



INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS NO GRAU DE POROSIDADE EM SOLDAGEM MIG DE ALUMÍNIO

Fábio Campos Morais

SENAI/SC – CET – Rio do Sul

fmorais@hotmail.com - Rio do Sul, SC, Brasil

Valtair Antonio Ferraresi

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica

valtairf@mecanica.ufu.br - Uberlândia, MG, Brasil

Resumo. Na soldagem de ligas de alumínio da série 5000, que têm reconhecida boa soldabilidade, é comum ocorrer a formação de porosidade no cordão de solda. Estudos mostram que o hidrogênio é que causa porosidade nas ligas de alumínio. As maiores fontes de hidrogênio na soldagem de alumínio são os hidrocarbonetos, a água e os óxidos hidratados que ao entrarem no arco elétrico são “quebrados” e liberam hidrogênio. Este trabalho tem como objetivo avaliar as influências da condição superficial de chapas preparadas por diferentes métodos de limpeza, dos modos de transferência metálica e de diferentes configurações de junta de topo no grau de porosidade do cordão em soldagem MIG de alumínio. Na quantificação do grau de porosidade, foi utilizada a técnica gravimétrica. As relações entre grau de porosidade dos cordões “versus” as variáveis modo de transferência metálica, método de limpeza e configuração de junta foram determinadas e classificadas em importância. Os resultados dos testes mostraram nenhuma influência do método de limpeza superficial e grandes influências do modo de transferência metálica e da configuração da junta. Os melhores resultados foram obtidos nos testes com transferência metálica no modo globular e junta de topo com abertura de 1,0 mm, protegida com gás de purga.

Palavras-chave: porosidade, soldagem, alumínio, parâmetros de soldagem, gravimetria.

1. INTRODUÇÃO

Os defeitos encontrados na soldagem de alumínio podem ocorrer por uma grande variedade de causas, associadas à fabricação, armazenagem e condições superficiais das chapas e do arame eletrodo, composição do gás de proteção, condições ambientais, além de procedimentos e técnicas de soldagem inadequados. Entre as principais falhas usualmente encontradas na soldagem de alumínio está a porosidade. (Mac Arthur, 1975).

Porosidade é definida como um conjunto de poros ou vazios internos ou superficiais à solda, podendo estar na forma agrupada, alinhada ou vermiforme. Os poros ao se depositarem no interior do cordão de solda, dependendo da quantidade e concentração em determinadas regiões, tornam-se indesejáveis por acarretarem perda de resistência mecânica, pela

diminuição da seção transversal, em peças submetidas a carregamento estático, e por serem pontos de concentração de tensões, acarretando diminuição de resistência à fadiga, no caso de peças sob carregamento dinâmico. Assim, a porosidade compromete a qualidade da junta soldada e, em alguns casos, é necessária sua remoção, elevando os custos de produção (Alcan, 1993).

Os poros nos metais se formam devido à variação de solubilidade dos gases submetidos aos efeitos do ciclo térmico, da fusão à solidificação do metal, gerando bolhas de gás em fase independente. Kammer (1963) afirma que o hidrogênio causa porosidade no alumínio e suas ligas devido à brusca queda da solubilidade com a diminuição da temperatura de fusão à ambiente. Outros gases (O_2 e N_2) não sofrem queda tão brusca de solubilidade no alumínio quanto o hidrogênio. As maiores fontes de hidrogênio para a poça de fusão são os hidrocarbonetos, a água e os óxidos hidratados que ao entrarem no arco elétrico são “quebrados” e liberam hidrogênio.

Na soldagem MIG de alumínio, as variáveis de soldagem têm influência direta na quantidade de hidrogênio e no modo de solidificação da poça de fusão, fatores que interferem diretamente no volume de vazios dos cordões de solda (Hettes & Ketron, 1998). Entre essas variáveis estão a condição superficial da chapa (associada ao método de limpeza superficial); parâmetros de soldagem (tensão e corrente), conseqüentemente o modo de transferência metálica; e a configuração da junta. A seguir, é descrito como essas variáveis citadas podem influenciar no grau de porosidade dos cordões de solda.

Condição superficial da chapa - Ovchinnikov (1990) comenta que a superfície áspera do alumínio retém umidade e contaminantes que ajudam na formação de porosidade. Desta forma, diferentes formas de limpeza removem diferentes tipos e quantidades de sujeiras, podendo afetar o volume de vazios do cordão de solda executado.

Tensão de soldagem – Na soldagem de alumínio com tensão em torno de 20 Volts, tem-se arcos muito pequenos, havendo grande instabilidade do processo, predispondo à formação de porosidade nos cordões. Em soldagem com arcos maiores, a partir de 24 V, aumenta-se a *zona anelar quente*, favorecendo a absorção de hidrogênio e a formação de porosidade no cordão (Woods 1974).

Corrente de soldagem - É sabido que o aumento da corrente causa o aumento da temperatura da poça de fusão, conseqüentemente o aumento do volume da poça de fusão, elevando, com isso, a solubilidade e a absorção de hidrogênio. Entretanto, o aumento da temperatura da poça de fusão causa uma diminuição da taxa de solidificação (maior volume da poça), favorecendo o escape de hidrogênio para a atmosfera. Verifica-se, então, a existência de uma relação entre a corrente de soldagem e a taxa de solidificação da poça de fusão: se por um lado existe a facilidade da absorção de gases, por outro lado existe, também, a facilidade de escape desses gases (Woods, 1974). Saperstein (1964) mostrou que na soldagem MIG com altas taxas de resfriamento, em correntes baixas, produz-se cordões com muitos poros com pequenos volumes, enquanto soldas lentamente resfriadas contém poucos poros, porém grandes. Em cordões de solda com nível moderado de resfriamento do calor imposto, se produz o máximo de volume de porosidade, tendo um tamanho médio no tamanho do poro.

Transferência metálica - Diferentes modos de transferência metálica, diretamente associados aos valores de tensão e corrente de soldagem, certamente acarretam em cordões com diferentes volumes de vazios, sendo a observação experimental deste fato um dos objetivos dessa pesquisa.

Configuração da junta - A configuração da junta de topo é uma variável com grande influência no grau de porosidade na soldagem de alumínio. (Kuriyama, 1975) observou que a soldagem sobre chapa, sem chanfro, tem grande vantagem sobre soldagens em juntas chanfradas. Juntas de topo estreitas e profundas tendem a reter o gás antes desse percorrer o

longo caminho até a atmosfera. Esta observação foi comprovada na soldagem MIG na posição horizontal com junta de topo em “Y”, com aberturas de raiz zero e 1,2 mm. A porosidade com abertura de raiz 1,2 mm ficou bem abaixo das soldas realizadas com abertura de raiz zero, aproximando do valor de porosidade da solda realizada diretamente sobre a chapa. Em soldagens TIG e MIG, a adoção de apropriada abertura de raiz pode marcadamente reduzir os níveis de porosidade a valores aproximados aos de soldagens diretamente sobre a chapa. A aplicação de gás de purga sob a junta com abertura na raiz melhora a qualidade e reduz a porosidade do cordão de solda, fato este investigado nesse trabalho.

Com base no exposto acima, este trabalho tem como objetivo verificar a influência de métodos de preparação da superfície da chapa, de parâmetros de soldagem (modos de transferência metálica) e configurações de junta de topo na formação de porosidade em soldagem MIG de alumínio.

2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

2.1 Condições de soldagem

Para a realização dos testes, foi utilizada uma fonte eletrônica multiprocesso, regulada para ser operada no processo MIG, no modo tensão constante. O metal de base usado na pesquisa é uma liga de alumínio ABNT 5052, chapa de 6,25 mm de espessura. O arame eletrodo é ER4043, com diâmetro de 1,2 mm. As amostras para construção da junta de topo tinham 200 mm de comprimento por 40 mm de largura. O argônio comercialmente puro foi usado como gás de proteção em todas as soldas, com vazão controlada de 8 l/min, inclusive quando aplicado em purga.

2.2 Parâmetros de soldagem

Para obtenção de diferentes modos de transferência metálica, foram utilizados os dados obtidos no trabalho de Figueiredo (2000). A Tabela 1 mostra os parâmetros de soldagem para cada modo de transferência utilizado nos testes.

Tabela 1 – Modos de transferências metálica e parâmetros de soldagem

Modo de transferência metálica	Parâmetros de soldagem			
	Tensão de referência [V]	Velocidade de alimentação [m/min]	Velocidade de soldagem [mm/min]	Corrente média [A]
Curto Circuito [cc]	20	8,0	750	175,0
Goticular [got]	24	8,0	750	178,0
Globular [glob]	24	6,0	560	135,0
UGPP	-	6,7	500	98,5

Além dos modos de transferências convencionais, tem-se ainda a transferência metálica pulsada (controlada), um tipo de transferência onde se busca o modo goticular ou *spray* com correntes médias baixas. Essa transferência é conseguida pela pulsação da corrente de soldagem em dois patamares, um inferior à corrente de transição e outro superior a esta, de modo que, durante o período de tempo em que a corrente é baixa, uma gota se forma, cresce na ponta do arame e é transferida quando o valor da corrente é elevado. Este modo de transferência é considerado ideal quando se consegue Uma Gota Por Pulso [UGPP] (Vilarinho, 2000).

Para obtenção dos parâmetros de soldagem que fornecem UGPP, foi utilizada a técnica de *shadowgrafia*, em que um sistema óptico é usado para obter a sombra da imagem a ser gravada em uma câmara de filmagem, na qual é projetada a sombra, procedimento detalhado por Vilarinho (2000). Os valores encontrados de tempo e corrente são: tempo de pico [t_p] = 3,06 milissegundos [ms]; corrente de pico [I_p] = 250,9A; tempo de base [t_b] = 5,96ms; e corrente de base [I_b] = 17,8A. Com esses dados, a corrente média ficou em [I_m] = 98,5A.

2.3 Métodos de limpeza superficial e configuração da junta

Todas as chapas foram inicialmente lavadas com esponja embebida de água e sabão, e secadas em jato de ar comprimido. Após a secagem, foram adotados três diferentes métodos de limpeza superficial das chapas, assim descritos:

1. limpeza com pano seco, denominada [**A&S**];
2. limpezas com pano embebido de acetona e com escova de cerdas em aço inox, seguida de limpeza com pano seco, denominada [**Ac&Es**]; e
3. limpeza com pano embebido em produto químico, denominada [**LQ**] (produto *OX-OUT #536 Scale and Oxide Remover for Stainless Steel and Aluminum*, da *Chemcleam Corporation*).

Todas as soldagens foram feitas até duas horas após a limpeza das superfícies, em passe simples na posição horizontal, pela técnica “empurrando” a tocha, inclinada a 15 graus.

As soldagens foram realizadas automaticamente em juntas de topo variável conforme classificações destacadas em negrito: **zero** - junta de topo sem abertura; **umsem** - junta de topo com abertura de 1,0 mm e **umcom** - junta de topo com abertura de 1,0 mm e com a aplicação de argônio como gás de purga.

2.4 Planejamento experimental

Para a realização dos experimentos, foi realizado planejamento fatorial completo, três a três, associando-se os três modos de transferência [modo transf.] convencionais a cada um dos três métodos de limpeza superficial e às três configurações de junta de topo, com total de 27 ensaios.

Ensaio no modo de transferência controlada, com UGPP, também foram associados a cada um dos três métodos de limpeza superficial e às três configurações de junta, somando mais 9 ensaios. Desta forma, totaliza-se 36 ensaios laboratoriais.

2.5 Método de inspeção

Na inspeção da porosidade dos cordões de solda, foi adotado o método destrutivo gravimétrico, em que o grau de porosidade é estimado pela medida da densidade do cordão de solda. A variável dependente associada à porosidade do cordão é o percentual de volume de vazios do cordão, determinado pela variação da densidade (Saperstein, 1964).

Na realização do ensaio destrutivo por gravimetria segue-se os seguintes passos:

1. Uma amostra representativa de cordão de solda (zona fundida), com comprimento de aproximadamente 70 mm, é separada do corpo de prova soldado, pela remoção cuidadosa do metal de base;
2. A amostra, composta somente da zona fundida do cordão de solda é pesada, primeiro ao ar [P_{ar}] e em seguida em água destilada [P_{ag}];
3. Calcula-se o Empuxo [E], que é responsável pela diferença entre os pesos da amostra ao ar [P_{ar}] e em água [P_{ag}], dado por $E = P_{ar} - P_{ag}$;

4. Com o valor de E , calcula-se o volume de líquido deslocado pela amostra $[V_{ld}]$, que equiivale ao próprio volume da amostra $[V_{am}]$, dado por:

$$V_{ld} = V_{am} = \frac{E}{\rho_{H_2O} \cdot g}; \quad (1)$$

onde ρ_{H_2O} é a densidade da água, igual a 1 kg/dm^3 , e g é a aceleração da gravidade.

5. Com o volume da amostra $[V_{am}]$ e o peso da amostra ao ar $[P_{ar}]$, determina-se a densidade real da amostra $[\rho_{am}]$, em $[\text{kg/m}^3]$:

$$\rho_{am} = \frac{P_{ar}}{V_{am}}; \quad (2)$$

6. Para determinação do volume de vazios da amostra, adota-se um valor de densidade de referência, equiivalente à gravidade específica de uma amostra considerada perfeita $[\rho_{amperf}]$ ou sem poros, que possui 50% de diluição de arame de solda em metal de base. Este valor é obtido com determinação, pelo mesmo método, de valores de densidade do metal de base e do arame eletrodo.
7. Finalmente, com os valores das densidades de referência $[\rho_{amperf}]$ e real $[\rho_{am}]$ da amostra, determina-se o percentual de volume de vazios, dado por:

$$V_V = \frac{\rho_{amperf} - \rho_{am}}{\rho_{amperf}} \times 100. \quad (3)$$

Pelo método gravimétrico, citado acima, estima-se o volume de vazios através da medida de densidade da amostra, não determinando a localização, distribuição e tamanhos desses vazios. Com isso, foi adotado neste trabalho que quanto maior o volume de vazios, obtido pelo método gravimétrico, maior é a probabilidade do cordão de solda apresentar porosidades. Saperstein (1964) cita que a acuracidade desse método, medida em laboratório, é de aproximadamente 0,3%.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 2, são apresentados os resultados dos testes, em percentuais de volumes de vazios [VV] dos cordões, e as respectivas variáveis independentes associadas.

A técnica estatística de análise dos resultados adotada foi a análise de variância, aplicada com o auxílio de programa computacional *Statistica*. O planejamento fatorial três a três (teste de 1 a 27 da Tabela 2) foi realizado sem repetibilidade dos testes, logo não há como calcular o erro experimental (variabilidade do experimento). Para contornar esse problema, foi realizada uma análise de regressão com termos lineares e quadráticos, para se ter uma idéia das variáveis mais influente na resposta. Por essa análise, verificou-se que as variáveis que apresentaram influência na resposta foram o modo de transferência metálica e a configuração da junta de topo. O método de limpeza superficial da chapa não afetou o volume de vazios dos cordões, de acordo com essa metodologia.. Com isso, foi possível realizar a análise de variância tirando da matriz o termo limpeza da superfície da chapa, obtendo o grau de liberdade (repetibilidade) necessário para a análise de variância. Por essa técnica, estatisticamente pode-se afirmar, com 95% de confiabilidade, que a quantidade de volumes de vazios dos cordões de solda foi afetada pelas variáveis modo de transferência metálica e configuração da junta de topo. A Figura 1 mostra os gráficos dos resultados em termos de valores médios de volume de vazios.

No Gráfico 1 da Figura 1, vê-se que soldagens realizadas no modo de transferência metálica do tipo curto circuito apresentaram cordões com maiores valores médios de volume de vazios, 5,70%. Entre os três modos convencionais de transferência metálica, o modo globular foi que apresentou melhores resultados, fornecendo valores médios de volume de vazios em 2,01%. O modo goticular também forneceu valores de volume de vazios considerados bons, de 2,98%, comparado com os valores obtidos no trabalho de Saperstein (1964).

Tabela 2. Planejamento fatorial e resultados do volume de vazios

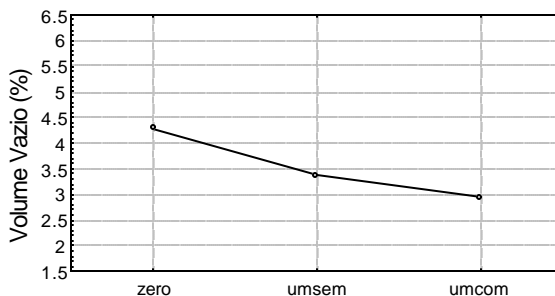
Item	Modo Transf.	Config. da junta	Tipo de Limpeza	VV [%]
01	cc	zero	A&S	5,96
02	cc	zero	Ac&Es	7,68
03	cc	zero	LQ	5,16
04	cc	umsem	A&S	4,77
05	cc	umsem	Ac&Es	6,71
06	cc	umsem	LQ	4,90
07	cc	Umcom	A&S	6,27
08	cc	Umcom	Ac&Es	4,87
09	cc	Umcom	LQ	4,98
10	got	zero	A&S	3,92
11	got	zero	Ac&Es	3,63
12	got	zero	LQ	3,69
13	got	umsem	A&S	3,61
14	got	umsem	Ac&Es	2,94
15	got	umsem	LQ	1,75
16	got	umcom	A&S	1,55
17	got	umcom	Ac&Es	3,02
18	got	umcom	LQ	1,86

Item	Modo Transf.	Config. da junta	Tipo de Limpeza	VV [%]
19	glob	zero	A&S	2,48
20	glob	zero	Ac&Es	2,67
21	glob	zero	LQ	3,40
22	glob	umsem	A&S	2,14
23	Glob	umsem	Ac&Es	2,50
24	Glob	umsem	LQ	0,98
25	Glob	umcom	A&S	1,55
26	Glob	umcom	Ac&Es	0,96
27	Glob	umcom	LQ	1,37
28	UGPP	zero	A&S	0,67
29	UGPP	zero	Ac&Es	0,09
30	UGPP	zero	LQ	0,00
31	UGPP	umsem	A&S	1,39
32	UGPP	umsem	Ac&Es	0,42
33	UGPP	umsem	LQ	0,12
34	UGPP	Umcom	A&S	0,59
35	UGPP	Umcom	Ac&Es	0,28
36	UGPP	Umcom	LQ	0,33

Gráfico 1

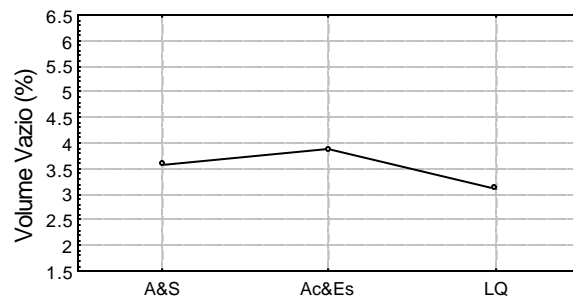


Gráfico 2



Configurações de Juntas de Topo

Gráfico 3



Métodos de Limpeza

Figura 1. Gráficos de valores médios percentuais de volumes de vazios *versus* variáveis independentes

Analisando o modo controlado de UGPP, pelos valores da Tabela 2, vê-se que este foi o de melhor desempenho entre todos os modos de transferência metálica, com valores médios de volume de vazios em 0,43% (obtido da Tabela 2), independente do tipo de limpeza ou tipo de configuração de junta. Isto provavelmente esteja relacionado à maior estabilidade desse modo de transferência.

Pelos resultados obtidos, a instabilidade da transferência metálica no modo curto-circuito foi, entre todas as variáveis avaliadas, a de maior contribuição na formação de vazios. Figueiredo (2000) mostra que esse modo de transferência é altamente instável, gerando uma grande quantidade de respingos, devido, principalmente, aos curto-circuitos repulsivos que ocorrem no momento da transferência metálica. Esta alta instabilidade na transferência, também observada nesse trabalho, resulta em grande quantidade de gases apreendidos pela poça de fusão.

Analisando o Gráfico 2 da Figura 1, considerando apenas os valores médios, observa-se menor valor de volume de vazios nos cordões na configurações de junta do tipo *umcom*, ou seja, junta de topo com abertura e aplicação de gás de purga sob a raiz. A adoção de abertura de 1,0 mm na raiz da junta, tipo *umsem*, gera cordões com volume vazio de 3,37%. Portanto, associando-se à abertura de 1,0 mm da junta a aplicação de gás de purga na abertura da raiz, diminui-se o volume de vazios dos cordões de 3,37% para 2,94%. A realização de cordões em junta sem abertura, ou *zero*, promove cordões com valores médios em 4,29 % de volume de vazios, sendo a pior condição. Com esses resultados, pode-se citar que, em junta de topo sem abertura, o vapor d'água presente no ar remanescente na abertura de raiz é introduzido na poça de fusão, não sendo removido pelo gás de proteção, contribuindo para a formação de vazios. A abertura de 1,0 mm na junta permite ação mais eficiente do gás de proteção. Fica evidente, também, que a aplicação do gás de purga sob a junta melhora a ação dos gases de proteção, por expulsar o ar atmosférico presente na abertura da junta, diminuindo ainda mais, o volume de vazios presentes nos cordões.

Analisando os métodos de limpeza, com resultados mostrados no Gráfico 3 da Figura 1, pela análise estatística, não é possível afirmar haver diferença no volume de vazios dos cordões devido à mudança na forma de limpeza aplicada à superfície da chapa soldada. É citado na literatura corrente que as espessuras das camadas de óxidos presentes nas chapas, independente da forma de limpeza, são extremamente finas. Além disso, na soldagem MIG de alumínio em corrente contínua positiva (CC⁺) ocorre contínua *limpeza catódica*, que remove os óxidos da superfície da chapa, tornando desprezíveis as fontes de hidrogênio provenientes da chapa.

6. CONCLUSÃO

No estudo realizado, verificou-se que, entre as variáveis de soldagem estudadas, o modo de transferência e a configuração da junta apresentaram influência significativa no volume de vazios, ou porosidade, dos cordões de soldagem MIG em chapas de alumínio. O método de limpeza superficial da chapa de alumínio empregado não influenciou de forma significativa no volume de vazio dos cordões. Entre os modos de transferência convencionais, o modo globular com abertura de 1,0 mm protegida com gás de purga, foi o que apresentou melhores resultados em termos de volume de vazios. Considerando todos os modos de transferência, o modo pulsado (UGPP) foi o que apresentou melhores resultados, independente do tipo de limpeza ou configuração da junta.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FEMEC/UFU pelas instalações que possibilitaram a realização da pesquisa, bem como aos órgãos de fomento CNPq e FINEP, pela concessão de recursos necessários à execução do trabalho.

REFERÊNCIAS

- Alcan, 1993, Manual de Soldagem. 1ª edição.
- Figueiredo, K.M. 2000. Mapeamento dos modos de transferência metálica na soldagem MIG de alumínio. Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Dissertação de Mestrado, fevereiro de 2000.
- Hettes, F. J. & Ketron, D.L., 1998, Evaluation of surface preparation methods on porosity formation in aluminum GMAW. Trends in Welding Research. June. Callaway Gardens Resort. Pine Mountain, Georgia.
- Kammer, P. A.; Randall, M. D.; Monroe, R. E. and Groth, W.G., 1963, The relation of filler wire hydrogen to aluminum-weld porosity. The Welding Journal Research Supplement. October.
- Kuriyama, Y.; Minoda, K.; Nagaoka, H.; Ishikawa, K., 1975, Prevention of porosity in aluminum alloy weldments: effect of atmospheric humidity and groove shape on porosity in aluminum alloy weldments. Ihi-Eng.-Rev. Sept. Vol.8, No.3; pp. 1-12.
- Mac Arthur, I, Quality control in aluminum welding: Weld Defects, Their Cause And Correction. Welding Journal. July 1975 Vol.54, No.7; Pp. 514-16.
- Ovchinnikov, V. V., Ryazanstev, V. I. & Grinin, V. V., 1990, Reasons for the formation of pores in arc welding deformable aluminum alloys. Welding International. 4 (12) 990-992.
- Saperstein, Z. P. & Prescott, G. R. & Monroe, E. W., 1964, Porosity in aluminum welds. The Welding Journal Research Supplement. October.
- Vilarinho, L.O., 2000, Desenvolvimento e avaliação de um algoritmo alternativo para soldagem sinérgica de alumínio, Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Dissertação de Mestrado, fevereiro de 2000.
- Woods R.A., 1974, Porosity and hydrogen absorption in aluminum welds. The Welding Research. March. pp. 97s-108.

Abstract. *When welding series 5000 aluminum alloys, which are recognized for good weldability, the formation of porosity in the weld bead is common to occur. Studies show that in these conditions the porosity is caused by the hydrogen. In aluminum welding, the hydrocarbons, water and hydrated oxides turn to be the largest hydrogen sources after have being “broken” when entering in the electric arc and liberating hydrogen. The objective of this work is to evaluate the influence of the conditions of the plate surface, prepared using different cleaning methods, of the metal transfer modes and different groove preparation types of butt joints on the porosity level of the MIG aluminum weld bead. The gravimetrics technique was used for quantitative assessment of porosity. The relationship between the level of bead porosity and various modes of the metal transfer, cleaning methods and joint configuration types has been determined and classified in accordance with their importance. The results of the tests have shown no influence of the surface cleaning method and strong influence of the metal transfer mode and the joint configuration type. The best results have been obtained with globular metal transfer in combination with the groove gap of 1.0 mm and using back purge gas protection.*

Keywords: *welding, aluminum, porosity, welding parameters, gravimetrica.*