



Universidade Federal do Paraná
Setor de Tecnologia
Departamento de Engenharia Mecânica

EMEC7062 (PGMEC) / ECMA7042 (PIPE) Engenharia de Superfícies

Engenharia de Superfícies
Uma visão geral

Prof. Rodrigo Perito Cardoso

1	05/set	Introdução e Regras do jogo
2	07/set	Feriado
3	12/set	Artigo Bell: Surface Engineering: Past, present and future
4	14/set	Artigos : Bell (Tribologia), Subramania (manufactoring)
5	19/set	Congresso PSE (não haverá aula)
6	21/set	Congresso PSE (não haverá aula)
7	26/set	Engenharia de Superfícies
8	28/set	Engenharia de Superfícies
9	03/out	Semana integrada (SIEPE) - pode não ter aula
10	05/out	Engenharia de Superfícies
11	10/out	Cbravic (talvez não haverá aula)
12	12/out	Feriado
13	17/out	Engenharia de Superfícies
14	19/out	Prova 01
15	24/out	tribologia
16	26/out	tribologia
17	31/out	Corrosão
18	02/nov	Feriado
19	07/nov	Corrosão
20	09/nov	Apresentações
21	14/nov	Apresentações
22	16/nov	Feriado? Pode não ter aula
23	21/nov	Apresentações
24	23/nov	Prova 02

**Dia 03/10 não
haverá aula**

Introdução

- O termo Engenharia de Superfícies começou a ser usado nos EUA nos anos 1970
- Incluía os diferentes processos e materiais usados para modificar a “função” de superfícies de sólidos
- Todo projeto tem alguma consideração sobre a superfície a ser levada em conta (textura, pintura, acabamento, recobrimento, proteção contra corrosão, limpeza, esterilização, etc)

Introdução

- Falaremos principalmente de como endurecer uma superfície, como torná-la resistente a corrosão, como torná-la mais durável e como alterar suas propriedades físicas
- Para isso necessitamos conhecer as técnicas disponíveis para alterar superfícies
- Em geral, tratamento de superfícies permite fabricar a peça de um material mais barato

Introdução

- Algumas vezes, peça de um único material, sem tratamento de superfícies, não atinge o desempenho requerido, ex:
 - TiN são usados como filmes resistentes ao desgaste, mas ferramentas somente de TiN não estão disponíveis
 - Podemos recobrir um pulsão com filme de diamante, mas não podemos fazer um pulsão de diamante

Introdução

- Em geral, a engenharia de superfície permite redução de custo e/ou melhor performance
- Na maioria dos casos, é um campo de estudos multidisciplinar que tem por objetivo alterar de forma conveniente as propriedades de uma superfície, dando a ela novas propriedades ou aumentando a vida de um componente

Principais razões para alterar uma superfície

Razões para aplicar engenharia de superfícies:

1. Alter appearance

- Color
- Surface texture/gloss
- Lay
- Clean/remove oxide, rust, etc.

2. Alter dimensions

- Rebuild worn surface
- Add a protective layer
- Fix mismachining

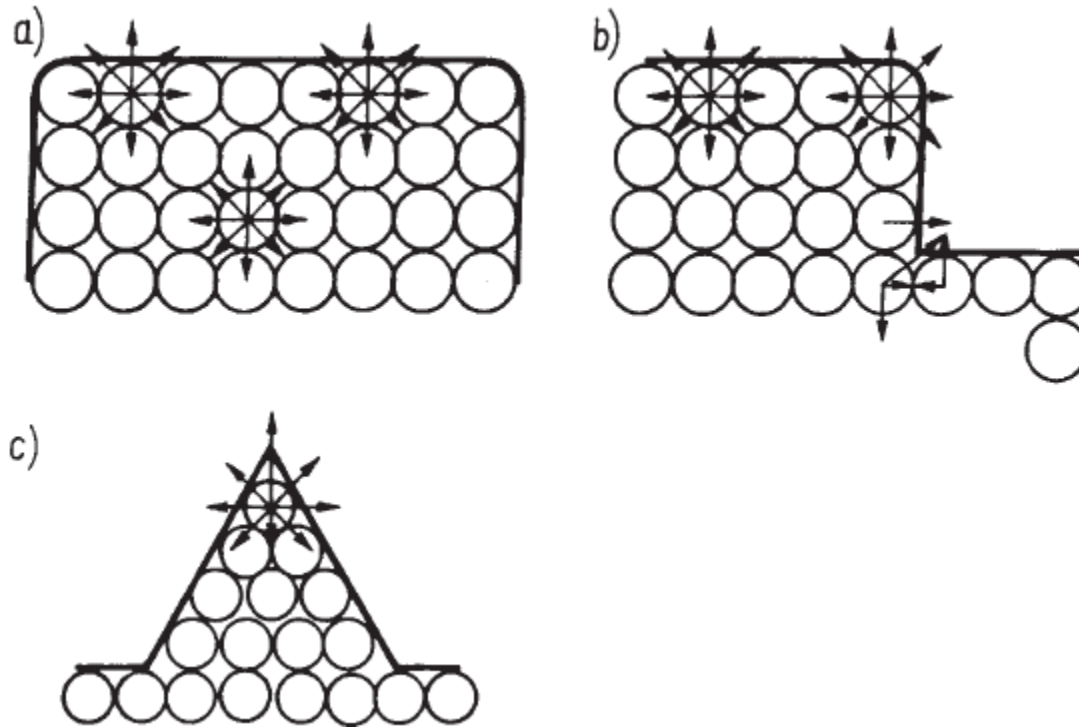
3. Alter properties

- Improve wear resistance
- Improve heat resistance
- Improve fatigue resistance
- Improve corrosion resistance
- Friction characteristics
- Biological condition
- Optical properties
- Adhesion

4. Cost

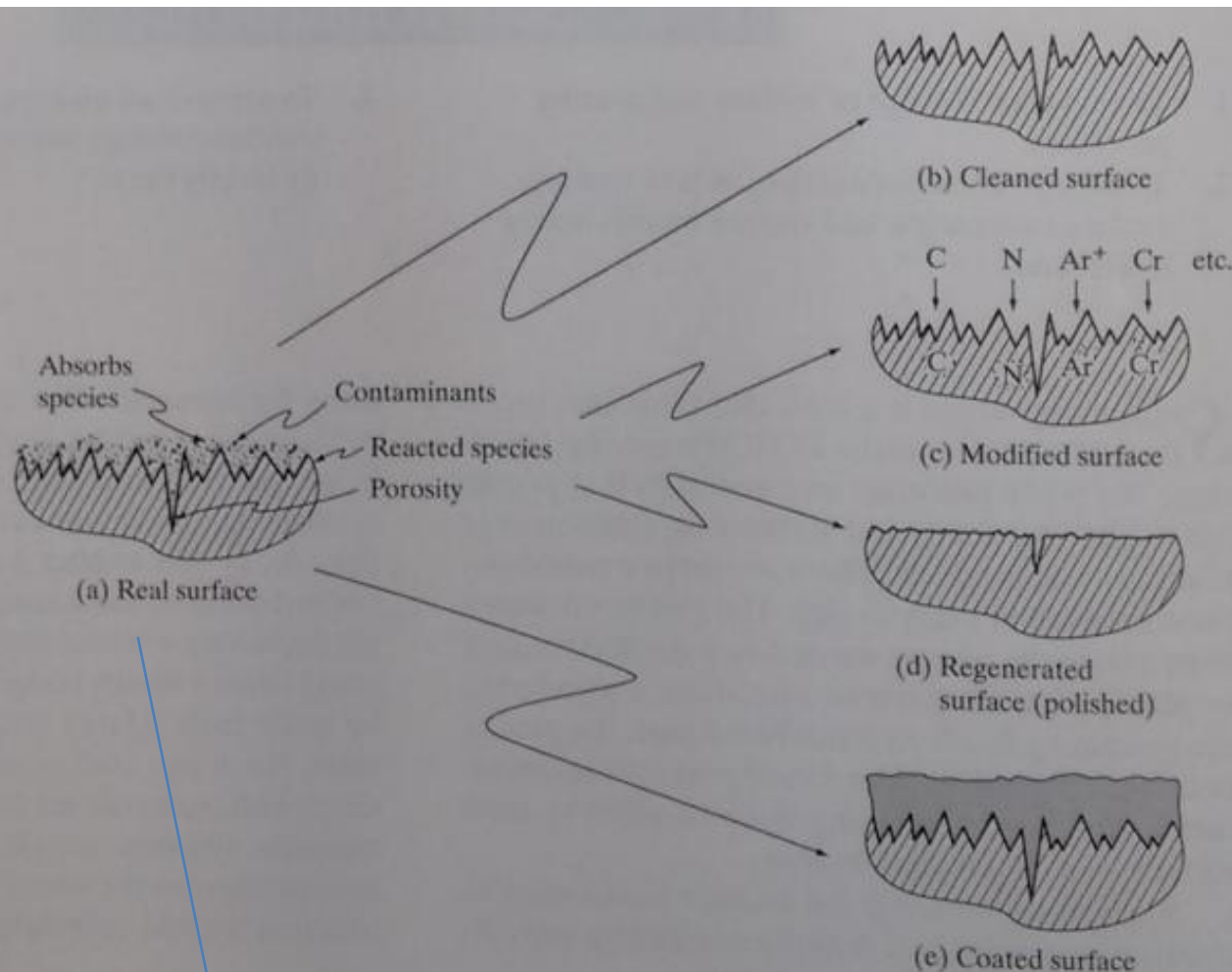
- Lower cost
- Add value to raise price

Superfície idealizada de um material



Qual a definição matemática de uma superfície?

“Componentes” de uma superfície sólida “real” e modificações



Características:

- Geometria

- Rugosidade
- Ondulações

- Óxidos e contaminantes (visíveis ou não, ex: inox, Al, peças de cobre, espécies adsorvidas (H_2O , CO), poeira, óleos, bactérias, fungos, etc)

Superfície tratada pela engenharia de superfícies (pode considerar desde a escala atômica até “macro” escala)

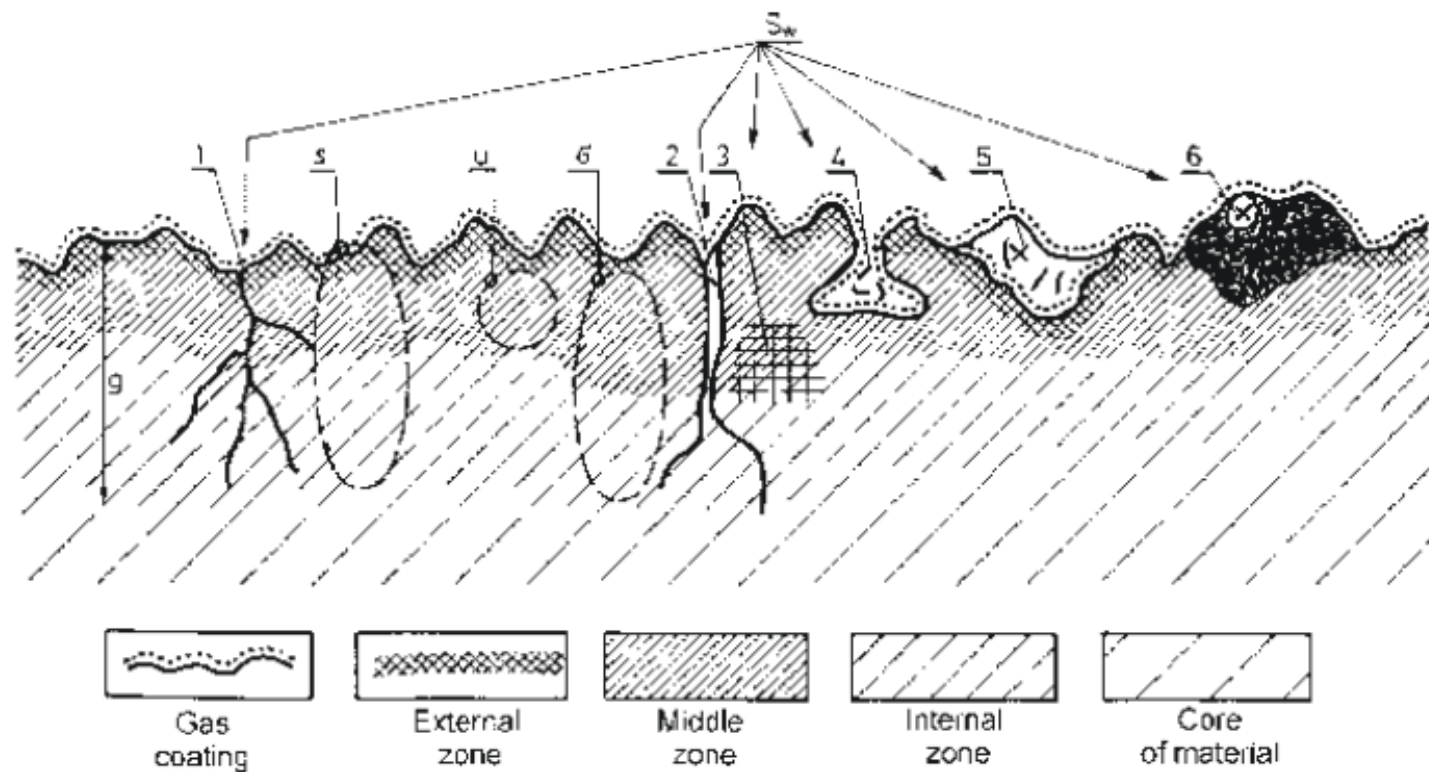
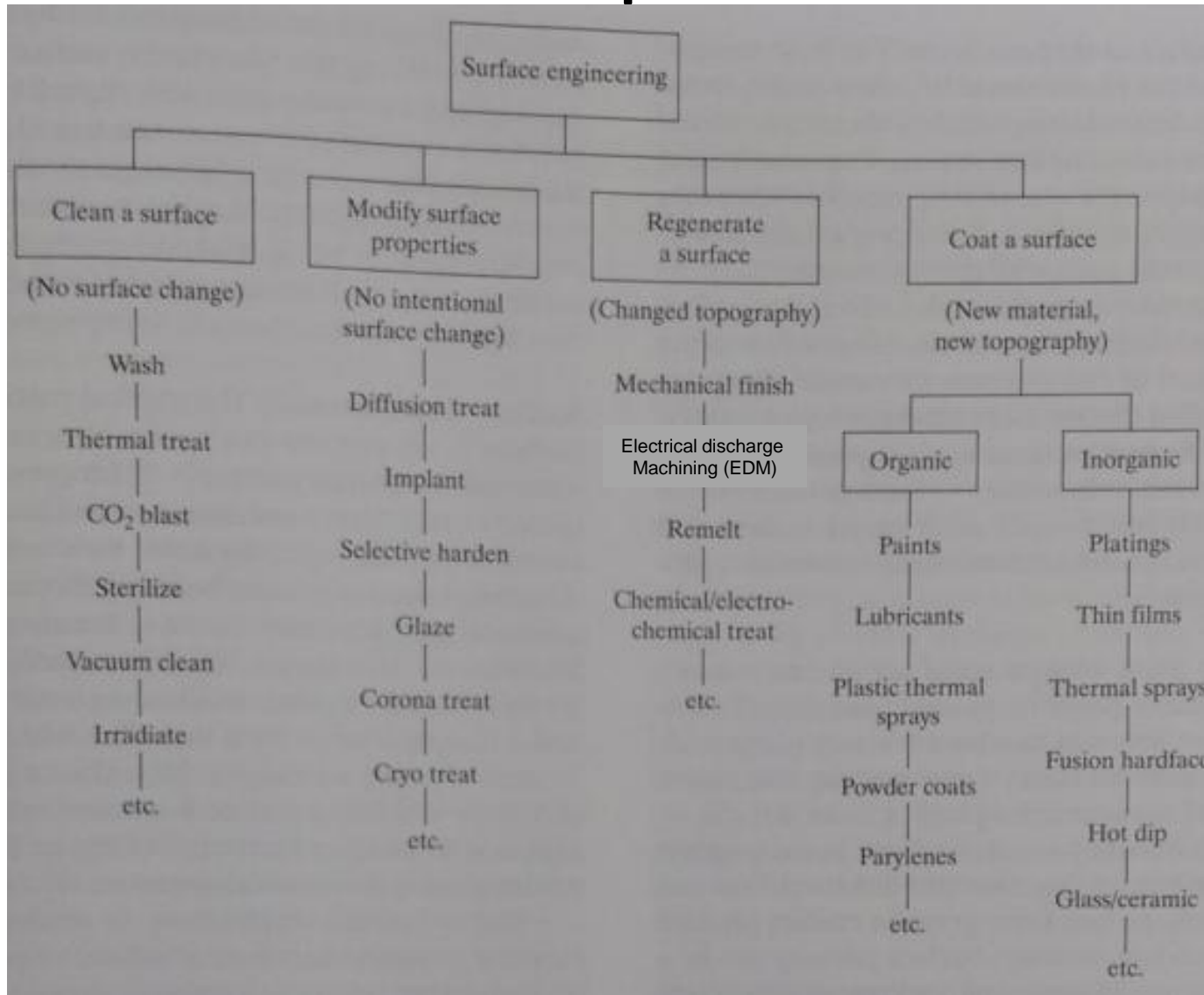


Fig. 5.4 Diagram showing a set of factors characterizing the superficial layer of a solid, against the background of a 3-zone model of the superficial layer [3]: g - thickness of superficial layer; s - structure of surficial layer; u - strengthening of the middle zone; s - residual stresses in the superficial layer; S_f - flaws of the superficial layer; 1 - microfracture; 2 - fissure; 3 - microshrinkage; 4 - porosity; 5 - gap; 6 - inclusion. (From Kolman, R. [3]. With permission.)

Principais métodos de modificação de superfícies



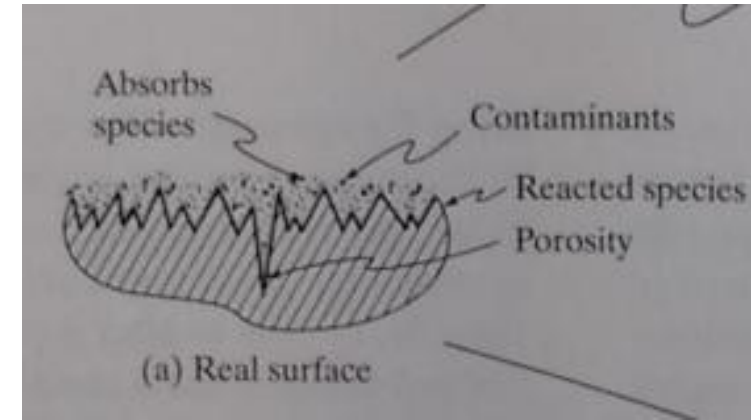
Anatomia de uma superfície sólida

- Antes de falarmos de modificar uma superfície precisamos caracterizá-la:
 - Presença de filmes
 - Porosidade
 - Composição
 - Topografia
 - etc

É extremamente importante conhecer as técnicas de caracterização -> o engenheiro não deve ser “cliente de uma técnica de caracterização”

Anatomia de uma superfície sólida (Filmes)

- Superfícies podem ser mais complexas que o ilustrado ->
 - Superfícies pode reagir com o ambiente quando exposta
(ex. maçã, inox, cabelo(adsorção de água), amostras metálicas expostas ao ar, etc)
- Alguns processos evitam expor superfície ao ambiente



Anatomia de uma superfície sólida (Porosidade)

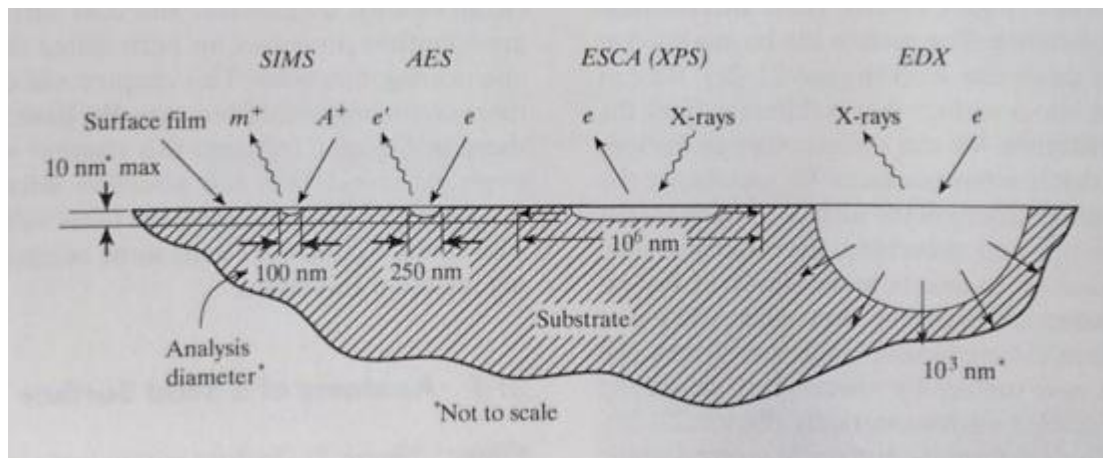
- A maioria dos materiais trabalhados não contém porosidade significativa
- Por outro lado, materiais fundidos, polímeros e cerâmica normalmente apresentam porosidade (no caso da metalurgia do pó podem ser parte do projeto -> filtros e buchas)
- Superfícies usinadas de ferro fundido pode apresentar cavidade devido a grafita

Anatomia de uma superfície sólida (Porosidade)

- Desvantagens:
 - Vácuo
 - Deposição de filmes
- Vantagens
 - Armazenar lubrificantes
- Possibilidade de medir e selar porosidade superficial

Anatomia de uma superfície sólida (Composição)

Os contaminantes são dificilmente detectados por técnicas “convencionais”
Muitas vezes estes estão presente em escala atômica

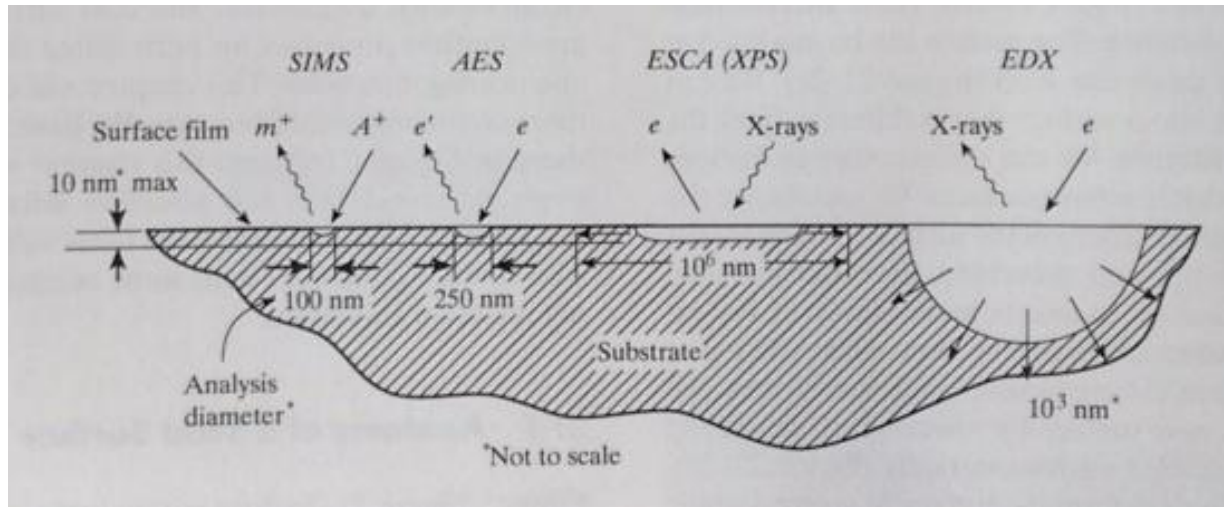


As vezes testes de molhabilidade podem ser úteis nestes caso

Boa parte da atividade de engenharia de superfícies consiste em analisar as superfícies (composição química, tensão residual, etc)

Limpeza de superfícies é essencial para as diversas técnicas de deposição de filmes (filmes finos, pinturas, adesivos...) -> gera problemas de adesão

Anatomia de uma superfície sólida (Composição)



Além da figura:

FTIR (orgânicos), DRX, RAMAN (Diamante, DLC, ...), GDOES,

SEM analisa topografia com aumentos superiores ao microscópio óptico (3000x) -> normalmente com EDX

Equipamentos atuais já tem maior resolução


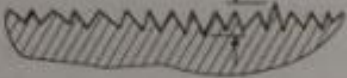
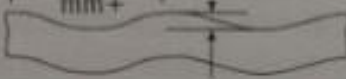
O princípio da maioria das técnicas é bombardear a superfície com elétrons, fótons, íons, radiação eletromagnética e detectar a resposta em termos de elétrons, íons, fótons,

O que varia basicamente é a “espécie” incidente e a detectada -> variando a técnica e os resultados

De preferências usar mais de uma técnica complementar

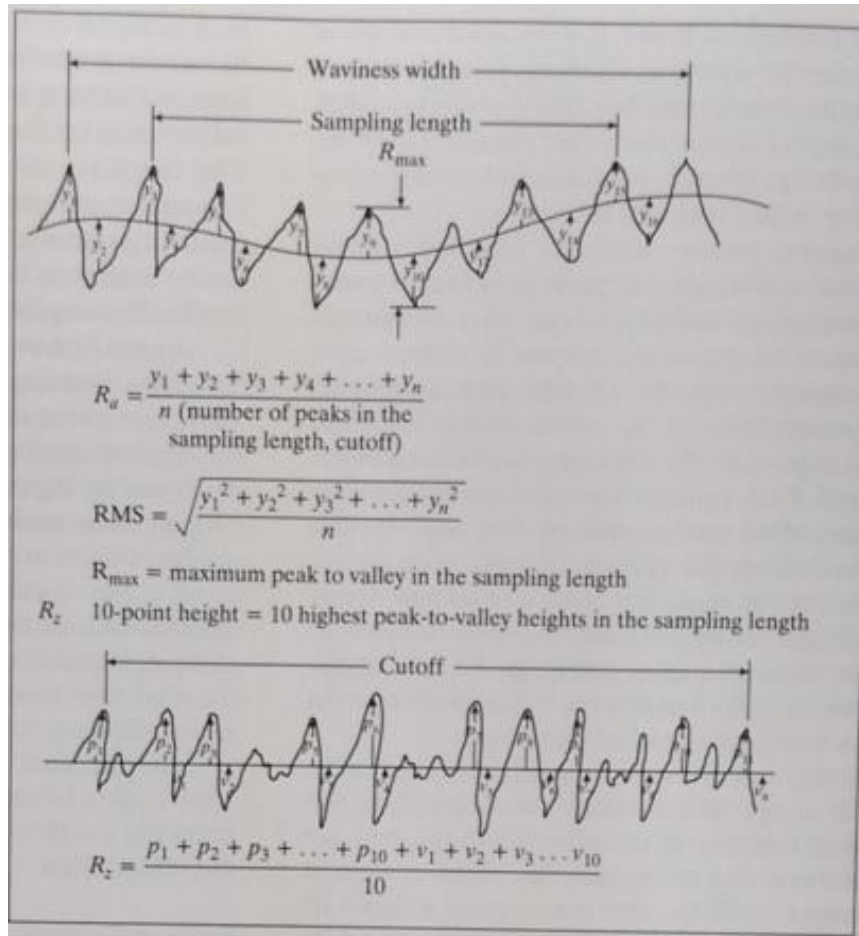
Anatomia de uma superfície sólida (Topografia)

Escala característica de superfícies para aplicação

Surface topography application	Feature sizes
Polished surfaces	<p>Roughness in nanometers</p> 
Machined surfaces	<p>Roughness in micrometers</p> 
Wrought plates	<p>Waviness width mm+ Waviness height Micrometer to mm</p> 

Existem diferentes técnicas para medir e descrever matematicamente uma superfície dependendo da escala de interesse

Anatomia de uma superfície sólida (Topografia)



Superfície de materiais de engenharia tem rugosidade e ondulação (poderia ter mais níveis se desejado)

Rugosidade é a variação entre picos e vales (ex. média) em uma distância (cutoff).

Normalizado – ASME

0,75 mm nos EUA e 1 mm nos outros países

Ondulação é em escala maior

Ondulação define planicidade

Rugosidade define: aparência, estrutura fina, textura

Anatomia de uma superfície sólida (Topografia)

Tipicamente se quantifica topografia por técnicas óticas ou de contato (com apalpadores)

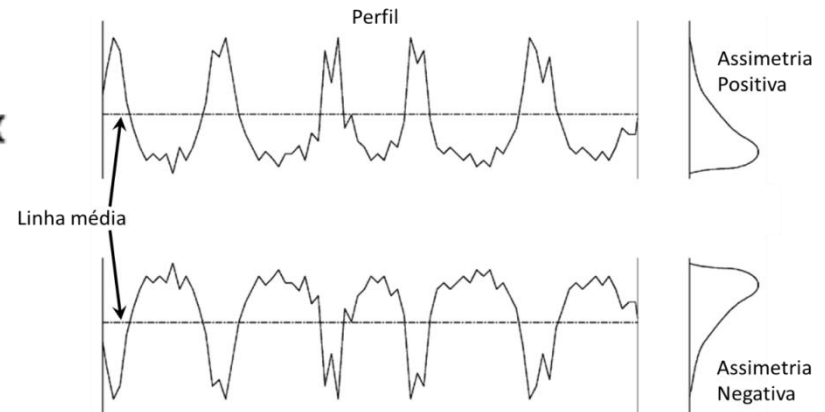
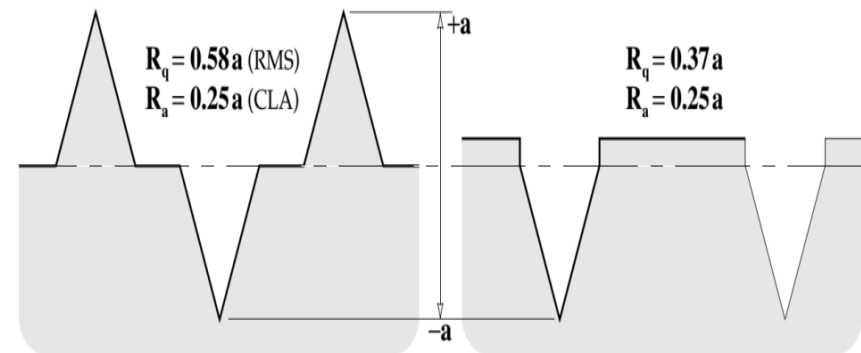
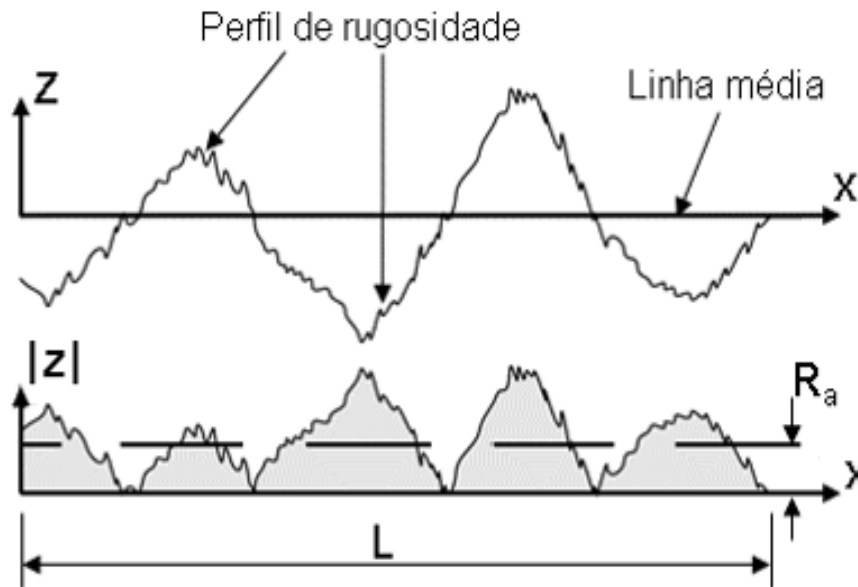
Apalpadores “convencionais” são de diamante e tem raio de ponta de $0,1\mu\text{m}$ com força de contato da ordem de nano Newtons

Entre as técnicas mais sensível está a microscopia de força atômica (AFM) -> pode ter ponta feita de nanotubo de 3 nm -> Existe a possibilidade de varrer a superfície sem contato

Existem ainda técnica a laser e de interferometria (3D)

Todas técnicas buscam o perfil da superfície e podem dar mais de 20 parâmetros da superfície (Ra, Rz, Rq, ... Sa, Sz, Sq...)

Porque tantos parâmetros de Rugosidade?



Anatomia de uma superfície sólida (Topografia)

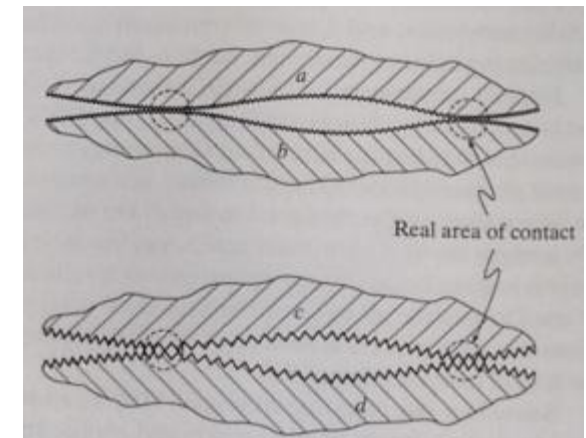
É necessário conhecer o estado inicial de uma superfície de engenharia, ex: se o tratamento não pode alterar a topografia. Diferentes técnicas e parâmetros matemáticos podem definir uma superfície matematicamente (saber o que escolher).

A maioria das técnicas não medem bem a ondulação -> importante para saber a real área de contato entre corpos. As asperidades da estrutura fina são parte das equações de contato, mas a ondulação normalmente é mais importante (rugosidade pode ser facilmente deformada no contato)

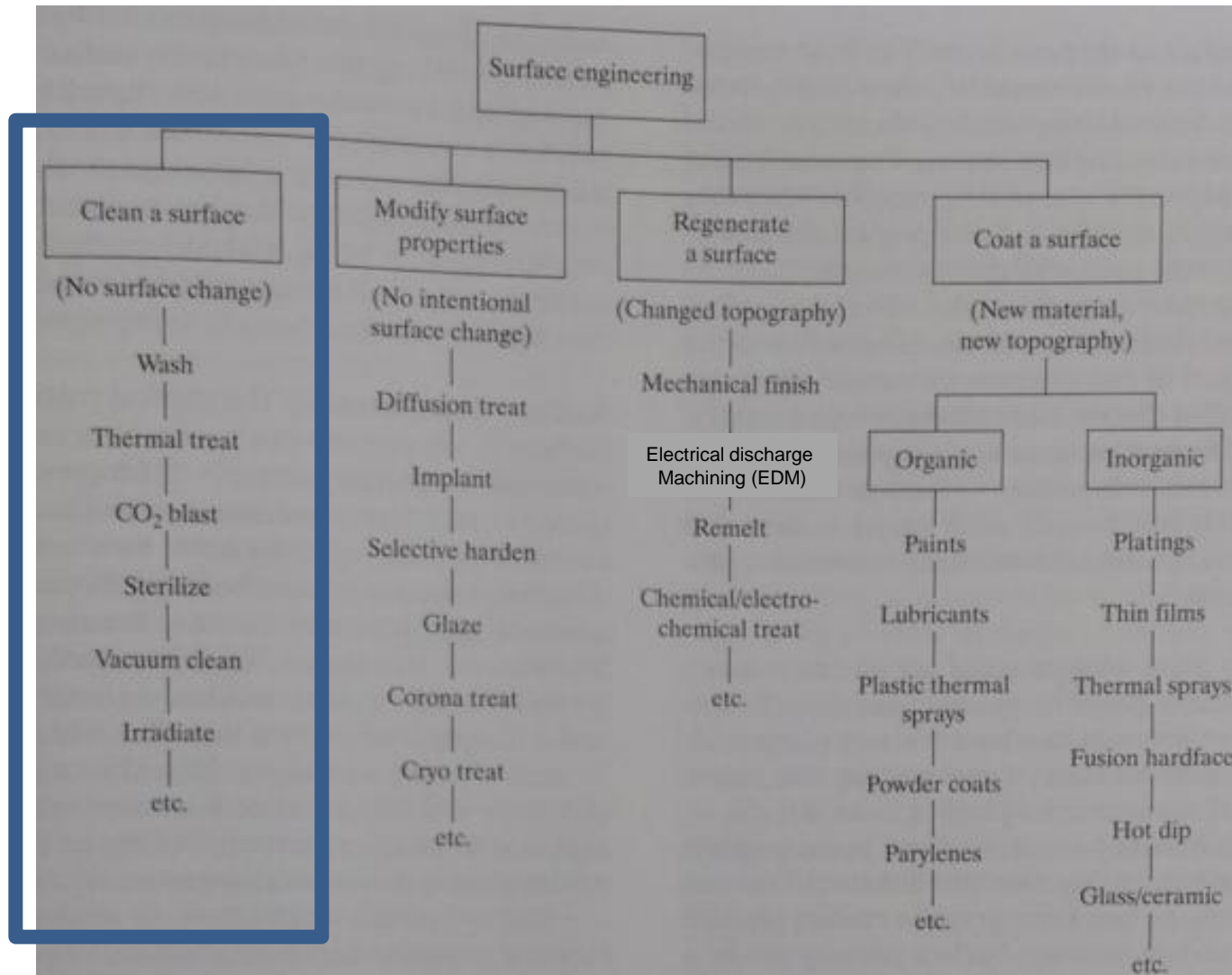
AFM nunca mede ondulação ($25 \times 25 \mu\text{m}^2$)

Origem da ondulação é do processo de “geração”
Ex. vibrações

Rugosidade deve ser medida com a técnica correta para cada aplicação



Principais métodos de modificação de superfícies



Limpeza

- A limpeza vem se tornando cada vez mais “técnica” com as restrições ambientais (limitando uso de solvente e outros componentes químicos usados no passado)
 - Peças usinadas devem ser limpas de fluidos de corte antes da pintura
 - Polímeros e cerâmicos devem ser limpos antes de ser colados
 - Superfícies devem ser limpas para depositar filmes finos
- Mas como limpar e como saber se a superfície está limpa?

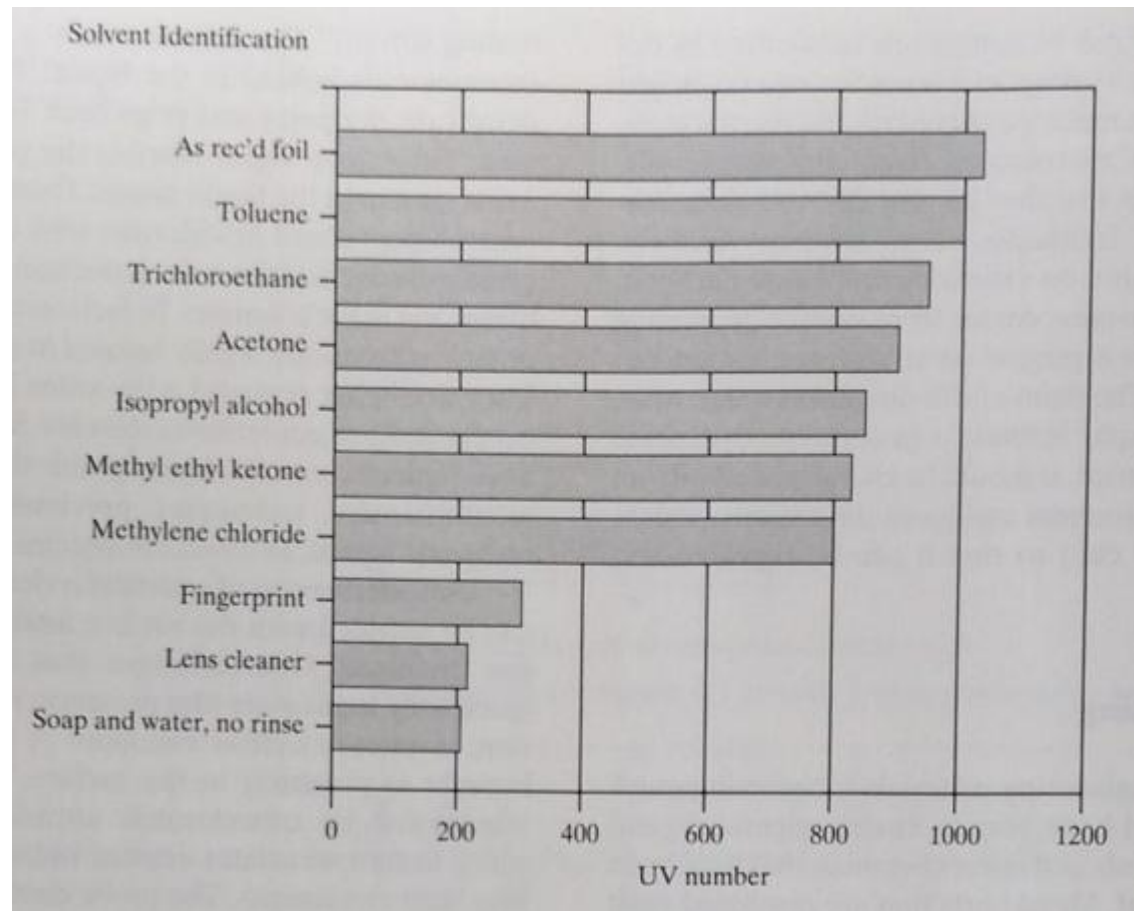
Limpeza

- Existem poucas maneiras de limpar uma superfícies de um sólido:
 - Dissolver: Solventes podem ser orgânicos, aquosos ou gases liquefeitos (normalmente com problemas ambientais)
 - Fraturar : abrasivos (ex: jateamento com CO₂ sólidos para evitar resíduos)
 - Queimar: fornos auto-limpantes, limpeza de fusos de extrusoras
 - Vaporizar: vácuo para evaporar e retirar resíduos

Limpeza

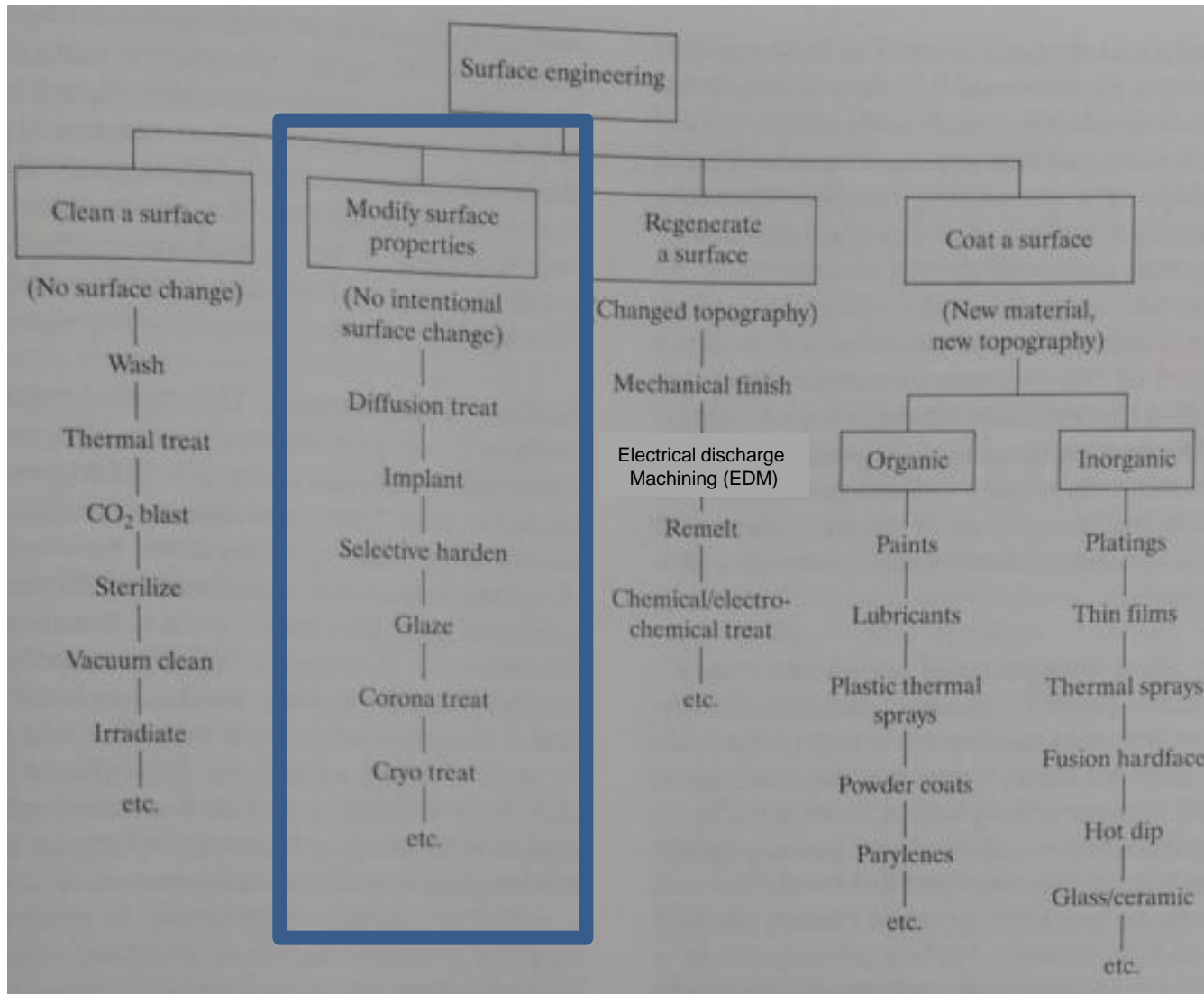
A efetividade da limpeza pode se obtida pelas técnicas de análise discutidas. Uma técnica alternativa é irradiar a superfície com UV e detectar os elétrons emitidos -> filmes restringem a emissão (importante -> para processos que necessitam limpeza a nível atômico - adesão)

Ex: Resíduos
após limpeza de
folhas de
alumínio



Estes processos podem ser importantes para a limpeza preliminar , mesmo não sendo aplicável na “limpeza final”

Principais métodos de modificação de superfícies



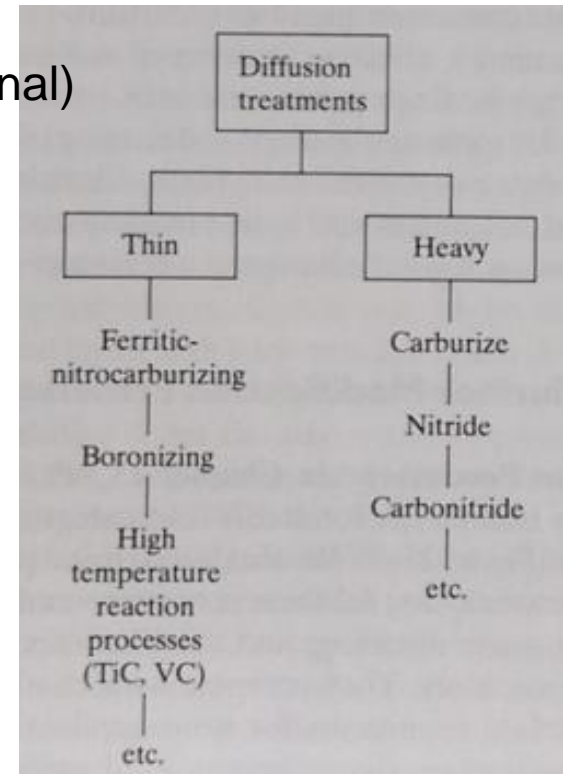
Processos de modificação de superfícies (Difusão)

Normalmente aplicados para aumentar dureza e resistência ao desgaste -> competem com deposição de filmes

Diferentes durezas (nitretação 70HRC) e profundidades

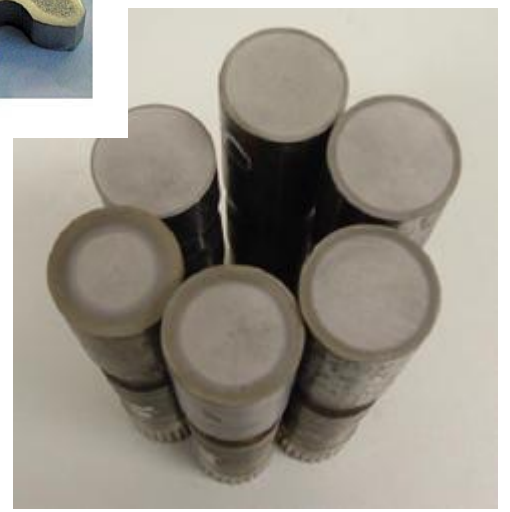
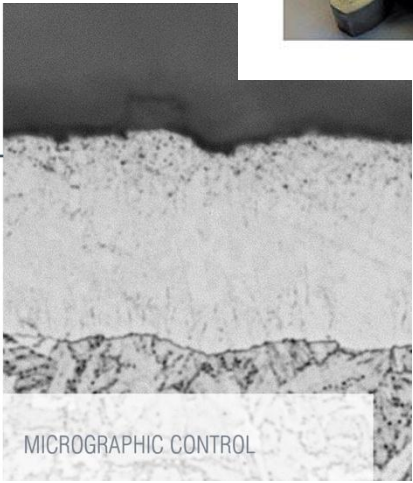
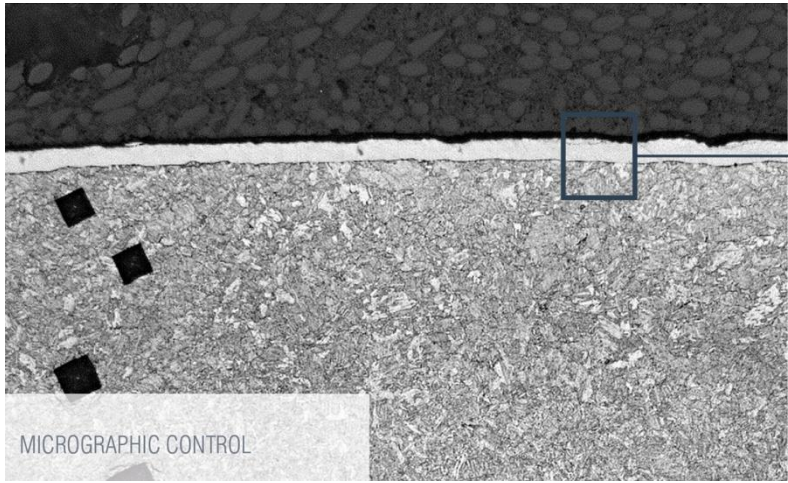
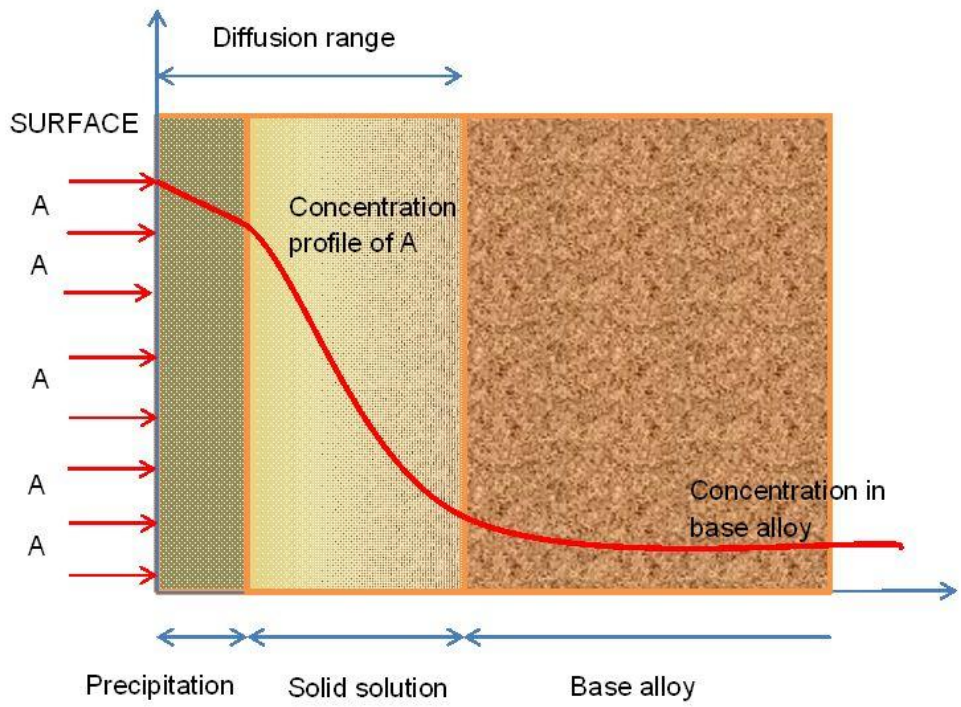
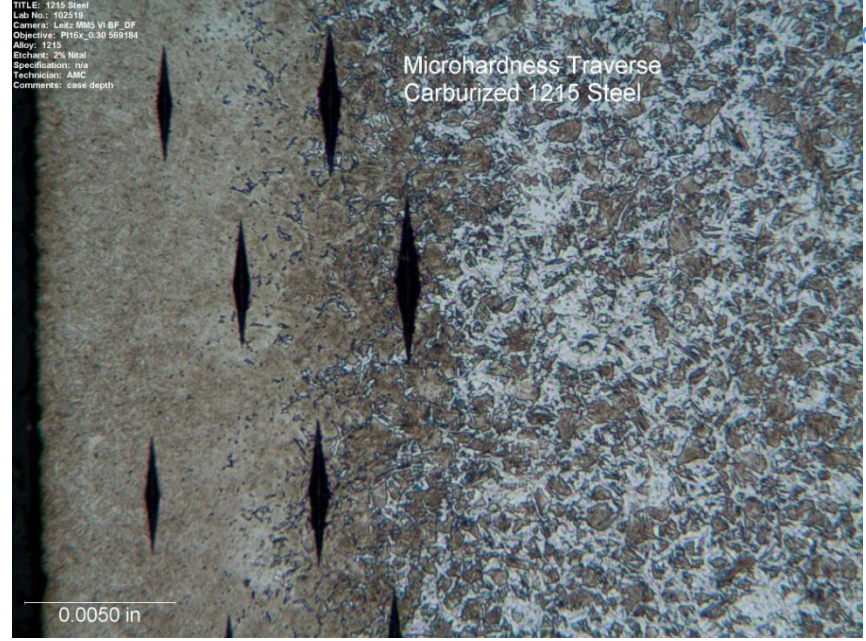
Podem alterar dimensão e topografia (não intensional)

Ex: na nitretação um pino de 5mm pode expandir $5\mu\text{m}$ (em diâmetro) -> produzir peça $5\mu\text{m}$ menor para compensar a expansão



TITLE: 1215 Steel
Lab No.: 102519
Camera: Leitz MM10 VI BF_DP
Objective: Pfl0x_0.30 569184
Abby: 1215
Etchant: 2% Nital
Specifications: N/A
Technician: AMC
Comments: case depth

Microhardness Traverse
Carburized 1215 Steel



Processos de modificação de superfícies (Endurecimento seletivo – tempera superficial)

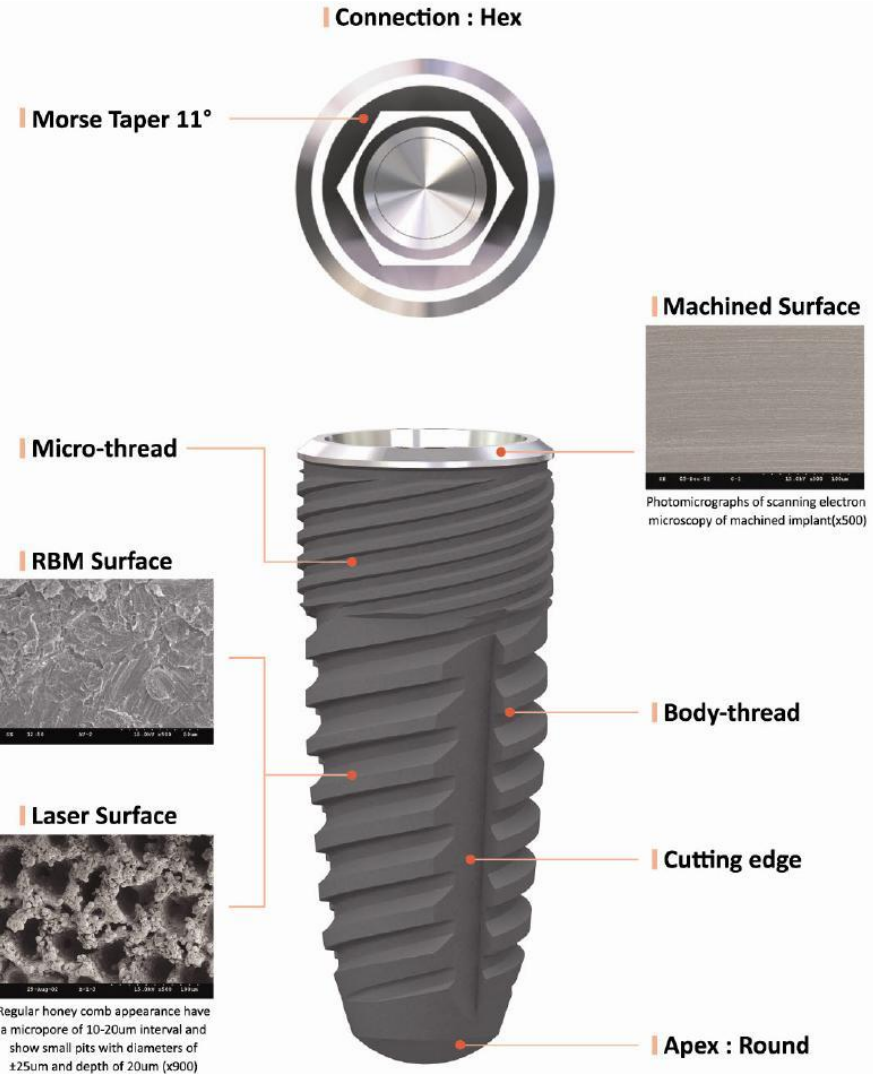
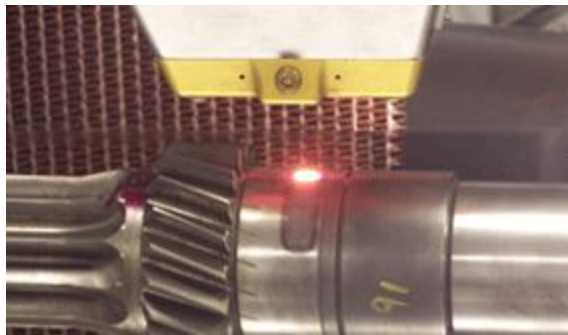
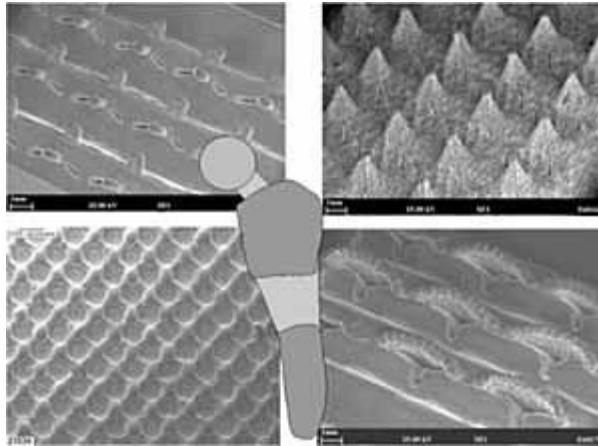
- Aplicados a aços e ferros fundidos ($250\mu\text{m}$ ou mais) – aquecimento localizado e resfriamento
 - Chama -> mais profundo ([Vídeo](#))
 - Indução -> peças menores (mais apropriado para produção seriada) (vídeo [1](#) e [2](#))

Table 21-1
Materials that are commonly flame, induction, electron beam, or laser hardened

Carbon Steels		Alloy Steels	
	Hardness (HRC)		Hardness (HRC)
AISI 1025 to 1030	(40–45)	AISI 4140	(50–60)
1035 to 1040	(45–50)	3140	(50–60)
1045	(52–55)	4340	(54–60)
1050	(55–61)	6145	(54–62)
1145	(52–55)	52100	(58–62)
1060	(60–63)		
Tool Steels		Cast Irons	
AISI O1	(58–60)	Class 30	(45–55)
S1	(50–55)	Class 45	(55–62)
P20	(45–50)	Ductile 80–60–03	(55–62)

Processos de modificação de superfícies (Laser)

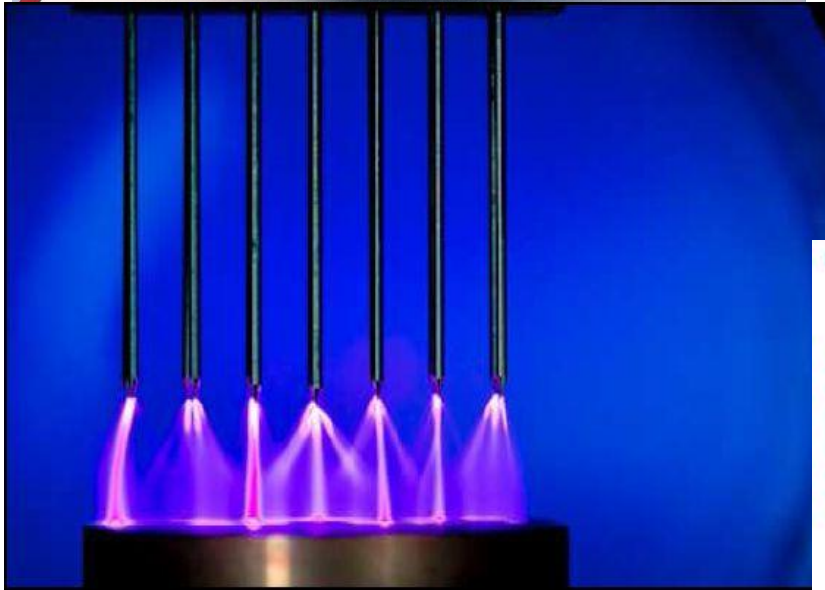
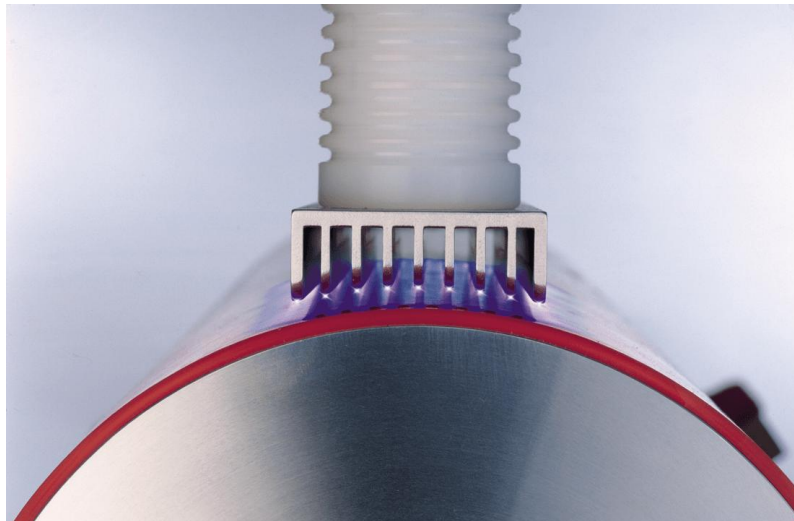
- Laser e feixe de elétrons permitem tratamentos muito localizados -> possibilidade de desenhar padrões (elevada densidade de energia -> ex. 10MW, pulsado) ([Vídeo](#))
- Pode ser usado para limpeza por ablação, corte, “laser penning” (onda de choque), etc..
- Possibilidade de aplicar em materiais não temperáveis, pode causar amortização (parâmetros típicos: 100 μ m de profundidade e resfriamento de até 10⁶ C/s)



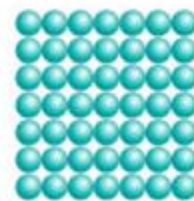
Processos de modificação de superfícies (Descarga Corona)

- Tipo de plasma a pressão atmosférica (alta tensão)
- Mais usada em polímeros antes de recobrimento ou colagem -> aumenta molhabilidade -> aumenta adesão
- A descarga pode causar quebra de ligações, aumento de rugosidade e funcionalização

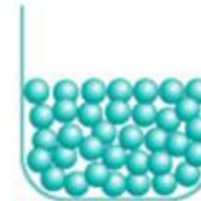
Processos de modificação de superfícies (Descarga Corona)



increasing energy →



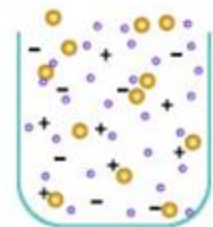
Solid



Liquid



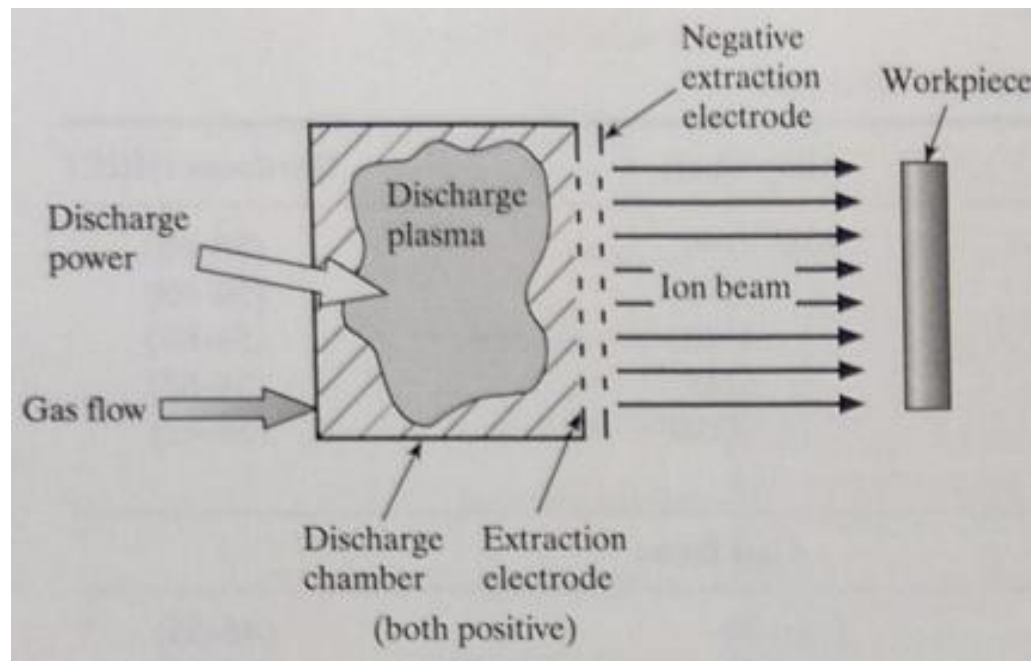
Gas



Plasma

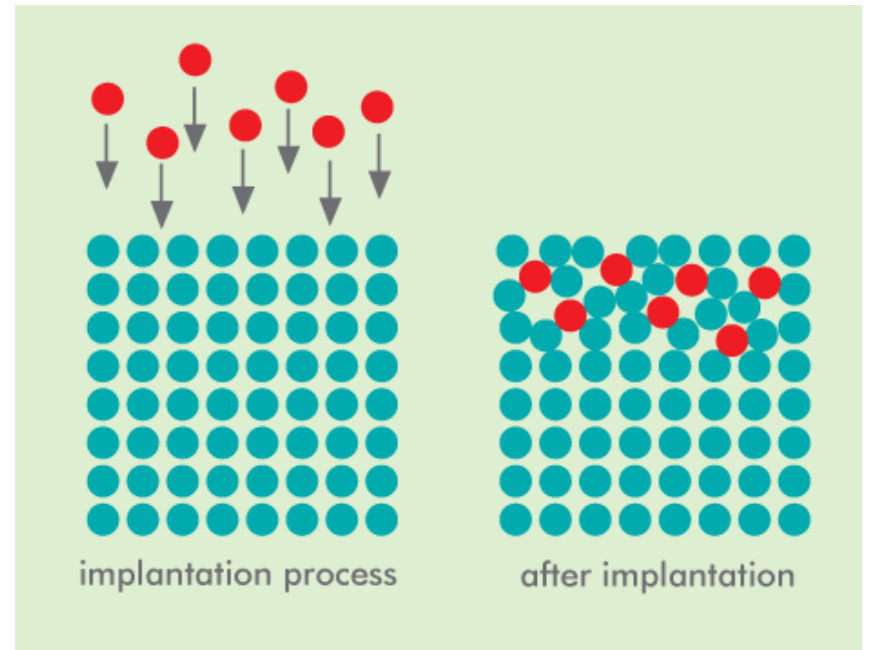
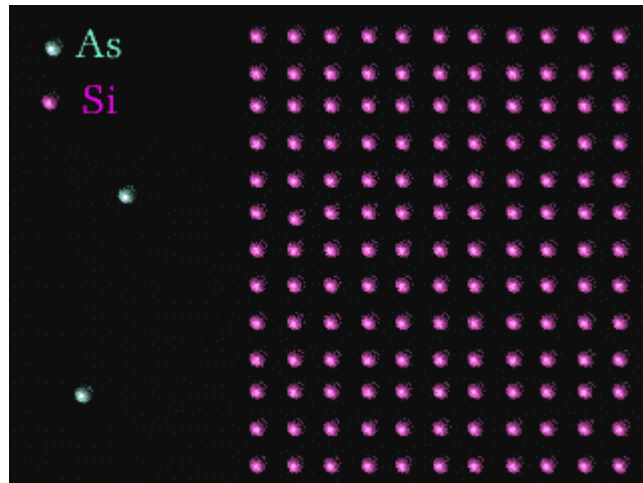
Processos de modificação de superfícies (Implantação Iônica)

Acelerar íons e implanta-los na rede cristalina (realizado no vácuo) -> causa defeitos

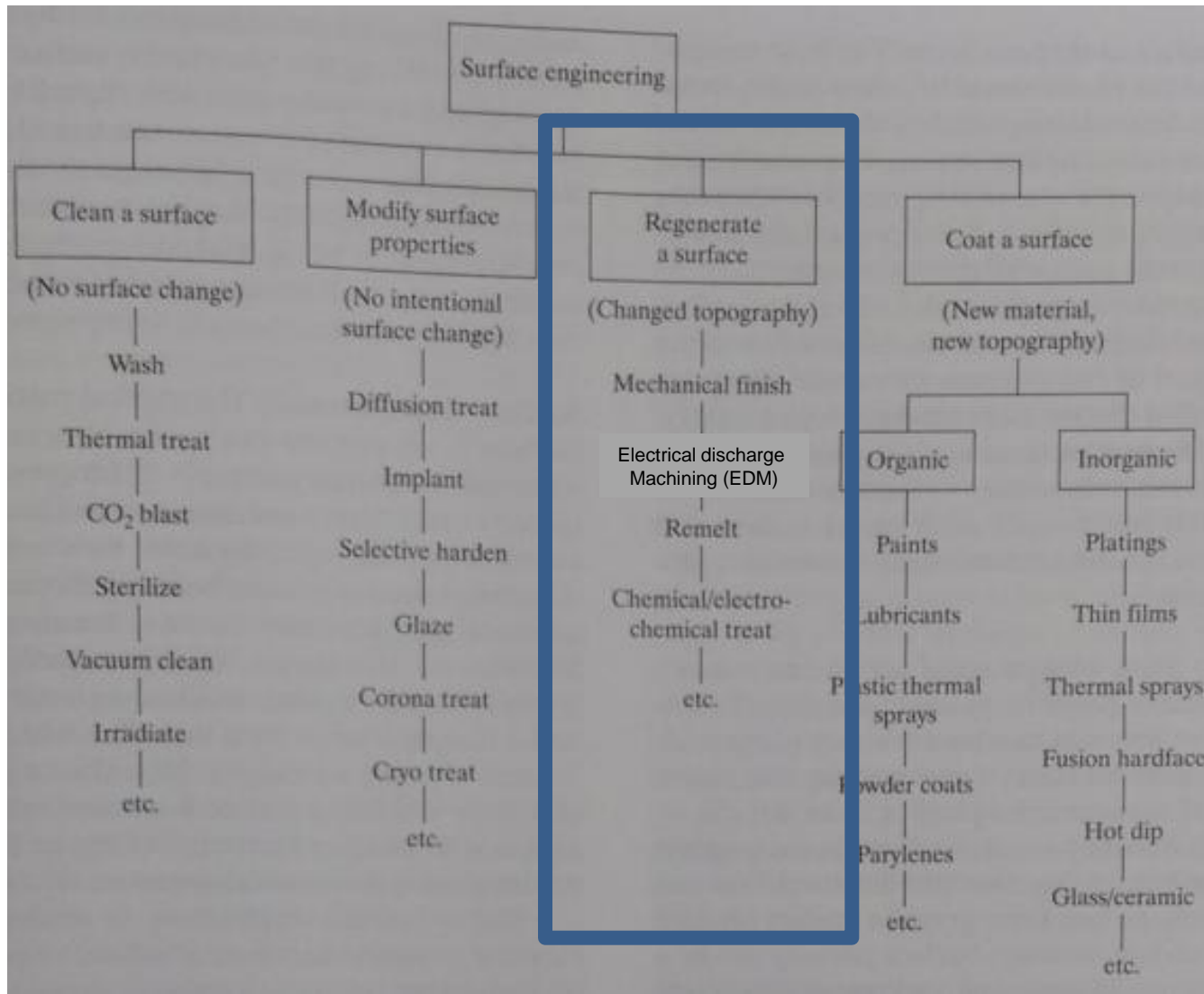


Profundidade de implantação 100nm mas com influência até alguns micrometros (origem na microeletrônica - dopagem)

Tratamento a baixa temperatura, mais aplicada para ferramentas e na indústria eletrônica para dopagem



Principais métodos de modificação de superfícies



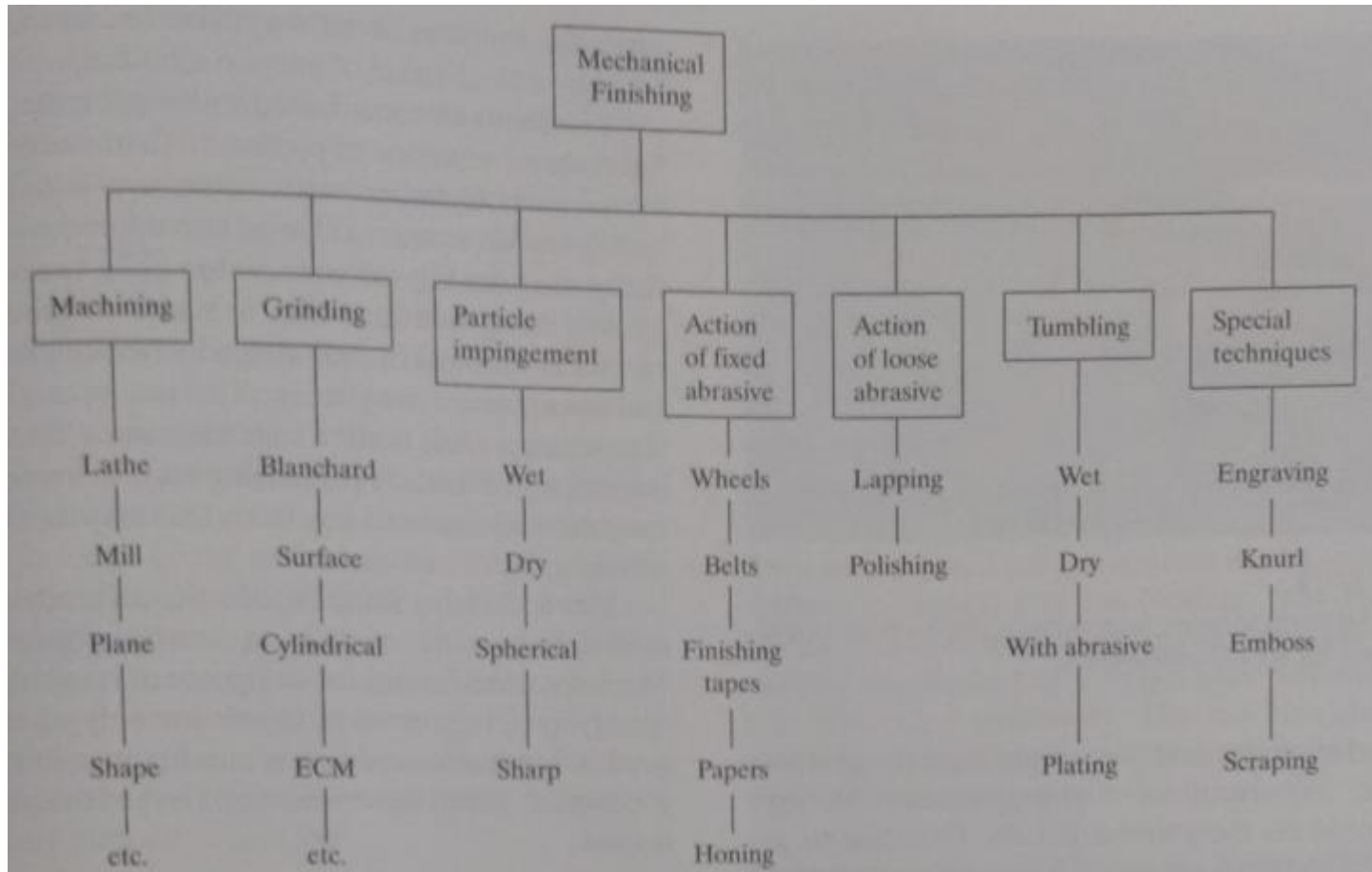
“Regeneração de superfícies”

- Converter uma topografia existente em outra com diferentes propriedades (topografia e/ou microestrutura - intencionalmente)
- Limpeza não altera superfície intencionalmente
- Modificações de superfícies podem causar alterações não intencionais

“Regeneração de superfícies”

Processos mecânicos

Alteração por ação mecânica de outro sólido, ex:



Importante saber se a orientação da rugosidade (textura) é necessária (cilindro de motor)

“Regeneração de superfícies”

Processos “convencionais”

- Todo processo de fabricação produz uma superfície característica
- O processo deve ser escolhido para produzir a superfícies com as características necessárias (Planicidade, rugosidade, textura,)
- Forte influencia em outro processos de engenharia de superfícies...
- Podem causar modificações na superfícies (ex. shot peening)

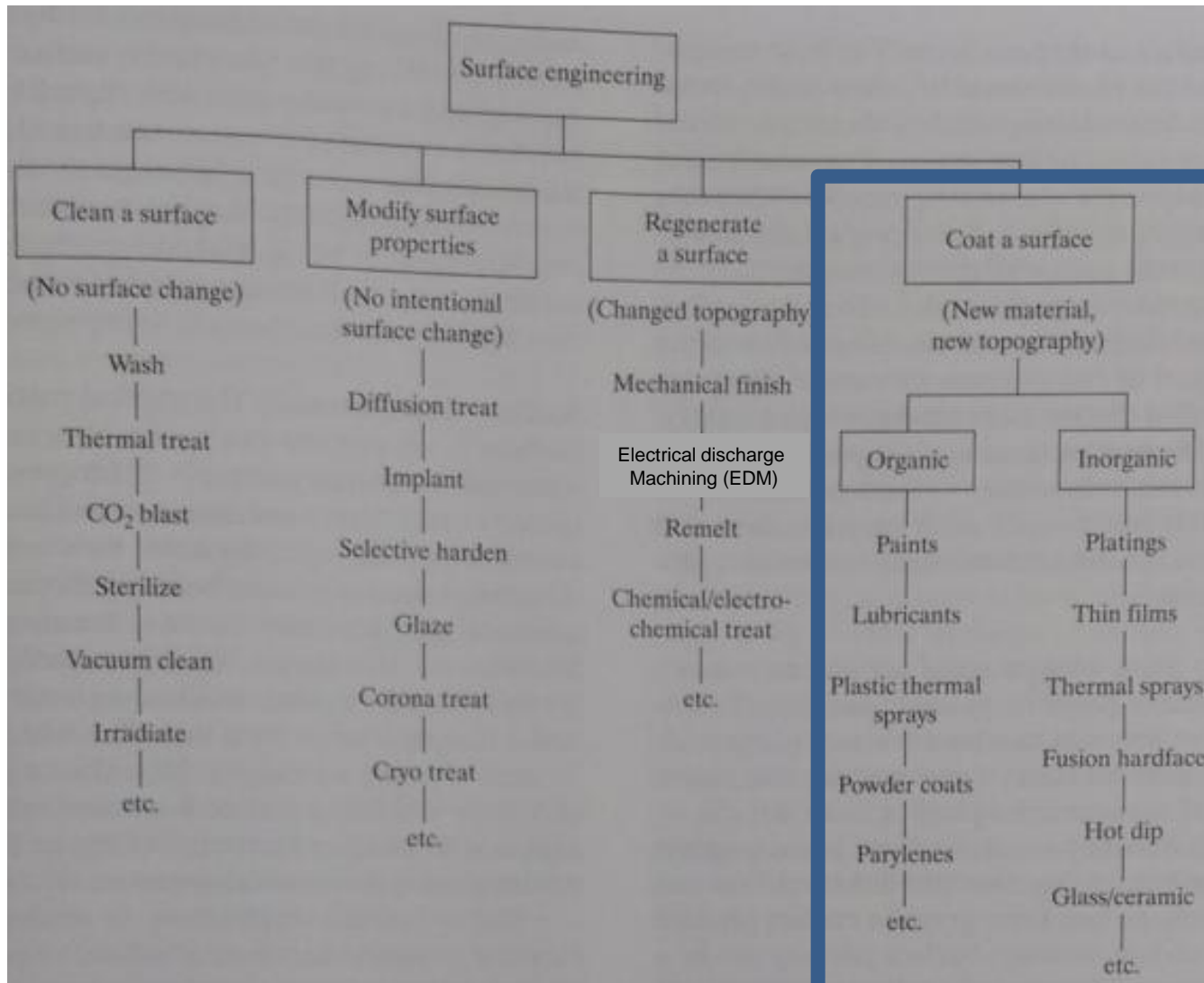
“Regeneração de superfícies”

Processos Especiais

- Refusão (laser e feixe de elétrons) (só regeneração)
- Electrical discharge machining (eletroerosão)
- Tratamentos químicos e eletroquímicos
 - Processos químicos mecânicos
 - Polimento eletrolítico, decapagem ...
- Photoetching (“Fotoataque” – motivos de até $10\mu\text{m}$) -> usado para placas -> contatos de cobre na placa de epóxi-fibra de vidro



Principais métodos de modificação de superfícies



Revestimentos Orgânicos

- Proteção mecânica, proteção contra corrosão e aparência
- Tintas, cimentos (polímeros mais partículas) (epóxi, vinil, etc)
- Pinturas em pó (aplicação eletrostática + cura em forno ($\sim 75\mu\text{m}$) ou aspersão ($\sim 250\mu\text{m}$))
- Filmes contendo lubrificantes sólidos (compostos lamelares)

Revestimentos Orgânicos

Table 21-2

Organic coatings with significant utility in surface engineering

Coating	Used For
Fluorocarbons	
Polytetrafluoroethylene (PTFE)	Release, corrosion protection to 500°F (320°C)
Teflons (PTFE/PI blend)	Wear/friction reduction—more durable than PTFE, lower use temperature
PTFE/mica (mica filler)	Release, more durable than PTFE
PTFE filled enamels	Wear/friction reduction, lower cure temperature than PTFE
Silicones	Release
Solid-film lubricants	
MoS ₂ /organic binder	Lubrication of sliding systems
Graphite/organic binder	Lubrication of sliding systems
Conductive paints	Static dissipation, electrical conduction
Parylene	Isolate metals (medical devices) from contact with biological fluids and solids

Revestimentos inorgânicos

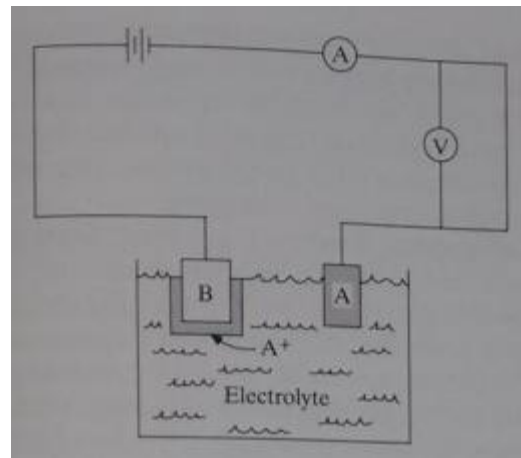
Galvanoplastia

- “inverso da corrosão” -> íon vira metal
- Três tipos
 - Electroplating
 - Electroless plating
 - Immersion plating
- Por exemplo, níquel pode ser depositados pelas 3 técnicas

Revestimentos inorgânicos

Galvanoplastia

Equipamento básico envolve dois eletrodos, um eletrólito e uma fonte



Massa depositada = Massa/valência x corrente x tempo

Eletrólito: Usualmente água e sais do metal a ser depositado (ex. sulfato de cobre (CuSO_4) dissolvido na água para depositar Cu). Se a quantidade de sal for suficiente o ânodo pode ser inerte

Potencialmente qualquer metal pode ser depositado por esta técnica, mas poucos são empregados industrialmente (Cu, Cr, Ni, Fe, Ag, Au, Zn, Sn, Pt)

Revestimentos inorgânicos

Galvanoplastia

Superfície a ser recoberta:

Influencia a força de ligação do filme (adesão) -> sempre inferior a casos onde existe fusão

Adesão tem componente mecânica e química

Para ligação química necessita-se de limpeza em escala atômica

Dificuldade de recobrir alguns substratos resistentes a corrosão (inox, Ti, Al, Ta) -> filme óxido passivo

Propriedades dos filmes:

Porosidade, microtrincas, impurezas, etc..

Materiais eletrodepositados são mais duros (microtensões, mal explicado) -> cromo duro (possibilidade de controlar a dureza)

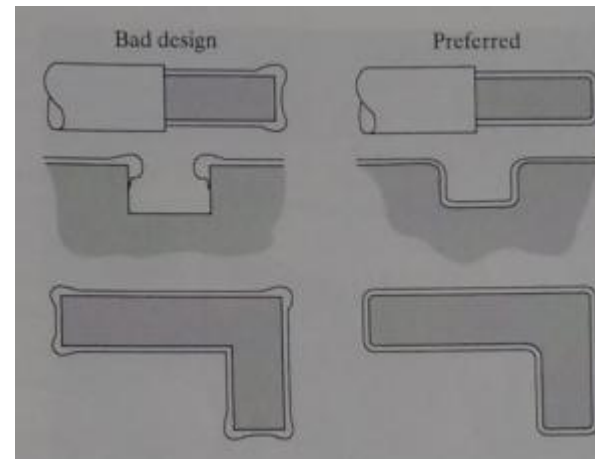
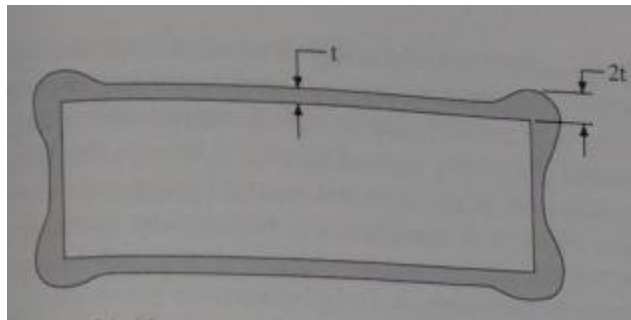
Tensões residuais trativas ou compressivas (pode ser controlada)

Revestimentos inorgânicos

Galvanoplastia

Considerações de projeto:

Densidade de corrente homogênea (efeito de borda)



Problemas para limpeza após deposição, normalmente os eletrólitos são corrosivos envolvendo cavidade nas peças

Revestimentos inorgânicos

Galvanoplastia

- Immersion plating
 - Pouco aplicado -> camadas finas e pouco aderentes
 - Ex: Ferro é diluído e cobre reduzido
- Electroless (autocatalítica)
 - Agente redutor está no banho
 - O substrato catalisa a reação de redução
 - Possibilidade de camadas contendo partículas de outros materiais Ni/PTFE ou partículas duras

Revestimentos inorgânicos (conversion coatings)

- Tipo de revestimento simples e de baixo custo
- Óxidos:
 - Processo mais antigo em vapor (camada microporosa que retém óleo)
 - Ex. oxidação negra (banhos), oxidação de outras ligas
 - Formada pela oxidação da superfície -> aderente
 - Melhora um pouco corrosão atmosférica

Revestimentos inorgânicos (conversion coatings)

- Fosfatos (fosfatização)
 - Transformação do metal em fosfato por reação (ácido fosfórico) -> aderente
 - Primeiramente usada para melhorar adesão de pinturas, mas melhora um pouco a corrosão atmosférica
 - Pode ser usado para desgaste, evitar contato metal-metal, armazenar óleo (porosidade), se depositar em imperfeições (melhorar o contato)

Revestimentos inorgânicos (conversion coatings)

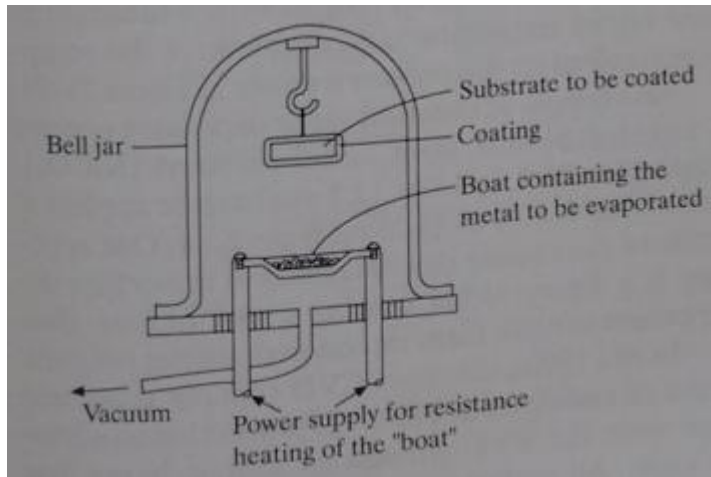
- Cromatos:
 - Camada amarelada, típica de parafusos e dobradiças
 - Ajuda a melhorar a resistência a corrosão atmosférica
 - Conceito similar a fostatização (ácido crômico ou sais de cromo em solução)

Deposição de filmes finos

- PVD (Physical Vapor Deposition)
 - Processo de deposição átomo a átomo (molécula por molécula)
 - Principais: evaporação térmica, pulverização e ion plating
- Processo realizado em vácuo
 - Relativamente caro e em batelada

Deposição de filmes finos

Processo mais antigo e “simples” é a evaporação térmica



Processo direcional -> deposição na “linha de visão” da fonte de evaporação

Sputtering (magnetosputtering) - > usa plasma e temperaturas mais baixas

Ion plating, combina plasma e o processo térmico -> ionização dos átomos metálicos e controle de energia destes

Ex: TiN (sputtering reativo - Dourado), Diamante e DLC (Preto)

Vantagem da cor em ferramentas é poder ver quando a camada foi danificada

Deposição de filmes finos

- Ex (tipicamente camada de 1 a 2 μm):

Coating	Hardness (HV)	Color
Titanium nitride	2900	Gold
Zirconium nitride	2800	Gold
Titanium aluminum nitride	2600	Brown
Titanium carbonitride	4000	Silver
Chromium nitride	2500	Silver
Amorphous DLC	1000 to 5000	Black

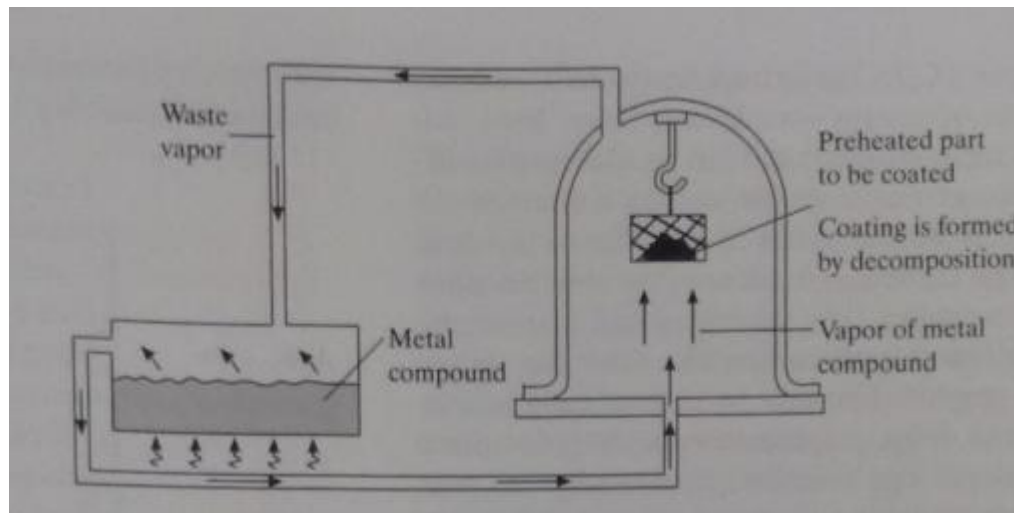
- Uso de mais de uma camada quando o substrato é muito mole comparado à camada
- Possibilidade de camada com gradiente de propriedade

Deposição de filmes finos

- Temperatura de recobrimento: dependendo do processo e das necessidades. Vai desde a temperatura ambiente até varias centenas de graus Celsius
 - Elevadas temperaturas melhoram características dos filme e adesão, mas pode “danificar” o substrato. Para aços temperados e revenidos não exceder a temperatura de revenimento
 - Grande preocupação com a limpeza do substrato para garantir adesão

Deposição de filmes finos

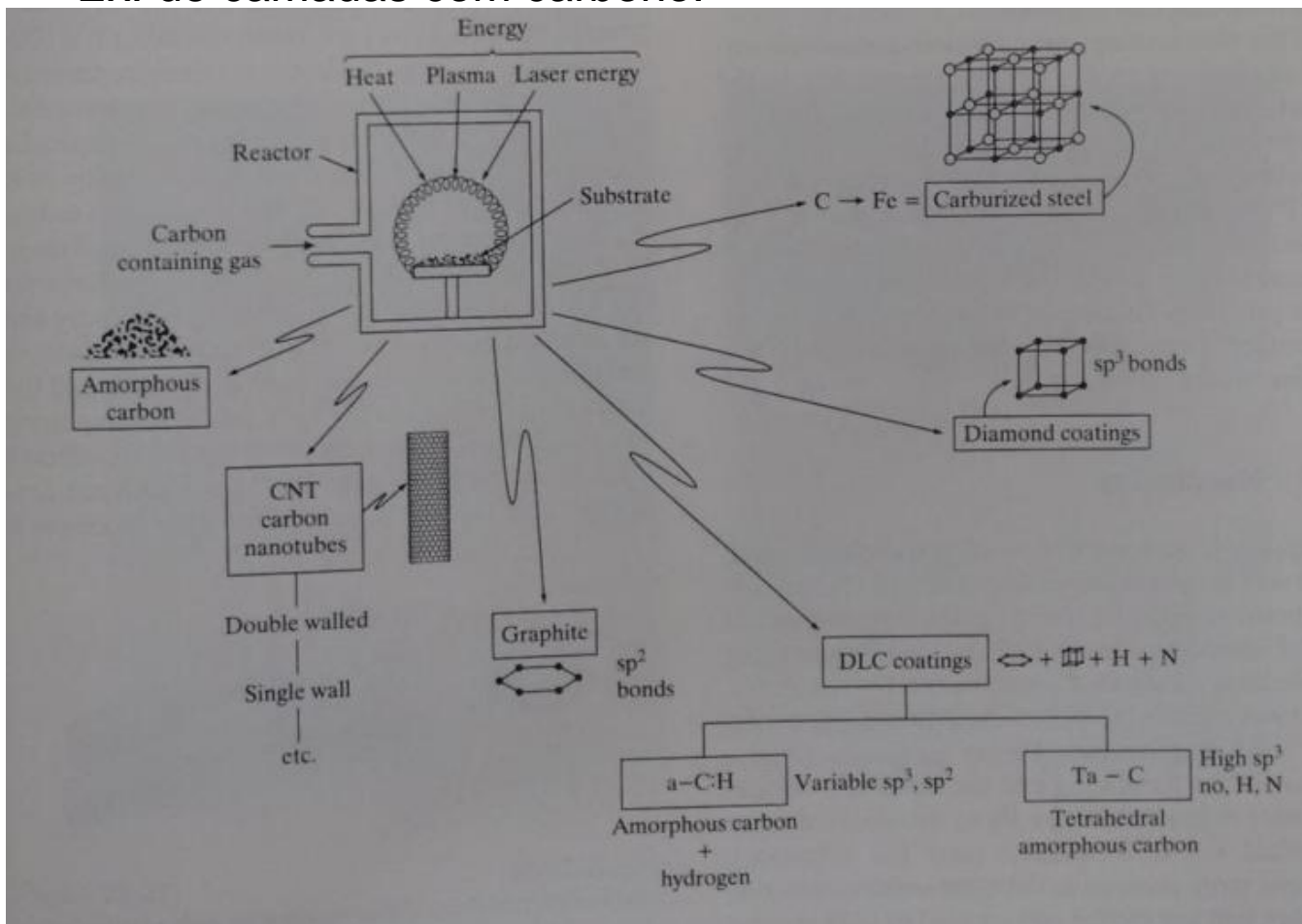
- CVD (Chemical Vapor Deposition)



- Ao contrario do PVD o CVD não é direcional
- Pode necessitar de elevada temperatura ($\sim 700^{\circ}\text{C}$) e pode usar precursores muito tóxicos (precursor pode ser um limitante)

Deposição de filmes finos

Variações do processo: Plasma pode ser usado para reduzir temperaturas.
Ex. de camadas com carbono:



Limpeza seria importante?

Hardfacing

- Aplicada com técnicas de soldagem (muito mais espessa, de ~3mm sem máximo) -> soldabilidade é importante

processos

	<i>Process</i>	<i>Acronym</i>
Arc processes	Shielded metal arc welding	SMAW
	Flux core arc welding	FCAW
	Gas metal arc welding	GMAW
	Gas tungsten arc welding	GTAW
	Submerged arc welding	SAW
Torch process	Plasma arc welding	PAW
	Oxy-fuel gas welding	OFW
Other processes	Laser beam welding	LBW
	Electron beam welding	EBW
	Electroslag welding	ESW
	Furnace braze	FB

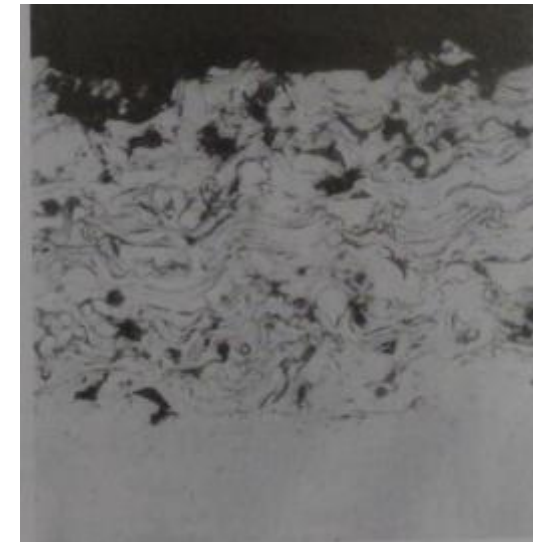
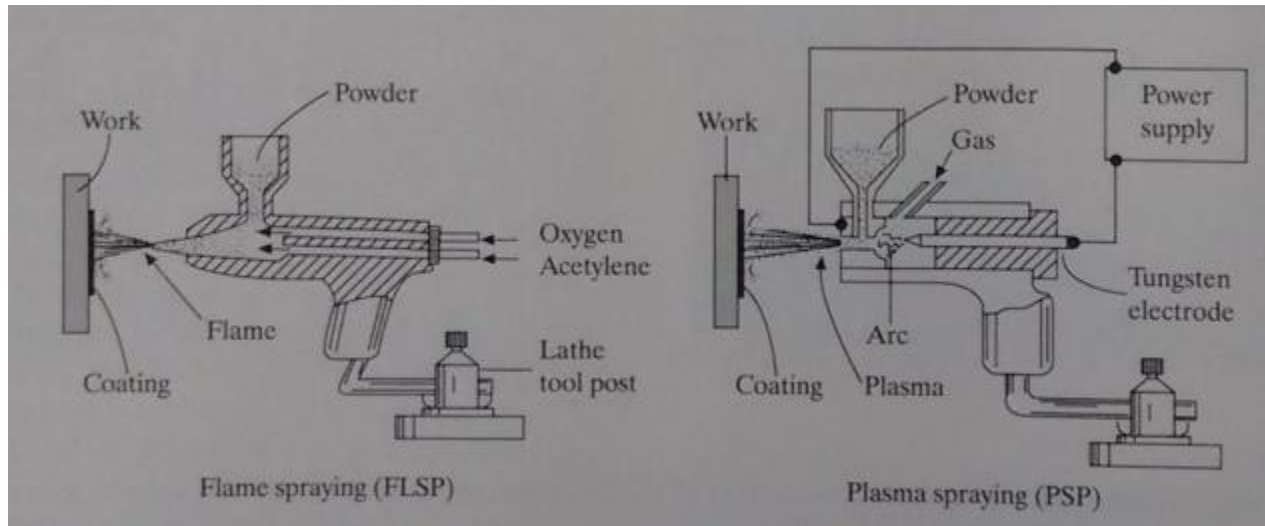
Materiais depositados

Tool steel	For the same types of applications as wrought tool steels
Manganese steel	For mineral extraction and gouging wear applications
Copper-based alloys	For rebuilding worn machinery-steel parts
Composites (steel or WC)	For high-stress abrasion applications
Cobalt-based alloys	For galling resistance for applications where wear and corrosion are conjoint
Nickel-based alloys	For metal-to-metal applications
Iron chromium alloys	For high-stress abrasive wear and gouging

- Ideia de base é recobrir um material mais barato e sem as propriedades requeridas, mas não somente.

Aspersão térmica

Projeção de partículas (líquidas ou amolecida) que formarão a camada



Camada contém poros e óxidos

Para adesão (mecânica), normalmente os substratos devem ser jateados

Útil para recobrir grandes áreas/equipamentos (Torres, pontes, tanques ...)

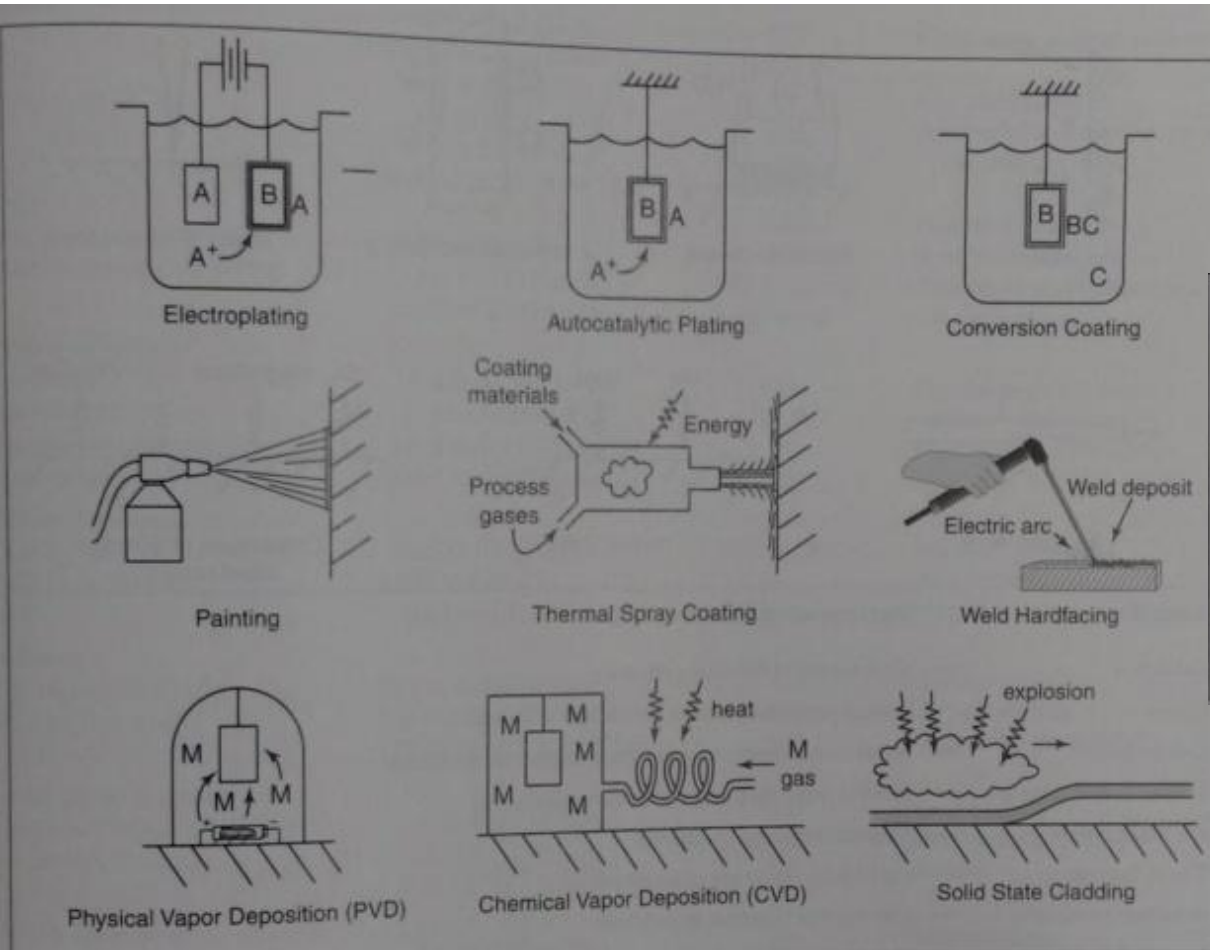
Aspersão térmica

Variações do processo:

<i>Process</i>	<i>Description</i>
Flame spraying (FLSP) Gas temperature 5430°F (3000°C)	Powder, rod, or wire is melted by an oxy-fuel flame.
Electric arc spraying (EASP)	Wires are motor driven at each other and melted by an electric arc. The melted droplets are propelled by a gas at the substrate.
Plasma arc spraying (PSP) 25,000°F (14,000°C)	Powder is melted by an arc-generated plasma within the gun.
Detonation gun (d-Gun) 5430°F (3000°C)	Powder is melted in a gun by spark ignition of explosive gas. Particle velocity is 9850 ft/s (3000 m/s).
High-velocity oxy-fuel (HVOF) 4500°F (2500°C)	Powder is melted in a combustion chamber containing oxygen, hydrogen, and a fuel gas (methane, etc.). [Particle velocity is 2250 ft/s (750 m/s)].
Cold spray	Particles do not melt and adhere from high-velocity impact.

Considerações finais

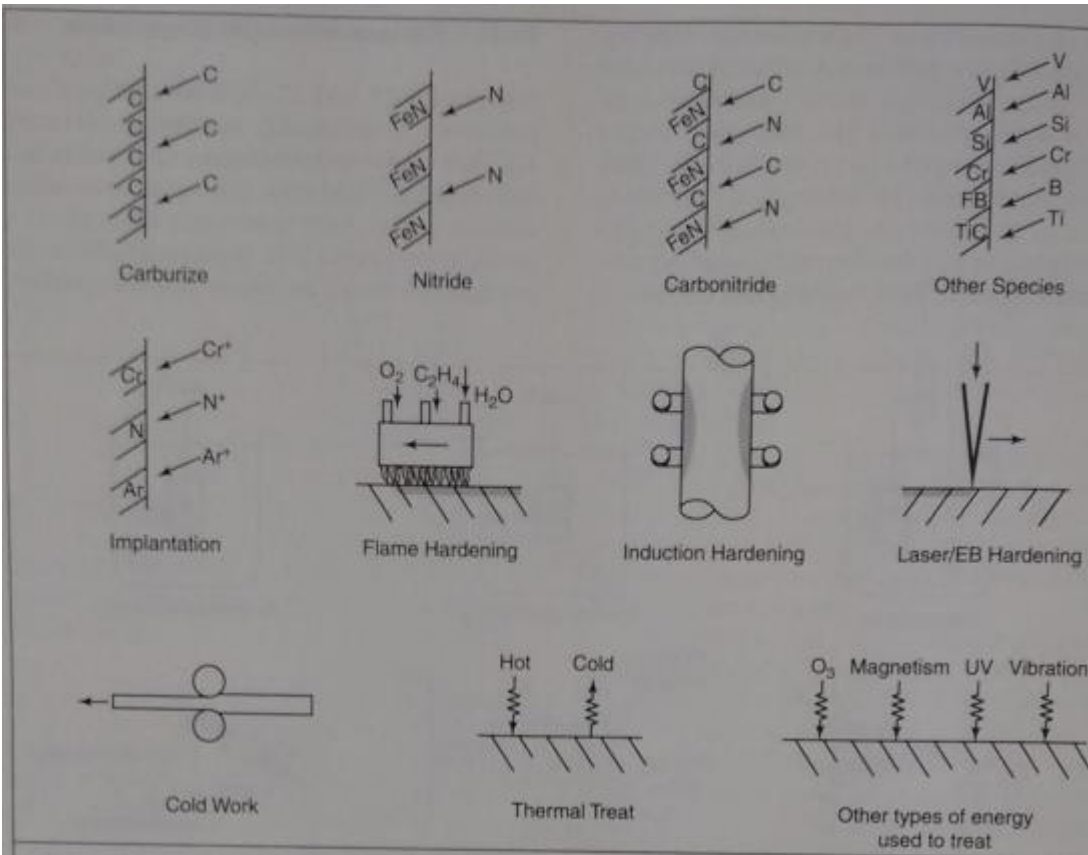
Repertório de processos e materiais



Coating	Discriminating Features
Electroplating	— Can apply the hardest metal, chromium
Autocatalytic Plating	— Coats all wetted surfaces, can codeposit PTFE, etc.
Chemical Conversion	— Low-cost "dip" process
Painting	— Countless material and color options, can apply solid-film lubricants
Thermal Spray	— Many material options, applicable to many substrates
Fusion Hardfacing	— Many material options, can be very thick
PVD	— Readily available for application of thin films
CVD	— Can apply very special materials including diamond
Cladding	— Can apply special metals to large substrate areas

Considerações finais

Repertório de processos e materiais



Treatment	Discriminating Features
Carburize	— Most available diffusion process
Nitride	— Lowest temperature case hardening
Carbonitride	— Harder, and lower process temperature than carburize
Chromize/Boronize, etc.	— Special properties (e.g., corrosion resistance)
Ion Implantation	— Negligible dimension change
Flame Hardening	— Can harden local areas on large parts
Induction Hardening	— Can harden small parts very fast
Laser/EB Hardening	— Can harden small/complex patterns
Cold Working	— Fast production process for wire, strip, etc.
Thermal Treat	— Can offer stress relief/hardness modification
Vibration, Magnetic Field, etc.	— Can offer special properties

Considerações finais

Materiais

	Typical Thickness ^a mils (μm)	Approximate Hardness (kg/mm^2)	Use
Platings			
Chromium	Flash 0.05 to 0.1 (1 to 2) Avg. 0.1 to 1 (2 to 25)	900	Decorative surfaces wear parts
Copper	Heavy 0.5 to 2.5 (12 to 63) Avg. 0.5 to 1 (12 to 25)	150	Conductive surface underplating
Gold	Heavy 2.0 to 5.0 (50 to 127)		
Nickel (soft)	0.02 to 0.1 (0.8 to 2)	80	Electrical contacts
(hard)	0.1 to 0.5 (2 to 10)	250	Atmospheric corrosion resistance
	0.7 to 1.5 (18 to 31)	500	durable surfaces
Silver	Heavy 2 to 50 (50 to 1270)		
	0.1 to 0.3 (2 to 7)	100	Galling resistance
Zinc	0.2 to 0.5 (5 to 12)	100	Rust protection on steel
Electroless nickel + PTFE	0.5 to 1 (12 to 25)	450 as plated	Atmospheric corrosion resistance,
	0.5 to 1 (12 to 25)	650 aged	wear surfaces
Conversion Coatings			
Anodizing	0.4 to 0.6 (10 to 13)	1100	Corrosion protection
Hardcoating	1 to 3 (25 to 75)	1100	Abrasion resistance
Phosphate/chromate	0.001 to 0.4 (0.02 to 10)	—	Improved rust resistance
Black oxide	0.001 to 0.1 (0.02 to 25)	150	Appearance
Thin-Film Coatings			
PVD TiN/TiCN	0.05 to 0.1 (1.2 to 2.5)	800 to 1800	Abrasion resistance
PVD Pure Metals	0.005 to 0.01 (0.1 to 0.25)	—	Decorative
DLC	0.04 to 0.1 (0.5 to 2)	Varies	Metal-to-metal wear/plastics

Considerações finais

Materiais

Hardfacing			
ERCoCr-A (cobalt ^b base)	100 to 200 (2500 to 5000)	420	Galling/corrosion
420 stainless steel	100 to 200 (2500 to 5000)	550	Corrosion/wear
RFe Cr-Al (iron/chromium)	125 to 250 (3150 to 6250)	600	High stress abrasion
Thermal Spray Coatings			
Tungsten Carbide (WC/Co)	3 to 5 (75 to 125)	1500	Wear surface
Chromium Oxide	3 to 5 (75 to 125)	1800	Wear surface
420 Stainless Steel	5 to 10 (125 to 2500)	550	Buildup
Diffusion Treatments			
Carburizing	2 to 60 (50 to 500)	600	Wear surfaces
Nitriding	1 to 30 (25 to 250)	900	Wear surfaces
TiC/VC	0.05 to 0.1 (1.5 to 2.5)	2000	Wear surfaces
Selective Hardening			
Laser/EB	2 to 30 (50 to 250)	700 ^c	Thin wear surfaces
Flame Hardening	60 to 250 (1500 to 6250)	600 ^c	Wear surfaces on large parts
Induction Hardening	10 to 80 (250 to 1600)	600 ^c	Small parts
Other Treatments			
Paints	1 to 3 (25 to 75)		Corrosion protection
Repair Cements	50 to 200 (1250 to 5000)		Corrosive wear
Dry-Film Lubricants	1 to 2 (25 to 50)		Sliding systems
Ion Implantation	0.004 to 0.006 (0.1 to 0.15)		Corrosion protection, wear surfaces
Laser/EB Glazing	5 to 10 (125 to 250)		Special applications
CVD Coatings	0.05 to 10 (0.5 to 250)		Wear surfaces

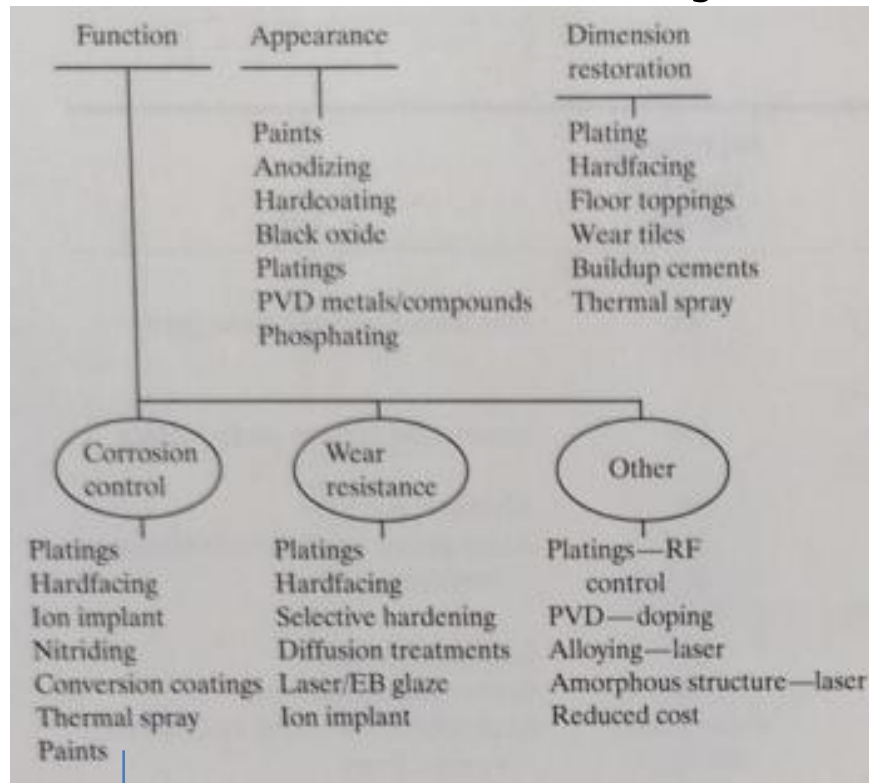
^a1 mil = 2.5 μ m

^bAmerican Welding Society designation per AWS A5.13-80

^cOn 1045 steel

Considerações finais

Motivos para aplicar um processo de modificação de superfície



Camada protetora pode formar pilha e se tornar um problema em caso de defeito



Considerações finais - Desgaste

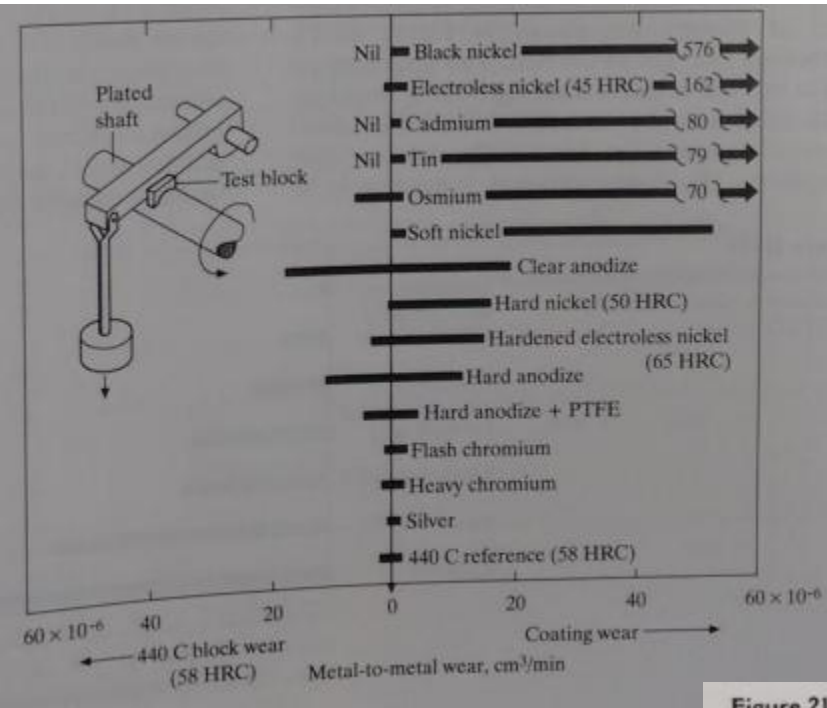
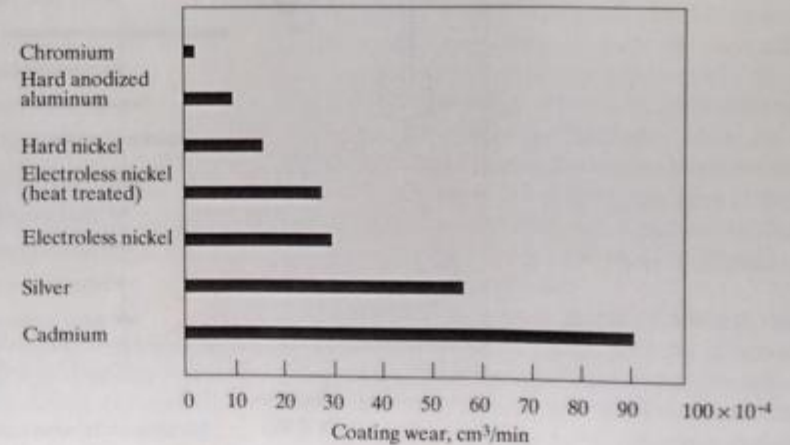


Figure 21-34
Resistance of coatings to abrasion
by 60-mesh silica (modified
ASTM G 65 test)



Considerações finais

Temperatura - Distorção

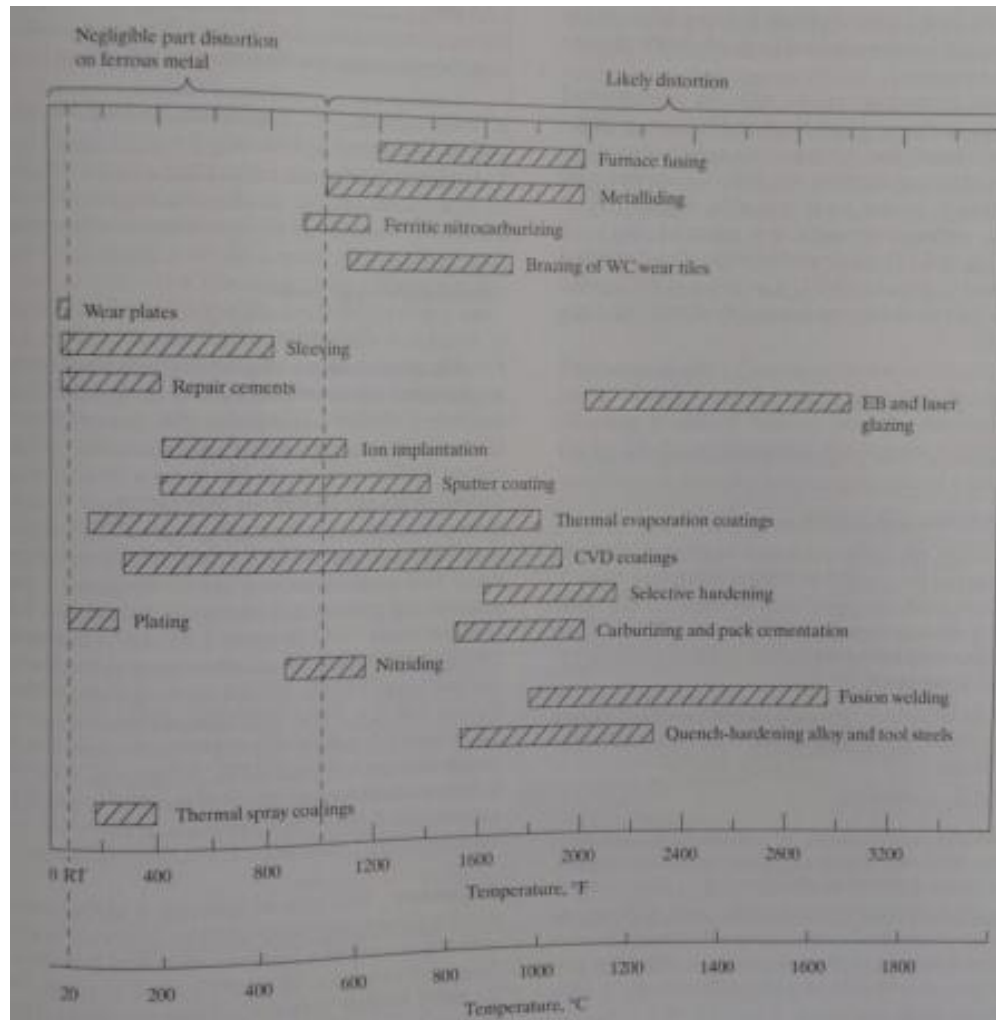


Figure 21-35
Temperatures encountered in various surface engineering processes

Seleção de processo/material

- Ler o texto, pensar no assunto relacionado ao seu trabalho e em possíveis aplicações. Descrever limitação e parâmetros importantes para seleção de processo/material em engenharia de superfícies.
- Se tema não definido-> criar caso hipotético
- Fornecer uma possível escolha para a aplicação com justificativa técnica da escolha (Fazer uma apresentação do caso) (dia da apresentação 17/10)
- Fazer lista de exercícios (19/10)