

D O S S I Ê T É C N I C O

Oxidação negra

Ladislau Nelson Zempulski
Marina Fernanda Stocco Zempulski

Instituto de Tecnologia do Paraná

Janeiro
2008

Sumário

1 INTRODUÇÃO	2
2 OBJETIVO	2
3 OXIDAÇÃO	3
4 CARACTERIZAÇÃO DO ÓXIDO	3
5 PASSIVAÇÃO	4
5.1 Mecanismos de passivação	5
5.2 A oxidação negra como processo de passivação	6
6 INDICAÇÕES E LIMITAÇÕES	6
7 PROCESSOS DE OXIDAÇÃO	9
7.1 Oxidação a quente versus oxidação a frio	10
8 ETAPAS DA OXIDAÇÃO NEGRA	10
8.1 Limpeza mecânica	11
8.1.1 Esmerilhamento.....	11
8.1.2 Jateamento.....	12
8.1.3 Tamboramento	12
8.2 Desengraxe	12
8.2.1 Desengraxe por solvente	12
8.2.2 Desengraxe alcalino	13
8.2.3 Desengraxe por emulsão	14
8.3 Enxágüe	14
8.4 Decapagem	14
8.5 Enxágüe	15
8.6 Secagem	15
8.7 Oxidação negra	16
8.8 Enxágüe e secagem	16
8.9 Proteção final	16
9 PROCEDIMENTOS DE TESTE	17
9.1 Teste visual	17
9.2 Teste de aderência e espessura	18
9.3 Salt spray (névoa salina)	18
9.4 Câmara úmida	18
10 VANTAGENS DA OXIDAÇÃO NEGRA	18
11 PINTURA SOBRE METAIS OXIDADOS	19
12 NORMAS TÉCNICAS	19
Conclusões e recomendações	20
Referências	21

Título

Oxidação negra

Assunto

Serviços de tratamento e revestimento em metais

Resumo

Este dossiê apresenta o processo de revestimento de superfícies metálicas pela deposição de óxido de ferro, conhecido como oxidação negra. Posteriormente, são detalhadas as técnicas disponíveis, os mecanismos de aplicação, bem como suas propriedades, etapas, variações, vantagens, normas técnicas, etc.

Palavras-chave

Corrosão; metal; oxidação negra; passivação; revestimento metálico; tratamento de superfície

Conteúdo

1 INTRODUÇÃO

Estima-se que cerca de 20% da produção mundial de ferro seja consumida por problemas relacionados à corrosão, acarretando prejuízos anuais da ordem de bilhões de dólares em todo o mundo.

Corrosão refere-se à deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio em que o mesmo está inserido, aliada ou não a esforços mecânicos. A deterioração causada pela interação físico-química entre o material e o seu meio operacional representa alterações indesejáveis por parte deste, tais como desgaste, variações químicas ou modificações estruturais, tornando-o inadequado para o uso.

Desta forma, a procura por parte de fabricantes e consumidores por soluções alternativas e econômicas para a prevenção dos processos de corrosão impulsionou o desenvolvimento de inúmeras técnicas de revestimento e proteção.

Entre as diversas opções disponíveis no mercado, a oxidação negra tem como vantagem aliar o aumento da resistência à corrosão com a aparência estética, uma vez que a camada de revestimento formada é um filme negro aderente e uniforme, que proporciona uma barreira protetora, ao mesmo tempo que confere um acabamento decorativo às peças tratadas, sendo aplicada a diversos ramos da indústria mecânica, de forma simples, econômica e segura.

2 OBJETIVO

Este dossiê aborda diversos aspectos de natureza tecnológica sobre tratamentos de superfícies metálicas por oxidação negra e tem por objetivo disseminar informações que possam promover o incremento de melhorias junto às micro e pequenas empresas, bem como sanar dúvidas com relação ao processo e aspectos relativos à tecnologia de produção e processo, vantagens, dentre outros.

3 OXIDAÇÃO

Como elemento químico predominante na composição dos aços, o ferro é encontrado nos minérios, sob a forma de óxidos estáveis. Através da metalurgia, extrai-se o óxido do minério sob aquecimento e o metal é fabricado. Esta transformação deixa o material termodinamicamente instável. A corrosão, portanto, nada mais é do que o retorno do metal ao seu estado mais estável, o de óxido natural.

O termo “corrosão” pode ser definido como a reação do metal com os elementos de seu meio, na qual o metal é convertido a um estado não-metálico. Em resumo, este fenômeno é provocado pela existência de áreas com diferenças de potencial na superfície metálica.

Como na natureza a busca pelo equilíbrio é constante, ou seja, busca-se o estado de menor energia, os metais perdem átomos para o meio, convertendo-se em óxidos, o que caracteriza a corrosão.

Quando isto ocorre, o metal perde suas qualidades essenciais, tais como resistência mecânica, elasticidade, ductilidade e o produto de corrosão formado é extremamente pobre em termos destas propriedades.

Quando a camada de óxidos formada é homogênea e resistente, de modo que isole o material do meio que o cerca (o agride), este processo de oxidação torna-se benéfico, uma vez que protege o metal de corrosão adicional.

O processo conhecido industrialmente por **oxidação negra** consiste em produzir um filme de óxido de ferro preto uniforme e aderente na superfície, o qual apresenta uma proteção média contra a corrosão e não altera as dimensões e propriedades físicas ou mecânicas, da peça tratada. A oxidação negra possui certas propriedades e características que a tornam ideal para determinadas aplicações, incluindo a combinação de propriedades e acabamento com o menor preço de mercado.

É indicado para superfícies de aço, aço inox, cobre, latão e estanho. Em resumo, onde não é aceitável a aplicação de qualquer processo de recobrimento metálico ou alteração das dimensões da peça, sendo muito utilizado no tratamento de armas de fogo e peças ferrosas tais como: ferramentas de corte, molas, corpos de válvula, porta ferramentas, fixadores, moldes, componentes e blocos de máquinas hidráulicas, correntes, rodas dentadas, engrenagens, parafusos, ferramentas manuais e de máquinas, componentes automotivos em geral, etc.

Em ferramentas, este tratamento é muito importante uma vez que reduz a reflexão da luz nas peças, minimizando, assim, a fadiga ocular ao manuseá-las.

Após a oxidação negra, é feito um pós-tratamento com óleo, cera ou verniz, para aumentar a resistência à corrosão, principalmente para peças expostas a ambientes externos.

O brilho do filme de óxido depende do estado da superfície da peça. Desta forma, superfícies polidas produzirão filmes pretos brilhantes, enquanto superfícies foscas permanecerão foscas após o tratamento.

4 CARACTERIZAÇÃO DO ÓXIDO

Óxidos são compostos binários formados por átomos de oxigênio com outros elementos. O produto formado sobre a superfície metálica tratada por oxidação negra é um óxido de ferro, dentre os diversos que podem se formar, conhecido como magnetita (FIG. 1).

A magnetita é um mineral magnético formado pelos óxidos de ferro II e III ($\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$), cuja fórmula química é Fe_3O_4 . Apresenta em sua composição aproximadamente 69% de FeO e 31% de Fe_2O_3 , ou seja, 26,7% de ferro e 72,4% de oxigênio.



Figura 1 - Aspecto da magnetita
Fonte: WIKIPEDIA

Sua estrutura apresenta forma cristalina isométrica (FIG. 2), geralmente na forma octaédrica, de dureza 5,5 - 6,5, quebradiço, fortemente magnético, de cor preta e brilho metálico, com densidade relativa entre 5,158 e 5,180.

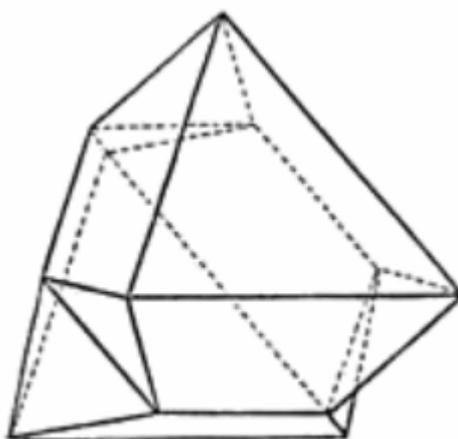


Figura 2 - Representação da estrutura cristalina da magnetita
Fonte: WIKIPEDIA

5 PASSIVAÇÃO

Passivação é o processo de tornar um material (metal ou liga) menos corrosivo em relação a outro antes de utilizar estes materiais em conjunto, em decorrência da presença de um filme passivo (natural ou artificial). Seu efeito protetor dá-se pela modificação do potencial de um eletrodo no sentido de diminuir a atividade (torná-lo mais catódico ou mais nobre) devido à formação de uma película, geralmente produto de corrosão.

Na maior parte dos casos (alumínio, aço, aços inoxidáveis, titânio, etc), este filme passivo, estável e não-reativo, aparece espontaneamente por oxidação, pois o óxido formado sobre a superfície é insolúvel e constitui um obstáculo que dificulta a propagação dos processos de degradação.

O filme desacelera o processo de corrosão, seja pelo transporte de matéria até à interface metálica devido à barreira física, seja pelo transporte de elétrons necessário à oxidação devido à baixa condutibilidade do filme protetor.

Problemas ocorrem quando esta camada protetora é rompida, expondo a superfície do metal. Por este motivo, para caracterizar um filme protetivo, o mesmo deve recobrir completamente a superfície e resistir a impactos, fricções, etc.

5.1 Mecanismos de passivação

Em condições normais de pH e concentração de oxigênio, a passivação é observada em materiais como alumínio, ferro, zinco, magnésio, cobre, aço inoxidável, titânio e silício. O aço comum pode formar uma camada de passivação em ambientes alcalinos.

As condições necessárias para a passivação são demonstradas nos diagramas de Pourbaix. (FIG. 3) Tais diagramas representam a estabilidade de diferentes fases, dos mais diversos materiais, através do potencial elétrico em função do pH, de acordo com a relação de Nernst.

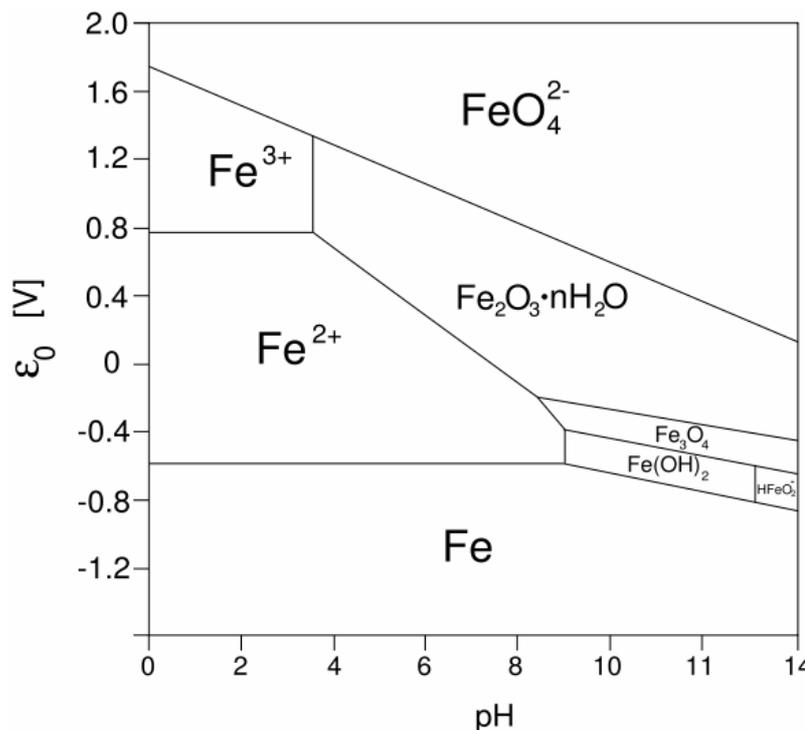


Figura 3 - Diagrama de Pourbaix para o Ferro
Fonte: WIKIPEDIA

Artificialmente, a passivação pode se dar através de meios químicos ou eletroquímicos.

Como exemplo de processo químico, tem-se a fosfatização, onde a partir de uma solução contendo fosfatos pouco solúveis em água, estimula-se a deposição destes sobre uma superfície metálica na forma de uma fina camada de cristais.

Já como exemplo de passivação eletroquímica, pode-se destacar o processo de galvanização eletrolítica. Neste, o recobrimento de uma superfície com um material condutor (zinco) é feito pela migração e fixação de partículas carregadas eletricamente de uma solução aquosa iônica com o auxílio de corrente elétrica, segundo os conceitos de eletrodeposição.

Alguns inibidores de corrosão também auxiliam a formação de uma camada de passivação sobre a superfície de metais para que eles possam ser empregados.

Para obter mais informações a respeito de fosfatização e galvanização eletrolítica, sugere-se a consulta aos seguintes Dossiês Técnicos disponíveis no Banco de Dossiês do SBRT:

ZEMPULSKI, Ladislau Nelson; ZEMPULSKI, Marina Fernanda Stocco. **Fosfatização.**

Curitiba: Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas – SBRT; Instituto de Tecnologia do Paraná – Tecpar, 2007. Disponível em:

<<http://www.respostatecnica.org.br/dossies.do?idMenu=13>>. Acesso em: 04 jan. 2008.

ZEMPULSKI, Ladislau Nelson; ZEMPULSKI, Marina Fernanda Stocco. **Galvanização eletrolítica.** Curitiba: Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas – SBRT; Instituto de

5.2 A oxidação negra como processo de passivação

A oxidação negra, também conhecida como *bluing* devido à cor preto-azulada resultante do revestimento acabado e às vezes chamada de *browning* quando em referência a processos históricos datados do século 18, é uma camada de passivação basicamente utilizada para revestir superfícies de ferro e aço.

Trata-se de um dos mais antigos processos de passivação, que confere à superfície uma camada de conversão proveniente da reação química de oxidação com o ferro na superfície, formando seletivamente a magnetita, Fe_3O_4 , o óxido negro de ferro que ocupa o mesmo volume do metal reduzido.

Ao ser formado, o óxido negro sozinho provê mínima proteção contra a corrosão, mas ao ser adicionalmente tratado com soluções oleosas reduz as ações galvânica e de umidade, aumentando assim a resistência do material a processos corrosivos.

Em contraste, o óxido vermelho de ferro (Fe_2O_3), popularmente conhecido como “ferrugem” e encontrado na corrosão vermelha generalizada do metal, não ocupa o mesmo volume do metal ferro, danificando-o, conseqüentemente.

6 INDICAÇÕES E LIMITAÇÕES

A oxidação negra, sendo uma camada de conversão química, não é tão resistente como os revestimentos metálicos contra o desgaste e a corrosão e, geralmente, não é mais espessa que 0,0001 polegadas (2,5 micrometros).

A princípio, o recobrimento de uma superfície por oxidação negra para proteção contra a corrosão só ocorre em peças de materiais ferrosos, pois devido à conversão do ferro em Fe_3O_4 , esta camada de passivação não é formada em materiais não-ferrosos. Entretanto, resultados semelhantes são obtidos nestes metais quando são oxidados sob condições especiais e adequadas, voltadas para a formação do óxido negro.

Em resumo, aplica-se efetivamente a camada de conversão de óxido negro em diversos materiais metálicos ferrosos e não ferrosos, como aços carbono, aços ligados e aços inoxidáveis; ferros fundidos, ligas de cobre (como latões e bronzes) e matrizes fundidas de zinco, obtendo resultados satisfatórios ainda em junções ou peças com metais diferentes (FIG. 4).

Este tratamento é comumente utilizado pelos fabricantes e proprietários de armas de fogo para melhorar a aparência estética e fornecer limitada resistência contra a corrosão da arma. Mas, para a aquisição de tal propriedade, todas as partes revestidas ainda necessitam ser adequadamente oleadas para evitar a ocorrência de corrosão. Como não é considerado qualquer aumento significativo de espessura nas peças, incluindo a precisão das armas, este processo é muito usado.



Figura 4 - Oxidação negra sobre aços
Fonte: CLEVELAND BLACK OXIDE

Aplicando-se a oxidação negra sobre aços inoxidáveis, uma superfície de cor preta uniforme é obtida, sem alterar a resistência à corrosão do metal construído (FIG. 5).



Figura 5 - Oxidação negra sobre aços inox
Fonte: CLEVELAND BLACK OXIDE

A oxidação negra sobre latão, bronze e cobre é utilizada para melhorar a aparência das peças, aumentar a resistência à corrosão e criar um contraste entre diferentes materiais (FIG. 6).

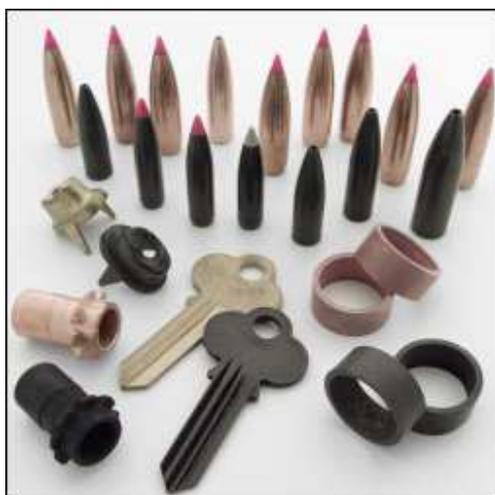


Figura 6 - Oxidação negra sobre latão, bronze e cobre
Fonte: CLEVELAND BLACK OXIDE

Sobre matrizes fundidas de zinco, a oxidação negra confere uma cor preta uniforme enquanto melhora a resistência à corrosão e à escamação, bem como a lubricidade e as propriedades da peça, sem alterar suas dimensões (FIG. 7).



Figura 7 - Oxidação negra sobre matrizes fundidas de zinco
Fonte: CLEVELAND BLACK OXIDE

A oxidação negra sobre molas, tem como objetivo converter todas as superfícies da mola com um acabamento preto esteticamente agradável (FIG. 8). O revestimento deve permanecer sob flexão, torção, alongamento, manipulação e revestir todas as superfícies da peça.



Figura 8 - Oxidação negra sobre molas
Fonte: CLEVELAND BLACK OXIDE

A oxidação negra sobre bimetálicos, juntas ou ligas de metais dissimilares, proporciona um acabamento uniforme com resistência à corrosão e integridade dimensional sob um custo econômico.

Além do aspecto estético, a oxidação negra em bimetais acrescenta a mesma resistência à corrosão e desempenho atingidos com o óxido preto padrão (FIG. 9). A superfície resultante não apresenta lascas ou fissuras; orifícios e fendas não são preenchidos por material de revestimento; não ocorrem mudanças dimensionais; e não há necessidade de se proteger cavidades internas durante o tratamento.



Figura 9 - Oxidação negra sobre bimetais
Fonte: CLEVELAND BLACK OXIDE

Com o crescente uso da metalurgia do pó, muitos estão encontrando seu caminho em aplicações onde ambos, aparência e resistência à corrosão são críticos.

Embora processos como tratamento a vapor, dicromo preto e fosfato preto sejam opções viáveis, apenas a oxidação negra protege a integridade do material, enquanto proporciona uma aparência esteticamente agradável de acetinado preto com resistência à corrosão.

A oxidação negra é uma superfície de conversão prática e econômica para superfícies visíveis e para peças de junção, onde é requerido reduzido atrito (FIG. 10).



Figura 10 - Oxidação negra com pó metálico
Fonte: CLEVELAND BLACK OXIDE

7 PROCESSOS DE OXIDAÇÃO

A oxidação negra pode ser obtida por processos térmicos e ou químicos.

No primeiro caso, a camada de revestimento de magnetita (óxido preto) é obtida pelo aquecimento da peça a temperaturas em torno de 480° C, permitindo que a superfície reaja com o ar atmosférico, até a formação de óxido preto (magnetita), seletivamente sobre o óxido vermelho. A peça então é resfriada ao ar e oleada para fornecer significativo aumento da resistência à corrosão. Para a oxidação negra em escala industrial utiliza-se fornos.

Pelo método químico, a oxidação negra é obtida mergulhando-se a peça em uma série de banhos químicos que produzirão o filme de óxido. Existem comercialmente diversas patentes industriais para este processo e dentre os processos de oxidação negra química, pode-se dividir em dois tipos: a quente e a frio. O presente trabalho concentra esforços em

detalhar especificamente os métodos químicos de oxidação negra.

A oxidação negra a quente utiliza uma solução cáustica que, misturado com água e sob ação de temperatura (135 – 140°C), produz um acabamento preto, aderente e uniforme de óxido ferroso-férrico na superfície das peças tratadas. Podem ser tratadas peças de aço com teor de cromo inferior a 12%.

A oxidação negra a frio é realizada à temperatura ambiente (20 – 30°C) e utiliza soluções alcalinas líquidas concentradas que são diluídas em água e por meio de reações químicas produzem um acabamento preto, resistente ao atrito, aderente e uniforme na superfície das peças tratadas. Podem ser tratadas peças de aço e ferro fundido com teor de cromo inferior a 12%.

Apesar do método químico ser mais prático e eficiente que a oxidação térmica, possui o inconveniente de produzir rejeitos químicos, uma vez que utiliza soluções altamente alcalinas no banho de oxidação.

7.1 Oxidação a quente versus oxidação a frio

A oxidação negra química a quente pode ser aplicada, por exemplo, imergindo as partes de aço a serem oxidadas em uma solução de nitrato de potássio, hidróxido de sódio e água aquecida ao ponto de ebulição. Da mesma forma, as partes de aço inoxidável a serem oxidadas são imersas em uma mistura de nitrato e cromatos, similarmente aquecida. Este método está entre as formas mais eficazes de oxidação negra, fornecendo o maior grau de resistência permanente à corrosão e proteção estética das áreas metálicas expostas.

O mesmo foi originalmente utilizado por fabricantes de armas no século XIX. Após a formação da camada de óxidos, a superfície deve ser estabilizada, eliminando qualquer resíduo remanescente da solução ácida aplicada. O processo foi posteriormente abandonado devido ao longo período e intenso trabalho requeridos para se obter o acabamento, mas por vezes ainda é aplicado.

Enquanto o processo a quente leva de 15 a 30 minutos para enegrecer a superfície, o processo a frio leva cerca de 2 minutos, pois não existe um período de espera para aquecer a mistura e as peças são tratadas à temperatura ambiente.

Produtos comerciais são amplamente vendidos em pequenos frascos para oxidação a frio de armas de fogo e ferramentas; esses produtos são utilizados principalmente por seus proprietários para evitar que um pequeno risco se torne, com o tempo, uma fonte de corrosão em uma arma. O método não é particularmente resistente ao desgaste do revestimento, nem oferece um elevado grau de resistência à corrosão. No entanto, freqüentemente oferece um bom acabamento estético quando oleado após a formação da camada de óxidos na superfície.

A oxidação a frio é freqüentemente aplicada após uma limpeza preliminar da área do aço a ser oxidada com álcool, permitindo que a área seque ao ar, seguida de aplicação (por uma ou mais vezes) da solução oxidante à temperatura ambiente e, posteriormente, à secagem da superfície, oleamento.

8 ETAPAS DA OXIDAÇÃO NEGRA

O primeiro passo de qualquer processo de revestimento consiste na limpeza do material metálico. Para que o acabamento do metal seja perfeito, é preciso que a superfície esteja completamente limpa, livre de óleos, graxas, óxidos, carepas de solda ou tinta. Portanto, o metal é submetido a sucessivas etapas de desengraxe e decapagem ácida ou alcalina, intercaladas por lavagens com água corrente com pH controlado, para remoção de resíduos entre operações, a fim de que um banho não contamine o outro.

A seleção do método de limpeza mais adequado para determinada aplicação depende basicamente de três importantes fatores:

- tipo e quantidade de graxa, óleo e outras sujidades;
- disponibilidade de equipamentos;
- efeito residual da limpeza no revestimento produzido;
- considerações práticas como custo, quantidade de peças envolvidas, etc.

Nenhum processo de limpeza remove sozinho todos os contaminantes encontrados na superfície. Portanto, a seleção adequada dos métodos, assim como a ordem de aplicação destes, deve ser feita com atenção.

As soluções de limpeza devem ser formuladas de modo a assegurar uma concentração adequada dos reagentes, garantindo um pH ideal para uso efetivo das substâncias tensoativas e detergentes, e manter este pH ideal através de soluções-tampão, as quais neutralizam as impurezas ácidas ou básicas. Devem conter também um reagente que elimine a dureza da água (elevadas concentrações de sais de cálcio e magnésio na água), bem como inibidores que evitem o ataque à superfície metálica, impedindo assim a sua decapagem. Os tanques devem sofrer limpezas periódicas, para remoção de resíduos.

Esquemáticamente para o processo de oxidação negra, tem-se:

- Limpeza mecânica;
- Desengraxe (por solvente/alcalino);
- Enxágüe;
- Decapagem (ácida/alcalina);
- Enxágüe;
- Secagem;
- Oxidação negra;
- Enxágüe;
- Secagem;
- Acabamento (oleamento).

8.1 Limpeza mecânica

Para a remoção de óxidos ou sujidades, orgânicas ou inorgânicas, em uma superfície metálica, utilizam-se métodos mecânicos, os quais podem ser manuais (escovas de aço, martelos de impacto, lixas raspadoras, etc) ou mecanizados (raspadeiras, lixadeiras, politrizes, pistola de agulhas ou de estiletos, martelotes pneumáticos, etc). Dentre eles, os mais utilizados nos processos de oxidação negra são o polimento, o esmerilhamento, o jateamento e o tamboramento.

8.1.1 Esmerilhamento

Esta operação consiste em dar um acabamento às superfícies planas ou cilíndricas, externas ou internas, deixando-as finas e com a medida precisa (retífica plana/cilíndrica).

O esmerilhamento é feito com “pedras de esmeril” compostas de um material esmerilhador, que em forma de pequenos grãos é embebido em outro material aglutinante, que pode ser cerâmico, vegetal ou mineral, que é o que determina a forma e dimensões da pedra.

As pedras trabalham como as fresas de disco, girando a alta velocidade em máquinas de diferentes tipos, conforme o trabalho a efetuar, onde se fixa a peça a usinar, a qual tem o movimento mais adequado à operação.

As pedras têm em geral a forma de disco mais ou menos grosso, montado adequadamente sobre o eixo que a faz girar para efetuar um trabalho tangencial, mas podem ser feitas também em forma de vaso ou outras formas especiais para realizar trabalhos laterais ou frontais.

8.1.2 Jateamento

O jateamento é o procedimento mais completo para remoção de escamas e produtos de corrosão, conferindo à superfície uma rugosidade propícia para melhor ancoragem e aderência a sistemas de pintura. É eficaz, rápido e de bom rendimento, mas requer um equipamento mais caro.

Este processo não é recomendado para peças de seção reduzida; peças onde possam ser causadas distorções (em peças, por exemplo, com pequeno diâmetro); peças onde as dimensões forem rigorosas (por exemplo, engrenagens, roscas); ou em componentes elétricos onde as tensões induzidas alterem as propriedades do material.

Por meio de ar comprimido ou da ação centrífuga de rotores providos de pás, abrasivos são projetados a alta velocidade contra a superfície a ser limpa.

Existem inúmeros tipos de abrasivos dependendo do local de uso, finalidade do jateamento, superfície a ser jateada, etc, sendo sua correta seleção essencial para evitar danos à superfície a ser tratada. Dentre os mais utilizados, pode-se citar granalha de aço, óxido de alumínio, esferas de vidro e escórias de cobre.

8.1.3 Tamboramento

O tamboramento é um processo de limpeza mecânica baseado no movimento de rotação de tambores ou cilindros rotativos onde as peças metálicas sofrem um tratamento superficial de abrasão ou de acabamento.

A eficiência deste método depende da correta escolha de tamanho, dureza e formato das partículas de um meio sólido adequado, convenientemente auxiliado por soluções de certas substâncias específicas, geralmente tensoativos.

8.2 Desengraxe

Esta etapa tem por objetivo garantir a remoção de substâncias orgânicas da superfície do material que se deseja tratar, pois sua presença compromete a qualidade do revestimento do metal base.

Realiza-se, geralmente, imersão em cubas ou vapores com soluções alcalinas (a quente ou a frio) e/ou solventes orgânicos para remoção de quaisquer resquícios de materiais orgânicos (óleos, graxas, etc), seguida de enxágüe, embora outros métodos também sejam aplicáveis.

8.2.1 Desengraxe por solvente

O desengraxe por solvente é um dos métodos mais antigos para remoção de compostos oleosos de superfícies metálicas, sendo que os solventes empregados cobrem uma vasta gama de compostos químicos.

Todos os solventes são potencialmente perigosos e devem ser utilizados sob condições nas quais sua concentração no ar para inalação deve ser mantida sob limites seguros. Benzeno, gasolina e tetracloreto de carbono, por exemplo, devem ser evitados devido à elevada toxicidade e inflamabilidade.

Os solventes removem prontamente óleos e graxas, são facilmente aplicados e o equipamento necessário para seu emprego ocupa um espaço mínimo.

Infelizmente, existem algumas desvantagens ligadas à limpeza por solventes que impõem certas limitações a sua utilização:

- ambos, solvente e aplicador, são rapidamente contaminados e ao invés de remover o óleo completamente, apenas o redistribuem;

- a limpeza por solvente é cara se for operada de maneira rigorosamente correta. Solventes eficazes possuem um custo inicial elevado; a destilação para seu reuso é dispendiosa e perdas devem ser esperadas;
- apenas óleos e graxas são removidos; óxidos e escamas são mantidos e devem ser tratados por outros métodos;
- os vapores de alguns dos melhores solventes (solventes clorados e aromáticos) são tóxicos e representam, a longo ou curto prazo, danos à saúde em diversos aspectos;
- alguns solventes clorados são decompostos pelo calor em contato com água e metal, formando ácido clorídrico, que ataca o equipamento e estimula a corrosão nas peças limpas.

Os métodos mais utilizados para desengraxe com solventes são por imersão em tanques ou por condensação dos vapores de solvente na superfície metálica relativamente fria, escorrendo e carregando assim os compostos oleosos na peça.

8.2.2 Desengraxe alcalino

A limpeza alcalina é usualmente mais eficiente, barata e menos perigosa do que os métodos operados com solventes. Os compostos químicos para limpeza alcalina, que são formulados para abranger uma grande variedade de funções de limpeza e pré-tratamento, são solúveis em água e utilizados a temperaturas geralmente elevadas.

A limpeza da superfície se dá pela saponificação de alguns dos compostos oleosos desta e estes compostos formados agem sobre os demais, eliminando os outros contaminantes da peça. Portanto, as propriedades detergentes e saponificantes se sobressaem em detrimento da solvência.

Uma das características desejáveis para a solução de desengraxe alcalino é a habilidade desta manter razoavelmente alta alcalinidade apesar da introdução de contaminantes ácidos ou consumo dos álcalis na saponificação dos óleos.

Uma vez que nenhum sal alcalino possui todas as propriedades necessárias, utiliza-se atualmente quase que exclusivamente combinações destes. Estas combinações serão diferenciadas dependendo do grau de sujeira, do tipo de sujidades, do material que compõe a peça e dos equipamentos disponíveis.

Uma vez que o calor aumenta a atividade e melhora a efetividade dos componentes alcalinos de desengraxe, a temperatura é uma importante consideração a ser feita na aplicação de qualquer desengraxe alcalino.

Os sabões formados são removidos pelo enxágue que sucede o desengraxe alcalino, mas este processo é menos eficiente que o desengraxe por solvente para algumas aplicações, como compostos orgânicos pesados, por exemplo. Recomenda-se um estudo preliminar antes da escolha entre um ou outro, quando não for possível a utilização de ambos os métodos.

O desengraxe alcalino pode ser formulado para remover produtos de corrosão por imersão ou métodos eletrolíticos, podendo ainda ser aplicado por *spray* pressurizado.

Os chamados alcalinos pesados são usados em peças de aço ou ferro fundido, ideais para grandes quantidades de sujeira e de natureza severa. Já os alcalinos médios são usados em latão, zinco, etc. Os alcalinos leves são totalmente isentos de alcalinidade por hidróxidos e são indicados para metais e ligas facilmente atacáveis.

Com uma concentração de detergentes entre 3 a 5% e temperatura de aproximadamente 80°C, pode-se realizar a operação por um intervalo de tempo variável, dependendo do grau de sujidade, com uma média geral de 5 minutos.

Para um desengraxe alcalino eletrolítico, tem-se como eletrólito uma solução aquosa de NaOH 80 g/l e silicato de sódio (Na₂SiO₃) 50 g/l; para os eletrodos utiliza-se como ânodo

(+) o aço inox e como cátodo (-), a peça a ser oxidada. Para uma densidade da corrente de 2 a 4 A/dm² e temperatura por volta de 60°C, a operação dura entre 1 a 3 minutos.

8.2.3 Desengraxe por vapor

Utiliza-se vapor para a limpeza de superfícies quando imersões e *sprays* não são aplicáveis e quando deseja-se uma qualidade de limpeza superior. Através de vapor d'água ou água quente sob pressão, em companhia de detergentes, direcionados contra a peça a ser limpa, as sujidades são removidas.

O detergente pode ser suficientemente cáustico para remover óleo de pintura, assim como sujeiras, graxas, manchas, etc. A superfície a ser tratada deve ser molhada para permitir que o componente limpante possa desconectar da matéria o contaminante, que será posteriormente removido por outro passe.

Diversos passes rápidos são preferidos em comparação a apenas um lento.

Uma vez que uma grande quantidade de vapor e compostos químicos são consumidos, o custo desta operação pode ser muitas vezes maior do que os processos de limpeza por imersão ou *spray*.

8.2.3 Desengraxe por emulsão

Os métodos de desengraxe por emulsões foram desenvolvidos para colocar a sujidade em contato com um solvente orgânico e uma solução aquosa de agentes surfactantes, de modo que a sujidade se dissolva nas porções apropriadas, de acordo com sua composição e possa ser removida pelo enxágüe subsequente.

Em geral, um leve resíduo de natureza oleosa é mantido e o mesmo deve ser removido por operações adicionais antes que se apliquem os revestimentos adequados. Por outro lado, esse filme é desejado em alguns casos por promover alguma resistência à corrosão quando há estocagem entre operações.

Devido à natureza das emulsões, não há um método conveniente para controlar a concentração destes compostos a não ser por controle de performance.

No desengraxe por emulsões, o solvente está presente na fórmula de minúsculas gotas dispersas em soluções aquosas, estabilizadas por agentes surfactantes. Em geral, os solventes utilizados são hidrocarbonetos e a inflamabilidade representa um problema. Porém, como nesta solução estão dispersos em água, em que um ponto de ignição moderado pode ser considerado, opera-se a temperaturas elevadas a aproximadamente 80° C sem grandes riscos.

A solução concentrada é composta por agentes emulsificantes, surfactantes, solventes orgânicos e, em alguns casos, água. Posteriormente, esta é dissolvida em água, em concentrações que variam de 1 parte de solução para 10 a 200 partes de água.

8.3 Enxágüe

O enxágüe intermediário entre os banhos tem como objetivo remover o excesso de desengraxante, proporcionando uma não contaminação da próxima etapa e eliminando também os resíduos da etapa anterior.

Utiliza-se água com transbordamento contínuo ou conforme a demanda, em renovação constante e, preferencialmente, sob agitação, para que o contato superfície metálica – água seja maior, garantindo um melhor resultado de operação. Quanto à temperatura, opera-se com valores próximos à ambiente.

8.4 Decapagem

Os decapantes têm como finalidade remover ferrugem, películas indesejadas de oxidação

e carepas de laminação, de modo a obter uma superfície metalicamente limpa e isenta de impurezas e óxidos.

O meio mais comum e econômico para a remoção destas impurezas é a decapagem por ácidos, aplicada quando outros métodos não conseguem remover as sujidades.

Utiliza-se ácidos como sulfúrico (H_2SO_4), clorídrico (HCl), nítrico (HNO_3), fosfórico (H_3PO_4), bem como misturas destes ácidos. O ácido sulfúrico, devido ao seu baixo custo, alto ponto de ebulição, disponibilidade e propriedades em geral, é amplamente utilizado na decapagem de aços.

As trincas existentes permitem a penetração e a interação do óxido com a película menos oxidada e mais solúvel, de forma que as camadas soltem-se sob a forma de escamas e depositem-se no fundo do tanque, dissolvendo-se com o tempo.

Com a penetração do ácido através dos poros ou fendas da camada de óxido até o metal base, os ácidos adequados a esta operação acabam freqüentemente por atacá-lo. Quando isto ocorre, ácido e metal são desperdiçados, surgindo manchas que devem ser retiradas antes dos tratamentos de revestimento subseqüentes.

Embora o ataque ácido sobre a superfície metálica tenha como finalidade a remoção da ferrugem e oxidação, este deve ser controlado a fim de evitar o consumo do metal, o desgaste anormal das peças, além do perigo produzido pela liberação do hidrogênio que pode fragilizar os aços.

Para prevenir estes problemas, recomenda-se a utilização de inibidores. Quando estes são utilizados, deve-se evitar que os mesmos sejam carregados para o banho de oxidação negra.

Os inibidores são usados com o objetivo de evitar que o metal-base seja atacado, sem modificar, contudo, a velocidade de decapagem, além de evitar a evaporação, limitando perdas e a exalação de gases corrosivos fortes.

É preferível se controlar a quantidade de material removido regulando a concentração de ácido, o tempo de decapagem e a temperatura, mas, quando algumas áreas são excessivamente atacadas em detrimento de outras, o uso de inibidores é praticamente obrigatório.

A decapagem é normalmente atrelada à imersão das peças em banhos, mas obtém-se resultados semelhantes para *sprays* ou pulverizações das soluções decapantes.

Para uma concentração de decapante de 5 a 10% expresso em H_2SO_4 ou solução aquosa de 450 g/l de HCl e temperatura de 50 a 60°C para o H_2SO_4 e 20 a 30°C para o HCl, tem-se um processo por tempo variável, dependendo do estado de oxidação das peças (em geral, de 5 a 10 minutos).

8.5 Enxágüe

Nesta etapa do processo, o enxágüe tem como objetivo remover partículas e resíduos ácidos da etapa anterior, utilizando água deionizada com transbordamento contínuo ou conforme produção, sendo que a peça deve entrar em equilíbrio térmico com a solução. Quando submetido à agitação mecânica, a operação de enxágüe é mais eficaz.

8.6 Secagem

Anteriormente à operação de oxidação, é realizada uma secagem preliminar da peça em estufa, a uma temperatura na faixa de 80 a 100°C, por um período de 3 a 5 minutos. Desta forma, a camada de óxidos será homogênea em toda a superfície.

Para o processo de oxidação a quente, a secagem pode ser dispensada se for aguardado que a peça seque espontaneamente em contato com o calor da solução oxidante, antes

de imergi-la nesta.

8.7 Oxidação negra

Após realizadas as etapas de preparação das superfícies, inicia-se a fase de oxidação propriamente dita, que consiste na imersão completa da peça em um tanque com um volume adequado da solução apropriada, a uma determinada temperatura, onde ocorrem as reações a quente ou a frio para se promover a formação do óxido negro de ferro, o revestimento protetivo.

Se a peça for introduzida molhada no banho quente, a água evaporará instantaneamente podendo causar espirros e outros acidentes, assim como se as peças forem adicionadas muito rapidamente.

A oxidação, no seu processamento a quente, é realizada pela imersão da peça em uma solução aquosa concentrada de hidróxido de sódio (NaOH), ± 800 g/l, e nitrito de sódio, ± 100 g/l, à temperatura de ebulição (entre 130 a 140°C), por aproximadamente 10 minutos. Para temperaturas acima de 149°C, a formação do óxido vermelho de ferro é acelerada, prejudicando o resultado final.

Para diminuir a temperatura de ebulição, pode-se adicionar água à solução oxidante, assim como para aumentar o ponto de ebulição, deve-se aumentar a concentração dos agentes químicos.

Faz-se necessário um bom sistema de exaustão de vapores nos dois processos químicos de oxidação negra. A lama de óxidos insolúveis formada no fundo do tanque de processamento não pode ser acumulada, devendo ser regularmente drenada ou retirada por outros métodos.

8.8 Enxágüe e secagem

Analogamente às etapas anteriores de enxágüe e secagem, esta tem como objetivo remover os álcalis da etapa anterior e preparar a superfície para o acabamento final.

Utiliza-se água com transbordamento contínuo ou conforme produção, em constante renovação e temperatura ambiente, para posterior secagem em estufa a temperaturas entre 60 a 80°C, até completa remoção de água.

Após a oxidação a quente, é preferível primeiramente um enxágüe em água aquecida e posteriormente à temperatura ambiente, seguido de secagem.

8.9 Proteção final

O revestimento complementar (pós-acabamento) determina a aparência final e é função da superfície tratada. Quando se especifica "oxidação negra", sem qualquer pós-acabamento específico, é interpretado como oxidação negra e oleamento.

Recomenda-se sempre aplicar o oleamento, pois o óxido negro sem um pós-acabamento possui uma proteção contra corrosão muito pobre. No entanto, com um óleo, cera, ou verniz é possível alcançar excelentes níveis de proteção contra corrosão em ambientes fechados (mais de 100 horas em câmara úmida).

Óxidos negros em aço não são adequados para aplicações severas ao ar livre ou ambientes corrosivos, mas eles podem fornecer resultados superiores em câmara úmida com o revestimento complementar adequado. Em aço inoxidável e/ou ligas de latão, excelente proteção à corrosão pode ser obtida, principalmente devido as suas propriedades intrínsecas.

O pós-acabamento é geralmente determinado pela configuração da peça e da utilização final. Se um acabamento "dry-to-touch" (seco ao toque) é necessário, é importante

especificar óleo, cera ou verniz. O óleo de pós-acabamento promove geralmente um acabamento mais brilhante que a cera, que promove um acabamento mais fosco. É possível utilizar uma cera de torque/tensão para fornecer lubrificação adicional e reduzido torque.

A fim de determinar o tratamento de oxidação negra adequado para uma determinada peça, deve-se considerar os seguintes fatores:

- extensão da proteção requerida;
- aparência final desejada (brilho/fosco);
- condições de armazenamento (umidade, vapores, temperatura, atmosfera corrosiva);
- aplicação final;
- condições ambientais de armazenagem (atmosfera corrosiva, vapores, umidade, intervalo de temperatura);
- tipo de metais;
- condições de manipulação do pós-revestimento (limites de pH, contaminação dos óleos, aderência a outras peças);
- operações de pós-acabamento.

9 PROCEDIMENTOS DE TESTE

Os processos de corrosão são muito complexos e ocorrem sob condições bem diferentes, o que levou ao desenvolvimento de um grande número de métodos de ensaios. Alguns destes ensaios têm sido padronizados para capacitar a comparação entre resultados obtidos em diferentes lugares ou laboratórios.

Os métodos de ensaio de corrosão de metais podem ser divididos em três grupos principais: ensaios de laboratório; de campo; e de serviço. Entre estes, os ensaios de laboratório são os mais freqüentemente utilizados e sua característica mais marcante é que as amostras especialmente preparadas são testadas sob condições artificiais e controladas. Estas condições são selecionadas para acelerar o processo de corrosão e obter resultados tão rapidamente quanto possível. Por este motivo, foram desenvolvidos ensaios de corrosão acelerada, onde o comportamento do metal é avaliado sob condições críticas.

Resultados mais confiáveis podem ser obtidos se os parâmetros ambientais do ensaio puderem ser controlados próximos àqueles encontrados em serviço. Deve-se enfatizar, entretanto, que mesmo em ensaios de laboratório, onde as condições são bem controladas, não é possível simular o comportamento real dos materiais quando em condições de serviço. São muito utilizadas, para se aproximar destas condições, plantas piloto (unidades em escala reduzida).

A seguir, serão detalhados alguns dos possíveis testes que podem avaliar a qualidade do recobrimento da superfície.

9.1 Teste visual

Neste método, são utilizados, além de observações a olho nu, ampliações relativamente baixas, com lentes de aumento, lupas e microscópios bi-oculares de baixo aumento. Desta forma, podem ser observadas as características da camada de óxidos.

O revestimento de óxido negro deve exibir uma boa aparência, abranger completamente a base metálica e possuir cor uniforme. A peça não deve apresentar qualquer indício de corrosão por pite, ataque intergranular ou por reativo químico.

A oxidação negra não exibe um efeito de suavização de imperfeições, como no caso dos revestimentos metálicos ou pintura. Arranhões pré-existentes, marcas em ferramentas, pites e outros defeitos superficiais continuarão visíveis após a finalização (embora eles estejam enegrecidos).

9.2 Teste de aderência e espessura

A camada que reveste a superfície deve ser aderente à base metálica e ter espessura constante.

Caso a aderência do óxido ao substrato for baixa, podem ser formadas trincas e escamas que expõem o material ao meio corrosivo.

Quanto à espessura, em caso de desgaste do revestimento protetivo, a área menos espessa estará exposta em detrimento da mais espessa e desta forma a corrosão neste ponto será muito acelerada, prejudicando a peça como um todo.

9.3 Salt spray (névoa salina)

O ensaio de névoa salina é um teste de corrosão acelerada que produz um ataque corrosivo às amostras revestidas para predizer sua capacidade de proteção como tratamento de superfície.

A aparência dos produtos de corrosão (óxidos) é avaliada após determinado período de tempo. A duração do teste depende da resistência à corrosão do revestimento; quanto mais resistente, maior é o período em teste sem apresentar sinais de corrosão.

Não há correlação entre a duração do teste de névoa salina e a vida útil do revestimento, uma vez que a corrosão é um processo complexo e pode ser influenciado por diversos fatores externos. Mesmo assim, este teste é amplamente utilizado nos setores industriais para avaliação da resistência à corrosão de superfícies revestidas ou peças.

9.4 Câmara úmida

O ensaio de névoa úmida tem o mesmo objetivo da névoa salina, mas tecnicamente é diferenciado pela ausência de sais no *spray* a que as amostras serão submetidas.

10 VANTAGENS DA OXIDAÇÃO NEGRA

Dentre as inúmeras vantagens apresentadas pelo método de oxidação negra, destacam-se:

- **Ausência de alterações dimensionais**

Ao contrário do que acontece em revestimentos metálicos ou sistemas de pintura, a camada de revestimento não altera as dimensões da peça tratada, uma vez que o óxido negro de ferro ocupa o mesmo volume do metal reduzido. Portanto, a oxidação negra é uma coloração do metal base, não havendo remoção ou deposição de material.

- **Coloração negro escuro**

A superfície da peça pode ser brilhante ou fosca (sem efeito patina ou arco-íris), dependendo da superfície da peça e do pós-acabamento aplicado. Por exemplo, uma superfície polida manterá o seu brilho após a oxidação, enquanto uma superfície fosca assim se manterá após o tratamento.

- **Integridade do acabamento**

O acabamento não irá lascas, descascar, esfurelar, etc, uma vez que o óxido negro só pode ser removido mecânica ou quimicamente.

- **Redução da reflexão**

O óxido negro produz um excelente acabamento na superfície de peças móveis, tais como máquinas e ferramentas manuais. A redução da reflectividade reduz a fadiga ocular e a distração.

- **Pode ser revestido para proteção adicional**

O processo de oxidação negra termina com tratamentos complementares (pós-acabamento), determinados a partir de fatores como a configuração da peça e sua

aplicação final, de modo a melhorar a aparência, a resistência à abrasão e à corrosão. Os pós-acabamentos usuais são óleo, cera, verniz e cromo selante, mas pode-se ainda pintar as peças.

- **Aperfeiçoamento das características de lubrificação**

Peças oxidadas têm melhoradas sua lubrificidade e características anti-irritantes devido ao pós-acabamento (óleo ou cera), resultando em um funcionamento mais suave em peças conjugadas.

- **Resistência à alteração de cor pela temperatura**

O acabamento da oxidação negra pode ser exposto a uma temperatura de 482°C antes da cor começar a mudar.

- **Não há fragilização por hidrogênio**

O processo de oxidação negra não exige a ativação de um ácido nem é um processo elétrico; portanto, a fragilização por hidrogênio não é um fator muito crítico. Além do mais, o hidrogênio é espontaneamente retirado pela temperatura elevada dos banhos, quando empregada.

- **Não há corrosão branca**

O produto acabado não está sujeito à corrosão branca, como algumas superfícies com revestimentos metálicos exibem ao longo do tempo. Isto torna a oxidação negra um excelente acabamento para peças utilizadas internamente em componentes eletrônicos, pois os cristais de corrosão branca são condutores e podem causar um curto elétrico.

- **Soldabilidade**

A soldagem de peças submetidas à oxidação negra não produz gases nocivos, nem dificulta a facilidade com que uma peça pode ser soldada, o que pode ocorrer na soldagem de peças com revestimentos metálicos ou pintura.

11 PINTURA SOBRE METAIS OXIDADOS

A pintura sobre metais submetidos à oxidação negra é utilizada por razões estéticas, para identificação ou sinalização e para aumentar a resistência à corrosão sob condições severas de serviço ou exposição.

Uma vez que o revestimento formado por óxidos proporciona uma base estável, aumentando a vida da útil da pintura e a película de pintura protege este revestimento, o resultado é um efeito sinérgico, onde a combinação dos dois revestimentos promove uma duração maior da integridade do material e do revestimento como um todo, do que a soma da duração de cada um.

12 NORMAS TÉCNICAS

Existem inúmeras normas nacionais e internacionais que regulamentam o processo de oxidação negra, bem como seus resultados, onde são especificados materiais, produtos, aplicações, espessuras, uniformidade, ensaios, etc.

As normas técnicas a seguir, citadas a título de exemplo, são publicadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. Para consultar os endereços dos Postos de Intermediação e adquirir os produtos da ABNT consulte o *site*: <<http://www.abnt.org.br/>>.

Norma: **NBR 7824**

Título: Sistemas de revestimentos protetores com finalidade anticorrosiva, procedimento.

Norma: **NBR 8094**

Título: Material metálico revestido ou não revestido – Corrosão por exposição à névoa salina.

Norma: **NBR 8095**

Título: Material metálico revestido ou não revestido – Corrosão por exposição à atmosfera úmida saturada.

Norma: **NBR 8096**

Título: Material metálico revestido e não revestido – Corrosão por exposição ao dióxido de enxofre, método de ensaio.

Norma: **NBR 8754**

Título: Corpos de provas revestidos e expostos a ambientes corrosivos, método de ensaio.

Norma: **NBR 8823**

Título: Material metálico revestido e não revestido – Corrosão por exposição à névoa salina acética, método de ensaio.

Norma: **NBR 8824**

Título: Material metálico revestido e não revestido – Corrosão por exposição à névoa salina cuproacética, método de ensaio.

E como exemplo de normas internacionais, pode-se citar algumas da ASTM (*American Society for Testing and Materials*).

Norma: **ASTM A 380-99**

Título: *Standard Practice for Cleaning, Descaling, and Passivation of Stainless Steel Parts, Equipment and Systems.*

Norma: **ASTM A 967-01**

Título: *Chemical Passivation Treatments for Stainless Steel Parts.*

Norma: **ASTM B 912-00**

Título: *Passivation of Stainless Steels Using Electropolishing.*

Conclusões e recomendações

A aplicação de revestimentos sobre superfícies metálicas se faz necessária, pois a corrosão ocorre devido ao contato entre materiais diferentes ou devido às diferenças entre o metal e o meio onde este se encontra; portanto o isolamento do metal do meio corrosivo protege o material.

O sucesso de qualquer processo de revestimento está atrelado à limpeza superficial da superfície. Uma avaliação do grau de limpeza atingido pode ser conseguida por vários métodos, como, por exemplo, o teste do atomizador, que não deixa resíduos. O método consiste em pulverizar a superfície a ser testada, previamente seca ao ar, com água. Nas áreas sujas haverá a formação de gotículas, enquanto que nas áreas limpas a água escorrerá sob a forma de um filme contínuo.

Quando requisitado, deve-se controlar o pH; eliminar a dureza da água; bem como utilizar inibidores que evitem o ataque à superfície metálica, impedindo assim a sua decapagem. Os tanques devem ser limpos semanalmente, para remoção de resíduos.

O manuseio de soluções básicas ou ácidas, bem como os vapores por elas emitidos requer o uso de equipamentos de proteção individual (EPI's) e equipamentos de proteção coletiva (EPC's) adequados, além de exaustores, para que o processo se dê de maneira segura e correta. Os tanques devem ser isolados por diques para evitar maiores danos no caso de vazamentos.

Existem diversos pontos no processo que representam o real risco de sérias queimaduras, com o contato de peças frias com banhos quentes, em ebulição, que pode acarretar espirros, assim como no caso de espirro de soluções químicas. Portanto, adicional cuidado deve ser tomado.

Os banhos utilizados nos pré-tratamentos e durante o próprio processo podem precisar ser descartados por vários motivos, como operações descontínuas ou manutenção de equipamentos. Nestes casos, os efluentes devem ser tratados antes do descarte, bem como as águas de enxágüe que podem conter sais, antes da correta destinação final. Nenhum componente está livre de sofrer danos. Nesses casos e para constatar falhas de execução, as manutenções periódicas facilitam e tornam menos onerosas as correções, que devem, sempre que possível, repetir o oleamento ou sistema de pintura.

Existem inúmeros ensaios e procedimentos para se acompanhar e atestar a qualidade da operação (espessura, porosidade, decapagem ácida, uniformidade, aderência, exposição à névoa salina/úmida, Microscopia Eletrônica de Varredura, etc).

Referências

CLEVELAND BLACK OXIDE. Disponível em: <<http://www.clevelandblackoxide.com>>. Acesso em: 10 dez. 2007.

CORROSION – Prevention & Control. Disponível em: <<http://www.corrosion-doctors.org/MetalCoatings/Introduction.htm>>. Acesso em: 10 dez. 2007.

DURFERRIT DO BRASIL. Disponível em: <http://www.durferrit.com.br/produtos_oxidacao.asp>. Acesso em: 10 dez. 2007.

ENGINEERS EDGE. Disponível em: <http://www.engineersedge.com/black_oxide.htm>. Acesso em: 10 dez. 2007.

FOSFER. **Tratamento de superfícies**. Disponível em: <<http://www.fosfer.com.br/oxp.htm>>. Acesso em 10 dez. 2007.

GENTIL, V. **Corrosão**. 3 ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996.

PARETO, L. **Tecnologia mecânica**. São Paulo: Hemus Editora Limitada.

RAMANATHAN, L. V. **Corrosão e seu controle**. São Paulo: Hemus Editora Limitada.

WIKIPEDIA. **Bluing (steel)**. Disponível em: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Bluing_\(steel\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Bluing_(steel))>. Acesso em: 12 dez. 2007.

WIKIPEDIA. **Magnetita**. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Magnetita>>. Acesso em: 13 dez. 2007.

WIKIPEDIA. **Pourbaix diagram**. Disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/Pourbaix_diagram>. Acesso em: 13 dez. 2007.

Nome do técnico responsável

Ladislau Nelson Zempulski
Marina Fernanda Stocco Zempulski

Nome da Instituição do SBRT responsável

Instituto de Tecnologia do Paraná – TECPAR

Data de finalização

04 jan. 2008