



DESENVOLVIMENTO DE LIGA PARA BRASAGEM DE CERÂMICAS ÓXIDAS TESTES PRELIMINARES

Evandro Claudio Morin

Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Fabricação e Projetos de Máquinas
MorinEvandroC@JohnDeere.com

Aleir Antonio Fontana De Paris

Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Fabricação e Projetos de Máquinas
aparis@ct.ufsm.br

***Resumo.** Duas das principais dificuldades de brasagem direta de cerâmicas do tipo óxido entre si e com metais é a diferença entre o seu coeficiente de dilatação e a do metal de aporte, e também o molhamento superficial. Uma liga à base de Ag, Cu, e Ti foi desenvolvida no Lasomet (Laboratório de Soldagem e Materiais). Os metais na forma pura foram pesados na proporção correta e fundidos, sendo posteriormente laminados em finas tiras de 0,15 mm de espessura. Testes de molhabilidade e união de cerâmicas, do tipo mulita sob a forma de tubos, foram executados em um forno a vácuo com pressão final de 15 torr (~ 0.02 atm). As peças foram brasadas a uma temperatura de 1150°C durante um ciclo térmico variável. Os primeiros resultados mostraram excelente molhabilidade com o rompimento dos corpos de prova ocorrendo na cerâmica fora da zona brasada.*

***Palavras-chave:** Ligas de prata, Brasagem, Cerâmicas óxidas, Tubos.*

1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos anos as cerâmicas e os materiais revestidos de cerâmica encontraram numerosas possibilidades de aplicação. Estes materiais são cada vez mais utilizados sobretudo pela sua resistência às temperaturas elevadas e à corrosão. Sua utilização industrial em grande escala é limitada, entre outros, pela dificuldade de realizar estruturas complexas e de grandes dimensões.

Com o desenvolvimento das cerâmicas ditas de alta tecnologia, tornou-se necessário um processo para permitir a união de peças deste material entre si e com metais. A grande propulsora desta aplicação foi a indústria eletrônica na fabricação de tubos a vácuo. O processo de união iniciado a partir da segunda guerra mundial e empregado até hoje é a brasagem, Mattox & Smith (1985).

Este processo consiste em metalizar a superfície das cerâmicas com uma mistura de pós de Mn e Mo, que aderem sobre as mesmas, permitindo a “molhabilidade” posterior de ligas de brasagem convencional tipo Ag-Cu, a baixa temperatura, Chance (1970).

Após a sinterização, um depósito de níquel é efetuado para diminuir o coeficiente de dilatação térmica que é bastante diferenciado entre os metais e cerâmica. A Figura 1, esquematiza a união de cerâmicas empregando o processo Mo-Mn.

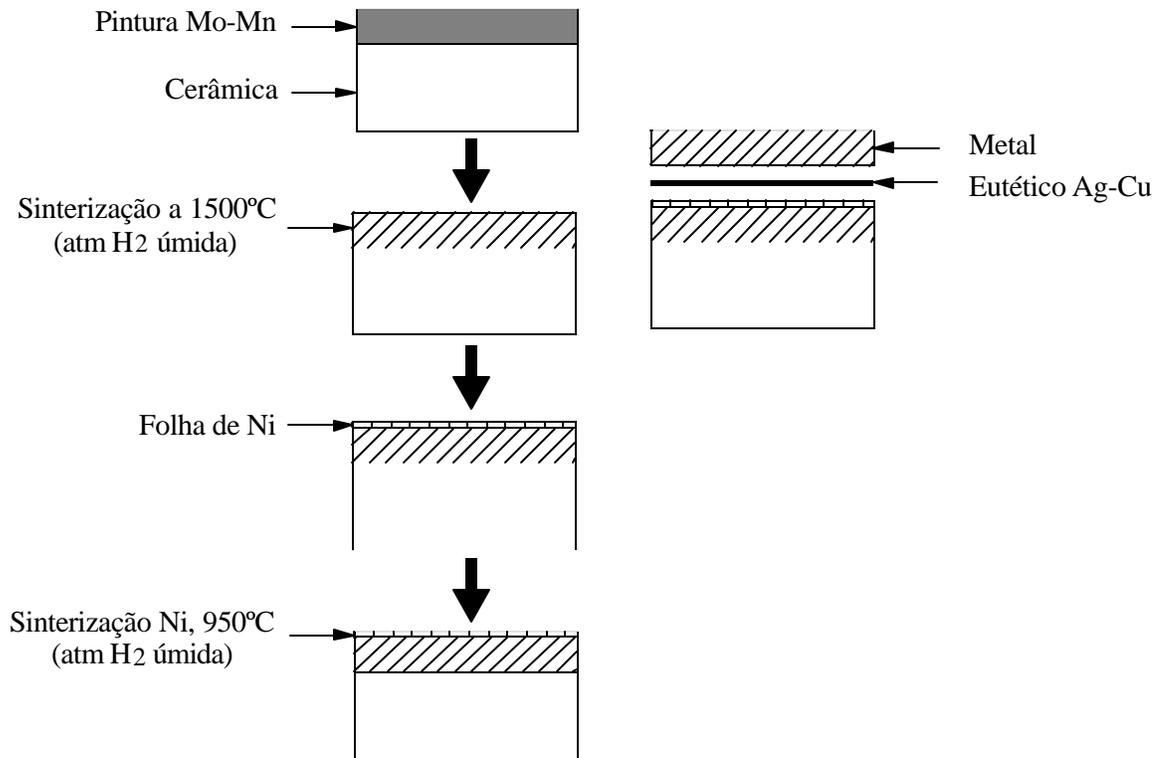


Figura 1 – União cerâmica-metal pelo processo Mo-Mn.

Como se trata de um processo demorado, já que é feito em duas etapas, desenvolveram-se ligas para permitir a brasagem direta, sem depósitos, ditos metais ativos ou reativos. O processo consiste em intercalar o metal de aporte diretamente entre as cerâmicas, Fig. 2, e efetuar a união em forno a vácuo.

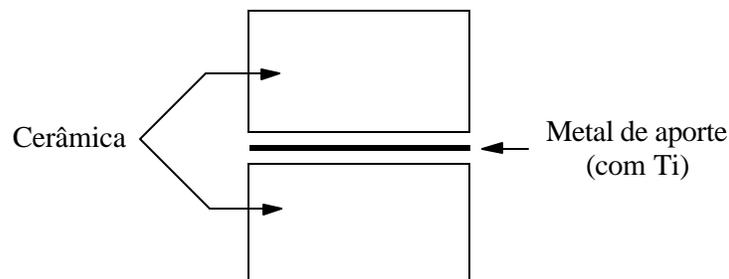


Figura 2 – Método de união de cerâmicas utilizando um metal de aporte reativo.

Inicialmente foi empregada uma mistura, sob a forma de pó, de TiH_4 e Ag que apresentou falta de consistência das propriedades da junta devido à reação do titânio. Em um vácuo deficiente, a afinidade do Ti com o N_2 ou O_2 faz com que parte do mesmo seja convertido em um constituinte frágil, deixando pouco elemento metálico para a brasagem ativa. Sob um

vácuo adequado, o excesso de titânio resultaria em juntas frágeis, levando em ambos os casos à baixas propriedades mecânicas da ligação, Mizuhara & Mally (1985).

Estudos levaram ao desenvolvimento de ligas metálicas que evitassem estes inconvenientes. Várias combinações e formulações foram e estão sendo estudadas com ligas a base de Ag, Cu e Ti, Moorhead & Keating (1986) e Nicholas (1986).

Atualmente existe um fabricante que fornece ligas para brasagem reativa com propriedades mecânicas aparentemente confiáveis. No entanto, os custos para aquisição do metal de adição são proibitivos o que impossibilita o uso corrente deste procedimento.

Baseado nestes quesitos, o objetivo deste trabalho é desenvolver uma liga metálica que possa oferecer qualidade aliada com baixo custo de fabricação na brasagem de cerâmicas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento da liga de brasagem foram utilizados prata, cobre e titânio de pureza acima de 99,9%. Estes elementos de liga são os que apresentam maior afinidade com as cerâmicas do tipo óxido.

A liga foi pesada na proporção de 75% Ag, 25% Cu e 5% Ti, fundida em cadinho de porcelana com maçarico em atmosfera redutora para impedir a oxidação do titânio. Após fusão, o lingote foi laminado em tiras com espessura de 0,15 mm.

Para testar a qualidade da liga projetada, foram unidos tubos sílico-aluminosos do tipo mulita com diâmetro externo $\varnothing_e = 8$ mm, diâmetro interno $\varnothing_i = 5$ mm e comprimento 15 mm. A escolha deste tipo de cerâmica deve-se à sua grande utilização devido ao baixo custo de obtenção, além de já ter sido utilizado com ligas de brasagem comercial, De Paris (1994, 1995).

A Figura 3, mostra a microestrutura da cerâmica empregada, cristais de alumina α - Al_2O_3 e cristais de mulita estequiométrica $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ em uma matriz de sílica amorfa. O ataque químico para revelar a microestrutura foi feito com ácido fluorídrico, 10% em H_2O .

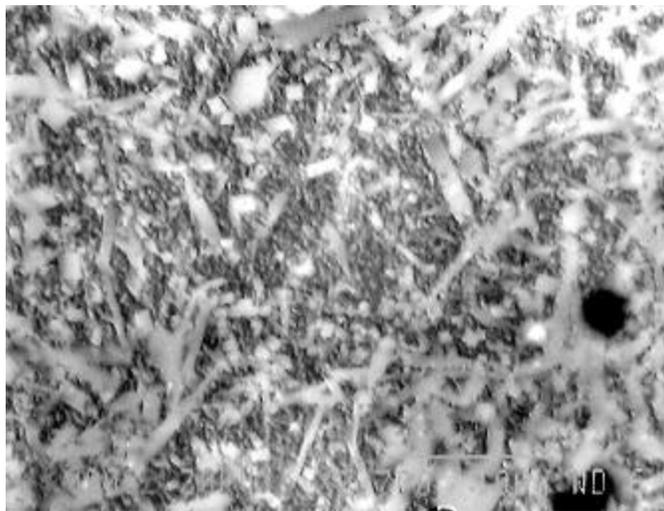


Figura 3 – Microestrutura dos tubos cerâmicos de mulita. Microscopia eletrônica de varredura.

Com a finalidade de manter as cerâmicas em contato com o metal de aporte e permitir um bom alinhamento, foi fabricado um suporte em aço inoxidável, conforme mostrado na Fig. 4, possibilitando a realização de 6 amostras brasadas de cada vez.

Para efetuar os teste de brasagem, as bordas dos tubos foram lixadas em papel abrasivo 600 para permitir bom alinhamento e contato das superfícies.

Antes de serem brasados, os tubos foram recozidos a uma temperatura de 400 °C durante ½ hora, para aliviar as tensões induzidas pelo corte.

A brasagem foi efetuada em um forno marca Bravac, com vácuo de 0,02 atm.

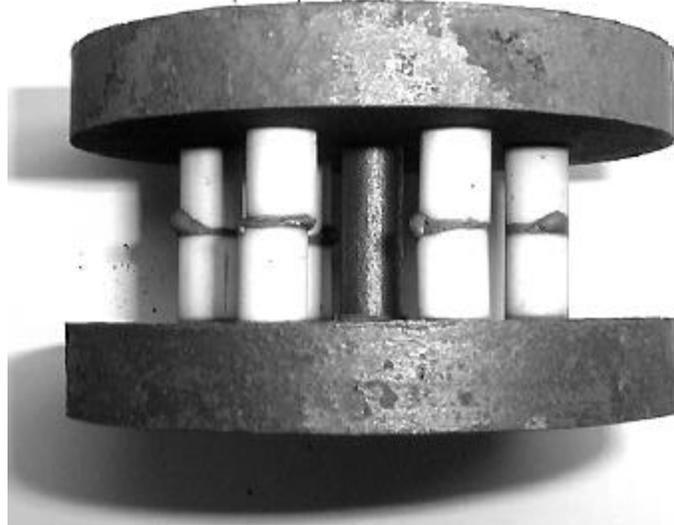


Figura 4 – Suporte em aço inoxidável para brasagem dos tubos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os metais de adição comerciais do tipo AgCu + Ti são os que melhores se adaptam às cerâmicas do tipo óxido, como as sílico-aluminosas. Com efeito, a atividade do titânio colocado em solução em uma matriz de AgCu é capaz de reagir com o oxigênio da cerâmica e de provocar boa “molhabilidade” da mesma, Chaumat et al (1992).

A “molhabilidade” de uma cerâmica é traduzida pelo grau de afinidade físico-química existente entre metal/cerâmica ou cerâmica/cerâmica. Ela é medida a partir do ângulo formado por uma gota depositada sobre um substrato segundo a fórmula:

$$\gamma_{SV} - \gamma_{SL} = \gamma_{LV} \cdot \cos \theta \quad (1)$$

O formato da gota é determinado pela força de gravidade e forças de interação das energias interfaciais sólido-líquido (γ_{SL}), sólido-vapor (γ_{SV}) e líquido-vapor (γ_{LV}), Fig. 5.

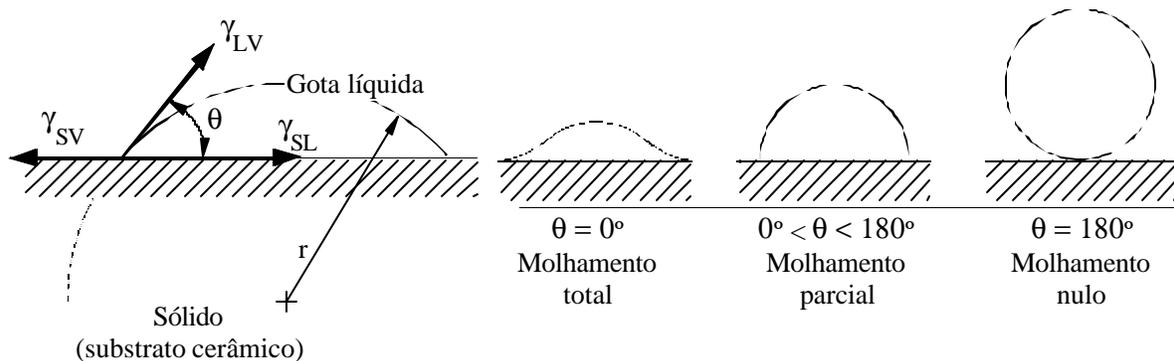


Figura 5 – Forças de energia superficial.

O grau de “molhamento” é determinado pelo ângulo θ formado entre o substrato e a tangente à superfície líquida no ponto de contato, variando entre 0° (molhamento total) e 180° (molhamento nulo).

Inicialmente, procurou-se determinar a temperatura de fusão da liga fundindo o metal sobre um substrato de alumina de alta pureza $> 99,5\%$. Os resultados mostraram que a temperatura em que ocorreu o melhor grau de “molhamento” foi de 1150°C , durante um patamar de 30 minutos. Esta temperatura, bastante elevada para a fusão, deve-se provavelmente à formação de óxidos durante a fusão dos elementos básicos de liga.

A brasagem seguiu um determinado ciclo em função das características do forno utilizado. Os corpos de prova foram colocados sob vácuo antes do início do aquecimento do forno. O ciclo de brasagem está esquematizado na Fig. 6.

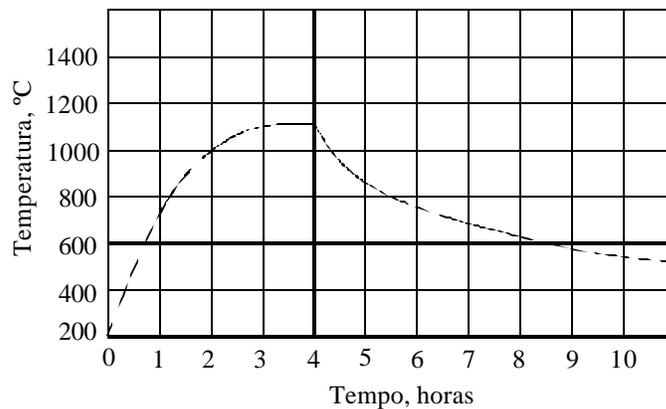


Figura 6 - Ciclo de brasagem com a liga Ag-Cu-Ti.

A Figura 7, mostra um conjunto brasado com a liga desenvolvida no Lasomet. Apesar de todos os cuidados previstos antes no início, os tubos apresentaram desalinhamento devido à flutuação sobre o metal de aporte fundido.

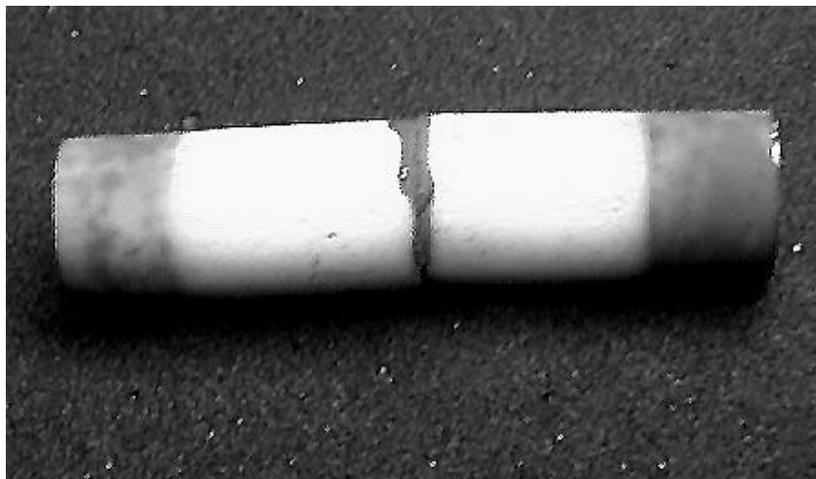


Figura 7 – Amostra de tubos brasados com a liga Ag-Cu-Ti.

Na Figura 8, está mostrado um conjunto soldado com uma trinca visível ao lado da união brasada. Este tipo de defeito foi encontrado em algumas amostras no momento da separação das peças do suporte.

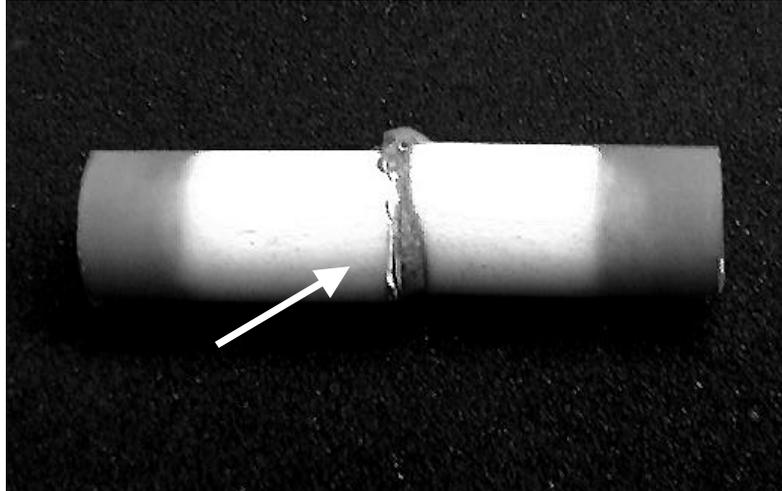


Figura 8 – Presença de trincas ao lado da junta encontradas em certas amostras.

A resistência do conjunto soldado foi testada utilizando-se o método de flexão 4 pontos. O suporte para o ensaio dos corpos de prova foi projetado de modo que os apoios superiores ficaram afastados entre si de 12 mm e os inferiores de 24 mm, Fig. 9.

A resistência média à flexão dos tubos sem brasagem foi de 125 MPa e após brasagem, a média das resistências ficou em 80 MPa, com a ruptura localizando-se (85% para 12 amostras ensaiadas) no lado cerâmico. Este valor inferior aos encontrados para os tubos em “natura” se deve provavelmente as tensões induzidas pela diferença de dilatação térmica entre os dois materiais. Além destas tensões, é comum ocorrerem microtrincas ao lado da união, induzidas no momento do corte das cerâmicas.

A Figura 10, mostra a microestrutura e macroestrutura da junta brasada. A parte mais clara é o constituinte a base de prata e a escura o constituinte a base de cobre.

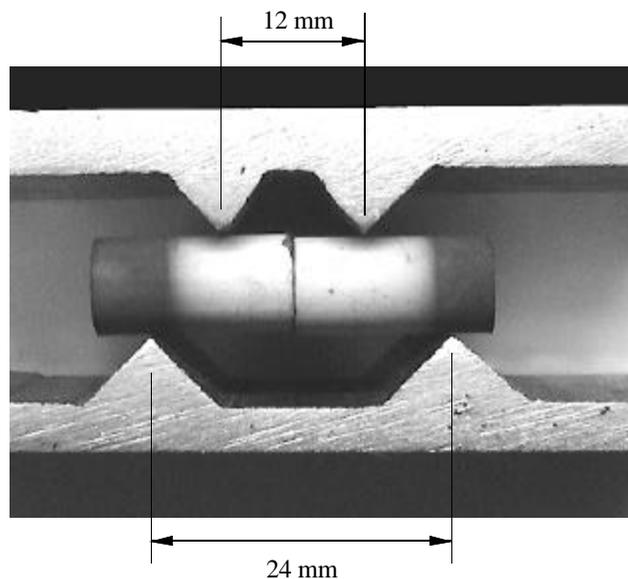
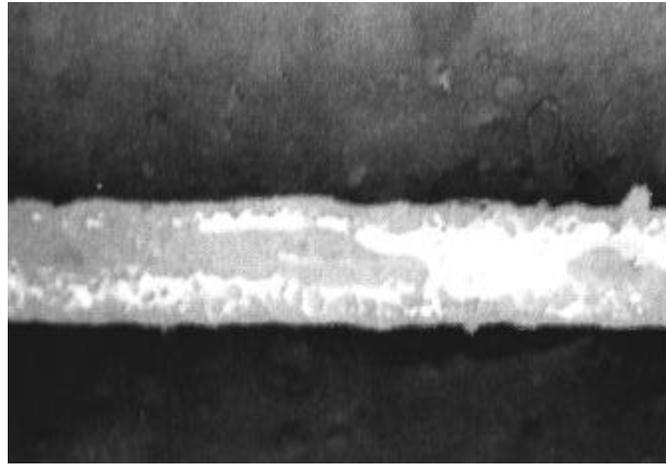
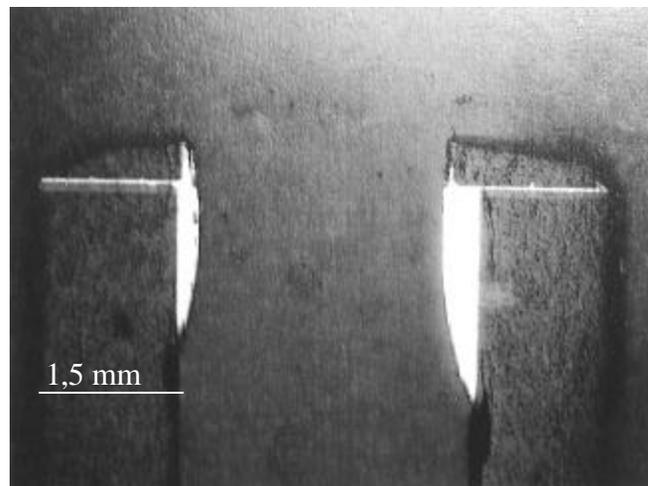


Figura 9 – Montagem para ensaio de flexão 4 pontos.



(a) Micrografia da junta brasada, 500x.



(b) Macrografia da união

Figura 10 – Microestrutura (a) e Macroestrutura das amostras brasadas.

4. CONCLUSÕES

Os primeiros testes utilizando a liga desenvolvida, mostraram resultados promissores apesar da resistência do conjunto brasado ficar abaixo daquela dos tubos de base. A “molhabilidade” que é um dos fatores mais importantes na união de cerâmicas apresentou propriedades excelentes com a maioria das amostras rompendo no lado cerâmico. Na continuidade do trabalho, análises de caracterização da liga tais como dilatométrica, difração de raios X, entre outros, serão realizados.

Agradecimentos

Os autores gostariam de expressar seu agradecimento a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul pelo apoio concedido a este projeto, processo nº 98/0507.9 e também ao CNPq processo nº 520054/94.6.

REFERÊNCIAS

- Chance, D.A., 1970, Refractory metallization of green ceramics. Metall. Trans., vol. 1, n. 3, pp. 685-694
- Chaumat, G., Bourgeois, G. and Coing-Boyat, G., 1992, Etude mécanique et microstructure de liaisons céramiques par chauffage localisé, Compte-Rendu DEM/LGM n° 09/92 – Centre d'Etudes Nucleaires de Grenoble.
- De Paris, A.A.F., 1994, Brasagem direta de cerâmicas sílico-aluminosas, Relame (Revista Latino-Americana de Ingenieria), vol. 3, n. 1, pp. 137-147.
- De Paris, A.A.F., 1995, Estudo comparativo entre uma união de tubos sílico-aluminosos realizada por soldagem laser e brasagem, Tecnologia, vol. 16, n. 1-2, pp. 110-119.
- Mattox, D.M. & Smith, H.D., 1985, Role of manganese in the metallization of high alumina ceramics, Ceram. Bull., vol. 64, n. 10, pp. 1363-1367.
- Mizuhara, H. & Mally, K., 1985, Ceramic-to-metal joining with active brazing filler metal, Weld. J., vol. 64, n. 10, pp. 27-32.
- Moorhead, A.J. & Keating, H., 1986, Direct brazing of ceramics for advanced heavy-duty diesels, Weld. J., vol. 65, n. 10, pp. 17-31.
- Moorhead, A.J., 1987, Direct brazing of alumina ceramics, Ceram. Mat., vol. 2, n. 2, pp. 159-166.
- Nicholas, M.G., 1986, Active metal brazing, Br. Ceram. Trans. J., vol. 85, pp.144-146.

Abstract. *Two of the main difficulties of direct brazing of ceramic of the type oxide to each other and with metals are the difference between its dilation coefficient and that of the filler metal, and also the superficial wetting. An alloy of Ag, Cu, and Ti was developed in the Lasomet (Laboratory of Welding and Materials). The metals, in the pure form were weighted in the correct proportion and melted, being later laminate in fine sheets of 0,15 mm thickness. Wetting tests, and union of ceramic, of the type mulita under the form of tubes was executed in a vacuum-melting furnace with final pressure of 15 torr (~ 0.02 atm). The pieces went brazed at the temperature of 1150°C during variable thermal cycle. The first results showed excellent wetting of the ceramics by the metal with the breaking of the test samples occurring in the ceramic, out of the brazing zone.*

Keywords: *Silver alloys, Brazing, Oxides ceramics, Tubes.*