

ASPERSÃO TÉRMICA

Ramón S. Cortés Paredes, Dr. Engº.

Departamento de Engenharia Mecânica da UFPR

ramon@ufpr.br

2T 2015

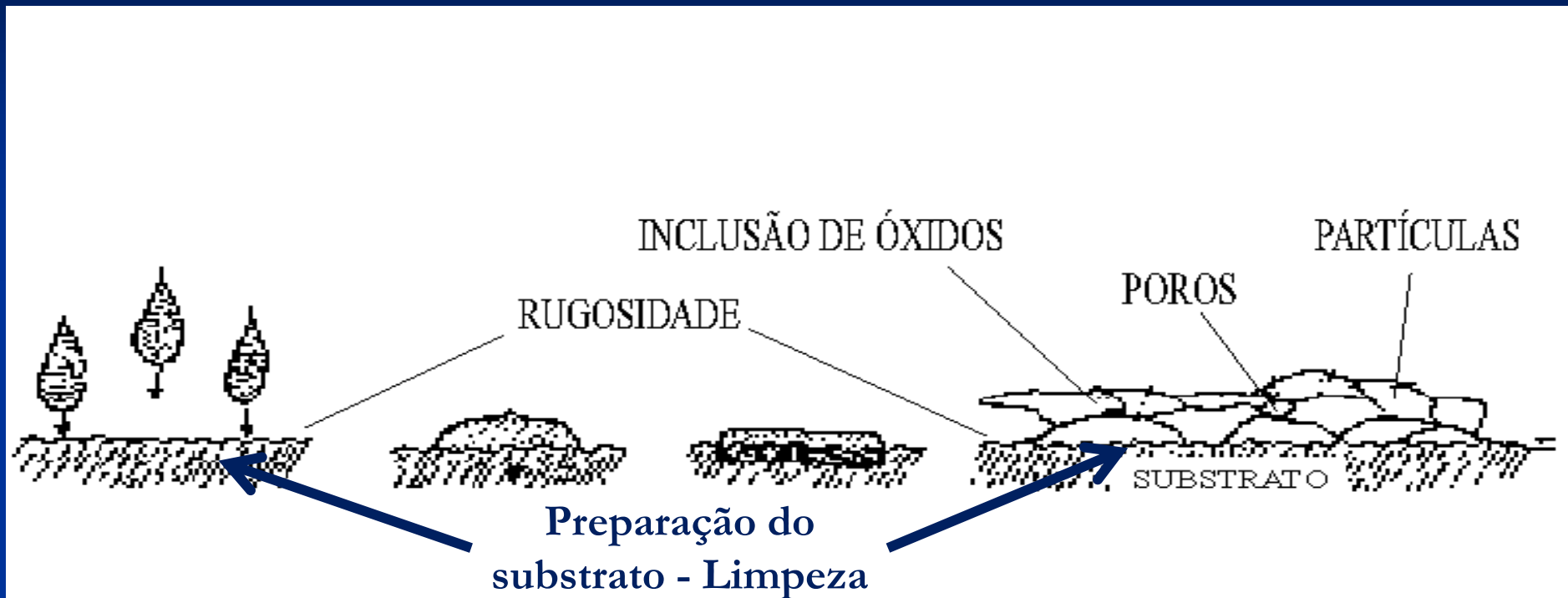


Flame.wmv

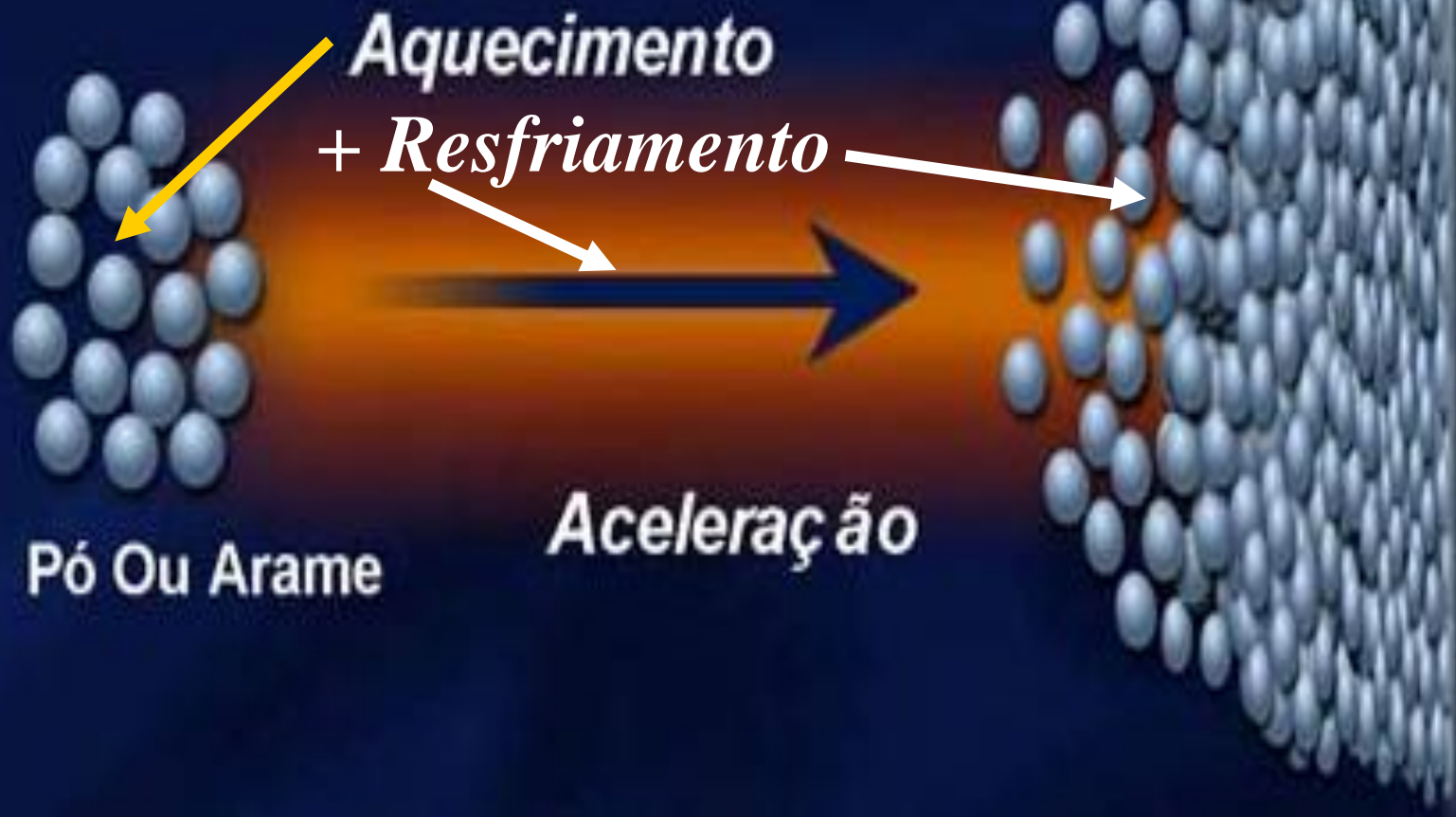


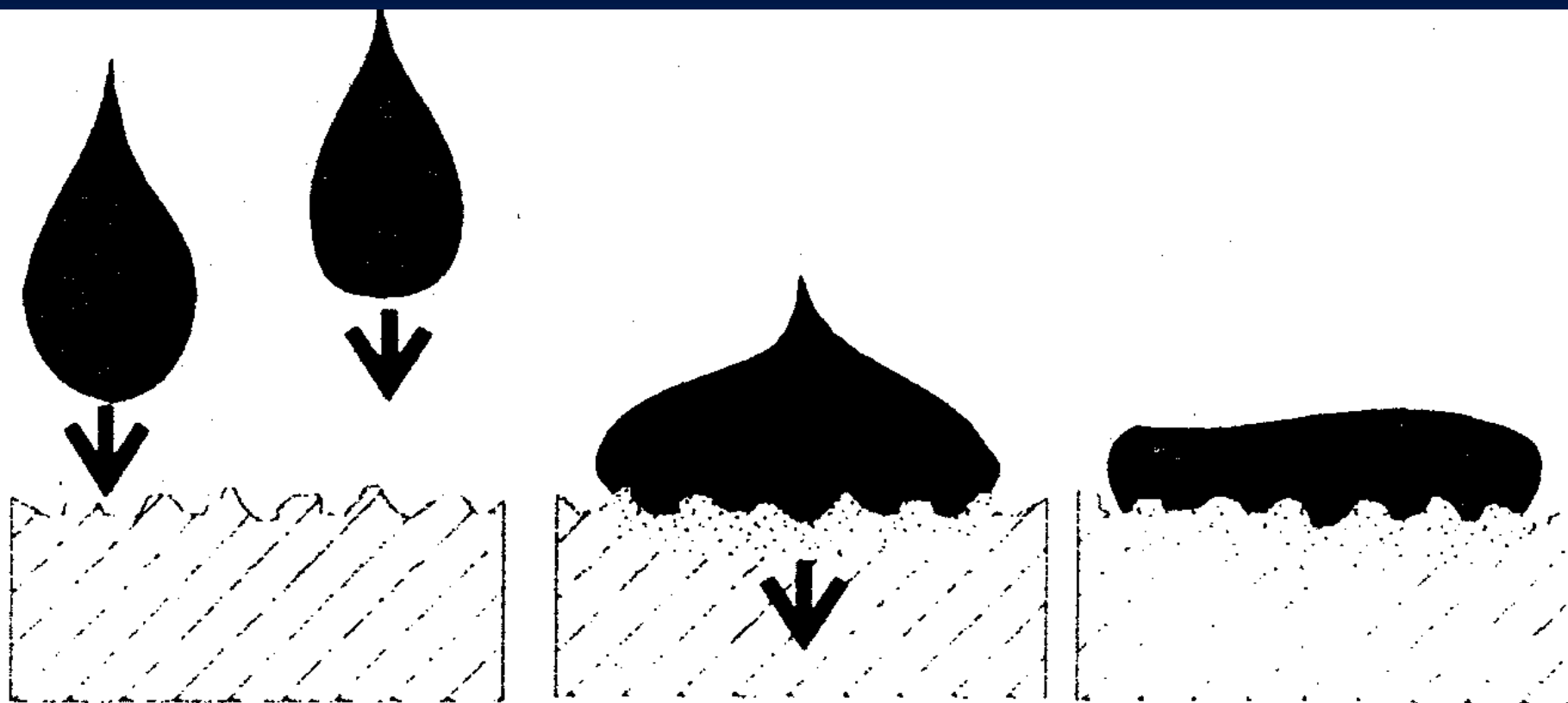
ASPERSÃO TÉRMICA - AT

Os processos de AT são uma tecnologia composta de diversos processos e são utilizados para a proteção de superfícies contra a corrosão e/ou desgaste pela deposição de revestimentos.

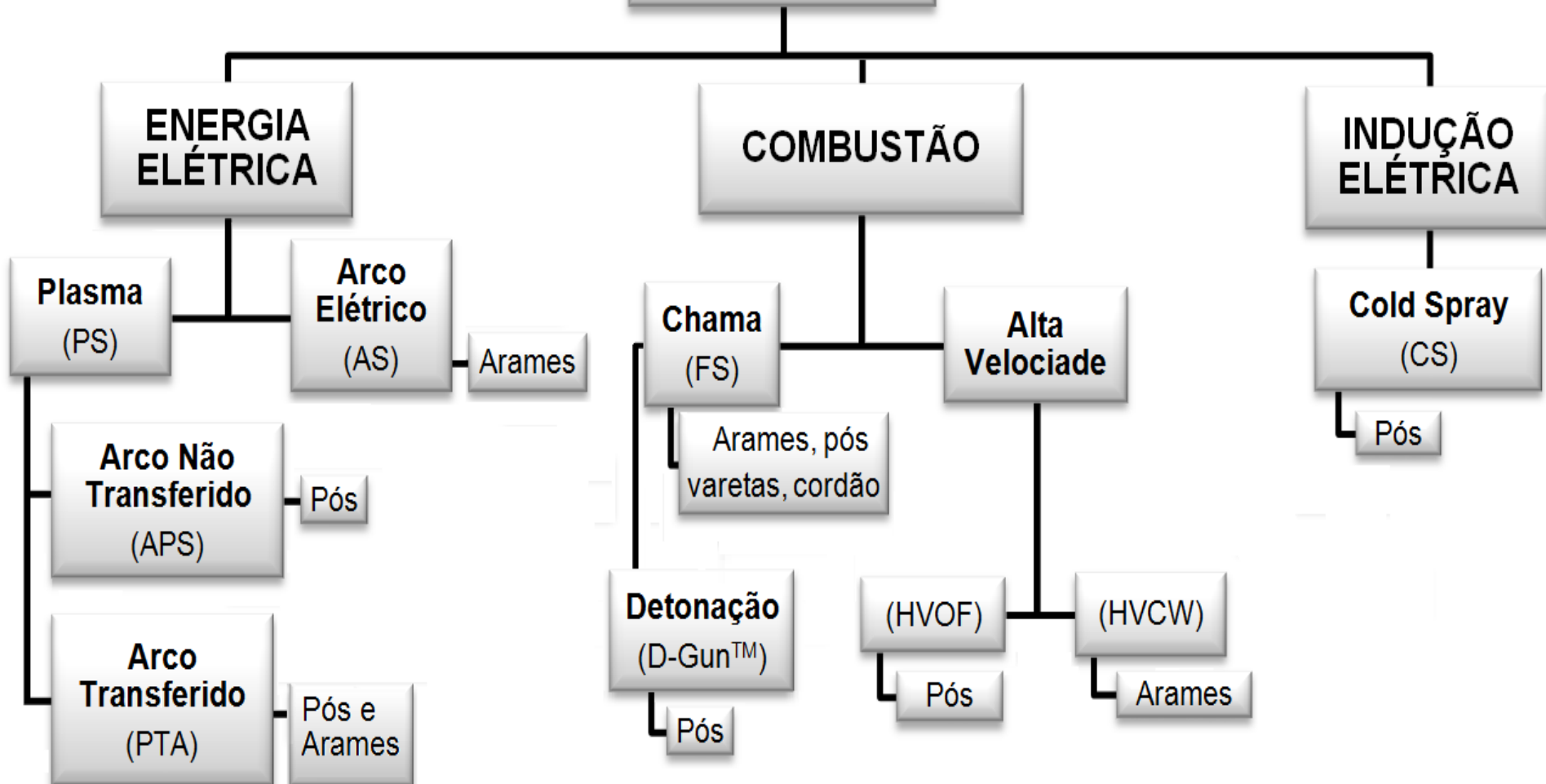


Mecanismos





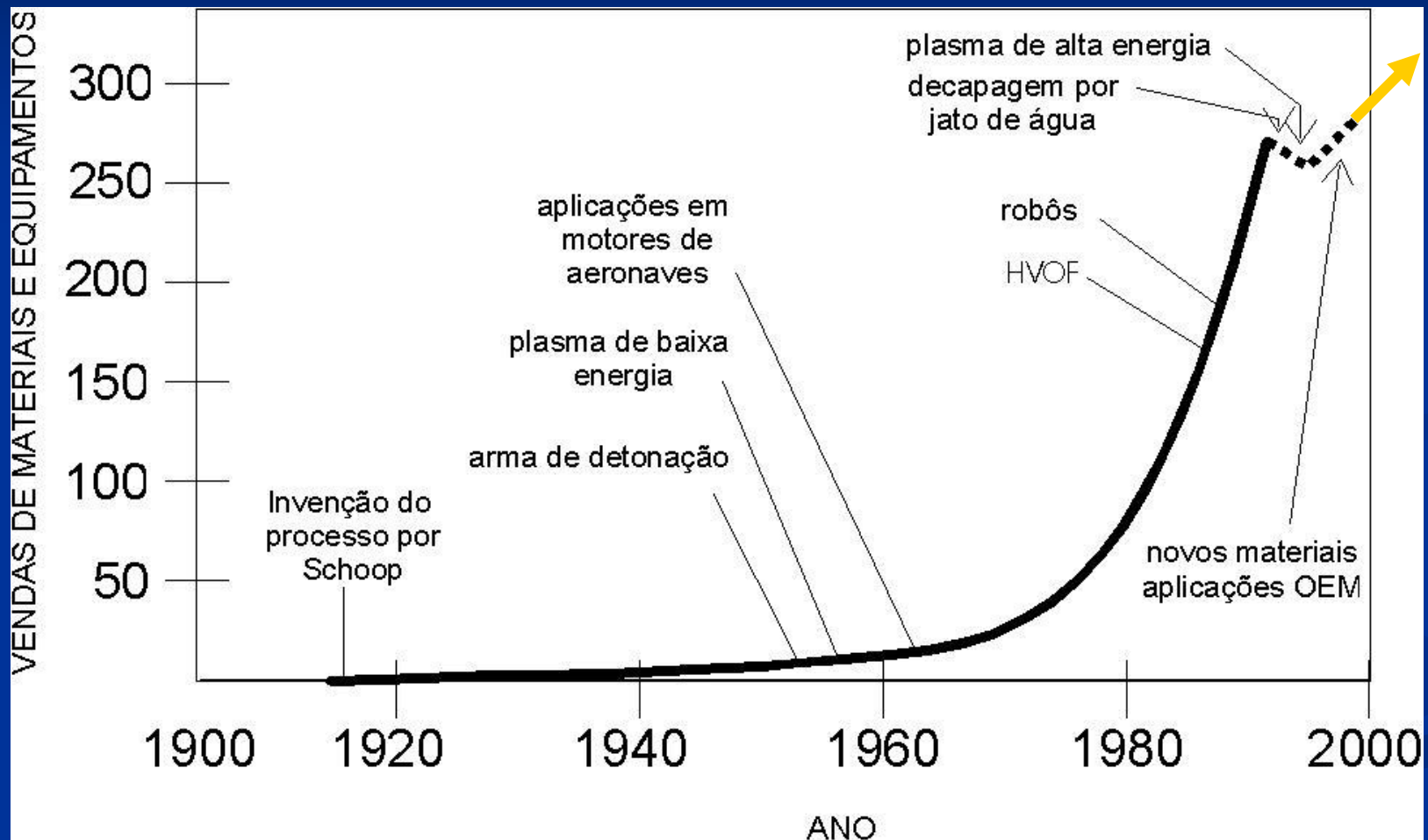
ASPERSÃO TÉRMICA



De acordo com os processos de aplicação de revestimentos protetores podemos classificar os processos de aplicação em três grandes grupos:

- **1. Aqueles que envolvem fusão do metal e do material de aporte.**
- **2. Aqueles que envolvem somente a fusão do material de aporte.**
- **3. Aqueles que envolvem um processo de difusão [2+3].**

Historia e crescimento da indústria de AT (THORPE, 1998).



Áreas de atuação da Aspersão Térmica

[Thermal Spray]

Aero espacial

Agricultura

Marítimo

Metal Trabalho

Papel e Imprensa

Bombas / Motores

Eletrônica / Computadores

Implantes

Petro Produtos Químicos

Geotérmica

Nuclear Power

Utilidades / Energia / Água / Esgoto

Golfe

Militar

Offshore submersas Pipe Lines

Plataformas de petróleo offshore

Refinarias

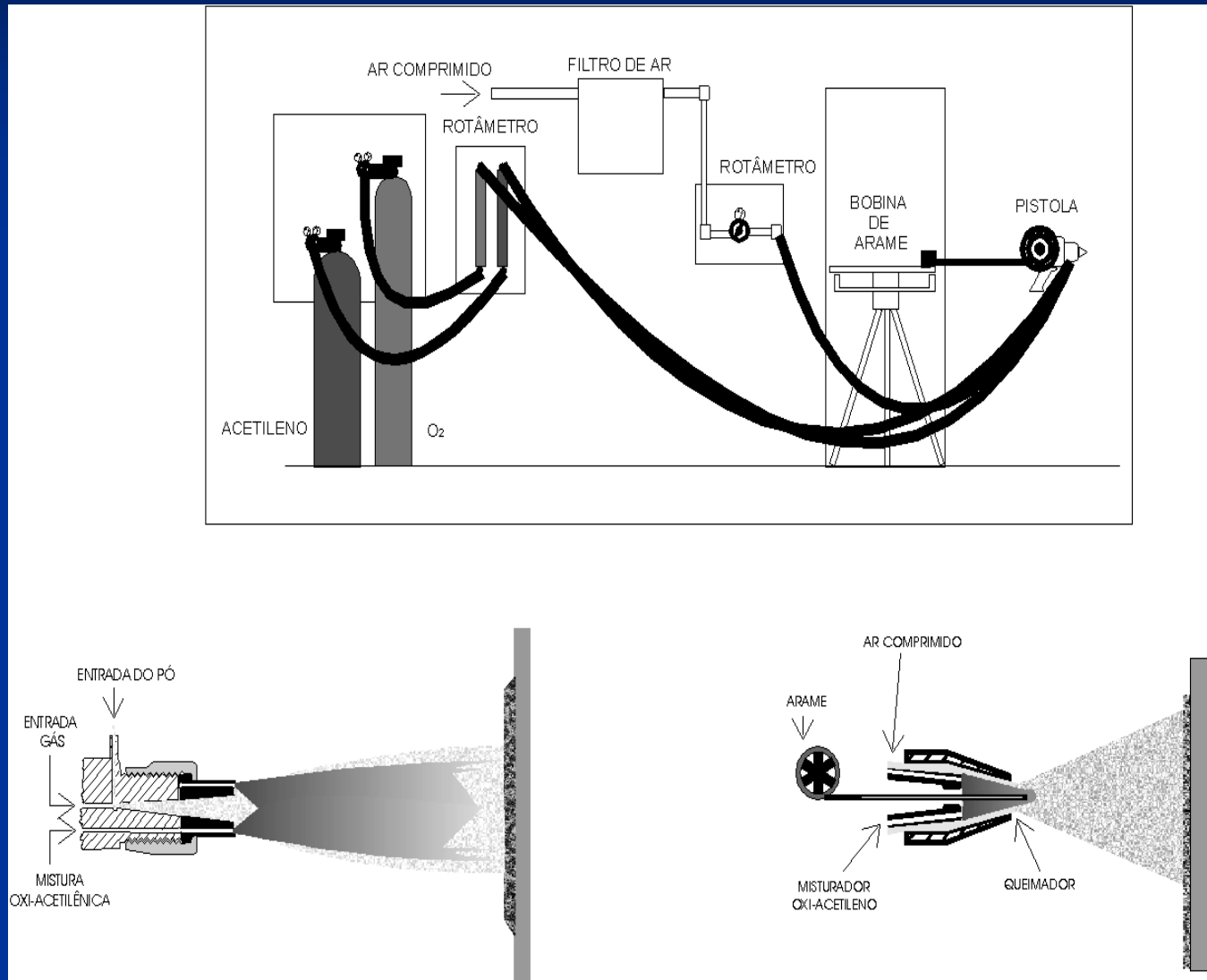
Railroad

Automóveis

Diesel

Processo de aspersão térmica a chama oxiacetilênica

FS – “Flame Spray”



Equipamento

- Tipo de pistola : pó e arame
- Pressão e fluxo do ar comprimido utilizado para transferir as partículas até o substrato.
- Pressão e Fluxo de oxigênio e acetileno utilizado para a formação da chama.

Procedimento

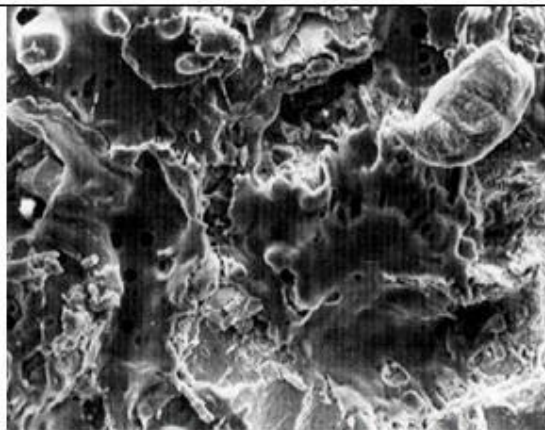
- Distância de deposição
- Velocidade de deposição ↔ ↕
- Limpeza e Rugosidade
 - Preaquecimento
 - Selante



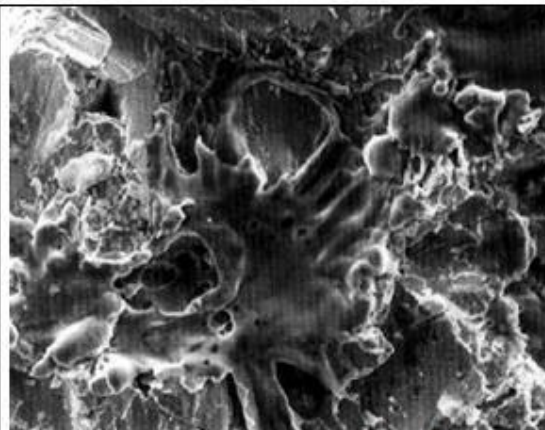
Flame.wmv



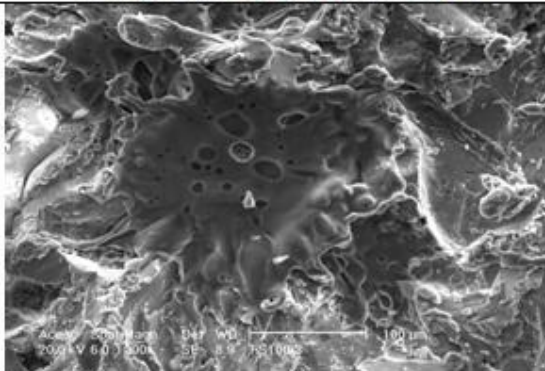




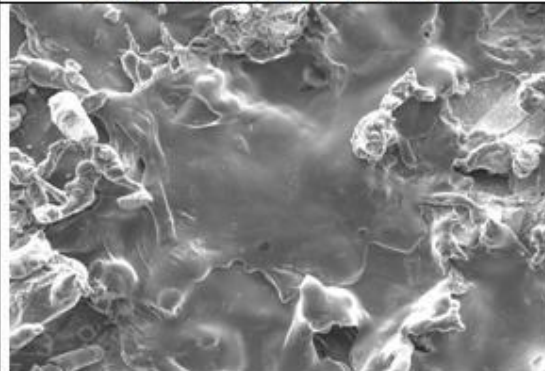
(a) rugosidade do substrato Ry 70/80 μm
sem pré-aquecimento / processo FS



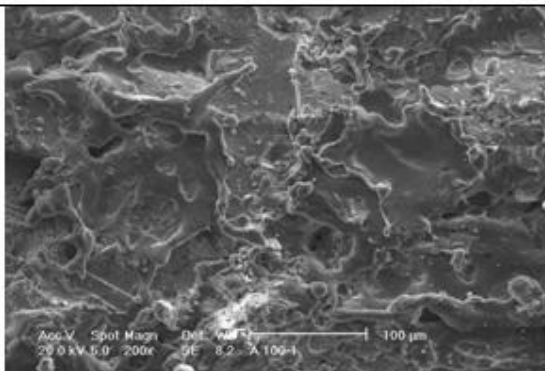
(b) rugosidade do substrato Ry 70/80 μm
com pré-aquecimento / processo FS



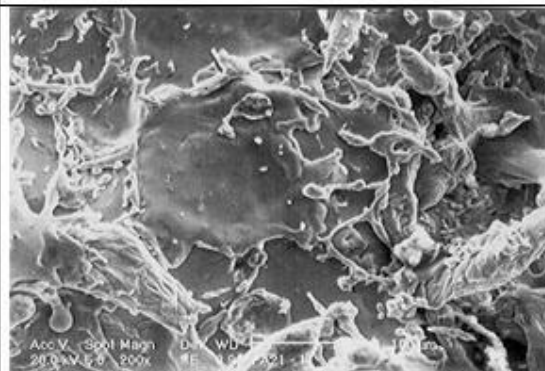
(c) rugosidade do substrato Ry 50/60 μm
sem pré-aquecimento / processo FS



(d) rugosidade do substrato Ry 50/60 μm
com pré-aquecimento / processo FS



(e) rugosidade do substrato Ry 50/60 μm
sem pré-aquecimento / processo ASP



(f) rugosidade do substrato Ry 50/60 μm
com pré-aquecimento / processo ASP

Temperaturas das fontes de calor adaptado, (ASM, 1994).

Fonte	Temperatura (°C)
Propano + Oxigênio	2526
Gás Natural + Oxigênio	2538
Hidrogênio + Oxigênio	2660
Propileno + Oxigênio	2843
Acetileno + Oxigênio	3087
Arco Plasma	2200 - 28000

Composição e forma de alguns materiais ferrosos

Composição % em peso	Formas disponíveis		Comentário
	pó	arame	
Mn 0,5; C 0,10; Fe balanço	x	x	Aço baixo carbono
C 0,80; P 0,04; S 0,04; Mn 0,7; Fe b resto		x	Aço alto carbono
Al 10,0; Mo 1,0; C 0,2; Fe resto	x		Aço liga baixo carbono
Al 3,0; Mo 3,0; C 3,0; Fe resto	x		Aço liga alto carbono
C 0,15; P 0,06; S 0,03; Mn 8,5; Ni 5,1; Cr 18,0; Si 1,0; Fe resto		x	Aço inoxidável tipo 202
Cr 17,0; Ni 12,0; Mo 2,5; Si 1,0; C 0,1; Fe resto	x	x	Aço inoxidável tipo 316
Cr 19,0; Ni 9,5; Mn 2,0; Si 1,0; Fe b resto	x	x	Aço inoxidável tipo 304
C 0,35; Cr 13,0; Si 0,5; Fe resto		x	Aço inoxidável tipo 420

Materiais não ferrosos

Composição % em peso	Forma disponíveis		Comentário
	pó	Arame	
Al 95,0; Fe 1,0; Cu resto	x	X	Bronze alumínio
Si 12,0, Al resto		X	Liga AlSi
Al 99,0 +	x	x	Al puro
Cu 99,0 +	x	x	Cobre desoxidado
Ni 38,0; Cu resto	x	x	Monel
Zn 99,9 +		x	Zinco puro
Cu 66,0; Zn 34,0		x	Latão
Cu 95,0; Sn 5,0		x	Bronze fosforoso
Sn 90,0; Sb 12,5; Cu 3,0		x	Metal patente base estanho
Pb 78,0; Sb 12,5; Sn 10,0; Cu 0,5		x	Metal patente base chumbo
Zn 85,0; Al 15,0		x	Liga ZnAl

Ligas especiais

Composição % em peso	Formas disponíveis		Comentário
	pó	arame	
Cr_3C_2 99,9	x		Carbeto de cromo
Cr_3C_2 75; Ni 20; Cr 5	x		Carbeto de cromo em matriz de níquel cromo
Co 12; C 4; Fe 1; W resto	x		Carbeto de tungstênio em matriz de cobalto
Al_2O_3 98,0; SiO_2 0,5; outros 0,5	x		Cerâmica a base de óxido de alumínio branco
Al_2O_3 94,0; TiO_2 2,5; SiO_2 2,0; FeO_3 1,0; outros resto	x	x vareta	Cerâmica a base de óxido de alumínio cinza
Cr_2O_3 98	x		Cerâmica a base de óxido de cromo
Al_2O_3 87; TiO_2 13	x		Oxi-cerâmico a base de óxido de Al.
TiO_2 99,0	x		Oxi-cerâmico a base de dióxido de titânio
MgO 24; ZrO_2 resto	x		Oxi- cerâmico a base de zirconato de magnésio
Cr 10; B 2,5; Fe 2,5; Si 2,5; C 0,15; Ni resto	x	x Ø 1/8"	Auto fluxante de media dureza
Cr 17; Fe 4,0; Si 4,0; B 3,5; C 1,0; Ni resto	x	x Ø 1/8"	Auto fluxante de alta dureza

Processo de aspersão térmica por arco elétrico

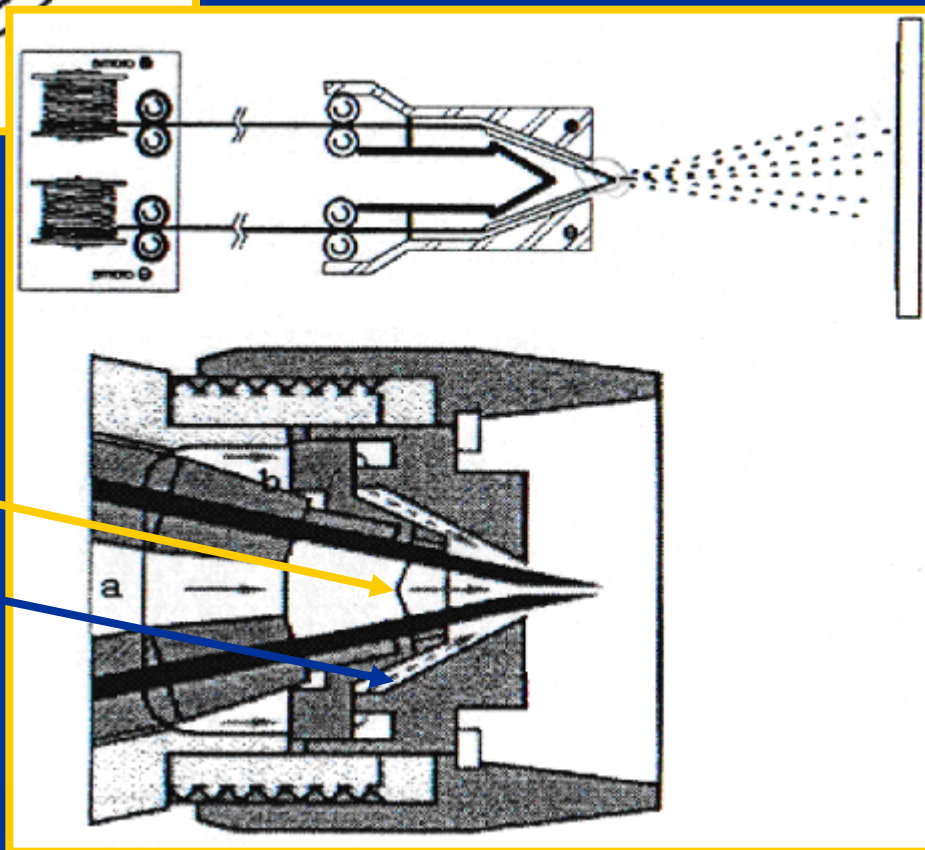
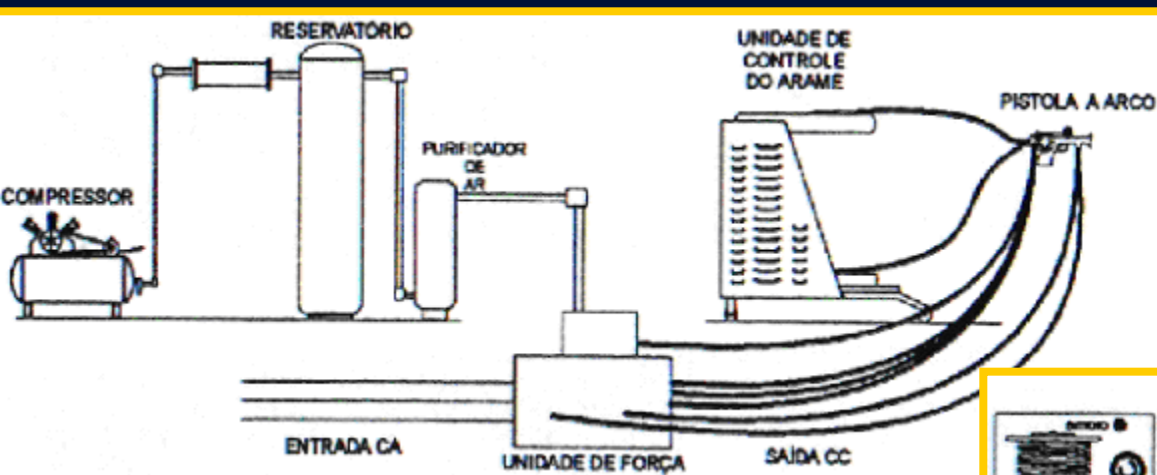
“Arc Spray Process” ASP

O processo ASP é um método com boa relação custo-benefício e é usada para possibilitar resistência ao desgaste em componentes industriais e/ou resistência à corrosão em grandes estruturas.

É um processo de deposição no qual é geralmente utilizado ar comprimido como gás de transporte. O gás e todos os constituintes do consumível atomizam-se quando da formação do arco elétrico ($T > 4000^{\circ}\text{C}$) e interagem entre si.

Principais parâmetros que afetam a microestrutura:

Limpeza e rugosidade do substrato, pressão do ar comprimido - gás de transporte, tensão, corrente, pré-aquecimento do substrato e distância de aplicação.



(a) Fluxo de ar primário

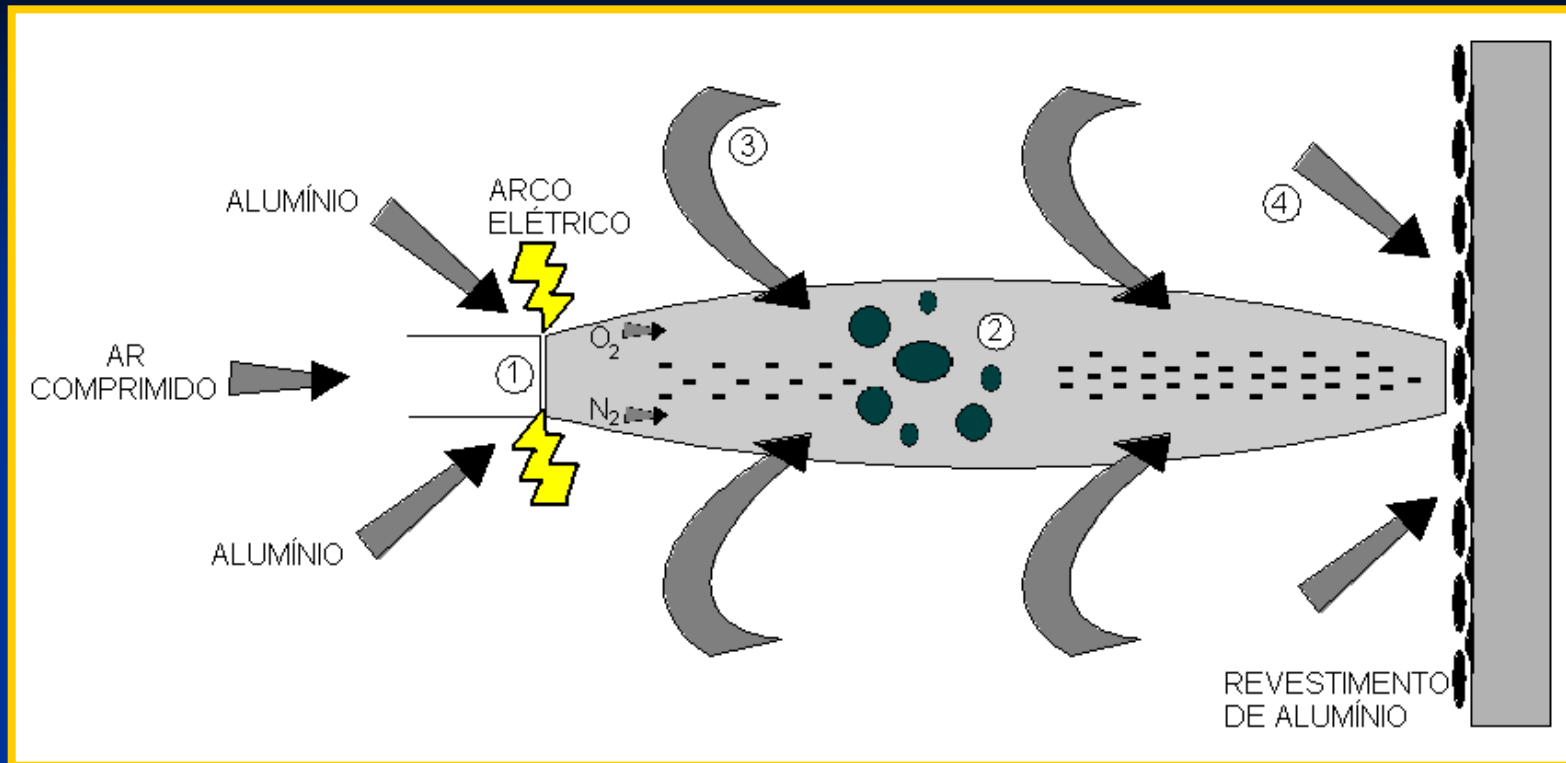
(b) Fluxo de ar secundário



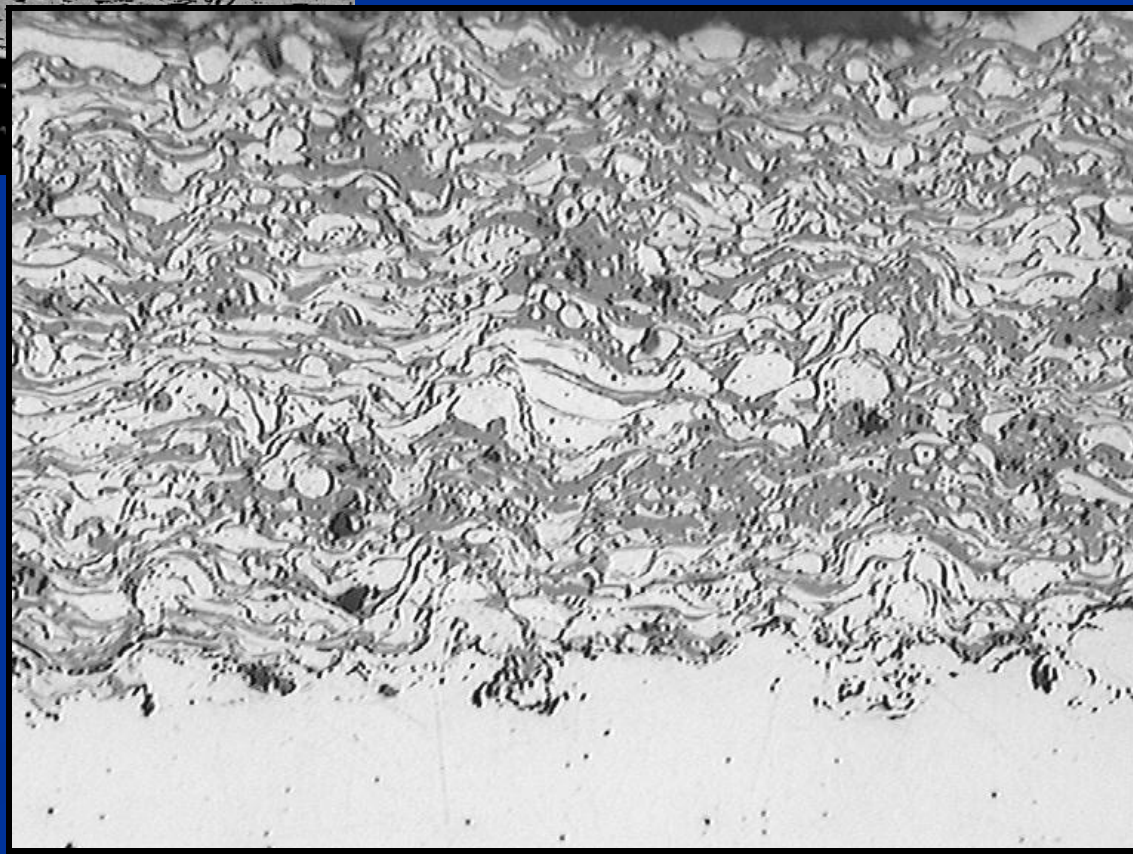
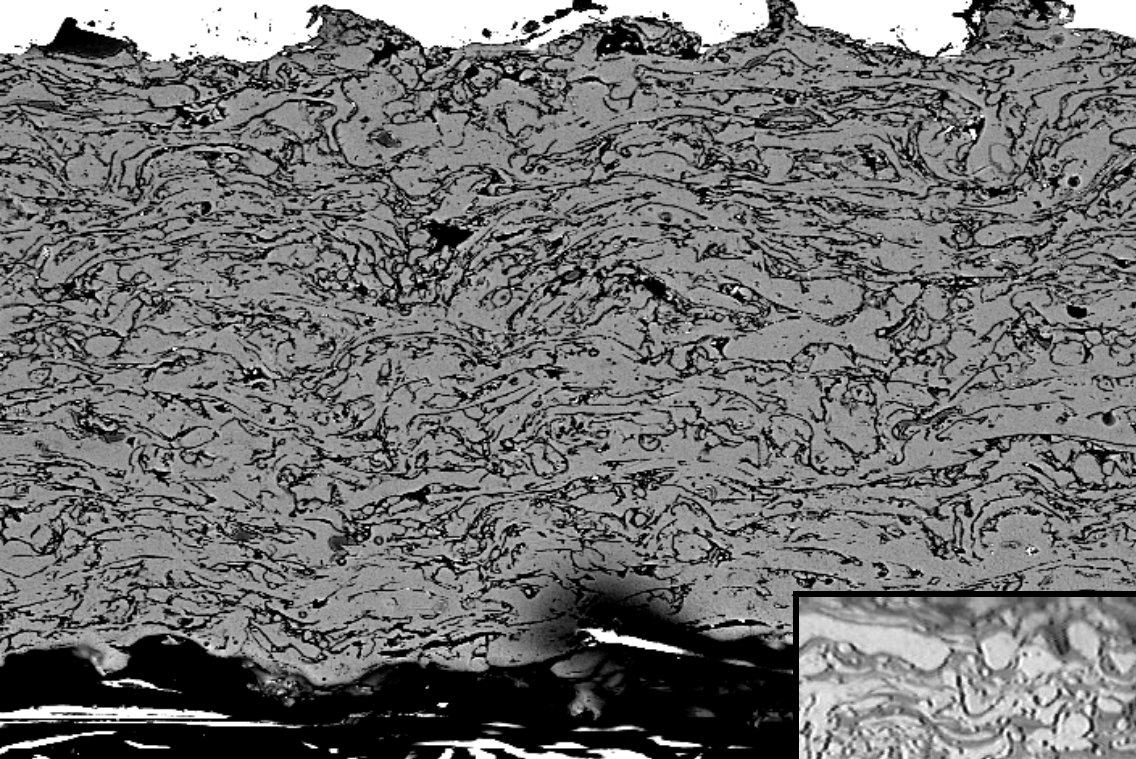
Equipamento de Aspersão Térmica à Arco Elétrico

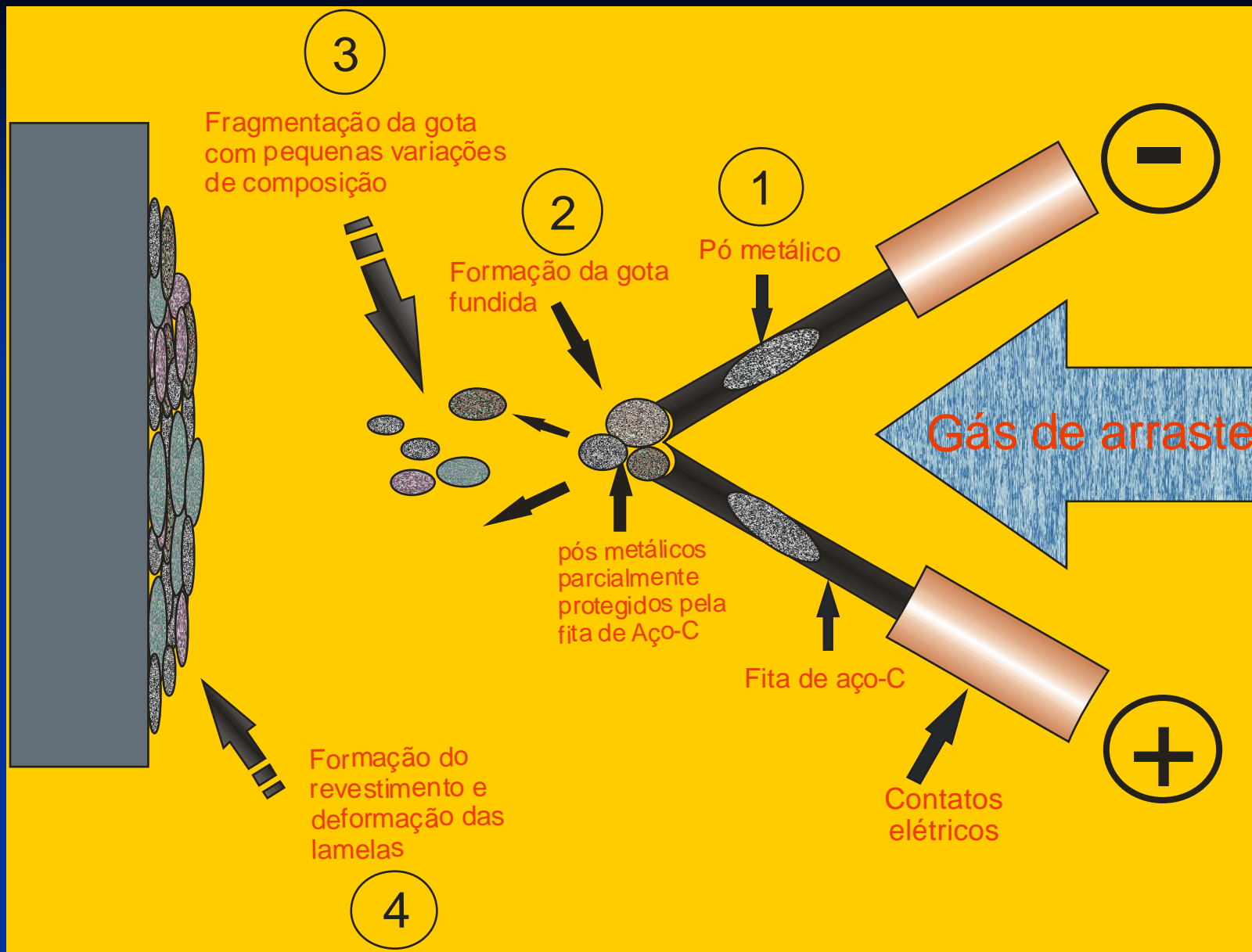
Electric_arc video.wmv

OXIDAÇÃO NA ASPERSÃO TÉRMICA A ARCO ELÉTRICO

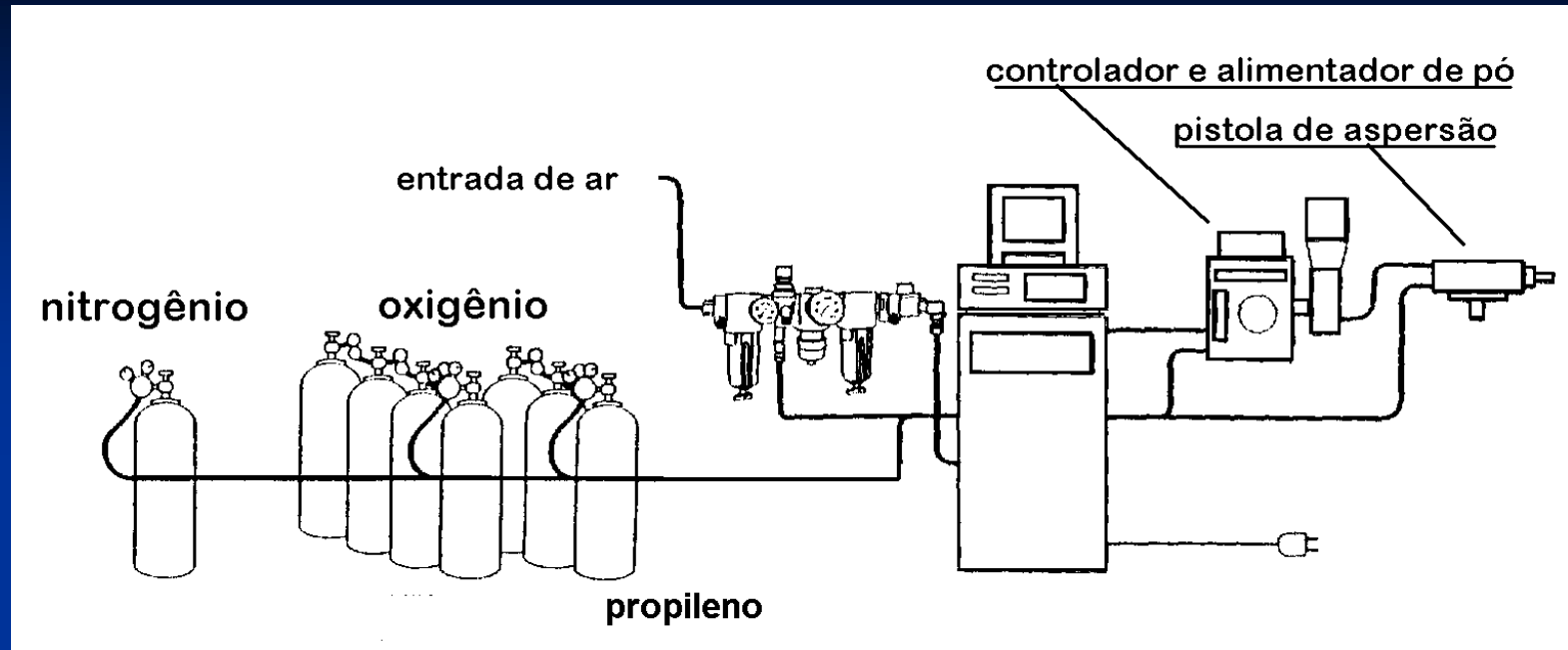


- **Mecanismo 1** – fonte de calor, partículas têm o primeiro e mais relevante contato com ambiente oxidativo. Exclusivo para o processo ASP.
- **Mecanismo 2** – oxidação entre a partícula e o gás de transporte.
- **Mecanismo 3** – ar do meio ambiente que envolve a zona de transferência das partículas.
- **Mecanismo 4** - partículas e/ou camadas já ancoradas ao substrato e que ficam expostas ao ar do meio ambiente.

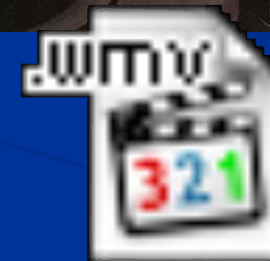
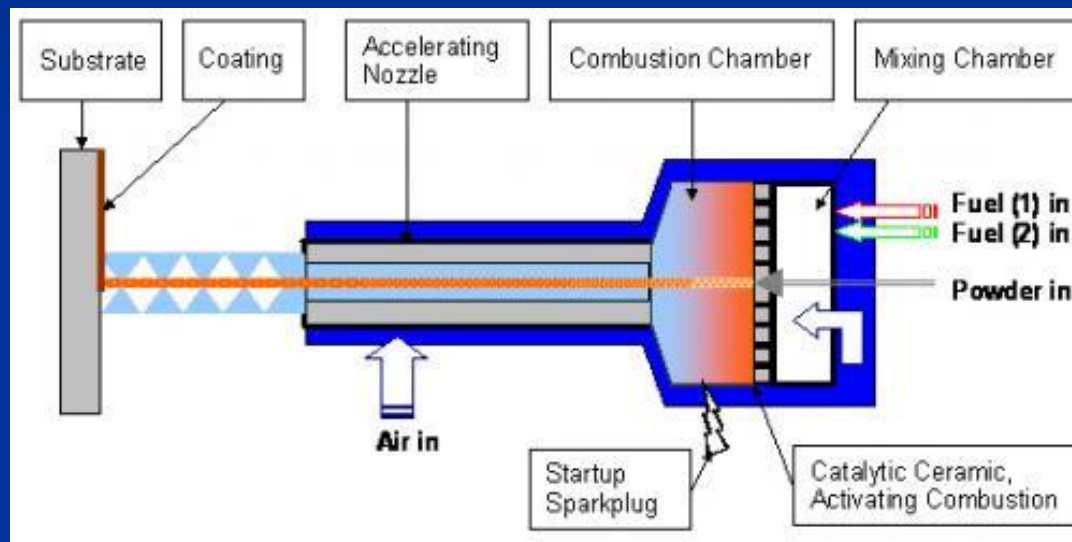
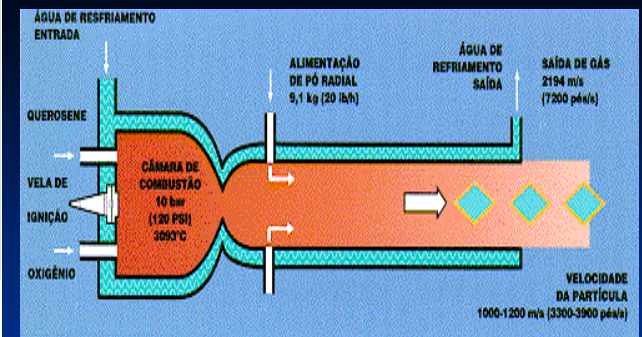
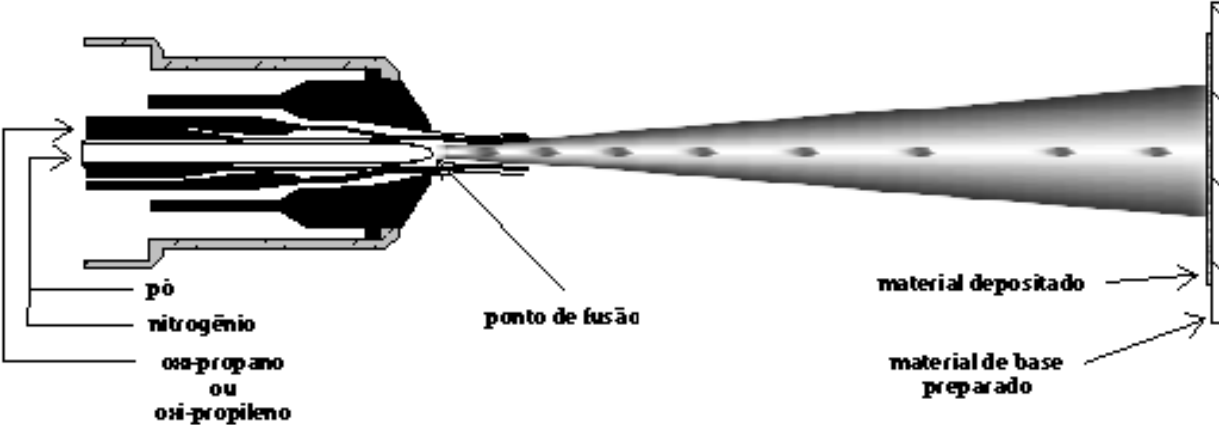




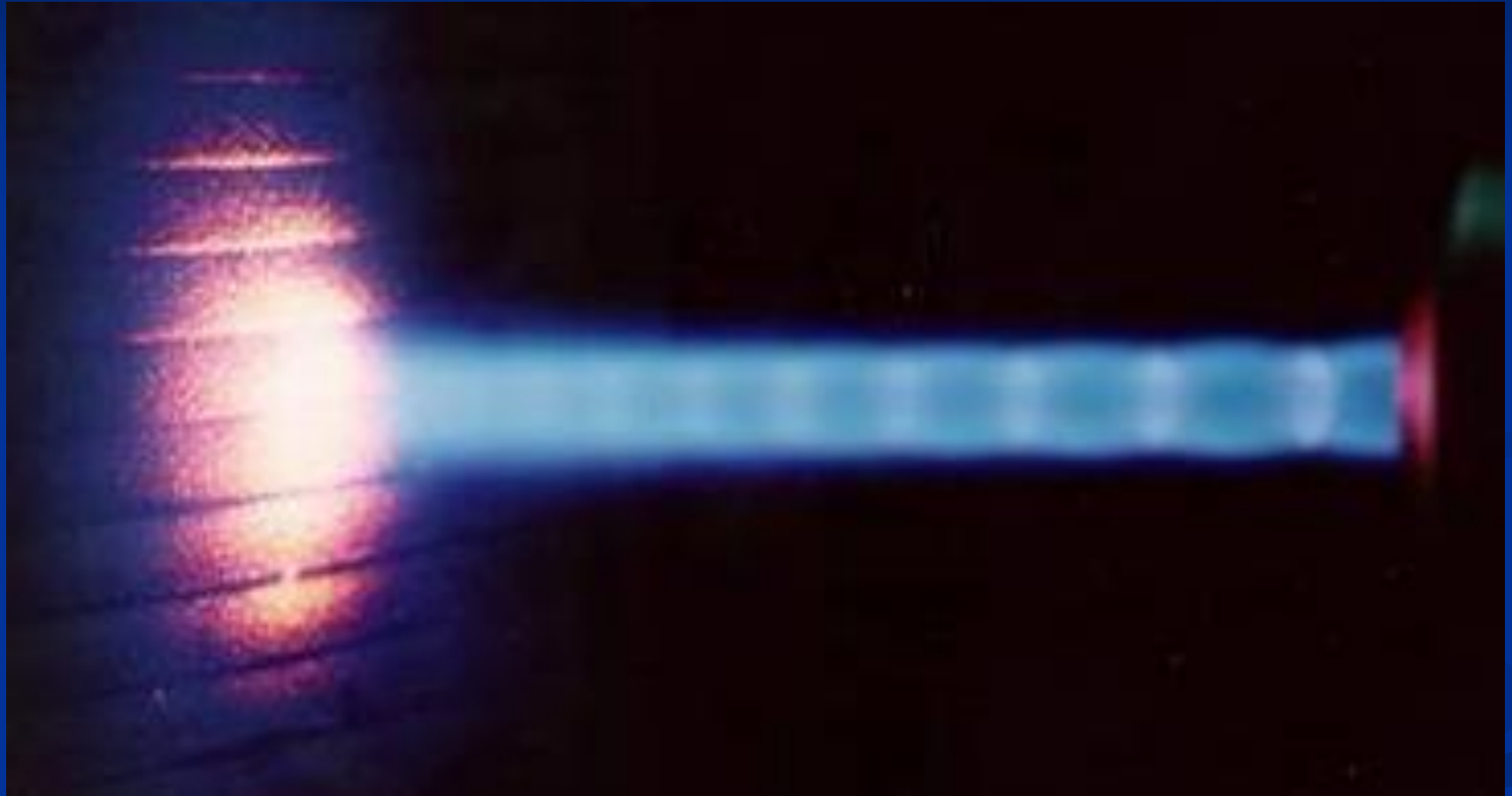
Processo a chama de alta velocidade - HVOF (High Velocity Oxi-Fuel)



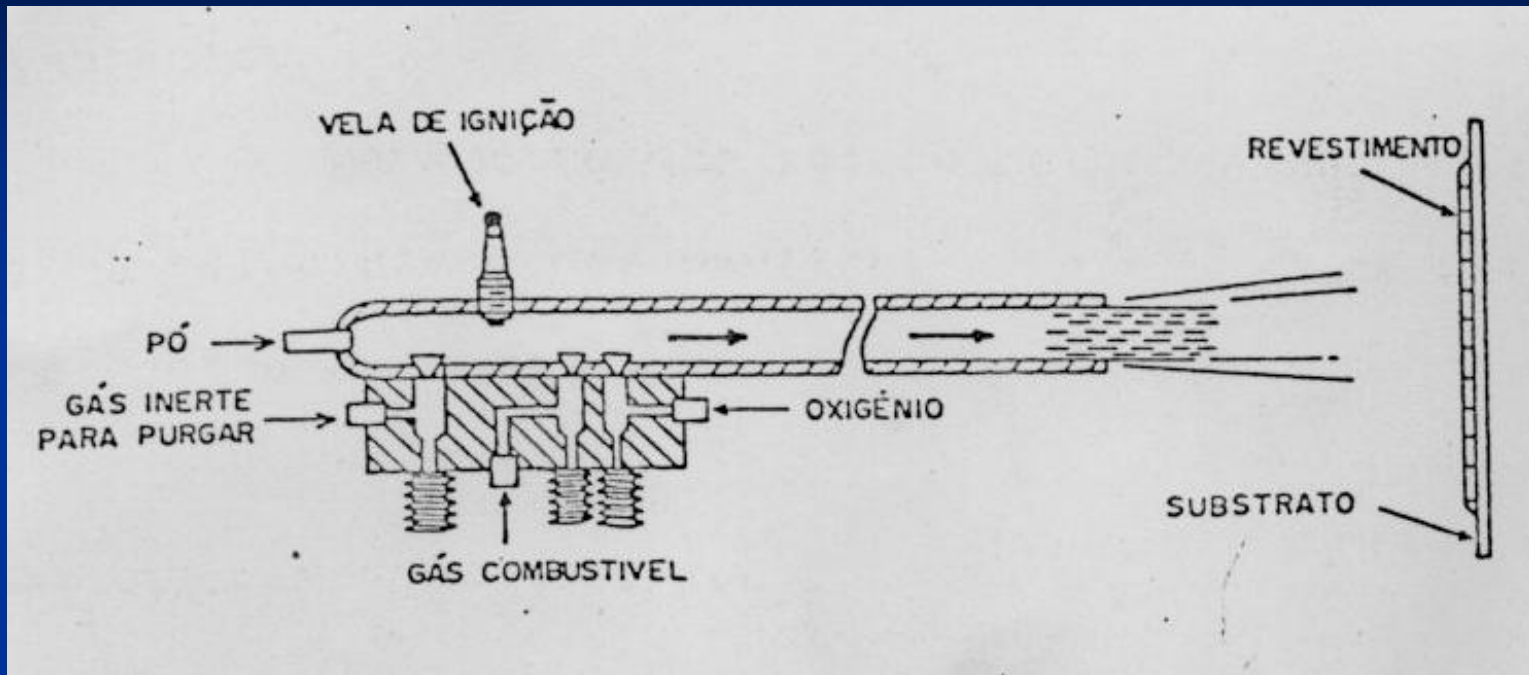
Este processo é mais moderno que os anteriores, o calor gerado na combustão utiliza uma mistura de oxigênio com gases combustíveis (propileno, propano ou kerosene), a chama atinge temperaturas na faixa entre 2700 e 3100 °C.



Hvof.wmv

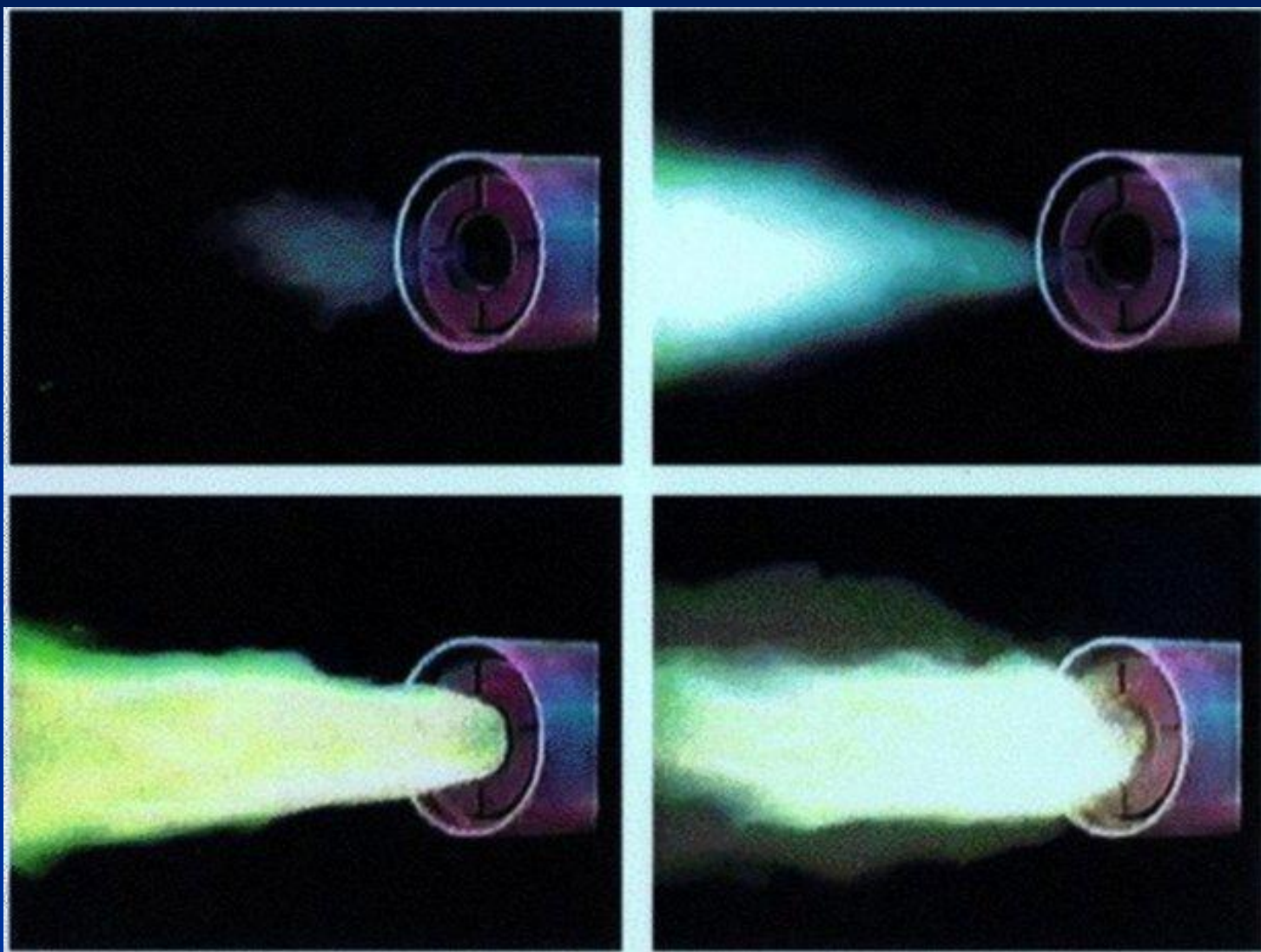


Processo por Detonação

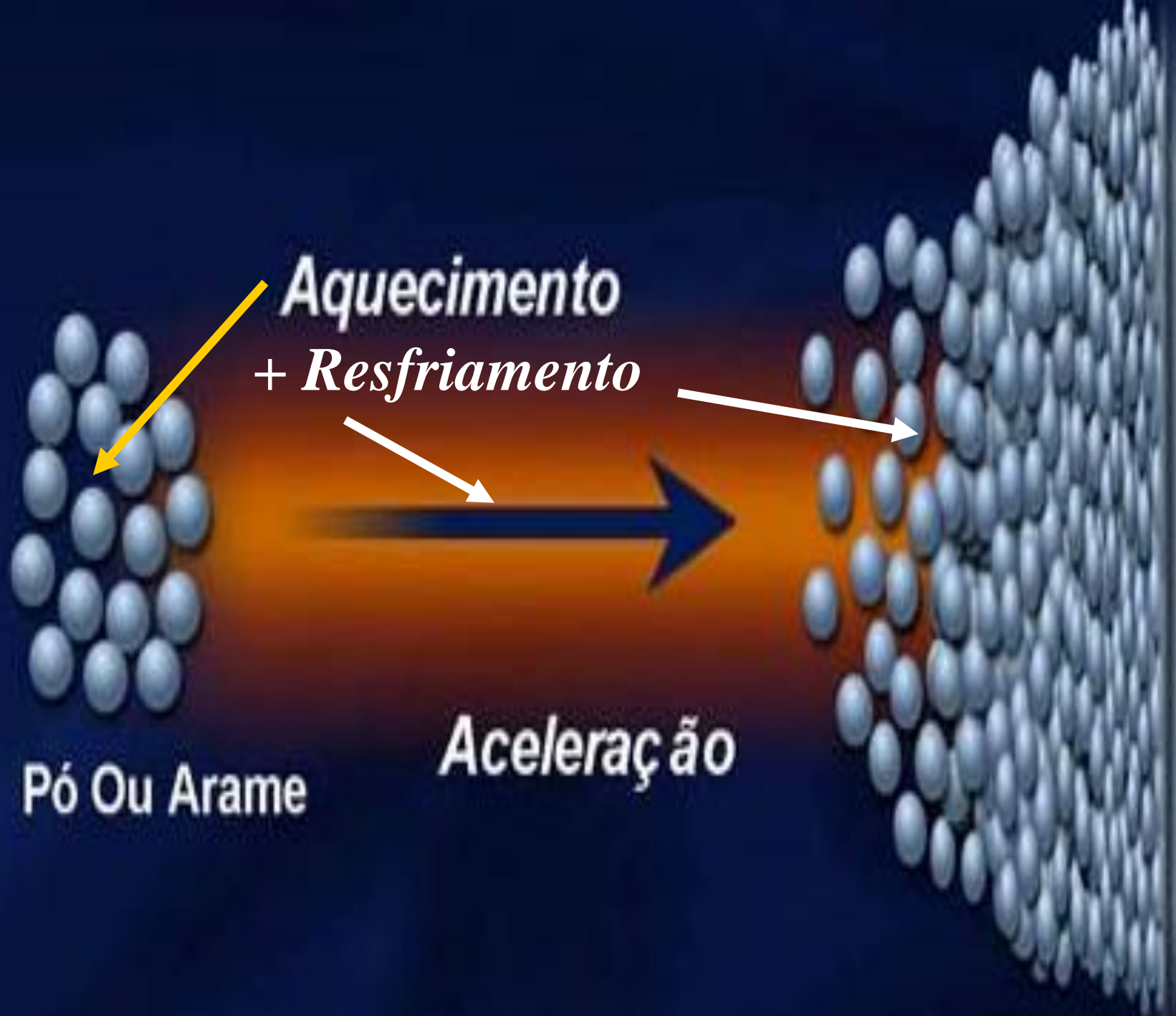


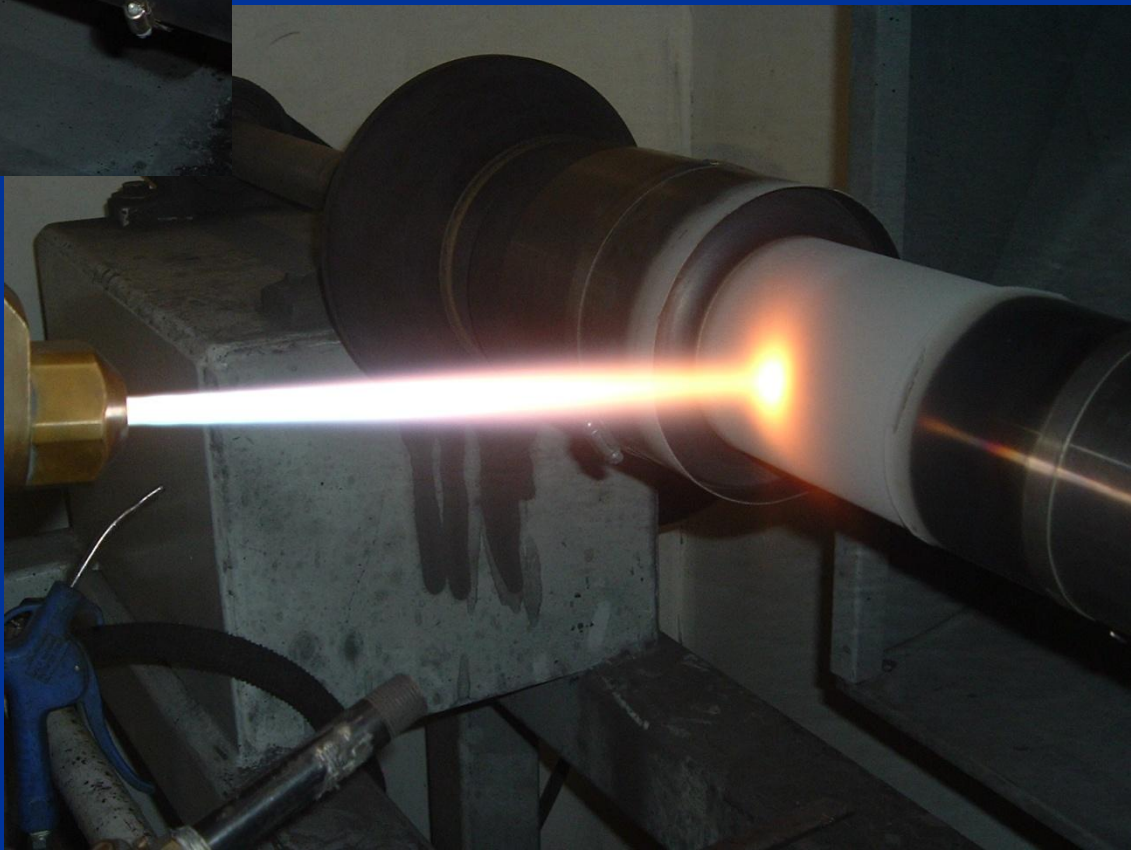
Neste processo utiliza-se a energia da explosão de uma mistura oxiacetilênica que aquece e impele o material, sempre sob forma de pó, de encontro à superfície do substrato a ser revestido.

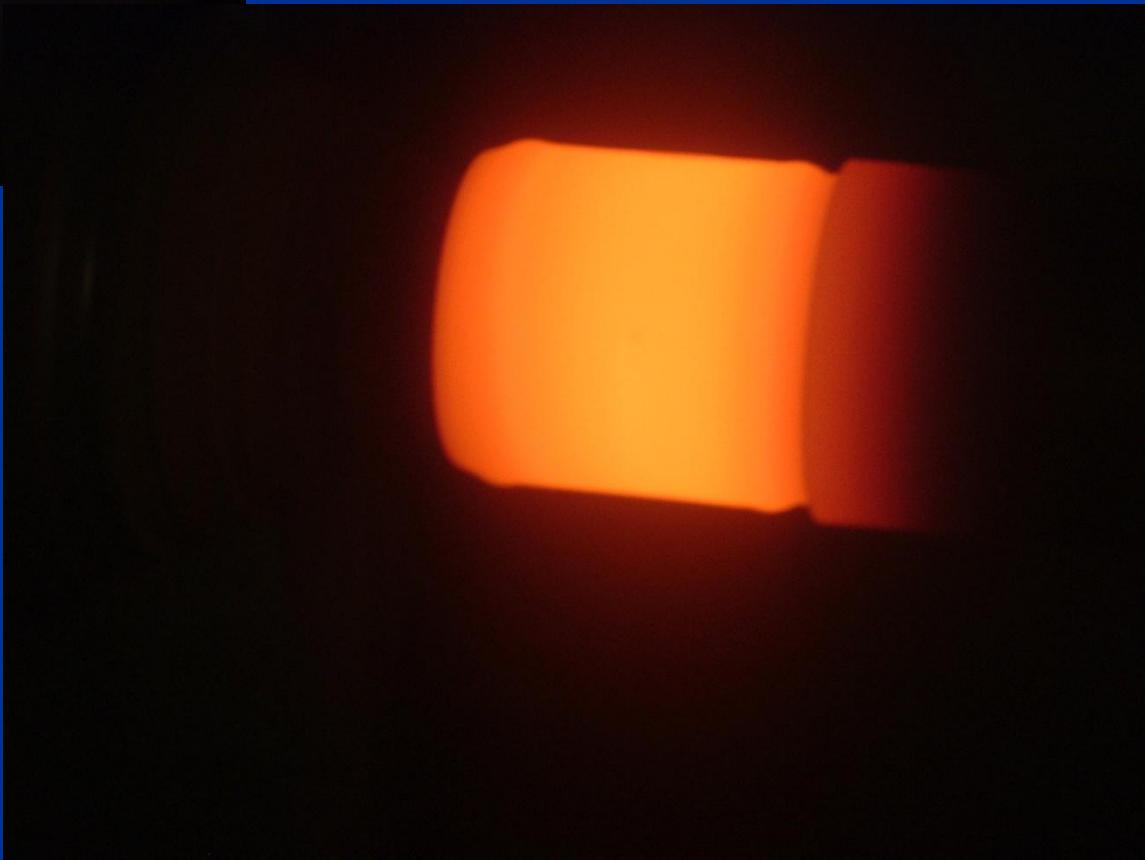
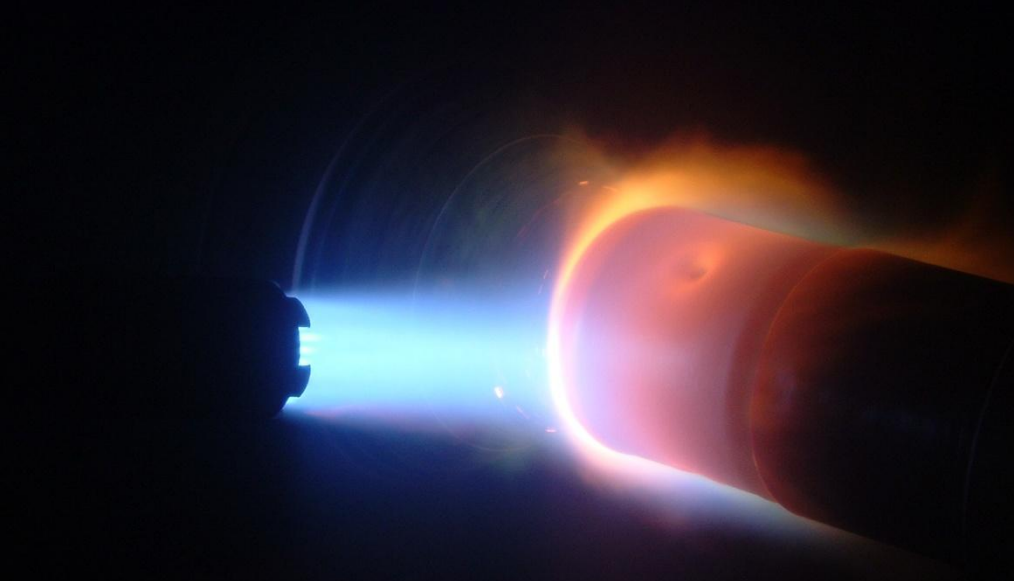
As camadas resultantes deste processo são extremamente duras, densas e firmemente aderidas ao material de base.



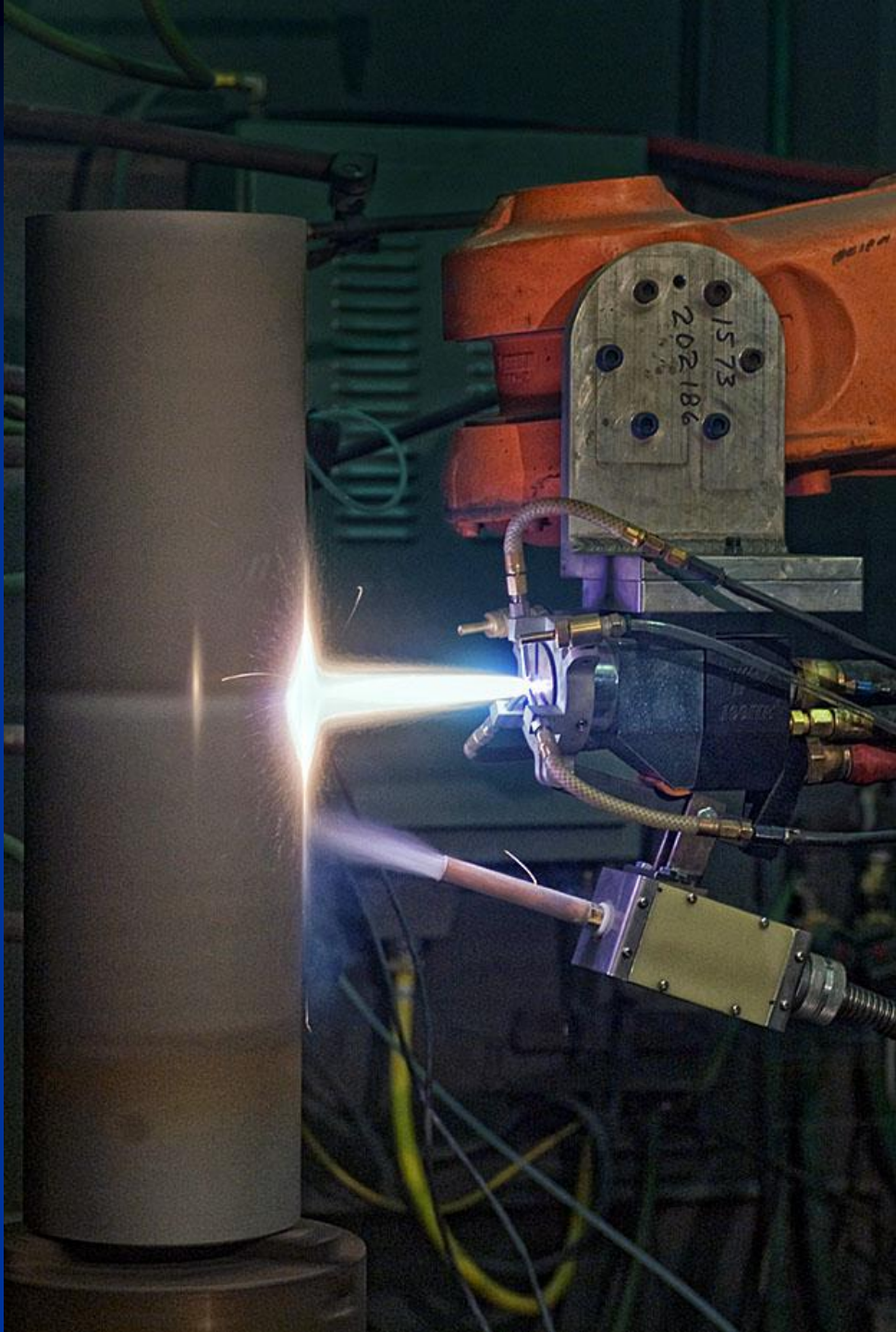
Parâmetros dos Processos de AT Convencionais					
Processo → Parâmetros ↓	FS [pó]	FS [arame]	HVOF [pó]	Detonação	ASP [arame]
Temperatura Chama/Arco [°C]	2200/3200	2800/3200	2700/3100	3900	4000/6000
Veloc. Transferência [m/s]	30-150	100-250	400-1200 Até 5000	910	100-350
Atmosfera da Chama/Arco	CO,CO ₂ , H ₂ O	N ₂ , CO, CO ₂ , H ₂ O	N ₂ , CO, CO ₂ , H ₂ O	N ₂ , CO, CO ₂ , H ₂ O	N ₂ , O ₂
Teor de Óxidos [%]	0,4 – 10	0,4 – 10	1 - 5	1-5	2,5 - 15
Porosidade [%]	05 - 15	05 - 15	<3	<3	2 -15
Aderência [MPa]	4 -20	4 - 20	>40	>40	10 - 36



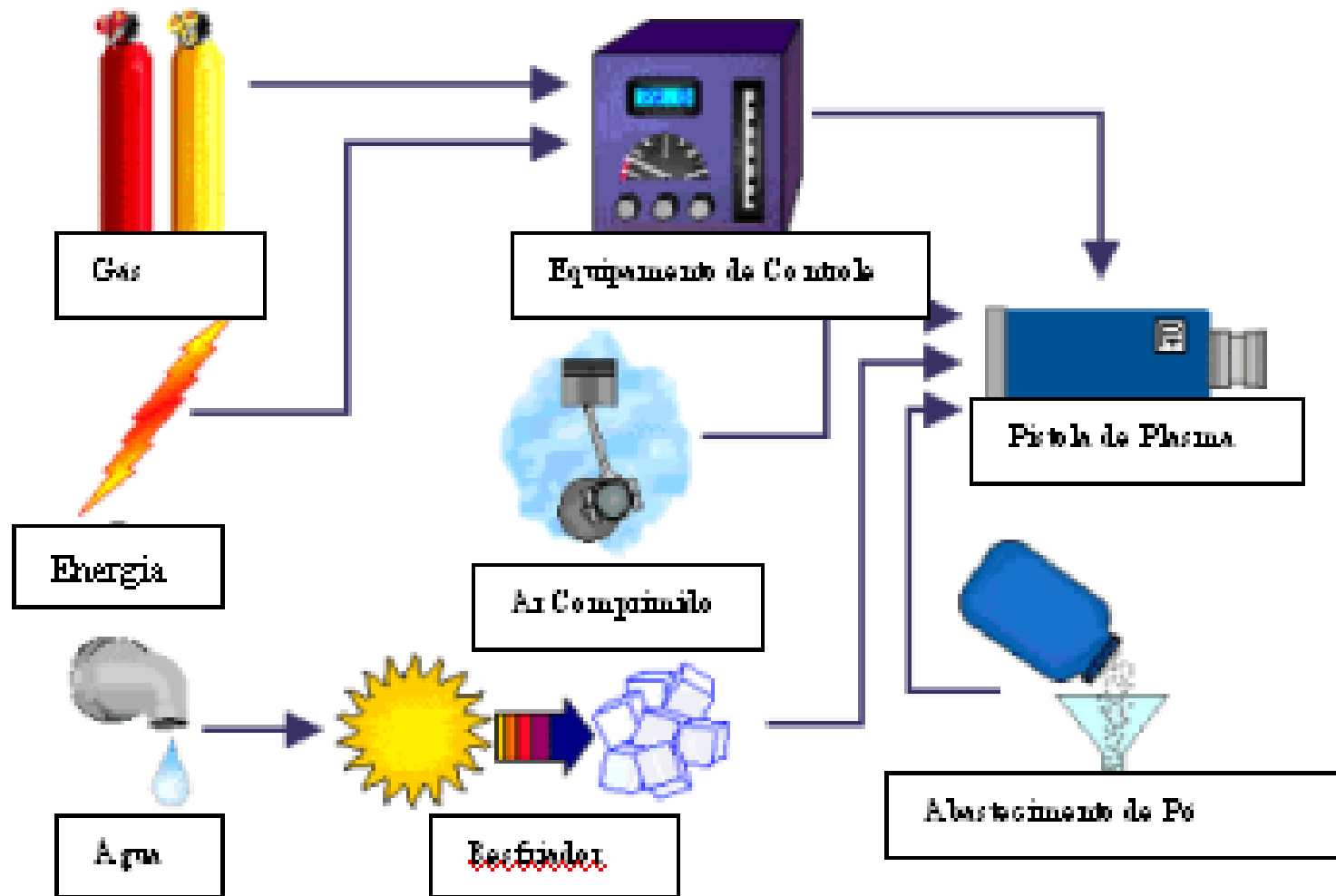


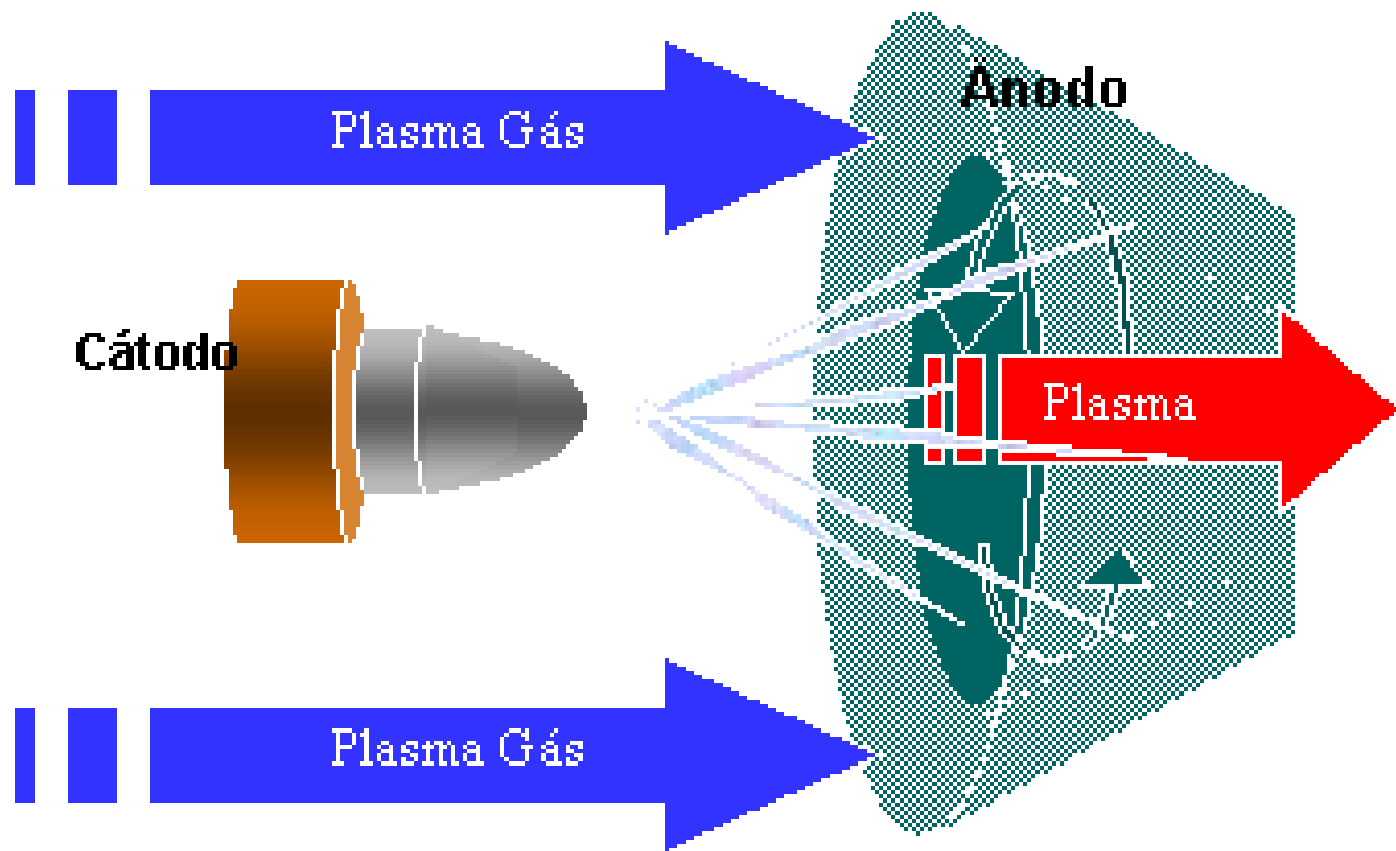




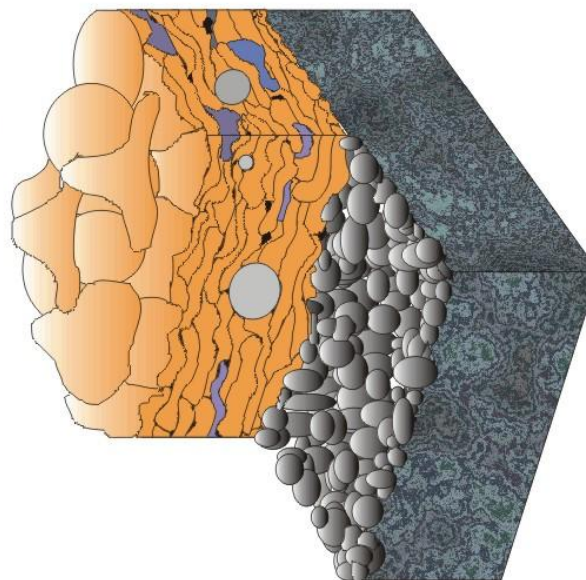
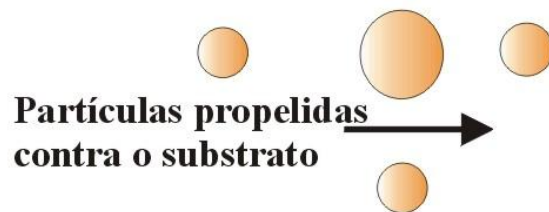
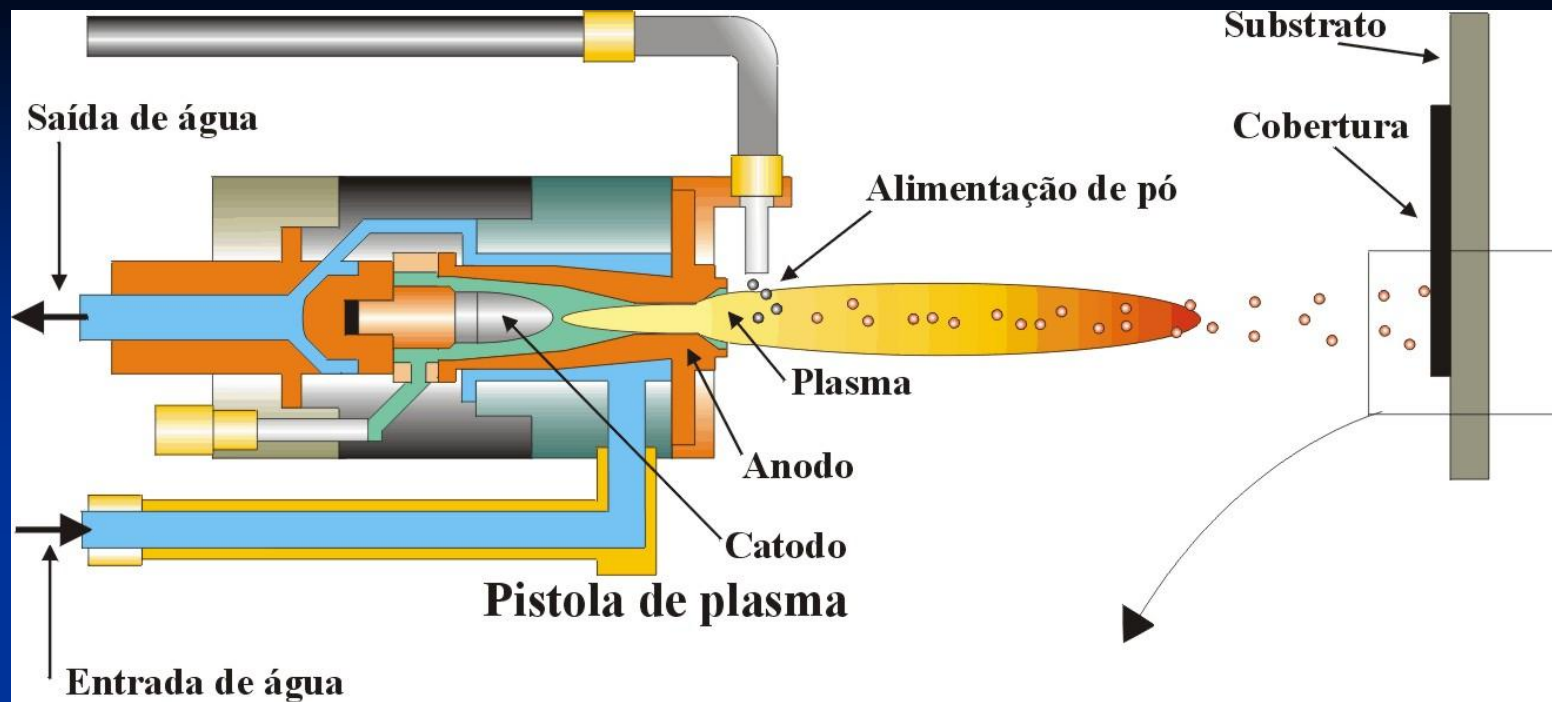


Aspersão Térmica Plasma Spray

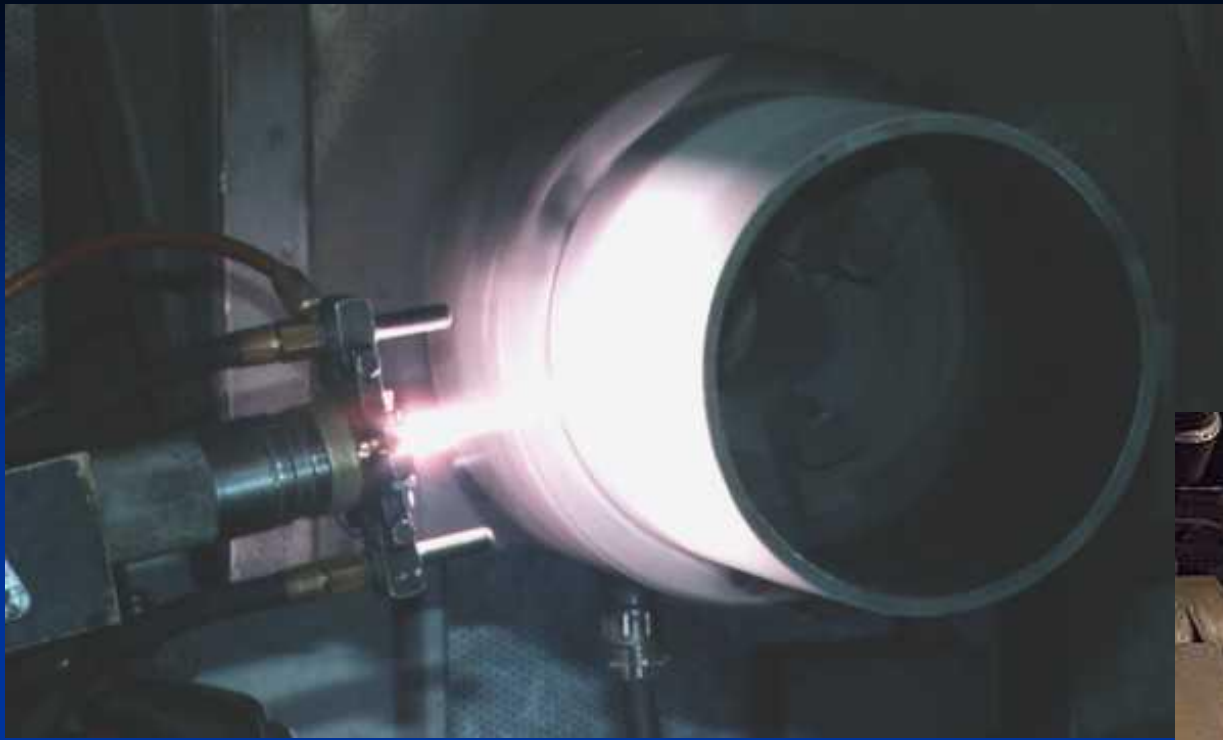




Esquema em corte de uma pistola para
aspersão térmica a plasma spray

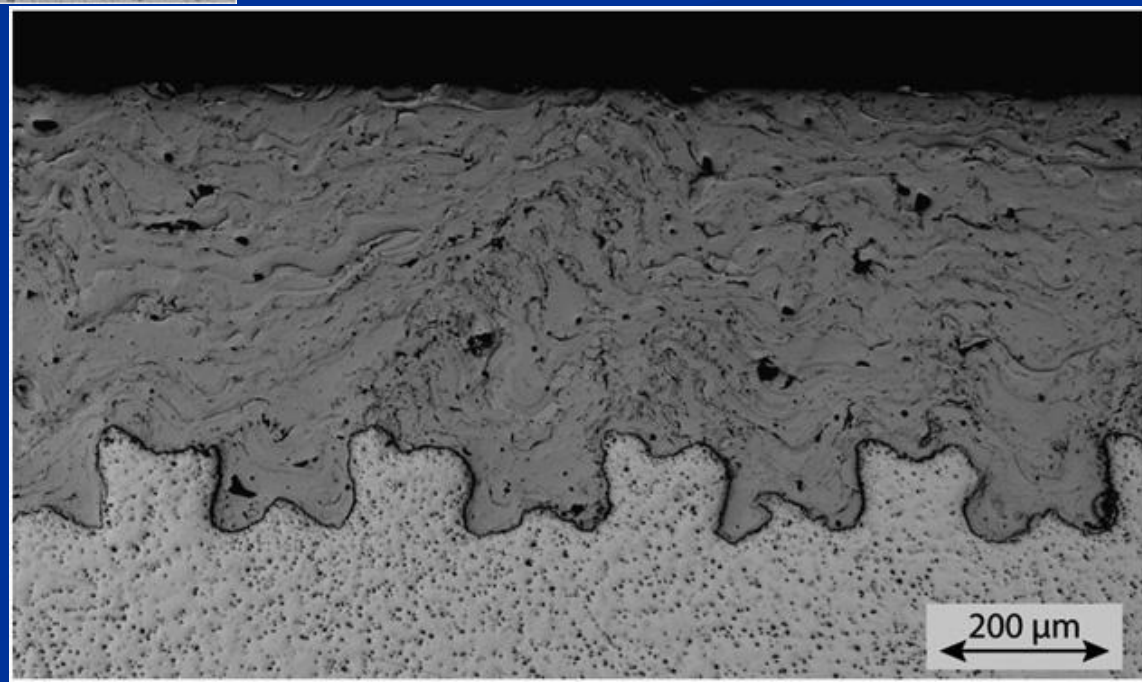
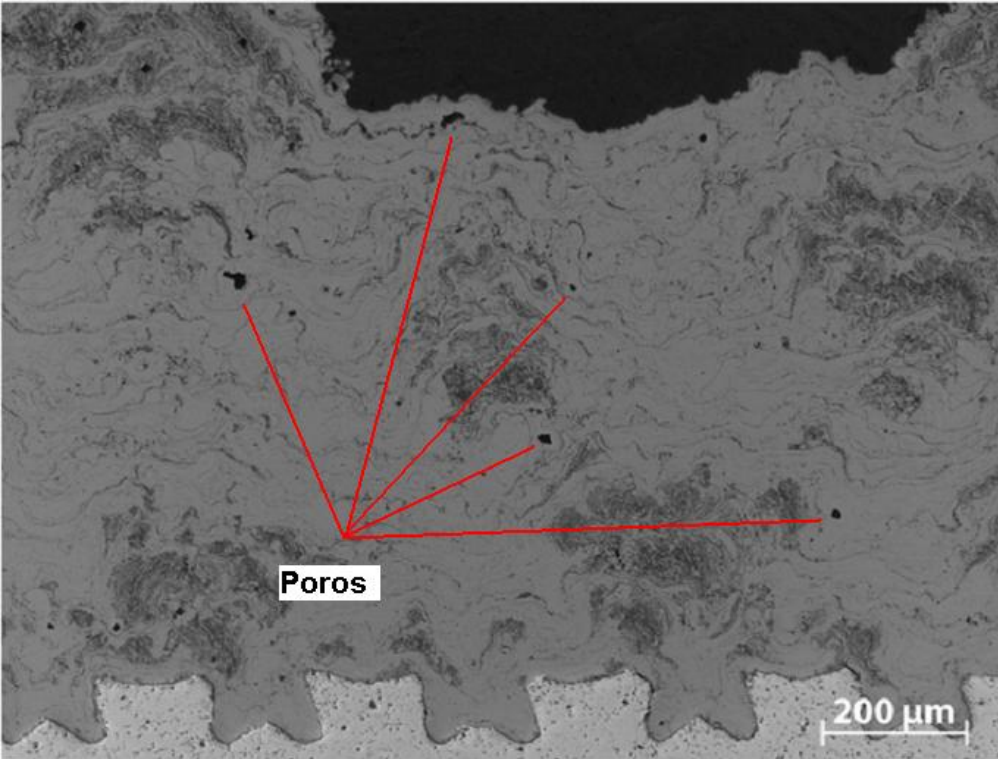


Detalhe da cobertura

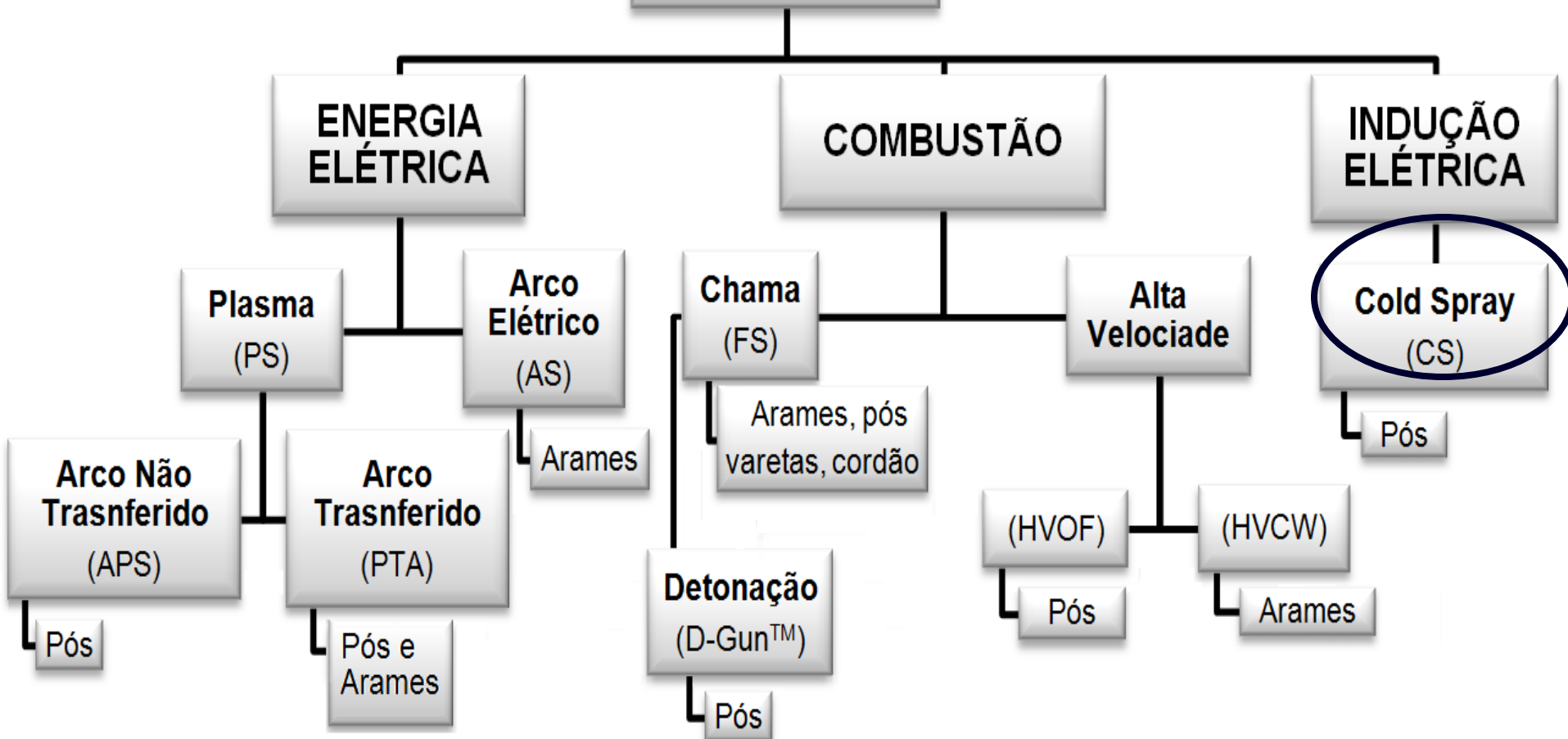


Plasma.wmv





ASPERSÃO TÉRMICA



COLD SPRAY

PROCESSO

- Projeção de partículas metálicas e não-metálicas contra um substrato;
- Utiliza gás aquecido (100°C a 600°C);
- Utiliza pressões de 15 a 35 bar;
- Velocidade Crítica;
- Tipos de Gases;
- Tipos de Bocais;
- Tamanhos de Partículas;
- Distância do Bocal ao Substrato

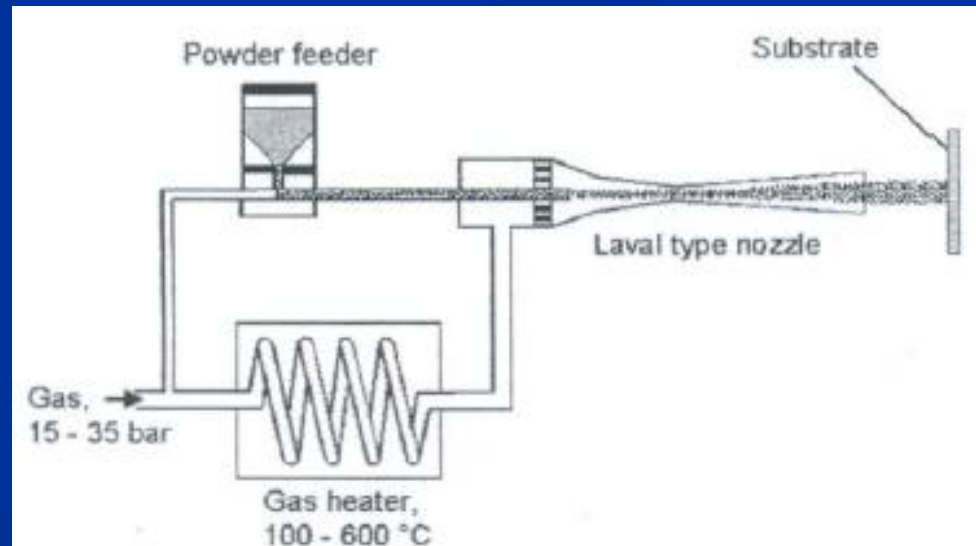
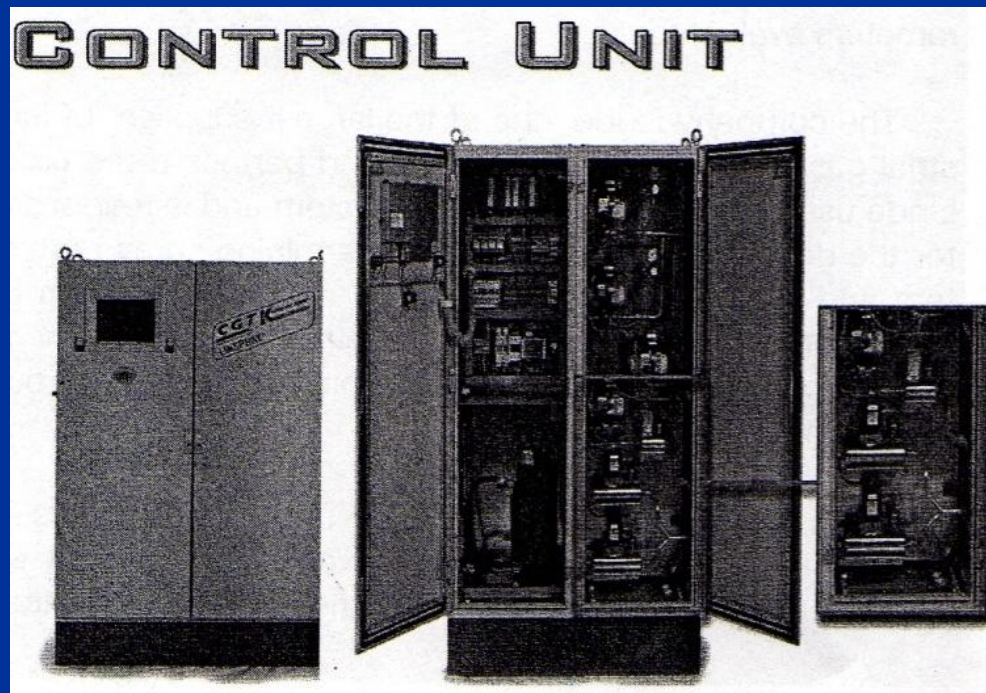


Abb. 1 Prinzip des Kaltgasspritzens.

Figure 1 Schematic of the cold spray process.

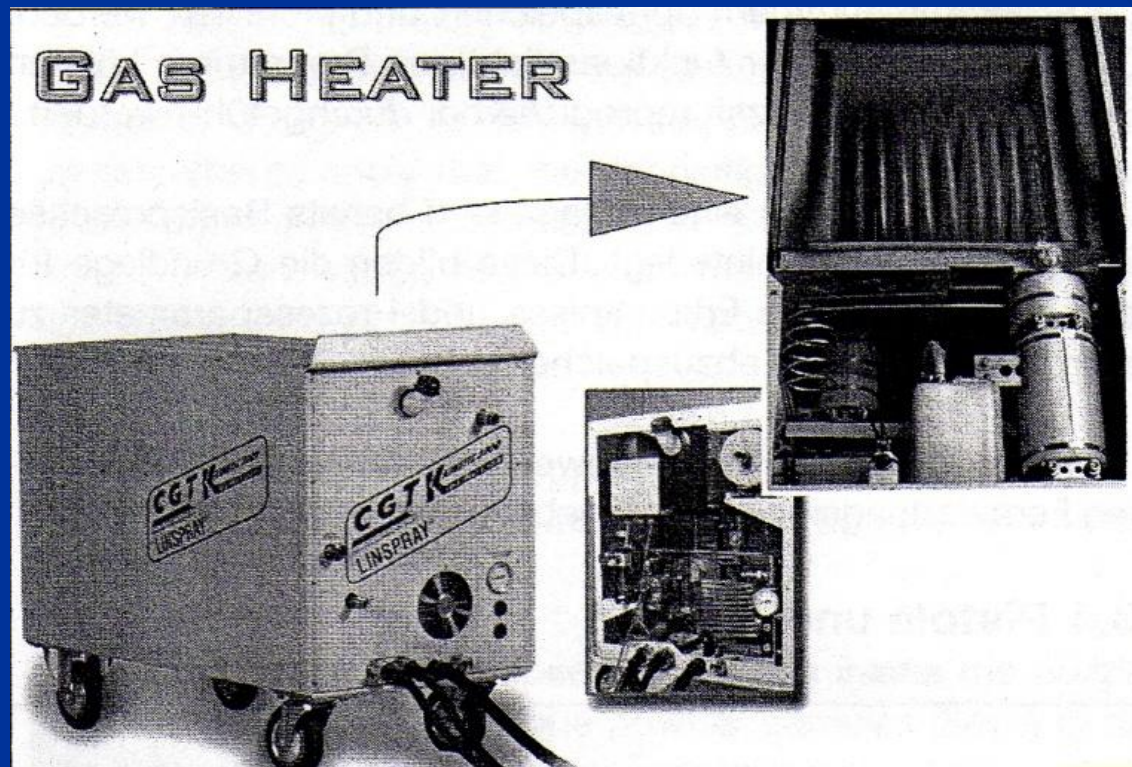
1 – Unidade de controle

- Todos os componentes elétricos
- Suprimento de gás e unidades reguladoras
- Mais de 20kW de potencia



2 – Aquecedor

- 0 a 800°C em 1-2 minutos
- Resistência a 50 bar de pressão

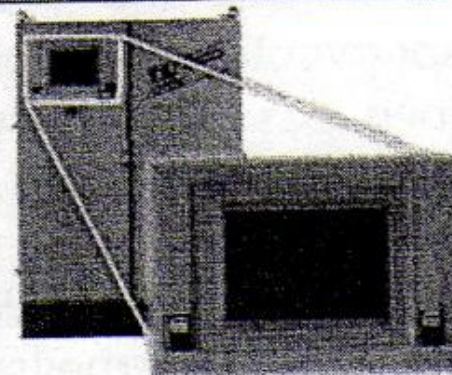
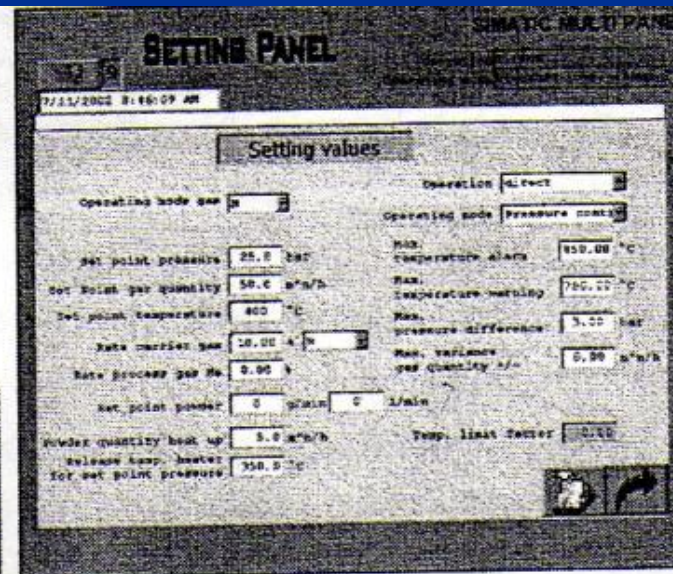
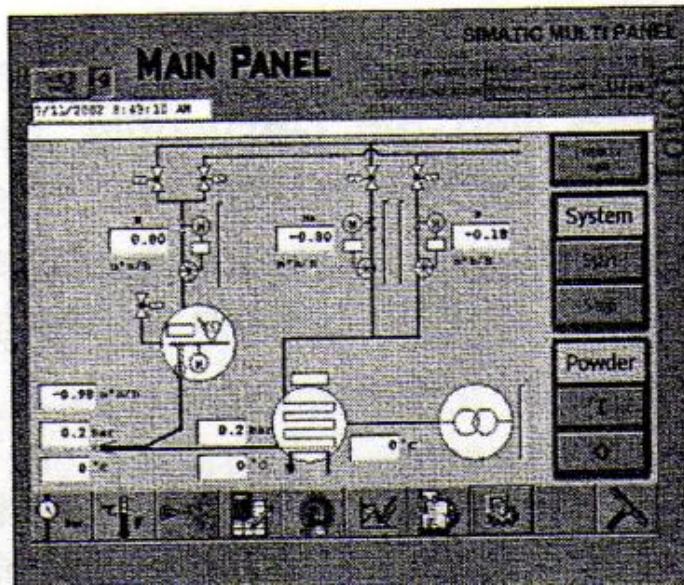




3 – Interface operacional

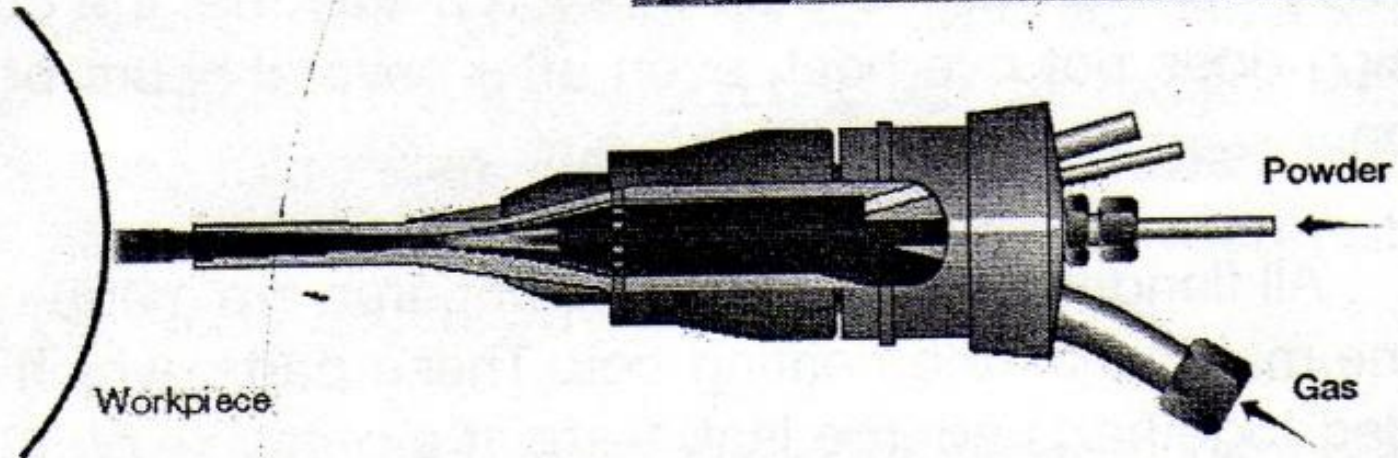
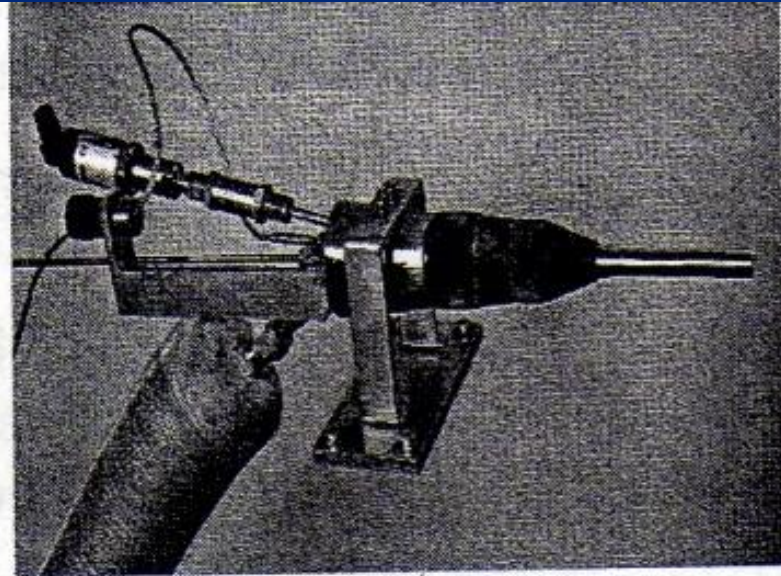
- Monitor “touchscreen” colorido de 12”

OPERATING INTERFACE



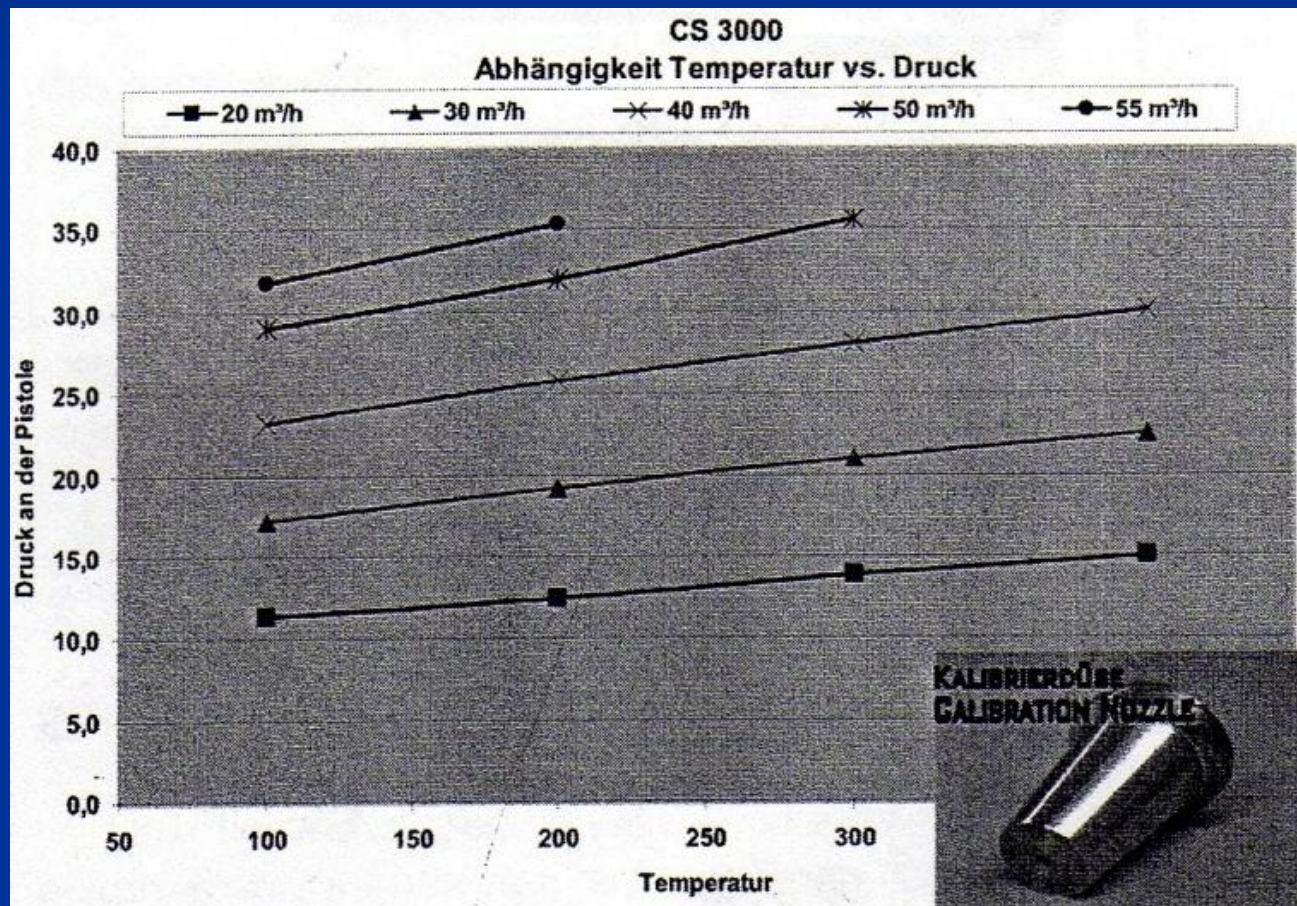
4 – Pistola e Bocal

COLD SPRAY NOZZLE



Pistola e Bocal

■ Bocal de calibração



Pistola e Bocal

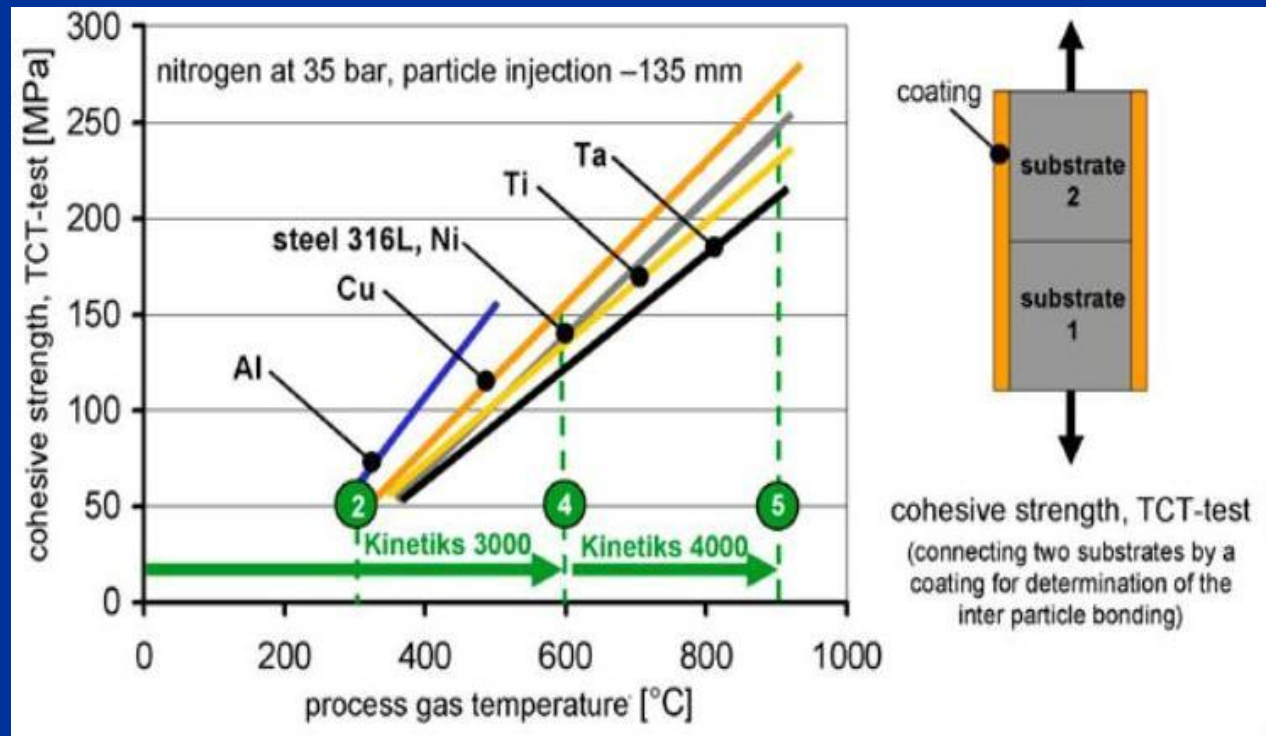
- Material a ser depositado e injetado na forma de pó
- Carboneto de Tungstênio
- Bocal especial para pó de cobre, aumentando de até 85% a eficiência
- Um gás comprimido e aquecido, normalmente nitrogênio ou Hélio, ou ainda uma mistura entre eles

COLD SPRAY

O REVESTIMENTO

- Eficiência da deposição em mais de 90%.
- Baixa carga térmica (substrato 50 - 250°C, material de spray 50 - 900°C).
- Custo aproximado 50 - 150 €/h. Taxa de deposição 15kg/h.
- Tensão residual no revestimento provocada pela deformação.
- Em geral boas propriedades mecânicas.

Ensaio de tração.
Verificação da
coesividade do
revestimento aplicado.



Linha de tendência, ensaio de resistência do revestimento (ensaio TCT).

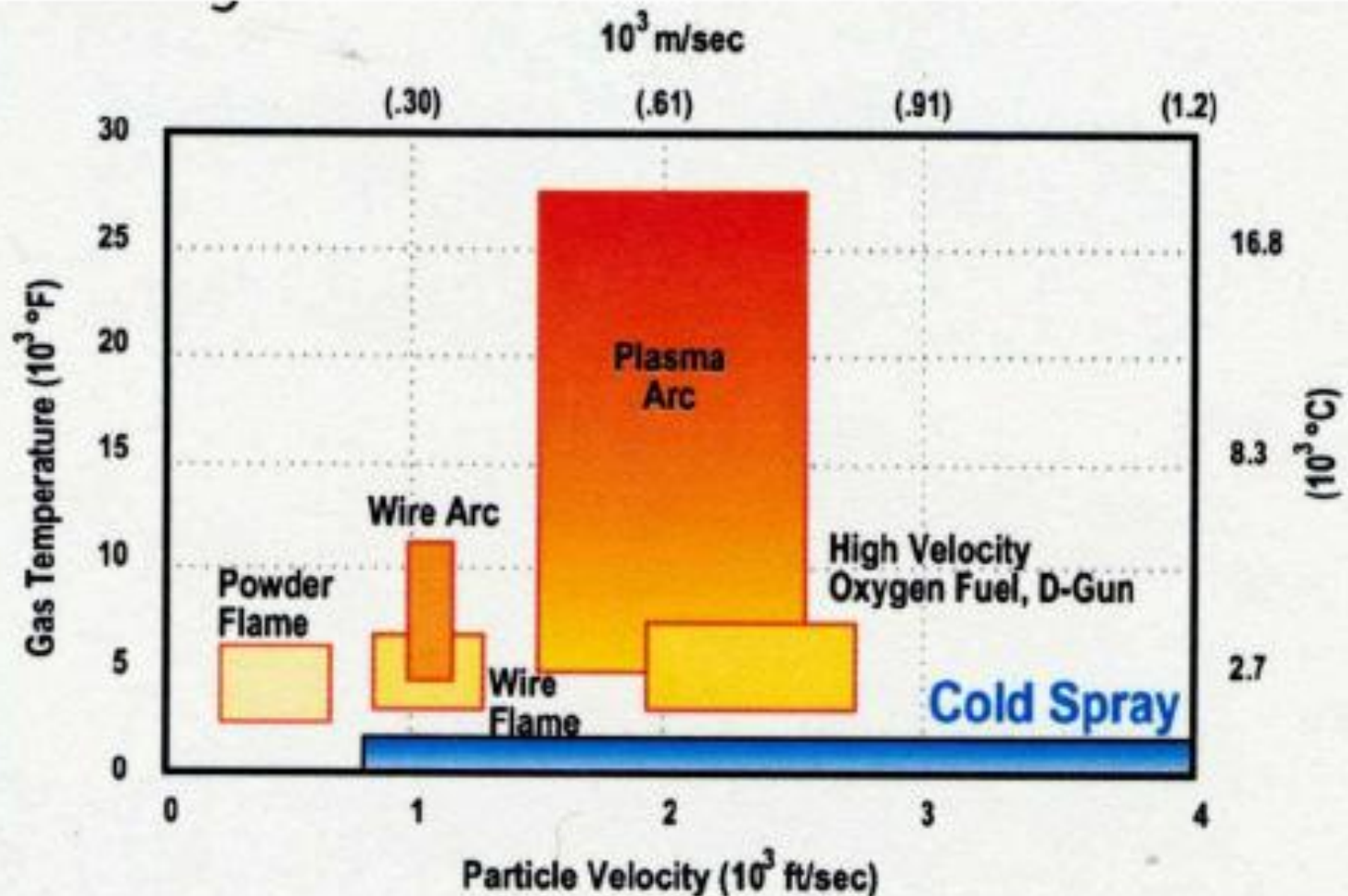


Precision coating videos 1.mpeg



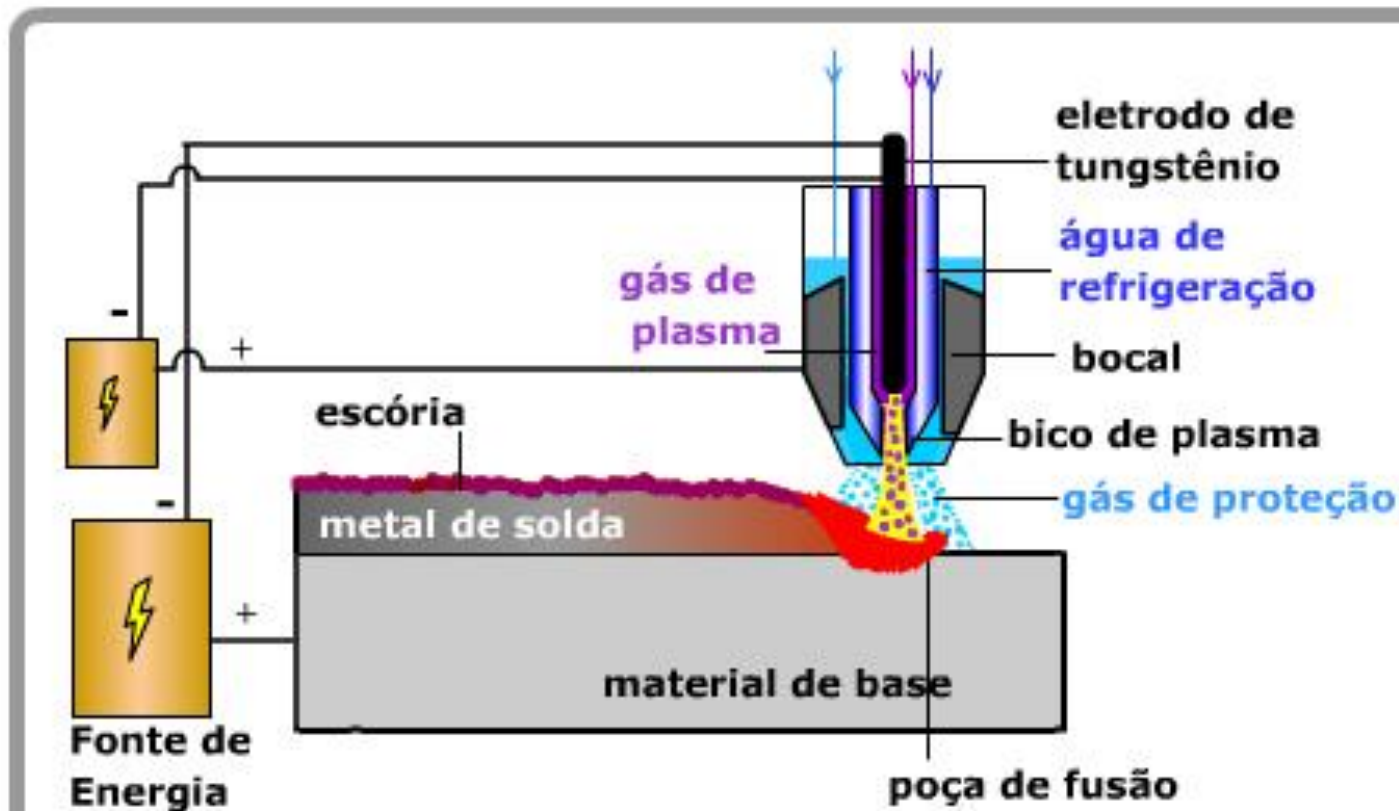
Precision coating videos 3.mpeg

Cold Spray vs. Thermal Spray

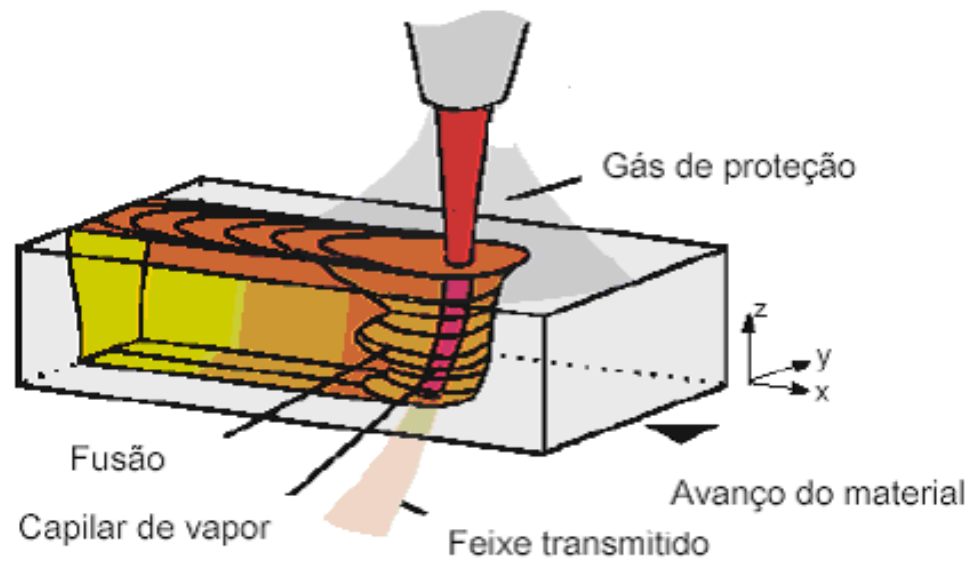
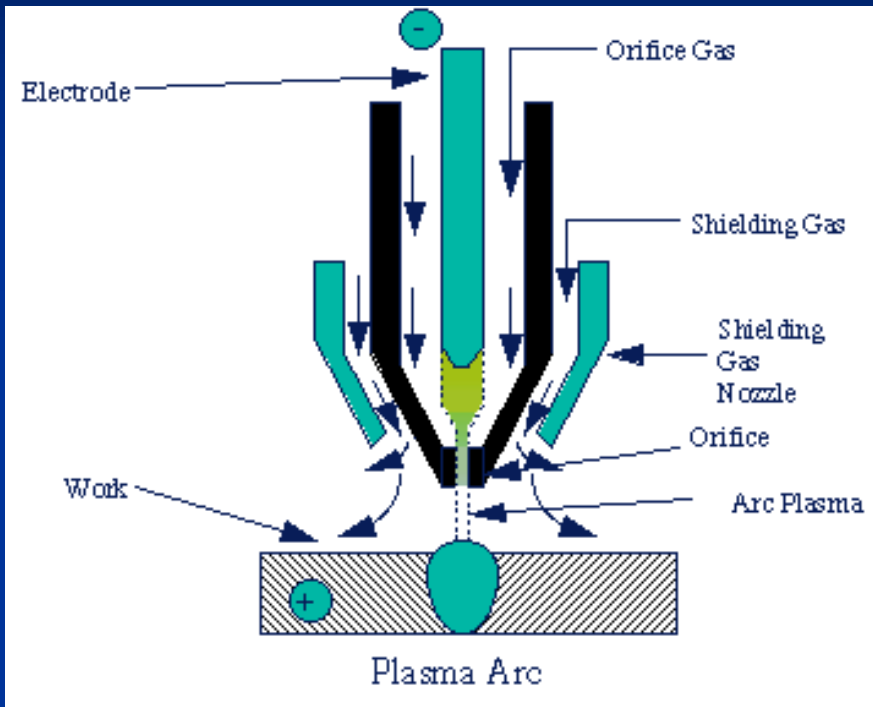


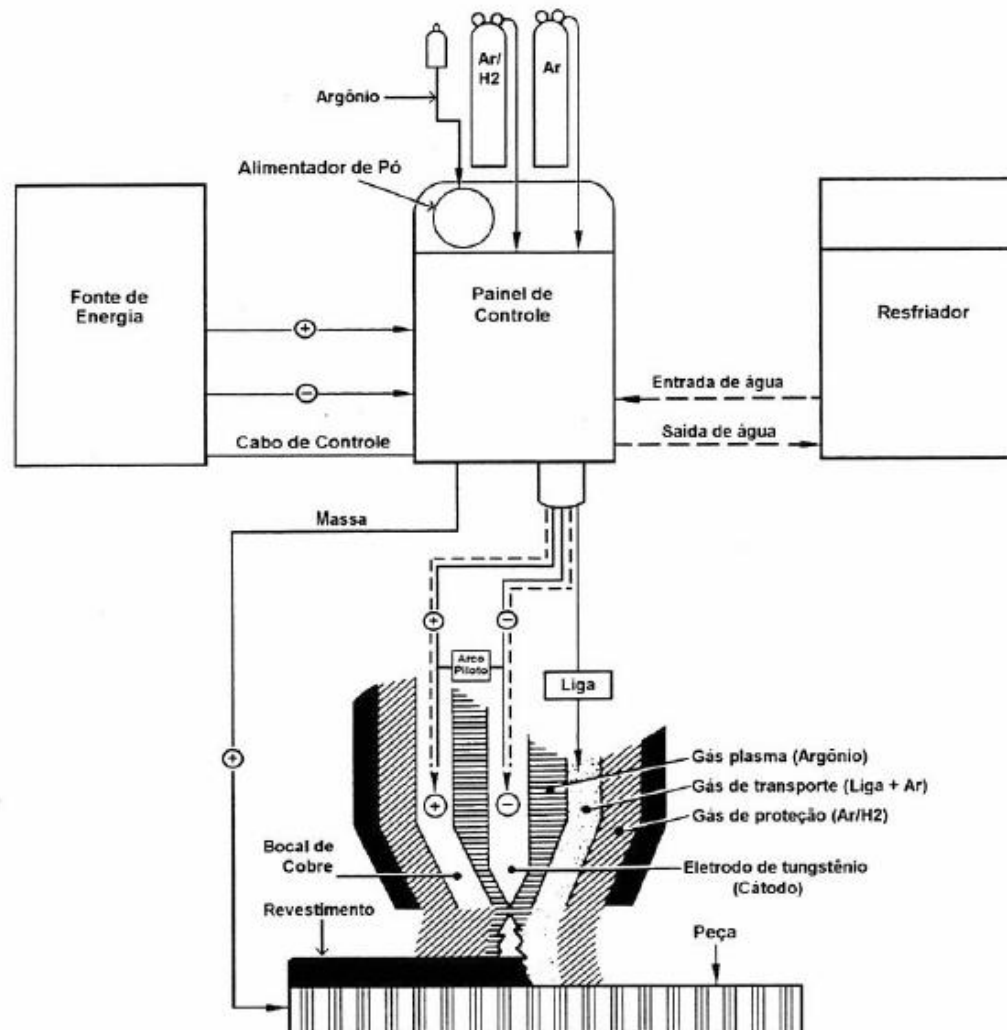
Comparison of thermal spray and cold spray particle velocity and gas temperature.

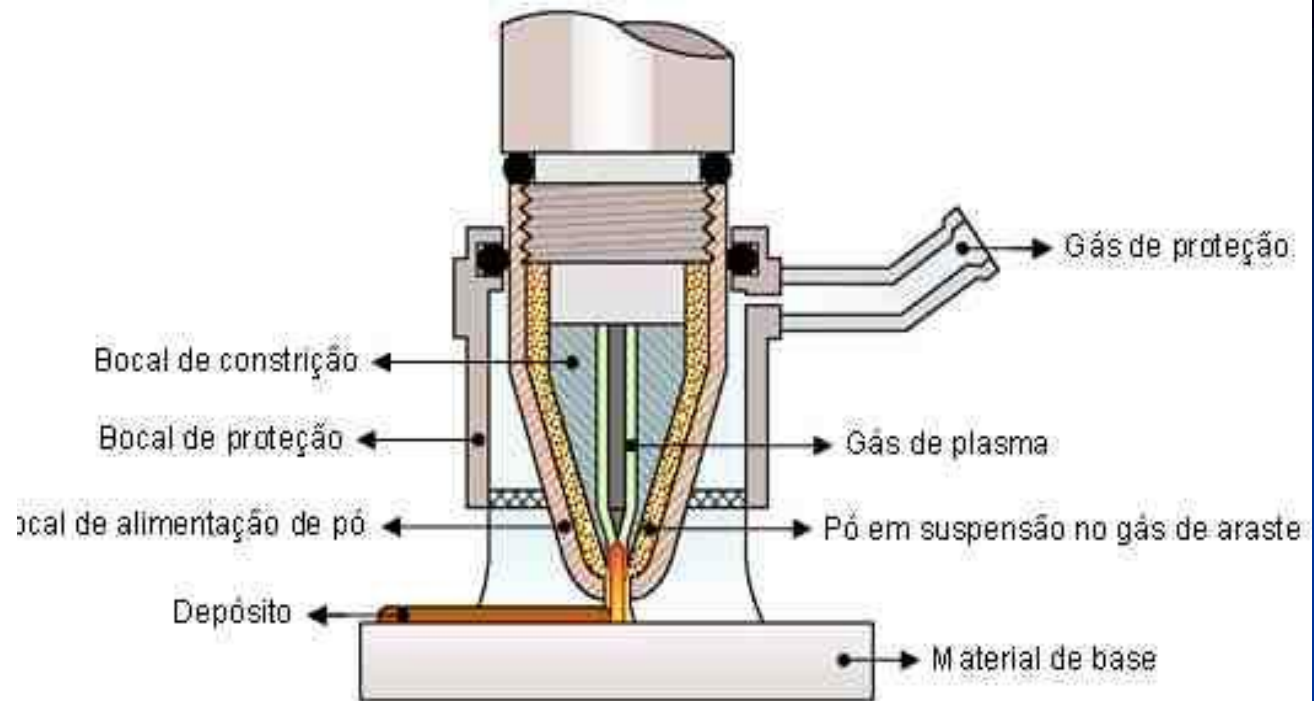
Processo Plasma PTA



Processo Plasma PTA

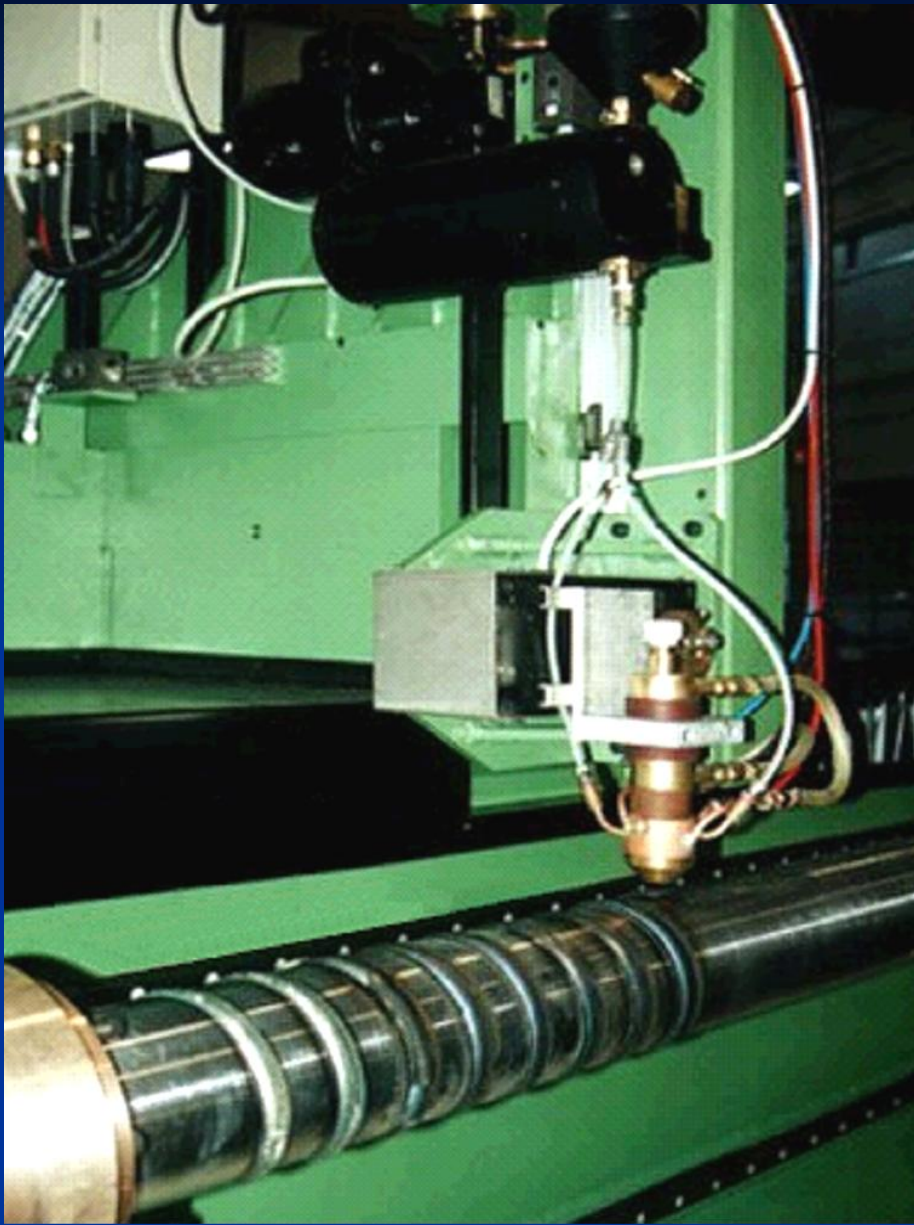












Área depositada (A_d)



Área penetrada (A_p)

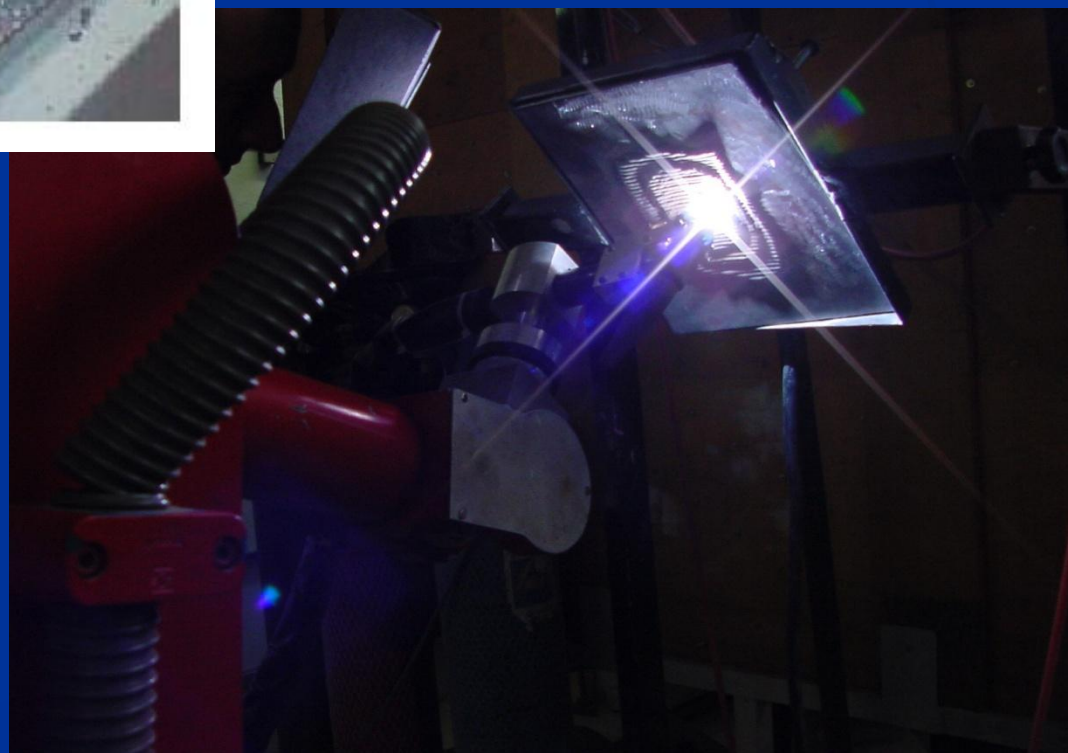


Material de base



$$D (\%) = \frac{A_p}{(A_p + A_d)} \cdot 100$$



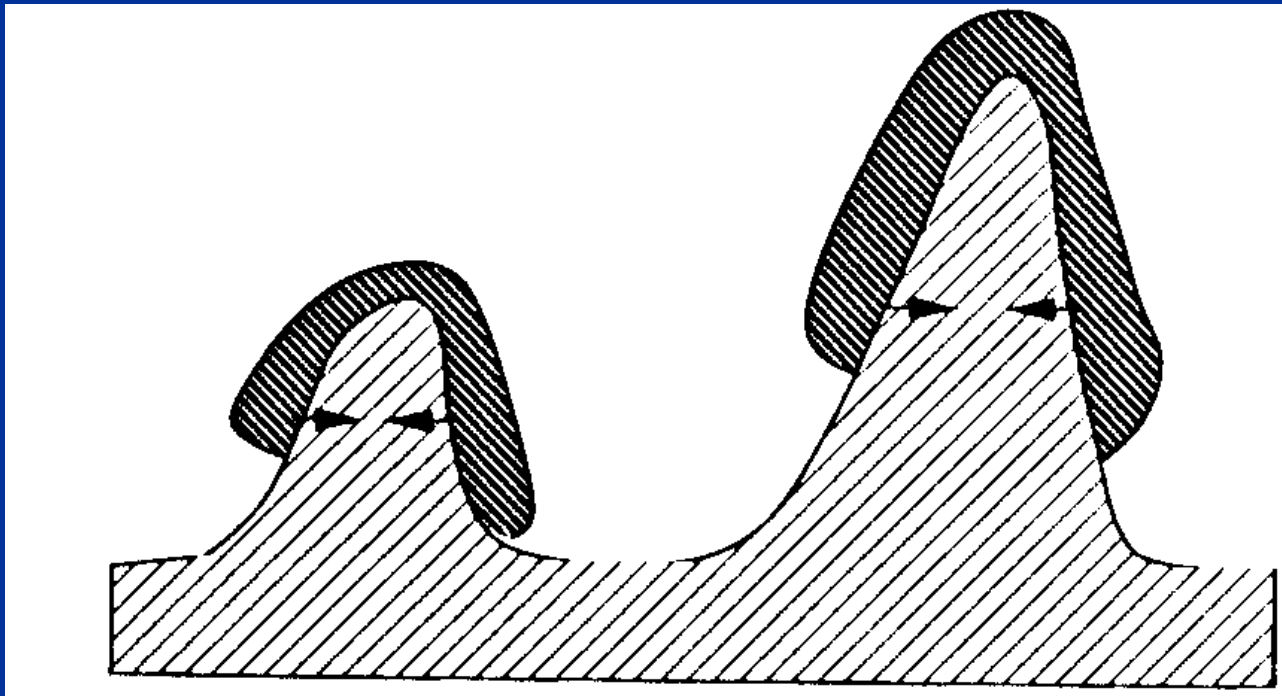


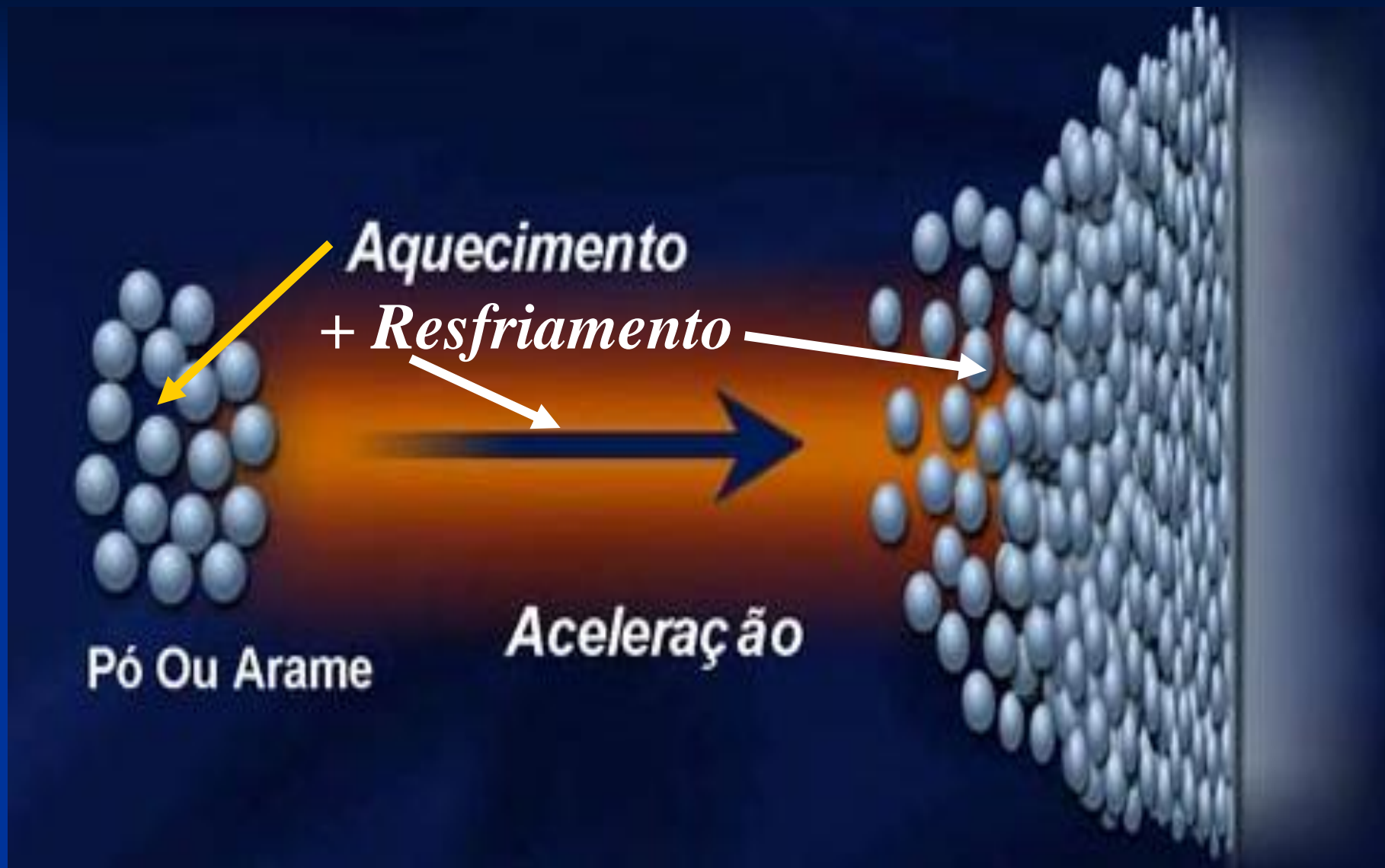


Principais características e propriedades dos revestimentos depositados por AT

Os revestimentos depositados pelos processos de AT apresentam diferentes propriedades e ciclos de vida variados, segundo o processo de AT e do procedimento de aplicação utilizado. Esta variação dificulta a comparação de resultados e as características desejadas somente podem ser obtidas, com um projeto específico tanto no que se refere ao material utilizado quanto ao processo selecionado para atender a uma determinada finalidade.

A análise da aderência do revestimento normalmente considera três mecanismos fundamentais, de acordo com a natureza das forças atuantes: *ancoramento mecânico, químico-metalúrgico e físico*. A aderência é, pois, uma combinação destes três mecanismos. Quando do impacto das partículas aquecidas e aceleradas contra o substrato, essas se achatam numa forma lenticular, resfriam-se rapidamente e ancoram-se *mecanicamente* nas irregularidades da superfície, como mostra a figura





PROPRIEDADES SUPERFICIAIS QUE DEVEM DE TER OS MATERIAIS EM FUNÇÃO DO TIPO DE DESGASTE OU MEIO CORROSIVO.

O deterioro do material de um componente metálico pode variar notavelmente, de muito intenso a insignificante. Em qualquer caso, pode significar uma perda de eficiência e ou inutilizar completamente um componente ou sistema.

Os materiais submetidos a desgaste podem ser recuperados através de várias técnicas com bastante êxito. Porém, é preciso ter uma avaliação real de que mecanismo de desgaste está atuando segundo o meio de trabalho.

Segundo os diferentes tipos de desgaste industrial temos:

Por Abrasão; Impacto; Fricção/Adesão; Corrosão; Calor; Erosão; Cavitação.

Na tabela 1 observaremos as propriedades que devem de ter as superfícies metálicas quando submetidas a diferente meio de desgaste e ou corrosão e na tabela 2, pode-se analisar o tipo de desgaste por abrasão.

Tabela 1. Propriedades superficiais que devem de ter os materiais em função do desgaste e ou corrosão.

Desgaste/Corrosão	Propriedades da superfície
ABRASÃO	
- De baixo esforço →	- Dureza
- De elevado esforço →	- Elevado limite elástico e tenacidade
- Com desgarramento →	- Tenacidade
IMPACTO →	- Tenacidade
FRICÇÃO/ADESÃO →	- Elevado polimento e utilização de metais indissolúveis
EROSÃO	
$\alpha \rightarrow 0^\circ$ →	- Dureza
$\alpha \rightarrow 90^\circ$ →	- Tenacidade
CORROSÃO →	- Película passivadora ou barreira
→	- Ânodos de sacrifício
CALOR →	- Película refratária (óxidos estáveis)
CAVITAÇÃO →	- Tenacidade e elevado polimento

Tabela 2. Análise do tipo de desgaste por abrasão.

TIPO DE DESGASTE	PROPRIEDADE DA SUPERFÍCIE
Abrasão de baixo esforço	Dureza
Na proteção de um material exposto a abrasão pura sem impacto elevado se utilizam revestimentos de elevada dureza e alta densidade do material depositado, que possua ademais bom acabamento superficial (polido), de tal forma de minimizar a resistência ao fluxo abrasivo sobre a superfície metálica.	
Abrasão de elevado esforço	Elevado limite elástico e tenacidade
Quando se deseja recuperar, manter ou aumentar a resistência ao desgaste de um componente submetido a elevado esforço, a seleção de estruturas metalúrgicas do tipo carbonetos + matriz dura (martensita) é a mais apropriada.	
Com desgarramento	Tenacidade
Um material resistente ao desgarramento deve ser de elevada dureza e tenaz, isto se logra com a utilização de aços ao manganês austenítico (Hadfield) e aços de baixa liga (laminação controlada e ou por TTM).	

Aderência

- A resistência mecânica de um revestimento efetuado por AT depende da aderência entre a camada e o substrato, bem como da coesão entre as partículas depositadas.
- Trata-se de um requisito essencial para o bom desempenho do revestimento, pois de nada adianta ter uma camada com espessura ideal e livre de poros se a mesma não tem aderência suficiente.

Preparação da superfície para AT

Com vistas ao preparo da superfície, para garantir a aderência adequada dos revestimentos ao substrato deve-se ativar a superfície, para permitir que as partículas projetadas no momento do impacto fiquem totalmente aderidas e livres de impurezas residuais.

- **Limpeza** (tipo Sa2;Sa2,5;Sa3[6], obtida por processos químico, térmico ou mecânicos)
- **Rugosidade** da superfície (obtida pelos processos de jateamento abrasivo ou mecânicos)
- **Preaquecimento** (atingido por chama externa ou chama da própria pistola de aspersão).

■ Limpeza

- A tecnologia de AT e, de forma especial, os mecanismos de aderência requerem o substrato limpo, isento, portanto de ferrugem, de crostas de óxido de ferro, de graxa, de óleo e de umidade. // Os padrões de limpeza na AT são alcançados através dos processos de jateamento abrasivo e com a maioria dos abrasivos, porém o grau de aderência varia com o tipo de material utilizado. // O uso de partículas abrasivas de materiais como granalha de aço, granalha de ferro, óxido de Al, entre outros, em um equipamento (jateamento por centrifugação ou por pressão) que as projetam até a superfície é um método mais eficiente de limpeza.







11 115504

Norma SIS 055900/67

Graus de preparação jateamento abrasivo:

Jateamento ligeiro - grau Sa1 (NACE 4);
 Jateamento comercial - grau Sa2 (NACE 3);
 Jateamento ao metal quase branco - Sa2 1/2 (NACE 2);
 Jateamento ao metal branco - Sa3 (NACE 1).

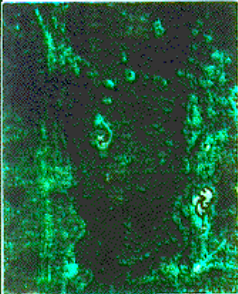
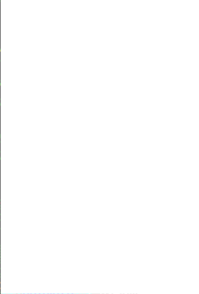

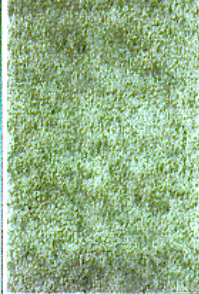

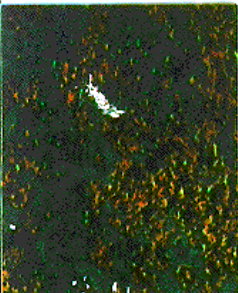
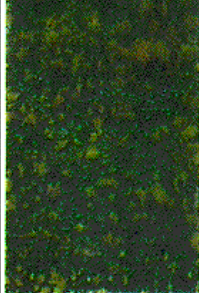
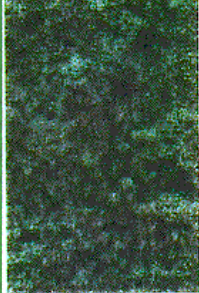
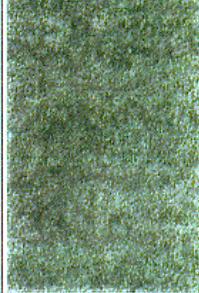
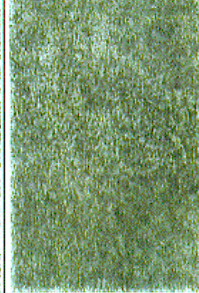
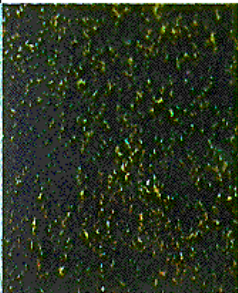
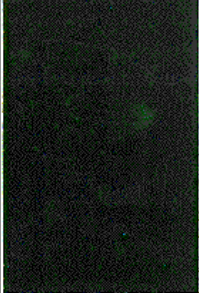
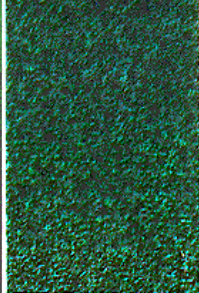

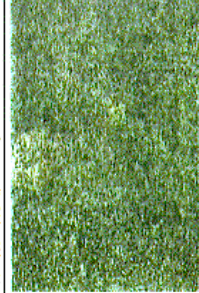
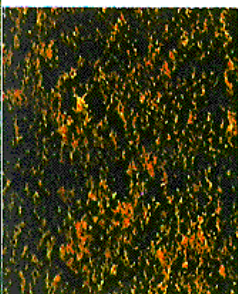
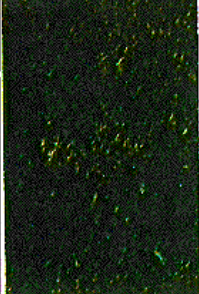
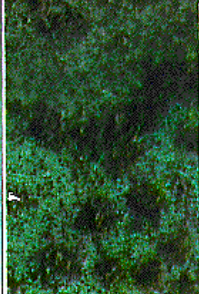
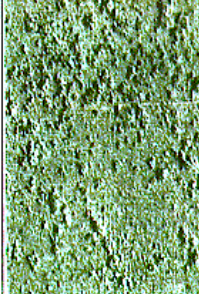
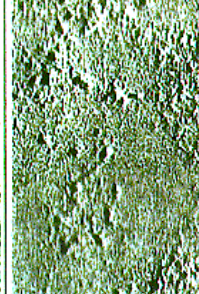
Graus de corrosão:

A: Substrato de aço sem corrosão, com carepa de laminação ainda intacta;

B: Substrato de aço com início de corrosão e destacamento da carepa de laminação;

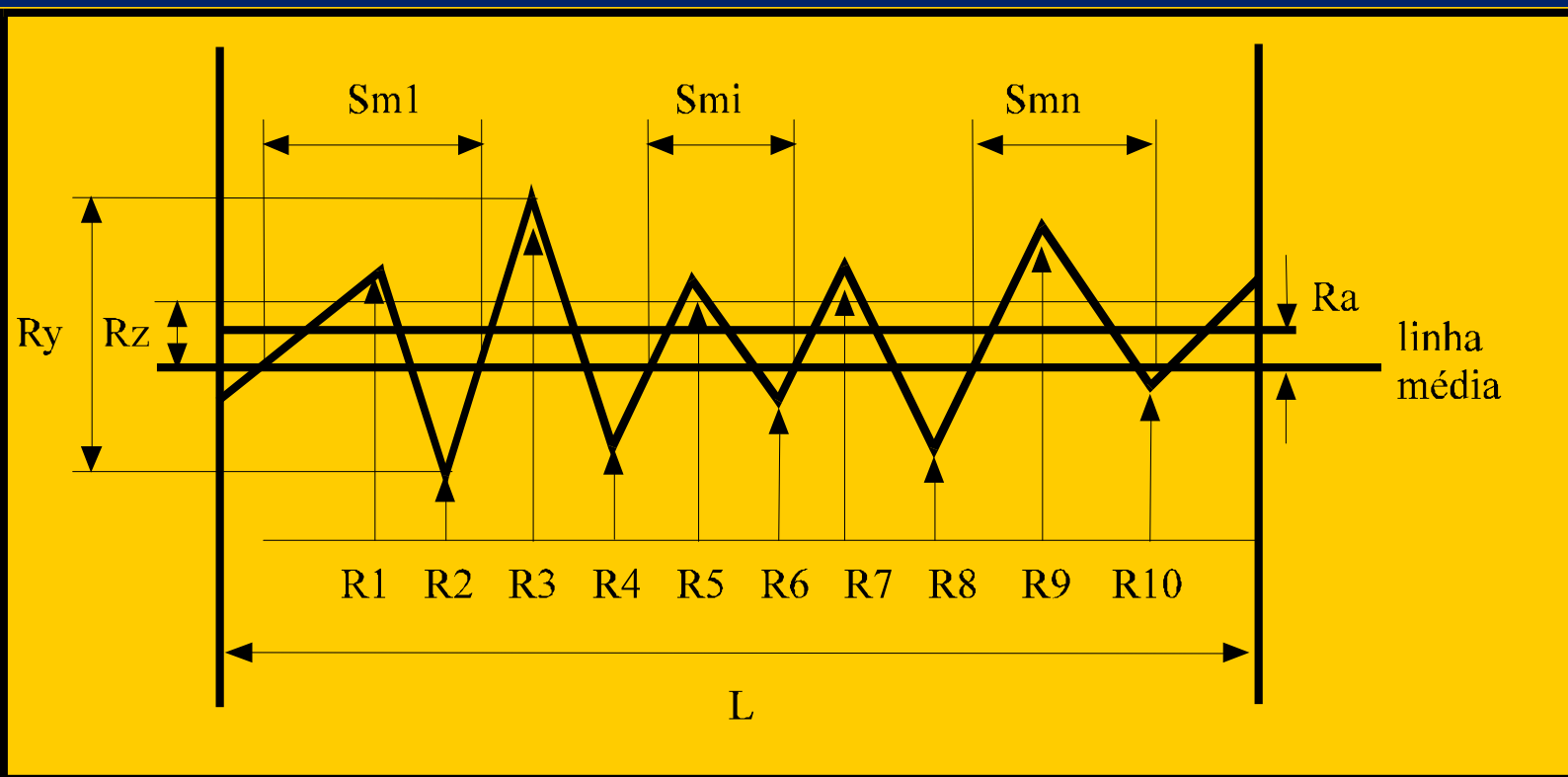
C: Substrato de aço onde a carepa de laminação foi eliminada pela corrosão ou possa ser removida por raspagem, com pouca formação de cavidades visíveis;

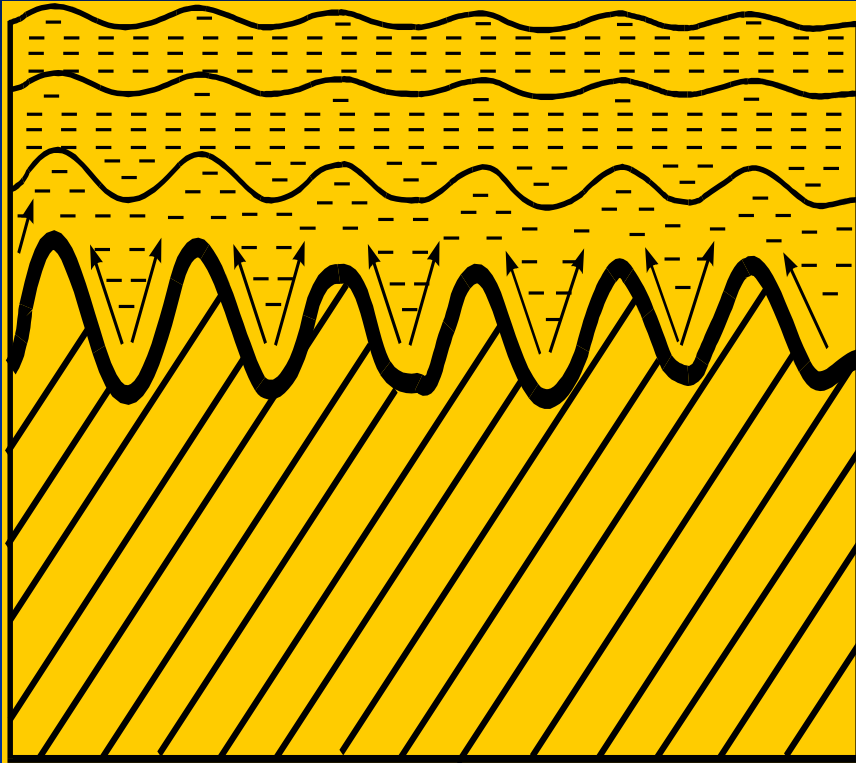
D: Substrato de aço onde a carepa de laminação foi eliminada pela corrosão e com grande formação de cavidades visíveis.

Graus de Corrosão	Graus de Limpeza			
	Sa1	Sa2	Sa2 1/2	Sa3
A 				
B 				
C 				
D 				

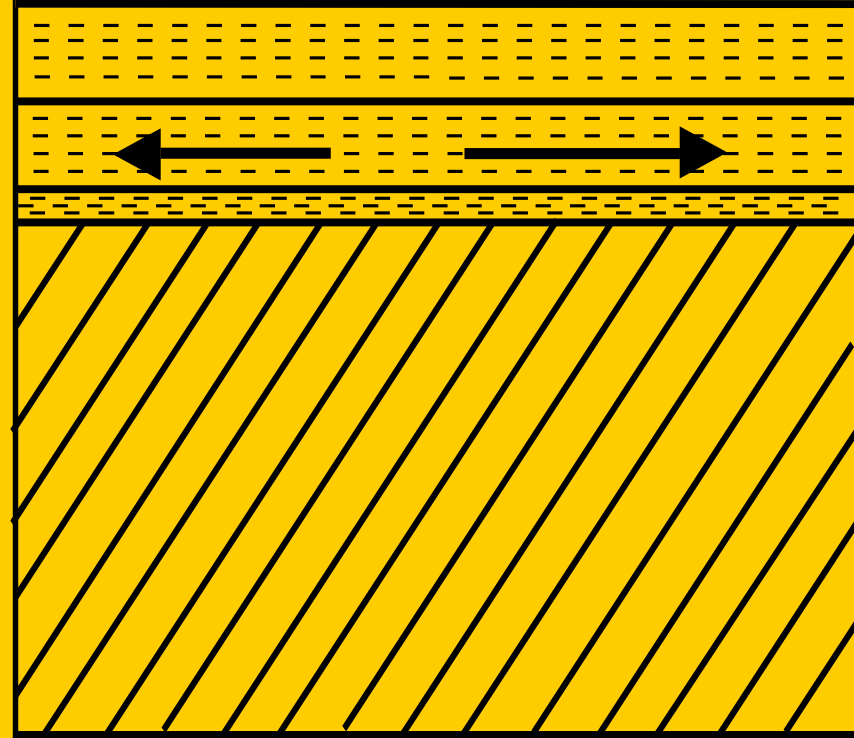
Rugosidade da superfície:

- desvio médio aritmético **Ra**;
- altura das irregularidades de 10 pontos **Rz**;
- altura máxima das irregularidades **Ry**.
- Nas medições horizontais temos o espaçamento médio das irregularidades - **Sm**.



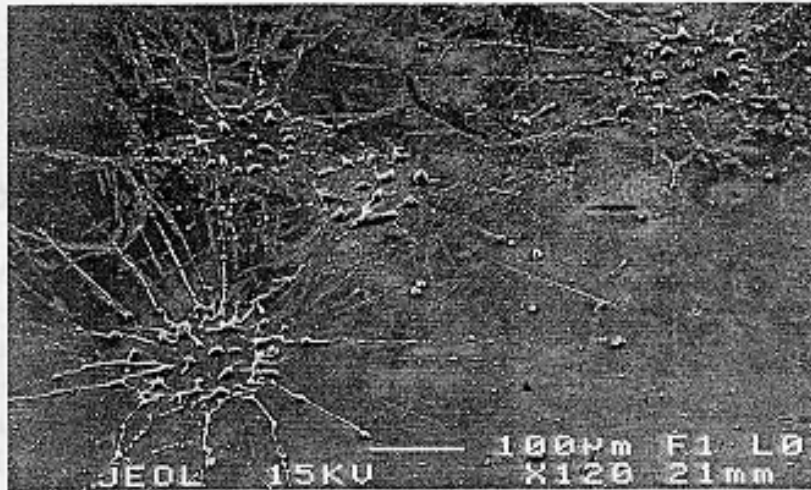


Sobre a superfície com rosca
as tensões (zetas) tendem a
se anular

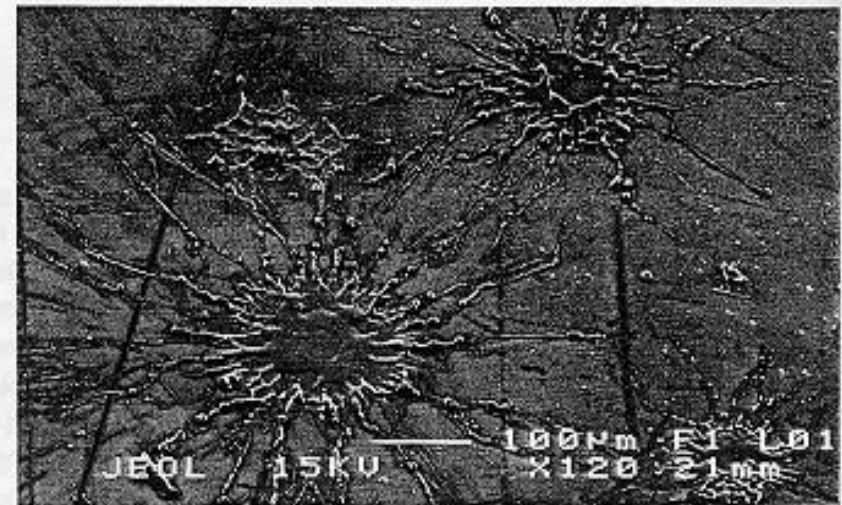


Sobre a superfície lisa, as
tensões paralelas à base
tendem a separar a camada

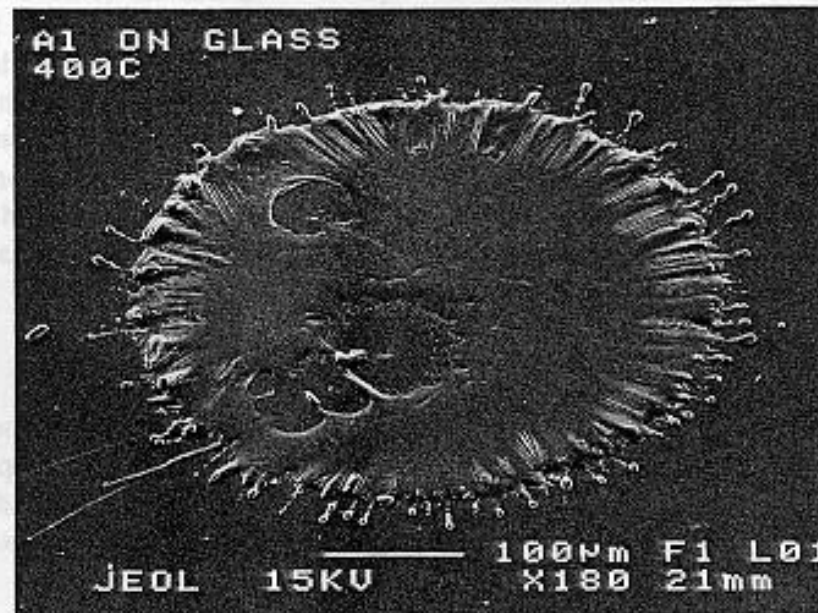
Preaquecimento



(a)



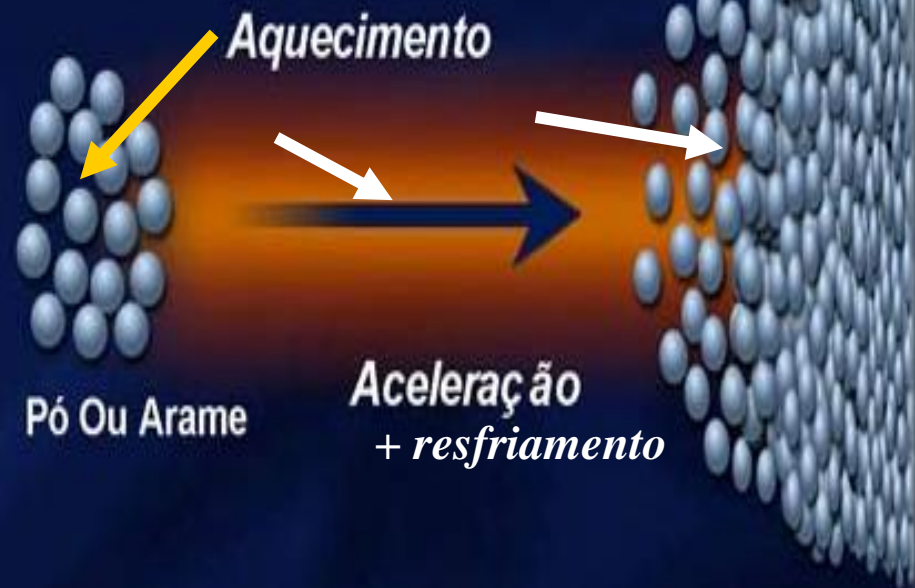
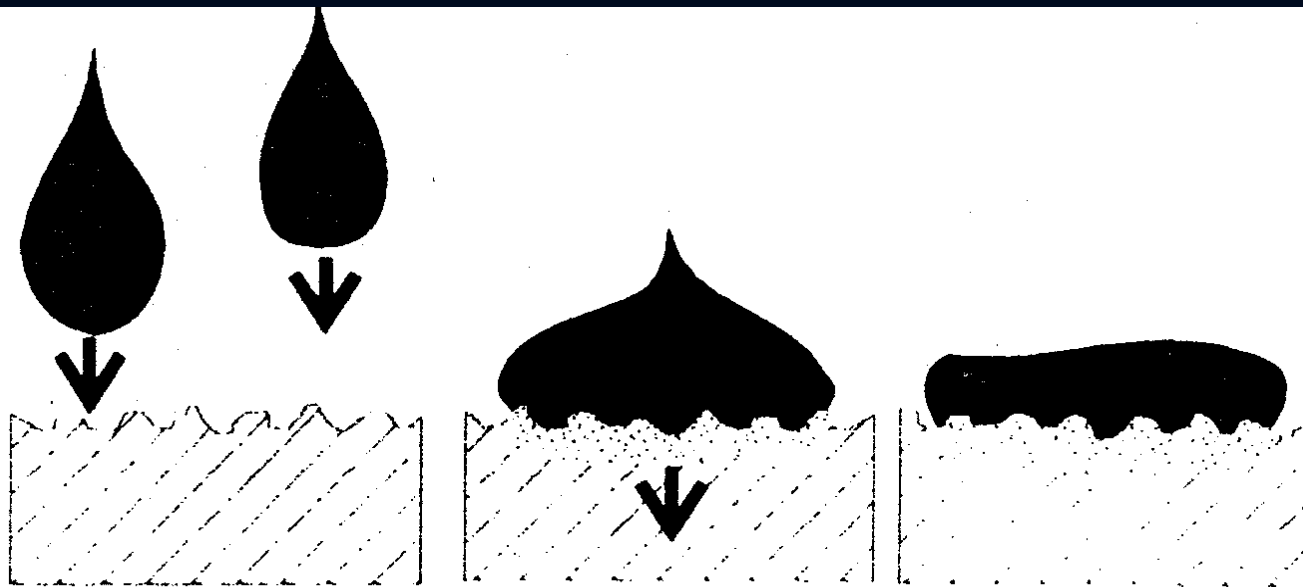
(b)

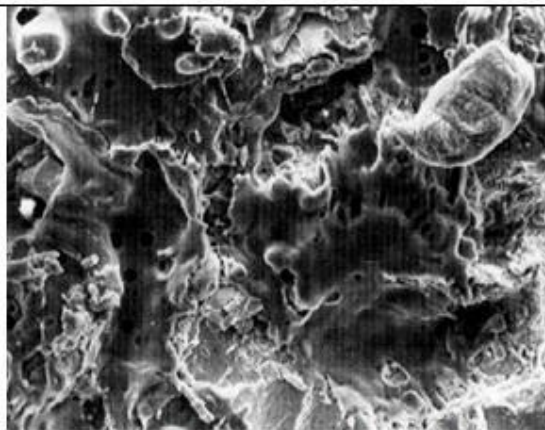


(c)

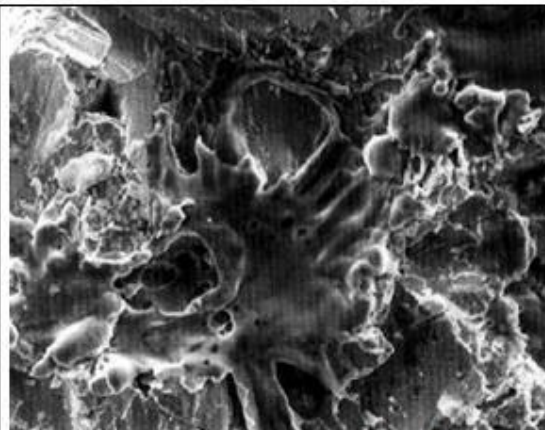
SELEÇÃO DE ABRASIVOS

- Grau de rugosidade que se deseja obter no substrato
- **Dureza do Material de base (substrato)**
- Material do revestimento a depositar
- **Tipo de solicitação a que o revestimento/peça será submetido em serviço**
- Grau de produção (área) exigido
- **Granulometria das partículas do abrasivo**
- Pressão de jateamento
- **Diâmetro do bico da pistola de jateamento**
- Grau de reaproveitamento do abrasivo (desempenho)

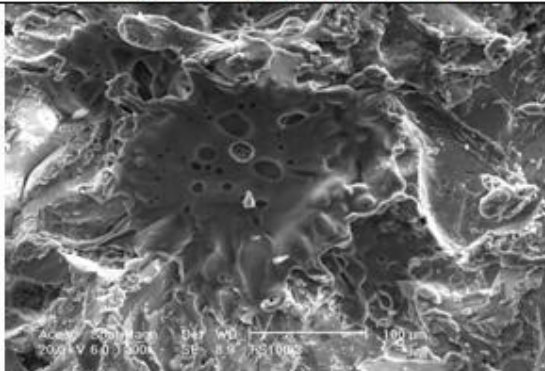




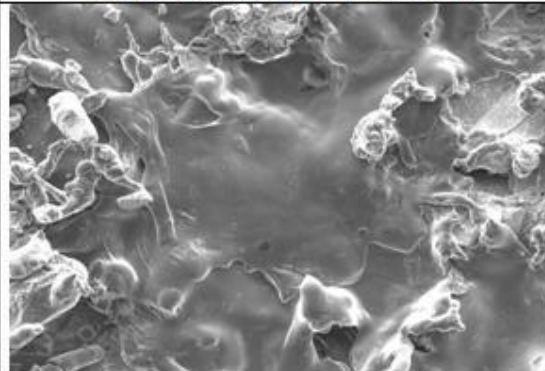
(a) rugosidade do substrato Ry 70/80 μm
sem pré-aquecimento / processo FS



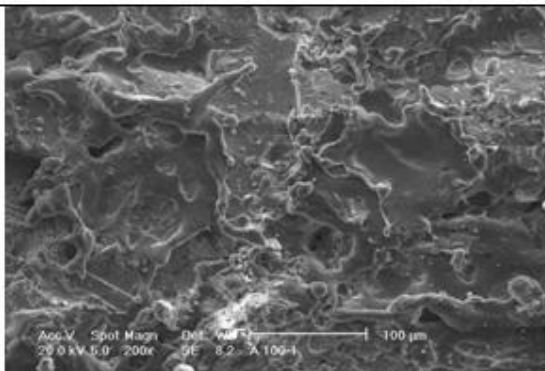
(b) rugosidade do substrato Ry 70/80 μm
com pré-aquecimento / processo FS



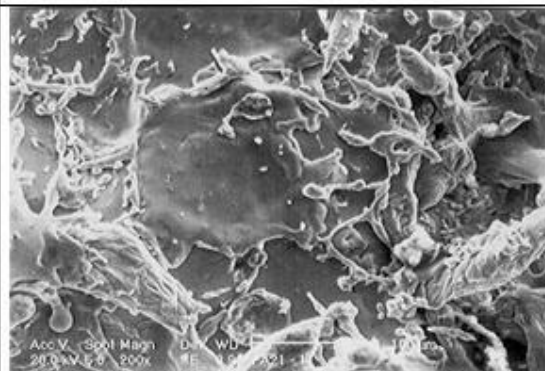
(c) rugosidade do substrato Ry 50/60 μm
sem pré-aquecimento / processo FS



(d) rugosidade do substrato Ry 50/60 μm
com pré-aquecimento / processo FS



(e) rugosidade do substrato Ry 50/60 μm
sem pré-aquecimento / processo ASP



(f) rugosidade do substrato Ry 50/60 μm
com pré-aquecimento / processo ASP

LABORATÓRIO DE ASPERSÃO TÉRMICA E SOLDAGEM ESPECIAIS

**MICROESTRUTURAS DE
REVESTIMENTOS DEPOSITADOS
PELOS PROCESSOS DE ASPERSÃO
TÉRMICA**

Ramón S. Cortés Paredes
Departamento de Engenharia Mecânica da UFPR
ramon@ufpr.br



Tintas — Determinação da aderência

Paints and varnishes — Determination of adhesion



ICS 87.040

ISBN 978-85-07-01766-0



Número de referência
ABNT NBR 11003:2009
9 páginas

© ABNT 2009



N-2568

REV. B

05 / 2011

Revestimentos Metálicos
por Aspersão Térmica

Procedimento

Esta Norma substitui e cancela a sua revisão anterior.

Cabe à CONTEC - Subcomissão Autora, a orientação quanto à interpretação do texto desta Norma. A Unidade da PETROBRAS usuária desta Norma é a responsável pela adoção e aplicação das suas seções, subseções e enumerações.

Requisito Técnico: Prescrição estabelecida como a mais adequada e que deve ser utilizada esbarradamente em conformidade com esta Norma. Uma eventual resolução de não seguir a "não-conformidade" com esta Norma deve ter fundamentos técnico-generais e a deve ser aprovada e registrada pela Unidade da PETROBRAS usuária desta Norma. É caracterizada por verbos de caráter não-impositivo. É indicada pela expressão: [Prática Recomendada].

Prática Recomendada: Prescrição que pode ser utilizada nas condições previstas por esta Norma, mas que admite (e avisa sobre) a possibilidade de alternativa (não escrita nesta Norma) mais adequada à aplicação específica. A alternativa adotada deve ser aprovada e registrada pela Unidade da PETROBRAS usuária desta Norma. É caracterizada por verbos de caráter não-impositivo. É indicada pela expressão: [Prática Recomendada].

Cópias dos registros das "não-conformidades" com esta Norma, que possam contribuir para o seu aprimoramento, devem ser enviadas para a CONTEC - Subcomissão Autora.

As propostas para revisão desta Norma devem ser enviadas à CONTEC - Subcomissão Autora, indicando a sua identificação alfanumérica e revisão, a seção, subseção e enumeração a ser revisada, a proposta de redação e a justificativa técnico-econômica. As propostas são apreciadas durante os trabalhos para alteração desta Norma.

"A presente Norma é propriedade exclusiva da PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. - PETROBRAS, de uso interno na PETROBRAS, e qualquer reprodução para utilização ou divulgação externa, sem a prévia e expressa autorização da titular, importa em ato ilícito nos termos da legislação pertinente, através da qual serão imputadas as responsabilidades cabíveis. A circulação externa será regulada mediante cláusula própria de Sigilo e Confidencialidade, nos termos do direito intelectual e propriedade industrial."

Apresentação

As Normas Técnicas PETROBRAS são elaboradas por Grupos de Trabalho - GT (formados por Técnicos Colaboradores especialistas da Companhia e de suas Subsiárias), são comentadas pelas Unidades da Companhia e por suas Subsiárias, são aprovadas pelas Subcomissões Autoras - SC (formadas por técnicos de uma mesma especialidade, representando as Unidades da Companhia e as Subsiárias) e homologadas pelo Núcleo Executivo formado pelos representantes das Unidades da Companhia e das Subsiárias. Uma Norma Técnica PETROBRAS está sujeita a revisão em qualquer tempo pela sua Subcomissão Autora e deve ser reavaliada a cada 5 anos para ser reavaliada, revista ou cancelada. As Normas Técnicas PETROBRAS são elaboradas em conformidade com a Norma Técnica PETROBRAS N-1. Para informações completas sobre as Normas Técnicas PETROBRAS, ver Catálogo de Normas Técnicas PETROBRAS.

PROPRIEDADE DA PETROBRAS

48 páginas, Índice de Revisões e GT



Designation: C 833 - 79 (Reapproved 1993)

Standard Test Method for
Adhesion or Cohesive Strength of Flame-Sprayed Coatings¹

This standard is issued under the fixed designation C 833; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last revision. A superscript letter (a) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method covers the determination of the degree of adhesion (bonding strength) of a coating to a substrate, or the cohesive strength of the coating in a tension normal to the surface. The test consists of coating one face of a substrate fixture, bonding this coating to the face of a loading fixture, and subjecting this assembly of coating and fixture to a tensile load normal to the plane of the coating. It is particularly adapted for testing coatings applied by flame spraying, which is defined to include the combustion flame, plasma flame, arc gun, and detonation processes for spraying wire, rod, or powder.

Note 1—Flame-sprayed coating materials include oxides, such as metal oxides or carbides, and metals. In some cases a coating is formed of several layers of different flame-sprayed materials, such as an oxide base overlaid with a general metal-bonding form. The adherent is generally a metal, but may be a ceramic such as an oxide or graphite.

1.2 Usually this test method is performed at ambient temperature. Higher temperature testing is restricted by the need for a suitable adhesive bonding agent. For certain fundamental investigations it is suggested that very low (cryogenic) temperatures be used.

1.3 This test method is limited to testing flame-sprayed coatings that can be applied in thickness greater than 0.015 in. (0.38 mm). The limitation is imposed because an adhesive bonding agent is used in the test. Those bonding agents established so far for this method tend to penetrate flame-sprayed coatings and may invalidate results unless the coating are thick enough to prevent penetration through the coating. Further development may establish that thin layers of certain types of especially dense coatings may be tested satisfactorily. Alternatively, new adhesive bonding agents that would allow reduction of the minimum thickness limitation may be discovered or developed.

2. Referenced Document

2.1 *ASTM Standard*
E 4 Practice for Load Verification of Testing Machines²

3. Significance and Use

3.1 This test method is recommended for quality-control, acceptance testing or it may help to develop or qualify a flame-spray operator's equipment and procedure or to aid in

developing flame-sprayed coatings with improved adhesion and longevity.
3.2 This test method is useful for comparing adhesion or cohesive strength of coatings of similar types of flame-sprayed materials. The test should not be considered to provide an intrinsic value for direct use in making calculations such as to determine if a coating will withstand specific environmental stresses. Because of residual stresses in flame-sprayed coatings, actual strength is dependent upon the shape of the particular coated part. Also, in actual use a coating is stressed in a much more complicated manner than is practical for a standardized test.

4. Apparatus

4.1 A tensile testing machine shall conform to the requirements of Practice E 4. The loads used in determining the adhesion or tensile strength shall be within the loading range of the testing machine, as defined in Practice E 4. Permissible variation shall be less than 1.0 %. It shall be possible to apply increasing tensile load at a constant rate of cross-head travel between 0.030 in./min (0.013 mm/s) and 0.050 in./min (0.021 mm/s). The machine shall include a load-indicating device that registers the maximum load applied before rupture occurs.
4.2 Self-aligning device, for applying the tensile load to the assembly of the coating and fixture, shall not permit excessive load or bending moment to the specimen. Self-alignment is given provided by the manufacturer as an integral part of the testing machine. An alternative, satisfactory apparatus is shown in Fig. 1, which also shows a method of connecting the self-aligning apparatus to an assembled test specimen.

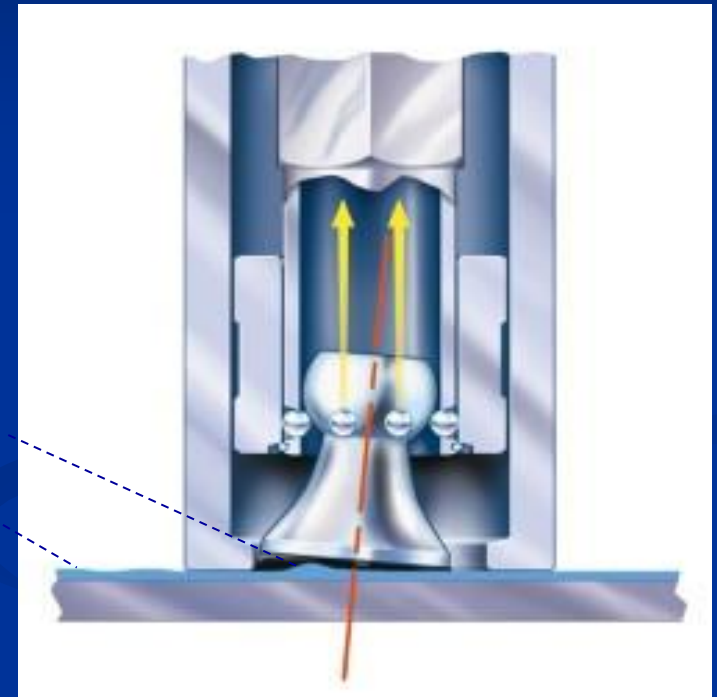
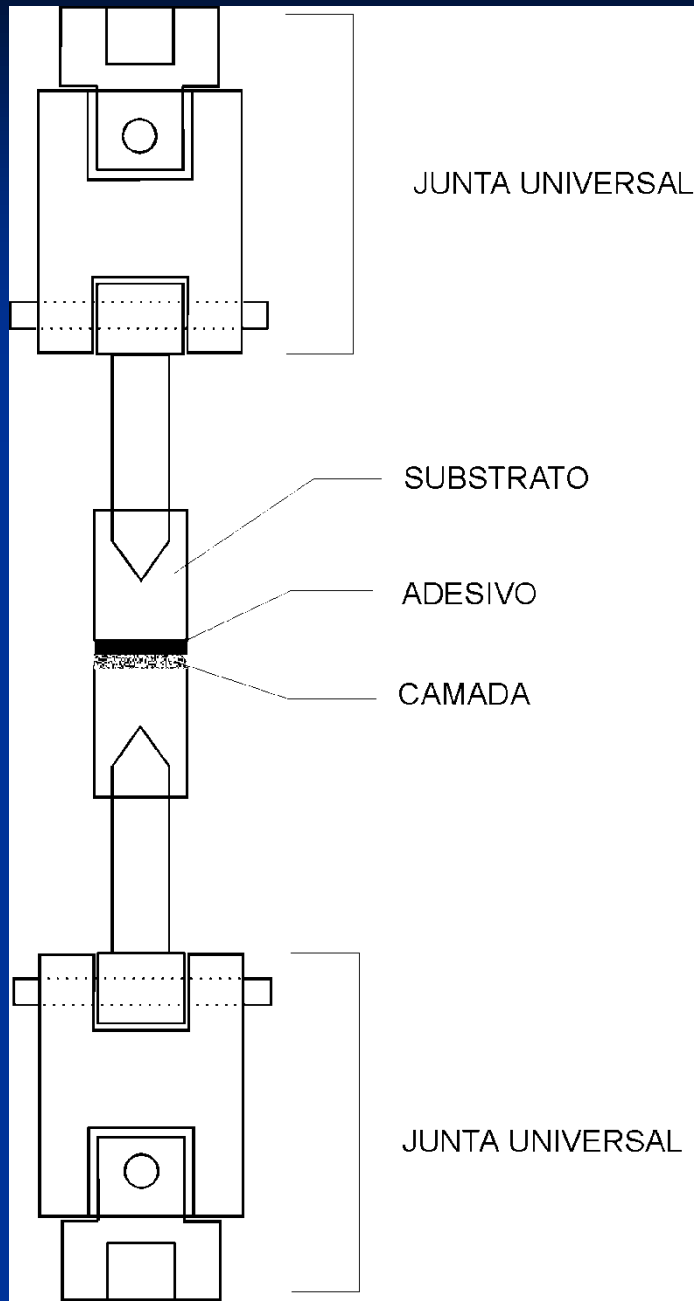
5. Material

5.1 Adhesive Bonding Agent—A suitable adhesive bonding agent shall be agreed between the purchaser and manufacturer of the coating and shall meet the following requirements:
5.1.1 The bonding agent shall be capable of bonding the coating to the loading fixture with a tensile strength that is at least as great as the minimum required adhesion and cohesive strength of the coating.
5.1.2 The bonding agent shall be sufficiently viscous not to penetrate through a 0.015-in. (0.38-mm) thickness of the coating. Certain commercial resins that cure or harden at room temperature by means of a curing agent have been proven satisfactory. If any other bonding agent is to be used,

¹This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee B 8 on Metals and Alloys, Subcommittee B 8.1 on the Adhesion of Coatings and is the direct responsibility of Subcommittee B 8.1.0 on Adhesion of Coatings.
Current edition approved Dec. 24, 1979. Published February 1980. Originally published as C 833 - 79. Last previous edition C 833 - 69 (1974).
²Annual Book of ASTM Standards, Vol. 03.01.

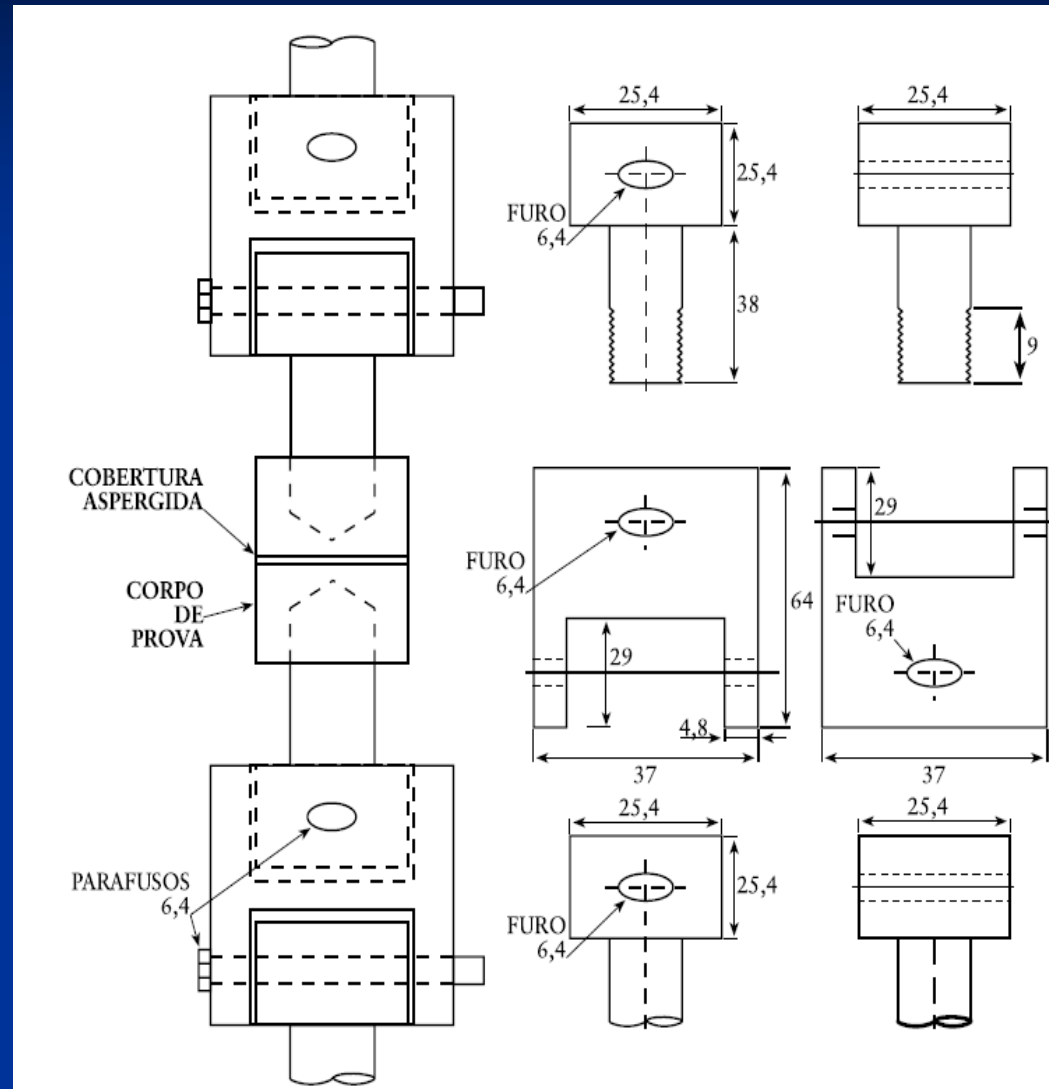
³A list of satisfactory bonding agents is provided in the annex which follows this standard.

Aderência pelo ensaio de tração



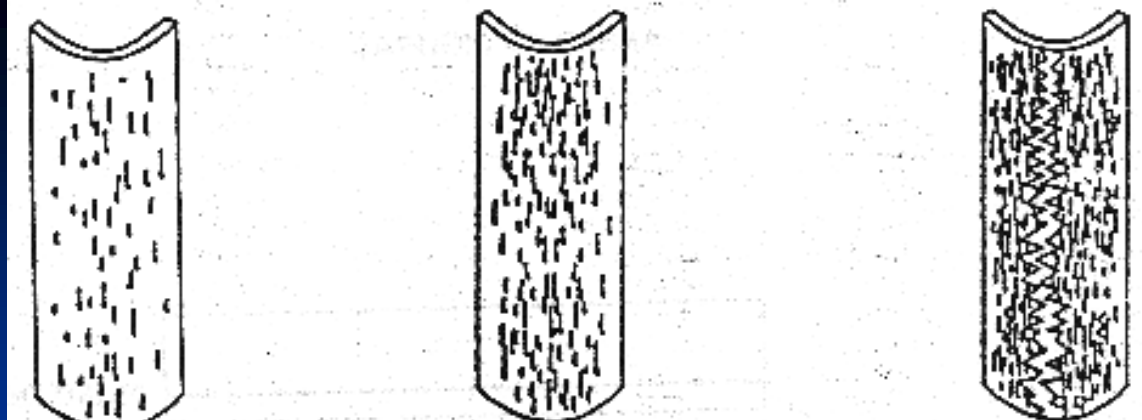
- O ensaio de aderência segundo norma ANSI-ASTM-633-79 (a qual prevê a junção do corpo de prova com uma contraparte de mesmas dimensões em aço 1020. Para a junção, é utilizado adesivo)

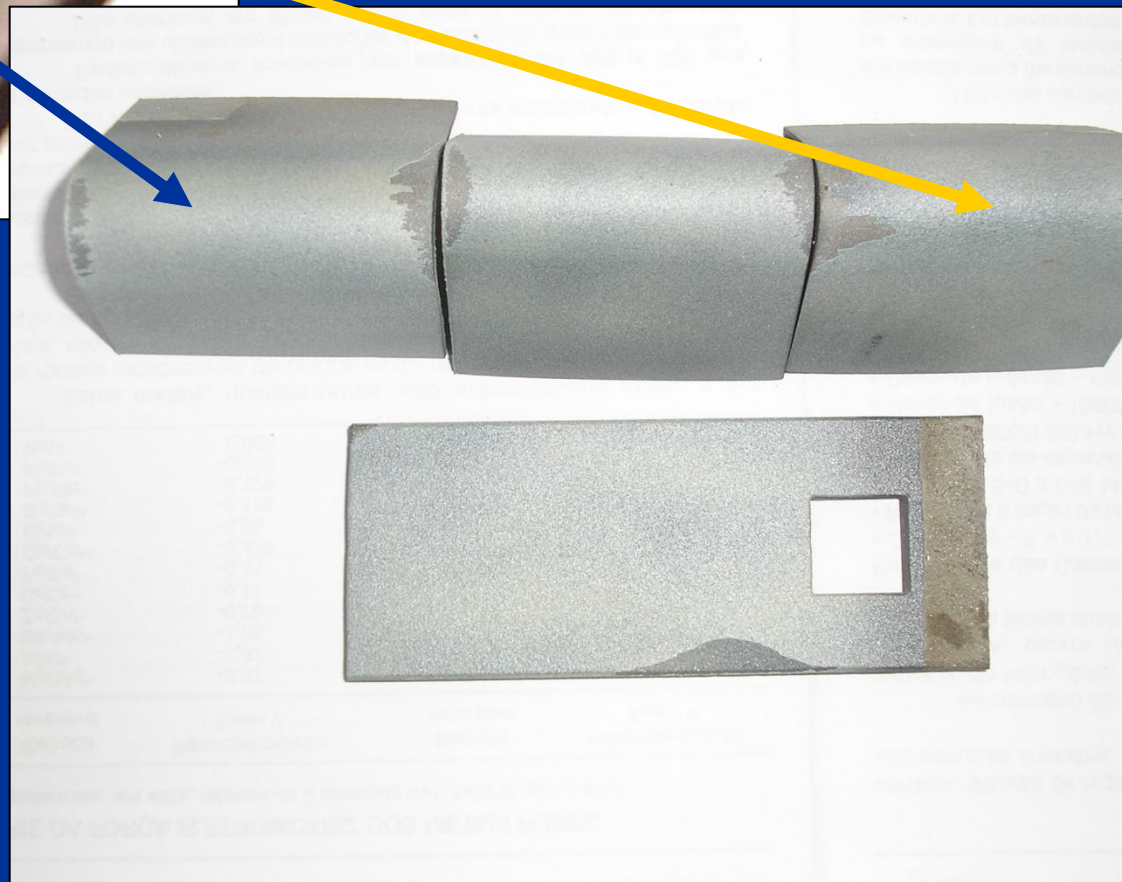
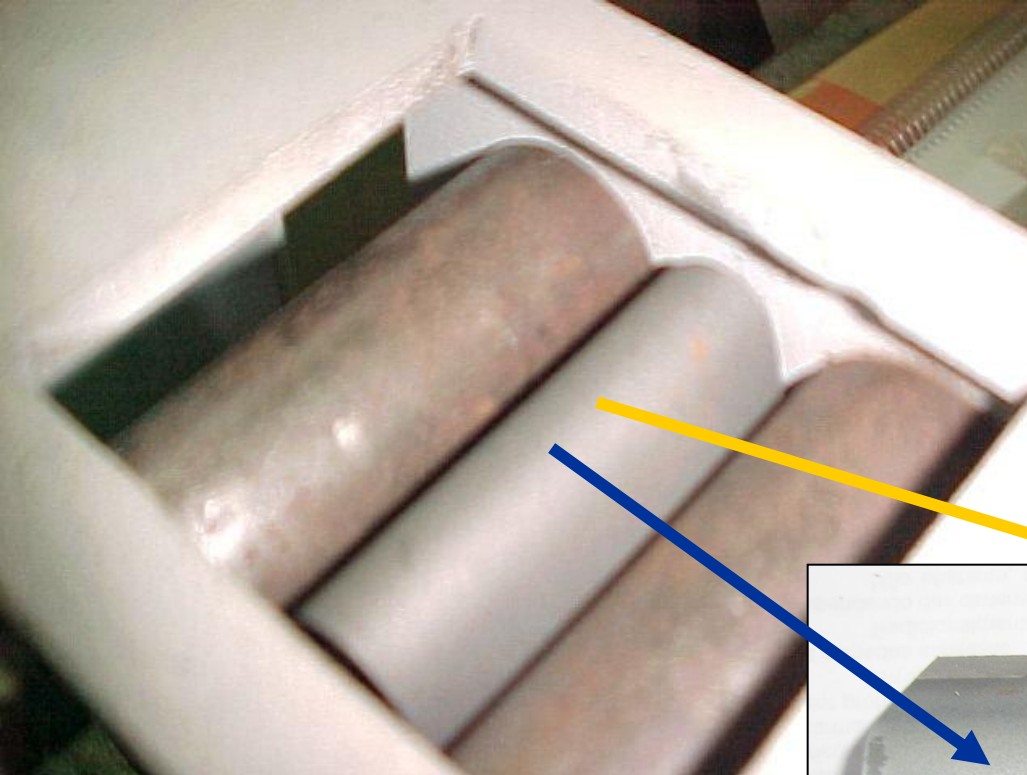
- Após a cura do adesivo, o conjunto montado é tracionado até que ocorra a separação ou ruptura.



Critério de avaliação dos ensaios de dobramento para aprovação dos revestimentos

Condição	Aparência da superfície
Ideal	Sem micro trincas, ou micro trincas superfícies
Marginal	Contém micro trincas, sem desgarramento ou delaminação da camada.
Reprovado	Contém trincas e fendas com desgarramento e delaminação da camada.





Dimensões dos corpos de prova	1,25x50x75mm
Velocidade de avanço do cutelo	$1,25 \times 10^{-3} \text{m/s}$ (medição aparelho portátil)
Diâmetro do cutelo	13mm
Diâmetro dos apoios	32mm
Distâncias entre apoios	22mm
Ângulo de dobramento	180°
Espessura da camada depositada	entre 175 e 250µm

Norma Petrobrás de Aspersão Térmica

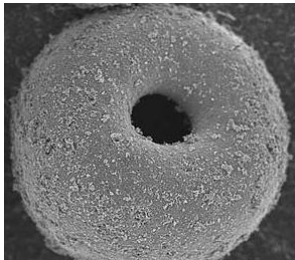
[N-2568.pdf](#)

AT nanoestruturados

Aspersão Térmica de Revestimentos Cerâmicos Nanoestruturados....

“Thermal Spray Coatings Engineered from Nanostructured Ceramic Agglomerated Powders for Structural, Thermal Barrier and Biomedical Applications”

Maria Nalu Verona/PGMEC/UTFPB
RSCP/LABATS/DEMEC/UFPR

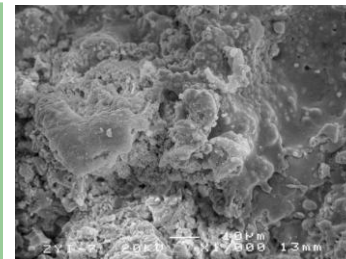


Lima e Marple (2006)

Processo de Aspersão por Plasma Spray de Revestimentos Cerâmicos Nanoestruturados

“Plasma spray coatings in different nanosize alumina”

Maria Nalu Verona/PGMEC/UTFPB
RSCP/LABATS/DEMEC/UFPR



Zeng et al. (2002)

Thermal Spray revestimentos, são utilizados nos seguintes setores

Aerospace

Agricultura

Marítimo

Metal Trabalho

Papel e Imprensa

Bombas / Motores

Electronics /Computadores

Implantes

Petro Produtos Químicos

Geotérmica

Nuclear Power

Utilidades / Energia / Água /Esgoto

Golfe

Militar

Offshore submersas Pipe Lines

Plataformas de petróleo offshore

Refinarias

Railroad

Automóveis

Diesel

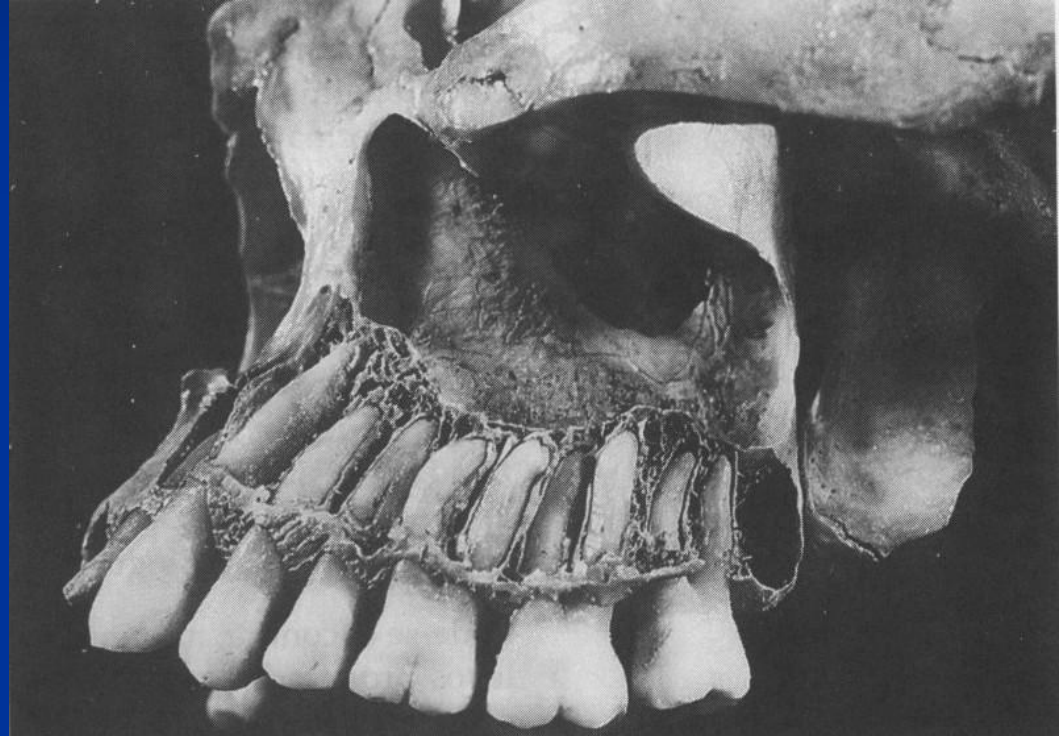
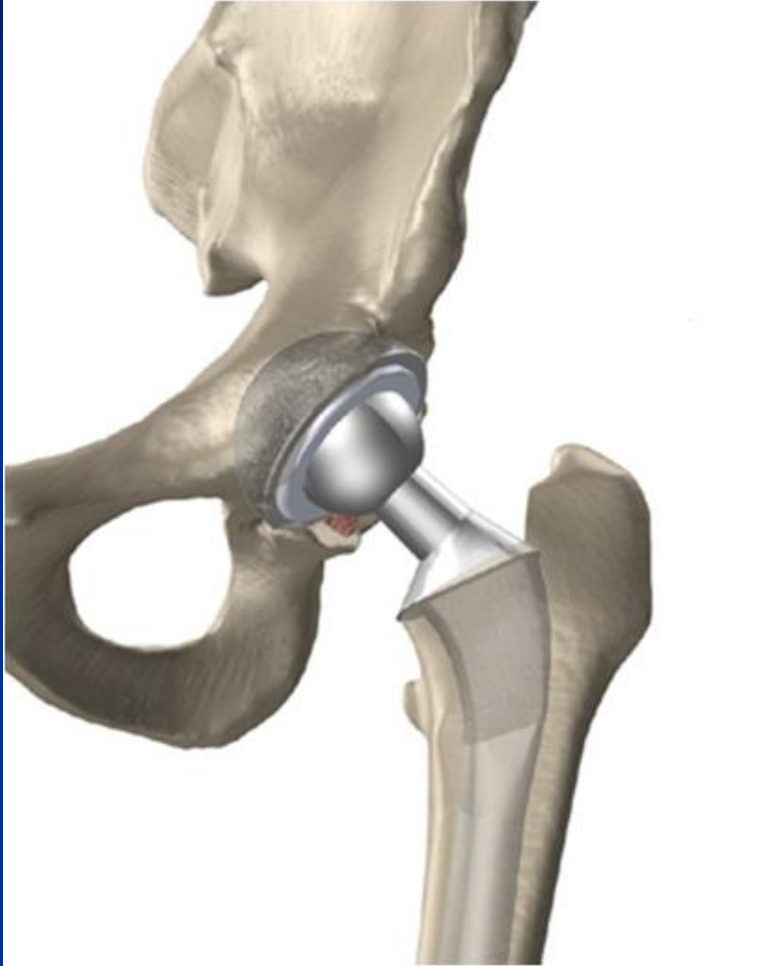
PRINCIPAIS APLICAÇÕES



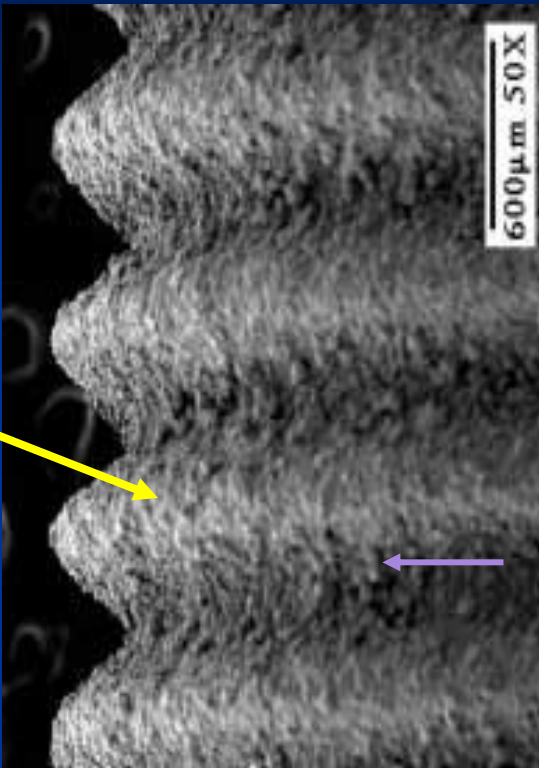




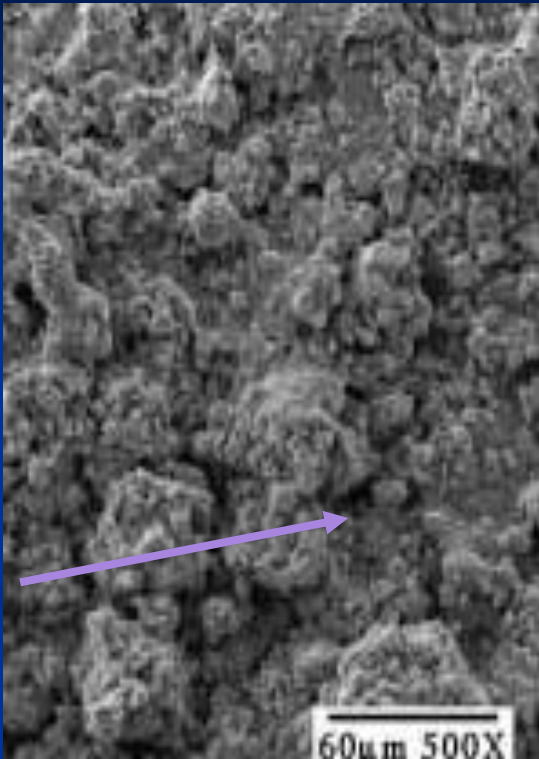
IMPLANTES




Revestimento de Ti



morfologia






APLICAÇÃO DA ASPERSÃO TÉRMICA DE TI NO REVESTIMENTO E NA FABRICAÇÃO DE IMPLANTES

TM 734 – Aspersão Térmica

Seminário





ASPERSÃO TÉRMICA NO ACETÁBULO



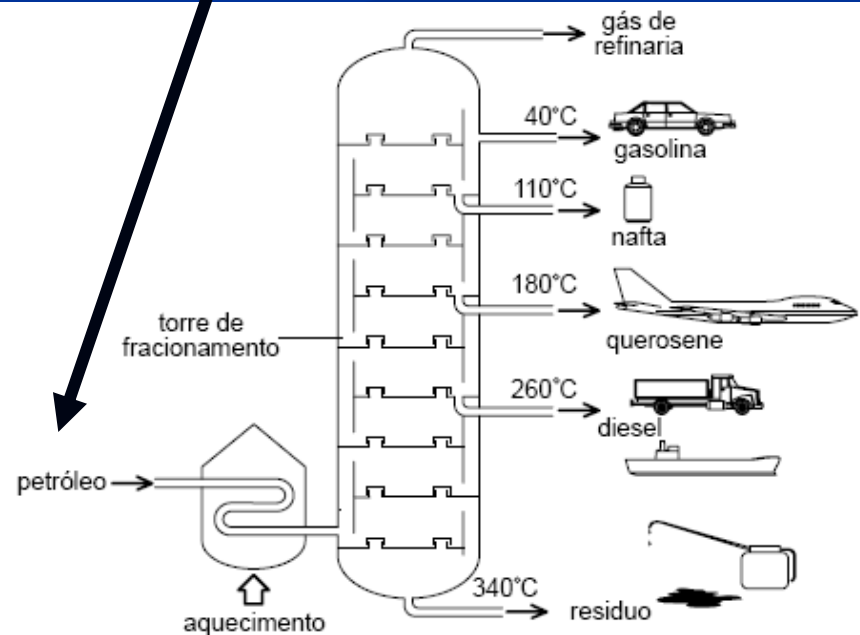
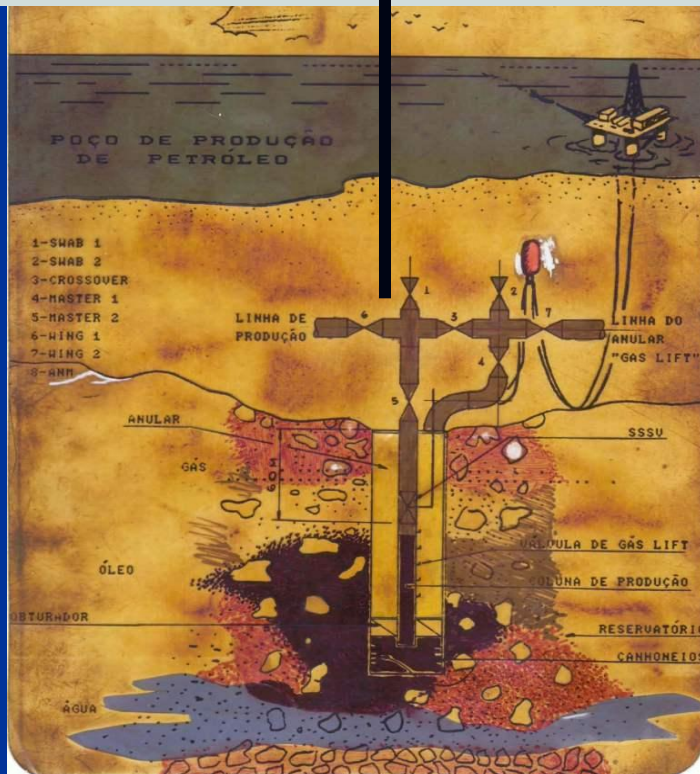
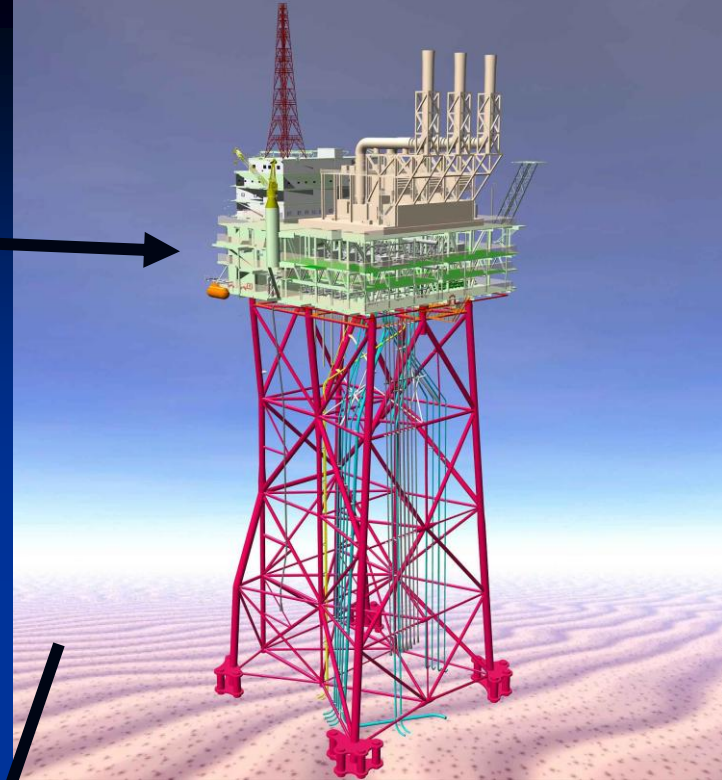
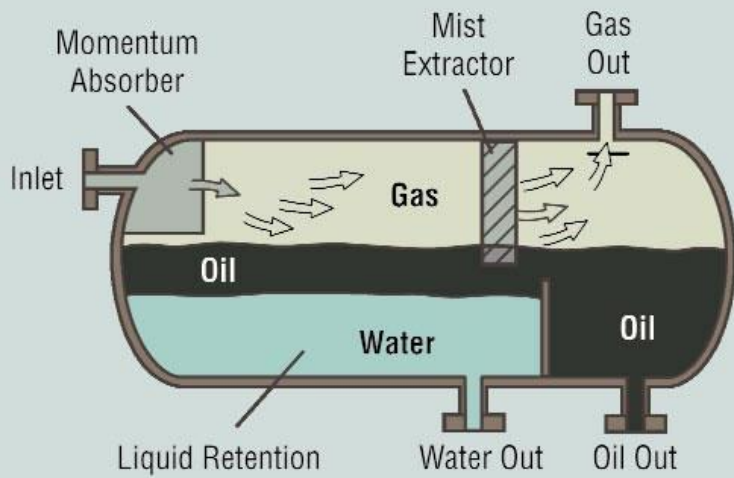


Paper Making Roll



HVOF spraying Tungsten Carbide / Cobalt Chromium Coating (WC/10Co4Cr) onto Roll for the Paper Manufacturing Industry





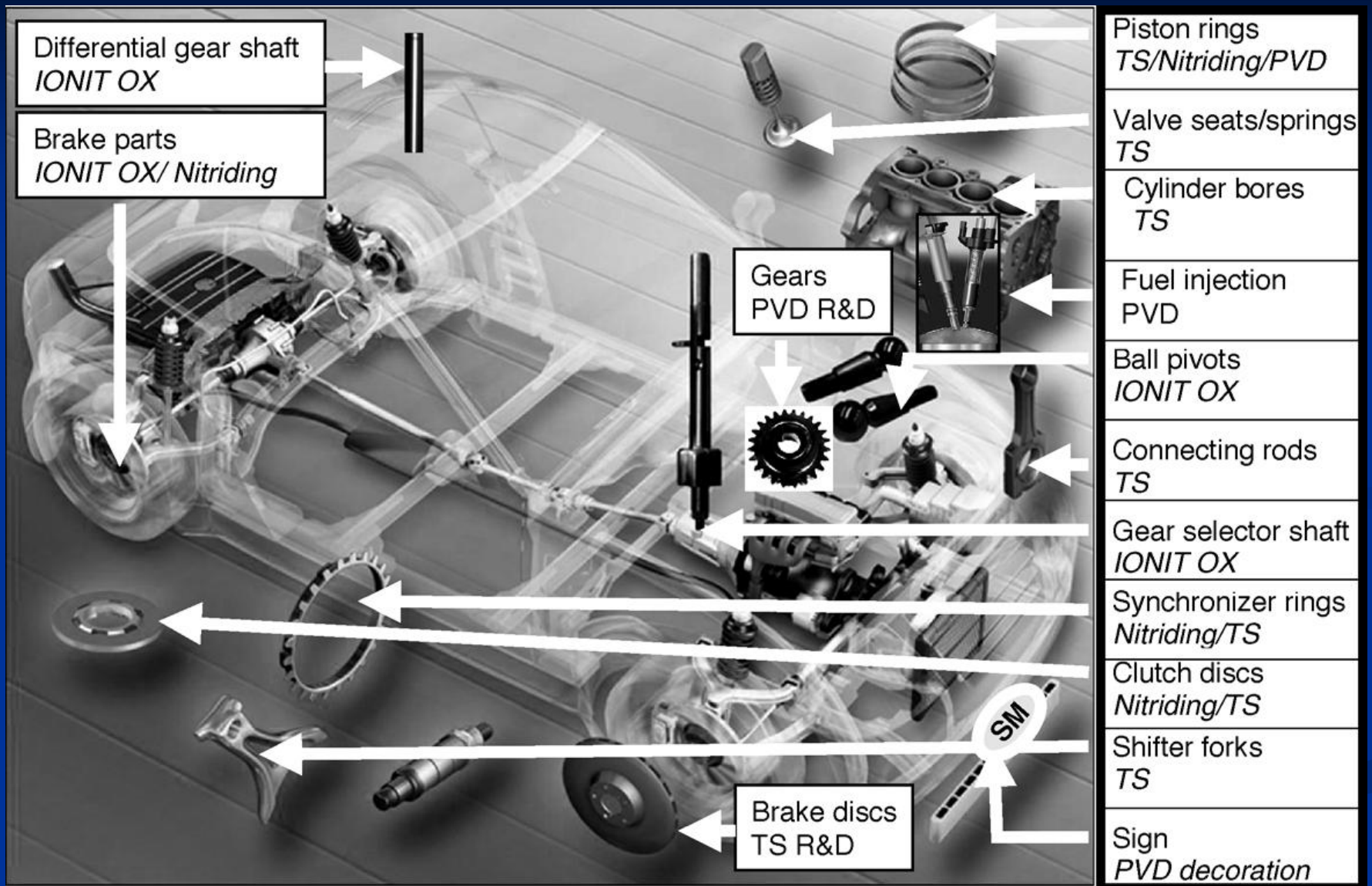






Figure 5: Typical Cold Sprayed Coatings



Figure. 6: Cold Spray Produced Bulk Forms

PRINCIPAIS LINHAS DE PESQUISA DA ASPERSÃO TÉRMICA NO LABATS DA UFPR

- Otimização dos procedimentos de aspersão
- Desenvolvimento de revestimentos no processo in situ
- Desenvolvimento de Tecnologia de AT aplicado em implantes
- Novas aplicações da AT
- Desenvolvimento de revestimentos no in situ – difusão
- Desenvolvimento de novas ligas para AT

OBRIGADO

Prof. Ramón S. Cortés Paredes, Dr. Eng.

ramon@ufpr.br