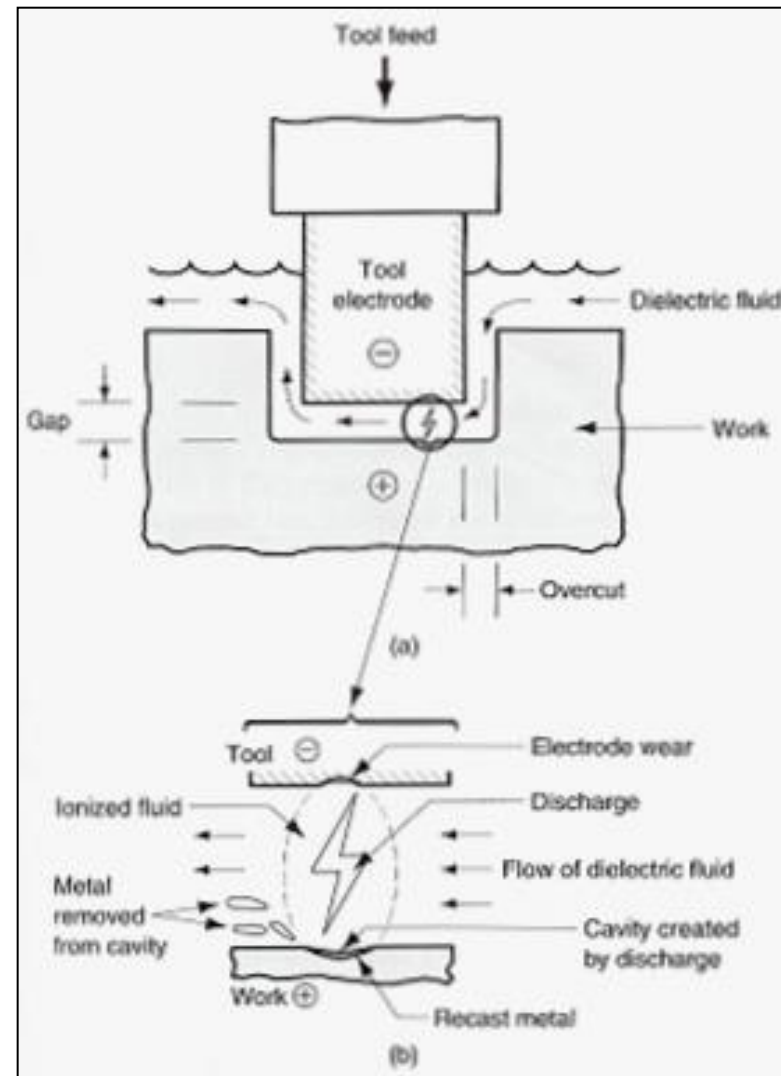
A forma pretendida é dada pela ferramenta (eléctrodo – cátodo), em que a descarga eléctrica ocorre num espaço reduzido, dado pela folga entre a peça a trabalhar (ânodo), na presença de um fluido dieléctrico, o qual, quando ionizado, permite criar uma zona (path), entre o cátodo e o ânodo onde a faísca tem lugar, tendo por base uma corrente eléctrica continua pulsada.

Na zona onde se dá a descarga a temperatura é extremamente elevada, de tal forma que o material na região funde e é removido sendo arrastado pelo fluido dieléctrico.

The EDM process is one of the most popular non-conventional processes. The figure exhibits the general configuration of the EDM set up.

The final shape is given by the tool (electrode-cathode). The spark occurs in the gap between tool and workpiece in the presence of a dielectric fluid which, once ionized, creates a path between anode and cathode. The spark is generated by a direct pulsed current.

The region in which discharge occurs is heated to extremely high temperatures so that material is melted and removed being dragged away by the dielectric fluid.



A foto ao lado apresenta o exemplo de um equipamento de electro-erosão. Neste tipo de tecnologia, onde os eléctrodos podem ser de grafite, cobre, os principais parâmetros são a intensidade da corrente e a frequência da descarga. O fluido dieléctrico é normalmente feito de óleos orgânicos, água destilada ou não ionizada.

A dureza dos materiais não é factor na electro-erosão.

A fórmula abaixo apresenta de modo empírico um método para calcular a razão de remoção de material (MRR).

The photo shows a typical equipment for EDM.

In this type of technology, where the electrodes can be made of graphite and copper, the main parameters are the intensity of the current and the frequency of the discharge. The dielectric fluid can be made of hydrocarbon oils, distilled or deionized water.

The materials hardness is not an EDM factor.

The following empirical formula allows to determine the Material Removal Rate (MRR):

$$MRR = \frac{KI}{T_m^{1.23}} \text{ in}^3 / \text{min} (\text{cm}^3 / \text{min})$$

K= 5,08 (US system) ou 39,86 SI

I = Intensidade da corrente/Current Intensity (Amp)

T_m= Temperatura de fusão/melting temperature °F(°C)

Material	Ponto de fusão Melting point	
	oF	oC
Al	1220	660
Cu	1981	1083
Fe	2802	1539
Pb	621	327
Mg	1202	650
Ni	2651	1455



Aspecto geral de uma unidade de electro-erosão
General aspect of an EDM unit



Exemplo de electro-erosão/EDM example

Uma determinada liga com um ponto de fusão de 660 oC é para ser maquinada com uma intensidade de corrente de 25 A. Qual é MRR.

A certain alloy whose melting point is 600 oC is to be EDM machined at 15 A. What is the expected MRR.

$$MRR = \frac{39,86 \times 25}{660^{1.23}} = 0,381 \text{ cm}^3 / \text{min}$$

Electro-erosão é usada para fabricação de ferramentas e de de peças, incluindo moldes, matrizes de extrusão, etc. Também se aplica em actividades de manutenção de peças de motor, designadamente proceder a furação.

EDM is used to manufacture tooling and parts, including molds, extrusion dies. EDM can also be used for maintenance work, namely in engines to carry on specific hole drilling.

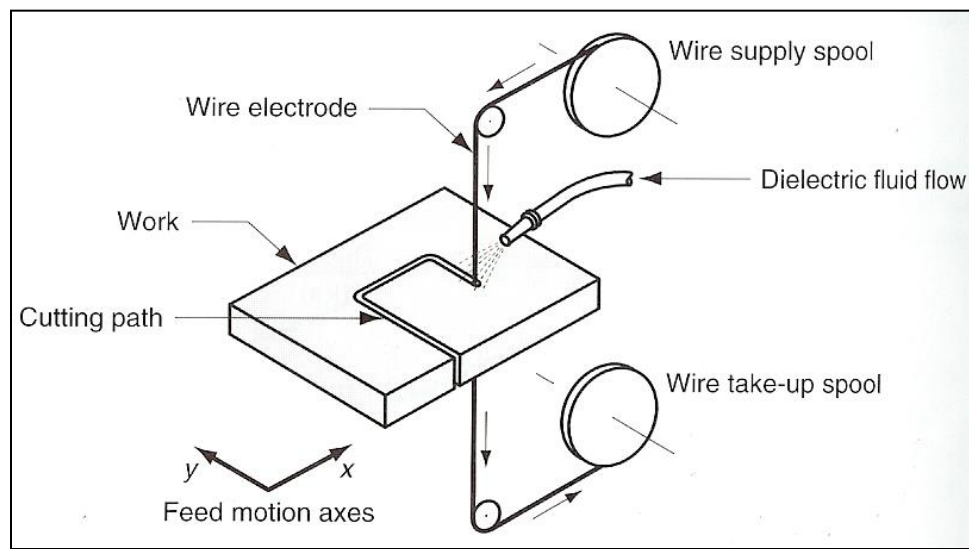
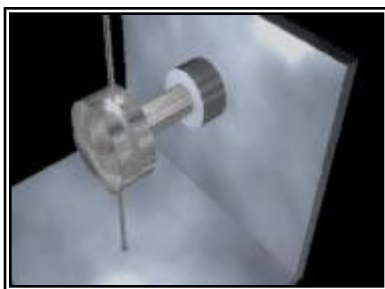
Corte por electro-erosão (fio)/Electric Discharge Wire Cutting

Este tipo de electro-erosão recorre ao uso de um fio de reduzido diâmetro para cortar peças. O fenómeno de corte é conseguido de forma semelhante à electro-erosão convencional.

This type of EDM uses small-diameter wire as the electrode to cut materials. The cutting mechanism is similar to EDM conventional.

As figuras apresentam o esquema tipo electro-erosão por fio e um modelo de equipamento comercial.

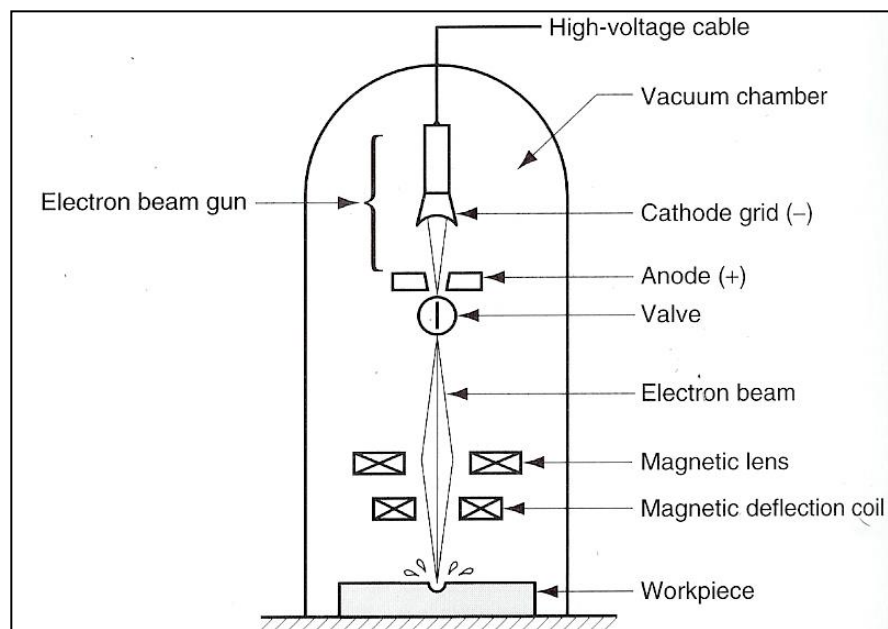
The pictures represent the typical mechanism associated to EDWC and an example of a commercial equipment.



Maquinação por Feixe de Electrões (MFE)/Electron Beam Machining (EBM)

A MFE recorre a um feixe de electrões cujo foco é a peça a maquinar, removendo-se material devido à fusão e vaporização, num diâmetro de feixe da ordem de 0,025 mm. No momento do choque dos electrões com a superfície do material, a sua energia cinética (velocidade é de $\frac{3}{4}$ a da luz) é convertida em energia térmica a qual leva à fusão local do material e posterior vaporização, o que ocorre numa câmara de vácuo evitando a colisão com moléculas de gás. MFE é usada na realização de furos de baixo diâmetro (0,05mm) ou realização de ranhuras – como é o caso de peças de motor de avião .

EBM uses an electron stream travelling at $\frac{3}{4}$ the speed of light that when on impinging the workpiece converts its kynetic energic into thermal which melts and vaporises the material. EBM is used to drill small-diameter holes (0,025 mm) and slots with 0,05 mm dimension. The EBM can be used in the manufacturing process of engine parts.



Modelo de funcionamento de MFE
Layout of EBM

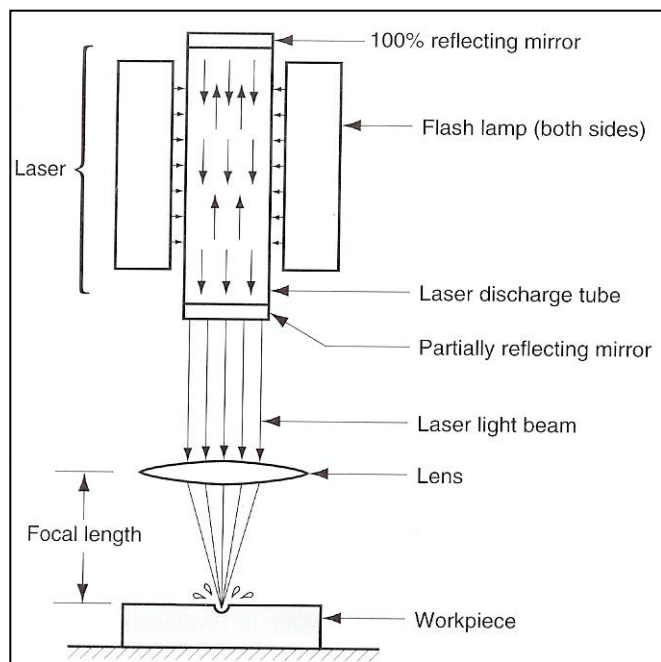


Aspecto geral de uma unidade de MFE
General aspect of an MFE unit

Maquinação por Feixe de Laser (MFL)/Laser Beam Machining (LBM)

A MFL recorre a um laser pulsado cujo feixe ao passar por uma lente incide na superfície de um material levando à fusão e evaporação deixando a superfície a velocidade elevada. MFL pode ser usado na furação até diâmetros com dimensão da ordem de 0,025 mm. Os materiais expostos a MFL deverão ter elevada capacidade de absorção de luz, fraca reflexão, boa condutividade térmica, baixo calor específico, baixo calor de fusão e baixo calor de vaporização.

LBM uses a pulsed laser to generate a stream of light that passes through lenses and then impinging the workpiece that produces a combination of evaporation and melting, with the melted material evacuating the surface at high velocity. LBM is used to perform drilling holes with 0,025mm. Materials to be LBM exposed should have high light energy absorption, poor reflectivity, good thermal conductivity, low specific heat, low heat of fusion and low heat of vaporisation.



Modelo de funcionamento de MFL
Layout of LBM



Aspecto geral de uma unidade de MFL
General aspect of an LBM unit

Corte por plasma (CPP) /Plasma Arc Cutting (PAC)

Define-se Plasma um gás na condição de superaquecido e electricamente ionizado.

O CPP usa plasma cuja temperatura se situa entre 10 K°C e 14 K°C para cortar metal o qual é projectado na condição de fundido. O plasma é gerado entre o eléctrodo (no interior da tocha) e a peças (que funciona como ânodo) sendo encaminhado para a superfície do material guiado por uma corrente de gás secundário, o que permite cortar espessuras até 15 cm.

O gás do jacto primário associado ao plasma é Azoto, Argon-Hidrogénio.

CPP poder ser usado na realização de produção em série já que exhibe grandes velocidades de avanço, e.g., 0,8 cm/s para espessuras de 10 cm.

Apresenta como desvantagem o dano metalúrgico da zona adjacente ao corte.

Plasma is a superheated and ionized gas.

PAC uses plasmas with temperatures ranging from 10 K°C to 14 K°C to cut metal which is blown away.

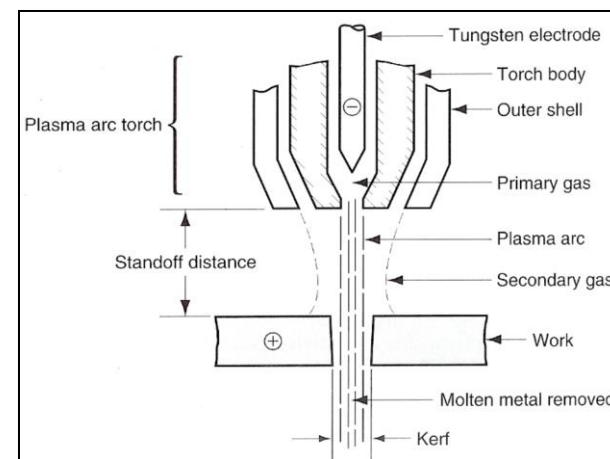
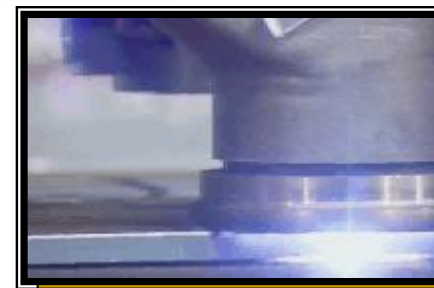
The plasma is generated inside the torch between the electrode and the workpiece.

The plasma is constricted by a secondary flow of gas or coldwater, being possible to cut material up to 15 cm thickness.

The primary gas can be nitrogen or argon-Hydrogen.

PAC can be used in series production as feed rate can reach values of the order of 0,8 cm/s when cutting 10 cm thickness.

PAC main disadvantage is the metallurgical damage of the cut surroundings.





Corte oxiacetilénico /Oxyfuel Cutting Processes (OCP)

Trata-se de um processo que recorre à combustão de gases que se combinam com reacções exotérmicas do metal com oxigénio.

Estes processos são usados com frequência para cortar placas metálicas de material ferroso, onde a oxidação rápida do ferro ocorre de acordo com as reacções químicas abaixo indicadas

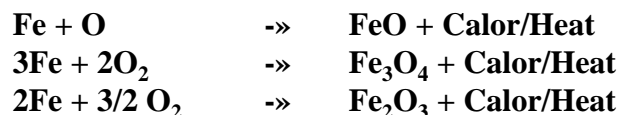
A equação $3\text{Fe} + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{Calor/Heat}$ é a mais importante em termos de geração de calor.

O corte de materiais não ferrosas é diferente na medida em que apresentam pontos de fusão inferiores e ainda são mais resistentes à oxidação. Nestes casos o calor de combustão da mistura de oxigénio e combustível é fundamental sendo necessário adicionar pós metálicos ao fluxo de oxigénio.

This type of processes uses the heat of combustion of certain fuel gases combined with the exothermic reaction of the metal with oxygen. These processes are frequently used to cut ferrous metal plates, where rapid oxidation of iron occurs according to the following equations below.

Equation $3\text{Fe} + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{Calor/Heat}$ is the most important in terms of heat generation.

The cutting process of non-ferrous material is different because such materials have lower melting temperatures and are more resistant to oxidation. In these cases the heat of combustion of the fuel and oxygen is fundamental being necessary to add metal powders to the stream of oxygen





PROCESSOS QUÍMICOS

Chemical processes

A maquinação química é um processo não-convencional em que a remoção de material se faz por contacto com um agente químico (etchant)

A maquinação química abrange a fresagem, “blanking”, gravação e maquinação fotoquímica. Todos recorrem aos mesmos mecanismos para realizar a referida maquinação.

O processo de maquinação química envolve vários passos:

- Limpeza: para garantir que o material é removido de forma uniforme;
- Protecção/reservas: protecção feita de material quimicamente resistente ao ataque – neoprene, etc.
Existem vários processos de colocação de reserva (cut and peel, photographic resist, screen resist)
- Ataque (etching): passo que inclui a remoção do material (nas zonas não protegidas) em que o processo mais comum é o ataque ao metal convertendo num sal que se dissolve no banho químico. Concluído o processo de remoção a peça é retirada sendo lavada para parar o processo. Os ataques químicos são normalmente os seguintes:

Al e ligas :	FeCl ₃
Titânio:	HF
Aços:	HCl
- Remoção de reservas/protecções.

The chemical machining (CHM) is non conventional process where removal of material occurs through contact with a strong chemical etchant.

CHM includes milling, blanking engraving and photochemical machining. All use the same methods to carry on the machining process.

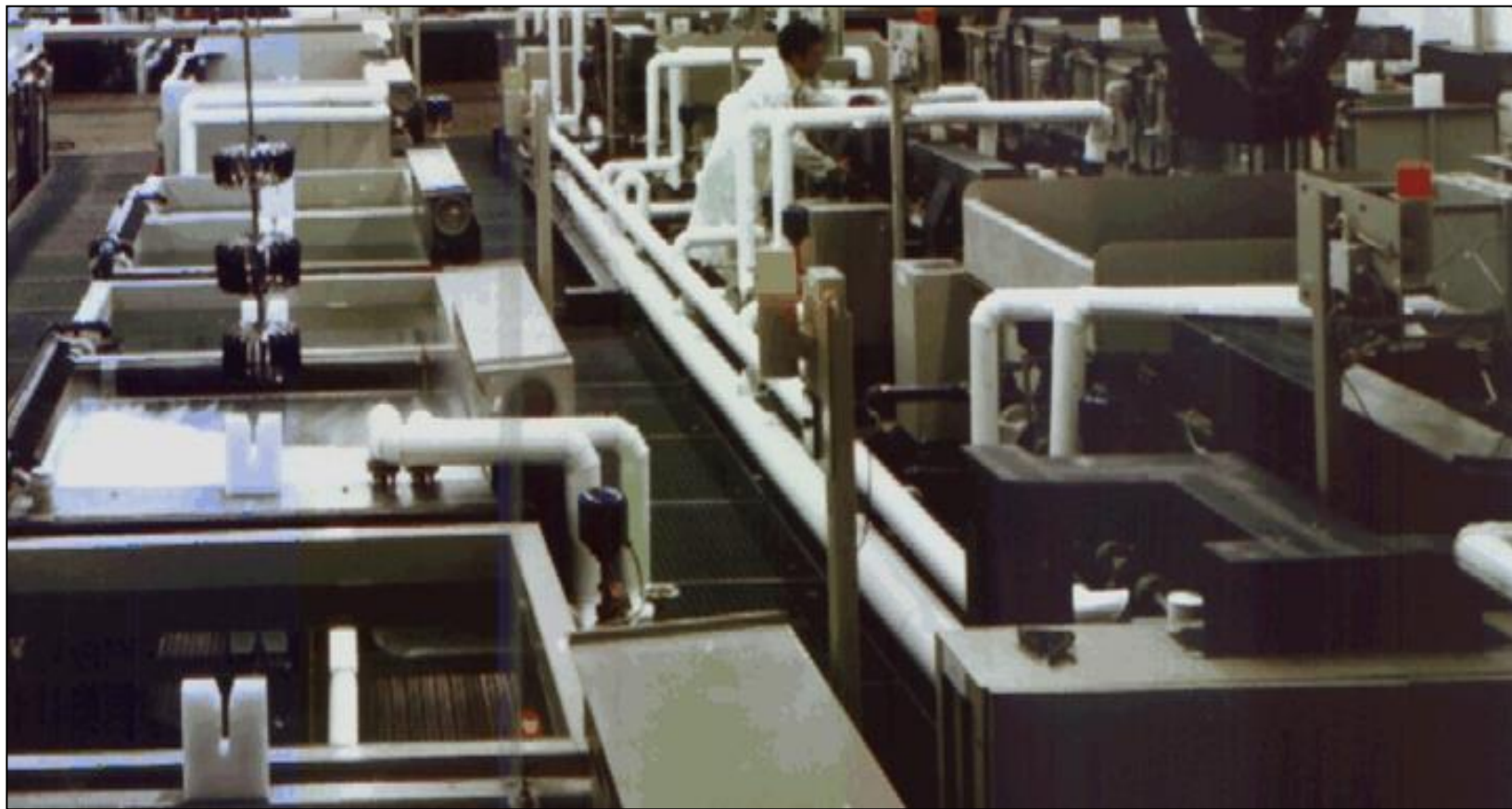
The CHM includes 4 steps:

- cleaning, to ensure uniform removal of material;
- masking, by material chemically resistant to etchant, eg., neoprene;
- etching, material removal using a chemical bath in which metal is converted into salt being dissolved thus removed from surface. Once concluded the process parts are then washed to stop process. The chemical etchants are normally:

Al and alloys :	FeCl ₃
Ti:	HF
Steel:	HCl

- Demasking.

Instalação industrial – exemplo/Example of CHM industrial instalation



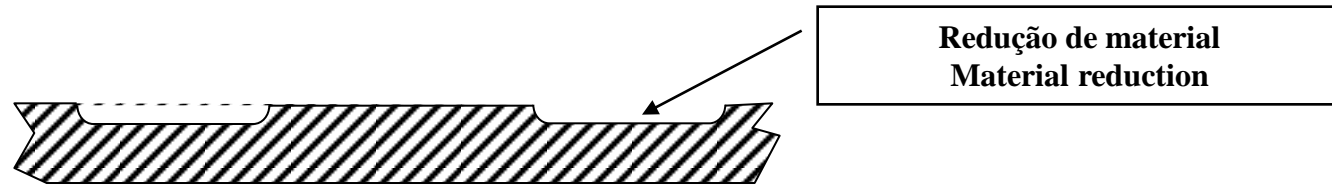
Fresagem Química/Chemical Milling

Processo comum em aeronáutica designadamente usado na remoção de grandes quantidades de material de painéis de fuselagem e de asas, usando-se o processo de reserva de “cut and peel”.

Com este processo é possível remover espessuras da ordem de 0,005 mm sem danos metalúrgicos.

Standard process in aeronautics where significant quantities of material are removed from fuselage and wing panels, using the “cut and peel” masking process.

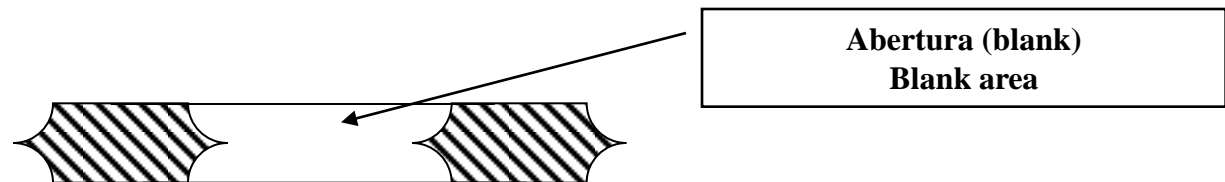
Thickness reduction can be as much as 0,005 mm without causing metalurgic damages.



“Arrombamento” químico / Chemical blanking

Processo equivalente a fresagem química todavia usado para provocar erosão total de uma zona da peça provocando o corte, designadamente de espessuras da ordem de 0,025 mm, o que seria impossível por estampagem.

Equivalent CHM allows to cut very thin plates, 0,025mm, where conventionla stamping and punching methods would damage parts.





COMPARAÇÃO DE PROCESSOS NÃO-CONVECIONAIS

Non-traditional processes comparison

APLICAÇÃO DE PROCESSOS NÃO-CONVENCIONAIS DE MAQUINAÇÃO vs MATERIAIS								
Applicability of non-traditional machining processes vs materials								
Material	Processos mecânicos Mechanical processes		Processos Electroquímicos Electrochemical processes	Processos Térmicos Thermal Processes				Processos Químicos Chemical processes
	USM	WJC	ECM	EDM	EBM	LBM	PAC	CHM
Al	C	C	B	B	B	B	A	A
Aços/Steel	B	D	A	A	B	B	A	A
Legenda/key USM Ultrasound machining WJC Water Jet Cutting ECM Electrochemical Machining EDM Electric Discharge Machining EBM Electron Beam Machining LBM Laser Beam Machining PAC Plasma Arc Cutting CHM Chemical Milling								
			A	Boa utilização/Good application				
			B	Utilização mediana/Fair application				
			C	Má utilização/Poor application				
			D	Não aplicável/Not applicable				

CARACTERÍSTICAS DA MAQUINAÇÃO NÃO-CONVENCIONAL vs MATERIAIS								
Machining Characteristics of Non-traditional Machining Processes vs materials								
Material	Processos mecânicos Mechanical processes		Processos Electroquímicos Electrochemical processes	Processos Térmicos Thermal Processes				Processos Químicos Chemical processes
	USM	WJC	ECM	EDM	EBM	LBM	PAC	CHM
Al	C	C	B	C	D	D	A	B-D
Aços/Steel	A	B	B	A-D	A	A	D	A-B
Legenda/key USM Ultrasound machining WJC Water Jet Cutting ECM Electrochemical Machining EDM Electric Discharge Machining EBM Electron Beam Machining LBM Laser Beam Machining PAC Plasma Arc Cutting CHM Chemical Milling								
			A	Excelente/Excelet				
			B	Boa/good				
			C	Razoável/fair				
			D	Fraca/poor				