

DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO PARA ASPERSÃO TÉRMICA POR ARCO ELÉTRICO

Cristiano Borchate, cb000687@fahor.com.br¹
Richard Thomas Lermen, richard@fahor.com.br

Faculdade Horizontina (FAHOR), Avenida dos Ipês, 565, CEP 98920-000, Horizontina, RS, Brasil.

Resumo: O principal objetivo deste trabalho foi desenvolver um dispositivo de aspersão térmica a arco elétrico. Este equipamento é utilizado para fazer revestimentos de peças e componentes que estão sujeitos à corrosão e também para recuperação de peças que sofreram algum tipo de desgaste. Para o desenvolvimento do equipamento de aspersão térmica foram utilizados um retificador de solda solmig VI 320, dois alimentadores de arame (modelo SWM-20 da marca solmig), duas tochas MIG/MAG, compressor de ar SCHULZ CSL 20 BR/200 l, válvula controladora de vazão e um rolo de arame de Solda MIG Alumínio ER4044 1,0 mm, utilizado como material de adição para fazer os revestimentos. Também foi necessário projetar um dispositivo de bancada, para a fixação das tochas MIG-MAG, o dispositivo tem a função de fixar e ajustar as tochas de modo que formam um arco elétrico entre si. Após o desenvolvimento do equipamento de aspersão térmica, foram feitos alguns estudos onde foi variado, a pressão do ar comprimido, a corrente elétrica e tensão e a distância de aplicação. No processo de aspersão térmica por arco elétrico foram analisados sete tipos de materiais, com propriedades e características diferentes, os materiais analisados são o alumínio, aço SAE 1020, aço inoxidável, amianto, refratário, cobre e bronze. A partir das análises feitas, com os materiais, foi possível identificar que o amianto, cobre, e bronze não tiveram aderência, já o alumínio, aço inoxidável, aço SAE 1020 e o refratário apresentaram uma boa aderência. Assim, o dispositivo desenvolvido é indicado para fazer revestimento sobre superfície de metais ferrosos, cerâmicos e alumínio, pois os resultados encontrados nestes materiais foram aceitáveis, pois apresentaram uma boa aderência sobre o substrato e uma aplicação uniforme.

Palavras-chave: Aspersão Térmica, Arco elétrico, Alumínio.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Paredes (2009), o processo de aspersão térmica consiste em uma tecnologia composta de múltiplos processos, a qual é dirigida principalmente para a proteção de superfícies contra o desgaste ou corrosão pela deposição de revestimentos. Aspersão térmica se entende como o processo onde partículas fundidas, semifundidas ou sólidas são depositadas em forma de spray sobre um substrato, no qual resulta em um revestimento sobre o mesmo. O material a ser depositado pode estar na forma de pó ou arames. A aspersão térmica necessita de uma fonte de calor, podendo ser uma chama ou um arco voltaico, para realizar a fusão do material a depositar. Como o material é aquecido, tende a se tornar fundido, semifundido ou, até mesmo, com algumas partículas sólidas e é acelerado a partir da vazão de um gás ou ar comprimido.

Nos dias atuais, as empresas vêm investindo e inovando a cada dia, por melhoria contínua no seu processo, no qual possibilita melhores resultados, melhor qualidade, eficiência e com baixo custo de produção. Sendo que muitas vezes estes componentes passam por processos relativamente de alto custo, para terem uma melhor dureza ou acabamento superficial e ter capacidade de suportar situações mais severas em sua rotina de trabalho, ou até melhores durabilidades quando expostas ao tempo. Entretanto buscou-se realizar processo de aspersão térmica por arco elétrico de alumínio em diferentes tipos de materiais, nos quais foram analisados fatores como, acabamento na parte superficial da peça e aderência, identificando como obter um melhor aproveitamento deste processo nas indústrias. Os revestimentos depositados por aspersão térmica são aplicados para a proteção contra a corrosão, principalmente o alumínio, pois este confere à superfície do aço, predominantemente proteção por barreira, impedindo o contato do aço com o meio corrosivo.

No entanto a implementação do dispositivo de aspersão térmica por arco elétrico, justifica-se por apresentar algumas vantagens, como maior taxa de deposição de material, valor do equipamento relativamente baixo em relação aos demais e pouca manutenção. Também se podem aplicar diversos tipos de material de adição para fazer os revestimentos, este material de adição é projetado sobre o substrato com a utilização de ar comprimido.

No presente trabalho desenvolveu-se um estudo com alumínio depositado por aspersão térmica a arco elétrico para a obtenção de resultados de aderência e acabamento depositado em superfícies de: alumínio, aço inoxidável, aço SAE 1020, amianto, refratário, cobre e bronze, com a finalidade de obter-se um revestimento com alta resistência à corrosão. Para projetar as partículas sólidas de alumínio foi utilizado apenas ar comprimido, há uma pressão constante de 6 bar. Para fundir o material a ser projetado é utilizado uma fonte de soldagem, e dois alimentadores com seus acessórios onde

estão ligados no polo positivo e negativo do retificador de solda, com a finalidade de fechar arco elétrico, para a fundição do material de adição.

Como o objetivo principal é de projetar um dispositivo para aspersão térmica por arco elétrico, através de uma fonte de solda MIG/MAG, o projeto do dispositivo consiste em fixar duas tochas de soldagem que permanecem alinhadas entre si com a finalidade de formarem arco elétrico entre os arames que estão sendo alimentados, assim sendo possível a fundição do material de adição. Deve-se ter um acionamento de ambas as tochas no mesmo instante. No processo de aspersão térmica com fonte MIG/MAG, será feito algumas análises, com comparativos, onde será variada a tensão, velocidade do arame, distância entre a tocha e o substrato e a pressão do ar comprimido, com isso buscou-se compreender melhor sua aplicação e quais os casos que devem ser aplicada na indústria metal mecânica.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Origem da Aspersão Térmica

Existem referências históricas que mostram que em 988 a.C. já existia a utilização de recobrimentos metálicos decorativos, onde folhas de ouro muito finas eram aderidas através de adesivos a outras superfícies, com o objetivo de recobri-las. A partir deste conceito a imersão de uma peça metálica em outro metal fundido foi um dos processos que se seguiram até a atualidade (COUTO, 2006).

Para Paredes (2000) a aspersão térmica é um dos processos químicos mais antigos, porém aspersão térmica só foi possível em 1896, onde a mesma foi criada por Max Ulrich Schoop, com a intenção de proteger e revestir contra corrosão de estruturas metálicas, mas somente a partir de 1930, os Estados Unidos investiram no processo em larga escala, com a finalidade de recuperação de componentes em geral, além da proteção contra a corrosão já presente em suas primeiras aplicações.

2.2. Aspersão térmica

Terres (2006) diz que o processo de aspersão térmica consiste em um grupo de processos, nos quais partículas são divididas em micropartículas de materiais para revestimentos. Os revestimentos podem ser metálicos ou não metálicos, os mesmos são depositados sobre um substrato devidamente preparado, na condição fundida ou semifundida, para formar uma camada superficial. As principais características da Aspersão Térmica são esquematicamente apresentadas na Figura 1, que mostra o aspecto típico das camadas depositadas, onde pequenas partículas de aproximadamente 10 μm são projetadas por ar comprimido sobre um substrato, pequenos espaços vazios se formam durante a projeção das partículas, estes espaços são chamados de poros após o material fundido tornar-se sólido novamente.

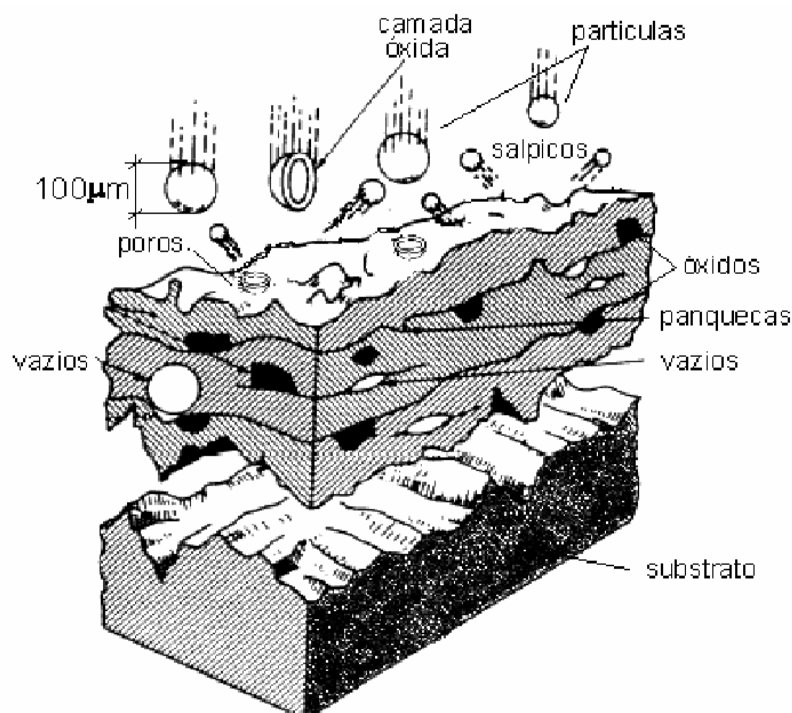


Figura 1: Características da formação da camada depositada por Aspersão Térmica. Fonte: Paredes (2009).

A pistola de pulverização térmica gera o calor necessário, por meio de gases de combustão ou de um arco elétrico. À medida que os materiais são aquecidos, eles são alterados para um estado plástico ou fundido e são confinados e acelerados por um fluxo de gás comprimido para o substrato. A ligação entre o substrato e o revestimento pode ser química, mecânica ou metalúrgica, ou uma combinação destes. As propriedades do revestimento aplicado são dependentes do material de alimentação (BHATIA, 1999).

Entre as principais vantagens do processo de aspersão térmica para o tratamento preventivo contra a corrosão, estão às camadas anticorrosivas aplicadas no processo que podem atuar fornecendo uma blindagem à superfície exposta, isolando-a do meio agressivo e protegendo-a galvanicamente, quando a camada protetora sofre uma lenta e gradativa redução na sua espessura, visando proteger a estrutura revestida contra a degradação, ampliando a vida útil do componente revestido. Para determinar os materiais aplicados, equipamentos utilizados, espessuras depositadas, selagens complementares deve-se fazer uma análise em função do ambiente ou do tipo de produto que entra em contato com o substrato (COUTO, 2012).

A temperatura da chama oxiacetilenica é cerca de 3100°C, enquanto o arco elétrico e o plasma alcançam temperaturas entre 8.000°C e 25.000°C, ou até mais, dependendo da situação. A velocidade de impacto das partículas pode variar num grande intervalo, em torno de 80 m.s⁻¹ para o método de chama com pó, até cerca de 1000 m.s⁻¹ no de combustão contínua (MACHADO 1996).

2.2.1 Preparação da superfície

Após a escolha do processo de aspersão e do material, a próxima etapa a ser feita é a preparação da superfície que serve para garantir uma boa qualidade de adesão do revestimento, na qual o principal mecanismo que é a ancoragem mecânica. O procedimento adequado para preparar o substrato tem a finalidade de permitir que as partículas propelidas tenham no momento do impacto, a máxima aderência. A aderência à superfície depende das quatro etapas, limpeza, rugosidade da superfície, camada de ligação, pré-aquecimento (MARIANO et al., 2007).

2.3. Métodos de Aspersão Térmica

Os métodos de aspersão térmica vêm ganhando espaço com o passar dos anos, em aplicações contra corrosão, desgaste, entre outras. Os métodos de aspersão térmica mais utilizada são: aspersão por chama a gás, aspersão por detonação, aspersão por combustão contínua, aspersão térmica de HVOF, aspersão por plasma, aspersão por arco elétrico (LIMA; CAMARGO; MARQUES, 1998).

Embora outros processos de Metalização por Aspersão Térmica possam ser utilizados para aplicações contra a corrosão, ainda o processo por chama a gás e por arco elétrico são os principais e os mais utilizados (MONTEIRO, 2012).

2.3.1 Aspersão por chama a gás

A velocidade de deslocamento das partículas é geralmente subsônica, portanto, a aspersão por chama a gás possui o calor necessário para o aquecimento dos consumíveis obtido desde a combustão na tocha. O gás utilizado neste processo pode ser uma combinação de oxigênio com um dos seguintes gases: propileno, acetileno, propano, gás natural, hidrogênio, mistura estabilizada de metilacetileno com propadieno (MACHADO, 1996). A pulverização por chama pode ser de três tipos: arame ou varetas; cerâmico; e tipos de pós.

O processo por chama a gás consiste em um metal em forma de arame ou pó que se funde através do calor da chama gerada pela queima dos gases combustível (acetileno ou gás natural) e oxigênio. Através de um forte jato de ar comprimido as partículas fundidas são pulverizadas chocando-se contra a superfície da peça, previamente preparada (MONTEIRO, 2012).

2.3.2 Aspersão por detonação

O pó é alimentado em uma espécie de canhão através de nitrogênio em baixa pressão, posteriormente uma mistura explosiva de oxigênio e acetileno é introduzida nesse canhão, sendo detonada (pela faísca de uma vela de ignição, por exemplo) logo após um jato de nitrogênio explode restos que tenham permanecido no interior do mesmo, este ciclo se repete cerca de 6 a 8 vezes por segundo (MACHADO, 1996).

2.3.3 Aspersão por combustão contínua

Este método compete com o de detonação, o recipiente pó opera em leito fluidizado, com o gás de arraste, normalmente nitrogênio, sendo que após a introdução do consumível na câmara, a mistura combustível (geralmente oxigênio com hidrogênio, ou propileno) se encarrega de aquecê-lo e transporta-lo até o substrato (MACHADO, 1996).

2.3.4 A aspersão térmica HVOF “High Velocity OxyFuel Flame”

Takimi, Possamai e Bergmann (2004) explicam que HVOF, em português, Aspersão Térmica Hipersônica, consiste em um processo de deposição altamente empregado nas indústrias, como aeronáutica, aeroespacial e petroquímica. Devido as excelentes propriedades de resistência ao desgaste, corrosão e adesão ao substrato. No processo, o material a ser depositado encontra-se na forma de pó, que é injetado em uma chama de alta velocidade. As partículas são aquecidas e projetadas em alta velocidade contra uma superfície previamente preparada, onde após o impacto e deformação das mesmas levam a formação e adesão do revestimento ao substrato. Devido às altas velocidades de impacto neste processo, os revestimentos possuem porosidade extremamente baixa (tipicamente menor que 1%) e elevada força de adesão em relação aos processos de aspersão térmica convencionais.

A aspersão térmica HVOF ainda é um processo pouco difundido no Brasil, principalmente devido ao seu alto custo do processo, mas também este processo é o mais eficaz, que apresenta melhores resultados de deposição e acabamento (TAKIMI; POSSAMAI; BERGMANN, 2004).

2.3.4 Aspersão por plasma

A pulverização por plasma foi desenvolvida a partir de exigências apresentadas pela indústria aeroespacial, quando se viu a necessidade de revestimentos de alta qualidade com certos carbonetos e óxidos que são necessários para turbinas e motores de foguetes (MACHADO, 1996).

O processo de pulverização térmica por plasma é um processo que permite o revestimento de superfícies com uma camada relativamente fina a partir da pulverização de pó de materiais cerâmicos ou metálicos. Muito requerido pelas indústrias químicas e de geração de energia (OLIVEIRA, 2001).

O modo empregado na produção do plasma não é transferido, ou seja, o arco elétrico é formado entre o eletrodo negativo, geralmente de tungstênio, e o bocal refrigerado por água. O intervalo usual de corrente se situa na faixa de 100 a 1000 A, com potências desde 40 KW a 100KW, e diâmetro médio das partículas do pó entre 0,02 e 0,1 mm (MACHADO, 1996).

2.3.6 Aspersão por arco elétrico

Na maioria das vezes este é o método mais econômico de pulverização térmica para a aplicação de revestimentos nos metais resistentes à corrosão, incluindo alumínio, zinco e suas ligas. Os custos de energia neste processo são mais baixos e as taxas de produção são mais altas do que nos demais. O gás utilizado no processo normalmente é ar comprimido, dois fios são continuamente alimentados para a pistola ou tocha a uma velocidade uniforme. Um sistema de alimentação de arame, uma fonte de ar comprimido, e uma pistola de pulverização de arco. Os revestimentos pulverizados de arco apresentam excelente adesivo e resistência coesiva (BHATIA, 1999).

Este processo é também conhecido por ASP (Arc Spray Process), o processo a arco elétrico utiliza o calor gerado a partir de um arco elétrico para realizar a fusão do material que será depositado (TERRES, 2006).

A quantidade de depósito é controlada por alguns fatores principais como: distância do bocal, diâmetro médio da partícula, tipos de gases empregados e vazão dos mesmos (MACHADO, 1996). Os arames alimentados desde bobinas distintas formam um arco elétrico entre si, utilizando um jato de ar comprimido, ou outro gás, pulverizando o material fundido, conforme ilustrado na Figura 2.

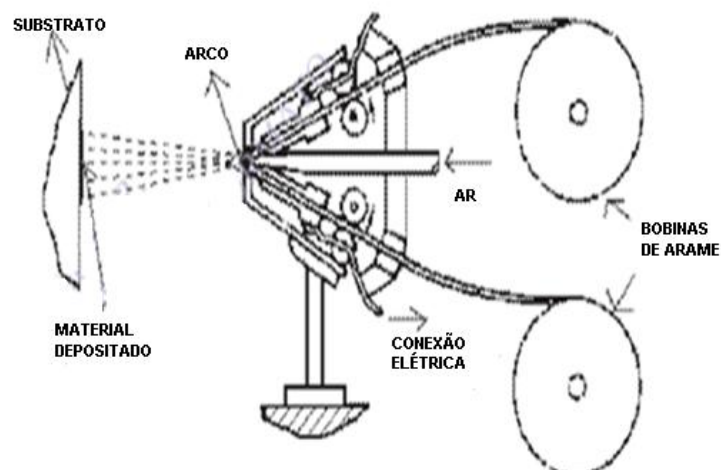


Figura 2: Aspersão térmica por arco elétrico. Fonte: Machado, 1996 p.366.

Conforme Paredes (2009), com este processo obtêm-se maiores temperaturas que no processo por combustão, resultando em propriedades mecânicas superiores. O processo possui algumas vantagens como economia, pois reduz tempo de aplicação e utiliza energia elétrica e não gases (oxigênio e acetileno).

Ainda para Paredes (2009) os principais materiais aplicáveis são o alumínio, zinco, aço carbono, bronze, cobre, aço inoxidável, níquel, monel, bronze e alumínio. As aplicações são as mesmas utilizadas no processo oxiacetilênico, salvo alguns materiais como, por exemplo, o molibdênio. Também pode reduzir a oxidação para aproveitamentos especiais, onde gases inertes (argônio e hélio) podem ser usados para substituir o ar comprimido. Na Figura 3 são mostrados os componentes normais de um equipamento a arco elétrico como: fonte de voltagem constante, retificador de corrente DC / suprimento de energia; suprimento de ar comprimido; alimentador de arame consistindo de motor elétrico ou acionado a ar, roda motriz e dispositivo tensionado da roda motriz; pistola de arco elétrico consistindo do corpo da pistola, bocal de ar e capa de ar; mangueiras e cabos.

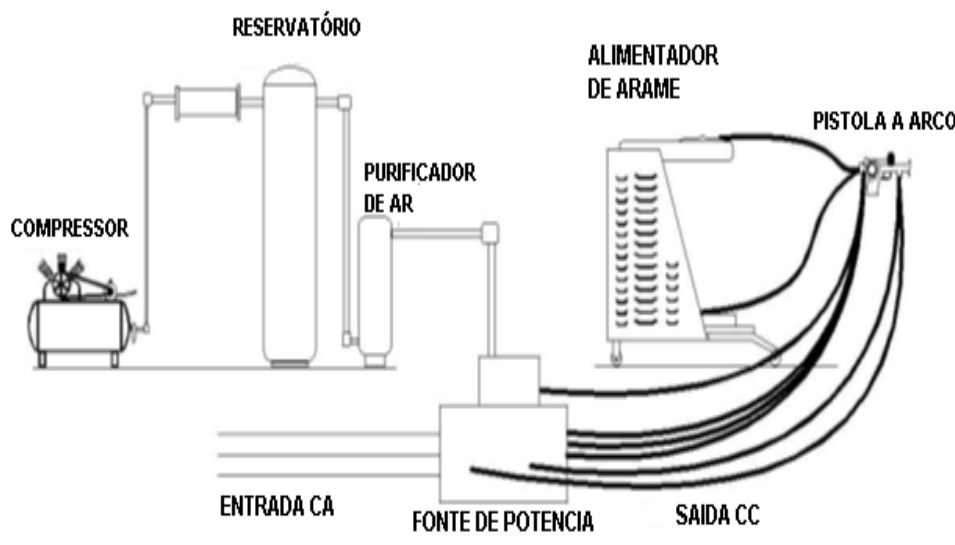


Figura 3: esquema de uma instalação para aspersão térmica de arco elétrico. Fonte: Adaptado Paredes, 2009.

2.3.7 Parâmetros do processo

Segundo Padilha (2005), a qualidade do revestimento aplicado está relacionada a alguns parâmetros, tais como gás de arraste, avanço do arame e corrente elétrica, tensão, distância de aspersão, preparação da superfície, entre outros. Portanto é necessário conhecer estas variáveis para fazer o procedimento adequado para a aplicação do revestimento, estas variáveis serão explicadas a seguir individualmente.

Gás de arraste: As altas temperaturas e pressão do gás de arraste também são responsáveis por uma melhor aderência do revestimento que está sendo utilizado, atingindo-se valores até 70 MPa para alguns materiais, em geral a pressão aproximada é entre 28 e 41 MPa para metais ferrosos (NOVICKI, 2008).

As partículas fundidas dos arames são lançadas por ar comprimido a velocidades a partir de 100 m/s sobre a superfície de uma peça, revestindo-a contra o desgaste ou recuperando o seu dimensional. É um processo à frio, permitindo que a peça não sobreaqueça, conservando suas características metalúrgicas e evitando distorções (CASTOLIN, 2013).

Avanço do Arame e corrente: O avanço do arame e a corrente elétrica estão diretamente relacionados, pois o aumento de um resulta no aumento de outra. A maioria das máquinas de aspersão a arco elétrico permite a regulagem apenas da velocidade de arame, ficando a corrente elétrica dependente dessa regulagem. O aumento da corrente resulta no aumento do avanço do arame. Estudos mostram que, o aumento da corrente aumenta a resistência entre camadas do revestimento. Além disso, elementos de liga sofrem maior fusão com o lento avanço do arame (TERRES, 2006).

Tensão: No entanto Paredes (2009) comenta que no processo de aspersão por arco elétrico a fonte de calor é um arco elétrico obtido no bico da pistola com a junção de dois arames metálicos, assim provocando um arco elétrico, fazendo com que seja fundido o material de aplicação. A ddp (diferença de potencial), que é gerada no bico de contato, está entre 19 a 40 V (Volts).



**4ª Semana Internacional de
Engenharia e Economia FAHOR**
Horizontina - RS - Brasil
5 a 7 de Novembro de 2014



Terres (2006) fala que, para um dado material, o valor da voltagem afeta, principalmente, a estabilidade do arco. Para arames de alumínio, a melhor voltagem é de, aproximadamente, 25V, o que proporciona uma operação com arco estável, mas aumentando-se esse valor para algo como 30V ou 35V, o arco torna-se instável. Da mesma forma, para arames de aço inoxidável, tem-se boa estabilidade com valores de 30V, tornando-se menos estável em altas voltagens de 35V e 40V.

Distancia de Aspersão: A taxa de fusão de elementos de liga e a eficiência de deposição estão relacionadas com o aumento ou redução da distância de aspersão, esta distância de aspersão é o ponto onde ocorre o arco elétrico até o substrato. Entretanto a resistência do revestimento tende a ser maior e a porosidade menor a menores distâncias de aspersão. Normalmente existe uma distância ideal para cada caso. Como por exemplo, para aços carbono depositados à corrente de 150A, a resistência entre camadas aumenta de 62 N/mm² para 122 N/mm² com a diminuição da distância de aspersão de 195 mm para 40 mm (TERRES, 2006).

Aspersão por arco elétrico com alumínio: De uma maneira geral, considera-se que as propriedades do revestimento dos materiais aspergidos com alumínio, ficam mais duros e mais resistentes ao desgaste do que as ligas moldadas ou feitas do mesmo material. Isto é devido à apresentação dos óxidos finos, e a uma combinação de endurecimento pelo resfriamento rápido das partículas aspergidas com o impacto sob o substrato. Resfriar-se de maneira rápida ajuda no endurecimento, pela formação de formas metaestáveis e a formação de grãos finos dentro da partícula (RODRIGUES, 2003).

3. MÉTODOS E TÉCNICAS

Para a aspersão térmica foram utilizados dois alimentadores de arame, modelo SWM-20 da marca solmig, e um retificador de solda solmig VI 320.

Para o acionamento dos dois alimentadores simultaneamente foi desativado o gatilho das tochas de soldagem, e ambas foram ligadas em paralelo. Também um interruptor foi ligado junto aos alimentadores.

Durante a execução do processo de aspersão térmica por arco elétrico, foram utilizados os seguintes equipamentos que podem ser visualizados na figura 3:

- Fonte de soldagem MIG/MAG solmig VI 320 - Tem a função de transformar a energia da rede (220 V), que é de baixa corrente e alta tensão, em energia para o processo que é de alta corrente e baixa tensão, assim podendo fornecer os valores de corrente e tensão adequados ao processo.
- Duas tochas MIG/MAG de 3 m cada, sem refrigeração - Tem a função de conduzir e guiar o material de adição (arame de alumínio), fornecer a corrente elétrica da fonte, com a finalidade de produzir o arco elétrico para a fundição do material.
- Dois alimentadores de arame SWM-20 - A função principal é puxar o arame do carretel até os bicos de contato fazendo com que ocorra o arco elétrico. Os mesmos são puxados por motores elétricos e devem possuir um acionamento e paradas sincronizadas, para manter uma velocidade constante em ambos os aparelhos, para uma aplicação de revestimento uniforme. A velocidade de arame esta diretamente relacionada com a intensidade da corrente.
- Um rolo de arame de Solda MIG Alumínio ER4044 1,0mm 6,5kg - Material de adição em forma de rolo utilizado para o revestimento no substrato.
- Compressor de ar SCHULZ CSL 20 BR/200 l - Deve fornecer ar comprimido, a uma pressão elevada e vazão constante, projetando o material de adição sobre o substrato.
- Válvula solenoide - A válvula solenoide utilizada foi à mesma que se encontra no alimentador SWM-20, porém algumas mudanças foram feitas, como adaptá-la para ser acionada junto com o interruptor de acionamento das tochas, e modificada para ser utilizada com ar comprimido.
- Válvula controladora de vazão de ar com purgador de água - A válvula é instalada ao longo da rede antes do solenoide, tem a função de limitar a vazão máxima de ar através de um sistema roscado que aumenta ou diminui a perda de carga. O conjunto conta com um manômetro que indica a pressão de funcionamento que foi ajustado, a pressão varia de 0 a 10 bar. O purgador tem a finalidade de retirar a água do sistema, pois a mesma pode vir a prejudicar a aderência e a porosidade do material de adição.
- Para a construção do dispositivo foi necessário substituir os conduites espiral 1,00 mm x 3 mm, por conduites nylon teflon para arame alumínio 1 mm x 4,5 m para tocha SU 320/52. A tocha possui consumíveis que deve ser utilizado para a fabricação do equipamento, tais como bico de contato 1 mm, difusor de gás, conduite de 3 m.

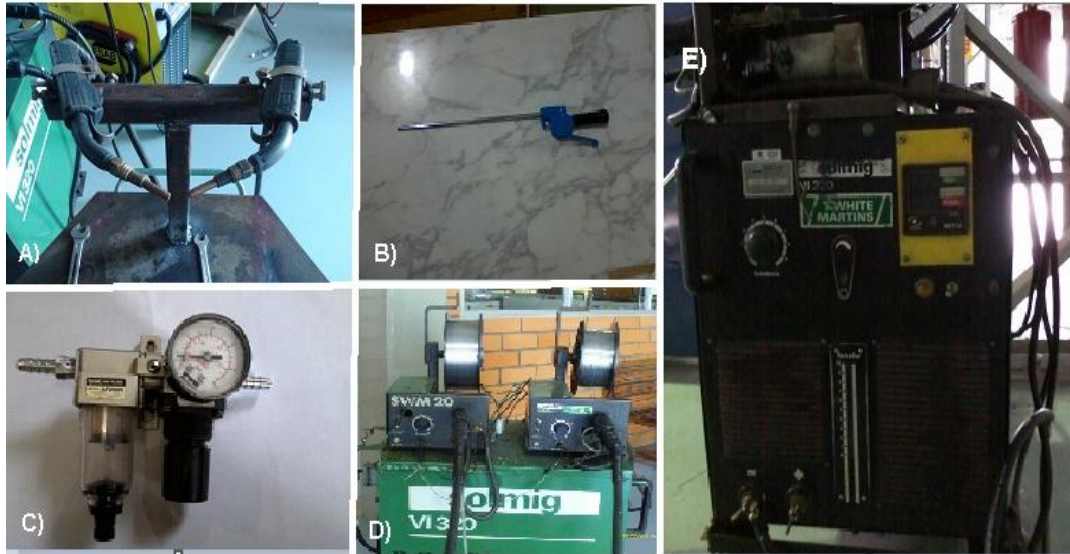


Figura 3: componentes utilizados para a fabricação do equipamento de aspersão térmica.

A Figura 4 mostra os componentes utilizados para a fabricação do equipamento, sendo que a Figura 8.a apresenta as tochas de solda fixadas ao dispositivo; a Figura 8.b apresenta o bico de limpeza utilizado para projeção do ar comprimido, a Figura 8.c apresenta a válvula de vazão; a Figura 8.d apresenta os alimentadores e arrame; e na Figura 8.e pode ser visto a fonte de potencia utilizada.

A Figura 4 mostra todos os materiais que foram revestidos e analisados, os materiais são os seguintes: 1)madeira, 2)cobre 3)bronze, 4) aço SAE 1020, 5)amianto, 6)aço inoxidável, 7)refratário e 8)alumínio. Pois de acordo com Padilha 2005, estes matérias também podem ser revestidos por aspersão térmica.



Figura4: Materiais analisados.

O item 3 da Figura 4 mostra o aço SAE 1020, a preparação de superfície deste material foi feita com bonderite 1070 e aditivo para limpeza ridosol 1270, este procedimento de limpeza é muito utilizado para preparação de superfície de peças que receberam o processo de pintura. Ambos os produtos são dissolvidos em água e aplicados por imersão da peça ou por jato de água.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante os estudos foram analisados 8 tipos de materiais, com características diferentes, como pode ser visto na figura 5. Os materiais analisados são os seguintes: alumínio, madeira, cobre, bronze, aço 1020, aço inoxidável, amianto e refratário, os resultados encontrados nas análises são explicados individualmente a seguir.

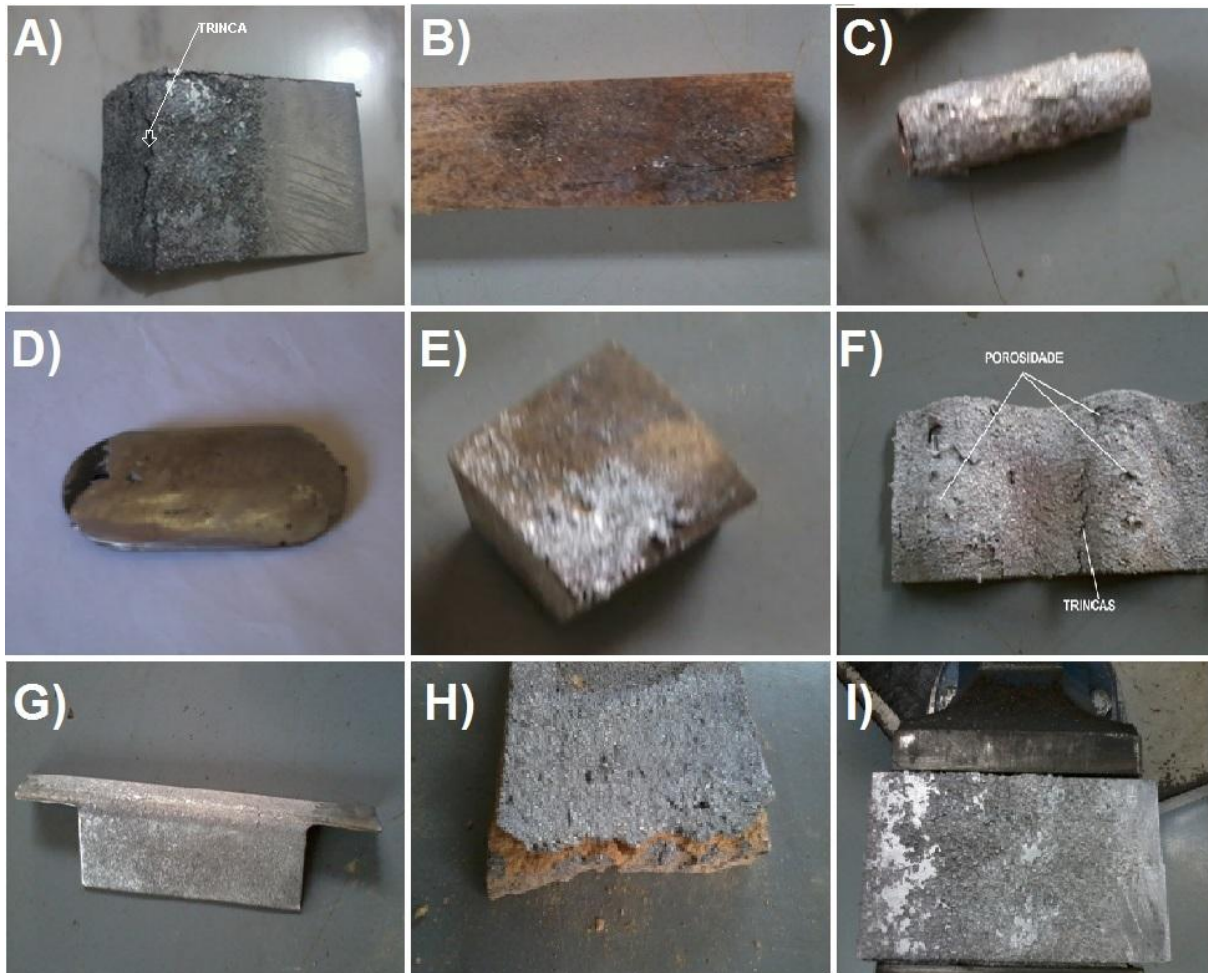


Figura 5: A, I) Alumínio; B) Madeira; C) Cobre; D) Aço 1020 E) Bronze; F) Amianto; G) Aço inoxidável; H) Refratário.

O alumínio foi o material que apresentou os melhores resultados, pois teve uma ótima aderência, devido ao material de adição ser o mesmo que o substrato, isto faz com que se conservem as características do material. Este tipo de aplicação deve ser utilizado para a recuperação de peças que sofreram desgaste. Após a aplicação do revestimento é necessário que a peça passe por um processo de usinagem para recuperar o seu padrão de medidas, e melhorar o acabamento. A aplicação do revestimento pode ser vista na Figura 5 A e Figura 5 I.

A madeira não apresentou resultados satisfatórios como se pode observar na Figura 5 B, pois o alumínio não aderiu sobre a superfície. Outro ponto negativo foi em sua área de aplicação, a madeira queimou na área de aplicação do revestimento, devido à alta temperatura do material fundido que está sendo projetado sobre a mesma. No entanto não é recomendável a aplicação do revestimento neste tipo de material, pois há risco de incêndio.

Já o cobre, mostrado na Figura 5 C, teve aderência ao substrato, porém o revestimento obteve uma camada irregular sobre sua superfície, criando uma espécie de casca, o que reduz a aderência ao substrato, sendo possível remover a aplicação facilmente com a mão, desta forma apesar de haver união entre estes materiais, o mesmo não é indicado para este tipo de aplicação, pois com o passar do tempo o alumínio revestido pode desprender do substrato.

A Figura 5 D mostra o aço SAE 1020, as amostras foram preparadas com bonderite 1070 e ridosol 1270. As amostras foram revestidas com alumínio e não apresentarão algum sinal de oxidação, a amostra foi lixada sua superfície para um melhor acabamento.

No entanto apresentou o aço SAE 1020 apresentou resultados satisfatórios, pois aderiu muito bem à superfície. Este tipo de aço é um dos mais utilizados nas indústrias, no entanto é viável fazer um estudo específico com este material para ver qual é a escala de aplicação deste revestimento em aços com baixo teor de carbono.

No entanto o aço SAE 1020 apresentou resultados satisfatórios, pois aderiu muito bem à superfície. Este tipo de aço é um dos mais utilizados nas indústrias, no entanto é viável fazer um estudo específico com este material para ver qual é a escala de aplicação deste revestimento em aços com baixo teor de carbono.

O bronze mostrado na Figura 5 E não teve aderência, pois apresentou um comportamento similar ao do cobre, porém no cobre ocorreu uma pequena casca rígida de revestimento e no bronze o revestimento se soltava com a própria pressão do ar comprimido utilizado no processo, no entanto não é possível revestir bronze com este equipamento de aspersão térmica.

Um pequeno pedaço de telha de amianto, mostrado na Figura 5 F, foi utilizado para as análises, neste ensaio se constatou que o revestimento estufou após a aplicação, criando trincas e grande quantidade de porosidade entre o substrato e o revestimento. Também este tipo de material libera um odor durante sua aplicação, o que pode ser tóxico para a saúde.

O aço inoxidável, que pode ser visualizado na Figura 5 G, apresentou resultados semelhantes às amostras do aço SAE 1020 e alumínio. Desta forma por meio das análises foi possível verificar que o aço inoxidável também pode passar pelo processo de aspersão térmica a arco elétrico. Pois o mesmo apresenta um bom revestimento e aderência ao substrato.

O refratário, mostrado na Figura 5 H, é um material cerâmico, portanto possui propriedades totalmente diferentes dos materiais metálicos analisados, mesmo assim apresentou um bom acabamento e aderência, porém aos poucos durante o resfriamento, o refratário foi apresentando pequenas rachaduras, até seu rompimento. Portanto o revestimento tem boa aderência sobre o refratário, o indicado é fazer análises com outros tipos de materiais cerâmicos já que é possível fazer revestimentos nestes materiais.

5. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos durante os experimentos e as análises realizadas, as seguintes conclusões podem ser retiradas do trabalho. Dos diversos materiais analisados no processo de revestimento por aspersão térmica por arco elétrico, apenas o alumínio, aço SAE 1020, aço inoxidável e refratário tiveram boa aderência, os demais não tiveram boa aderência sobre o substrato, no entanto é necessário alterar os parâmetros para ver se é possível revestir estes materiais. Aconselha-se sempre o aquecimento dos materiais antes da aplicação do revestimento, isso pode melhorar os resultados. O revestimento sobre o substrato cerâmico “refratário” teve uma boa aderência, porém após o resfriamento do revestimento, o refratário apresentou rachaduras em sua superfície, vindo a romper-se. O alumínio teve pouca aderência sobre o cobre, pois foi facilmente removido após a sua aplicação. Já o bronze não teve aderência com o material de adição. No entanto para este equipamento de aspersão térmica por arco elétrico, o alumínio não é indicado para fazer revestimentos sobre superfícies de cobre e bronze. Em telhas de amianto não é indicado fazer revestimentos, pois o não tem aderência com o substrato, e libera um forte odor durante sua aplicação, o que pode ser tóxico para a saúde. A amostra de aço SAE 1020 que não foi aplicado o revestimento de alumínio apresentou sinais de oxidação, enquanto as revestidas estavam livres da oxidação, assim sendo indicado o revestimento contra corrosão. A superfície das análises com maior tensão apresentou-se mais lisa em relação às baixas tensões, devido a maior facilidade de fundir o material de adição. Porém não é recomendado utilizar tensões muito elevadas próximas a 40 V, pois o bico de contato pode vir a fundir sendo necessário fazer a reposição do mesmo. Nos revestimentos depositados por arco elétrico a camada de alumínio está associada principalmente à corrente elétrica. Quando o aparelho opera em correntes muito baixas, inferiores a 60 A, ocorre à instabilidade do arco elétrico, fazendo com que o material de adição não seja completamente fundido, deixando, assim, durante o processo, a superfície com pequenos restos de material não fundido. Ainda, a corrente elétrica elevada aumenta muito a taxa de deposição do material, o que faz o acabamento ficar mais rugoso, porém com correntes maiores é possível ter melhor penetração do revestimento sobre o substrato devido ao aumento de temperatura que ocorre. Todos os revestimentos de alumínio depositados com pressões acima de 4 bar apresentaram boa aderência ao substrato. Portanto não é indicado utilizar pressões abaixo de 4 bar, pois o revestimento pode não ter uma boa aderência sobre o substrato, soltando-se facilmente e sendo necessária uma nova aplicação.

6. REFERÊNCIAS

- BHATIA, Mr. A. Thermal Spraying Technology and Applications: Electric processes. 1999. 91 f. Dissertação de Mestrado - Curso de Engineering And Design, Department Of The Army, Washington, 1999.
- CASTOLIN, Eutectic. Eutronic ArcSpray: Equipamento de Aspersão Térmica. Disponível em: <http://www.eutectic.com.br/aspersao_eutronic_arcspray.html>. Acesso em: 26 out. 2013.



**4ª Semana Internacional de
Engenharia e Economia FAHOR**
Horizontina - RS - Brasil
5 a 7 de Novembro de 2014



- COUTO, Luís Cláudio de Oliveira. A metalização como processo de multi-solução. Informetalização, São Paulo, v. 2, n. 2, p.2, out. 2011.
- COUTO, Luiz Cláudio de Oliveira. Aspersão térmica na construção metálica – Ciência e arte. CONSTRUMETAL 2006 – Congresso Latino-Americano da Construção Metálica, São Paulo (SP), setembro de 2006.
- COUTO, Luiz Cláudio de Oliveira. Metalização/Aspersão térmica vantagens e aplicações. Corrosão e Proteção vol 9, n. 44 Nov. 2012.
- LIMA, Carlos Roberto Camello; CAMARGO, Flávio; MARQUES, Paulo Villani. Estudo comparativo das propriedades de revestimentos a base de cobalto aplicado por soldagem e por aspersão térmica. 24. ed. Fortaleza: Universidade Metodista de Piracicaba, 1998.
- MACHADO, Ivan Guerra. Soldagem e técnicas conexas. Porto Alegre: Autor Próprio, 1996.
- MARIANO, Carolina; PAREDES, Ramon Sigifredo Cortés; FRARE JUNIOR, Alceu Francisco. Desenvolvimento de revestimentos de nióbio resistentes a elevadas temperaturas depositados por aspersão térmica: Aspersão Térmica. [artigo científico] 4º pdpetro, Campinas, Sp, out. 2007.
- MONTEIRO, Eduardo. Metalização/Aspersão Térmica: Vantagens e aplicações. Corrosão e Proteção: Ciência e tecnologia em corrosão, São Paulo, v. 9, n. 44, nov. 2012
- NOVICKI, Nilceu. Aplicação da aspersão térmica na soldagem em operação de tubulações com pequena espessura remanescente: Arco elétrico. 2008. 177 f. Tese de Doutorado - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal De Santa Catarina, Florianópolis, 2008.
- OLIVEIRA, Moises Alves de. Estudo da soldagem plasma com alimentação automática de arame para aplicação em revestimentos metálicos: Tipos e vazões de gás. 2001. 80 f. Dissertação de Mestrado - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal De Santa Catarina, Florianópolis - Sc, 2001
- PADILHA, Hélio. Estudos sobre revestimentos depositados por aspersão térmica para melhorar o desempenho de conexões elétricas: Aspersão Térmica. 2005. 113 f. Dissertação de Mestrado - Curso de Engenharia E Dos Materiais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.
- PAREDES, Ramón S. Cortés. Aspersão térmica: Aspersão térmica por arco elétrico. Curitiba: Universidade Federal Do Paraná, 2009.
- PAREDES, R. S. C. Aspersão Térmica. 01. ed. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2000. V. 1. 128 p.
- RODRIGUEZ, Regina Maria Hartog Pombo. Formação de óxidos nos revestimentos de alumínio depositados por aspersão térmica: Aspersão térmica. 2003. 134 f. Tese de Doutorado - Curso de Pós- Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.
- TAKIMI, Antônio; POSSAMAI, Lisiane; BERGMANN, Carlos Pérez. Revestimentos depositados por aspersão térmica hipersônica (HVOF) como alternativa ao cromo duro. Porto Alegre: Departamento de Materiais Escola de Engenharia Ufrgs, 2004.
- TERRES, Cristhian José Ferreira. Avaliação de revestimentos de aços inoxidáveis depositados por aspersão térmica: Aspersão térmica. 2006. 106 f. Dissertação de Pós Graduação - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Cristiano Borchate, cb000687@fahor.com.br¹
Richard Thomas Lermen, richard@fahor.com.br

DEVELOPMENT OF A DEVICE FOR ELECTRIC ARC THERMAL SPRAY

Abstract: *The main objective of this work was to develop a device for electric arc thermal spray. This equipment is used to make coatings of parts and components that are subject to corrosion, also for recovery of parts that have suffered some type of wear. For the development of thermal spray equipment were used rectifier welding solmig VI 320, two wire feeders, Model SWM-20 brand solmig, Two MIG/MAG, Air Compressor SCHULZ CSL 20 BR/200 l, Valve Controller flow and a roll of wire ER4044 MIG Welding Aluminum 1.0 mm, used as filler material for making coatings. It was also necessary to developed a workbench to attachment the torches of MIG-MAG, the device has the function to set and adjust the torches so that they form an arc between them. After development of the thermal spray equipment, some studies were made to varying the pressure of the compressed air, electric current, voltage, distance of application. In the process of electric arc thermal spray were analyzed seven types of materials with different properties and characteristics, the materials that were analyzed, aluminum, SAE 1020 steel, stainless steel, asbestos refractory, copper and bronze. From the analysis made with the materials it was possible to identify that the asbestos, copper, bronze didn't have no grip, as aluminum, stainless steel, refractory steel SAE 1020 had a good grip. However, the developed*



**4ª Semana Internacional de
Engenharia e Economia FAHOR**
Horizontalina - RS - Brasil
5 a 7 de Novembro de 2014



device is suited for making coating on the surface of ferrous metals, ceramic and aluminum, as the results found in these materials were acceptable because they presented a good adhesion to the substrate and uniformity.

Keywords: *Thermal spraying, Arc Electric, Aluminum.*