

AVALIAÇÃO DE FORMULAÇÕES PARA SUPORTE DE SOLDA A BASE DE MATERIAIS CERÂMICOS¹

*Luiz Cláudio Soares Tatagiba²
Luciana Lezira Pereira de Almeida²*

Joaquim Pessanha Rocha²

Luiz Ricardo Bastos³

Paula Cristina Ribeiro³

Ronaldo Pinheiro da Rocha Paranhos⁴

Resumo

Este trabalho apresenta uma metodologia para a produção em laboratório de suporte cerâmico para a execução de soldas unilaterais em aço. Foram avaliadas a cordierita, a bauxita e a magnesita como minerais refratários e a bentonita e silicato de sódio neutro como aditivos à massa cerâmica. O processo de fabricação envolveu a formulação, mistura da matéria prima, compactação, secagem e sinterização dos corpos de prova. Os suportes cerâmicos foram avaliados pela soldagem com o processo MIG-Mag e arame tubular. Foi realizada inspeção visual, líquido penetrante, macrografia, microdureza vickers e microscopia ótica do metal de solda. Os resultados mostram que a cordierita apresentou excelentes resultados para a integridade do suporte cerâmico durante sua fabricação e durante a operação de soldagem, tendo sido produzidos cordões de solda isentos de descontinuidades, com bom acabamento do cordão e com microdureza e microestrutura adequada. A temperatura de sinterização do suporte deve ser mantida na ordem de 1100 °C.

Palavras-chave: Suporte cerâmico; Soldagem unilateral.

EVALUATION OF FORMULATIONS FOR WELD BACKING BASED ON CERAMIC MATERIALS

Abstract

This work presents a methodology for the laboratory production of ceramic backing for the manufacturing of one-sided welds in steel. There were evaluated cordierite, bauxite and magnesite as refractory materials and sodium silicate and bentonite as additives to the ceramic mass. The fabrication process involved the formulation, mixture of the raw materials, compactation, drying and sintering of the specimens. The ceramic backings were evaluated by welding with the mig-mag and tubular wire processes. These were subjected to visual inspection, dry penetrant, macrography, Vickers micro hardness and optical microscopy of the weld metal. The results show that cordierite have had excellent results concerning the integrity of the ceramic backing during its manufacturing and after the welding operation. Weld beads free were produced free from discontinuities, with good weld bead appearance and adequate micro hardness and microstructure. The sintering temperature of the backing must be kept around 1100 °C.

Key words: Ceramic backing; One-side welding.

¹ *Contribuição técnica ao 63º Congresso Anual da ABM, 28 de julho a 1º de agosto de 2008, Santos, SP, Brasil*

² *Mestrando em Engenharia e Ciências dos Materiais, PPGE/CM/CCT/UENF*

³ *Aluno de Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, LAMAV/CCT/UENF.*

⁴ *Professor Doutor, LAMAV/CCT/UENF, paranhos@uenf.br*

1 INTRODUÇÃO

A soldagem unilateral é uma técnica onde os cordões de solda são aplicados somente por um lado da peça. É utilizada em aplicações que envolvem difícil acesso, em situações que a peça não pode ser virada. Em ambos os casos, obtém-se penetração total no primeiro passe de solda,^(1,2) evitando-se a aplicação de passe de raiz e a subsequente operação de goivagem para a soldagem no outro lado da peça.

Uma das técnicas de soldagem unilateral utiliza o suporte cerâmico. Este tipo de suporte tem a capacidade de suportar a elevada temperatura da poça de solda quando no estado líquido, evita a formação de gases durante a soldagem e proporciona um acabamento adequado do cordão de solda, isento de defeitos.⁽³⁾ O suporte cerâmico é utilizado em vários segmentos da indústria de base (fabricantes de equipamentos) como: caldeiras, vasos de pressão, equipamentos siderúrgicos e navios.⁽⁴⁾

O uso do suporte cerâmico em operações de soldagem apresenta um forte impacto tecnológico, pois reduz o número de passes de solda, reduz o volume do metal depositado, elevando a produtividade e reduzindo os custos da operação de soldagem.⁽⁵⁾

Atualmente, o suporte cerâmico não é fabricado no Brasil, sendo este um possível motivo para o pouco uso desta técnica no Brasil.

Os objetivos deste trabalho dizem respeito à fabricação do suporte cerâmico, determinando as matérias primas e possíveis formulações, identificando uma seqüência de produção em escala de laboratório. Ainda, são avaliadas algumas das variáveis de fabricação do suporte, como a temperatura de sinterização e pressão de compactação. Também foi avaliada a eficiência dos suportes produzidos durante a aplicação por soldagem.

2 MATERIAL E MÉTODOS

No presente trabalho foram utilizadas duas classes de matéria prima previamente identificadas, que constituem a composição química do suporte cerâmico. São os minerais refratários e os aditivos.

Os minerais refratários possuem a capacidade de suportar temperaturas elevadas, típicas da operação dos processos de soldagem convencionais. Constitui a maior proporção da formulação do suporte cerâmico. Foram escolhidas a Cordierita, a bauxita e a Magnesita.

A Cordierita foi adquirida da Inducel Ltda, com composição química (%peso) de 43- 45% Al_2O_3 , 42-45% SiO_2 , 0,8-1,5% TiO_2 , 1,2-1,7% Fe_2O_3 , 5,6-6,2% MgO e teor de alcalis de 1,9-2,5%.

A Bauxita foi adquirida da Mineração Curimbaba Ltda, com composição química (%peso) de 83,4% Al_2O_3 , 7,14% SiO_2 , 1% TiO_2 , 7,07 Fe_2O_3 e 0,02% P. A densidade batida é de 2,38 g/cm³ e o teor de umidade é de 0,20%.

A Magnesita foi adquirida da Magnesita S.A., com composição química (%peso) de 96% MgO , 0,60% CaO , 2,60% Fe_2O_3 , 0,60% Al_2O_3 e 1,60% SiO_2 . A densidade é de 2,9 a 3,1 g/cm³.

Os aditivos são utilizados em pequenas porções na formulação e contribuem na aglomeração e na plasticidade da massa cerâmica. Neste trabalho foram escolhidos a bentonita sódica e o silicato neutro.

A Bentonita sódica é um tipo de argila muito fina, normalmente adicionada em pequenas quantidades no revestimento de eletrodos revestidos e nos fluxos para soldagem a arco submerso, com o objetivo de conferir plasticidade e resistência à massa. Também é utilizada para endurecer moldes de areia em fundição. A composição química da bentonita é de 54% SiO₂, 33% Al₂O₃, 4% Na₂O e 10% H₂O. A granulometria é: retido #40 mesh: 0%, retido #200 mesh: 10% máximo.

O silicato de sódio neutro também atua como aglomerante, facilitando a sinterização e endurecimento de fluxos e eletrodos de soldagem, É um líquido viscoso, inodoro e incolor. A composição química é de 30% SiO₂, 9,0% Na₂O e 61% H₂O, com densidade de 1,4 g/ml e viscosidade de 800 Cps.

Água foi utilizada como uma variável do processo, pois é fundamental para se obter uma determinada umidade da massa cerâmica apta a ser compactada.

Chapa de aço A-36 com dimensões de 100 X 100 x 6,4 mm foram usadas para os testes de soldagem.

3 RESULTADOS

Os suportes cerâmicos foram confeccionados com proporções de Cordierita (90 – 95%), Bauxita (90-95%), Magnesita (90-95%), Bentonita (3-8%), Silicato de sódio (2- 10%) e água (5-8%), como mostra a tabela 1.

Com as formulações indicadas na Tabela 1, a preparação dos suportes cerâmicos foi realizada envolvendo pesagem, mistura, compactação, secagem e sinterização. A compactação foi feita em prensa manual com capacidade de 20 ton. A secagem foi feita em estufa a 120°C. A temperatura de sinterização variou entre 900°C e 1.100°C, como mostrado na Tabela 1.

Tabela 1. Composições e temperaturas dos Corpos de Prova cerâmicos

Corpo de Prova	Mineral refratário	Mineral refratário (%)	Bentonita (%)	Silicato de Sódio (%)	Água (%)	Temperatura de sinterização (°)
1	Cordierita	90	-	10	5	1100
2	Cordierita	92	-	8	5	1100
3	Cordierita	92	3	5	5	1100
4	Cordierita	95	3	2	5	900
5	Magnesita	92	-	8	5	900
6	Magnesita	92	5	3	5	1100
7	Magnesita	95	-	5	5	900
8	Magnesita	95	-	5	5	1100
9	Magnesita	95	5	-	8	1100
10	Bauxita	92	8	-	8	1100
11	Bauxita	95	-	5	5	1100
12	Bauxita	95	3	2	5	1100
13	Bauxita	92	5	3	5	900

O peso verde (após compactação), o peso seco (após secagem em estufa) e o peso sinterizado (após sinterização) de cada suporte cerâmico foram determinados em uma balança de precisão de duas casas decimais. Com estes valores, foi determinada a perda de massa após secagem em estufa (PM1) e a perda de massa após sinterização (PM2), mediante a seguinte fórmula:

$$\text{Perda de massa: } \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100 \quad (\text{equação 1})$$

A Figura 1a apresenta a seção transversal do suporte cerâmico produzido. Possui uma pequena concavidade na região central que tem a função de adequar o formato do cordão de solda líquida na parte inferior da chapa. Esta concavidade foi prevista para ser formada no molde, no momento da compactação, tendo uma dimensão de 5,0 mm de largura por 1,6 mm de profundidade. A Figura 1b mostra, em 3 dimensões, o formato do suporte cerâmico produzido tinha o comprimento de 115 mm e 25 mm de largura. A Figura 1 (c) apresenta a posição do suporte cerâmico na parte inferior da chapa de aço para ser soldada.

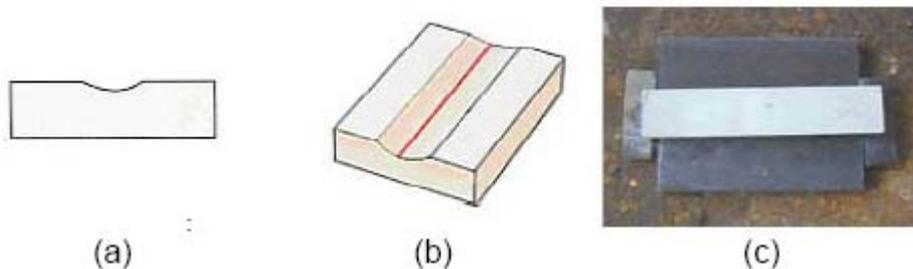


Figura 1. Suporte cerâmico: (a) modelo do chanfro na seção transversal (b) Chanfro mostrado por cima e (c) Localização do suporte cerâmico na parte inferior da chapa de teste

As chapas de aço A-36 foram preparadas com chanfro em V, ângulo de 45° e abertura de raiz de 2 mm de distância. Apêndices foram colocados nas extremidades, como mostra a Figura 1c, com o objetivo de iniciar e terminar a solda fora da chapa de teste. Ainda, permitir que durante a montagem da chapa, a abertura de raiz permanecesse constante.

Os processos de soldagem que foram utilizados são: MIG-MAG (GMAW), tendo sido usada a máquina SolMig 250, com arame 0,8 mm de diâmetro e classificado como ER70S-6 conforme a norma AWS A.5.18 (6) e Arame Tubular (FCAW) na máquina Puls.Sarc 400, com arame 1,1 mm de diâmetro classificado conforme a norma AWS A.5.20 (7) como E71T-1.

O gás de proteção utilizado é o dióxido de carbono (CO₂), tanto no processo GMAW quanto no FCAW. A corrente utilizada foi de 130 A -140 A para o GMAW e de 195 A -250 A para o FCAW.

Após a soldagem de todos os corpos de prova, foram realizados ensaios não destrutivos (inspeção visual e líquido penetrante) para se avaliar a aparência do cordão de solda bem como a formação de defeitos superficiais. Macrografias da seção transversal da junta soldada foram preparadas e atacadas com NITAL 10%.

Um corpo de prova soldado que obteve bom resultado nos ensaios não destrutivos foi escolhido e submetido à análise por microscopia ótica e microdureza vickers. A microestrutura do metal base e da junta soldada foi avaliada por metalografia ótica, sendo utilizado o ataque químico NITAL 2%, que permitiu observar a distribuição das diversas estruturas formadas no cordão de solda.

O perfil de microdureza Vickers com uma carga de 40 g foi obtido com o auxílio de um dispositivo MHP-100 adaptado ao microscópio ótico NEOPHOT-32. Foram realizadas 18 medições, sendo 6 medidas para o metal base, 6 medidas para a zona termicamente afetada (ZTA) e 6 medidas para a zona fundida. Todas as medidas foram feitas sob uma linha horizontal ao longo da extensão de toda junta soldada, a uma distância de 1,5 mm da parte inferior da chapa.

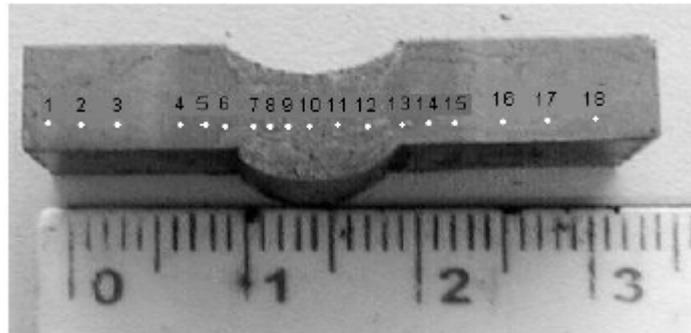


Figura 2. Pontos que foram calculados a microdureza Vickers da junta soldada

4 DISCUSSÃO

Este trabalho permitiu identificar uma seqüência de produção em escala de laboratório para o suporte cerâmico, que consiste em:

a) pesagem das matérias primas: com uso de balança de precisão de duas casas decimais.

b) Mistura seca: realizada manualmente, com o objetivo de homogeneizar as matérias primas.

c) Mistura úmida: adição de água e silicato de sódio (quando usado) à mistura seca, de forma a produzir a massa cerâmica.

d) Peneiramento da mistura úmida: Foi utilizada uma peneira de #40 mesh, sendo uma operação manual com o objetivo de produzir uma massa solta e uniforme, apropriada para a operação de compactação.

e) Compactação do suporte cerâmico: realizada em prensa manual com capacidade de 20 ton. A mistura foi prensada em um molde com dimensões de 115 mm de comprimento e 25 mm de largura, força de 7 ton por 1 min.

f) Secagem do suporte cerâmico: após a compactação, os corpos de prova foram submetidos a um processo de secagem em estufa com temperatura de 120°C por 24 h. Teve por objetivo remover o excesso de umidade presente no suporte cerâmico de forma gradual, evitando a formação de trincas e empenamento das amostras.

g) Sinterização do suporte cerâmico: foi utilizado um forno com controle de temperatura (até 1.100°C). A temperatura e o tempo de sinterização são considerados como variáveis do processo. Os ciclos de aquecimento foram de 3°C/min com permanência de 3 h a 1.100°C. O ciclo de resfriamento foi de 4°C/min até a temperatura ambiente.

A Tabela 2 apresenta o peso verde, peso seco e peso sinterizado de cada suporte cerâmico produzido. A coluna PM1 apresenta o resultado da perda de massa entre a operação de compactação e a secagem em estufa. A coluna PM2 apresenta o resultado da perda de massa entre a secagem em estufa e a sinterização.

Tabela 2. Peso verde, peso seco, peso sinterizado e cálculo da perda de massa.

Corpo de prova	Peso verde (g)	Peso seco (g)	Peso sinterizado (g)	PM1 (%)	PM2 (%)
1	59,55	55,80	54,05	6,3	3,2
2	56,45	54,27	53,60	3,8	1,2
3	60,83	58,30	57,25	4,1	1,8
4	61,10	58,36	58,12	4,5	0,4
5	60,85	58,22	57,38	4,3	1,4
6	60,13	58,83	58,00	2,2	1,4
7	60,10	58,13	57,61	3,3	0,9
8	60,30	58,77	57,96	2,5	1,4
9	61,33	60,45	59,80	1,4	1,0
10	59,28	58,83	55,15	0,8	6,2
11	60,72	56,95	53,60	6,2	5,9
12	60,25	58,90	58,53	2,2	0,6
13	60,48	58,17	55,03	3,8	5,3

Os valores de PM1 variaram de 0,8% a 6,3%. Os altos valores obtidos são justificados devido a secagem em estufa ter como objetivo remover gradualmente a água usada na mistura úmida, de forma a não danificar os suportes cerâmicos. Já os valores de PM2 variaram de 0,6% a 6,2%, sendo que elevados valores pode representar possíveis reações químicas ou perda de água de cristalização presentes nas matérias primas devido as elevadas temperaturas envolvidas.

Dois comportamentos foram observados: para as amostras de cordierita (1 a 4 na Tabela 2) e magnesita (5 a 9 na Tabela 2), observa-se que os valores de PM1 foram razoavelmente elevados, enquanto PM2 foi sempre abaixo de 1,9%. Isto indica que toda a água contida no material foi removida durante a secagem em estufa, sendo que durante a sinterização não houve reações de decomposição significativas. Para a bauxita (10 a 13 na Tabela 2) observa-se comportamento distinto. Algumas amostras com bauxita apresentaram baixo PM1, enquanto PM2 foi significativamente superior que as outras matérias primas usadas. Esta é uma indicação que pode ter havido alguma reação com a água usada no processo de fabricação do suporte cerâmico.

Em relação a temperatura de sinterização, os suportes cerâmicos de cordierita e bauxita sinterizados a 900°C ficaram frágeis e fraturaram-se por si só após a sinterização, e apenas os de magnesita apresentaram-se boa qualidade após a sinterização, no qual foram realizadas a soldagem. Por outro lado, todos os suportes sinterizados a 1.100°C não apresentaram fragilidade.

A Figura 3 mostra o aspecto do cordão de solda e do suporte cerâmico após a soldagem. Observa-se que o suporte cerâmico de cordierita (Figura 3a) permaneceu intacto, suportando as elevadas temperaturas resultantes do contato com o metal líquido. O aspecto e acabamento do cordão de solda foi considerado adequado pela

inspeção visual, não tendo sido observado descontinuidades como inclusões, trincas, poros e mordeduras ao logo do cordão de solda. Ainda, não foi observada adesão do material cerâmico no cordão de solda. O suporte cerâmico de bauxita não suportou a temperatura elevada do metal de solda líquido durante a soldagem, sendo observada a sua fragmentação assim como adesão de material cerâmico no cordão de solda (Figura 3b). Ainda, o aspecto do cordão não foi considerado adequado pela inspeção visual. O suporte cerâmico de magnesita também não suportou a temperatura elevada do metal de solda líquido durante a soldagem, sendo observada sua total fragmentação após a soldagem, não sendo possível incluí-lo na Figura 3c. Porém, não foi observada adesão de material cerâmico no cordão de solda e a inspeção visual considerou como adequado o aspecto do cordão.

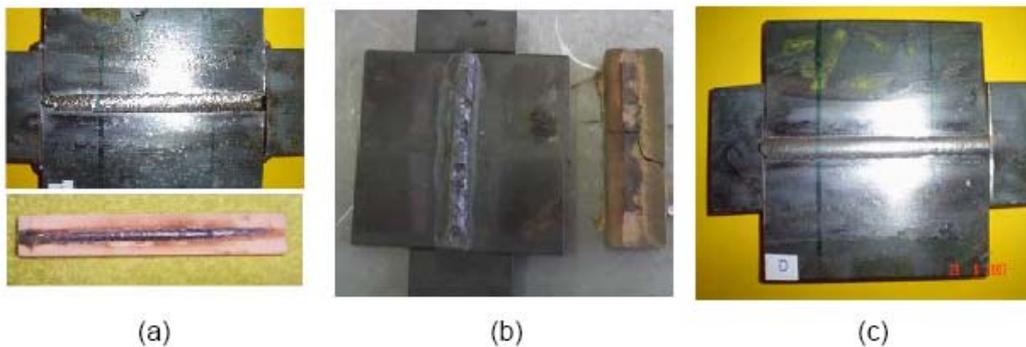


Figura 3. Após a soldagem, (a) Corpo de prova 1 com a Cordierita, (b) Corpo de prova 9 com a Bauxita e (c) corpo de prova 5 com a Magnesita

A Figura 4 mostra o resultado do ensaio de líquido penetrante, onde não foi observado nenhum tipo de descontinuidade superficial nos suportes de cordierita e magnesita. Já os suportes de bauxita apresentaram descontinuidades ao longo do cordão de solda, sendo consideradas como reprovadas.

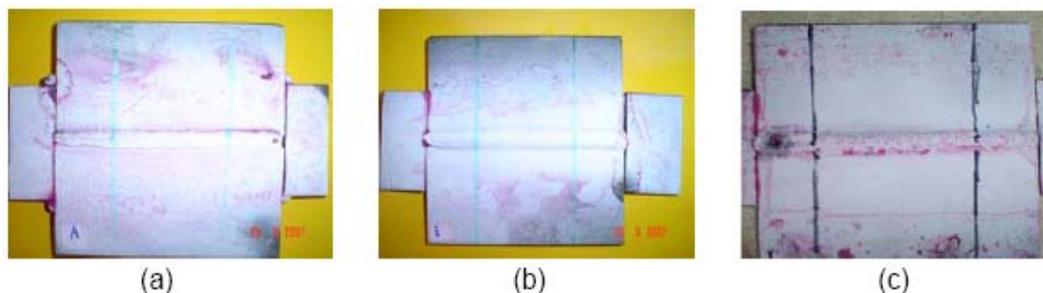


Figura 4. Ensaio de líquido penetrante com (a) corpos de prova 1 com Cordierita, (b) corpo de prova 6 com Magnesita e (c) corpo de prova 11 com Bauxita

A Figura 5 apresenta macrografias da seção transversal do cordão de solda obtido com os suportes de cordierita, bauxita e magnesita. Observa-se que nos 3 casos obteve-se penetração nas laterais do chanfro e reforço de solda apropriado na raiz. Não foram observadas descontinuidades. Nota-se que na parte superior da solda, não houve enchimento suficiente da junta soldada, ou seja, de toda a espessura da chapa. De fato, o objetivo deste trabalho é avaliar o cordão de solda produzido com o uso do suporte cerâmico. No caso de uma junta soldada, haveria a necessidade de aplicar cordões de solda adicionais sobre este passe de raiz, com o objetivo de completá-la.

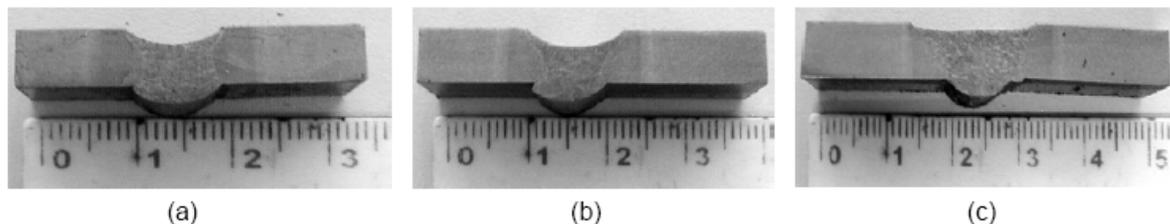


Figura 5. Macrografia do (a) corpo de Prova 2 com Cordierita, (b) corpo de prova 4 com Magnesita e (c) corpo de prova 11 com bauxita

A junta soldada com suporte cerâmico de cordierita foi escolhida para a realização da microscopia ótica e a determinação do perfil de microdureza Vickers, pois foi considerado o que apresentou melhor comportamento durante a soldagem.

A Tabela 3 mostra os resultados de microdureza Vickers para a amostra 2 (veja Tabela 1). Observa-se que o metal base apresentou valores de dureza entre 134 HV a 153 HV, compatível com o aço A-36 utilizado neste trabalho. A ZTA apresentou valores entre 134 HV a 160 HV, mostrando que o ciclo térmico da soldagem não produziu um endurecimento significativo nesta região. O metal de solda apresentou valores entre 134 HV a 147 HV, compatível ao metal de adição produzido com o arame ER70S-6 utilizado na soldagem GMAW. Os resultados de microdureza Vickers mostram a ausência de pontos duros na junta soldada com o suporte cerâmico.

Tabela 3. Valores da microdureza da junta soldada

Região	Pontos	Microdureza Vickers (Kgf/mm ²)	Pontos	Microdureza Vickers (Kgf/mm ²)	Média de Microdureza e Erro Absoluto
Metal Base	1	147	16	140	141±14
	2	140	17	134	
	3	153	18	134	
ZTA	4	134	13	160	149±27
	5	134	14	168	
	6	153	15	147	
Metal de Solda	7	147	10	149	147±2
	8	147	11	147	
	9	147	12	147	

A Figura 6 mostra a microestrutura do cordão de solda do cordão de solda feito com suporte de cordierita. Pode ser observada uma predominância de ferrita com segunda fase alinhada, ferrita poligonal e alguma ferrita acicular. Estas estruturas são típicas dos cordões de solda realizados com o processo GMAW com arame ER70S-6 e proteção por CO₂.

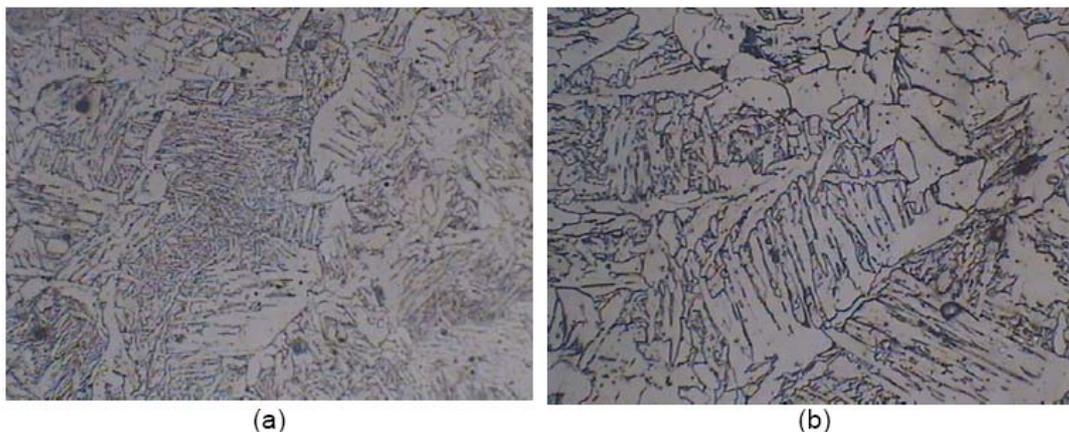


Figura 6. Fotomicrografia da amostra 2. Cordão de solda com suporte de cordierita. Ataque: nital 2%. (a) aumento 200X; (b) aumento 500X.

5 CONCLUSÃO

No estudo realizado, verificou-se que, através do resultado do suporte cerâmico à temperatura de sinterização a 900°C, apresentou-se muito quebradiço, não estando em boas condições para a realização da soldagem, determinando assim, a temperatura de 1.100°C para a sinterização do suporte cerâmico. Ficou determinada uma seqüência de produção dos suportes cerâmicos sendo – Pesagem das matérias primas; Mistura seca; Mistura úmida; Peneiramento da mistura úmida; Compactação; Secagem e Sinterização. A análise feita dos suportes cerâmicos permitiu verificar que dentre as matérias primas escolhidas, a que obteve um melhor resultado foi a Cordierita. O suporte cerâmico de Cordierita suportou o metal líquido durante a soldagem, sem que ocorresse nenhum tipo de defeito, tanto no suporte quanto no cordão de solda.

Agradecimentos

À FAPERJ e ao CNPq pelo apoio financeiro, por meio de bolsas de estudo e projetos financiados.

REFERÊNCIAS

- 1 MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J. Introdução aos processos de Soldagem – Belo Horizonte – MG, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, 246 p, 2006.
- 2 ZIEDAS, S.; TATINI, L. Soldagem -São Paulo- SP, SENAI, 553 p, 1997.
- 3 PARANHOS, R. P. R., SOUZA, A. C. Soldagem a Arco Submerso. - Rio de Janeiro – RJ, FIRJAN/SENAI, 87 p, 1999.
- 4 MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q. Soldagem - Fundamentos e Tecnologia - Belo Horizonte – MG, Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, 363 p, 2005.
- 5 BRITO, J.D.; PARANHOS, R.P.R., Como determinar os custos da soldagem. – Campos dos Goytacazes – RJ, ParkGraf Editora, 74 p, 2005.
- 6 ASTM A5.18, Specification For Carbon Steel Electrodes And Rods For Gas Shielded Arc Welding, 1998.
- 7 ASTM A5.20, Specification For Carbon Steel Electrodes For Flux Cored Arc Welding, 1998.