

# Revestimentos e Metalização

•Iniciação à engenharia de superfície (conceitos e aplicações);

•Revestimento x tratamento de superfícies;

•Aspersão térmica a gás – fundamentos, processos, equipamentos, consumíveis, tipos de revestimentos, preparação do metal base e aplicações; aspersão por chama a alta velocidade (HVOF) - fundamentos, equipamentos, consumíveis e aplicações; Revestimento por plasma (a pó e por arame) - fundamentos, equipamentos, consumíveis, preparação do metal base e aplicações;

•Revestimento por explosão - fundamentos, equipamentos, consumíveis, preparação do metal base e aplicações; aspectos de higiene e segurança específicas para cada processo;

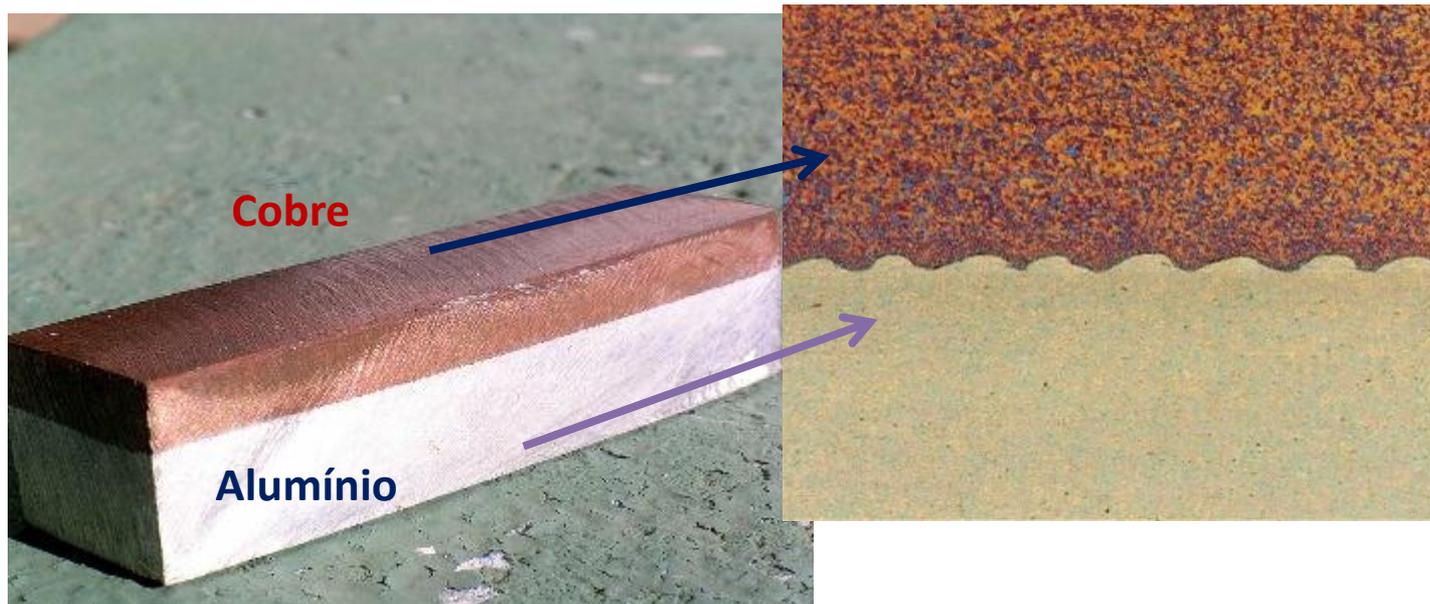
•Revestimento a arco (aplicação - revestimento duro, contra-corrosão e amanteigamento – e processos usados).

# Revestimento por Explosão

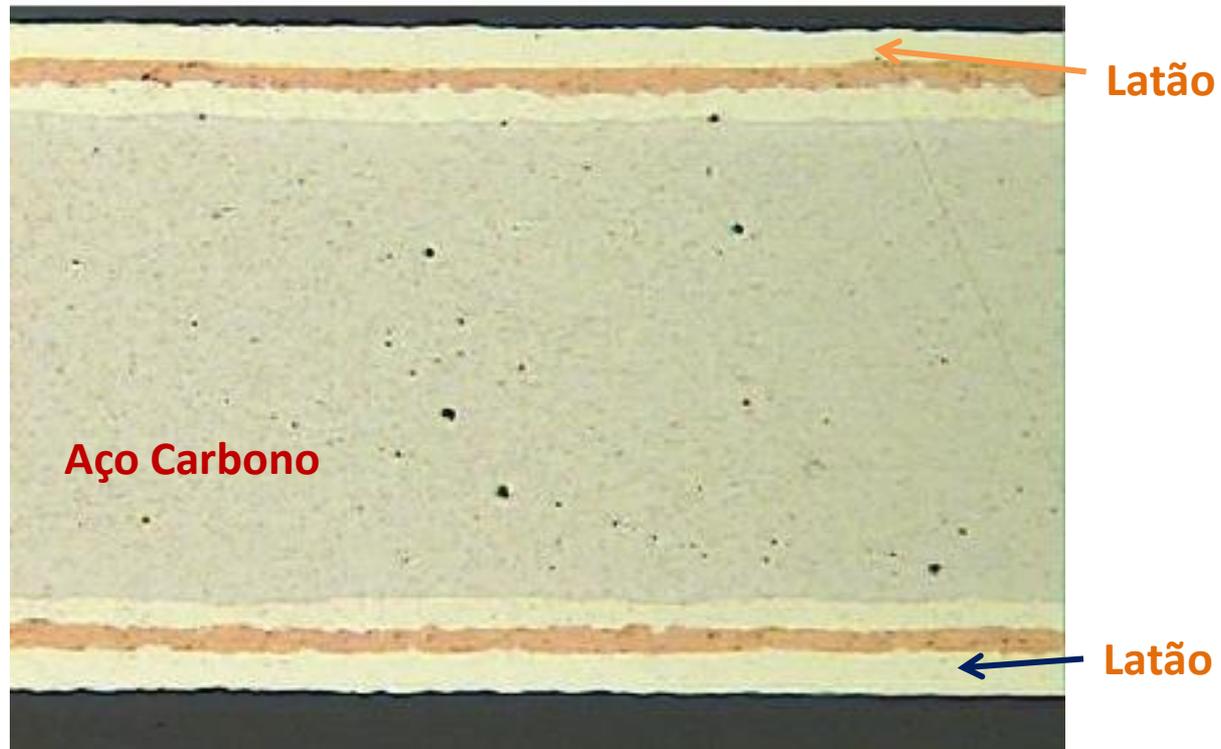
O processo utiliza uma detonação controlada como energia para produzir uma união no estado sólido entre componentes metálicos.

O processo pode ser utilizado para soldar virtualmente qualquer combinação entre metais, que normalmente são conhecidas como não passíveis de serem soldadas por processo convencional de solda.

Ademais o processo pode ligar um ou mais revestimentos em um ou dois lados de metal base com o potencial de cada um ser de um metal ou liga diferente.



# Revestimento por Explosão

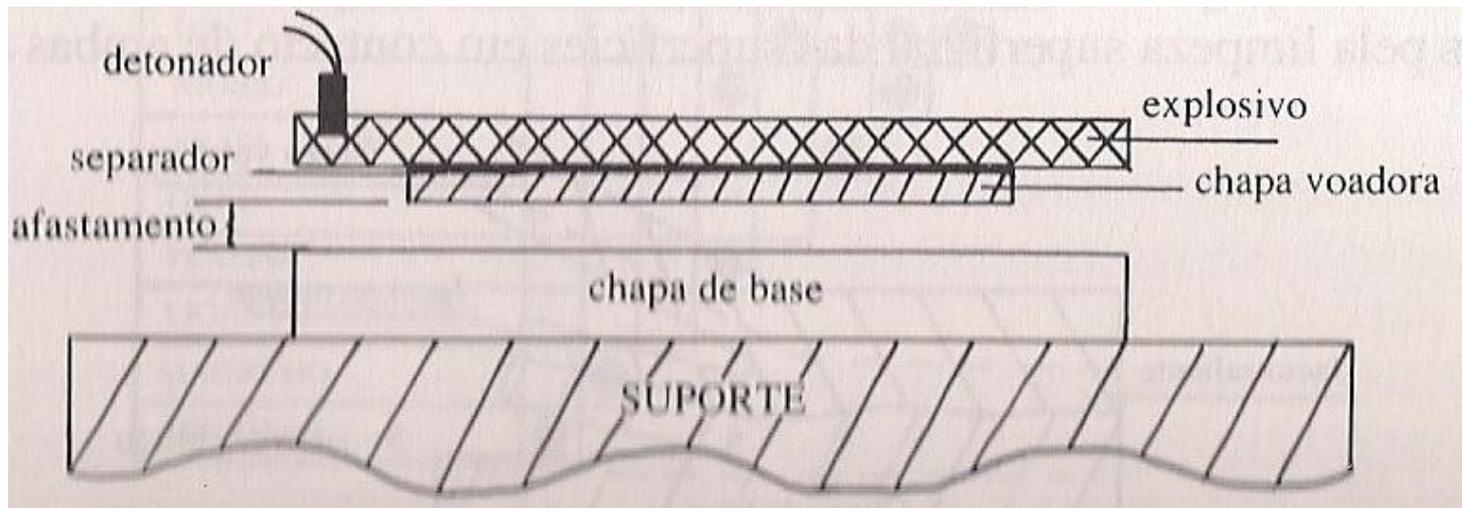


# Fundamento do Processo

Na soldagem a explosão se produz uma solda pelo impacto em alta velocidade das peças em trabalho, a explosão acelera o metal a uma velocidade que produz uma adesão metálica entre elas após a colisão.

A solda é produzida sem a adição de metal. É essencialmente um processo a temperatura ambiente em que não ocorre um grande aquecimento das peças em trabalho.

As superfícies de contacto, entretanto, são aquecidas pela energia de colisão, e a soldagem é conseguida pelo fluxo plástico do metal em suas superfícies.



**Montagem tipo da soldagem por explosão** (montagem paralela)

# Parâmetros do Processo

## Parâmetros mais importantes:

- Tipos de material a soldar, formas e dimensões
- Geometria e montagens utilizadas
- Tipo de explosivo
- Altura do explosivo
- Velocidade de colisão
- Ângulo de colisão
- Energia de ligação

# Materiais e revestimentos

	Ligas cladeadas									
Metal de base	Aço Inox ferrítico-austenítico	Aço Inox Duplex	Alumínio e ligas de alumínio	Cobre e ligas de cobre	Nickel e ligas de nickel	Inconel/Incolay/Hastelloy	Titânio	Tântalo	Zircônio	Prata
Aço estrutural	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Aço de vaso de pressão	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Aço de baixa liga	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Aço Inox Ferrítico	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Aço Inox Austenítico	●	●	+	●	●	●	●	●	●	●
Alumínio e Ligas de alum.	+	+	●	●	●	+	+	+	●	●
Cobre e ligas de cobre	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Forjados de AC	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Forjados de ligas de Aço	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

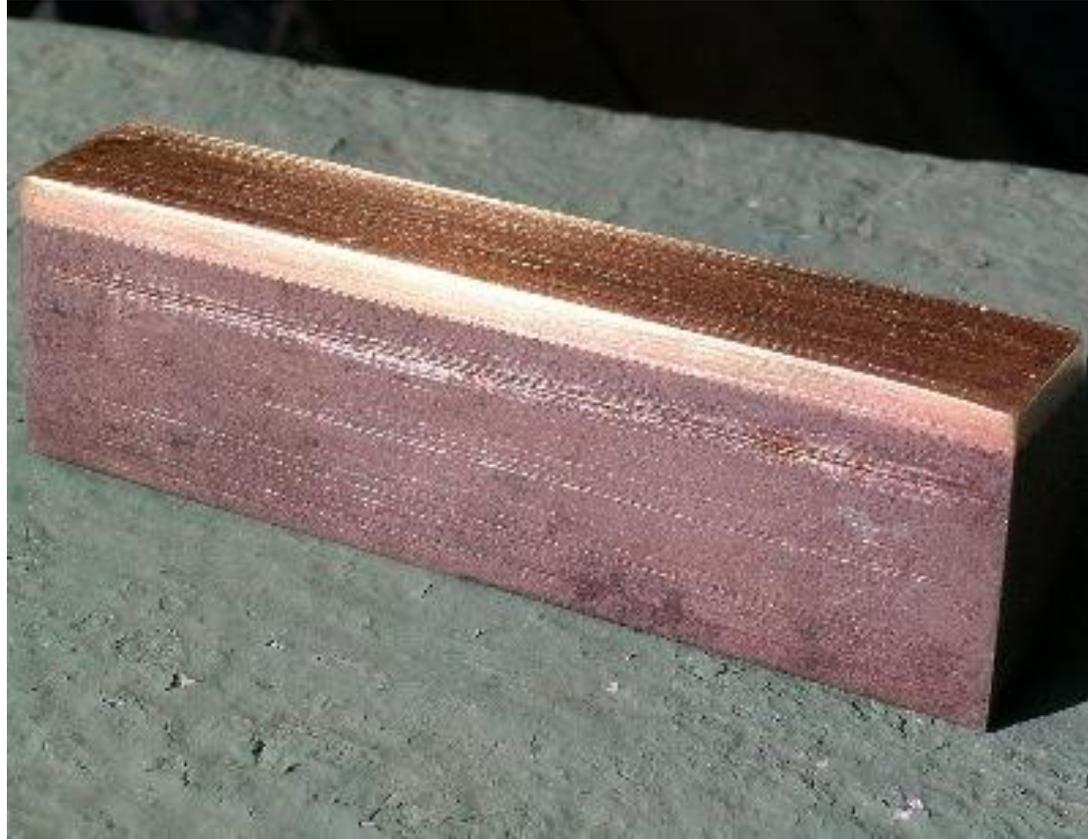
+certas combinações são possíveis com aplicação de "INERLAY". Outras combinações de metais são possíveis ou podem ser desenvolvidas

# Tratamentos posteriores e ensaio

**Tratamento térmico** (Alívio de tensão) dependendo das ligas envolvidas deve ser executado em conformidade com as tolerâncias da norma ASTM A-20 e sob orientação do nosso departamento técnico.

**Ensaio destrutivo** aplicados à chapas cladeadas de acordo com ASTM A-263, A-265, A-20, B-432, DIN-71 e suscetibilidade a corrosão conf. A-262 Prática "E".

# Aplicações



Base: Aço carbono - Revestimento: Latão naval

# ENDURECIMENTO DE PEÇAS METÁLICAS POR EXPLOSÃO

O endurecimento por explosão melhora as propriedades mecânicas do material, incluindo resistência à deformação, resistência ao desgaste e resistência à fadiga, pois, a vida útil do aço de alta pureza Mn do núcleo é aumentada por ~ 40% através do endurecimento por explosão.



Núcleos de aço manganês de desvios ferroviários em preparo na base  
Peça para mineração em **aço manganês** ( Mn = 12,0/14%)

**Valor de dureza obtida 410 HB com profundidade de até 40 mm**

# ENDURECIMENTO DE PEÇAS METÁLICAS POR EXPLOSÃO

**ENDURECIMENTO SUPERFICIAL DE NÚCLEOS FERROVIÁRIOS, MANDÍBULAS DE BRITADORES E OUTRAS PEÇAS EM AÇO MANGANÊS, ATRAVÉS DO PROCESSO DE EXPLOSÃO.**

**O processo de endurecimento superficial em aço ao manganês de núcleos ferroviários e outras peças por explosão é feito de maneira gradativa através de uma sucessão de tiros é de extrema importância para o não comprometimento de material, que poderia ser empenamento ou mesmo quebra do núcleo, caso não seja obedecido o procedimento convencional, comprometendo desta maneira a qualidade do trabalho.**

**Esta atividade teve no Brasil seu desenvolvimento, através do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo-IPT, filial de Lorena, Departamento de Processamento de Metais por Explosão: DPME e larga utilização em indústrias nacionais, nos mais diferentes tamanhos e formas, sendo serviços fornecidos para empresas como Máquinas e Ferrovias e Metrô de São Paulo, e muitas outras.**

## ENDURECIMENTO DE PEÇAS METÁLICAS POR EXPLOÇÃO

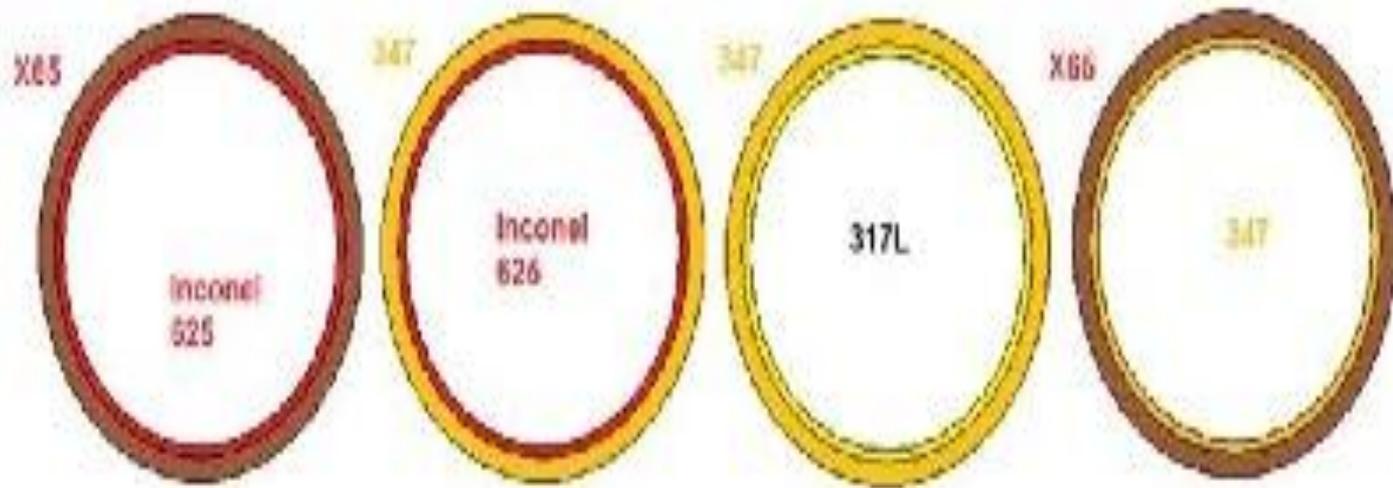
Os núcleos de aço ao manganês, são enviados para execução de endurecimento, com as durezas iniciais com aproximadamente 240 á 260 BRINNELL, e que de acordo com os números de tiros executados poderá chegar a 400 BRINNELL.

Normalmente para dois tiros a dureza fica na faixa dos 360 BRINNELL, satisfatório para alguns clientes. Somente em casos especiais quando a dureza necessita de um valor de 400 BRINNEL, é que se utiliza o terceiro tiro.

**A principal vantagem da utilização do processo de endurecimento por explosão, sobre o processo convencional de martelamento, consiste numa maior e melhor homogeneidade de durezas superficiais finais e profundidade dentro do núcleo e também a alta produtividade, pois num mesmo tiro vários núcleos poderão ser trabalhados ao mesmo tempo, além dos resultados apresentarem alta qualidade no produto final**

# LAMINAÇÃO DE BIMETÁLICOS

O processo de laminação de bimetálicos, obtidos a partir da soldagem por explosão de chapas, de larga utilização na indústria eletro-eletrônica, consiste na transformação de pares bimetálicos cladeados, em espessuras finais do par, finíssimas (ordem de 1 mm de bimetálico), impossíveis de serem obtidas diretamente pelo método convencional, com altíssima qualidade e desempenho.



## Ligas/revestimento de tubos cladeados mais utilizados

- a. Inoxidável Austenítico x Inoxidável Austenítico
- b. Inoxidável Austenítico x Inoxidável Ferrítico
- c. Inoxidável Austenítico x Duplex ou Super-Duplex
- d. Inoxidável x Liga de Niquel (INCONEL)
- e. Aço Carbono Martensítico x Inoxidável Austenítico
- f. Aço Carbono Martensítico x Liga de Niquel (INCONEL)

Os Materiais das combinações (a) (b) (c) (d) são os mais adequados para a produção de tubos soldados, levando-se em conta que as chapas cladeadas permitem soldagem dissimilar (longitudinal) sem grandes complicações, bem como, seus respectivos tratamentos térmico.

# Revestimentos

**É de fundamental importância selecionar o sistema e processo para o revestimento protetor apropriado em função do mecanismo de desgaste presente. Por conseguinte, a determinação do mecanismo de desgaste de forma adequada converte-se no ponto mais importante a resolver.**

**Na prática, os fenômenos de desgaste se apresentam combinados, como por ex., erosão/corrosão/cavitação, portanto, é fundamental a identificação do tipo de desgaste primário e secundário que atuam no ambiente de serviço.**

**Do ponto de vista da Engenharia de Superfície analisaremos a continuação alguns materiais disponíveis.**

# Materiais a serem depositados

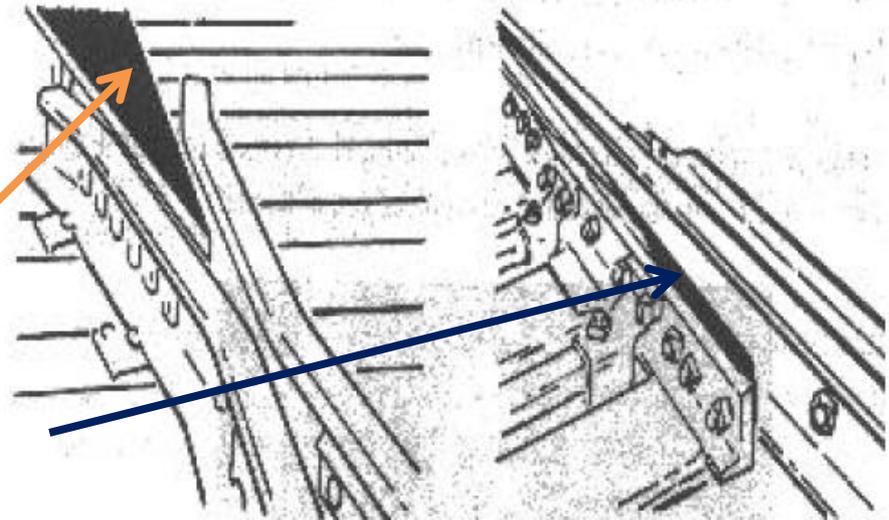
## Ligas Metálicas base ferro

**Materiais de baixa liga:** aços entre 1 e 5% de Cr , entre 0.2 e 1,0% de C e outros elementos tais como Mo, Mn, Ni e W em pequenos porcentagens.

**Materiais de alta liga:** Contém maiores conteúdos de Cr (10 a 40%) e de carbono (2 a 4 %) ► carbonetos de cromo [55Rc – 70 Rc]. Ex. Pá de escavadeira revestida com liga de elevado % de Cr e C.

**Materiais ao manganês:** Material de levada resistência ao desgaste, utilizado na atividades de mineração e ferroviário. Conhecido como aços HADFIELD que contém entre 1 e 1,4% de Carbono, e manganês entre 10 e 15%. [aço não magnético e endurece por deformação plástica]. Dureza após soldagem entre 15Rc e 25Rc e após deformação fica na faixa de 50Rc e 55Rc.

Revestimento de trilhas ferroviárias com Mn.



## Ligas não Ferrosas.

Estas ligas também conhecidas como superligas são ligas desenvolvidas para manter elevada resistência (fadiga e ruptura) a elevadas temperaturas. Estas ligas complexas tem também boa resistência à corrosão e oxidação. Em geral existem três superligas:

- Base Níquel
- Base Níquel ferro
- Base Cobalto.

**Ligas base Níquel.** O desenvolvimento destas ligas esta vinculada à necessidade de contar com materiais com características termoresistentes. Por exemplo, o desenvolvimento de turbinas aeronáuticas com maior resistência à fadiga que os aços inoxidáveis.

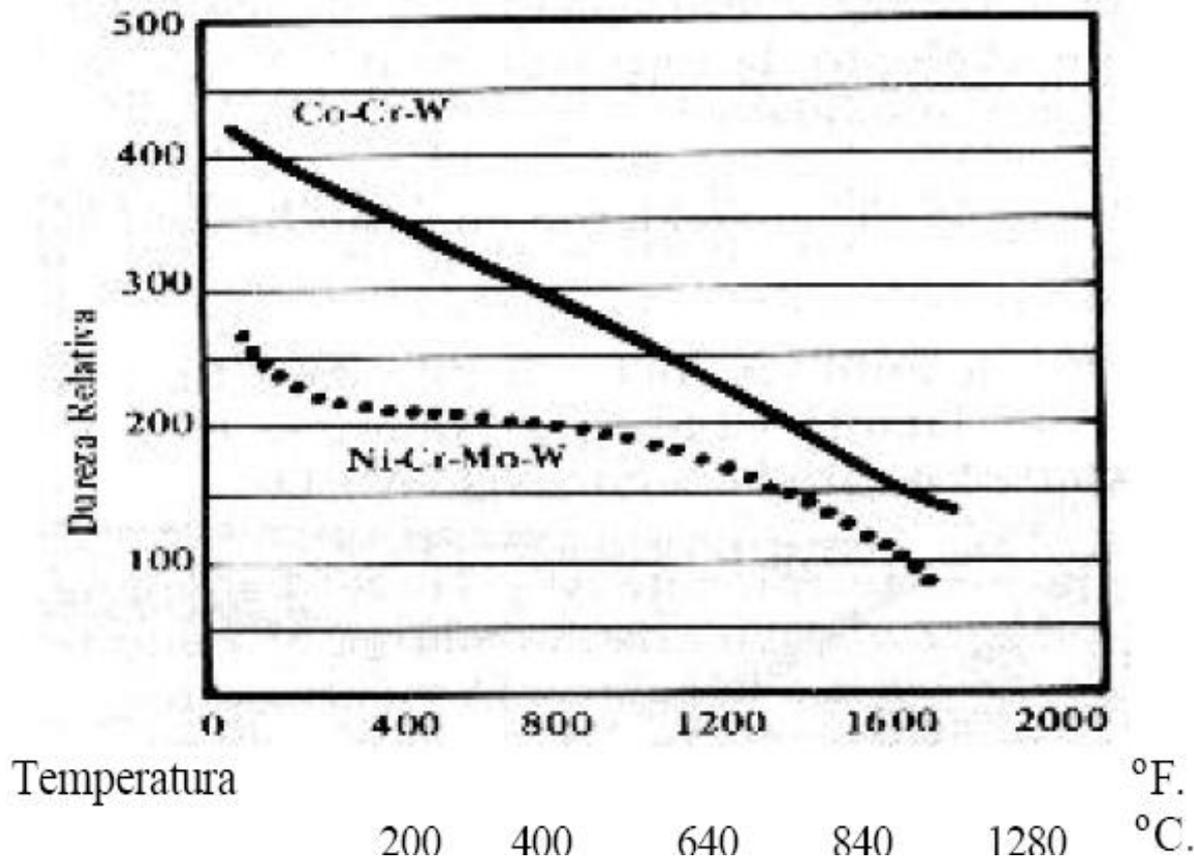
As ligas mais conhecidas são as ligas Nimonic 75 e Nimonic 80, esta última por exemplo contém 20% de Cr, adições de 2,5% de Ti e 1% de Al, permitindo a formação de precipitados do tipo  $Ni_3(Al,Ti)$ . A precipitação de Al e Ti permite o endurecimento por envelhecimento, portanto, é possível a obtenção de elevada dureza e excelente resistência à oxidação e corrosão.

Liga base Ni-Fe. Nesta superliga o ferro substitui parte do níquel (por razões de economia). Por esta razão esta superliga não pode ser utilizada a temperaturas muito elevadas. A maioria destas superligas contém de 25 a 45% de Ni e 15 até 60% de Fe, é adicionado Cr entre 15 a 28% para fornecer resistência à oxidação a elevadas temperaturas. Também encontra-se adições de Mo (1 a 1,6%) e Ti, Al e Nb, adicionados para combinar-se com o Ni e formar precipitados endurecedores.

Ligas base Cobalto. Neste grupo classifica-se os revestimentos que tem Cobalto, Cromo e Tungstênio. Caracterizam-se por manter a dureza a elevadas temperaturas.

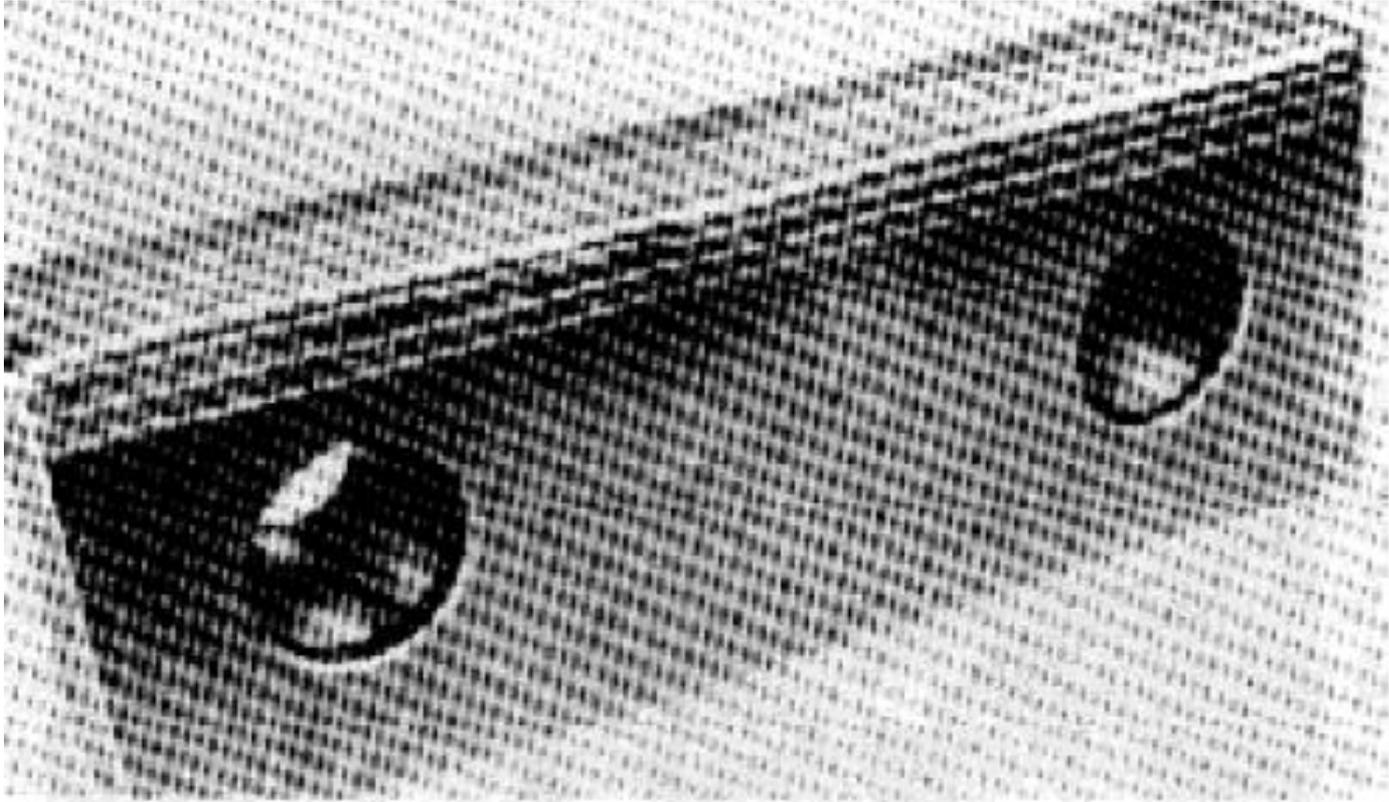
# Materiais depositados por AT e Soldagem

Existem variadas composições de superligas, onde a faixa de dureza varia de 40Rc até 55Rc. Os revestimento encontram-se na forma de varetas, eletrodos ou como pó para ser aplicado a quente ou a frio. Na figura 3 observa-se curvas comparativas das superligas base Co-Cr-W e Ni-Cr-Mo-W.



Dureza a quente para as superligas base Ni e base Co.

# Materiais depositados por AT e Soldagem



Faca de corte a quente recuperada com a superliga Co-Cr-W.

# Materiais depositados por AT e Soldagem

## Ligas de carbonetos complexos.

Este grupo esta composto por carbonetos de Tugstênio, Vanádio, Titânio, boretos, etc., sendo o mais utilizado o TiC.

Estas ligas encontram-se disponíveis para ser aplicados em vareta para ser aplicados pelo processo a chama oxi-gás (com e sem cladding), arco elétrico tubular, na forma de pó para serem depositado por plasma PTA e Aspersão Térmica.

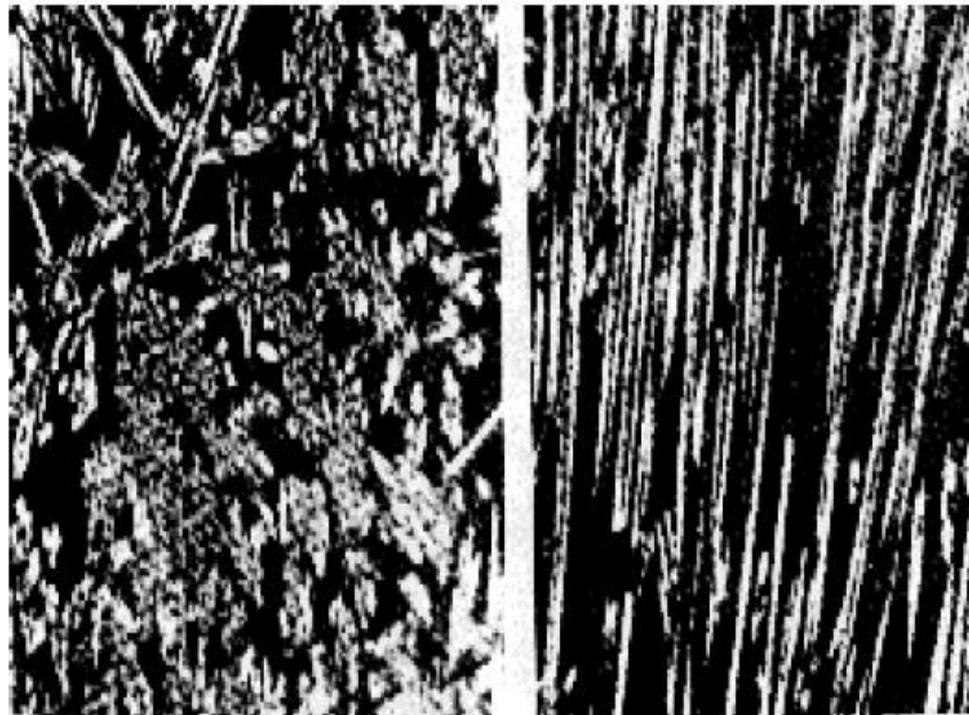


## **Aplicação de revestimentos protetores.**

Em geral, a resistência ao desgaste abrasivo aumenta com a dureza, porém a resistência, depende do tamanho, orientação, forma e densidade das fases duras, e principalmente do procedimento de deposição dos revestimentos protetores. Por exemplo, uma liga com matriz de Ni e fase dura de WC pode depositar-se através do processo a chama oxi-gás (vareta ou pó), também pode utilizar-se eletrodos e realizar o depósito através do processo com arco elétrico convencional ou pela utilização de pó com arco plasma ou aspersão térmica. No caso da aplicação de arco elétrico parte dos carbonetos podem-se dissolver e no arco voltaico reduzir o % de carbono (descarbonetação por CO ou CO<sub>2</sub>), portanto, a estrutura ficara com menor dureza. Por outro lado, ao utilizar um processo que requer menor temperatura como o processo oxi-gás, a perda de carbono é menor, restando a estrutura maior quantidade de fases duras.

## Aplicação de revestimentos protetores.

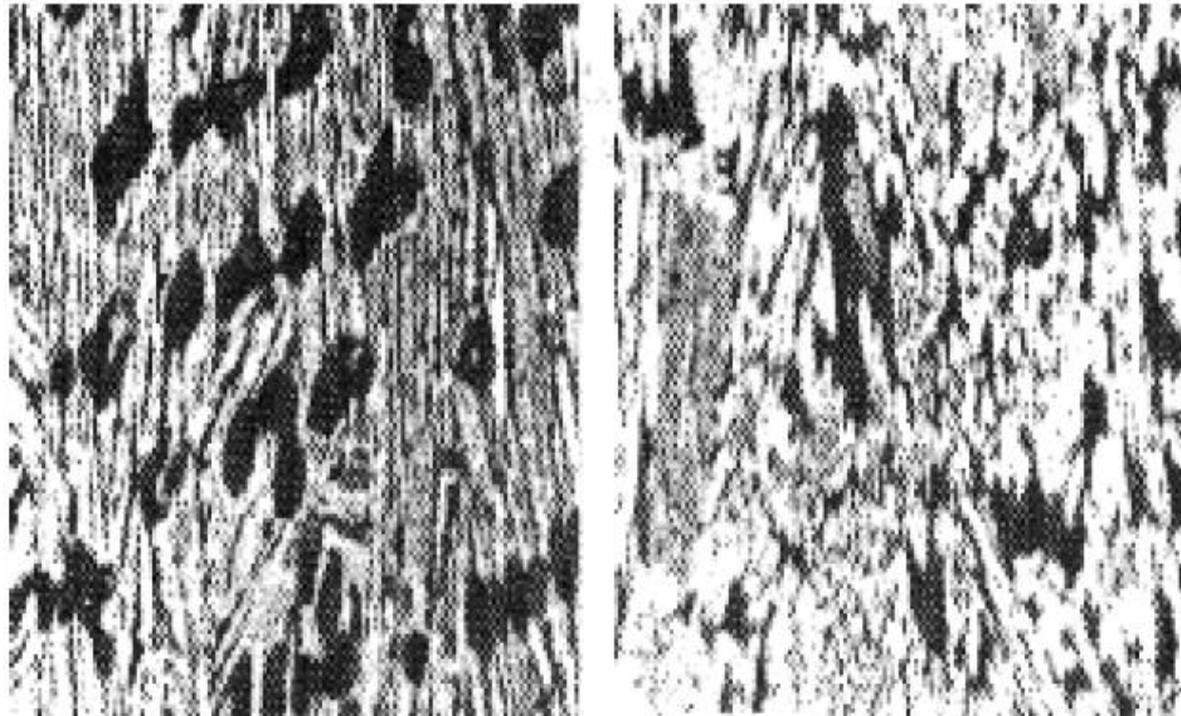
A figura 6 apresenta dois estruturas de metal depositado de composição de 5% de C e 35% de Cr e foram depositado com eletrodo de 4mm de  $\varnothing$ . As microestruturas mostram depósitos realizados com 130 A e 160 A. O revestimento depositado com menor corrente apresenta uma grande quantidade e densidade de carbonetos de pequenas dimensões. No outro em cambio, os carbonetos apresentam-se de maneira completamente distinta, ficando mais exposta a matriz.



**Figura 6.** Microestrutura de revestimentos depositados por arco elétrico com eletrodo de 4mm de  $\varnothing$ . A) corrente 130 A e B) corrente 160 A. Ataque reativo Marble. 50x.

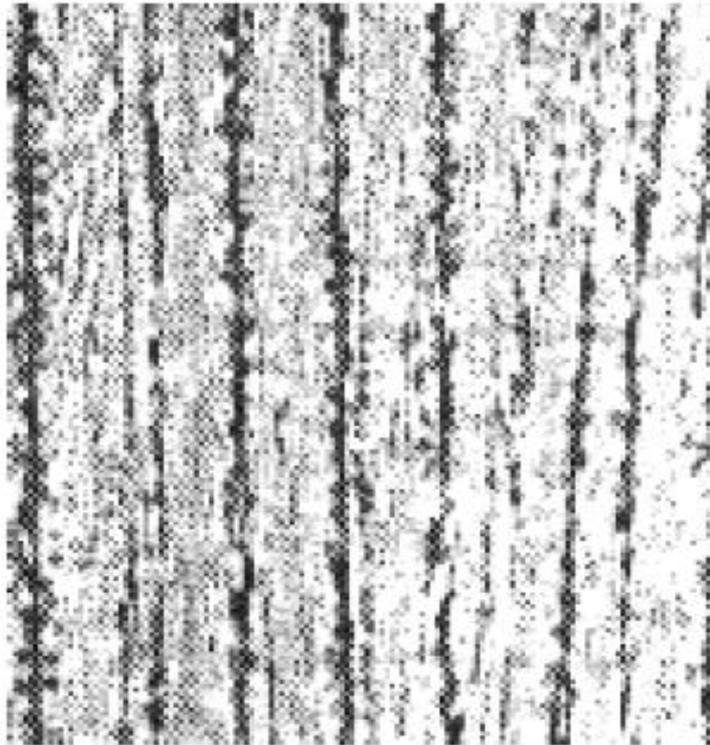
## Aplicação de revestimentos protetores.

A figura 7 mostra os efeitos produzidos para a mesma liga Fe-Cr-C, ao variar o tipo de corrente e  $\varnothing$  do eletrodo.

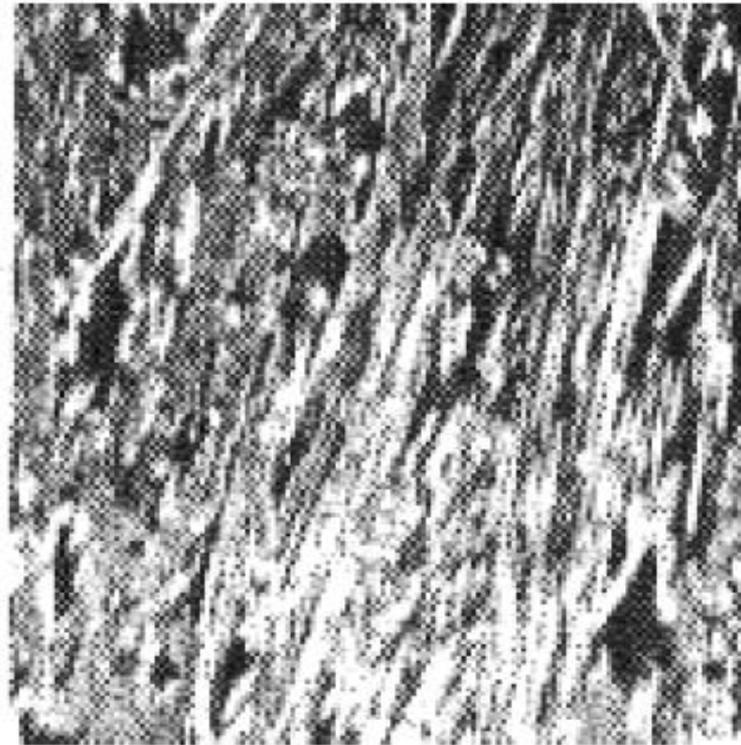


CC - densidade de carbonetos 43%       $\varnothing$  3.2 mm, 115 A.

# Aplicação de revestimentos protetores.

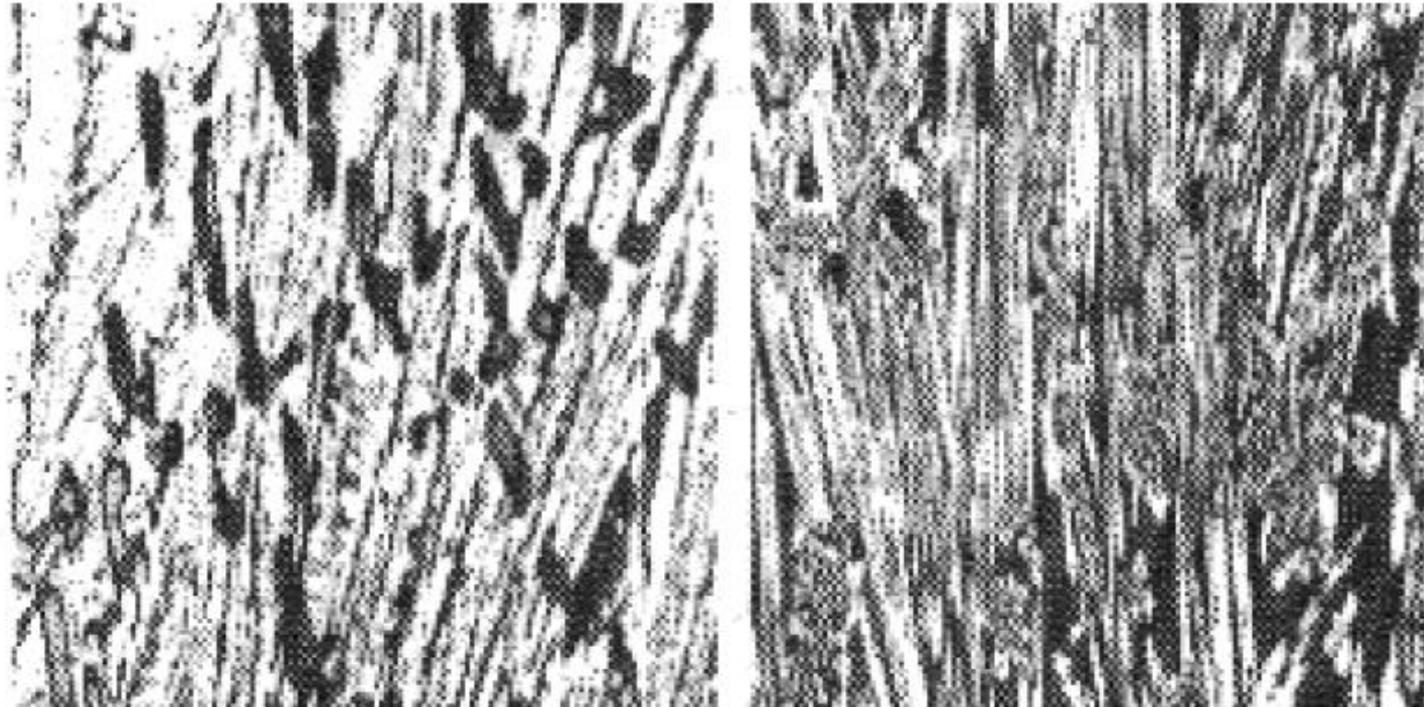


CC<sup>+</sup> densidade de carbonetos 52%



Ø 4.0 mm, 155A.

## Aplicação de revestimentos protetores.

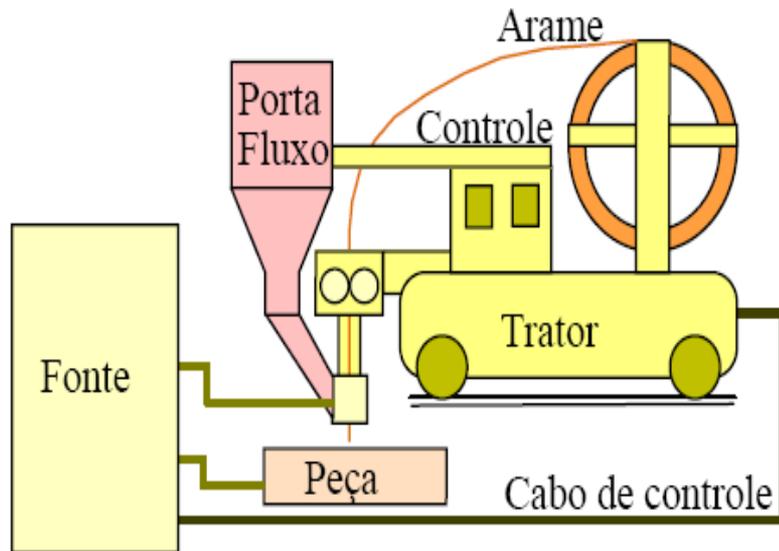
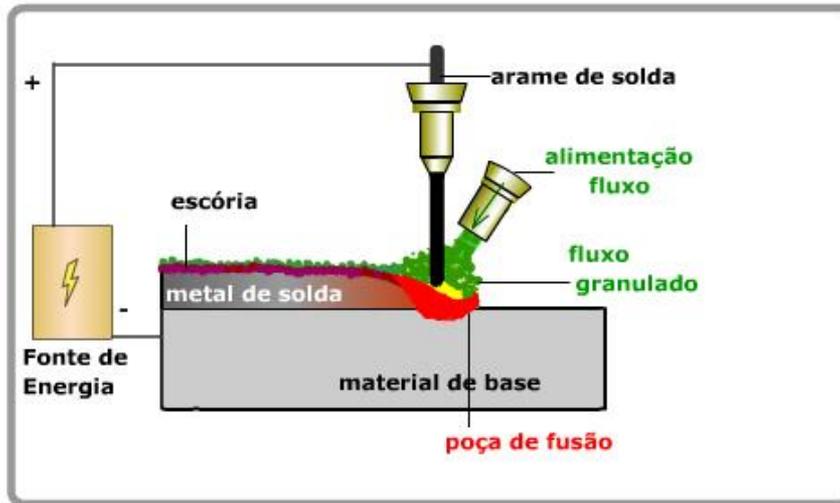


CA, densidade de carbonetos 64%       $\varnothing$  4.8 mm, 190 A.

. Microestrutura de depósitos realizados com eletrodo de 3.5% de C, 9.0% de Cr.

Destas microestruturas pode-se deduzir o efeito da polaridade,  $\varnothing$  de eletrodo e corrente de soldagem, ficando evidente as mudanças na densidade dos carbonetos de cromo na matriz de Fe-Cr-C. Neste caso, é também importante avaliar o procedimento de deposição, considerando a diluição e velocidade de soldagem, principalmente se a soldagem é multipasse.

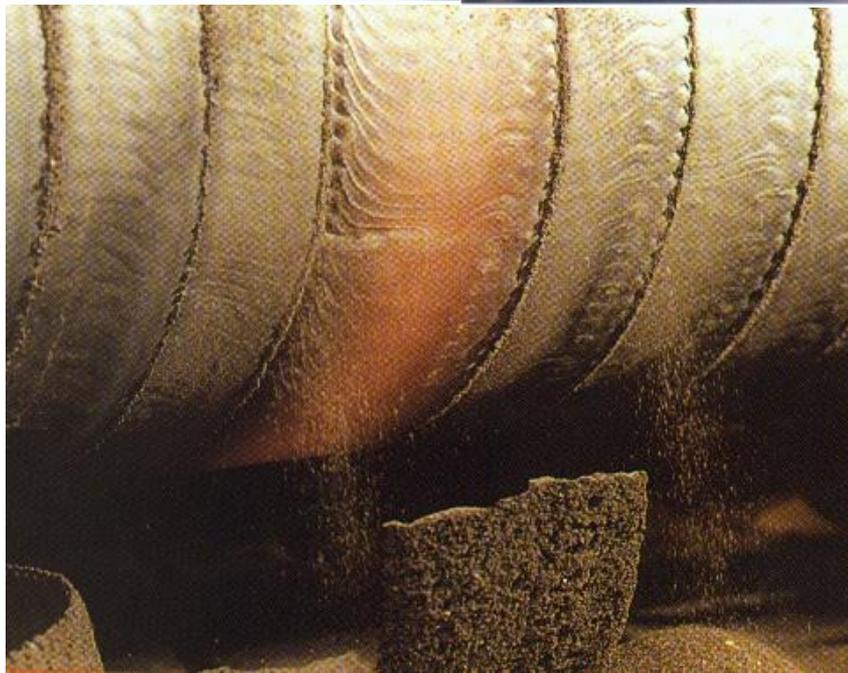
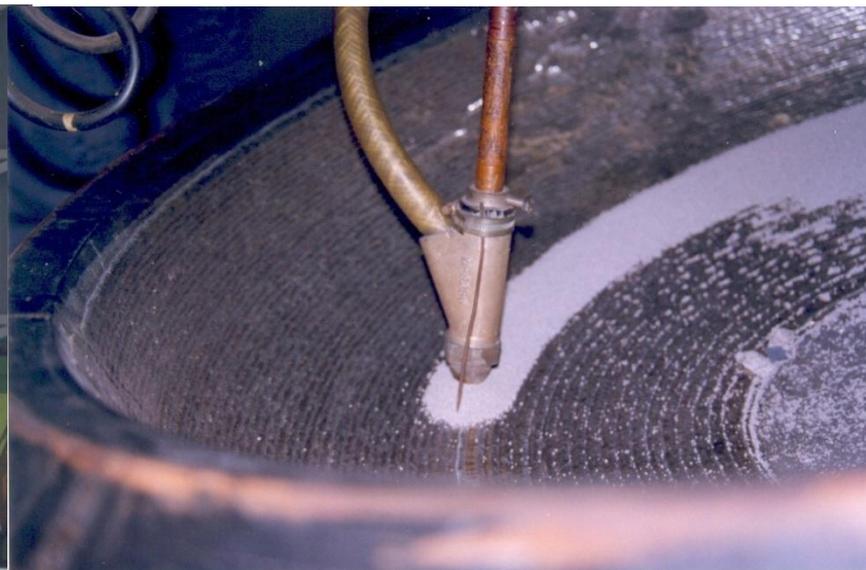
# Aplicação de Revestimentos pelo processo Arco Submerso



## Aplicação de Revestimentos pelo processo Arco Submerso



## Aplicação de Revestimentos pelo processo Arco Submerso



## Placas de desgaste por MIG tubular

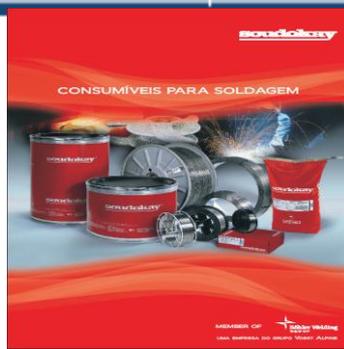


Revestimiento de placas Füller

# Arames para Placas de desgaste por MIG tubular

## PLACAS REVESTIDAS ANTI DESGASTE

Produto	Espessuras	Características
Durplate 5510	Base 6mm / revest. 4mm	Chapa com liga de CrC, resistente à abrasão / dureza 55 a 57 HRc
Durplate 5513	Base 8mm / revest. 5mm	Chapa com liga de CrC, resistente à abrasão / dureza 55 a 57 HRc
Durplate 6210	Base 6mm / revest. 4mm	Chapa com liga de CrCNbB, resistente à abrasão e calor / dureza 60 a 62 HRc
Durplate 6213	Base 8mm / revest. 5mm	Chapa com liga de CrCNbB, resistente à abrasão e calor / dureza 60 a 62 HRc
Durplate 6510	Base 6mm / revest. 4mm	Chapa com liga de CrCMoWV, resistente à abrasão e calor / dureza 60 a 62 HRc
Durplate 6513	Base 8mm / revest. 5mm	Chapa com liga de CrCMoWV, resistente à abrasão e calor / dureza 60 a 62 HRc
Durplate TiC 10	Base 6mm / revest. 4mm	Chapa com liga rica em TiC resistente a impacto e abrasão / dureza 55HRc
Durplate TiC 13	Base 8mm / revest. 5mm	Chapa com liga rica em TiC resistente a impacto e abrasão / dureza 55HRc
Durplate 5010	Base 6mm / revest. 4mm	Chapa com liga de CrC resistente a impacto e abrasão / dureza 48 a 50 HRc
Durplate 5013	Base 8mm / revest. 5mm	Chapa com liga de CrC resistente a impacto e abrasão / dureza 48 a 50 HRc
Durplate OA10	Base 6mm / revest. 4mm	Chapa com liga de WC resistente à abrasão severa / dureza 70 HRc
Durplate OA13	Base 8mm / revest. 5mm	Chapa com liga de WC resistente à abrasão severa / dureza 70 HRc

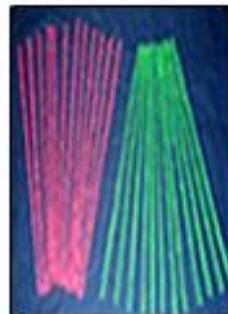


# Produtos de Carboneto de Tungstênio Sinterizado

PRODUTOS COM CARBONETO DE TUNGSTÊNIO SINTERIZADO		
Produto	Descrição	Utilização
Durmat CS	Vareta para solda oxiacetilênica composta de partículas de Carboneto de Tungstênio uniformemente distribuídos em uma matriz de base alpaca.	Sua utilização principal está na área de petróleo, em ferramentas especiais para desobstrução de poços profundos, assim como no corte de carcaças de navios, submarinos etc.
Durmar CS Ni	Vareta para solda oxiacetilênica composta de partículas de Carboneto de Tungstênio uniformemente distribuídos em uma matriz de base níquel.	Sua utilização principal está na área de petróleo, em ferramentas especiais para desobstrução de poços profundos, assim como em equipamentos sujeitos a abrasão severa acompanhada de corrosão etc.
Durmat A Br	Vareta tubular para solda oxiacetilênica, composta de um tubo metálico cheio de partículas de Carboneto de Tungstênio sinterizado. (STC)	Utilizado na soldagem de partes sujeitas à abrasão elevada, tais como raspadores de fundição, pás de misturadores etc.
Durmat E Br	Eletrodo tubular para solda elétrica, composta de um tubo metálico cheio de partículas de Carboneto de Tungstênio sinterizado. (STC)	Utilizado na soldagem de partes sujeitas à abrasão elevada, tais como raspadores de fundição, pás de misturadores etc.
Durmat Super 70 Br	Eletrodo tubular com revestimento extrudado, com 65% de Carboneto de Tungstênio sinterizado. (STC)	Utilizado no revestimento de partes sujeitas à abrasão elevada, tais como pentes de moendas, partes de marombas etc.
Durmac WC IV	Partículas de Carboneto de Tungstênio sinterizado, classificado em diversas granulometrias. (STC)	Confecção de ferramentas especiais para emprego na indústria, agricultura etc.
Durmat WC Pasta	Liga em pasta, rica em partículas finas de Carboneto de Tungstênio sinterizado, para aplicação por braçagem.	Revestimento de peças sujeitas à abrasão.

# Produtos de Carboneto de Tungstênio Fundido

PRODUTOS COM CARBONETO DE TUNGSTÊNIO FUNDIDO		
Produto	Descrição	Utilização
Durmat A	Vareta tubular para solda oxiacetilênica, composta de um tubo metálico cheio de partículas de Carboneto de Tungstênio fundido. (FTC)	Utilizado na soldagem de partes sujeitas a abrasão elevada, tais como raspadores de fundição, pás de misturadores etc.
Durmat E	Eletrodo tubular para solda elétrica, composta de um tubo metálico cheio de partículas de Carboneto de Tungstênio fundido. (FTC)	Utilizado na soldagem de partes sujeitas a abrasão elevada, tais como raspadores de fundição, pás de misturadores etc.
Durmat NIA	Vareta tubular para solda oxiacetilênica ou Tig, composta de um tubo de níquel, com um fluxo interno rico em partículas de Carboneto de Tungstênio fundido. (FTC)	Utilizado no revestimento de peças sujeitas à abrasão severa com ou sem corrosão associada, tais como, contra facas em fábricas de papel de celulose, raspadores de fundição etc.
Durmat NISE	Eletrodo tubular para solda elétrica composta de um tubo de níquel, com um fluxo interno rico em partículas de Carboneto de Tungstênio fundido. (FTC)	Utilizado no revestimento de peças sujeitas à abrasão severa com ou sem corrosão associada, tais como, contra facas em fábricas de papel de celulose, raspadores de fundição, bagaceiras, pentes etc.
Durmat B	Fio de níquel flexível, revestido com um fluxo rico em Carboneto de Tungstênio fundido para solda oxiacetilênica ou Tig.	Utilizado no revestimento de peças sujeitas à abrasão severa com ou sem corrosão associada, tais como, contra facas em fábricas de papel de celulose, raspadores de fundição, bagaceiras, pentes etc.
Durmat BK	Fio de níquel flexível, revestido com um fluxo rico em Carboneto de Tungstênio fundido esférico para solda oxiacetilênica ou Tig.	Utilizado no revestimento de peças sujeitas à abrasão severa com ou sem corrosão associada, tais como, contra facas em fábricas de papel de celulose, raspadores de fundição, peças da área de petróleo etc.



# Aplicações de revestimentos por MAG Tubular

Revestimento de hélice de maromba



Revestimento de pá de misturador



Revestimento de moinho de rolos



Revestimento rotor hidrapulper



# Aplicações de Revestimentos

Revestimento de facas de trituradores



TIG vareta

Arco submerso – arame elevado  
Manganês



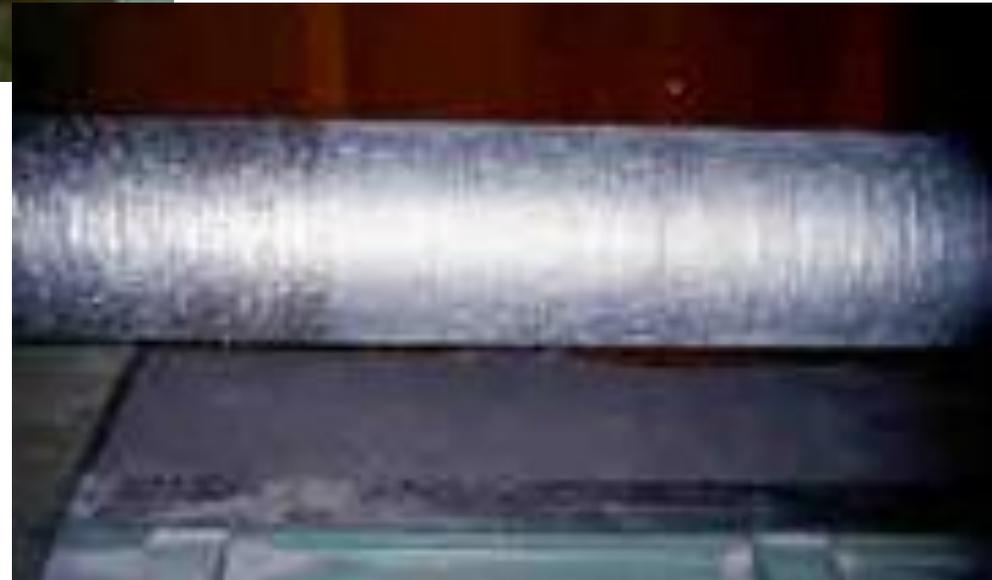
Revestimento em Cilindro  
de gráfica

# Aplicações de Revestimentos

## Cilindros laminadores



**Arco submerso + usinagem  
+ aspersão térmica HVOF +  
usinagem com retifica**



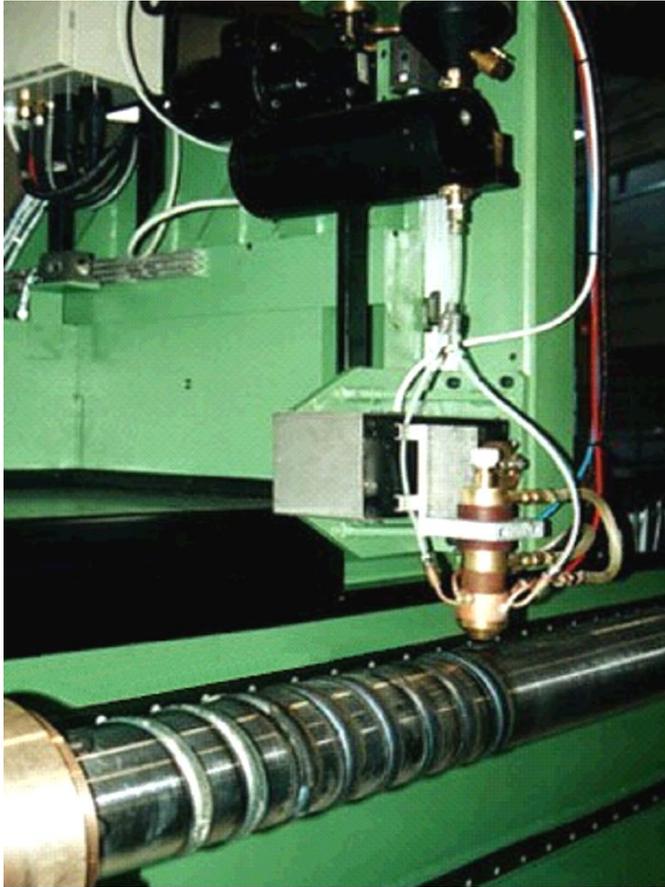
# Revestimientos depositados por Plasma PTA



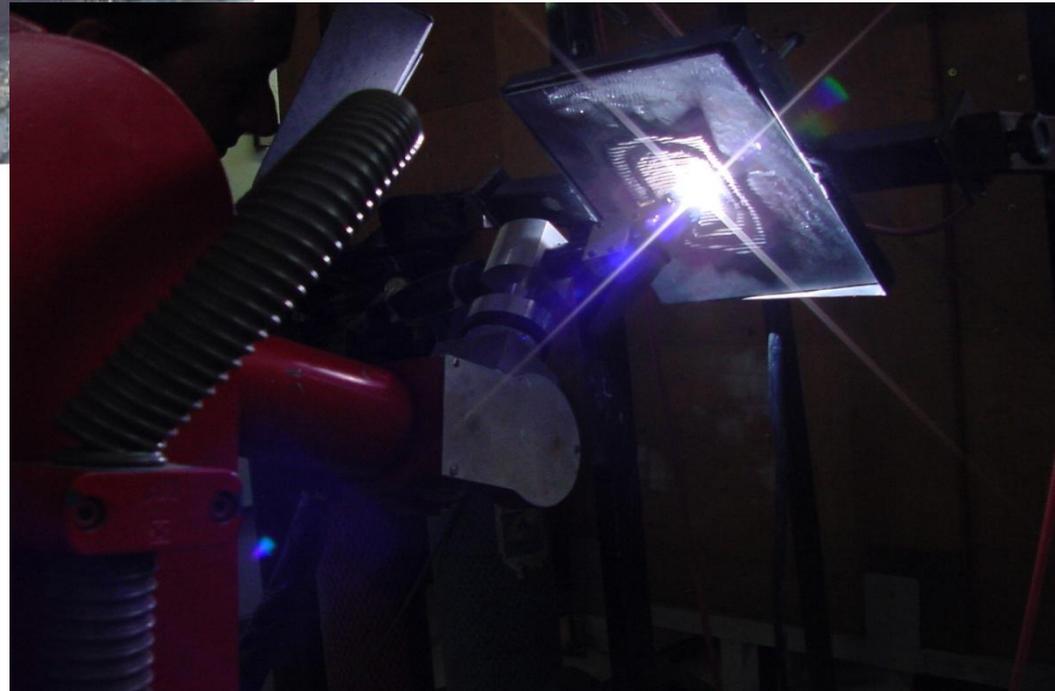
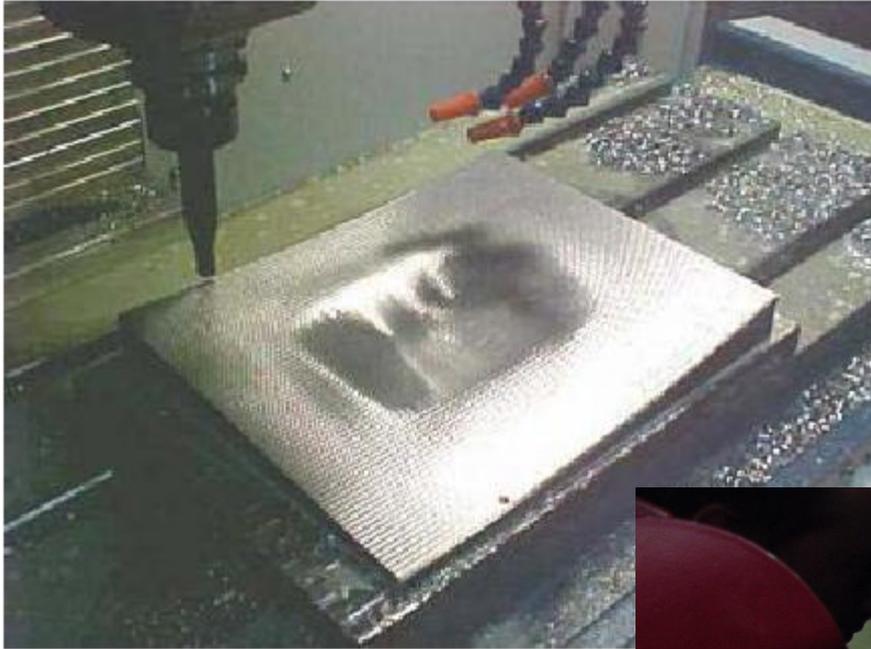
# Revestimientos depositados por Plasma PTA



## Revestimentos depositados por Plasma PTA



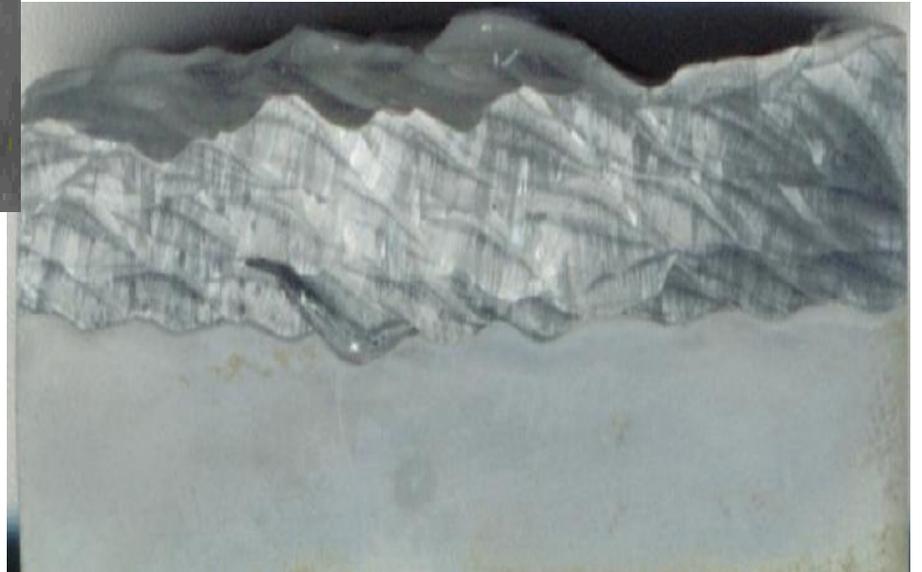
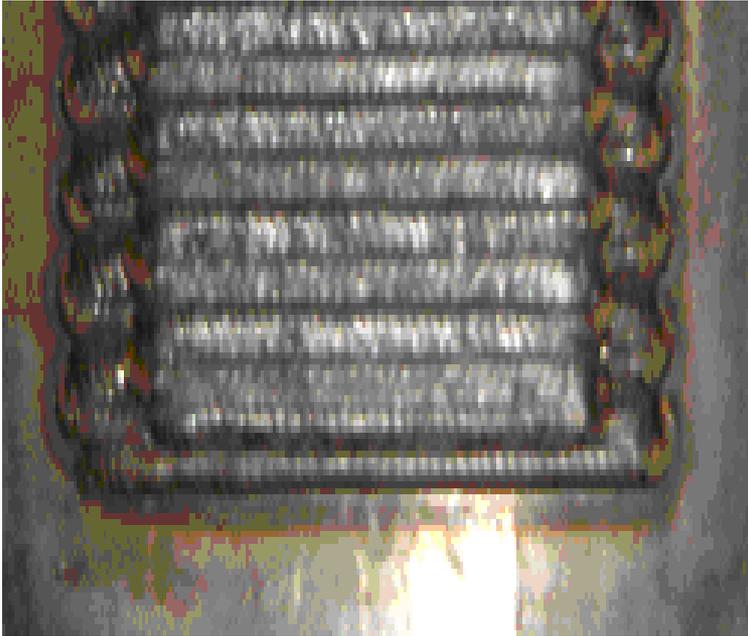
# Desenvolvimento Robô + Pta + Revestimento Turbinas UFSC + UFPR + LACTEC



# Desenvolvimento Robô + Pta + Revestimento Turbinas UFSC + UFPR + LACTEC



# Deposição revestimento resistente à cavitação com amantegamento



# Revestimento interno de INCONEL depositado por TIG

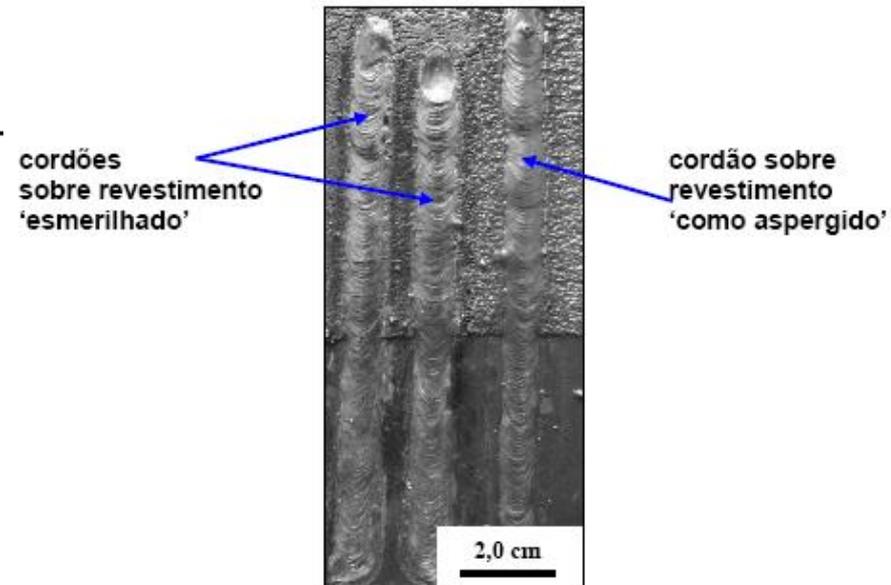
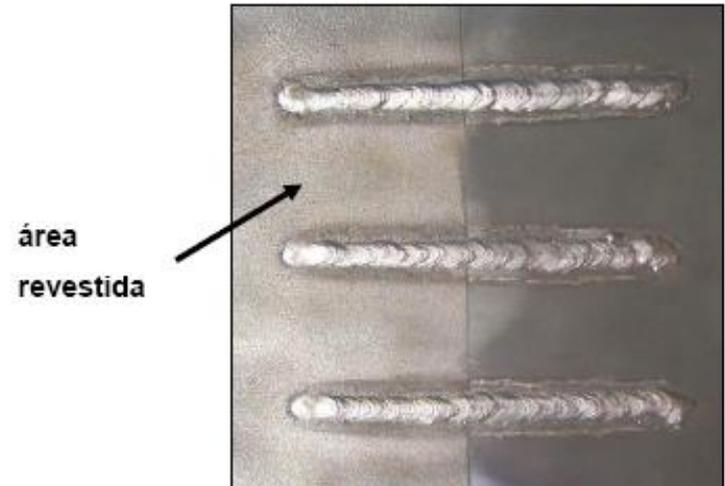
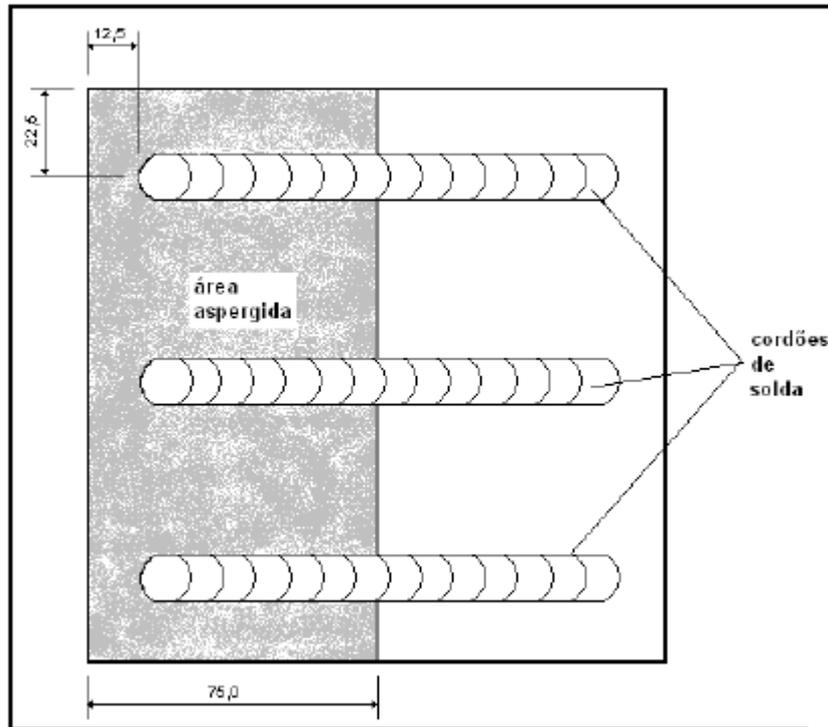


TIG automatizado com alimentação de arame INCONEL

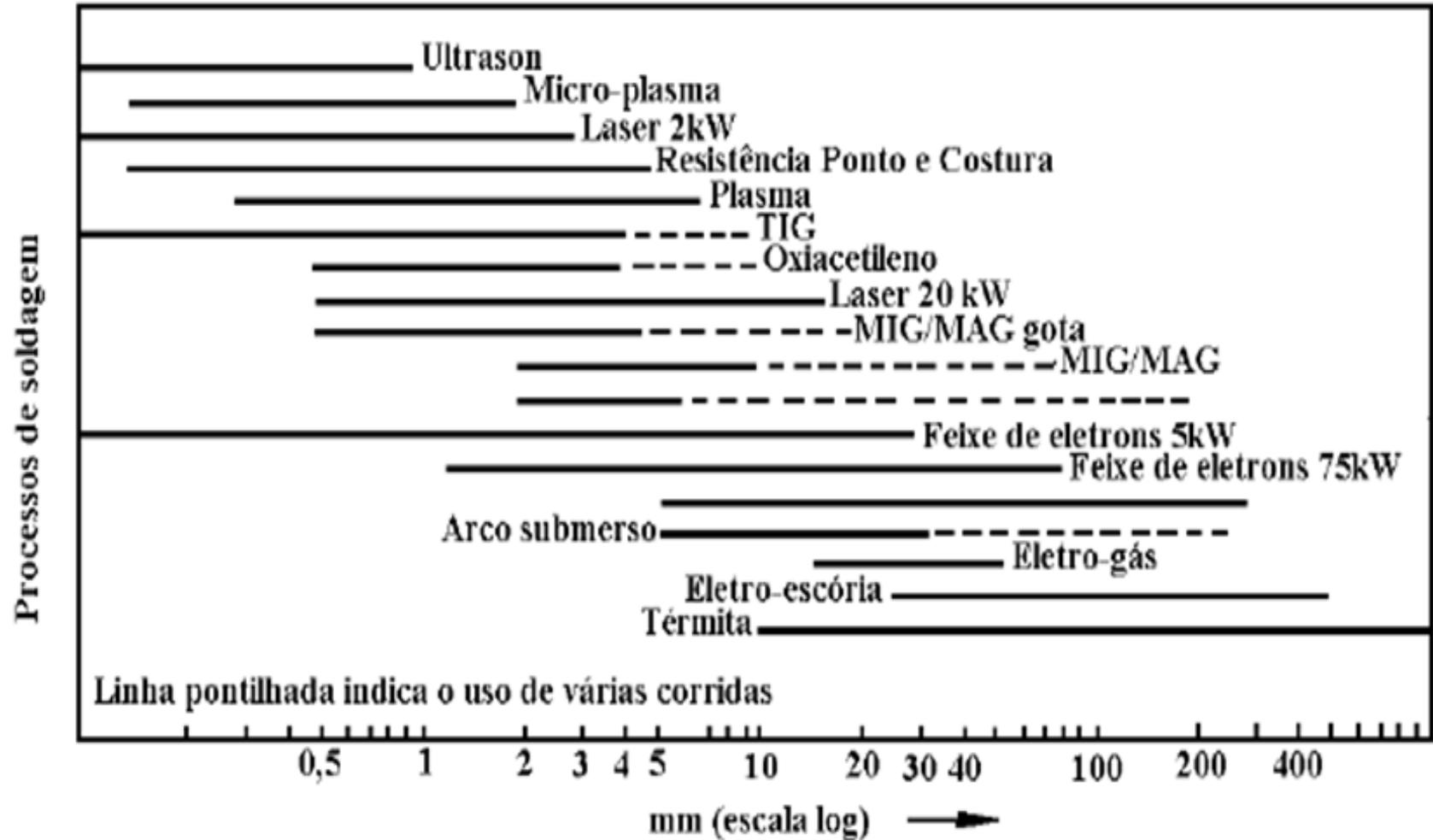
# Revestimento Matriz Injeção Plástico P50 – MIG MAG



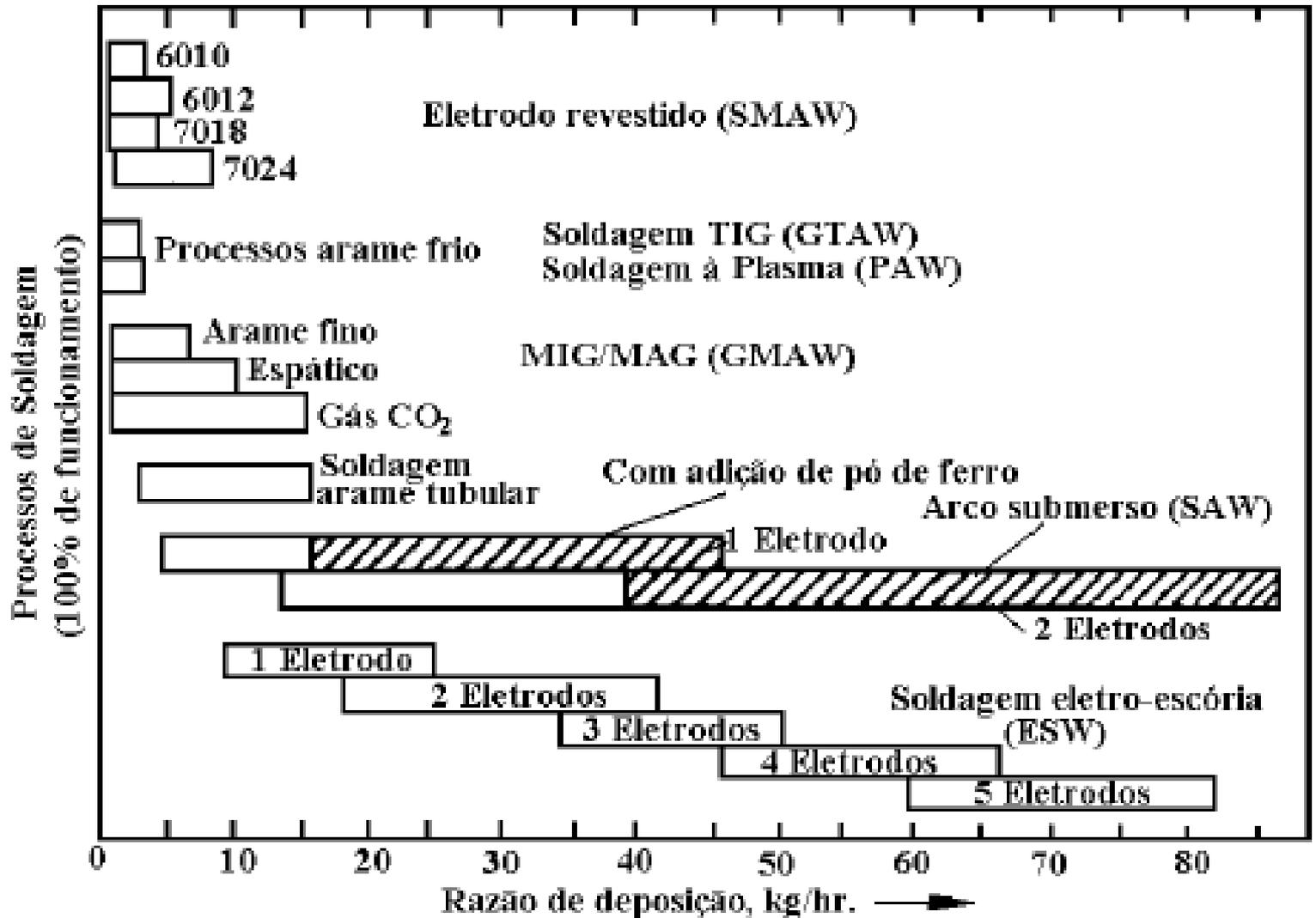
# Aspersão Térmica + Soldagem



# Seleção do processo de aplicação de revestimentos



## Tipo de Processo x Taxa de deposição



# Guia básica de seleção de ligas para revestimentos duros

Condições de serviço	Materiais para recobrimento duro
Escorregamento metal-metal; altas tensões de contato	Stellite 1, ligas Tribaloy
Escorregamento metal-metal; baixas tensões de contato	Aços de baixa liga para recobrimento duro
Escorregamento metal-metal combinado com corrosão e oxidação	Ligas à base de cobalto ou à base de níquel, dependendo da agressividade do ambiente
Abrasão sob baixa tensão; erosão por colisão de partículas com pequeno ângulo	Ferros fundidos de alta liga
Abrasão severa sob baixa tensão, retenção do gume	Materiais com altos teores de carbonetos
Erosão por cavitação e por colisão	Ligas à base de cobalto
Choques mecânicos intensos	Aços-manganês de alta liga
Choques mecânicos intensos combinados com corrosão ou oxidação	Stellite 21. Stellite 6
Abrasão por sulcamento Descamação	Aços – manganês austeníticos Stellite 21, Stellite 6, Tribaloy T-400, Tribaloy T-800
Estabilidade térmica e/ou resistência à fluência à altas temperaturas	Ligas à base de cobalto, ligas de níquel com carbonetos

FIM.....