

ASPERSÃO TÉRMICA

Tecnologia

Ramón S. Cortés Paredes, Dr. Eng^o.

Departamento de Engenharia Mecânica da UFPR

ramon@ufpr.br

1T 2016

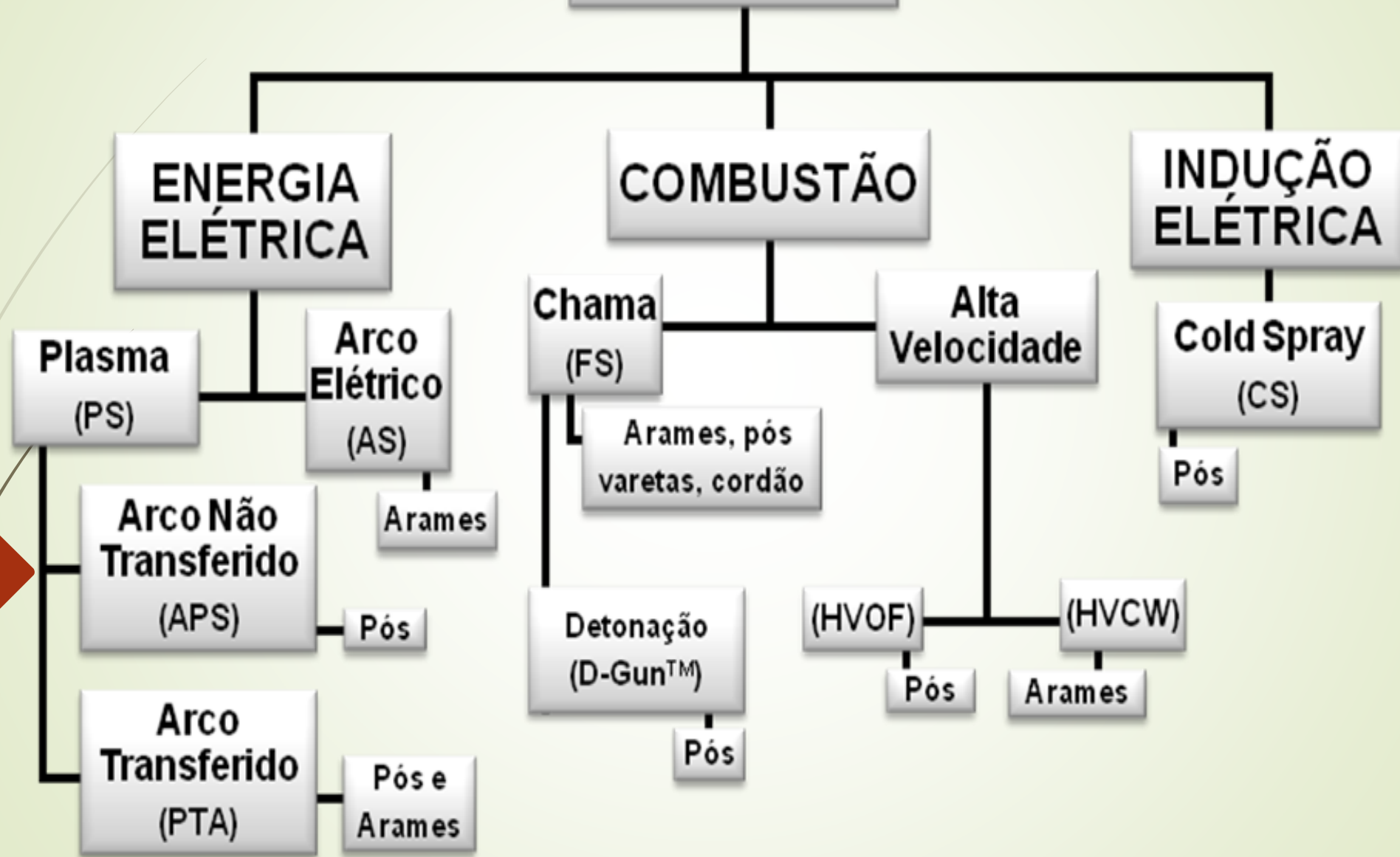


Flame.wmv

LABORATÓRIO DE ASPERSÃO TÉRMICA E SOLDAGEM ESPECIAIS



ASPERSÃO TÉRMICA



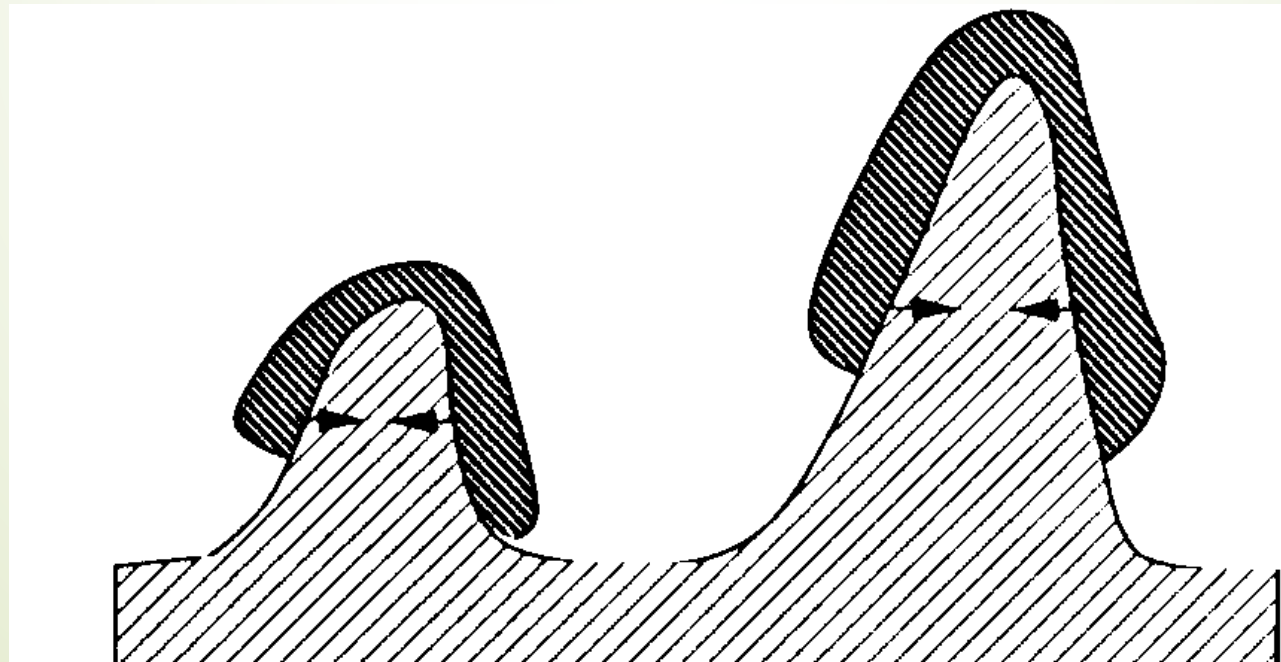
Principais características e propriedades dos revestimentos depositados por AT

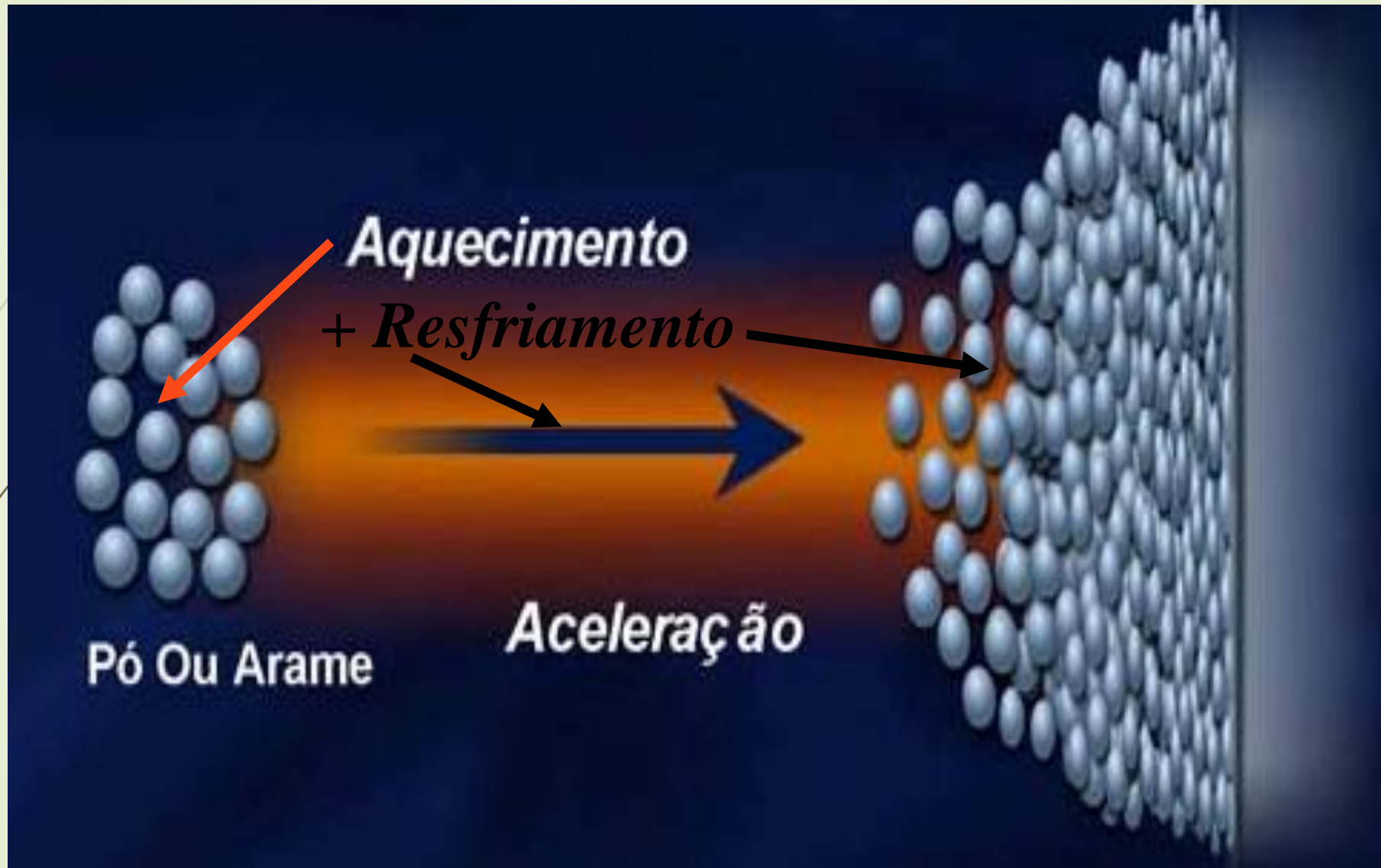
Os revestimentos depositados pelos processos de AT apresentam diferentes propriedades e ciclos de vida variados, segundo o processo de AT e do procedimento de aplicação utilizado.

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 varias técnicas com bastante êxito. Porém, é preciso ter uma avaliação real de que mecanismo de desgaste esta 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 insolúveis
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).	

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.

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.

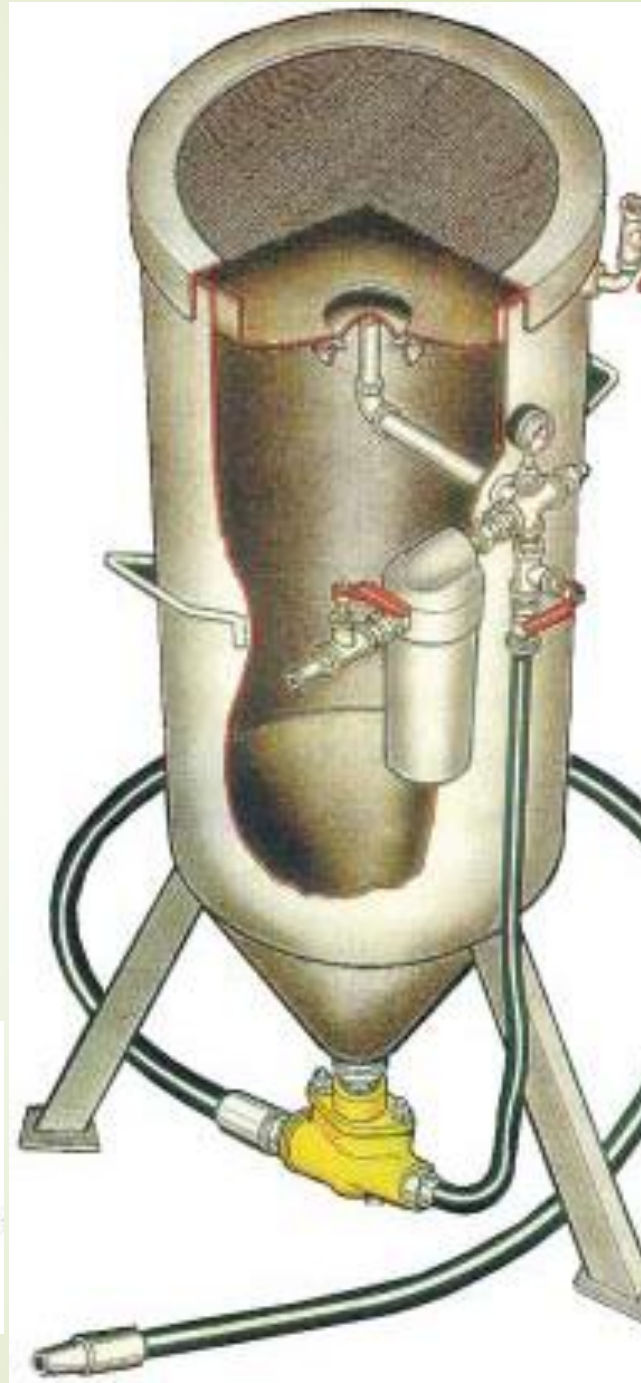
- **Limpeza** (tipo Sa2; Sa2,5; **Sa3**[6], obtida por processos químico, térmico ou mecânicos)

- **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.



17 440PM





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).

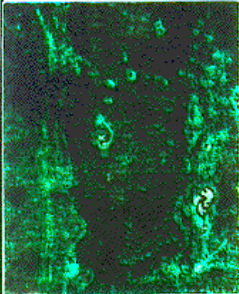


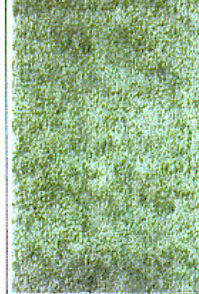
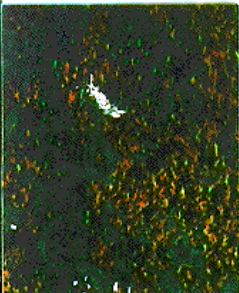
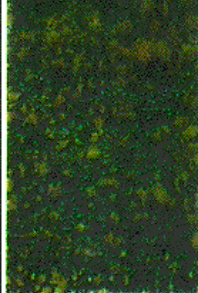
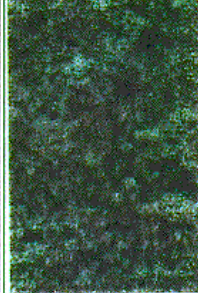
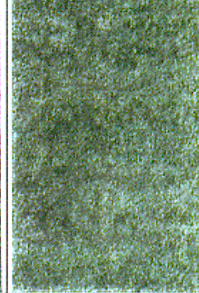
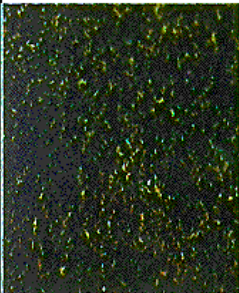

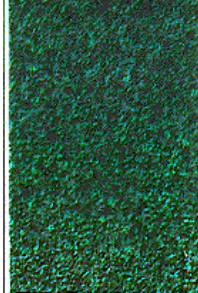
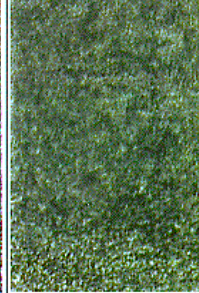
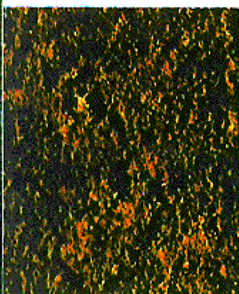
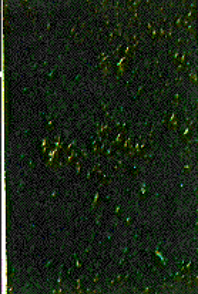
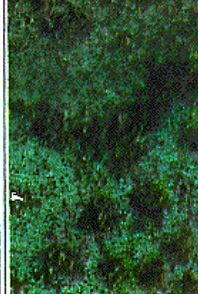
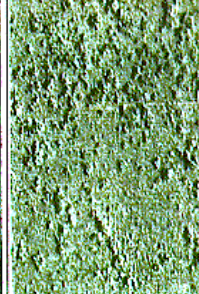
Graus de corrosão:

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;

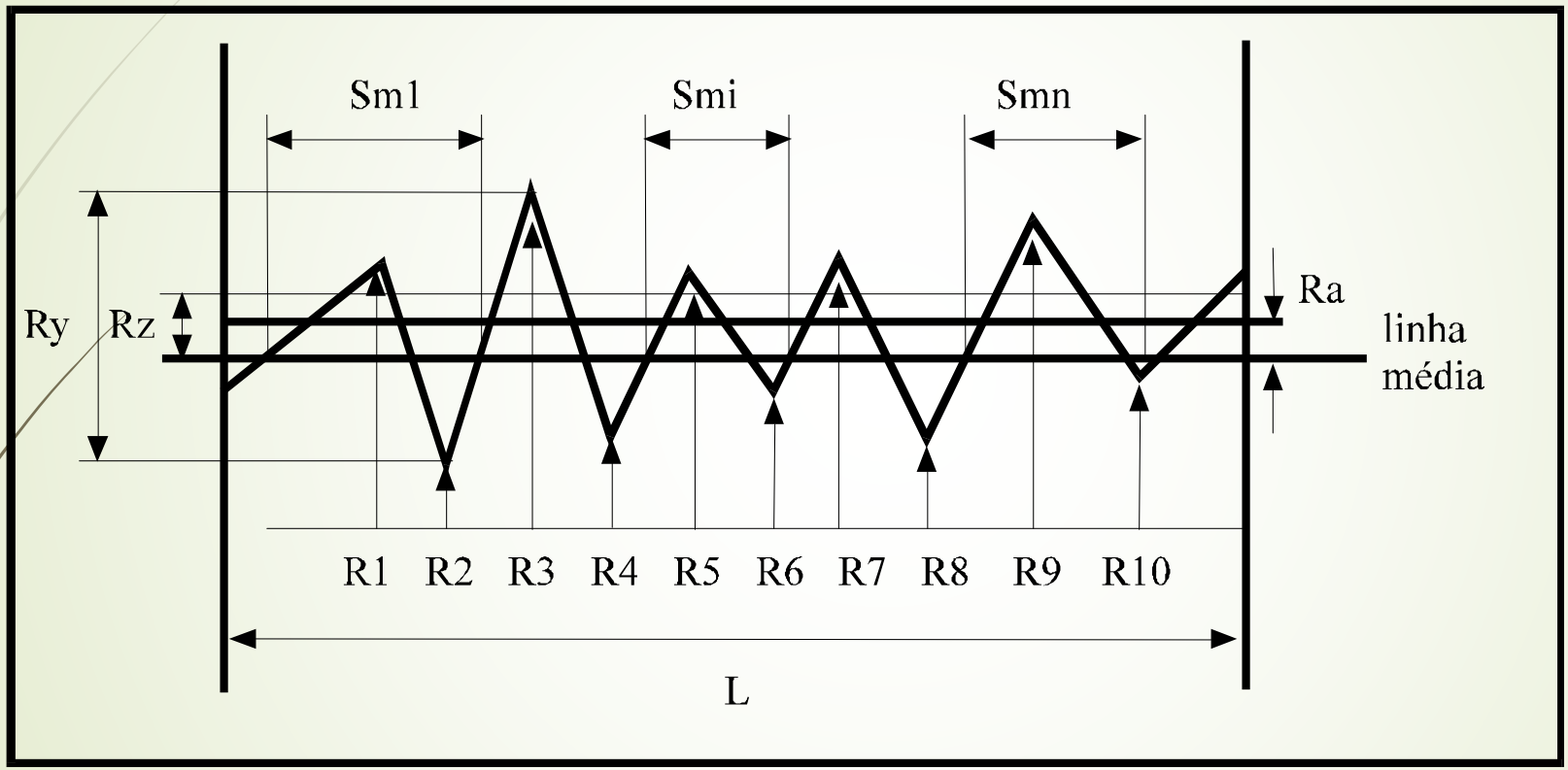
C: Substrato de aço onde a carepa de laminação foi eliminada pela corrosão ou possa ser removida por raspagem, com pouca formação de cavidades visíveis;

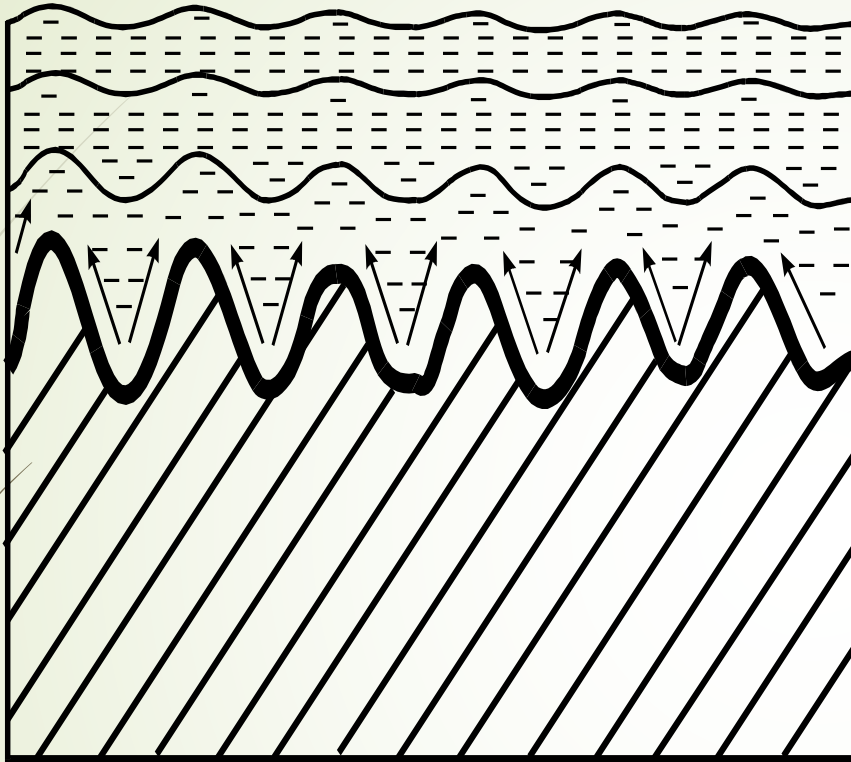
D: Substrato de aço onde a carepa de laminação foi eliminada pela corrosão e com grande formação de cavidades visíveis.

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

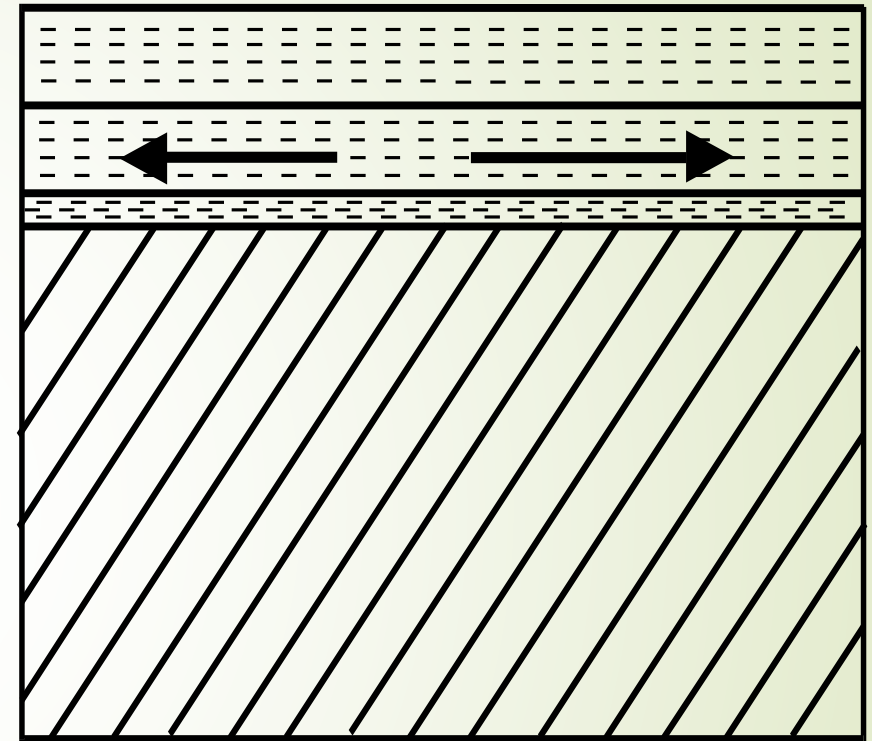
Rugosidade da superfície:

- 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**.



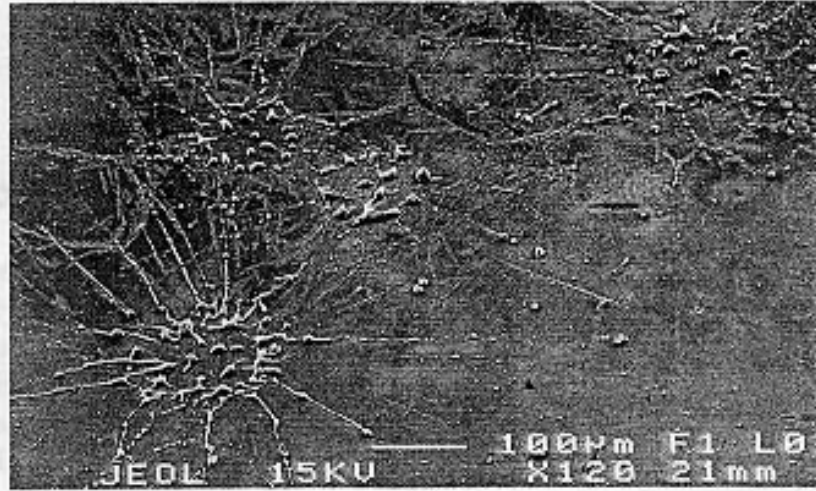


Sobre a superfície com rosca
as tensões (zetas) tendem a
se anular

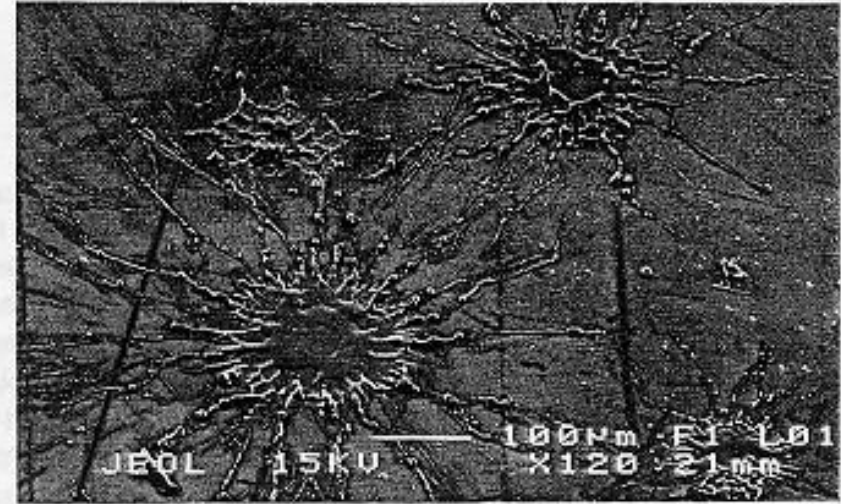


Sobre a superfície lisa, as
tensões paralelas à base
tendem a separar a camada

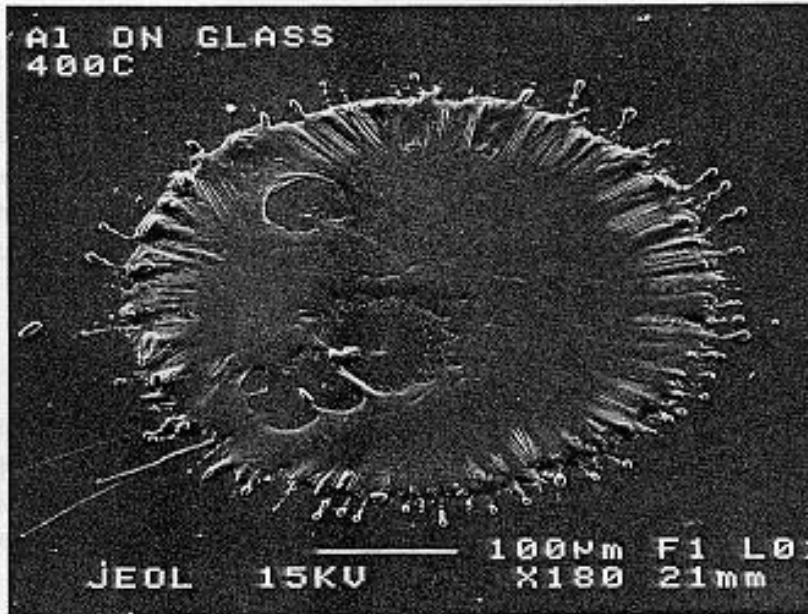
Preaquecimento



(a)

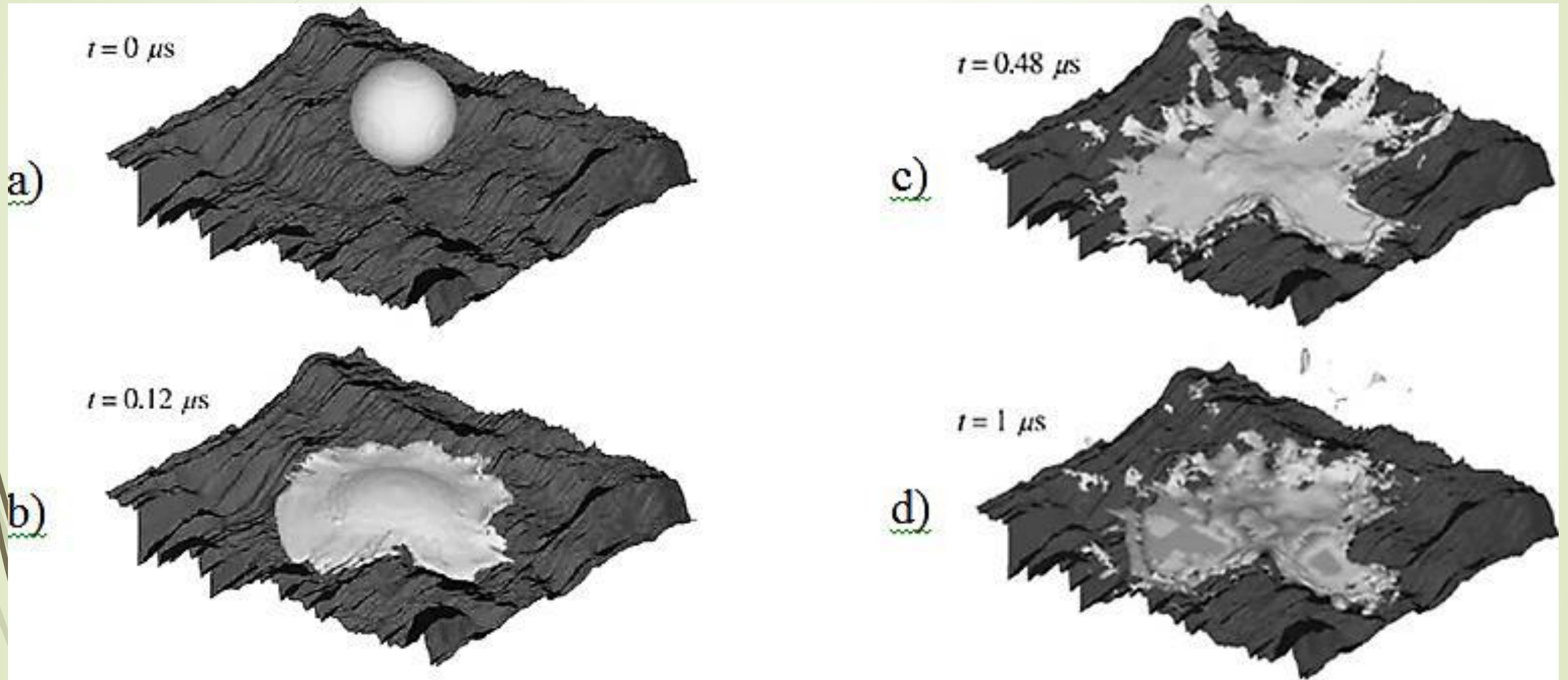


(b)

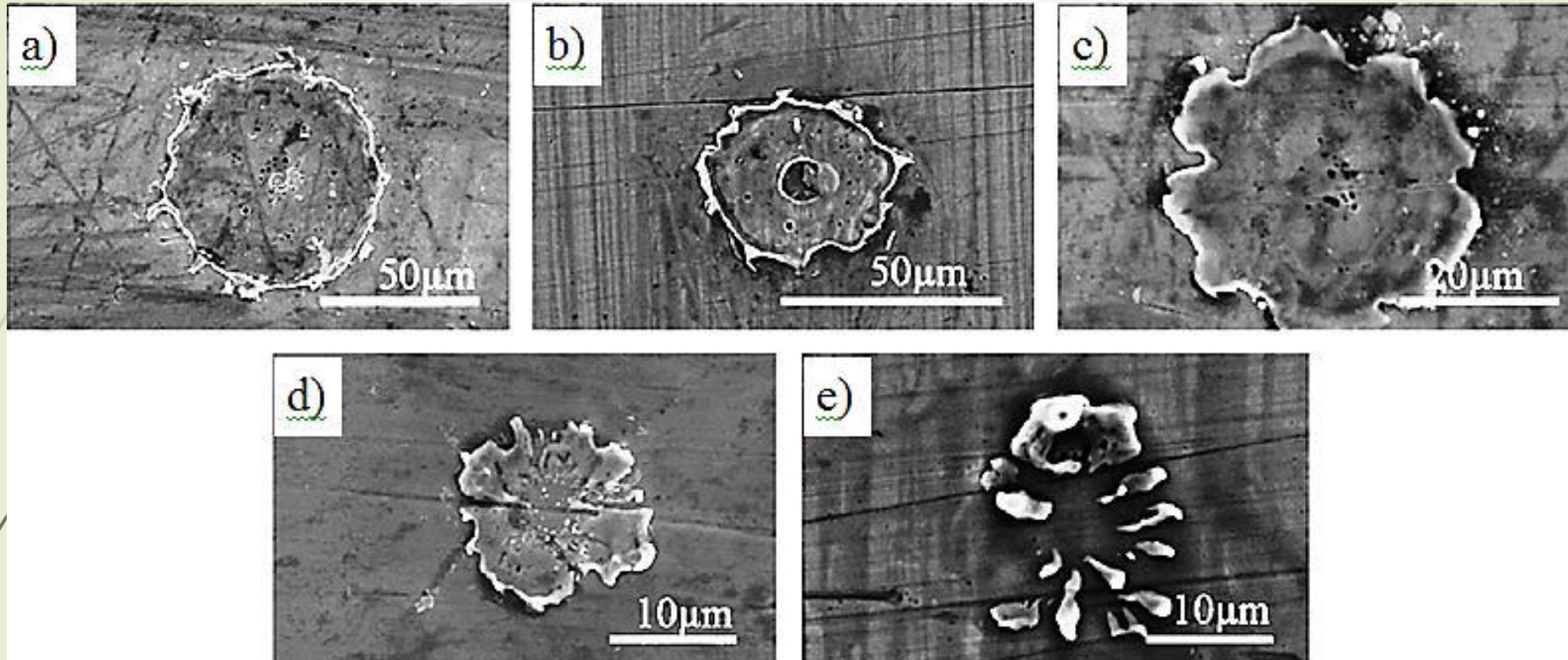


(c)

Formação da Panqueca

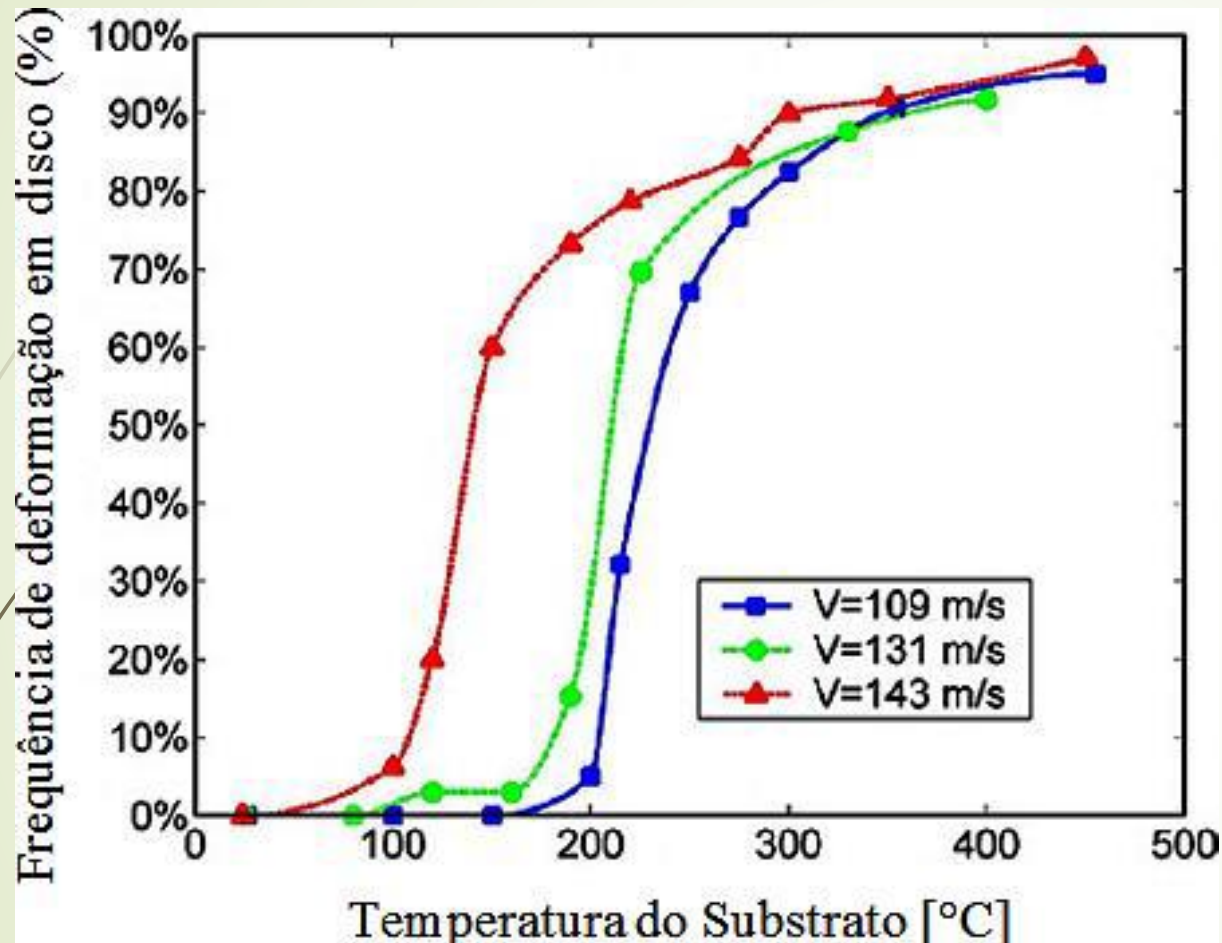


Morfologia da Panqueca



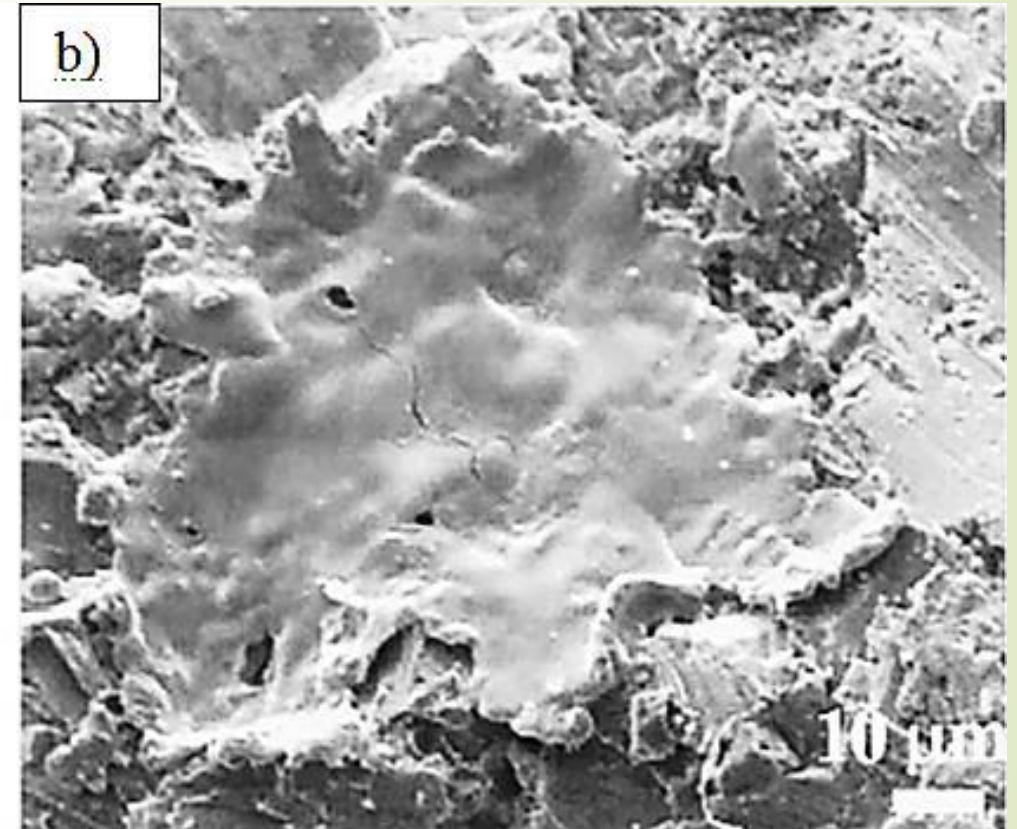
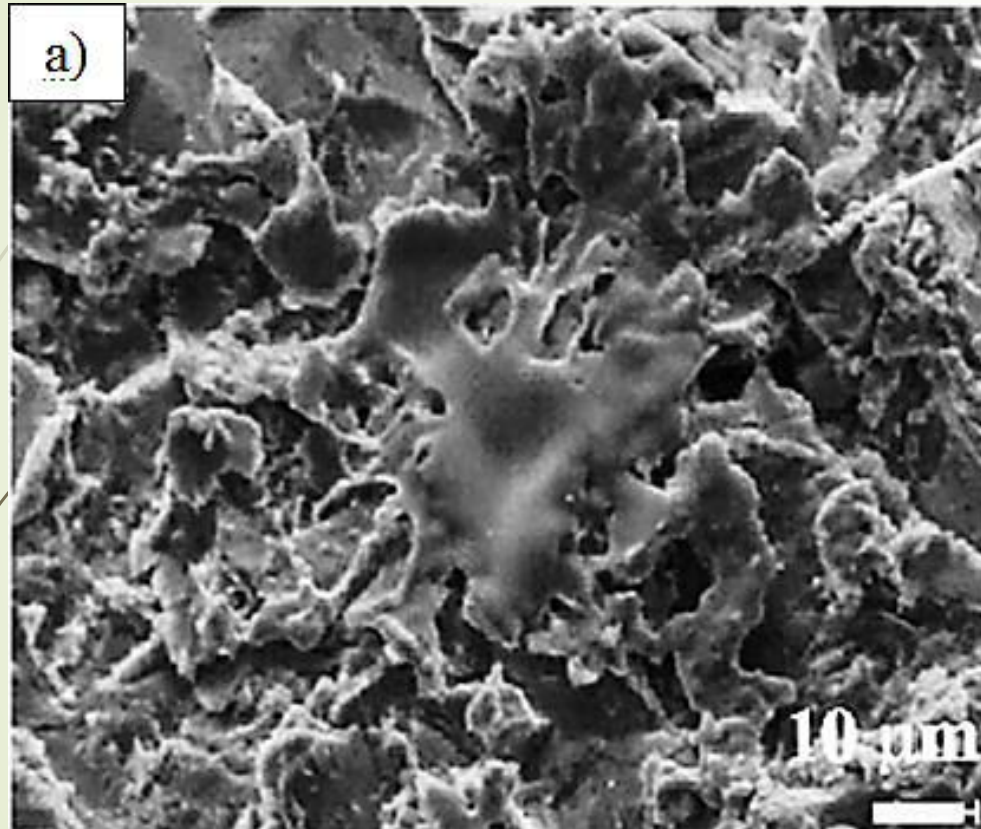
Morfologias para panquecas depositadas. Aspersão APS de Ni-Cr em Substrato AISI 304L; Imagens em M.E.V.: (a) panqueca em disco apresentando contorno distinto e vazios no centro; (b) panqueca em disco com vazio central e contorno distinto; (c) panqueca em “flor”; (d) panqueca fragmentada; (e) panqueca muito fragmentada.

Temperatura de Transição (T_{tr})



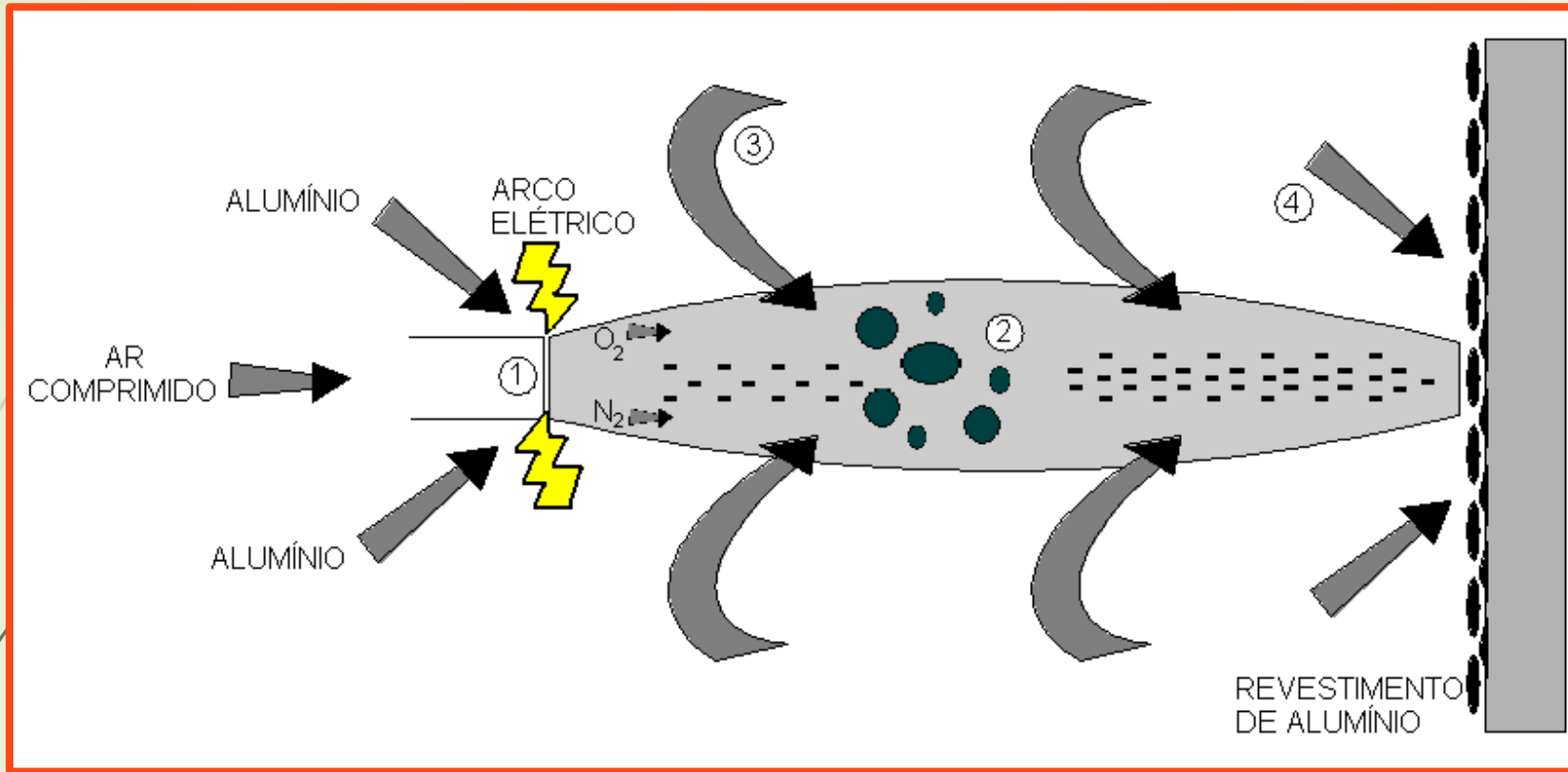
Frequência do formato de panqueca em “disco” aumenta com a elevação da temperatura do substrato ou da velocidade da partícula

Temperatura de Transição (T_{tr})



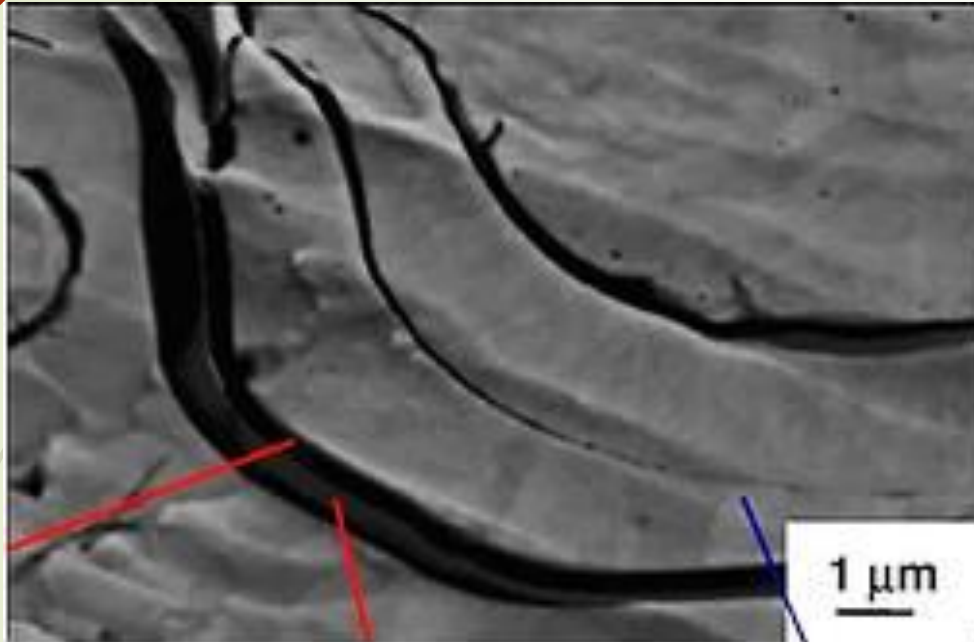
Morfologia da panqueca de Molibdênio aspergido por APS sobre substrato de aço para $R_a = 3,4 \mu\text{m}$: (a) 115 °C; (b) 250 °C.

Mecanismos de oxidação

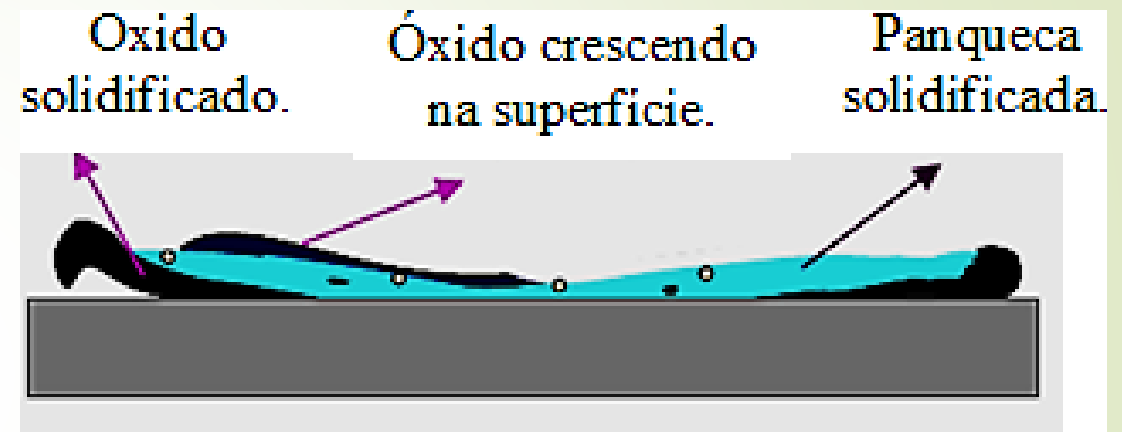


- **Mecanismo 1** – fonte de calor, partículas têm o primeiro e mais relevante contato com ambiente oxidativo. Exclusivo para o processo ASP.
- **Mecanismo 2** – oxidação entre a partícula e o gás de transporte.
- **Mecanismo 3** – ar do meio ambiente que envolve a zona de transferência das partículas.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

Mecanismo 4 e “vazio entre panquecas”.



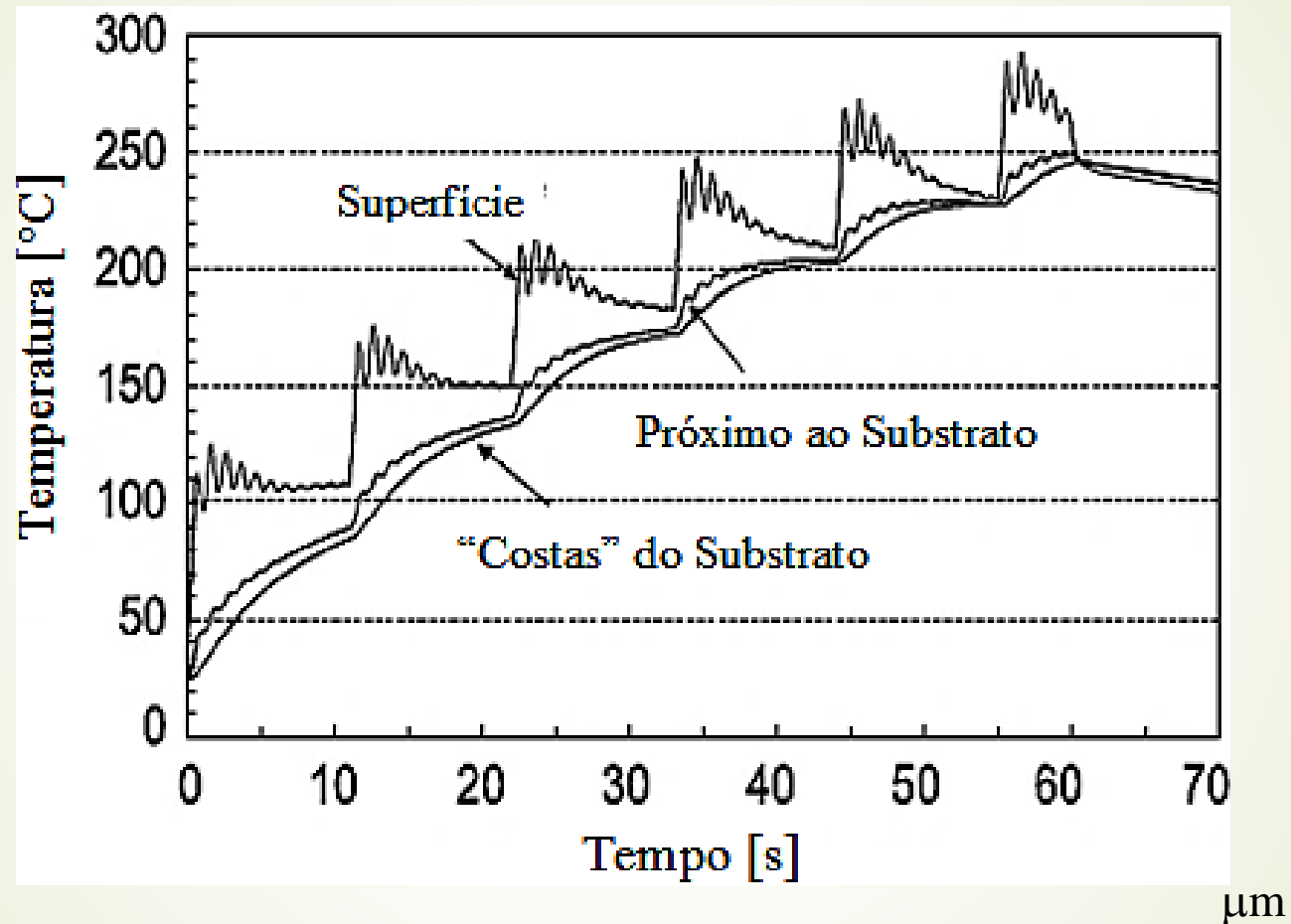
b) “Vazio entre panquecas”.



c) Óxido crescendo na superfície da panqueca.

Esquema do efeito das primeiras partículas depositadas nos óxidos formados durante o trajeto. b) “vazio entre panquecas”; c) Oxidação da superfície da panqueca após o impacto

Gradiente Térmico



Gradiente Térmico na aplicação de revestimento com 500 µm de espessura



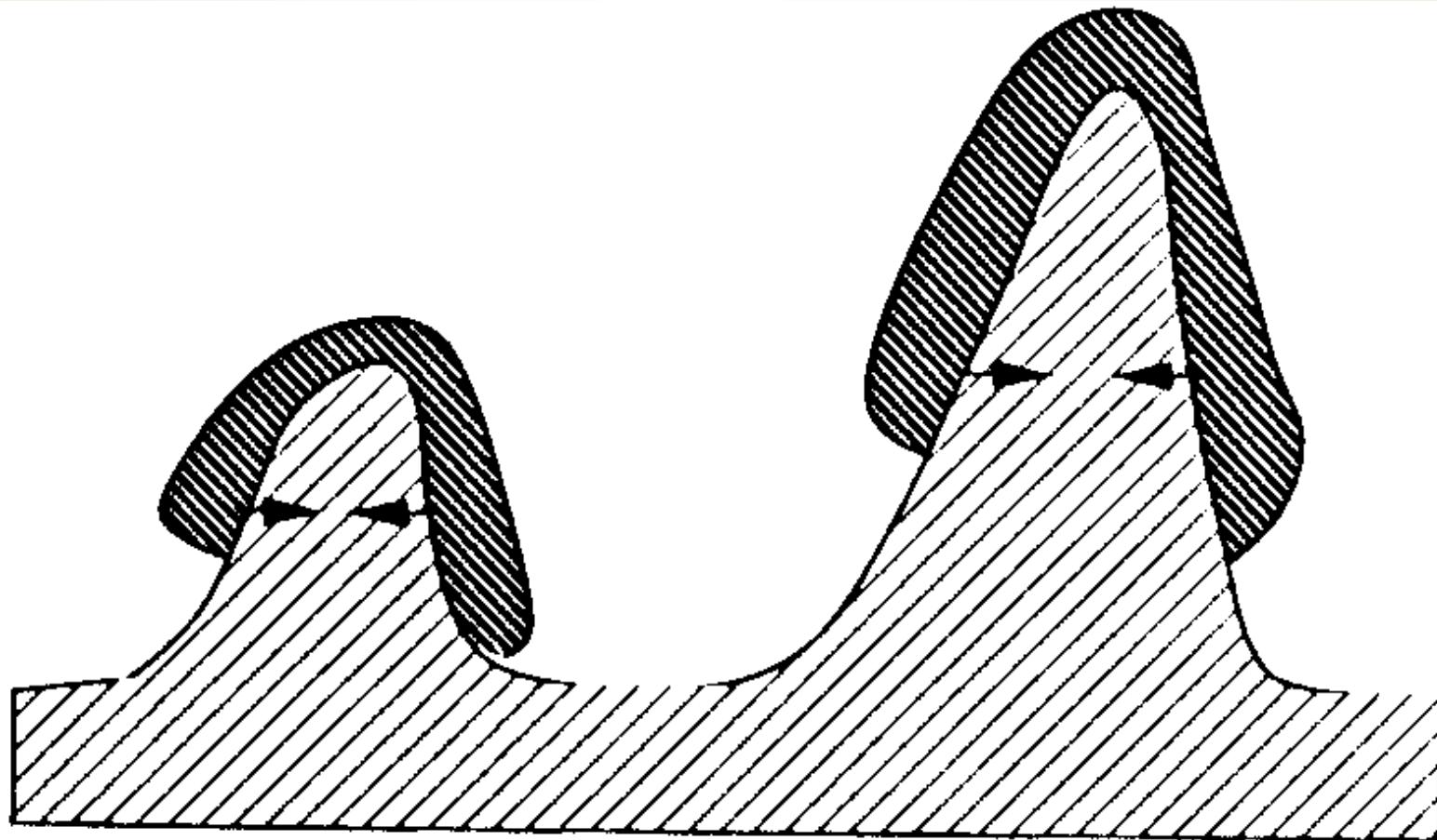
➔ Efeito rugosidade preaquecimento



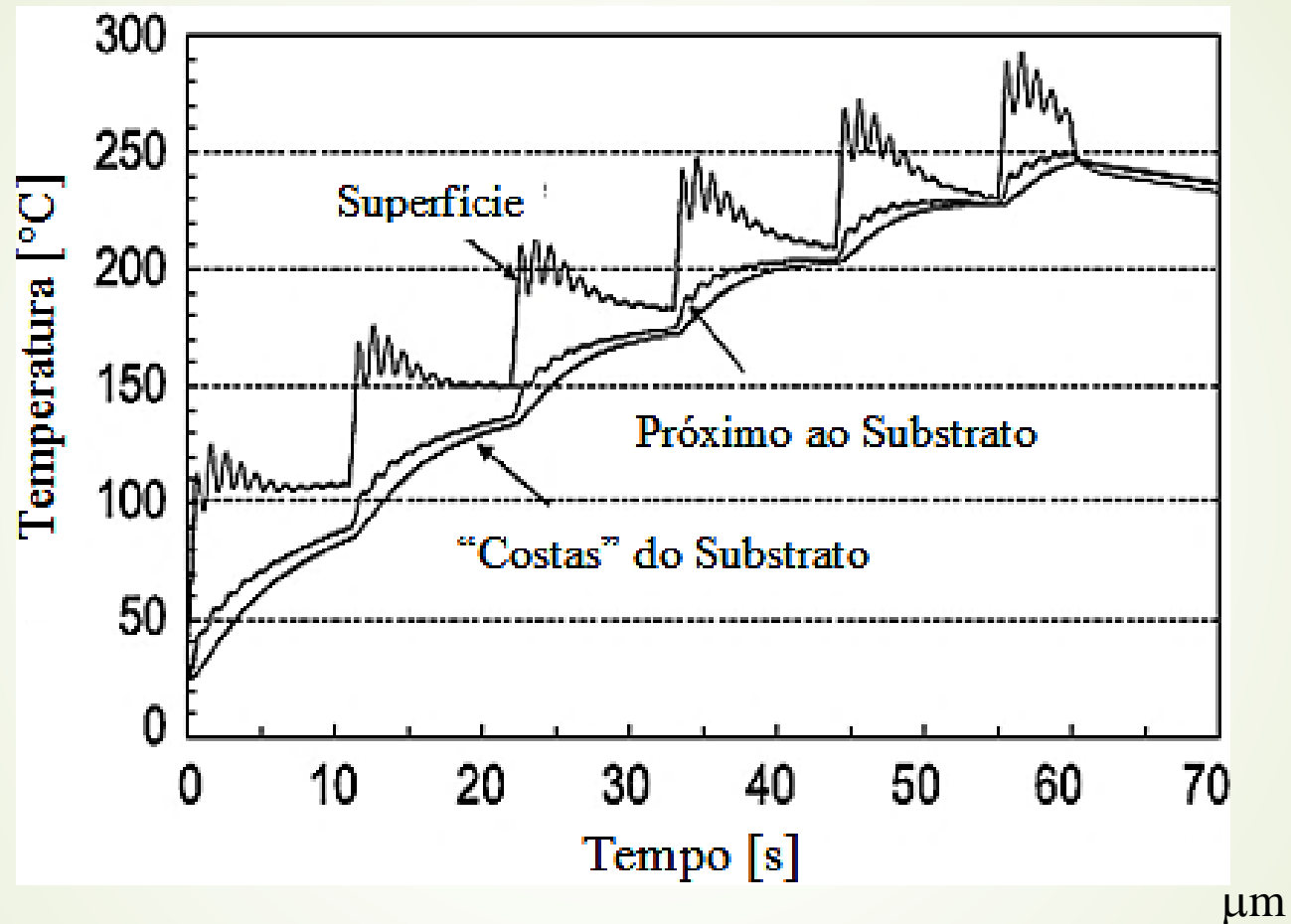
ADERÊNCIA

- **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).

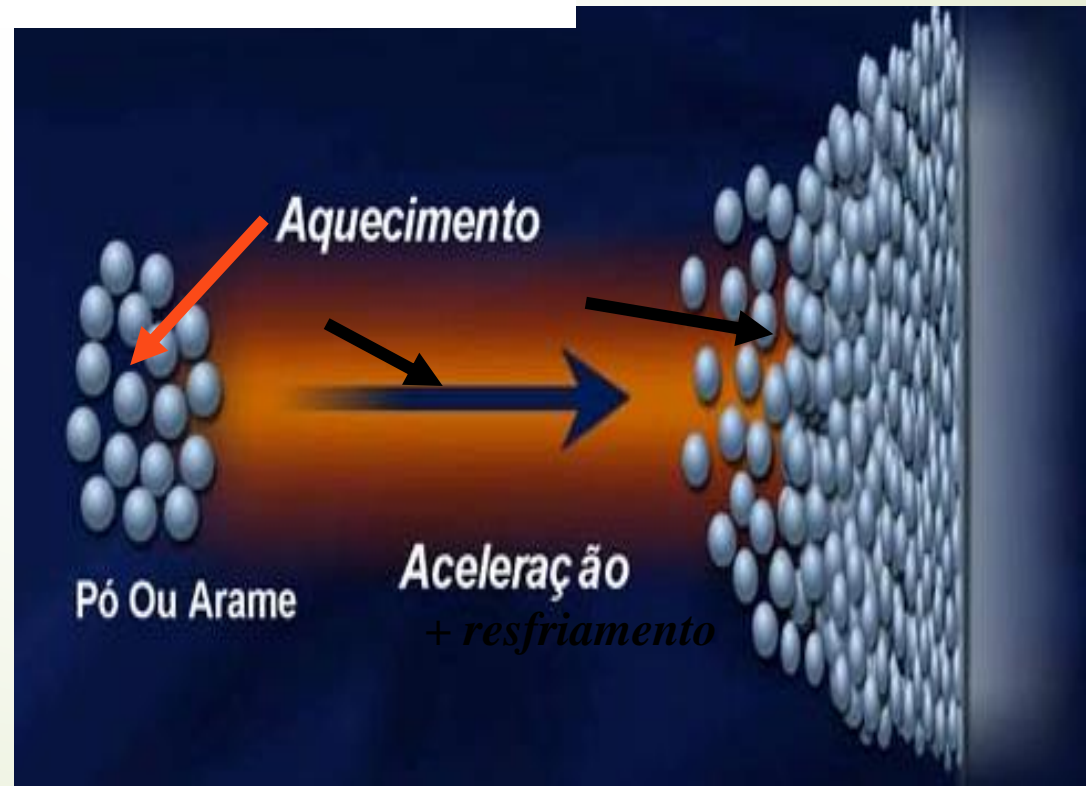
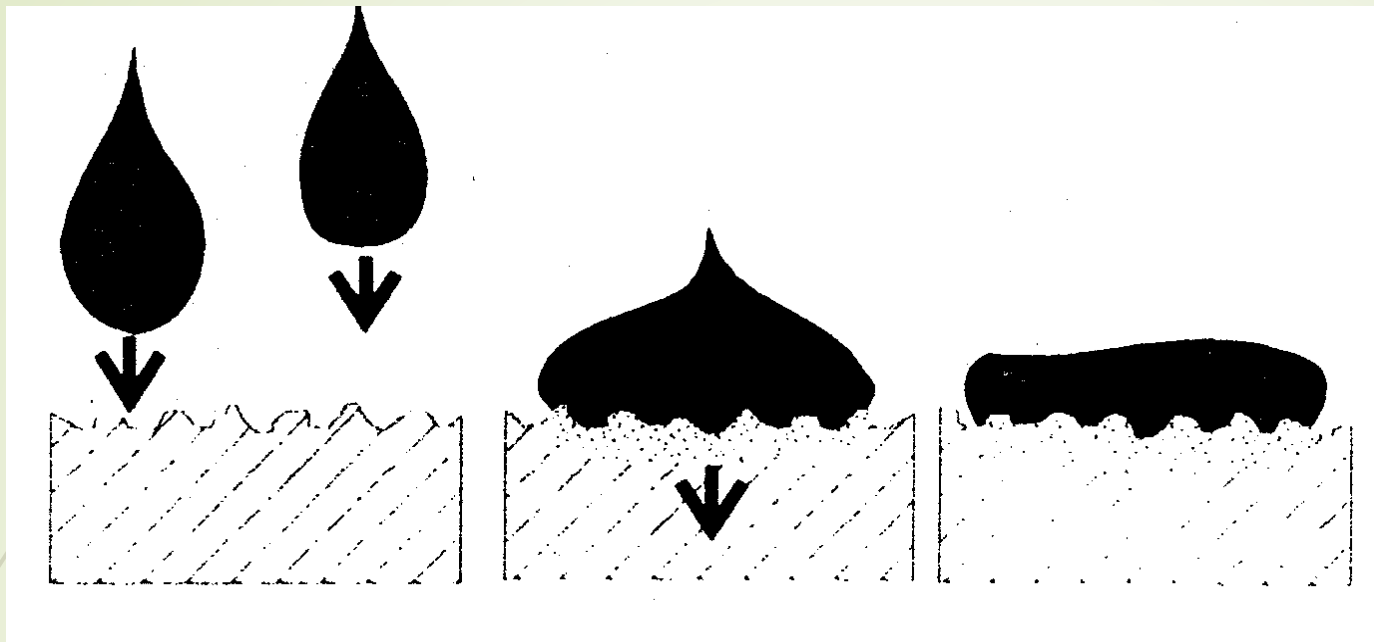
ancoramento mecânico
químico-metalúrgico

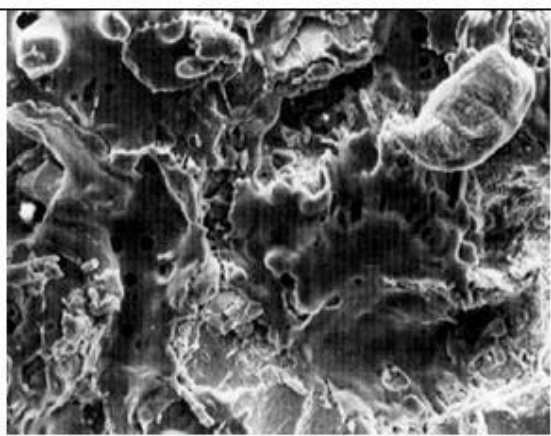


Gradiente Térmico

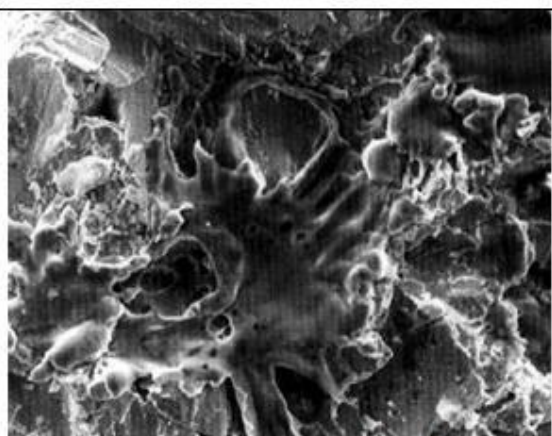


Gradiente Térmico na aplicação de revestimento com 500 μm de espessura

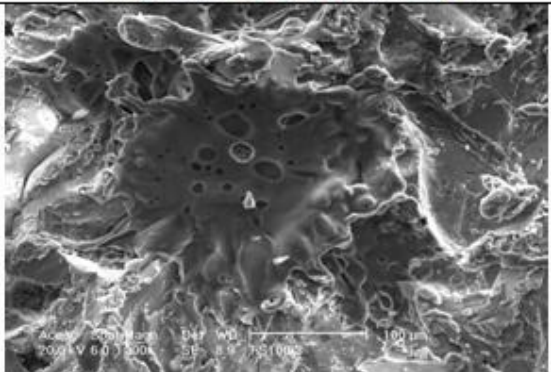




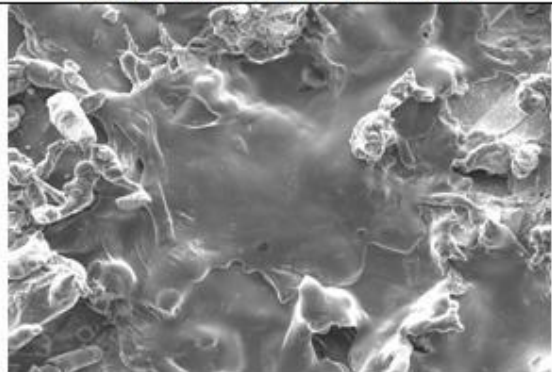
(a) rugosidade do substrato Ry 70/80 µm sem pré-aquecimento / processo FS



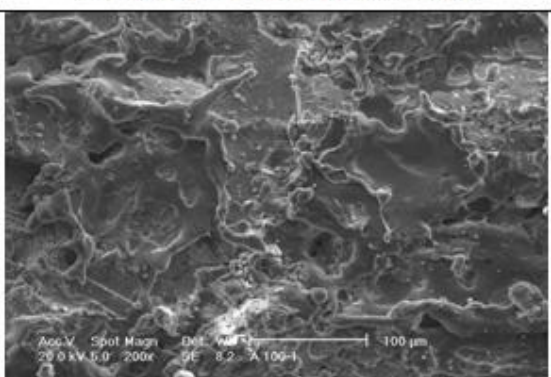
(b) rugosidade do substrato Ry 70/80 µm com pré-aquecimento / processo FS



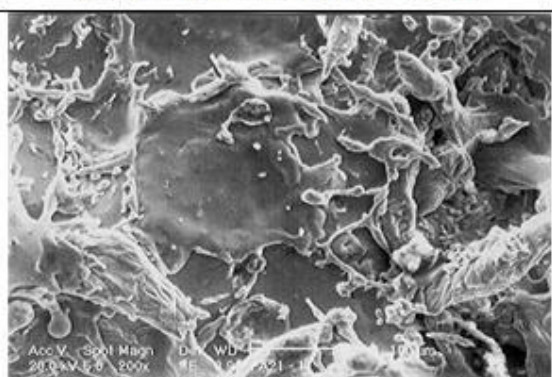
(c) rugosidade do substrato Ry 50/60 µm sem pré-aquecimento / processo FS



(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

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)

LABORATÓRIO DE ASPERSÃO TÉRMICA E SOLDAGEM ESPECIAIS

MICROESTRURAS DE REVESTIMENTOS DEPOSITADOS PELOS PROCESSOS DE ASPERSÃO TÉRMICA

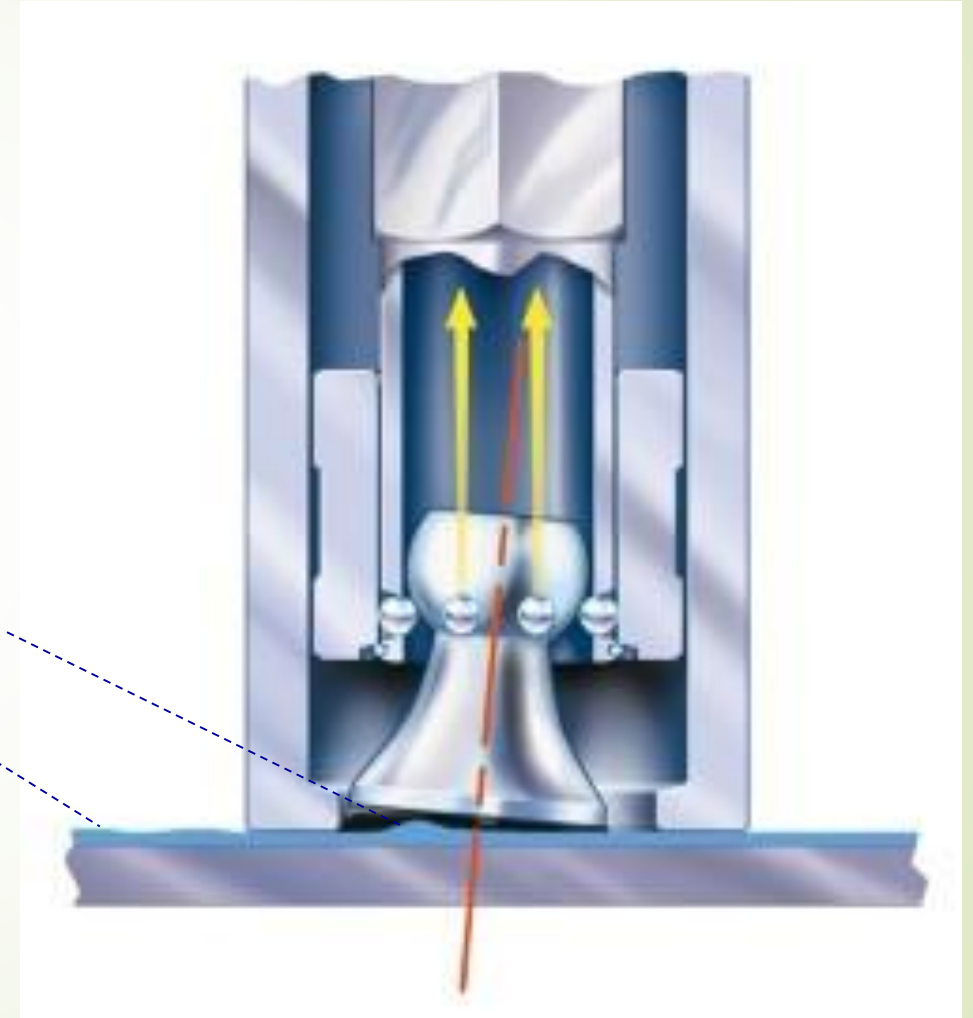
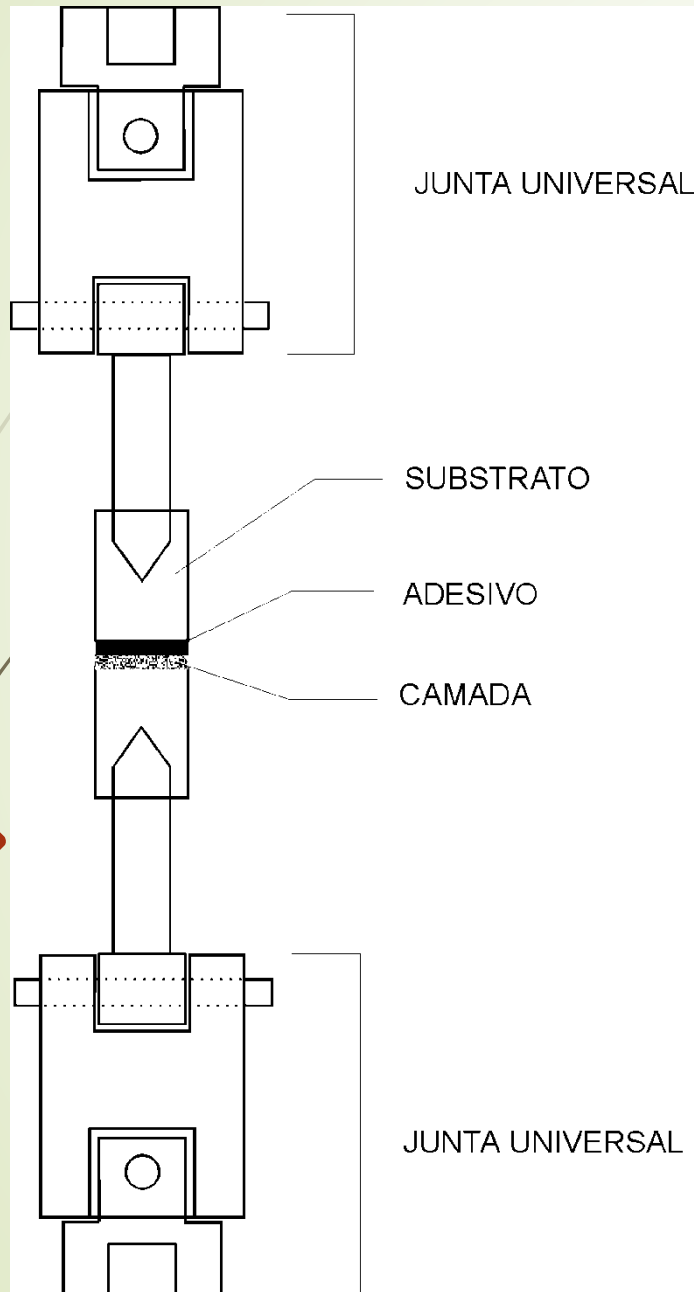
Ramón S. Cortés Paredes
Departamento de Engenharia Mecânica da UFPR
ramon@ufpr.br



WIKI
WIKI is a free online encyclopedia that is edited by a community of users. It is known for its comprehensive and up-to-date information on a wide range of topics. The most famous example is Wikipedia, which is the largest and most popular wiki in the world. Other examples include Wiktionary, Wikisource, and Wikiversity. Wikis are typically organized into a hierarchy of pages, with each page containing text and links to other pages. The content is created and edited by users, and the changes are saved to a central database. This makes wikis a dynamic and collaborative environment for sharing knowledge and information.

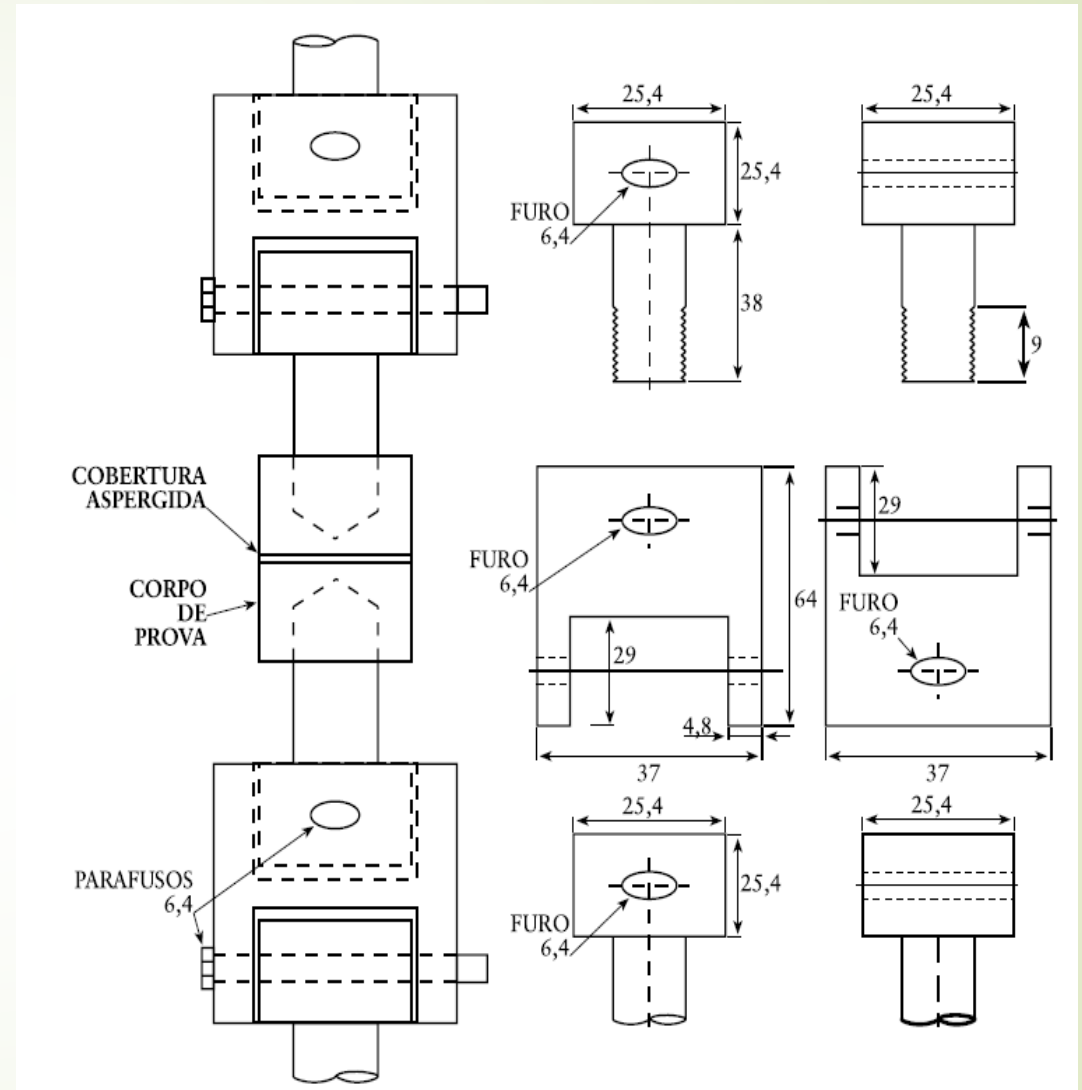


Aderência pelo ensaio de tração



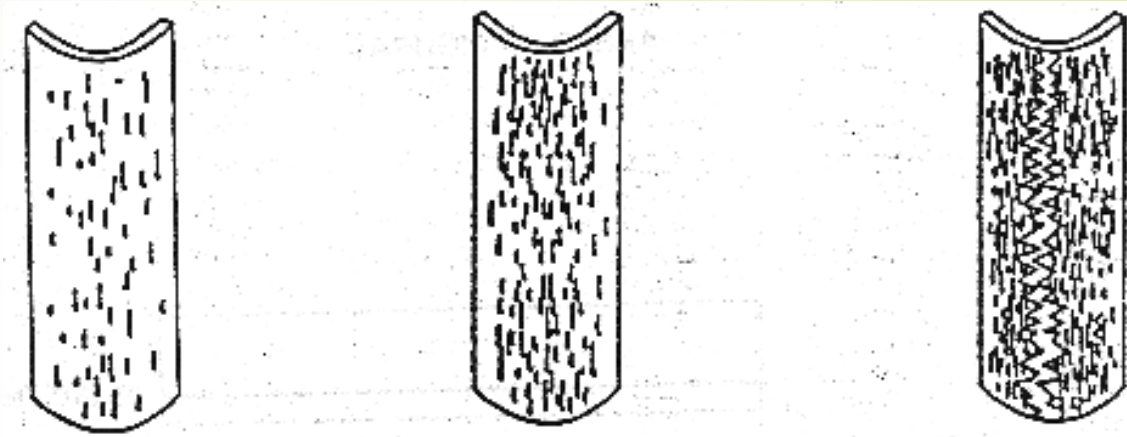
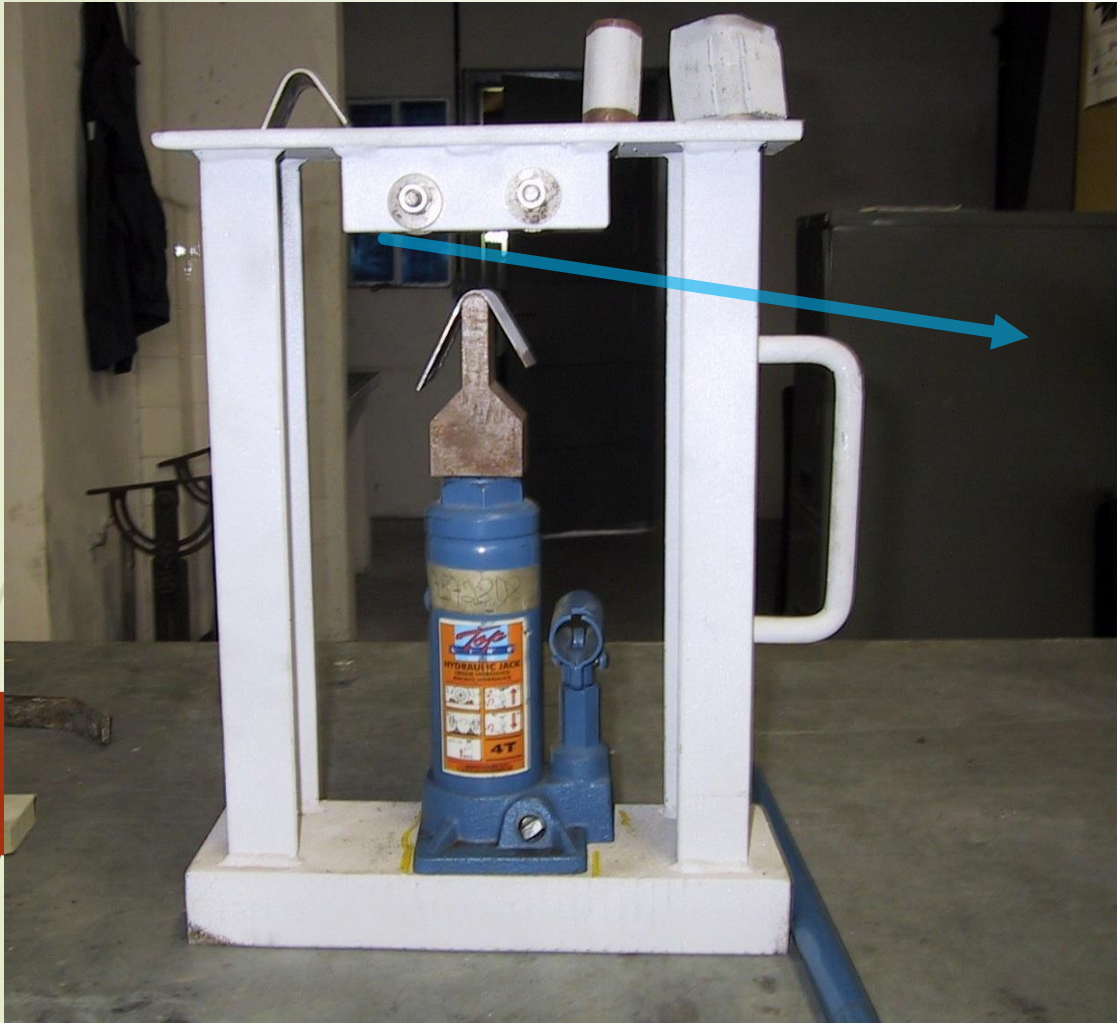
- O ensaio de aderência segundo norma ANSI-ASTM-633-79 (a qual prevê a junção do corpo de prova com uma contraparte de mesmas dimensões em aço 1020. Para a junção, é utilizado adesivo)

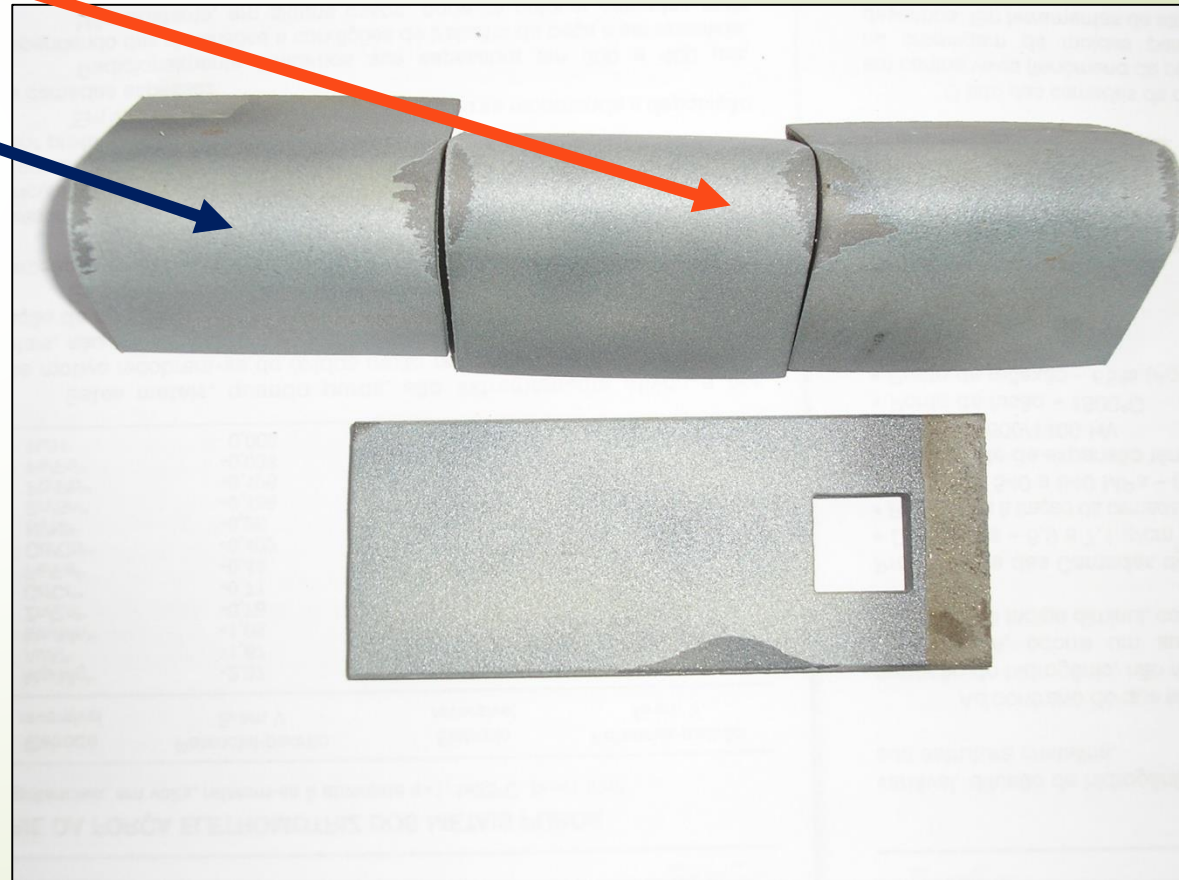
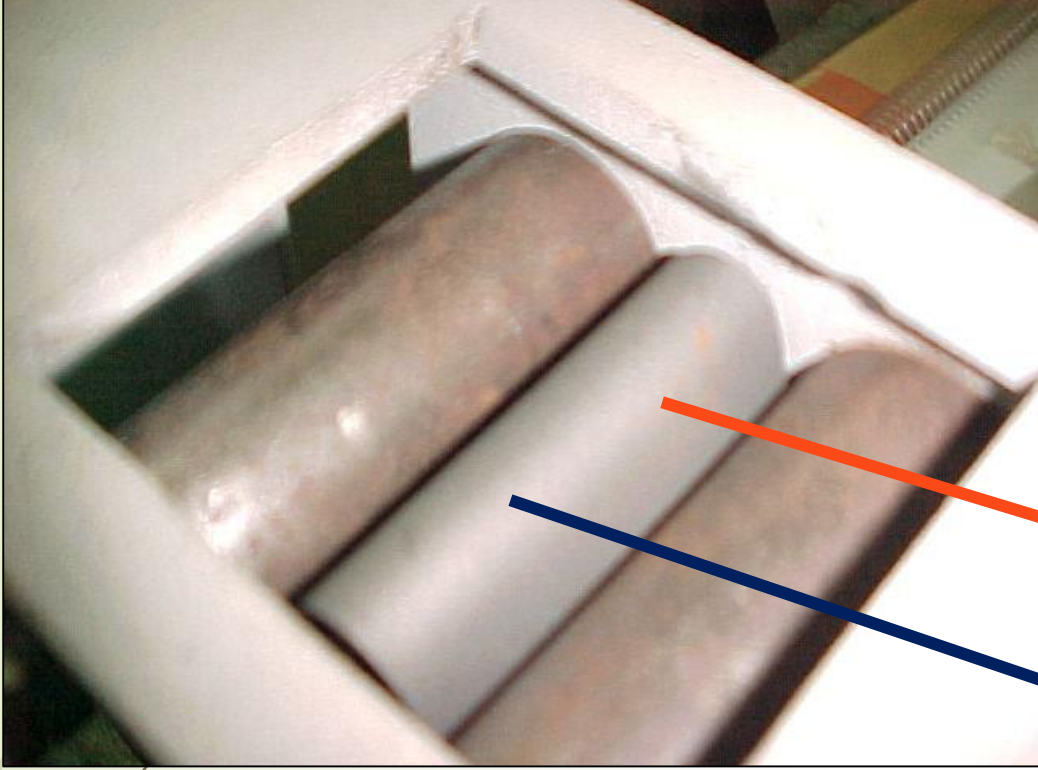
- Após a cura do adesivo, o conjunto montado é tracionado até que ocorra a separação ou ruptura.




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 250 μm



Norma Petrobrás de Aspersão Térmica

[N-2568.pdf](#)

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