

APLICAÇÃO DA ASPERSÃO TÉRMICA E DA SOLDAGEM TIG COM ALIMENTAÇÃO DE ARAME PARA O REVESTIMENTO DE AÇOS C-Mn COM LIGAS A BASE DE NÍQUEL

Norton Zanette Kejelin^{1,2} – norton.kejelin@satc.edu.br
Richard Roedel² – richard_roedel@hotmail.com
Aldo Santos Pereira^{2,3} – aldo@emc.ufsc.br
André Silveira Pamplona² – andrespamp@hotmail.com
Augusto José de Almeida Buschinelli² – buschi@emc.ufsc.br

¹ Faculdade SATC, Departamento de Engenharia Mecânica. Rua Pascoal Meller, 73, Bairro Universitário. Criciúma, Santa Catarina, Brasil. CEP 88805-380.

² Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Departamento de Engenharia Mecânica. Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima, Bairro Trindade, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. CEP 88040-970.

³ Universidade Técnica Federal do Paraná UTFPR, Departamento de Engenharia Mecânica. Av. Sete de Setembro, 3165, Bairro Reboças, Curitiba, Paraná, Brasil. CEP 80230901.

Resumo: *A substituição de componentes fabricados em aço C-Mn por materiais inoxidáveis é uma prática comum em aplicações que necessitam de maior resistência a corrosão, o que aumenta os custos de projeto. Uma alternativa empregada na indústria é o revestimento das superfícies em contato com o meio agressivo com materiais nobres que suprem essa necessidade, através de processos de soldagem e aspersão térmica. Dessa forma, o projeto estrutural é executado, quando possível, com aços comuns, enquanto somente as partes mais solicitadas são revestidas. Na soldagem de revestimento, o grande problema encontrado é diluição imposta, que pode acarretar problemas tanto de composição química quanto de ordem metalúrgica ao revestimento fabricado. Neste trabalho foram avaliados os efeitos dos parâmetros de soldagem e a associação dos processos de aspersão térmica e soldagem nas características dos revestimentos obtidos. Foi verificado que os revestimentos fabricados com níquel puro através da utilização do processo de aspersão à chama possuem uma alta densidade de poros, e que a tentativa de refusão e incorporação da camada aspergida através da soldagem TIG não eliminava a ocorrência destes defeitos. Por fim, constatou-se que embora possua alta diluição, o emprego do processo TIG alimentado garantiu melhor reprodutibilidade e integridade dos revestimentos fabricados.*

Palavras-chave: *Soldagem de Revestimento, Aspersão Térmica, Diluição, Inconel 625, TIG alimentado.*

1. INTRODUÇÃO

Uma técnica considerada relativamente recente na indústria consiste na fabricação de componentes estruturais em aço-carbono revestidos com materiais mais nobres, seja por processos de aspersão térmica ou de soldagem à arco. Dessa forma, é adquirida a característica necessária ao projeto: aumento da resistência a corrosão. Um ponto importante na utilização de tais revestimentos é a redução nos custos, pois este método é uma alternativa à confecção dos componentes estruturais que necessitam de resistência a corrosão completamente em aço inoxidável, os quais tornam o projeto mais oneroso.

No Brasil, há alguns exemplos da aplicação desse tipo de procedimento de proteção contra a corrosão, tais como a produção de componentes de usinas hidrelétricas, tubulações de caldeiras e dutos que operam no transporte de materiais de alta corrosividade em plantas petroquímicas.

A definição de soldagem de revestimento retrata um processo pelo qual uma camada de material é depositada sobre um metal de base ou substrato para que se obtenham propriedades ou dimensões desejadas. Aproveita-se do uso de uma combinação de propriedades a fim de adequar a peça a uma determinada aplicação. Entretanto é imprescindível o controle de três características fundamentais durante a fabricação do revestimento, para que se tenha uma qualidade final satisfatória, essas são:

- Diluição – esta controla a quantidade de material (aço carbono) fundido, influenciando diretamente a composição final do revestimento, ou seja, na medida em que se aumenta a diluição, diminui-se a resistência à corrosão, bem como a ductilidade do revestimento;

- Rugosidade superficial da superfície exterior do revestimento – a otimização dessa característica é feita através de sua redução, pois podem atuar como sítios para início do processo de corrosão, bem como pontos de concentração de tensões durante operações de dobramentos;
- Espessura do revestimento ou reforço do cordão de solda, a qual define a quantidade de material depositada.

Vários processos de soldagem se utilizam de correntes elevadas, a fim de obter uma alta produtividade, entretanto isso acarreta em uma maior quantidade de calor transmitida a peça. Com isso são atingidos altos níveis de diluição durante o processo, alterando significativamente a composição do metal de solda, podendo induzir problemas tanto de ordem metalúrgica quanto de baixa resistência à corrosão devido à incorporação de aço carbono na zona fundida.

Num estudo recente, Heiple e Roper (apud [1]) propuseram que as características geométricas da solda são resultados de movimentos convectivos presentes na poça de fusão, efeito esse que é controlado pelo valor do gradiente de tensão superficial ($d\gamma/dT$), devido ao deslocamento resultante da região de menor tensão de superfície à maior. Esse gradiente, por sua vez, está relacionado com a concentração de elementos ativos na poça de fusão como enxofre e oxigênio.

De acordo com o modelo, ligas com ausência, ou com baixa quantidade desses elementos ativos em sua composição apresentam decréscimo da tensão superficial com o aumento da temperatura. Durante o processo de soldagem a temperatura do centro da poça de fusão é mais elevada que as extremidades, portanto possui uma menor tensão superficial. Desse modo o fluxo de metal fundido propenderia a deslocar-se no sentido do centro à borda da poça, resultando em cordões de pouca penetração e de maior largura.

Para o caso de ligas que apresentem elevado teor desses elementos, acima de um valor crítico, há uma alteração no gradiente de tensão superficial, ocorrendo inversão no comportamento exibido anteriormente. Dessa forma se tem maior tensão superficial no centro da poça do que em sua região periférica, causando uma inversão no fluxo do metal fundido que tenderia a se mover em um sentido radial interno, indo das laterais à raiz da poça, aumentando a penetração e reduzindo a largura do cordão obtido, conforme pode ser observado na Fig. 1.

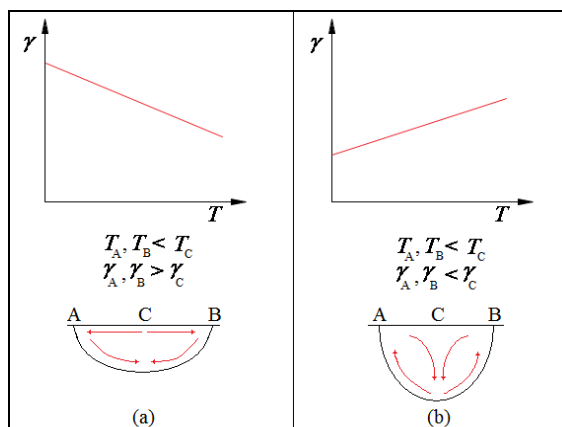


Figura 1- Curvas da variação de tensão superficial com a temperatura em um metal líquido. (a) Materiais com baixa e (b) alta concentração dos elementos ativos. Com os movimentos do fluxo de metal para cada caso.

Adaptado de MILLS et al [4].

A aspersão térmica, por sua vez, é uma técnica de revestimento, onde materiais particulados, metálicos ou não, em uma condição fundida ou semi-fundida, são acelerados sobre um substrato devidamente preparado, formando uma camada aspergida, conforme o esquema apresentado na Fig. 2. O uso da aspersão térmica tem sua potencialidade comprovada em diversas aplicações, como sistemas de proteção contra a corrosão/oxidação, ligações de base, melhora na resistência ao desgaste/fricção e à corrosão, isolamento térmico e elétrico, biocompatibilidade em implantes biomédicos, aplicações eletrônicas, fabricação de componentes, inserção de propriedades especiais e recuperação dimensional.

O aquecimento do material de revestimento, que pode estar na forma de pó, vareta, ou arame, ocorre em uma pistola segundo o processo de aplicação, com o deslocamento até o substrato providenciado pelo jato de um gás comprimido. As partículas, ao se chocarem com o substrato, tornam-se aplainadas e formam finas placas lenticulares, que se conformam e aderem às irregularidades da superfície e umas às outras, formando uma camada de estrutura lamelar.

Como não existe fusão do substrato, diferentemente dos processos de soldagem a arco, obtém-se uma condição de diluição nula, ou seja, a composição do revestimento será, em teoria, a mesma do metal de adição. Entretanto, durante o processo de aspersão térmica são introduzidos defeitos à camada aspergida que podem comprometer a qualidade final do revestimento. A porosidade, a oxidação e a falta de aderência ao substrato constituem o quadro dos problemas mais usuais decorrente deste processo. Tem-se em resumo:

- A aderência da camada aspergida ao substrato pode ser considerada como um requisito básico para a garantia de uma qualidade satisfatória do revestimento final, o princípio de ação dessa se deve a contração sofrida pelo líquido ao se solidificar e formar as lamelas;
- A existência de poros no revestimento é inevitável ao processo de aspersão e acarreta uma redução na coesão das camadas e aderência ao substrato facilitando a ocorrência da decoesão, além de atuar como pontos de concentradores de tensão em ensaios de dobramento;
- Assim como a ocorrência de porosidade, a presença de óxidos na camada aspergida é também inevitável e essa reação deve ser minimizada quando possível. O efeito na camada aspergida é semelhante ao da porosidade, onde há uma diminuição na coesão entre as lamelas.

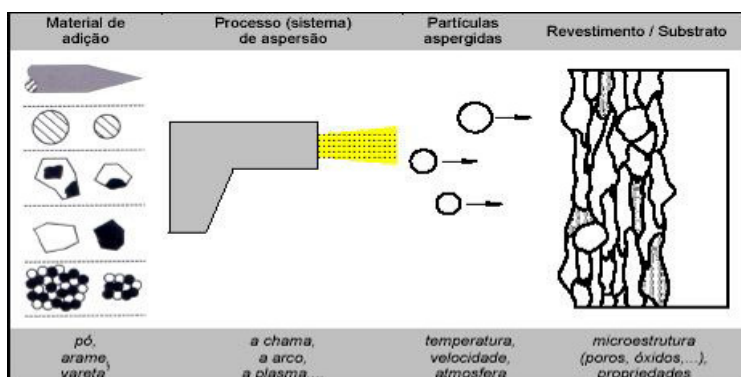


Figura 2- Representação esquemática do processo de revestimento pela técnica de aspersão térmica. PAWLOWSKI [4].

2. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo estudar a viabilidade da associação de dois processos industriais para a confecção de revestimentos para proteção contra corrosão: aspersão térmica e soldagem. O emprego concomitante destas técnicas justifica-se pelo fato de que a aplicação preliminar de uma camada de níquel por aspersão térmica visa minimizar a diluição imposta pela soldagem de revestimento, ao passo que a soldagem sobre a camada aspergida pode eliminar os defeitos preexistentes, refundindo e incorporando o material aspergido à zona fundida.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A execução das soldagens foi realizada nas dependências do Laboratório de Soldagem (LABSOLDA), na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Para haver total automatização da bancada de experimentos, utilizou-se os equipamentos citados a seguir, os quais também podem ser vistos na Fig. 3.

- Fonte de soldagem, modelo Digitec 450;
- Tocha TIG refrigerada à água com eletrodo toriado de tungstênio de 3,2 mm de diâmetro e ângulo de afiação da ponta (AE) de 40°;
- Sistema de deslocamento (Tartílope V1) para a tocha, garantindo uma velocidade de soldagem constante e linear;
- Computador para a aquisição de dados da fonte de soldagem, valores da corrente e da tensão;
- Cabeçote alimentador de arame, permitindo uma deposição de metal de adição com velocidade constante;
- Dispositivo de alimentação de arame frio (cold wire) para o processo TIG.

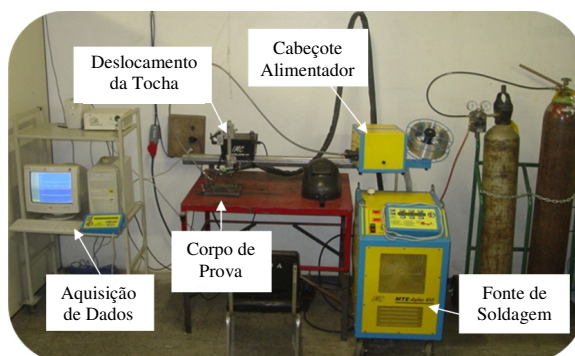


Figura 3- Bancada para ensaios de soldagem.

A deposição do revestimento por aspersão térmica foi realizada no Laboratório de Aspersão Térmica e Soldagens Especiais (LABATS) da Universidade Federal do Paraná (UFPR). A Fig. 4 demonstra o processo de aspersão à chama com adição de pó metálico de níquel comercialmente puro para o revestimento da chapa utilizada nos ensaios.



Figura 4- Revestimento por aspersão térmica sobre chapa plana.

Os cortes dos corpos de prova, assim como a preparação metalográfica das amostras dos cordões de solda foram realizados nas dependências do Laboratório de Conformação (LABCONF), também localizado na Universidade Federal de Santa Catarina. Os equipamentos utilizados em tal finalidade estão listados a seguir (Fig. 5).

- Capela – local para os ataques químicos realizados nas amostras;
- Politriz – equipamento utilizado para o polimento das amostras;
- Lixadeira – equipamento utilizado para o lixamento das amostras;



Figura 5- Equipamentos para preparação metalográfica.

As atividades desenvolvidas tinham como intuito avaliar as características geométricas principais dos cordões de solda quando depositados sobre chapa e também sobre a camada aspergida, bem como, aperfeiçoar tais técnicas garantindo a fabricação de um revestimento isento de defeitos e mantendo a composição final mais próxima do metal de adição. Tendo esse objetivo como pressuposto foi desenvolvida a metodologia descrita abaixo.

Visando garantir a confiabilidade nos resultados, foram realizados testes de calibração nos equipamentos utilizados que pudessem apresentar erros no decorrer do trabalho, tais como: a fonte de soldagem, o sistema de deslocamento e o cabeçote alimentador de metal de adição.

Ao final dessa prévia calibração, deu-se início a rotina seguida ao longo do trabalho:

1. Corte das chapas de aço, preparando os corpos de prova para soldagem;
2. Escolha dos parâmetros adequados a serem testados para o processo de soldagem;
3. Realização dos cordões de solda;
4. Seccionamento transversal dos cordões de solda;
5. Preparação metalográfica das amostras.

A partir dessas amostras, eram medidas, com o auxílio do software Image Tool®, tanto a diluição como outras importantes características geométricas do cordão de solda destacadas na Fig. 6, para então se processarem os dados em função das variáveis de controle do processo de soldagem, bem como em função da camada prévia depositada por aspersão térmica. A porosidade na camada aspergida também pode ser medida com o analisador de imagens do software Image Tool®.

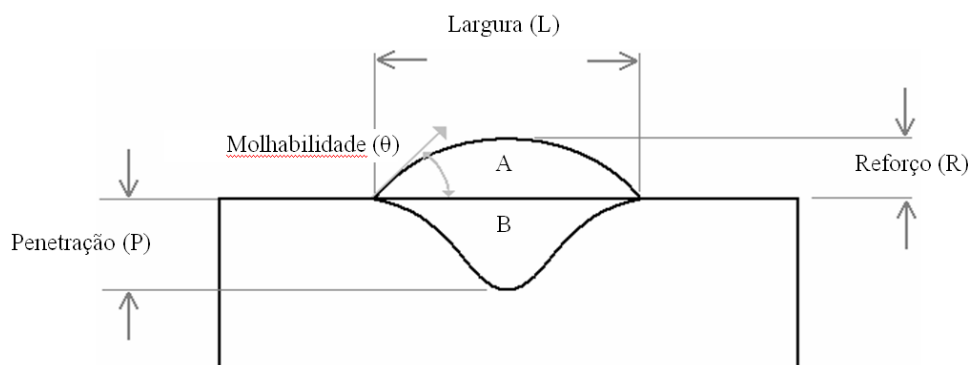


Figura 6- Características analisadas na geometria dos cordões.

A diluição é uma importante característica a ser controlada na fabricação de revestimentos por solda-gem. A quantificação desta é um dos fatores que indica a qualidade final do mesmo, onde o cálculo desse pa-râmetro é obtido através da Eq. 1, que por sua vez é definida a partir da relação entre a quantidade de metal de adição depositado e quantidade de metal de base fundido.

$$D = \frac{B}{A + B} \quad (1)$$

Neste trabalho, tanto as operações de soldagem quanto de aspersão térmica foram realizadas sobre chapas de aço SAE 1020, de 19,05 mm de espessura, devidamente preparadas para cada um dos processos. O gás de proteção empregado nos ensaios de soldagem pelo processo TIG “alimentado” foi argônio comercialmente puro. Para executar os ensaios de soldagem foi empregado como metal de adição o arame maciço AWS E NiCrMo-3 (Inconel 625). Esta liga é usada em várias aplicações com a finalidade de aumentar a resistência à corrosão, inclusive em elevadas temperaturas. O material de adição, atomizado, utilizado para aspersão térmica à chama foi níquel comercialmente puro (99,5% em massa). Na Tab. 1 estão expostas as composições químicas dos materiais empregados, sendo para o Inconel 625 dados do próprio fornecedor e a composição do aço SAE 1020 com dados obtidos da norma aplicável.

Tabela 1. Composição química (%) dos materiais usados nos ensaios.

*Valores máximos admissíveis.

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Nb	Fe
SAE 1020	0,18 - 0,23	0,30 - 0,60	0,40 - 0,60	0,035*	0,035*	-	-	-	-	98,0
ENiCrMo3	0,04	0,50	0,60	-	-	22,0	9,0	61,6	3,3	3,0
Ni	-	-	-	-	-	-	-	99,5	-	Bal.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A inspeção microscópica do revestimento depositado por aspersão térmica indica uma porosidade entre 15 e 16%, conforme pode ser observado nas setas dispostas na micrografia da Fig. 7A e nas respectivas imagens binarizadas (fig 7B e 7C) para quantificação dos pixels que constituem os poros.

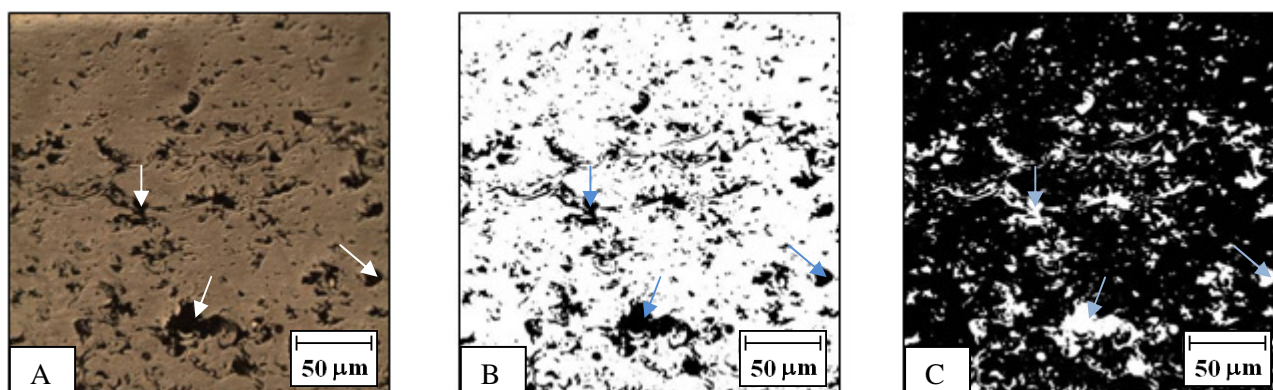


Figura 7- Micrografia da camada de níquel aspergida (A), binarização da mesma imagem com poros em pixels pretos (B) e binarização da mesma imagem com poros em pixels brancos (C).

A alta densidade de poros observada compromete fortemente tanto as propriedades mecânicas do revestimento, atuando como forte concentradores de tensões em operações de dobramento ou solicitações cíclicas, bem como a resistência à corrosão, atuando como sítios para o início deste processo. Diante disso, foi também avaliada a possibilidade de densificação da camada aspergida através da refusão pela passagem do arco TIG, e foi observada a manutenção destes defeitos (Fig. 8), e por vezes até a piora com relação à condição como aspergido devido ao coalescimento de poros e a nucleação de trincas, conforme pode ser observado na figura 9.

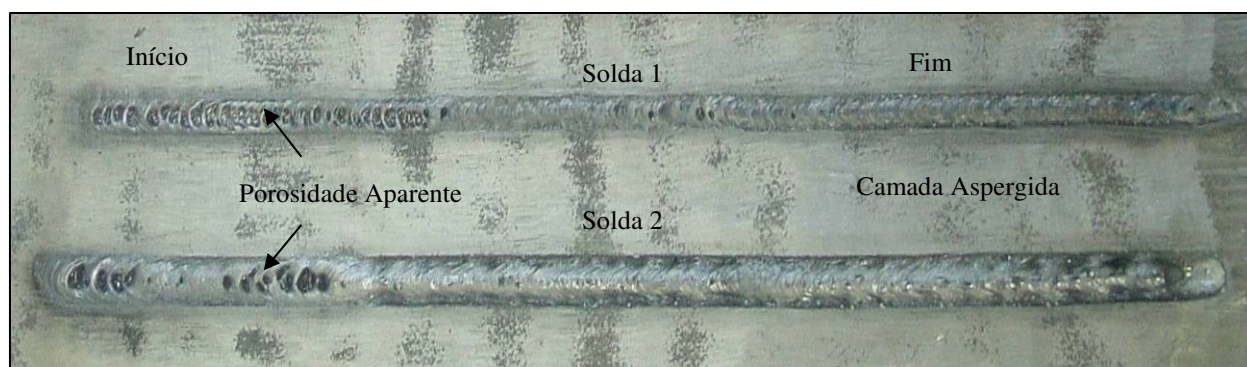


Figura 8- Refusão da camada aspergida através do arco TIG.

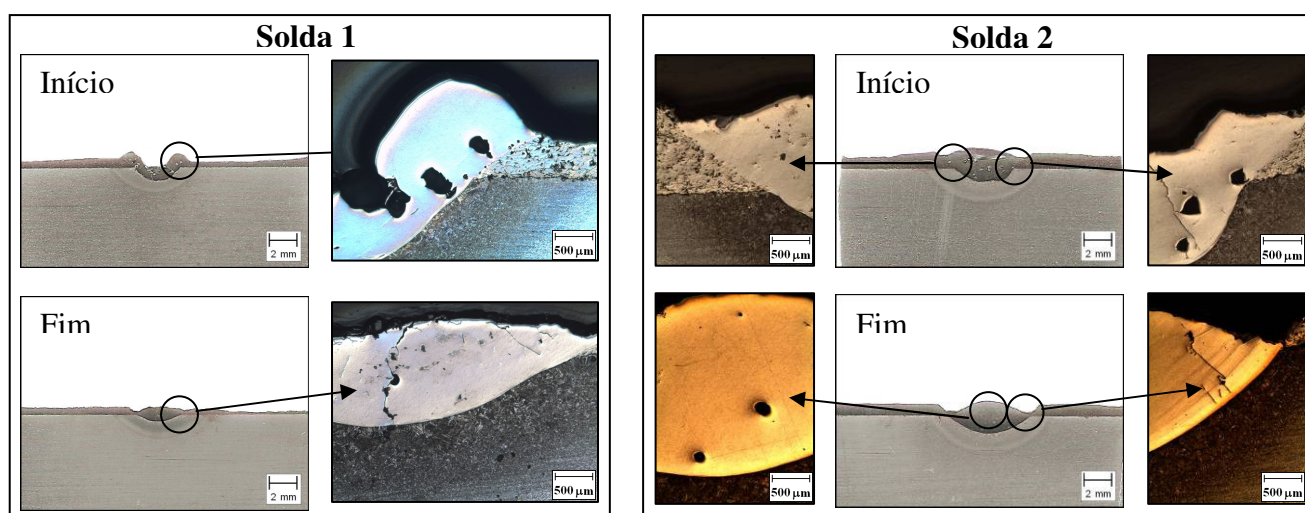
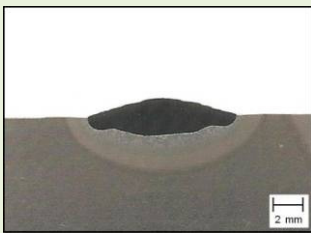
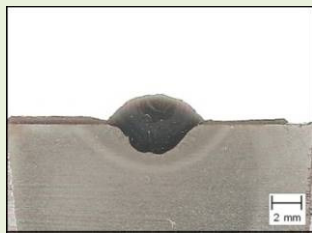

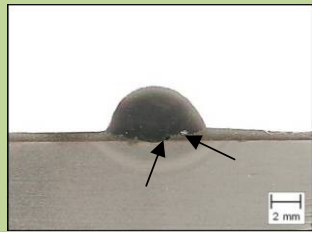

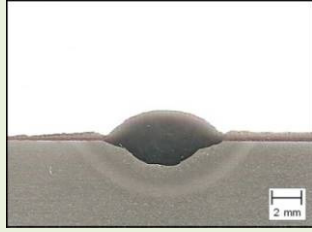

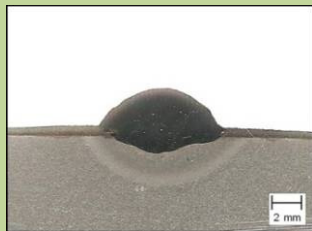




Figura 9- Detalhes macro e microscópicos das soldas de refusão com arco TIG.

Visto que a refusão da camada aspergida através do arco TIG não se apresentou como uma alternativa eficaz na fabricação dos revestimentos, devido à incorporação dos defeitos preexistentes na zona fundida, procurou-se avaliar a utilização de alimentação de arame frio (TIG cold wire) para esta operação. Neste caso, cordões de solda eram depositados sobre a camada aspergida, formando o revestimento, que deveria, em suma, ser constituído por uma pequena parcela de aço C-Mn proveniente do substrato, uma parcela de níquel proveniente da camada aspergida e mais uma terceira parcela proveniente do material de adição (arame maciço).

Com esta técnica esperava-se obter uma redução dos níveis de diluição observados quando na confecção de cordões de solda através do processo TIG (alimentado) sobre chapas de aço C-Mn. As tabelas 2 e 3 apresentam um comparativo entre os cordões depositados pelo processo TIG cold wire diretamente sobre chapa e sobre chapa aspergida, possibilitando uma análise das características geométricas das soldas em função dos parâmetros de processo estudados.

Tabela 2. Condições de soldagem e macrografias dos ensaios.

N° CP	Condições do Ensaio	Macrografia	N° CP	Condições do Ensaio	Macrografia
T1	$I_S = 200 \text{ A}$ $U_S = 17,2 \text{ V}$ $V_S = 15 \text{ cm/min}$ $V_A = 1 \text{ m/min}$ $AE = 40^\circ$		TA1	$I_S = 201 \text{ A}$ $U_S = 17,5 \text{ V}$ $V_S = 15 \text{ cm/min}$ $V_A = 1 \text{ m/min}$ $AE = 40^\circ$	
T2	$I_S = 200 \text{ A}$ $U_S = 16,5 \text{ V}$ $V_S = 15 \text{ cm/min}$ $V_A = 2 \text{ m/min}$ $AE = 40^\circ$		TA2	$I_S = 202 \text{ A}$ $U_S = 15,3 \text{ V}$ $V_S = 15 \text{ cm/min}$ $V_A = 2 \text{ m/min}$ $AE = 40^\circ$	
T3	$I_S = 240 \text{ A}$ $U_S = 17,3 \text{ V}$ $V_S = 15 \text{ cm/min}$ $V_A = 1 \text{ m/min}$ $AE = 40^\circ$		TA3	$I_S = 241 \text{ A}$ $U_S = 18,0 \text{ V}$ $V_S = 15 \text{ cm/min}$ $V_A = 1 \text{ m/min}$ $AE = 40^\circ$	
T4	$I_S = 240 \text{ A}$ $U_S = 17,9 \text{ V}$ $V_S = 15 \text{ cm/min}$ $V_A = 2 \text{ m/min}$ $AE = 40^\circ$		TA4	$I_S = 240 \text{ A}$ $U_S = 16,6 \text{ V}$ $V_S = 15 \text{ cm/min}$ $V_A = 2 \text{ m/min}$ $AE = 40^\circ$	
T5	$I_S = 240 \text{ A}$ $U_S = 17,5 \text{ V}$ $V_S = 15 \text{ cm/min}$ $V_A = 3 \text{ m/min}$ $AE = 40^\circ$		TA5	$I_S = 241 \text{ A}$ $U_S = 16,7 \text{ V}$ $V_S = 15 \text{ cm/min}$ $V_A = 3 \text{ m/min}$ $AE = 40^\circ$	

Com relação às características geométricas das soldas obtidas, percebe-se que existe de fato a redução nos níveis de diluição quando se emprega o amantecimento prévio da superfície por aspersão térmica, fato este ocorrido em todas as situações. No entanto, todos os casos apresentaram diminuição da largura dos cordões seguido da conseqüente redução da molhabilidade.

A diluição está intimamente ligada com as propriedades anticorrosivas do revestimento final, sendo, portanto, desejável os efeitos de sua redução. Já a diminuição da largura do cordão de solda está relacionada ao aumento com os gastos de projeto, uma vez que uma menor área é revestida com a mesma quantidade de material adicionado, aumentando o consumo e reduzindo a produtividade.

Tabela 3. Características geométricas das soldas depositadas sobre a chapa de aço com e sem aspersão.

Cordão	Reforço (mm)	Penetração (mm)	Largura (mm)	Diluição (%)	Molhabilidade (°)
T1	1,13	1,27	9,53	59	20
TA1	1,62	2,00	6,69	43	48
T2	2,48	0,94	9,33	25	46
TA2	3,03	0,10	6,80	1	67
T3	1,17	1,77	13,02	64	17
TA3	1,67	1,68	8,12	39	37
T4	2,17	1,15	11,23	37	37
TA4	2,56	1,15	8,57	20	44
T5	3,07	0,83	10,95	16	57
TA5	3,72	0,40	8,69	3	77

Nas macrografias “TA2” e “TA5”, da tabela 2, verifica-se a manutenção dos defeitos preexistentes na camada aspergida (poros) quando o revestimento depositado não penetra junto ao metal de base (C-Mn). A existência desses defeitos possui maior propensão de ocorrer quando se emprega correntes menores ou maiores velocidades de alimentação de arame, como é observado nas condições dos ensaios. Embora obtidos níveis de diluição menores, nesses casos, a presença desses defeitos e da falta de fusão do material base compromete diretamente a integridade do revestimento fabricado.

As tabelas 4 e 5 apresentam um comparativo entre revestimentos depositados sobre aspersão térmica e diretamente sobre o substrato de aço C-Mn. Os resultados das características geométricas dos revestimentos confirmam as tendências encontradas nos ensaios anteriores, referentes a deposição de um único cordão sobre ambos os substratos. Dessa forma, introduzindo a camada aspergida se obteve redução da diluição em detrimento à largura, já que na fabricação do revestimento sem aspersão foram realizados 3 cordões ao passo que foram utilizados 4 cordões sobre a camada aspergida, atingindo-se larguras dos revestimentos finais bastante próximas.

Tabela 4. Parâmetros de soldagem empregados em cada ensaio, com as respectivas macrografias e fotografias das superfícies dos revestimentos.

Parâmetros	Fotografia dos Depósitos	Macrografia
$I_S = 240 \text{ A}$ $U_S = 15,8 \text{ V}$ $V_S = 15 \text{ cm/min}$ $V_A = 1 \text{ m/min}$ $AE = 40^\circ$	 Soldagem sobre aspersão térmica (quatro cordões)	
$I_S = 241 \text{ A}$ $U_S = 16,4 \text{ V}$ $V_S = 15 \text{ cm/min}$ $V_A = 1 \text{ m/min}$ $AE = 40^\circ$	 Soldagem sobre aço SAE 1020 (três cordões)	

Tabela 5. Características geométricas dos revestimentos fabricados.

Revestimento	Penetração Max. (mm)	Largura Max. (mm)	Reforço Max. (mm)	Diluição (%)	Molhabilidade (°)
Com aspersão	2,92	22,59	2,07	51	35
Sem aspersão	1,70	21,17	1,51	58	16

Essa redução da largura nos cordões depositados sobre a chapa aspergida é explicada pelo modelo proposto por Heiple e Roper, no qual é dito que a penetração da solda é resultado de movimentos convectivos presentes na poça de fusão, decorrentes do valor do gradiente de tensão superficial ($d\gamma/dT$). Como a camada aspergida possui uma alta

densidade de poros (que por sua vez são constituídos por um alto teor de oxigênio proveniente do gás de arraste), estes acabam por contribuir para o aumento da penetração, uma vez que o oxigênio, juntamente com o enxofre, é considerado um elemento ativo responsável pela mudança dos movimentos convectivos na poça de fusão.

5. CONCLUSÕES

Até o presente momento, a utilização da aspersão térmica à chama e sua posterior incorporação através do processo de soldagem TIG não se mostrou uma alternativa eficaz na confecção dos revestimentos, ficando evidente a necessidade de mais pesquisas até a obtenção de uma metodologia eficaz que aproveite os benefícios de ambas as técnicas. Embora o amateigamento prévio tenha atendido as expectativas com relação ao problema de diluição excessiva, se observou falta de reprodutibilidade geométrica dos cordões depositados, além da manutenção de defeitos como porosidades e falta de fusão oriundos da camada aspergida, juntamente com uma piora significativa da molhabilidade, com conseqüentemente redução da largura, dos cordões de solda.

Entende-se, portanto, que a alta diluição inerente à soldagem de revestimento pelo processo TIG alimentado pode ser contornada pela deposição de mais de uma camada, garantindo assim uma melhor integridade estrutural, devido à reprodutibilidade das características geométricas dos revestimentos fabricados, bem como a ausência dos defeitos observados e/ou provenientes da técnica de aspersão térmica.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Novicki, Nilceu; Mendonça, João H.; BUSCHINELLI, Augusto J. A.; Paredes, Ramon C. **Influência da Oxidação na Estabilidade e Penetração do Arco Voltáico de Cordões de Solda Depositados sobre Revestimentos por Aspersão Térmica.** Anais do 17º Congresso Nacional de Soldagem – CONSOLDA, Belo Horizonte – MG, outubro de 2006.
- [2] MODENESI, Paulo J. **Introdução à Física do Arco Elétrico e sua Aplicação na Soldagem dos Metais.** Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte – MG, fevereiro de 2009, p. 133-135.
- [3] PAWLOWSKI, L. **The Science and engineering of thermal spray coatings.** John Wiley & sons, England, 1995.
- [4] MILLS, K. C. et al. **Marangoni effects in welding.** In: PHIL. TRANS. R. SOC. LOND., vol 356, 1998, p.911-925.
- [5] **ASPERSÃO TÉRMICA: FUNDAMENTOS E APLICAÇÕES.** C.C. LIMA, R. TREVISAN, ABER EDITORA, SÃO PAULO 2001.
- [6] KEJELIN, Norton Z. **Influência dos Parâmetros de Soldagem na Formação de Zonas Parcialmente Diluídas em Soldas de Metais Dissimilares.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) Programa de Pós-graduação em Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005-2006.
- [7] KEJELIN, Norton Z.; BUSCHINELLI, A. J. A.; POPE, Alexandre M. **Effects of Welding Parameters on the Partially Diluted Zones Formation at Dissimilar metal Welds.** Anais do 18th International Congress of Mechanical Engineering – COBEM, Ouro Preto – MG, novembro de 2005.
- [8] **WELDING HANDBOOK – MATERIALS AND APLICATIONS – PART 1.** v.3 – 8th edition. American Welding Society. Miami, Fl. 1998. 526 p.
- [9] **WELDING HANDBOOK – MATERIALS AND APLICATIONS – PART 2.** v.4 – 8th edition. American Welding Society. Miami, Fl. 1998. 621 p.

6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído neste trabalho.

APPLICATION OF THERMAL SPRAYING AND COLD WIRE GTA WELDING FOR C-Mn STEEL OVERLAY WITH NICKEL ALLOYS

Norton Zanette Kejelin^{1,2} –norton.kejelin@sac.edu.br
Richard Roedel² – richard_roedel@hotmail.com
Aldo Santos Pereira^{2,3} – aldo@emc.ufsc.br
André Silveira Pamplona² - andrespamp@hotmail.com
Augusto José de Almeida Buschinelli² – buschi@emc.ufsc.br

¹ SATC Faculty, Department of Mechanical Engineering. Pascoal Meller street, 73, Universitário. Criciúma - Santa Catarina, Brasil. Zip code 88805-380.

² Federal University of Santa Catarina, Department of Mechanical Engineering, Florianópolis, Santa Catarina, Brazil. Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima, Trindade, Florianópolis - Santa Catarina, Brazil. Zip code 88040-970.

³ Technical University of Paraná, Department of Mechanical Engineering. Av. Sete de Setembro, 3165, Rebouças - Curitiba, Paraná, Brazil. Zip code 80230901

Abstract. *The replacement of C-Mn steel components for stainless materials is a common practice in applications that require a higher corrosion resistance, which increases the cost of the project. An alternative used in the industry is the coating of surfaces, which are in contact with the aggressive environment, with noble materials that supplies this need, through processes of welding and thermal spraying. Thus, the structural project is performed, when possible, with common steels, while only these most requested parts are coated. In weld cladding, the major problem found is the imposed dilution, which can cause problems in the chemical composition and metallurgical aspects at the manufactured coating. This study evaluated the effects of welding parameters and the association of both processes: thermal spraying and welding, on the characteristics of fabricated coating. It was found that cladding made from pure nickel using the process of flame spraying have a high density of pores, and the attempt to remelting and incorporation of this thermal spraying layer by TIG welding does not eliminate the occurrence of these defects. Finally, it was conclude that in spite the process show a high dilution, the use of the TIG cold wire assured a better reproducibility and integrity of the produced coating.*

Key words: *Weld Cladding, Thermal Spraying, Dilution, Inconel 625, TIG cold wire*

RESPONSIBILITY NOTICE

The author(s) is (are) the only responsible for the printed material included in this paper.