

SELEÇÃO E APLICAÇÃO (POR ASPERSÃO TÉRMICA) DO ALUMÍNIO, ZINCO E SUAS LIGAS COMO REVESTIMENTO ANTICORROSIVO

Procedimento

CONTEC

Comissão de Normas

Técnicas

SC - 26

Soldagem

Cabe à CONTEC - Subcomissão Autora, a orientação quanto à interpretação do texto desta Norma. O Órgão da PETROBRAS usuário desta Norma é o responsável pela adoção e aplicação dos itens da mesma.

Requisito Mandatório: Prescrição estabelecida como a mais adequada e que deve ser utilizada estritamente em conformidade com esta Norma. Uma eventual resolução de não segui-la ("não-conformidade" com esta Norma) deve ter fundamentos técnico-gerenciais e deve ser aprovada e registrada pelo Órgão da PETROBRAS usuário desta Norma. É caracterizada pelos verbos: dever, ser, exigir, determinar e outros verbos de caráter impositivo.

Prática Recomendada (não-mandatória): Prescrição que pode ser utilizada nas condições previstas por esta Norma, mas que admite (e adverte sobre) a possibilidade de alternativa (não escrita nesta Norma) mais adequada à aplicação específica. A alternativa adotada deve ser aprovada e registrada pelo Órgão da PETROBRAS usuário desta Norma. É caracterizada pelos verbos: recomendar, poder, sugerir e aconselhar (verbos de caráter não-impositivo). É indicada no texto pela expressão: **[Prática Recomendada]**.

Cópias dos registros das "não-conformidades" com esta Norma, que possam contribuir para o aprimoramento da mesma, 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, o item a ser revisado, a proposta de redação e a justificativa técnico-econômica. As propostas são apreciadas durante os trabalhos para alteração desta Norma.

Apresentação

As normas técnicas PETROBRAS são elaboradas por Grupos de Trabalho – GTs (formados por especialistas da Companhia e das suas Subsidiárias), são comentadas pelos Representantes Locais (representantes das Unidades Industriais, Empreendimentos de Engenharia, Divisões Técnicas e Subsidiárias), são aprovadas pelas Subcomissões Autoras – SCs (formadas por técnicos de uma mesma especialidade, representando os Órgãos da Companhia e as Subsidiárias) e aprovadas pelo Plenário da CONTEC (formado pelos representantes das Superintendências dos Órgãos da Companhia e das suas Subsidiárias, usuários das normas). Uma norma técnica PETROBRAS está sujeita a revisão em qualquer tempo pela sua Subcomissão Autora e deve ser reanalisada a cada 5 (cinco) anos para ser reaprovada, revisada ou cancelada. As normas técnicas PETROBRAS são elaboradas em conformidade com a norma PETROBRAS N-1. Para informações completas sobre as normas técnicas PETROBRAS, ver Catálogo de Normas Técnicas PETROBRAS.

N-2568			FEV / 96
---------------	--	--	-----------------

1 OBJETIVO

1.1 Esta Norma fixa as condições exigíveis e práticas recomendadas para a seleção e aplicação do alumínio, zinco e suas ligas (pelo processo de aspersão térmica com arame sólido), utilizando os processos a chama ou a arco, em estruturas metálicas fabricadas de aço submetidas à corrosão por meio aquoso, corrosão atmosférica ou corrosão a alta temperatura.

1.2 Esta Norma se aplica ao processo de metalização por aspersão térmica durante a montagem e manutenção de tubulações e equipamentos.

2 DOCUMENTOS COMPLEMENTARES

Os documentos relacionados a seguir são citados no texto e contêm prescrições válidas para a presente Norma.

2.1 Referências Normativas

PETROBRÁS N-5	- Limpeza de Superfícies de Aço com Solventes;
PETROBRÁS N-9	- Limpeza de Superfícies de Aço com Jato Abrasivo;
PETROBRÁS N-2135	- Determinação da Espessura de Películas Secas de Tintas;
ABNT NBR 5734	- Peneiras para Ensaio;
ANSI/AWS-C-2.16	- Guide for Thermal Spray Operator Qualification;
ANSI/AWS-C-2.18	- Guide for the Protection of Steel with Thermal Sprayed Coatings of Aluminum and Zinc and Their Alloys and Composites;
ASTM-C-633	- Adhesive or Cohesive Strength of Flame Sprayed Coatings;
ASTM-D-4285	- Standard Test Method for Indicating Oil and Water in Compressed Gas;
ASTM-D-4541	- Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers;
BS-4479 Part 7	- Design of Articles That Are to Be Coated - Recommendations for Thermally Sprayed Coatings;
BS-4950	- Specification for Sprayed and Fused Metal Coatings for Engineering Purposes;
BS-5493	- Protective Coatings of Iron and Steel Substrates Against Corrosion;
CSA-G-189	- Sprayed Metal Coatings for Atmospheric Corrosion Protection;
DIN-8567	- Preparation of Surfaces of Metal Workpieces and Building Elements for Thermal Spraying;
DIN-55928 (Part 4)	- Corrosion Protection of Steel Structures by the Application of Organic or Metallic Coatings (Preparation of Testing of Surfaces);

ISO-1463	- Metallic and Oxid Coatings - Measurement of Coating Thickness Microscopical Method;
ISO-2063	- Metallic and Other Inorganic Coating Thermal Spraying - Zinc, Aluminium and Their Alloys;
ISO-2178	- Measurement of Coating Thickness - Magnetic Method;
ISO-8503	- Preparation of Steels Substrates Before Application of Paints and Related Products (Parts 1, 2 e 4);
MIL-STD-2138a(SH)	- Guide for Thermal Spray Operator Qualification;
SIS-055900	- Pictorial Surface Preparation Standards for Painting Steel Surfaces.

3 DEFINIÇÕES

Para os fins desta Norma são adotadas as definições a seguir:

3.1 Corrosão

Deterioração de um metal devido ao efeito da reação com o seu meio. Os tipos normalmente encontrados na PETROBRAS são: corrosão tipo atmosférica, em meio aquoso e a alta temperatura.

3.1.1 Corrosão Atmosférica

Designa-se genericamente como corrosão atmosférica os processos corrosivos em estruturas aéreas podendo ser encontrada em atmosfera salina ou contendo contaminantes industriais.

3.1.2 Corrosão em Meio Aquoso

Designa-se como corrosão aquosa o processo corrosivo envolvendo a presença de água ou vapor úmido, podendo haver a presença de gases dissolvidos potencialmente ácidos como o H₂S.

3.1.3 Corrosão a Alta Temperatura

Designa-se como corrosão a alta temperatura (corrosão química ou oxidação a altas temperaturas) os processos corrosivos na ausência de meio aquoso ou vapor d'água, em temperaturas sempre acima do ponto de orvalho.

3.2 Preparo da Superfície

A superfície a ser aspergida termicamente deve receber uma limpeza anterior que deve consistir das seguintes etapas: pré-limpeza e jateamento abrasivo (obtenção de grau Sa 3 e rugosidade determinada).

3.2.1 Pré-Limpeza da Superfície

Etapa de remoção de lama, corrosão, restos de revestimentos, incrustações insolúveis, borras e particulados grosseiros através processos mecânicos (hidrojateamento ou jateamento abrasivo), processos químicos (desengraxamento, decapagem ácida) ou processos térmicos (queima, chama direta, atmosfera redutora).

3.2.2 Limpeza Final

Etapa de preparação da superfície pelo processo de jateamento abrasivo de forma a eliminar produtos que impeçam o contato entre o revestimento e o substrato. A superfície deve atingir qualidade de limpeza Sa 3 e rugosidade determinada.

3.2.3 Rugosidade do Substrato

Condição da superfície que permita a aderência do revestimento ao substrato.

3.2.4 Preaquecimento

O preaquecimento da superfície durante a sua pré-limpeza é na realidade uma limpeza pela ação da chama e tem como objetivo proporcionar a queima e volatilização de graxas, óleos e umidades retidos junto ao substrato metálico, na hipótese de falha dos outros métodos de limpeza. Pode ser utilizado também após a limpeza final de modo a reduzir as tensões residuais (as quais influenciam a aderência e coesão da camada) e remover qualquer umidades residual. Os valores de temperatura de pré-aquecimento dependem ainda do material da camada, do tipo de substrato e de suas propriedades físicas.

3.3 Aspersão Térmica

Processo de deposição de materiais (metálicos ou não) no qual os mesmos são fundidos em uma fonte de calor gerada no bico de uma pistola apropriada, por meio de combustão de gases ou arco elétrico (aspersão térmica a chama e a arco) transportados em alta velocidade contra o substrato metálico por via gasosa.

3.3.1 Processo de Aspersão Térmica a Chama Convencional - FS

Processo que utiliza o arame ou pó como consumível onde os gases de combustão são o oxigênio e o acetileno. Processo caracterizado por atingir temperaturas entre 2200 e 2800°C, velocidades de impacto de partícula na faixa de 30 a 180 m/s, tensão de aderência média, entre 15 a 20% de porosidade e 4 a 15% de óxidos.

3.3.2 Processo a Arco Elétrico - ASP

Processo que utiliza arame como consumível. É caracterizado por atingir temperaturas de 4000 a 6000°C, velocidades de impacto de partícula entre 100 a 250 m/s, tensão de aderência alta, entre 10 a 15% de porosidade e 10 a 20% de óxidos.

3.4 Pistola de Aspersão Térmica

Dispositivo apropriado que gera o calor necessário à fusão do material de deposição e que permite direcionar e controlar o jato do material fundido para a superfície a ser revestida.

3.5 Equipe de Aspersão Térmica

Conjunto de pessoas que possuam qualificação mínima para operarem os equipamentos de jateamento e/ou aspersão térmica.

3.6 Revestimento Aplicado por Aspersão Térmica (RAAT)

Áreas contíguas ou não que tenham sido jateadas e revestidas por uma equipe dentro de uma jornada de trabalho.

3.7 Camada

Espessura de revestimento aplicado por vários passes (com adequada sobreposição) revestindo uma área previamente delimitada.

3.8 Passe

Espessura de revestimento aplicado por pistola de aspersão térmica manuseando-se a mesma continuamente (sem descontinuidade operacional) e em uma única direção.

3.9 Características das Camadas Depositadas por Aspersão Térmica

3.9.1 Aderência

É a resistência mecânica de um revestimento efetuado por aspersão térmica compreendendo a aderência entre a camada e o substrato, bem como a coesão entre as partículas depositadas.

3.9.2 Teor de Óxidos

A presença de óxidos na camada depositada reduz a aderência e a resistência a corrosão, porém é intrínseca a qualquer dos dois processos.

3.9.3 Teor de Porosidade

A presença de porosidade é inerente ao processo de deposição de materiais por aspensão térmica afetando as propriedades físicas, como condutividade elétrica e térmica, além de reduzir a coesão e aderência das camadas ao substrato. Quando a porosidade é passante e interconectada tem-se uma redução da resistência a corrosão.

3.9.4 Selagem

A selagem é um dos tratamentos realizados em camadas depositadas por aspensão térmica para lhes conferir melhores características, principalmente no que concerne a resistência a corrosão pelo preenchimento da porosidade residual. Os selantes são basicamente resinas sintéticas.

3.9.5 Espessura da Camada

É especificada em função do tempo de exposição do revestimento em um determinado ambiente corrosivo.

3.9.6 Formação de Camadas Intermetálicas

A deposição do alumínio em aços pode, a depender do processo de aplicação ou de tratamento térmico posterior (normalmente acima de 600°C), formar junto com o ferro um composto intermetálico que aumenta a resistência a corrosão.

3.9.7 Dureza

Propriedade da camada depositada que pode ser correlacionada com outras propriedades como resistência ao desgaste, fadiga e corrosão.

4 REQUISITOS DE SEGURANÇA

4.1 Gases para Aspensão Térmica

4.1.1 Inspeccionar todos os equipamentos regularmente atentando para vazamentos e conexões soltas.

4.1.2 Os cilindros carregados devem ser mantidos afastados de qualquer fonte de calor. Deve-se evitar também o seu tombamento. Quando os cilindros não estiverem sendo usados deve-se manter o gás fechado assim como colocar protetores nas válvulas.

4.1.3 Não pendurar a pistola de aspersão térmica no regulador ou na válvula do cilindro. Providenciar um local de fácil acesso para estocagem dos equipamentos.

4.1.4 Providenciar ventilação adequada da área de trabalho antes de abrir qualquer das válvulas de gás. Nenhum local deve ser considerado como limpo ou seguro antes de uma certificação de um inspetor de segurança.

4.1.5 Nunca apontar a mangueira de gás ou ar ou qualquer outro item pressurizado contra o corpo humano.

4.2 Precauções durante o Jateamento

4.2.1 Cuidados devem ser tomados antes do jateamento caso se tenha risco de fogo ou explosão. Se a estrutura a ser jateada estiver contaminada com materiais inflamáveis deve-se purgar os elementos perigosos. Antes de iniciar o trabalho de jateamento o local deve ser liberado pelo inspetor de segurança.

4.2.2 Durante o jateamento deve ser providenciada proteção adequada para o rosto, olhos, pescoço e queixo do jatista devido às partículas abrasivas.

4.2.3 Óculos de proteção devem ser usados por todas as pessoas próximas ao serviço de jateamento.

4.2.4 A mangueira da pistola de jateamento deve ser aterrada para dissipar cargas estáticas.

4.2.5 Nunca apontar a pistola de jateamento contra qualquer parte do corpo humano.

4.3 Pistola de Aspersão Térmica

4.3.1 As pistolas de aspersão térmica devem ser mantidas de acordo com as especificações do fabricante.

4.3.2 Não acenda a pistola de aspersão térmica sem que o arame esteja no bico. Caso contrário a chama pode se mover para dentro do guia do arame, danificando o bocal, o guia, seus rolamentos e causando danos ao operador.

4.3.3 Não usar fósforos para acender a pistola de aspersão térmica já que existe o risco de se queimarem as mãos. É prática recomendada o uso de acendedores por fricção ou iniciadores de arco.

4.4 Redução dos Riscos Respiratórios

4.4.1 Um sistema de exaustão positivo deve ser providenciado em trabalhos de aspersão térmica em áreas fechadas. Para evitar os efeitos tóxicos ou de irritação gerados por fumos, sujeira ou névoa, devido a aspersão térmica, as instalações devem ter dispositivos e EPI (Equipamento de Proteção Industrial) adequados para respiração e circulação de ar.

4.4.2 No caso de os operadores apresentarem desconfortos respiratórios (náuseas ou tonteadas), devido a respiração da névoa de material fundido (alumínio, zinco) gerada durante a aspersão térmica, o trabalho deve ser interrompido imediatamente de modo a se verificar o funcionamento dos sistemas de ventilação e exaustão antes do retorno à operação.

4.5 Proteção Pessoal

4.5.1 Não se deve permitir a entrada de detritos oriundos da aspersão nos olhos, boca e feridas abertas. Após o trabalho de aspersão térmica e antes de comer ou manusear comida deve-se lavar as mãos vigorosamente.

4.5.2 As partículas de alumínio metálico dispersas no ar são potencialmente explosivas e quando úmidas criam um risco de combustão espontânea. Ventilação deve ser providenciada para que se tenha fluxo de ar em todo o local de trabalho.

4.6 Roupas de Proteção

4.6.1 Roupas resistentes ao calor e luvas de couro raspa aluminizadas com punho largo e comprido devem ser usadas.

4.6.2 As roupas devem ser amarradas bem firmemente ao corpo principalmente em torno dos pulsos e tornozelos.

4.7 Redução do Nível de Ruído

O uso de protetores de audição ou cilindros de borracha é obrigatório não sendo permitido o uso de algodão para este fim.

4.8 Proteção Visual

4.8.1 Óculos de proteção, protetor lateral da face e capacetes devem ser usados pelos operadores tanto para o jateamento quanto para a aspersão térmica. Os ajudantes devem usar óculos de proteção.

4.8.2 Durante a aspersão térmica os óculos de proteção, capacetes ou protetores de face devem estar equipados com filtros de proteção contra a radiação.

4.8.3 Os óculos de proteção devem ter ventilação indireta para eliminar o risco de entrada de partículas e reduzir o embaçamento das lentes.

4.9 Ar Comprimido

4.9.1 Nunca usar ar comprimido ou oxigênio ou gases de combustão para a limpeza de roupas.

4.9.2 Não usar ar comprimido durante o jateamento ou aspersão térmica em pressões diferentes daquelas especificadas pelo fabricante dos equipamentos.

4.10 Exaustão em Espaços Confinados e/ou Fechados

4.10.1 Para espaços confinados (ex.: interior de vaso de pressão) deve ser previsto acesso para pessoal em seu interior (jatinista, aplicador, inspetor). Um segundo acesso deve ser providenciado para a sua ventilação. Em ambientes fechados deve ser prevista a presença constante de um elemento próximo ao operador.

4.10.2 Em locais fechados em que operações de jateamento estejam sendo executadas devem-se providenciar condições para que a mudança do ar ocorra pelo menos uma vez a cada minuto. É necessário manter nas operações de aspersão térmica em ambientes fechados uma velocidade do ar de 10 - 15 m/seg com vazão mínima de três vezes o volume do espaço considerado (em m³/min).

4.10.3 As entradas de ar devem estar posicionadas na parte mais alta do espaço considerado e no lado oposto ao serviço de aspersão térmica. A saída de ar deve estar posicionada na parte inferior e próxima ao chão, junto à área de trabalho. O duto de exaustão deve ser largo o suficiente para que a vazão de ar necessária seja alcançada.

5 PREPARO DA SUPERFÍCIE PARA A PRÉ-LIMPEZA

5.1 Avaliação da Possibilidade de Aspersão Térmica

A aplicação de revestimentos por aspersão térmica não emite compostos orgânicos voláteis e não necessita de tempo para secagem. A aspersão térmica de um equipamento ou tubulação deve ser efetuada conforme as seguintes prescrições:

5.1.1 Facilidade de Acesso

5.1.1.1 Deve ser observada a facilidade de acesso para utilização dos dispositivos para jateamento e aspersão térmica em equipamentos ou tubulações. Os internos dos equipamentos devem ser removidos para facilitar o preparo da superfície e a aspersão térmica dos mesmos e do equipamento em si. Caso a remoção seja difícil, o acesso aos internos deve ser previsto.

5.1.1.2 Tanto os dispositivos para jateamento quanto para aspersão térmica devem poder trabalhar com um ângulo de 90° com a superfície metálica; quando isto não for possível o ângulo de aproximação mínimo não pode ser inferior a 45°. Para permitir o acesso ao jateamento e à aspersão térmica, uma distância mínima de 500 mm do bico de quaisquer das pistolas à superfície a ser metalizada tem que ser obedecida.

5.1.1.3 Concavidades e pequenos trechos retos de internos de tubos de 100 e 200 mm de diâmetro só podem ser metalizados com o uso de uma extensão angular.

Notas: 1) Trechos curvos de tubos e concavidades com diâmetro menor que 100 mm não apresentam bons resultados com a metalização;
2) A metalização não se aplica a cantos vivos, reentrâncias e frestas, as quais têm de ser modificadas ou não metalizadas.

5.2 Pré-Limpeza da Superfície

5.2.1 Antes do preparo da superfície para a metalização uma pré-limpeza da superfície é necessária. Nesta etapa preliminar deve ser executada a remoção de lama, borras de graxa ou óleo, corrosão, incrustações de qualquer tipo, restos de revestimentos e particulados grosseiros que possam ser facilmente removidos e transportados para fora do equipamento a ser revestido. Em seguida deve-se promover uma limpeza com hidrojateamento com detergente a alta pressão (superior a 200 MPa) de modo a remover toda corrosão e incrustações ainda presentes na superfície metálica. Para casos severos pode ser acrescido um pouco de abrasivo fino (óxido de alumínio puro ou quartzo britado; abrasivos corrosíveis não devem ser usados). Em alguns casos pode-se usar água quente para aumentar a ação da limpeza. Após esta limpeza inicial a superfície deve ser totalmente seca. Em equipamentos esta limpeza inicial deve começar pela parte superior dos mesmos.

5.2.2 O jateamento convencional a seco (admitem-se somente abrasivos tipo óxido de alumínio, quartzo britado, granalha de aço angular ou córindun sinterizado) pode também ser uma alternativa, porém normalmente de maior custo que o hidrojateamento a alta pressão.

5.2.2.1 Não é permitido o uso do jateamento com areia (seca ou úmida) para a pré-limpeza.

5.2.2.2 O córindun sinterizado ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$), se usado como abrasivo para a pré-limpeza, deve ter ângulo de incidência de $45 \pm 15^\circ$ e distância de 400-500 mm de forma a reduzir a impregnação de abrasivo na superfície do aço.

5.2.2.3 No caso de uso do óxido de alumínio para uma pré-limpeza da superfície pode-se usar uma faixa mais larga de granulometria (0,1 a 3,0 mm). Para o quartzo britado uma granulometria de 1 a 3 mm é suficiente.

Nota: Se o abrasivo para pré-limpeza for recirculado, lotes do mesmo devem ser inspecionados após utilização (com lupa de aumento de 7-10X) de forma a se verificar e remover, antes da limpeza da chapa, qualquer indício da presença de óleo, graxa, contaminação química, sal ou outros contaminantes. Além disso, o abrasivo deve ser repeneirado (tendo 80% no mínimo da granulometria original) para remoção de finos de forma a manter a sua habilidade de corte e limpeza.

5.2.3 A limpeza com solventes ou a quente (vapor ou chama) é indicada para a remoção de óleo e graxa caso os métodos anteriores não sejam eficazes. Uma limpeza mecânica final deve ser executada para remover os produtos de combustão, caso necessário. A limpeza a quente deve ser executada caso a limpeza com solventes falhe.

Nota: A limpeza a quente deve ser evitada caso se esteja realizando o reparo de área já metalizada, ou seja, parte do revestimento existente deve permanecer, ou caso o aquecimento resulte na evolução de substâncias tóxicas e/ou inflamáveis.

5.2.3.1 No caso de superfícies extremamente contaminadas pode-se utilizar solução de tri-sódio fosfato enxaguando-a com água potável e secando-a após a limpeza.

5.2.3.2 Os solventes recomendados para a limpeza da superfície são o álcool n-butil (ASTM D 304-90) ou a nafta aromática (ASTM D 3734-91). Sendo os solventes inflamáveis e tóxicos devem ser utilizados somente em espaços ventilados. Não devem ser usados próximo a chamas, serviços de jateamento ou aspersão térmica. O contato prolongado com a pele não pode ser permitido. Sintomas de irritação dos olhos e tonteira são sinais de ventilação inadequada e concentração perigosa.

5.2.3.3 Antes do início da limpeza com solventes devem-se remover detritos e sujeira com um jato seco de ar comprimido. A limpeza com solventes pode ser realizada através de spray, escovamento ou esfrega, sendo obrigatória a realização de uma limpeza com água ao final da mesma.

5.2.4 Respingos de solda que não possam ser retirados por jateamento devem ser primeiramente removidos por meio mecânico. Ângulos agudos devem ser chanfrados ou aumentado o raio de curvatura. Alvéolos de corrosão profundos devem ser primeiramente recompostos por solda e esmerilhados antes da limpeza final.

5.2.5 No caso de superfícies novas uma pré-limpeza com solvente, detergente ou vapor pode ser suficiente.

5.2.6 Deve-se antes do início do jateamento abrasivo (para a limpeza final) realizar uma inspeção da superfície no que concerne a presença residual de contaminantes (óleo, graxa). Para tal deve-se após a limpeza do trecho contaminado executar um dos dois testes abaixo. Caso a contaminação persista (após a pré-limpeza) deve-se continuar a limpeza com hidrojateamento ou a limpeza a chama até que o teste seja aprovado.

5.2.6.1 Teste de evaporação do solvente: aplicar nas áreas suspeitas de contaminação (pites e frestas onde se tenha trechos corroídos, áreas com depressão onde possa ocorrer acumulação de contaminação) gotas de solvente (como por exemplo o triclorometano). Um anel se forma após a evaporação se houver a presença de contaminação por óleo ou graxa.

5.2.6.2 Teste da chama: utilizar um maçarico com chama redutora aquecendo o metal a uma temperatura em torno de 110°C. Qualquer contaminação de óleo ou graxa se tornará visualmente aparente.

5.3 Requisitos Necessários para a Limpeza Final antes da Aspersão Térmica

O jateamento abrasivo deve ser efetuado conforme as prescrições seguintes:

5.3.1 Condições Ambientais

O jateamento abrasivo deve ser executado somente se a temperatura da superfície a ser metalizada estiver ao menos 5°C acima da temperatura de orvalho e no mínimo 5°C. O jateamento abrasivo para limpeza final não deve ser executado em tempo chuvoso nem quando a umidade relativa do ar estiver superior a 85%. Para a monitoração desses parâmetros é necessária a presença de um pirômetro de contato e um higrômetro.

Nota: Normalmente acima de 70% de umidade relativa do ar ou na presença de atmosfera industrial tem-se um ataque mais rápido da superfície metálica. O fundamental entretanto é que até a aspersão térmica se mantenha o grau Sa 3.

5.3.2 Ar Comprimido

5.3.2.1 O ar comprimido usado no jateamento deve ser isento de água ou óleo. Durante a limpeza final o sistema de ar comprimido deve estar equipado com um desumidificador para manter o ar seco e limpo. Esta verificação deve ser efetuada antes do início do jateamento e após 15 minutos do início do mesmo. Caso seja detectada a presença de óleo ou água após iniciado o jateamento, a área jateada deve apresentar manchas escuras, devendo ser refeita.

5.3.2.2 O suprimento de ar deve manter uma pressão mínima de 0,35 MPa (50 psi) para o abrasivo óxido de alumínio puro. A máxima quantidade permitida de hidrocarbonetos e água por litro de ar é de 0,005 mg e 2,0 mg respectivamente.

5.3.2.3 A qualidade do ar a ser usado no jateamento e aspersão térmica deve ser avaliada de acordo com o procedimento abaixo:

- a) deixar o sistema de ar comprimido atingir as condições operacionais para remover qualquer condensação acumulada no sistema;
- b) conectar o coletor (plástico rígido e transparente de espessura aproximadamente de 6 mm) a um suporte rígido evitando contato pessoal com a corrente de ar;
- c) posicionar o coletor a uma distância de 600 mm da descarga da corrente de ar;
- d) ajustar a pressão do ar de forma que o coletor permaneça intacto durante o teste e (deixe o ar fluir durante 1 minuto pelo coletor);
- e) examinar visualmente o coletor atentando para a presença de óleo e/ou água ou ambos;
- f) repetir o mesmo procedimento usando papel ou tecido absorvente branco e limpo;
- g) observar qualquer molhamento ou manchamento, que são os indicadores da contaminação do ar.

5.3.3 Marcação e Proteção das Regiões a serem Jateadas

5.3.3.1 A delimitação e a proteção ou blindagem das regiões em torno da área a ser jateada (e aquelas que não serão revestidas ou que não podem ser danificadas) deve ser executada utilizando-se chapas metálicas ou coberturas plásticas fixadas com fitas adesivas especiais, em duas camadas, com a segunda camada de fita perpendicular à primeira. Devem resistir às partículas de abrasivo e à operação de aspersão térmica como também garantir que as partículas de abrasivo ou de material fundido não danificam nem se depositam nessas regiões.

5.3.3.2 Cuidado especial deve ser tomado quando da proteção de superfícies com geometria complexa (tubulações, flanges, manifolds de válvulas) no que concerne ao controle da espessura do revestimento dessas regiões e de regiões adjacentes durante a aspersão térmica, devido à dificuldade de manutenção da correta distância e ângulo da pistola de aspersão em relação ao substrato. Nestes casos os materiais para proteção devem ser limpos e de fácil remoção.

5.3.4 Equipamento de Jateamento

O bico da pistola de jateamento deve ter um desgaste máximo de 50% do seu diâmetro interno. Após atingir este limite o mesmo deve ser substituído. Não se devem usar equipamentos de jateamento por sucção. Os equipamentos por pressão direta são os mais eficientes para remoção de cascas de corrosão e carepas de laminação.

5.3.5 Abrasivo

5.3.5.1 O abrasivo utilizado deve estar seco, limpo, pontudo e cortante, isento de poeira, óleo, carepa, ferrugem e outros contaminantes como sais solúveis e excesso de finos.

5.3.5.2 O abrasivo para a limpeza final deve ser o óxido de alumínio puro, não sendo permitido o uso de qualquer outro tipo de abrasivo para a etapa final de preparo da superfície, ou anterior ao início da aspersão térmica.

5.3.5.3 Não é permitida a recirculação ou o reaproveitamento do abrasivo na etapa de limpeza final da superfície.

5.3.5.4 Recomenda-se uma inspeção de recebimento do óxido de alumínio puro quanto a sua angulosidade e geração de finos, o que pode ser executado esfregando-se uma pequena amostra do abrasivo nas mãos, analisando-a em um microscópio portátil com aumento de 30X e verificando se há geração de finos em excesso. Normalmente o óxido de alumínio puro contém no máximo de 5-10% de grãos não transparente gerando pequena quantidade de finos.

5.3.5.5 A presença de contaminação de óleo no abrasivo pode ser verificada enchendo-se uma garrafa transparente até a metade com abrasivo, completando-se o restante com água destilada e sacudindo a mesma. Se algum indício de óleo for observado o abrasivo está contaminado devendo ser rejeitado para a limpeza final da superfície. Neste caso, deve-se repetir o teste com um segundo lote do abrasivo após a limpeza do equipamento de jateamento (principalmente o recipiente e as mangueiras).

5.3.5.6 A granulometria do abrasivo antes do início do jateamento deve estar compreendida entre 0,5 e 1,6 mm. Além disso, cerca de 30-40% do abrasivo em volume deve ter grãos acima de 1 mm. Esta verificação deve ser executada através de uma análise granulométrica em bandejas com peneiras segundo a norma ABNT NBR 5734.

5.3.6 Jateamento Final da Superfície para Conferir Rugosidade

5.3.6.1 A superfície a ser jateada deve ser preparada até o grau Sa 3 da norma SIS-055900 apresentando, quando observada a olho nu, uma superfície completamente branca e de textura uniforme, livre de óleo, graxa, pintura, sujeira, ferrugem, produtos de corrosão, carepa de laminação visível, óxidos ou qualquer outro produto estranho. O uso de lupas (7-10X) pode ser utilizado caso se tenha dúvidas em relação a presença de contaminantes. Recomenda-se comparar a região jateada com uma pequena área vizinha jateada por mais tempo. Se houver alguma diferença significativa o jateamento da região principal ainda é insuficiente. A cor da superfície jateada pode variar de acordo com o abrasivo usados e com o estado inicial da superfície. Fotografias ou comparadores visuais podem ser usadas para se melhor definirem as características de preparo da superfície.

5.3.6.2 Um tempo excessivo de jateamento pode resultar numa superfície de textura indesejável além de gerar quantidades desnecessárias de resíduo. Um tempo de 3-4 segundos é normalmente suficiente para conferir a rugosidade especificada. Um jateamento além do necessário tem como resultado o aumento do desgaste do abrasivo com conseqüente aumento do teor de finos.

5.3.6.3 O jato deve estar a um ângulo de $90 \pm 15^\circ$ contra a superfície, mas nunca inferior a 45° . A distância do jato ao substrato deve ser de 100-300 mm movendo-se o bico do jato de um lado para o outro.

5.3.6.4 O controle da rugosidade deve ser executado desde que no local de medição a superfície esteja totalmente plana e isenta de alvéolos de corrosão. Deve estar entre 60 e 100 μm , medida de acordo com a norma ISO-8053 Parte 1 e 2, ou com o uso de instrumentos como especificado na ISO-8503 Parte 4. Medições devem ser executadas a cada 10 m^2 de área jateada. Caso a rugosidade após a medição esteja inferior a 60 μm o jateamento deve prosseguir até atingir o intervalo especificado. Caso a rugosidade tenha ultrapassado 100 μm este fato deve ser registrado e mapeada a área com esta característica de forma que durante a aspersão térmica o aplicador garanta uma espessura de revestimento, acima dos picos, de 125 a 150 μm . No caso de espessuras de revestimento superiores a 300 μm a rugosidade deve ser de cerca de 1/3 da espessura.

5.3.6.5 A faixa ideal de pressão de jato requerida para superfícies de aço, sendo o abrasivo óxido de alumínio puro, se situa na faixa de 0,4-0,6 MPa.

5.3.6.6 Para chapas metálicas com espessura inferior a 4 mm uma redução da pressão pode ser necessária assim como a especificação de abrasivos mais finos e redução do tempo de jateamento e ângulo de incidência. Na presença de carepa de laminação firmemente aderente um esmerilhamento prévio ou uma decapagem química são recomendados.

5.3.6.7 Os resíduos de abrasivo e sujeira gerados durante a limpeza final e que ainda persistam devem ser removidos com jato de ar comprimido antes da metalização.

5.3.6.8 Caso seja observada qualquer deterioração da superfície jateada, o preparo da mesma deve ser repetido. No caso de superfícies já contaminadas (óleo, graxa, ferrugem, sujeira, produto de corrosão) recomenda-se um intervalo de tempo de 24 horas entre a pré-limpeza e o jateamento final. Caso apareçam pontos isolados de corrosão em mais de 10% da área esta deve sofrer nova pré-limpeza, com método mais eficaz que a anteriormente usado para remover a contaminação ainda incrustada na superfície metálica.

Nota: As partes já jateadas devem ser manuseadas utilizando-se luvas limpas até que a metalização e selagem estejam completas.

6 APLICAÇÃO DO REVESTIMENTO POR ASPERSÃO TÉRMICA

6.1 Pistolas para Aspersão Térmica

6.1.1 Tanto nos processos a chama quanto no processo a arco deve-se testar o bom funcionamento da pistola e a regulagem dos parâmetros em um teste preliminar de acordo com o manual técnico do equipamento utilizado. Recomenda-se o seguinte teste:

- a) operar a pistola metalizando uma superfície qualquer por três minutos sem que ocorram respingos ou apagamento do arco ou chama;
- b) em seguida repetir por oito vezes, com intervalos de cinco segundos, a metalização durante dez segundos, sem que haja o aparecimento de respingos ou glóbulos de metal fundido sobre a superfície testada.

6.2 Escolha do Processo de Aplicação

6.2.1 Deve-se sempre dar prioridade ao processo a arco pelo fato de possuir melhor aderência que o processo a chama, além de possuir maior produtividade para grandes extensões a serem revestidas. Caso o processo a arco não esteja disponível e o revestimento aplicado seja o alumínio pelo processo a chama com espessura do revestimento especificada superior a 150 µm (maioria dos casos), deve-se primeiramente aplicar um flash (camada base) de cerca de 20 µm de liga ferro-cromo, AISI 420 - aço inoxidável martensítico. A camada base de aço inoxidável deve ser suficiente para prover pontas de ancoragem para posteriormente serem aplicadas as outras camadas de alumínio respeitando a espessura final a ser definida para cada meio específico (ANEXO A).

6.2.2 Os revestimentos tipo zinco ou 85Zn15Al mesmo aplicados pelo processo a chama podem ser aplicados diretamente sobre a superfície como jateada.

6.2.3 Quando utilizado o processo a arco a camada base de aço inoxidável martensítico não deve ser usada, aplicando-se diretamente o alumínio sobre o substrato de aço.

6.3 Espessura

6.3.1 Controle da Espessura das Camadas

A espessura média da primeira camada deve estar entre 75-100 μm .

6.3.2 Controle da Espessura Total

Em regiões curvas ou próximo a extremidades livres, a espessura total não deve ultrapassar 250 μm . Nenhum ponto em regiões planas pode ter espessura total acima de 500 μm (risco de delaminação). A espessura mínima total após a aspersão térmica deve ser de 175 μm e nenhuma medida individual pode ficar abaixo deste valor. A espessura total recomendada para cada ambiente corrosivo se encontra no ANEXO A.

6.3.3 Metodologia para Medição de Espessura

Os equipamentos para medição de espessura devem ser baseados nos métodos magnéticos utilizando cabeçotes pequenos para possibilitar medições pontuais.

6.3.3.1 Áreas entre 1 cm^2 até 1 m^2

Devem ser realizadas cinco medições de espessura após a aplicação da primeira camada (em uma área de 10 cm^2), dando-se preferência a regiões com mudança de plano e ligações soldadas, e outro conjunto de cinco medições após a última camada aplicada (também em uma área de 10 cm^2). Caso a espessura medida após a aplicação da última camada esteja superior ao especificado para o meio em questão deve-se realizar o ensaio de "arrancamento pela faca" (item 9.2.1). No caso de falha neste teste o revestimento deve ser refeito.

Nota: O instrumento de medição deve seguir os requisitos da norma ISO-2178. Sua calibração deve ser feita antes do uso no campo e após cada jornada de trabalho.

6.3.3.2 Áreas Superiores a 1 m^2

Devem ser realizadas no primeiro metro quadrado, após a aplicação da primeira camada e outro conjunto após a última camada, dez medições (em uma área de 10 cm^2), dando-se preferência a regiões onde se tenha mudança de planos e ligações soldadas. Novo conjunto de dez medições devem ser executadas a cada 10 m^2 .

6.4 Arame para Aspersão Térmica

O arame usado para aspersão térmica deve ter uma superfície limpa sem carepa, corrosão, óxidos, óleo ou outro material que afete adversamente a aplicação, a densidade ou a adesão do revestimento. O arame deve ter composição e qualidade uniforme sem a presença de rebarbas, entalhes, trincas ou costuras. Os arames quando enrolados devem apresentar-se sem dobras ou curvaturas acentuadas. Essas curvas não devem abrir-se demasiadamente na condição amarrada. No enrolamento o arame não deve ser torcido. Este deve desenrolar livremente sem se retorcer e sem formar dobras ou lascas que impeçam a sua passagem pelo bico da pistola de aspersão térmica. O diâmetro das espiras retiradas não pode ser inferior ao diâmetro do corpo da bobina, todavia não deve ultrapassá-lo em mais de 20%. As espiras desenroladas devem ficar se possível em local plano. Os arames não podem conter qualquer tipo de revestimento metálico externo, como por exemplo um cobreamento.

6.4.1 Alumínio

O alumínio utilizado deve ter pureza mínima de 99,5% admitindo os seguintes níveis máximos de impurezas:

Total = 0,5%		
Si = 0,3%	Sn = 0,001	Pb + Cd = 0,006
Cu = 0,05%	Fe = 0,003	Cu = 0,002

6.4.2 Zinco

A pureza mínima do zinco é de 99,9% com os seguintes níveis máximos de impurezas:

Total = 0,01%		
Pb = 0,005	Sn = 0,001	Pb + Cd = 0,006
Cd = 0,003	Fe = 0,003	Cu = 0,002

6.5 Preaquecimento

6.5.1 O preaquecimento do substrato (para espessuras superiores a 4 mm) à temperatura da ordem de 100-120°C deve ser feito sempre que for utilizado o processo a chama. O aquecimento deve ter a chama neutra podendo-se utilizar a própria pistola de aspersão térmica movendo-a rapidamente pela superfície antes da aplicação da camada base de AISI 420. A chama redutora deixa na superfície resíduos de combustão enquanto a oxidante forma óxidos na superfície. Recomenda-se uma regulagem da pistola de forma a se ter uma chama levemente redutora para a execução do preaquecimento.

6.5.2 Para o processo a arco o preaquecimento não é necessário, podendo entretanto ser usado antes da aplicação da primeira camada de alumínio.

6.5.3 Para o processo a chama ele pode se restringir ao primeiro 0,1-0,2 m² antes da aplicação da camada de aço inoxidável martensítico. No caso do zinco ou liga 85Zn15Al não há necessidade de preaquecimento.

6.6 Método de Aplicação

6.6.1 A aspersão térmica deve ser feita em passes uniformes (de mesma largura) e com sobreposse de cerca de 1/3 do passe para garantir a uniformidade de cobertura (ver FIGURA 1).

6.6.2 As camadas (no mínimo três camadas) devem ser cruzadas e os passes aplicados sempre que possível no sentido pés/cabeça/pés e esquerda/direita/esquerda (ver FIGURA 2). A espessura dos passes deve ser mantida a mais fina possível de forma a aumentar a aderência e coesão entre camadas.

6.6.3 O ângulo do jato de material fundido não pode ser inferior a 60°, devendo estar entre 90°± 30°. A distância do bico da pistola à peça deve variar de 130-180 mm (processo a chama) e 150-200 mm (processo a arco).

6.6.4 Para geometrias complexas cuidados extras devem ser tomados para se evitar uma metalização excessiva, tendo-se controle rígido da espessura.

6.6.5 Não é permitida aplicação do revestimento quando detectada condensação de umidade na superfície da peça ou quando a temperatura da superfície não estiver 5°C acima da temperatura de orvalho. Evidências visíveis de ferrugem ou oxidação nas superfícies preparadas ao metal branco devem ser removidas por um novo jateamento abrasivo com óxido de alumínio.

6.6.6 A pistola de aspersão térmica, no caso do processo a chama, deve trabalhar sempre com chama neutra (quantidades iguais de acetileno e oxigênio); cone branco e brilhante). Medidores de vazão de oxigênio e acetileno são necessários. A pressão de acetileno não deve ultrapassar 0,11 MPa (15 psi).

Nota: Deve-se evitar o contato de ferramentas ou componentes de aço corroído com superfícies de alumínio como aspergidas (ainda sem selagem) de modo a evitar um possível centelhamento do alumínio. O mesmo cuidado deve ser tomado caso, mesmo selada ou pintada, a superfície esteja com temperatura acima de 150°C ou caso contenha nitrato celulósico na sua formulação.

6.7 Intervalo de Aplicação

6.7.1 Do final do jateamento abrasivo até o término da 1ª camada aspergida termicamente não devem decorrer mais de 2 horas, tempo suficiente para se iniciar um processo de oxidação. Caso contrário a superfície deve ser novamente jateada. O ideal é que a aplicação do revestimento metálico seja executada até 30 minutos após o término do jateamento da área preparada.

6.7.2 No caso de ambientes com óxido de enxofre ou umidade relativa superior a 75% recomenda-se um preaquecimento inicial da superfície até 100°C (usando-se a pistola de aspersão térmica como tocha) controlando-se a temperatura da superfície com um pirômetro de contato. A utilização do processo a arco é prática recomendada.

6.7.3 Do final do jateamento da área preparada até o final da aspersão térmica não devem decorrer mais que 6 horas.

6.7.4 Não é permitida manutenção de uma fina camada de revestimento por mais de 6 horas, tempo máximo permitido para término de aplicação de todas as camadas.

6.8 Selantes

6.8.1 O uso de selante após a metalização é obrigatório, exceto nos casos onde se quer expor o revestimento de forma a atuar como anodo para proteção catódica (o que raramente é utilizado).

6.8.2 Devem ser aplicados o mais rápido possível e antes que qualquer oxidação visível seja notada (recomenda-se usar lupa com 7-10X de aumento). Caso exista a suspeita da presença de umidade na superfície metalizada a mesma deve ser aquecida até 100°C (com chama neutra) para remoção da umidade antes da selagem em si. Sempre que possível recomenda-se o aquecimento pela face oposta à superfície metalizada de forma a minimizar a oxidação do revestimento antes da selagem.

6.8.3 Os tipos de selantes que devem ser utilizados são:

- a) para baixas temperaturas, máximo 80°C:
 - resina vinílica com adição de alumínio (15% em volume de sólidos) diluída ou a norma PETROBRAS N-1198 Tipo II diluída em 20% (com o solvente do próprio fabricante), ambas em duas camadas de 75 µm cada;
- b) para altas temperaturas, acima de 80°C e até 650°C:
 - tinta com resinas de silicone com adição de alumínio (15% em volume de sólidos) aplicada em duas camadas de 40 µm cada;
- c) para temperaturas acima de 650°C e até 1150°C:
 - selante asfáltico à base de alumínio (25%) e alcatrão de hulha betuminoso (75%) com solvente adequado, em duas camadas de 40 µm cada.

6.8.4 A selagem deve ser executada num tempo máximo de 8 horas após o término da aplicação do revestimento para revestimentos à base de zinco e 24 horas para aqueles à base de alumínio.

6.8.5 A avaliação da selagem após aplicação deve ser feita visualmente, já que não existe método para medição de filmes sobre superfícies metalizadas, ou através de cupom de teste.

6.8.6 Caso seja utilizado um sistema de pintura recomenda-se a utilização de diferentes cores para cada componente desse sistema o que ajuda na verificação completa do cobrimento durante a aplicação além de ajudar na monitoração da taxa de degradação do sistema de pintura durante a vida em serviço.

6.8.7 Quando forem executados testes de aderência no campo o selante só deve ser aplicado após a execução do teste.

7 MANUTENÇÃO E REPARO

7.1 Os procedimentos de manutenção e reparo dependem basicamente da área a ser reparada ($\leq 0,1 \text{ m}^2$ ou $> 0,1 \text{ m}^2$) assim como o grau de dano e abrasão do revestimento (substrato do aço exposto ou não). A TABELA apresenta as etapas a serem seguidas para cada um dos casos. Os itens 7.4 a 7.9 detalham cada uma das etapas recomendadas.

Nota: Em algumas situações reparos simples e temporários precisam ser executados, como por exemplo uma pintura em trechos onde a metalização foi danificada e o substrato está exposto, até que um reparo definitivo do revestimento possa ser executado.

7.2 As diferenças entre áreas novas e antigas devem ser minimizadas estendendo o trecho a ser reparado até áreas específicas como: cordões de solda, itens estruturais, ou outro ponto determinado.

7.3 Toda contaminação por óleo e graxa deve ser removida pela limpeza com solventes. Os solventes não devem causar efeitos que deteriorem a superfície do substrato metálico ou que deixem resíduo de filmes na superfície do mesmo. Os seguintes solventes podem ser usados: nafta tipo I (ASTM D 3734) ou álcool n-butil (ASTM D 304). A limpeza pode ser executada por esfregação, escovação ou por spray. Precauções devem ser tomadas pelas partes que são afetadas pelo contato com solventes.

7.4 Raspagem do Trecho Danificado

7.4.1 Limpeza por Raspagem com Espátula Flexível

Um raspador flexível tipo de pintura (25 mm de largura) deve ser usado para remover trechos danificados de selante/pintura ou de revestimento aplicado por aspersão térmica (RAAT), em locais onde o substrato metálico não está ainda exposto, até atingir uma região do selante/pintura ou do RAAT bem aderido. Cuidado deve ser tomado para não danificar desnecessariamente trechos do RAAT em perfeito estado.

7.4.2 Limpeza por Raspagem com Espátula Rígida

Um raspador rígido tipo de pintura deve ser usado de forma a fazer com que a lâmina penetre por baixo do RAAT, em torno do substrato metálico exposto, removendo tanto os trechos de selante/pintura e RAAT não aderidos até atingir uma região do RAAT bem aderida e em perfeito estado.

7.5 Preparo do Trecho Danificado

7.5.1 Preparo por Escovamento Manual

Uma escova manual rígida de aço inoxidável deve ser aplicada vigorosamente sobre a superfície metálica para remover detritos. Não se devem usar escovas elétricas ou pneumáticas de modo a evitar o polimento do revestimento metálico ou mesmo o desgaste do RAAT até o substrato.

7.5.2 Preparo por Jateamento Abrasivo

O abrasivo a ser usado deve ser o óxido de alumínio para remover trechos de pintura danificados. Devem-se utilizar pressões de jato menores para se evitar a abrasão e remoção do RAAT. Entretanto o nível de pressão deve ser o suficiente para que se consiga remover a pintura e gerar um perfil de rugosidade suficiente para a aplicação da selagem e/ou pintura.

7.5.3 Preparo por Desbaste Abrasivo

Equipamentos manuais rotativos (elétricos ou pneumáticos) utilizando lixa 80 mesh ou escova de aço inoxidável devem ser usados aplicando leve pressão com o objetivo de limpar e conferir rugosidade para a pintura. Deve-se evitar o polimento da superfície.

7.5.4 Preparo por Jateamento Abrasivo ao Metal Branco

O jateamento deve ser realizado com óxido de alumínio puro conferindo uma rugosidade de 60-100 μm seguindo o recomendado no item 5.3. O bico do jato deve estar perpendicular à superfície com variação de $\pm 10^\circ$ já que variações superiores a este valor podem ocasionar danos em regiões do revestimento em perfeito estado.

7.6 Marcação do Trecho

Uma fita com largura de 50-80 mm deve ser utilizada para fixar o revestimento e separar a zona a ser reparada do restante da região intacta.

7.7 Abrasão Leve

Aplicação de um leve lixamento abrasivo manual com lixas de óxido de alumínio. Este lixamento deve promover a aspereza do RAAT para que se tenha uma ligação mecânica da mesma com o selante ou a pintura.

7.8 Aplicação do Revestimento por Aspersão Térmica

O RAAT deve ser aplicado seguindo o recomendado por esta Norma (itens 6.2 e 6.3 a 6.7). Não é permitida a aplicação do processo a arco sobre superfícies revestidas pelo processo a chama já que a maior velocidade e temperatura de partícula do processo a arco pode levar a uma delaminação dos revestimentos aplicados pelo processo a chama.

7.9 Selagem e Pintura

Devem ser aplicados segundo o item 6.9 desta Norma.

**TABELA - PROCEDIMENTO PARA EXECUÇÃO DE REPARO DE
ÁREAS REVESTIDAS DANIFICADAS**

Item	Ações a Serem Tomadas	Revestimento Exposto-Substrato Não Exposto		Substrato Exposto	
		Área ≤ 0,1 m ²	Área > 0,1 m ²	Reparo da Pintura	Reparo do Revestimento
6.3	Limpeza por solvente.	1	1	1	1
6.4	Raspagem do trecho danificado.				
6.4.1	Raspagem com espátula flexível.	2			
6.4.2	Raspagem com espátula rígida.			2	2
6.5	Preparo do trecho danificado.				
6.5.1	Escovamento manual.	3			
6.5.2	Jateamento abrasivo para remoção de pintura.		2		
6.5.3	Desbaste abrasivo.			3	
6.5.4	Jateamento abrasivo ao metal branco.				3
6.6	Marcação do trecho.	4	3	4	4
6.7	Lixamento manual leve.	5			
6.8	Aplicação do revestimento metálico.				5
6.9	Selagem e/ou pintura.	6	4	5	6

Nota: O reparo por pintura de trechos de revestimento com substrato exposto só deve ser utilizado para reparos temporários até que um reparo definitivo do revestimento possa ser executado.

8 PROCEDIMENTO PARA QUALIFICAÇÃO DO PROCESSO E APLICAÇÃO DE REVESTIMENTOS POR ASPERSÃO TÉRMICA

8.1 As empresas aplicadoras de RAAT devem possuir procedimentos de aplicação por escrito, os quais devem incluir uma descrição da aplicação proposta e uma lista dos processos a serem utilizados (tais como jateamento, aspersão térmica, inspeção e selagem). A empresa aplicadora deve demonstrar o procedimento juntamente com testes de qualificação antes da utilização do mesmo na presença de inspetores da empresa contratante. Os aplicadores (jatistas e metalizadores) estão da mesma forma sujeitos a testes de qualificação a serem submetidos pela empresa contratante.

8.2 Requisitos para Qualificação

A habilidade de se aplicar revestimentos por aspersão térmica depende do conhecimento técnico e da prática dos operadores em utilizarem corretamente os equipamentos e a de seguirem as instruções de engenharia (no que concerne ao preparo de superfície, marcação da área a ser revestida, aspersão térmica, selagem, pintura e controle de qualidade). Além disso, devem demonstrar a habilidade de ajustar, operar e suportar o equipamento de aspersão térmica de modo a seguir o procedimento especificado e atingir os requisitos técnicos. Por outro lado, devem ser capazes também de inspecionar, aceitando ou rejeitando, o preparo de superfície quando executado por outras equipes. A qualificação do procedimento e de operadores para aplicação de revestimentos por aspersão térmica consiste de ensaios visuais, testes de dobramento, ensaios de coesão e medição de espessura e uniformidade de camada, devendo ser executada separadamente para cada processo utilizado (a arco ou a chama).

8.2.1 Exame Visual

O exame dos corpos de prova revestidos, antes de sua selagem, deve ter uma aparência uniforme quando observado com um aumento de 7-10X. Defeitos de superfície do RAAT não podem ser superiores a 1,1 mm de diâmetro e 0,6 mm de altura acima da superfície aspergida termicamente. O revestimento não pode apresentar trincas, empolamentos, partículas soltas, contaminação interna (como óleo) ou a presença de pites expondo o revestimento interno ou mesmo o substrato metálico.

8.2.2 Teste de Dobramento

Após o teste de dobramento não podem ser aceitos indícios de delaminação, trincamento grosseiro e "disbonding" (descolamento do revestimento). Trincas finas e pequenas ou rabos de peixe na região próxima ao dobramento são permitidos. O revestimento deve ser inspecionado visualmente após o ensaio conforme a FIGURA 3. De uma forma geral o ensaio é considerado como reprovado quando as trincas existentes após o ensaio podem ser removidas com uma lâmina de faca ou canivete. As falhas observadas são normalmente causadas por: preparo deficiente da superfície; regulagem imprópria do equipamento e de parâmetros de aspersão (por exemplo inadequação no preaquecimento, pressão e vazão de gás, alimentação do arame, regulagem da amperagem e voltagem); distância da pistola à superfície, ângulo de aspersão ou velocidade linear de aspersão térmica inadequados.

Nota: O teste de dobramento deve ser executado dobrando-se cinco corpos de prova 180° em um mandril de 13 mm de raio. O RAAT deve estar na parte tensionada. Os corpos de prova a serem usados no teste de dobramento (75 x 50 1,25 mm) são os mesmos usados para o exame visual devendo estar o revestimento numa suas faces mais largas (com espessura de revestimento variando de 175 - 250 µm).

8.2.3 Teste de Adesão do RAAT

Os ensaios devem ser executados de acordo com a norma ASTM C 633, na presença de um inspetor da empresa contratante) obtendo-se a média de cinco corpos de prova. A espessura do revestimento para este teste deve estar no intervalo de 375 - 500 µm de modo a evitar a penetração do adesivo ao substrato. A resistência individual de cada corpo de prova deve ser de:

- 10,3 MPa mínimo e média de 13,8 MPa no mínimo para revestimentos de alumínio;
- 5,52 MPa mínimo e média de 6,90 MPa no mínimo para revestimentos de zinco;
- 10,3 MPa mínimo e média de 13,8 MPa no mínimo para revestimento de 85Zn15Al.

O exame de cada corpo de prova após fratura deve ser observado para se identificar a causa da falha. Nenhum ensaio pode ter uma ruptura do tipo falha 100% adesiva ou 100% no metal de base (FIGURA 4).

8.2.4 Avaliação do Controle da Espessura do RAAT

Utilizando os corpos de prova em T (75 x 75 por 13 mm de espessura e 150 mm de comprimento) e trechos tubulares de 50 mm de diâmetro e 150 mm de comprimento ensaios de medição de espessura devem ser executados ao longo da superfície do RAAT. A espessura medida deve estar entre 0,25 e 0,40 mm. A aplicação do revestimento e a medição da espessura devem ser realizadas na presença de um inspetor da empresa contratante.

9 CONTROLE DA QUALIDADE DE APLICAÇÃO NO CAMPO

Antes do início de cada dia de trabalho um cupom para o teste de dobramento e ensaio visual deve ser preparado e testado. Cupons adicionais ou testes adicionais podem ser necessários quando vários tipos de componentes ou equipamentos estão sendo revestidos. No caso de falha, a causa deve ser identificada e o problema corrigido executando-se, então, um novo teste.

9.1 Inspeção Visual dos Cupons de Dobramento

Cada cupom fabricado deve ser inspecionado visualmente com um aumento de 7 - 10X, de acordo com os itens 8.2.1 e 8.2.2. O revestimento não deve conter empolamentos, partículas soltas assim como não deve apresentar trincas, porosidade excessiva ou cavacos que exponham o substrato metálico. Nos trechos onde forem encontrados esses defeitos assim como áreas com espessura elevada (superior a 400 μm) deve-se executar o ensaio de "arrancamento pela faca" ou o ensaio de adesão utilizando equipamentos portáteis.

9.2 Ensaio de Adesão no Campo

9.2.1 O ensaio de arrancamento pela faca consiste de um corte curto de 40 mm de comprimento ao longo do RAAT, antes da sua selagem, atingindo o substrato metálico usando-se para tal um canivete ou faca, ambos com lâmina bastante afiada. A lâmina da faca ou do canivete deve ser aplicada de forma vigorosa ao longo do corte na tentativa de se levantar alguma parte do revestimento metálico. Deve-se realizar uma inspeção com uma lupa de 7 - 10X de aumento de modo a verificar se alguma parte do revestimento pode ser levantada. Caso isto tenha ocorrido o revestimento deve ser considerado não satisfatório. Este teste pode ser executado tanto em copor de prova quanto na própria estrutura revestida. O teste é considerado não destrutivo, caso o mesmo tenha sido aprovado, podendo uma última camada de revestimento ser aplicada por cima da região testada para seu recobrimento.

9.2.2 O ensaio de adesão de campo por tração deve ser executado com equipamentos portáteis pneumáticos ou hidráulicos devidamente calibrados, escolhidos de comum acordo entre a firma contratada e a contratante, seguindo o especificado pela norma ASTM D 4541. Para tal um suporte de alumínio ou aço é colado na superfície do revestimento. Após a cura do adesivo o suporte é tracionado até atingir uma tensão de 6,9 MPa. Uma falha adesiva inferior a este valor indica um revestimento de baixa adesão sendo portanto reprovado. Este teste deve ser executado no primeiro m^2 e a cada 20 m^2 em áreas de fácil acesso podendo ser recoberto com o selante e pintura final caso não ocorra a falha.

9.3 Medição da Espessura

A espessura de cada cupom fabricado deve ser avaliada conforme o item 6.3 devendo estar de acordo com os limites especificados para cada meio corrosivo.

10 REGISTRO DE RESULTADOS

10.1 Os resultados da aplicação de revestimentos metálicos pelo processo de aspersão térmica devem ser registrados por meio de um sistema de identificação e rastreabilidade que permita correlacionar o local de aplicação com o relatório e vice-versa. Os resultados de inspeção e testes de aceitação (de laboratório e de campo) devem ter formulário próprio (ANEXO B) contendo no mínimo as seguintes informações:

- a) nome do órgão ou firma emitente;
- b) identificação numérica;

- c) identificação do equipamento ou tubulação;
- d) técnica de aplicação utilizada em todas as etapas da aplicação do revestimento;
- e) registro de resultados dos testes executados na etapa de qualificação e aplicação do revestimento;
- f) condições ambientais;
- g) laudo indicando aceitação ou rejeição;
- h) data;
- i) identificação e assinatura do executante;
- j) identificação e assinatura da fiscalização.

/ANEXO A

ANEXO A - RECOMENDAÇÕES PARA A SELEÇÃO DE REVESTIMENTOS PARA A PROTEÇÃO DO AÇO EM AMBIENTES CORROSIVOS

A-1 A utilização de revestimentos (principalmente metálicos) para a proteção do aço em ambientes corrosivos tem-se tornado prática usual pelo aumento significativo da vida útil das estruturas e equipamentos sendo em muitos casos superior a 20 anos podendo em outros superar a 40 anos. A seleção do RAAT depende do tipo de ambiente, da vida útil desejada, do ciclo de operação e da estrutura existente para manutenção e reparo do revestimento (TABELA).

A-2 Os RAAT de Alumínio, Zinco, suas ligas e compósitos quando aplicados em espessuras superiores a 230 μm (condição em que se tem poros não passantes) fornecem tanto proteção catódica por quanto barreira. Caso a espessura seja inferior a este valor o revestimento é consumido agindo como anodo de sacrifício, porém retardando a corrosão do substrato metálico. Os RAAT à base de Alumínio se corroem mais lentamente em ambientes bastante ácidos (Ph 4-9) em relação àqueles de zinco, enquanto estes se comportam melhor em ambientes alcalinos (Ph 5-12). Possuem também melhor resistência a desgaste e abrasão que aqueles de Zinco.

A-3 A porosidade dos RAAT é essencialmente função do material de consumo, do método de aplicação e dos parâmetros de aspersão. Os arames de menor diâmetro (1,6 e 2,3 mm), quando usado o processo a chama, assim como baixas correntes (100-200A) quando usado o processo a arco, são condições em que se conseguem menores valores de porosidade.

A-4 Em temperaturas superiores a 550°C e até cerca de 900°C deve-se usar o alumínio aplicado pelo processo a arco (espessura mínima de 200 μm). Este procedimento se adequa a ambientes com gases sulfurosos sendo também bastante conveniente para proteção de ligas à base de níquel. Em intervalos de temperaturas de 900°C até cerca de 1150°C e na presença de gases sulfurosos deve-se usar uma camada base de liga Fe-Cr ou Fe-Cr-6% Al (espessura 375 μm) seguida de uma camada final de alumínio puro (espessura de 100 μm). Caso não se tenha a presença de gases à base de enxofre pode-se usar uma liga à base de Ni-15Cr-25Fe (espessura de 375 μm). Um selante à base de alumínio e alcatrão de hulha e solvente adequado é recomendado nestas condições.

A-5 Os selantes devem ser aplicados com o objetivo de preencher os poros do revestimento, tornando a superfície aspergida menos áspera e aumentando a vida útil do revestimento. A selagem é preferível à pintura em si. A pintura normalmente possui uma vida mais longa quando aplicada sobre a superfície já selada reduzindo a corrosão ou mesmo evitando-a. Os RAAT já selados devem receber uma pintura como acabamento somente quando:

- a) o ambiente é muito ácido ou alcalino (Ph fora do intervalo 5-12 para o zinco e suas ligas ou fora do intervalo 4-9 para o alumínio e suas ligas e compósitos);
- b) o metal está sujeito a ataque direto por algum agente químico específico;

- c) efeito decorativo;
d) quando resistência a abrasão adicional é necessária.

TABELA - RECOMENDAÇÃO PARA SELEÇÃO DE REVESTIMENTOS EM AMBIENTES CORROSIVOS

	Espessura do Revestimento em Função do Ambiente Corrosivo (μm)							
	5-10 anos		10-20 anos		20-40 anos		> 40 anos	
	Al	Zn	Al	Zn	Al	Zn	Al	Zn
Marinho.	175-200	200-250	200-250	250-300	250-300	300-375	300-375	350-400
Imersão em Água Doce.	175-200	175-200	200-250	250-300	250-300	300-375	-	-
Imersão em Água do Mar.	200-250	250-300	250-300	350-400	300-350	-	-	-
Alta Temperatura (300-600°C).	250-375	-	-	-	-	-	-	-
CST-Amônia (Aço Carbono).	-	200-250	-	-	-	-	-	-

Notas: 1) O revestimento de zinco aplicado em equipamentos sujeitos a CST em ambientes contendo amônia deve se restringir a 500 μm para cada lado a partir do centro do cordão de solda.

- 2) Os revestimentos da liga 85Zn15Al são recomendados para as mesmas condições ambientais que aqueles de zinco puro com exceção de ambientes em imersão em água do mar onde os mesmos não devem ser aplicados.
- 3) Os revestimentos à base de alumínio não devem ser usados imersos em águas ou emulsões de óleo-água provenientes de campos de petróleo contendo bactérias redutoras de sulfato e cloretos principalmente quando a temperatura se situa na faixa de 30-80°C.
- 4) Os revestimentos à base de alumínio são recomendados para a proteção de superfícies de aço inoxidável austenítico, em substituição a revestimentos orgânicos, quando em contato com atmosferas ricas em cloretos (20 a 150°C), com ou sem isolamento térmico. Nestes casos a espessura mínima do revestimento deve ser de 350 μm e máxima de 500 μm .
- 5) Os revestimentos de alumínio têm sido usados com vantagem em relação a revestimentos orgânicos no combate a problemas de HIC em ambientes contendo H₂S principalmente quando o Ph se situa de 3-9 (espessura mínima 200 μm). Resultados positivos também têm sido reportados para o alumínio em sistemas tipo MEA.
- 6) Os revestimentos de alumínio para altas temperaturas e em condições cíclicas de operação devem ser aplicados pelo processo a arco.
- 7) Todos os revestimentos acima especificados devem receber selagem compatível com o meio e temperatura em que venham operar.
- 8) O alumínio possui algumas vantagens em relação ao zinco:
 - a) possui taxas de corrosão inferiores ao zinco para os ambientes considerados com exceção de ambientes com amônia;
 - b) apesar de ser cerca de 20% mais caro possui menor densidade o que acarreta menor peso de metal depositado e menor consumo de metal (cerca de 1/4 do consumo de arame de zinco).

ANEXO B - VERIFICAÇÕES RECOMENDADAS DURANTE A APLICAÇÃO DE REVESTIMENTOS POR ASPERSÃO TÉRMICA

Operação	Verificação
1) Preparação da Superfície: (Pré-Limpeza); Desengraxamento; Hidrojateamento; Limpeza a Quente.	1.1 Inspeção visual para verificação da limpeza (item 5.2.11). 1.2 Teste de evaporação de solventes (item 5.2.6.1). 1.3 Teste de chama (item 5.2.6.2).
2) Marcação e Proteção das Regiões a serem Jateadas.	2.1 Marcação das regiões (item 5.3.3.1). 2.2 Proteção das regiões que não serão revestidas (item 5.3.3.2). 2.3 Proteção temporária para os trechos sujeitos a excesso de espessura durante a aspensão de áreas adjacentes (item 5.3.3.2).
3) Qualidade do Abrasivo.	3.1 Inspeção visual do óxido de alumínio (partículas angulares, sem contaminação ou excesso de finos e dentro do diâmetro especificado (itens 5.3.5.4 a 5.3.5.6).
4) Qualidade do Ar para o Jateamento Final e Aspensão.	4.1 Realizar teste da qualidade do ar (item 5.3.2.3).
5) Limpeza Final.	5.1 Verificar grau de limpeza Sa 3 comparando com chapa de teste jateada por mais tempo (item 5.3.6.1). 5.2 Medir rugosidade (item 5.3.6.4).
6) Tempo entre o Final do Jateamento e o Início da Aspensão Térmica.	6.1 Itens 6.7.1 e 6.7.3.
7) Teste do Equipamento e dos Parâmetros de Aspensão Térmica.	7.1 Verificação da qualidade do arame. 7.2 Verificar operacionalidade do equipamento (item 6.1.1). 7.3 Verificar parâmetros operacionais (avaliar espessura do revestimento - item 8.2.4 e realizar teste de dobramento - item 9.1).
8) Aplicação da Aspensão Térmica.	8.1 Temperatura do substrato acima de 5°C da temperatura de orvalho. 8.2 Escolha correta do processo de aplicação (itens 6.2.1 a 6.2.3). 8.3 Preaquecer a 100-120°C quando usando o processo a chama (itens 6.5.1 a 6.5.3). 8.4 Aspensão térmica com ângulo de $90 \pm 30^\circ$ e correta distância ao substrato metálico (item 6.6.3). 8.5 Manter a espessura especificada por passe e usando passes cruzados e 1/3 sobrepostos (item 6.3). 8.6 Não é admitida qualquer deterioração da superfície metálica antes ou após a aspensão térmica. 8.7 Espessura final recomendada função de cada ambiente corrosivo, com no mínimo três camadas (ANEXO A). 8.8 Realizar o teste de arrancamento pela faca caso a espessura ultrapasse 400 μm . 8.9 Realizar testes de aderência do campo (item 8.2.3).
9) Selagem do Revestimento.	9.1 Inspeção visual para verificar se o cobrimento foi total. 9.2 Respeitar o tempo máximo permitido entre o fim da aspensão e a selagem (item 6.8.4).

ANEXO C - FIGURAS

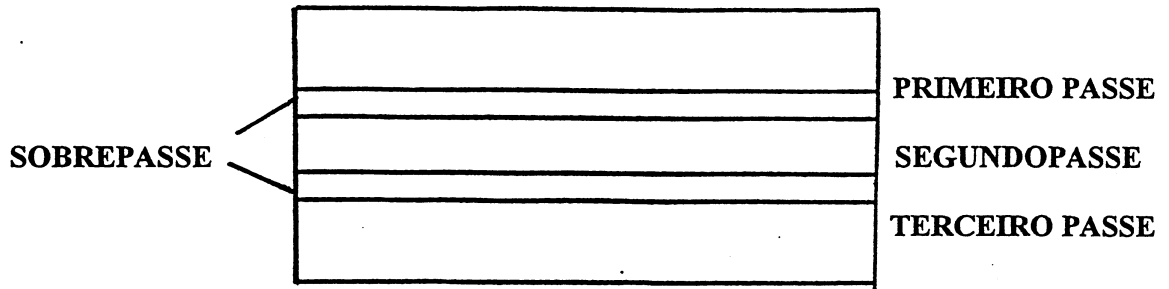


FIGURA 1 - SOBREPASSE ENTRE PASSES

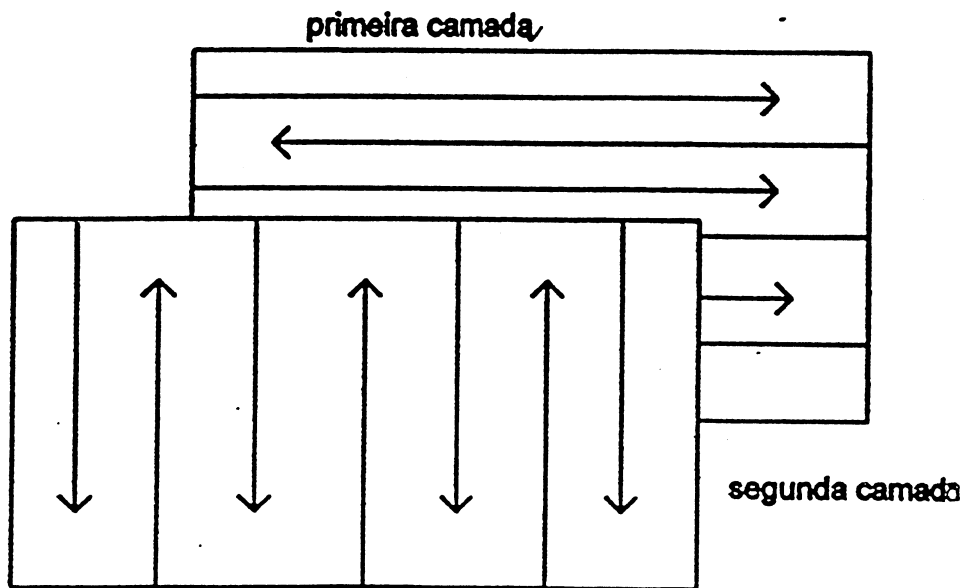


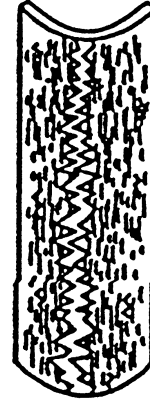
FIGURA 2 - APLICAÇÃO EM CAMADAS



APROVADO
(superfície lisa)



CONDIÇÃO LIMITE
(trincas)

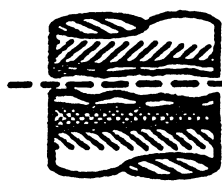


REPROVADO
(delaminação)

FIGURA 3 - INSPEÇÃO VISUAL APÓS TESTE DE DOBRAMENTO

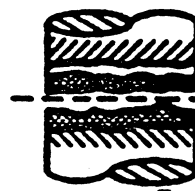


ROMPIMENTO	TIPO DE FALHA
DENTRO DA CAMADA	FALHA COESIVA
NA INTERFACE COM METAL BASE	FALHA ADESIVA



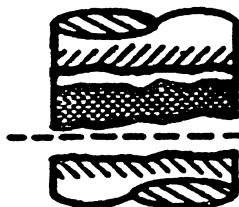
FALHA DENTRO DO ADESIVO

(b)



FALHA DENTRO DO REVESTIMENTO (FALHA DO TIPO COESIVA)

(c)



(d) FALHA NA INTERFACE REVESTIMENTO/SUBSTRATO (FALHA ADESIVA)

FIGURA 4 - FALHA ADESIVA E FALHA NO METAL DE BASE