

Processo de Deposição por Fricção e Suas Aplicações

(Friction surfacing and Its Applications)

Márcio Levi Kramer de Macedo¹, Gustavo A. Pinheiro², Jorge F. dos Santos², Telmo R. Strohaecker¹

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Metalurgia, Laboratório de Metalurgia Física, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil, surfi@demet.ufrgs.br

²GKSS Forschungszentrum GmbH, Institute for Materials Research, Solid State Joining Processes (WMP), Max-Planck-Str. 1, D-21502, Geesthacht, Alemanha.

Resumo

Neste trabalho será apresentado o estado da arte do processo de deposição superficial por fricção, as influências dos parâmetros de deposição e algumas aplicações. Em uma segunda parte, serão mostrados alguns resultados de um estudo que está sendo realizado com deposição de três diferentes pinos consumíveis (materiais dos pinos de aço ABNT 8620, ABNT 4140 e AISI 310) em um substrato de aço carbono ABNT 1070, utilizando como parâmetros de deposição: velocidade de rotação do pino de 3500 rpm, velocidades de avanço de deposição de 8,5 e 17 mm/s e pressão axial de 1,03 e 1,38 MPa. Os depósitos foram caracterizados por análise visual, análise macrográficas, análise micrográficas, perfil de microdureza e ensaio de carga (push-off test). Os resultados encontrados até então foram considerados satisfatórios, mostrando que é possível utilizar a técnica para reparos superficiais de componentes em aços alto carbono e para deposição de materiais dissimilares, sendo que estes resultados estão sendo melhores estudados.

Palavras-chave: deposição, fricção, revestimentos, reparos, desgaste, soldagem.

Abstract: This work will presented the state of the art of the deposition by friction surfacing process, the influences of the deposition parameters and some applications of the process. In a second part, some results showing a study being conducted with deposition of three different rods consumables (materials for steel rods ABNT 8620, ABNT 4140 and AISI 310) in a substrate of carbon steel ABNT 1070 will be presented, using as parameters of deposition: rotational speed of the rod of 3500 rpm, traverse speeds of 8.5 to 17 mm/s and axial pressure of 1.03 and 1.38 MPa. The deposits were characterized by visual analysis, macrographs analysis, micrographs analysis, microhardness profile and push-off test. The results, so far, were considered satisfactory, showing that the technique can be employed to repair surface of components in high carbon steels and, for deposition of similar and dissimilar materials. However, the optimum parameters for the process still must be studied.

Key-words: deposition, friction, coating, cladding, repair, worn, welding.

1. Introdução

A engenharia de superfície tornou-se um campo de estudo extremamente importante nos últimos anos devido a sua grande importância nos estudos de fenômenos relacionados à superfície de componentes e estruturas, os quais compreendem diversas áreas do conhecimento como: engenharia, física e ciências dos materiais. A partir de fenômenos que ocorrem na superfície, como o desgaste, a corrosão e a fadiga, é que grande parte de componentes e estruturas falham ou são inutilizados.

Buscando melhorar as propriedades de superfície e aumentar a vida útil dos componentes e estruturas e, com isso, diminuir os custos relativos às paradas não programadas e/ou troca por novos componentes, diversas técnicas de modificações superficiais e de revestimentos foram desenvolvidas, dentre estas pode-se citar:

filmes finos por PAPVD, deposição por arco elétrico, deposição a plasma, tratamentos térmicos e termoquímicos, deposição a laser e deposição por fricção, entre outras.

Baseado nisso objetivou-se neste trabalho apresentar o processo de deposição superficial por fricção (Friction Surfacing) bem como resultados preliminares de um estudo da viabilidade de utilizar este processo de deposição para a recuperação superficial de componentes em aço de alto carbono.

O processo de deposição superficial por fricção é um processo de soldagem no estado sólido, ou seja, não há fusão, e deriva-se da soldagem por fricção. Este processo apresenta algumas vantagens, em certas aplicações, em relação às técnicas de deposição por arco elétrico e plasma spray como: ausência de porosidades, de inclusões de escória, diluição, microestruturas bruta de fusão, respingos, fumos tóxicos e radiação.

Este processo pode ser utilizado para revestimentos de componentes utilizando materiais dissimilares (ex: deposição de aço inoxidável em componentes de aço carbono objetivando melhorar as propriedades de corrosão) bem como em reparos

(Recebido em 30/07/2008; Texto Final em 20/10/2008).

de componentes e estruturas desgastadas, na qual pode ser recuperada a região de interesse com a deposição do material similar ou um material com melhores propriedades de resistência ao desgaste.

2. O Processo de Deposição Superficial por Fricção

O processo de soldagem por fricção faz parte de um dos processos de soldagem no estado sólido conforme a denominação da American Welding Society – AWS [1]. Dentro da soldagem por fricção já existem em torno de 16 variações ou formas de soldagem utilizando o princípio, conforme demonstra os estudos realizados pelo The Welding Institute - TWI [2].

Dentre estes, está o processo de deposição superficial por fricção (Friction Surfacing), tendo sido inventado e patenteado em 1941 por Klopstock e Neeleands [3,4], porém a técnica foi pouco utilizada até então. Entretanto, comercialmente, somente apareceu na última década, através do patenteamento de um processo conhecido como “FRICTEC” [5], que é um processo de deposição por fricção caracterizada por uma alta pressão de contato durante a deposição (pressão acima de 100 MPa) em componentes de corte.

O processo de deposição superficial por fricção foi desenvolvido como uma técnica alternativa para recobrimentos superficiais resistentes ao desgaste e consiste em um processo de soldagem que ocorre no estado sólido, ou seja, não há fusão dos metais (substrato e pino consumível), onde um pino consumível é utilizado para produzir o depósito no componente ou estrutura desejado (substrato). Este consumível é submetido a uma elevada força axial e a um movimento rotacional aplicados ao substrato, dando início ao processo de fricção. O calor gerado pela fricção entre o consumível e o substrato faz com que ocorra o aquecimento, logo a plastificação do consumível. Após, o consumível é submetido a um movimento transversal relativo (avanço) fazendo com que ocorra o depósito de uma camada do consumível no substrato [6, 7, 8]. A figura 1 mostra um desenho esquemático do processo de deposição por fricção [9] e a figura 2 o processo real.

A camada depositada caracteriza-se pela microestrutura refinada devido ao processo de recristalização (semelhante ao forjamento à quente) e com excelente adesão metalúrgica devido à difusão (facilitada pela temperatura elevada) e adesão mecânica junto à interface do depósito com o substrato e isenta de alguns defeitos como vazios, porosidades e inclusões comuns em processos de soldagem por fusão [6]. Cabe salientar que a temperatura durante o processo é elevada, porém não atinge a temperatura de fusão do material, por isso o processo é conhecido como em estado sólido.

A espessura do depósito pode variar de 0,5 a 6 mm a qual dependerá do diâmetro do pino consumível, do material a ser depositado e da capacidade de carga do sistema [6].

Em relação aos processos de soldagem por fusão e termospray, a deposição por fricção apresenta algumas vantagens, pois o processo é limpo, não desprende fumos e respingos, a diluição é considerada como desprezível (em torno de 20 µm) e a ZTA é estreita. O aproveitamento da energia é eficiente e o calor gerado é utilizado somente aonde é necessário [6].

Porém o processo apresenta algumas desvantagens como: custo elevado do equipamento, espessuras de camada muito fina (0,5 a 6mm no máximo), remoção da bordas do depósito que não aderem ao substrato (cold lap).

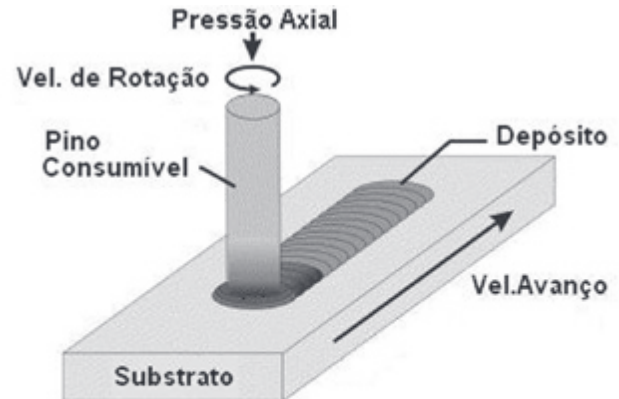


Figura 1. Desenho esquemático do processo de deposição superficial por fricção.

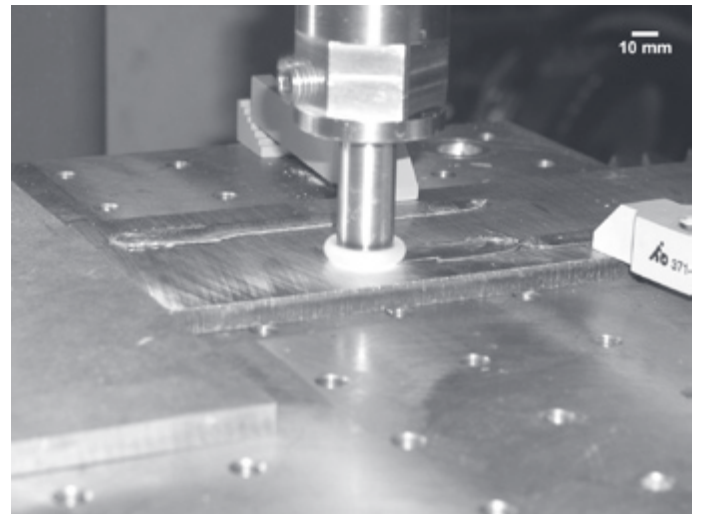


Figura 2. Vista do processo de deposição superficial por fricção sendo realizado.

2.1. Influência dos Parâmetros do Processo de Deposição por Fricção

Os principais parâmetros do processo de deposição por fricção são:

- Diâmetro do pino consumível;
- Velocidade de avanço do substrato;
- Força axial aplicada;
- Velocidade de rotação do pino consumível

Segundo os diversos trabalhos publicados [2-17] fica difícil chegar a um consenso da influência dos parâmetros relacionados ao processo, pois nem todos os trabalhos foram realizados nas

mesmas condições e parâmetros. Porém, dos resultados destes trabalhos publicados algumas conclusões podem ser retiradas e que na maioria destes trabalhos foram coerentes.

Sabe-se que os parâmetros de deposição por fricção têm uma grande influência nas dimensões do depósito conforme pesquisaram Shinoda [10, 11], Li [12] e Vitanov [13].

2.1.1. Diâmetro do pino consumível

Quanto ao diâmetro do pino consumível pode-se dizer que o mesmo determina a largura do depósito, ou seja, quanto maior o diâmetro do pino mais largo será o depósito, porém quanto maior o diâmetro deste pino maior terá de ser a potência do equipamento de deposição conforme pode-se observar as equações de torque (T em N.m) e potência (W em kW). Dessa forma o diâmetro do pino consumível dependerá da potência do equipamento [14].

$$T = 2 \cdot \Pi \cdot \mu \cdot P \cdot r^3 \quad (1)$$

Onde: $\Pi = 3,1415927$;

μ = coeficiente de atrito;
 P = pressão aplicada (N);
 r = raio do pino consumível (m).

$$W = 2,7 \cdot w \cdot T \quad (2)$$

Onde: w = velocidade de rotação (rpm);
 T = torque (N.m)

2.1.2. Velocidade de avanço do substrato

Vitanov [13, 15] observou que aumentando a velocidade de avanço do substrato ocorre uma diminuição da largura, espessura e ZTA do depósito, conforme mostram os gráficos da figura 3. Van Kalken [3] em seu trabalho confirmou as afirmações acima.

Estes fenômenos podem ser explicados pelo fato que com o aumento da velocidade de avanço menor é o tempo de deposição, com isso menor será o tempo de contato do pino ao substrato diminuindo assim a largura e a espessura do depósito bem como a energia de soldagem, consequentemente diminui a profundidade da ZTA [3, 10, 11, 13].

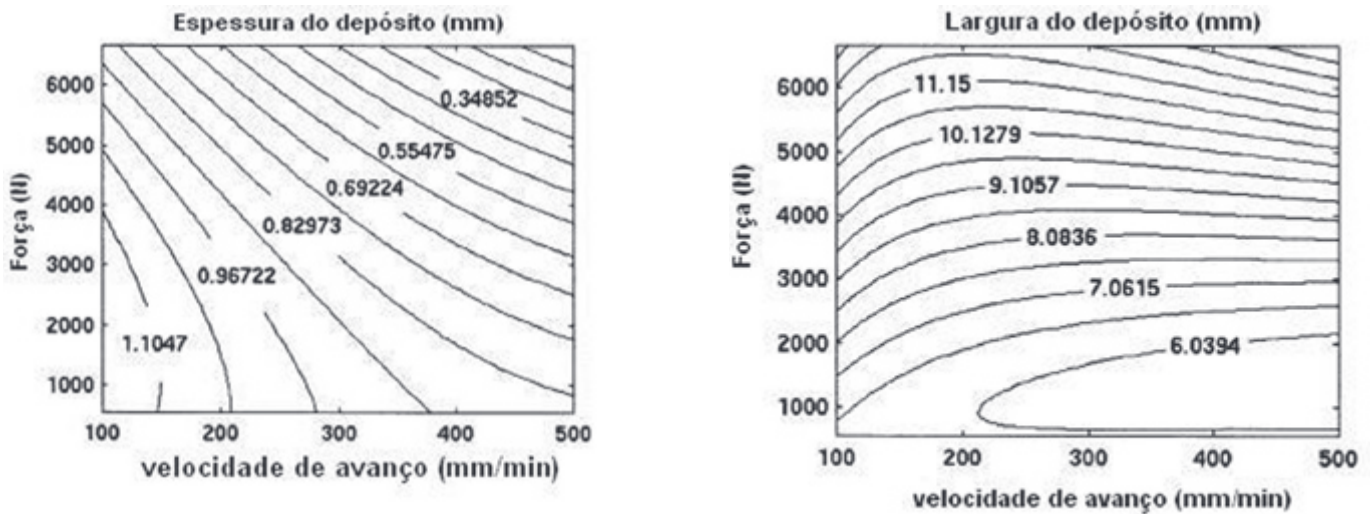


Figura 3. Espessura e largura do depósito em função da velocidade de avanço do substrato [7].

2.1.3. Força axial

A força axial é um dos parâmetros de maior importância, pois com o aumento da força aplicada aumenta proporcionalmente a adesão do depósito e consequentemente diminui a área de solda fria (cold lap) [13]. Por outro lado, com o aumento da força aplicada diminui a espessura e aumenta a largura do depósito [10, 11, 13].

O aumento da força axial também aumenta a profundidade da ZTA como exemplifica a figura 4 [3].

Segundo Li [12] a eficiência do depósito diminui com o aumento da força axial aplicada, pois forma maior rebarba (flash).

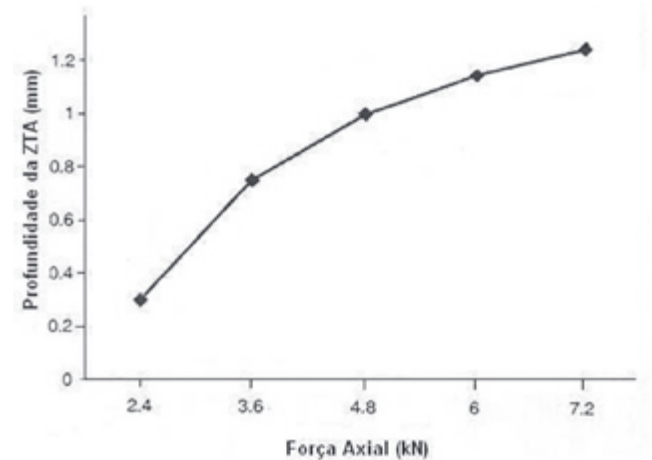


Figura 4. Profundidade de ZTA em função da força axial aplicada [3].

2.1.4. Velocidade de rotação do pino consumível

A rotação do pino consumível influencia na energia total de soldagem, onde a energia de soldagem do pino é maior em maiores rotações, conforme apresentado na figura 5. Então a distribuição do calor entre o substrato e o pino consumível pode ser controlada pela rotação, bem como a profundidade da ZTA, onde com maiores rotações ocorre a diminuição da ZTA. Isto ocorre devido a diminuição da área de contato com o aumento da rotação do pino consumível e do aumento da velocidade de avanço do substrato [10, 11, 13].

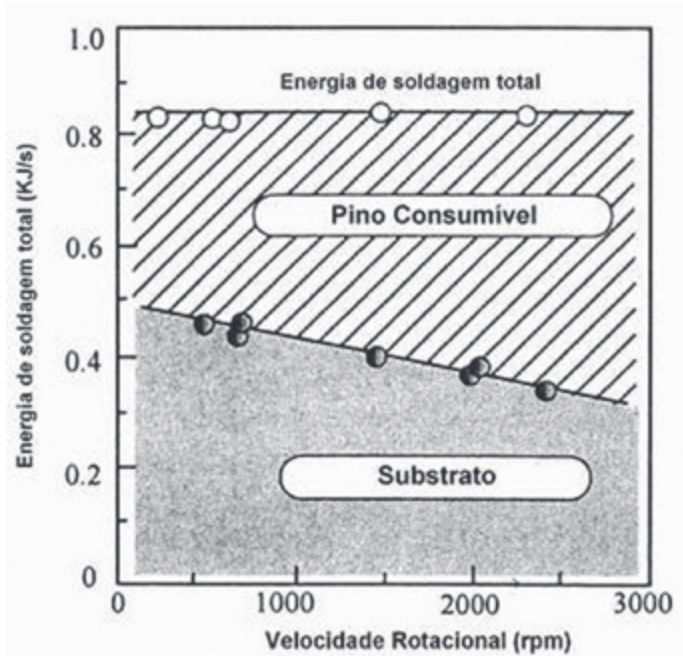


Figura 5. Gráfico mostrando a distribuição da energia de soldagem no pino consumível e no substrato em relação à rotação do pino consumível.

3. Aplicações do Processo de Deposição Superficial por Fricção

Nos últimos anos tem aumentado consideravelmente a quantidade de trabalhos realizados utilizando a técnica de deposição superficial por fricção utilizando diversos tipos de materiais depositados.

Van Kalken [3] apresentou um estudo de deposição de um aço inoxidável austenítico em substrato de aço baixo carbono utilizando um robô TRICEPT 600. A vantagem do uso do robô é que se pode realizar depósitos em três dimensões (3D) bem como automatizar o processo.

Vitanov [13, 15] e Voutchkov [16] realizaram um extenso trabalho, fazendo mais de 1200 depósitos, usando diferentes materiais e formas de substrato e também variando os materiais dos pinos consumíveis (aços inoxidáveis AISI 303, 304, 316, 416 e 431) e o diâmetro dos mesmos. A intenção era de tentar entender as relações dos parâmetros do processo com a qualidade dos depósitos e, desta forma, desenvolver um software na qual se podem escolher os parâmetros para determinados substratos e pinos consumíveis.

Uma das vantagens do processo de deposição por fricção é a possibilidade de deposição de materiais dissimilares. Chandrasekaran [17] investigou a deposição de aço ferramenta, ligas à base de níquel (Inconel), ligas de alumínio e ligas de titânio em substrato de aço baixo carbono e aço inoxidável, aço baixo carbono e Inconel em substrato de alumínio. Observaram que o aço ferramenta e o Inconel depositaram muito bem em substrato de aço baixo carbono e que o alumínio depositou somente com o aumento da força aplicada. Por outro lado o titânio não depositou em nenhuma das condições testadas (talvez pela alta plasticidade as temperaturas alcançadas pelo processo). Quando utilizou o alumínio como substrato, observaram a formação de uma camada intermetálica (via análise por microsonda EDS), exceto quando usado o aço inoxidável, indicio que ocorre uma fusão localizada do alumínio, que indica uma relação inadequada de parâmetros. A deposição do aço baixo carbono no substrato de alumínio pode ser realizada com sucesso. Por outro lado, a deposição de aço inox requer maiores forças aplicadas e maiores rotações e velocidades de avanço em relação ao depósito de aço baixo carbono para se alcançar um bom depósito.

Outro uso do processo de deposição por fricção é em ambientes subaquáticos, os quais foram pensados para recuperação e deposição superficial em tubulações e estruturas off-shore. Em seu estudo Li [12] depositou um aço inoxidável martensítico (AISI 440C) em substrato de aço carbono estrutural em condições ao ar e sob uma camada de água. Eles concluíram que embaixo da água os depósitos apresentaram maior uniformidade do que em deposição ao ar e que o perfil de dureza também se apresentou mais uniforme nesta condição com uma microestrutura mais refinada do que os depósitos ao ar.

Na revisão da literatura encontra-se uma grande variedade de aplicações e geometrias utilizando o processo de deposição superficial por fricção, conforme ilustra a figura 6. O processo foi utilizado com sucesso em recuperação de componentes desgastados, em componentes sujeitos ao desgaste e a corrosão. Entre estas aplicações pode-se exemplificar:

- Recuperação de eixos [8];
- Deposição de metal duro em componentes e equipamentos agrícolas [8];
- Recuperação de buchas de mancais deslizantes [8];
- Deposição de camada dura para aumento da resistência ao desgaste em equipamentos de óleo [8];
- Reparo em componentes de aço ligado com aço baixo carbono [7];
- Deposição para proteção contra corrosão de aço inoxidável AISI 316 e liga à base de níquel (liga 625) em componentes de aço baixo carbono e aço inoxidável AISI 316 [7, 8];
- Depósitos resistentes ao desgaste utilizando ligas à base de cobalto (Stellite 6 e 12) e à base de níquel (Hastelloy CW-12M-1) em componentes de aço inoxidável AISI 316 [7, 8];
- Reparo de componente em liga de alumínio (liga com 4% de Cu) utilizando o mesmo material para reparo (Al-4%Cu) [7, 8];
- Depósitos de aços ferramentas (AISI D2 e H13) em substratos de aço médio carbono [8];
- Endurecimento superficial em componentes utilizados para corte (como guilhotinas, facas) para corte de materiais não-

metálicos, papel e plástico [6, 8];

- Deposição de uma camada de material duro em lâminas para patins de hockey no gelo [6];
- Deposição de camada dura com ligas à base de cobalto (Stellite) em sede de válvulas [6];

- Recuperação de palhetas de turbinas de avião desgastadas [8];
- Recuperação de defeitos superficiais e em pontos gastos em trilhos ferroviários [8].



Figura 6. Desenho esquemático de alguns tipos de geometrias que podem ser recuperadas pelo processo de deposição por fricção [2].

4. Materiais e Métodos

O material utilizado como substrato foram chapas de aço carbono ABNT 1070, conforme a composição química da tabela 1. As dimensões das chapas foram de 50 x 150 x 9 mm (largura x comprimento x espessura).

Os pinos consumíveis foram feitos de barras redondas de aço carbono ABNT 4140, ABNT 8620 e aço inoxidável austenítico AISI 310 com diâmetro de 20 mm. As composições químicas dos pinos consumíveis estão na tabela 2. Todas as análises químicas foram realizadas em um espectrômetro de emissão óptica da marca Spectro.

Tabela 1 Composição química do substrato de aço carbono ABNT 1070.

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
ABNT 1070	0,73	0,22	0,71	0,015	0,004	0,39	<0,005	0,02

Tabela 2 Composição química dos pinos consumíveis.

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
ABNT 4140	0,40	0,23	0,82	0,019	0,049	0,97	0,17	0,20
ABNT 8620	0,19	0,22	0,85	0,014	0,027	0,49	0,21	0,40
AISI 310	0,07	0,37	1,18	0,036	0,013	24,91	0,19	19,69

Os depósitos foram realizados em um equipamento, pertencente ao grupo de soldagem (Joining Technology) do Instituto GKSS (Geesthacht-Alemanha), composto de um sistema hidráulico que é fixado a um pórtico rígido que tem uma mesa móvel onde é preso o substrato, como mostra a figura 7. O ciclo de soldagem é controlado através de um software,

onde são colocados os parâmetros de soldagem de pressão axial e velocidade de rotação. A velocidade de avanço do depósito é controlada pelo sistema que move a mesa. Os parâmetros de deposição e os materiais utilizados neste trabalho estão na tabela 3. Para todas as séries foram realizadas três repetições.

Tabela 3 Parâmetros de deposição

Série	Substrato	Pino Consumível	Vel. Rotação (rpm)	Pressão Axial (MPa)	Vel. Avanço (mm/s)
1	ABNT 1070	ABNT 8620	3500	1,03	8,5
2	ABNT 1070	ABNT 8620	3500	1,03	17,0
3	ABNT 1070	ABNT 8620	3500	1,38	8,5
4	ABNT 1070	ABNT 8620	3500	1,38	17,0
5	ABNT 1070	ABNT 4140	3500	1,03	8,5
6	ABNT 1070	ABNT 4140	3500	1,03	17,0
7	ABNT 1070	ABNT 4140	3500	1,38	8,5
8	ABNT 1070	ABNT 4140	3500	1,38	17,0
9	ABNT 1070	AISI 310	3500	1,03	8,5
10	ABNT 1070	AISI 310	3500	1,03	17,0
11	ABNT 1070	AISI 310	3500	1,38	8,5
12	ABNT 1070	AISI 310	3500	1,38	17,0

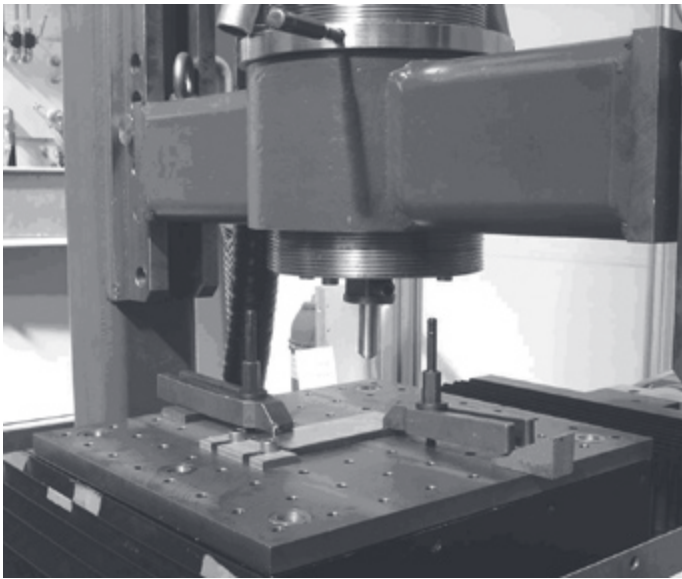
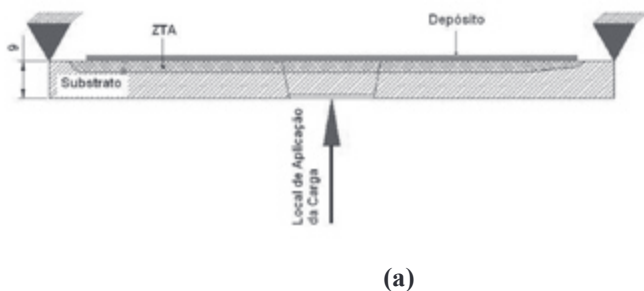
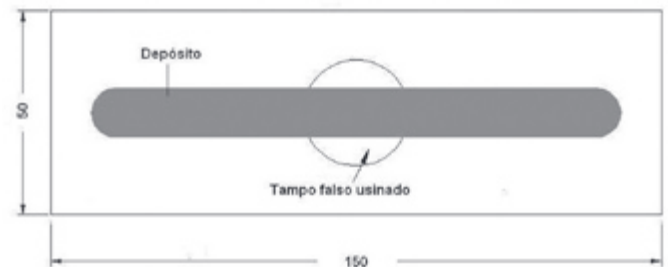


Figura 7. Vista do equipamento de deposição por fricção.



(a)



(b)

Figura 8. Desenho esquemático do ensaio de carga (push-off test). (a) vista longitudinal e (b) vista de topo.

4.1. Resultados e Discussões

4.1.1. Macrografias

A tabela 4 mostra algumas macrografias dos depósitos com os pinos consumíveis ABNT 8620, ABNT 4140 e AISI 310.

Analisando as macrografias pode-se observar que quando foi utilizado os parâmetros de deposição com pressão axial de 150 MPa e velocidade de avanço 8,5 mm/s (séries 3 e 7) o depósito não ocorreu de forma homogênea como nas outras séries. Este fato ocorreu com os pinos consumíveis de aço ABNT 8620 e 4140, porém o mesmo não ocorreu no pino de aço inoxidável AISI 310 (série 11). Este problema ainda está sendo investigado. Nas demais séries os depósitos foram considerados bons em uma análise visual, pois os mesmos ocorreram de forma homogênea.

A influência da velocidade de avanço pode ser vista nas macrografias, podendo ser destacado que quando foram utilizados avanços menores o depósito apresentou-se com maior largura. Isto pode ser explicado pelo fato de ter mais tempo de processamento do pino plastificado. Na análise macrográfica em corte transversal pode-se constatar que quando foi utilizada a velocidade de avanço menor os depósitos apresentaram uma

As caracterizações mecânico-metalúrgica dos depósitos foram as seguintes: macrografia dos depósitos frontal e em corte transversal, micrografias, perfil de microdureza e ensaios de carga (push-off test).

Para as macrografias dos depósitos foi utilizada uma câmera digital. Nas macrografias em corte transversal foi necessária a preparação da amostra através de corte, lixamento, polimento e posterior ataque químico com o reagente Nital 2%. Os mesmos corpos de prova utilizados para estas macrografias foram utilizados para as micrografias em microscópio óptico (MO), bem como para a realização dos perfis de microdureza. Os perfis de microdureza foram realizados utilizando um microdurômetro da marca Struers com carga de 200 gf.


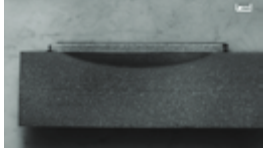

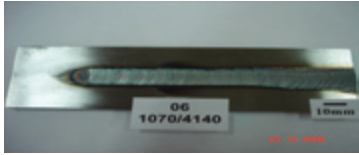
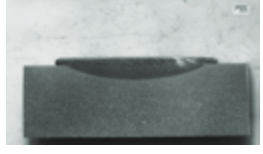


Para os ensaios de carga, os corpos de prova foram usinados antes da soldagem, onde ao centro do mesmo foi realizado um tampo cônico, conforme mostra o desenho esquemático da figura 8. O ensaio de carga consiste em, após ser realizado o depósito, empurrar este tampo falso e, com isso, obter a carga a qual o depósito suportou até descolar do substrato. Os ensaios foram realizados em uma máquina de ensaios mecânicos servo controlada da MTS.

largura maior e em conjunto com menores forças axiais aplicadas também resultam em depósitos com espessuras maiores. Estes resultados também foram encontrados na literatura [3, 13, 15, 16], enquanto que em velocidades de avanços maiores observou-se que diminui a ZTA, pelo fato do tempo de processamento do pino ser menor e com isso menor o calor localizado.

4.1.2. Micrografias

A figura 9(a) mostra as micrografias em microscópio óptico do depósito e da interface do depósito do pino de aço ABNT 8620 e o substrato de aço ABNT 1070, onde a microestrutura no depósito apresentou-se composta de martensita, bainita, perlita e austenita retida, e no substrato (região da ZTA) composta de martensita e austenita retida (figura 10 (a)). Estas microestruturas podem ser explicadas pelo fato da temperatura do material do depósito e da região do substrato a qual houve o contato de fricção alcançar temperaturas de austenitização dos materiais envolvidos e com subsequente resfriamento ao ar e, também, porque os materiais envolvidos são suscetíveis a mudanças microestruturais quando trabalhados nessas condições. Na figura 10 (b) observa-se a região conhecida como solda fria (cold lap) a qual não adere ao substrato. Está região que ocorre

Tabela 4. Macrografias dos depósitos.

	Vista como depositado	Vista em corte transversal
Série 2		
Série 3		
Série 6		
Série 10		

nos dois lados do depósito é inerente ao processo, porém pode ser minimizada através da escolha adequada dos parâmetros de soldagem (ex: como o aumento da pressão axial).

A figura 11 mostra as micrografias da interface do depósito do pino de aço ABNT 4140 e o substrato e somente do depósito. Com esse material a microestrutura do depósito apresentou microestrutura composta de martensita, com carbonetos precipitados e austenita retida e no substrato, na região da ZTA, martensita e austenita retida. A diferença das microestruturas martensíticas se deve ao teor de carbono do pino e do substrato.

A região de interface dos depósitos realizados com o pino

de aço inoxidável AISI 310 está mostrada na figura 12. Observa-se que a microestrutura do depósito não foi revelada, pois a amostra foi atacada com Nital 2% o qual somente revelou a microestrutura do substrato composta de martensita. Por esta figura pode observar que a diluição entre o depósito e o substrato não é visível na escala usada e que somente é observada e uma escala de poucos microns. Uma das formas de adesão do depósito é o mecanismo de ligação mecânica através das rugosidades dos materiais provocadas durante o processo de fricção e avanço do depósito [6], mecanismo este que pode ser visto nas figuras 9(a), 11 (a) e 12.

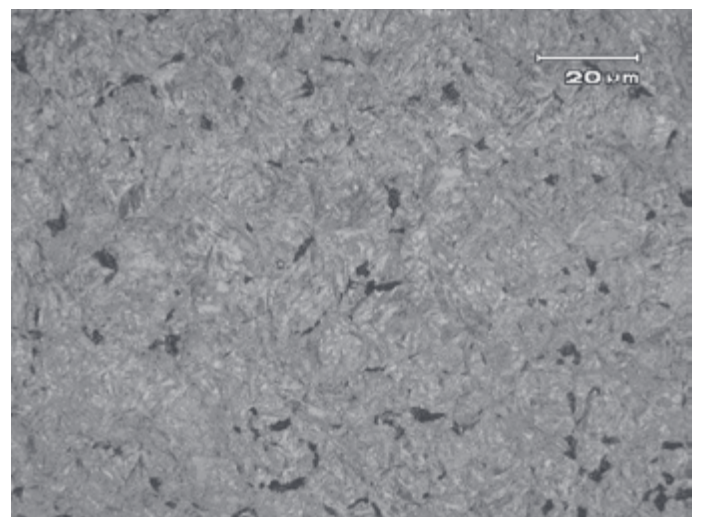
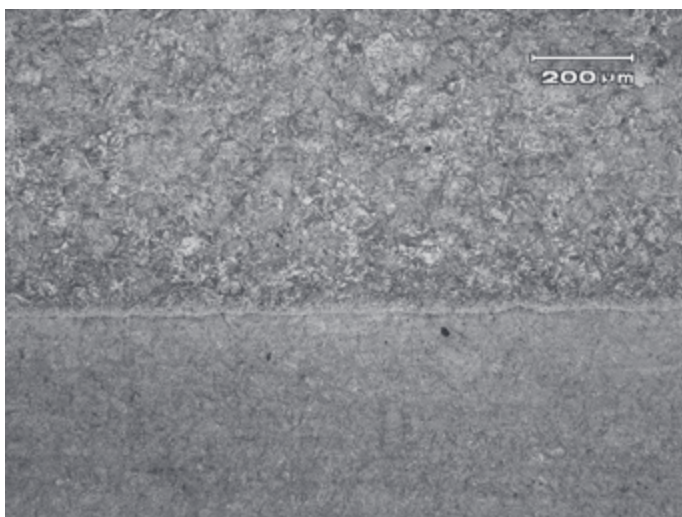


Figura 9. Micrografias em MO mostrando em (a) a região de interface depósito/substrato e em (b) a microestrutura do depósito.

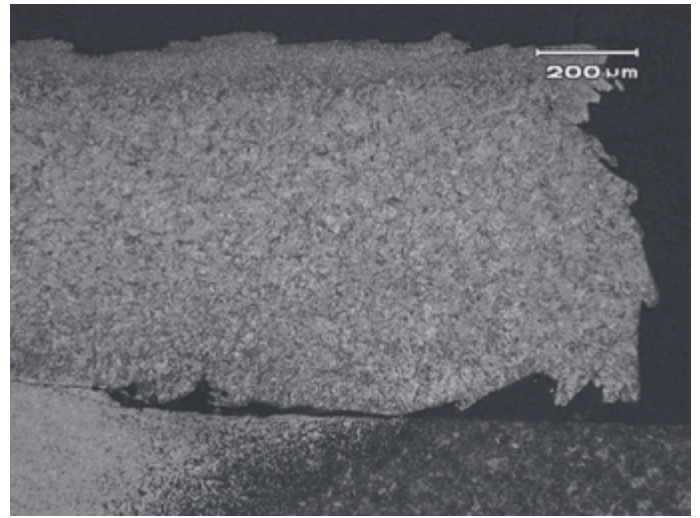
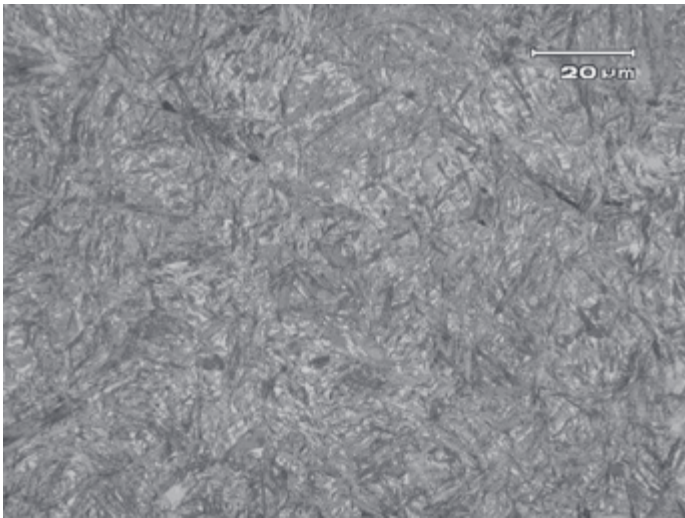


Figura 10. Micrografias em MO mostrando em (a) a microestrutura do substrato na região da ZTA e em (b) a região lateral do depósito mostrando a região de solda fria.

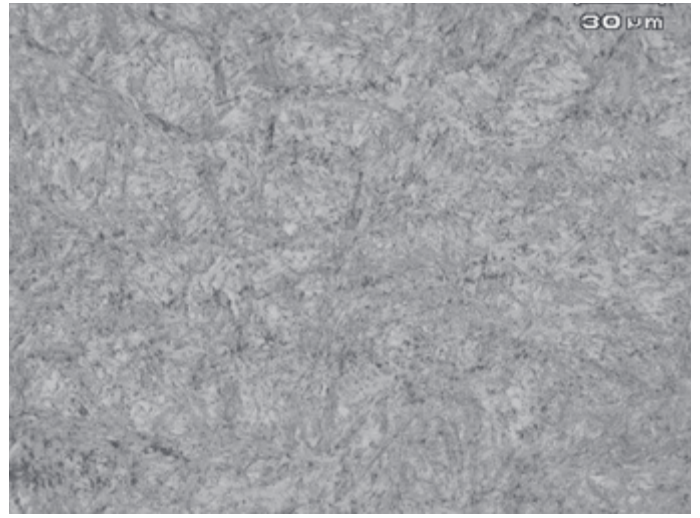
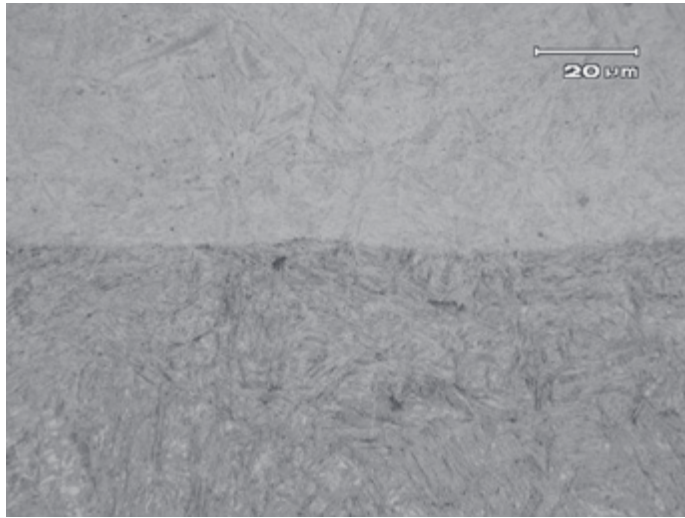


Figura 11. Micrografias em MO mostrando em (a) a região de interface entre o depósito do pino ABNT 4140 e o substrato e em (b) a microestrutura do depósito com maior aumento.

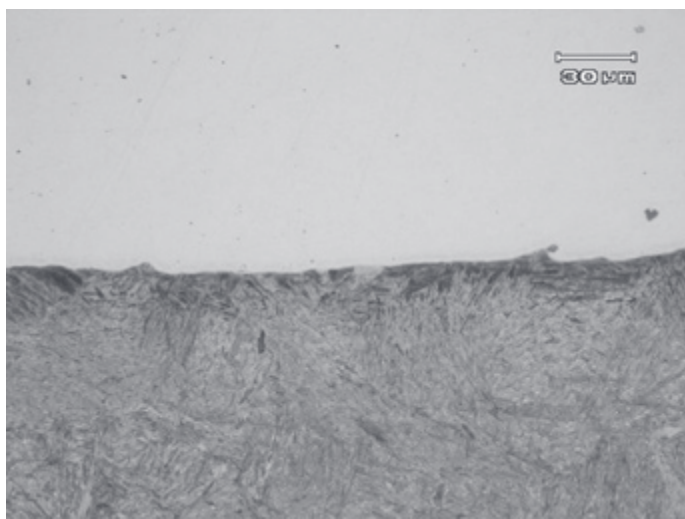


Figura 12 – Micrografia em MO mostrando em (a) a região de interface entre o depósito do pino AISI 310 e o substrato.

4.2.3. Perfis de Microdureza

Os resultados dos perfis de microdureza encontram-se nos gráficos da figura 13. Os gráficos são de microdureza Vickers (HV) pela distância em mm, sendo o ponto 0 com início na superfície do depósito (Dp.) em direção ao substrato. Observa-se em todos os gráficos que existem três regiões distintas. A primeira região que vai do ponto 0 até aproximadamente 1mm nos gráficos (a) e (b) e até aproximadamente 0,5mm no gráfico (c) corresponde a região do depósito (espessura do depósito). Observa-se que as durezas no depósito de aço ABNT 8620 a dureza apresentou-se na faixa de 400 a 500 HV devido as microestruturas de martensita, bainita e perlita do depósito, enquanto que a ZTA a dureza variou de 800 a 900 HV devido a microestrutura martensítica de alto carbono. No depósito realizado com o material ABNT 4140 a dureza do depósito variou de 600 a 680 HV, devido a presença da microestrutura martensítica predominante. No depósito com o aço inoxidável AISI 310, a dureza apresentou valores em torno de 200 HV,

dureza baixa devido a microestrutura austenítica. A região da ZTA, chamada de segunda região, dos depósitos variou do ponto 1 a 2,5 mm no eixo da distância. A terceira região têm início entre a distância de 2,5 a 3 mm até 5mm na qual a dureza se estabiliza, esta região é do substrato inalterado, sem influência do processo de deposição e do calor gerado no processo.

velocidades maiores (17 mm/s) e utilizando a mesma pressão axial, observou-se que foi necessária uma carga aplicada maior para destacar os depósitos que foram realizados com velocidades de avanço menores. Com a velocidade de avanço menor têm-se maior tempo de deposição facilitando os mecanismos de adesão do depósito ao substrato. Estes resultados também foram encontrados nos trabalhos de Vitanov [13, 15].

Quanto ao parâmetro de pressão axial aplicada, também se observou que aumentando a pressão axial foi necessária uma

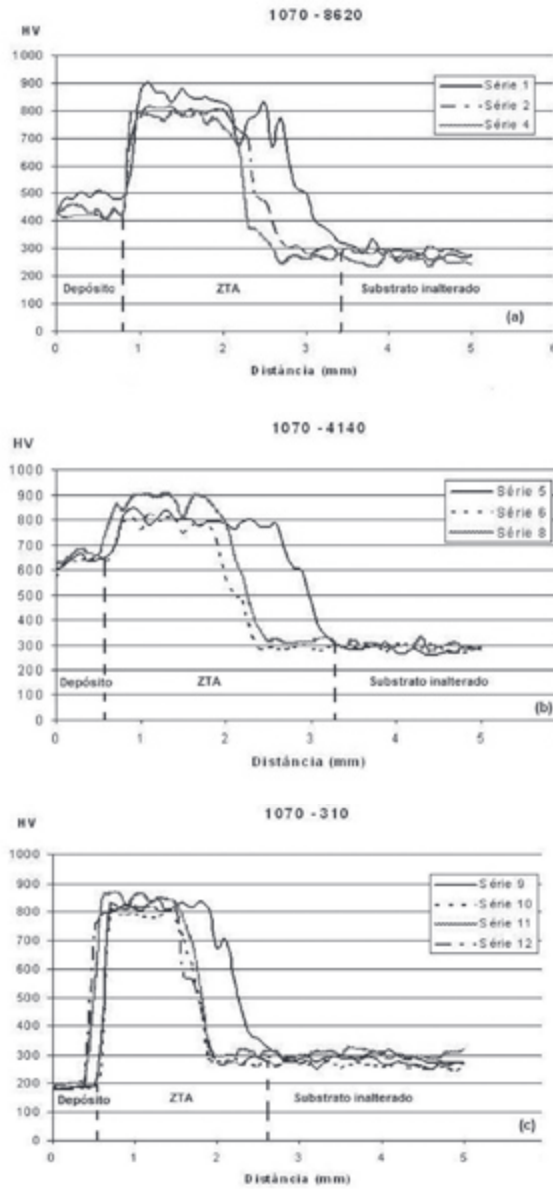


Figura 13. Gráficos com os perfis de microdureza. O início dos perfis é na superfície dos depósitos

4.1.4. Ensaios de Carga

Os resultados dos ensaios de carga foram plotados nos gráficos da figura 14. Os gráficos foram realizados fazendo carga aplicada em Newton (N) pelo deslocamento em mm. Pelos resultados mostrados nos gráficos pode-se observar que a velocidade de avanço de deposição teve uma influência significativa. Comparando os depósitos realizados com velocidades menores (8,5 mm/s) e os depósitos realizados com

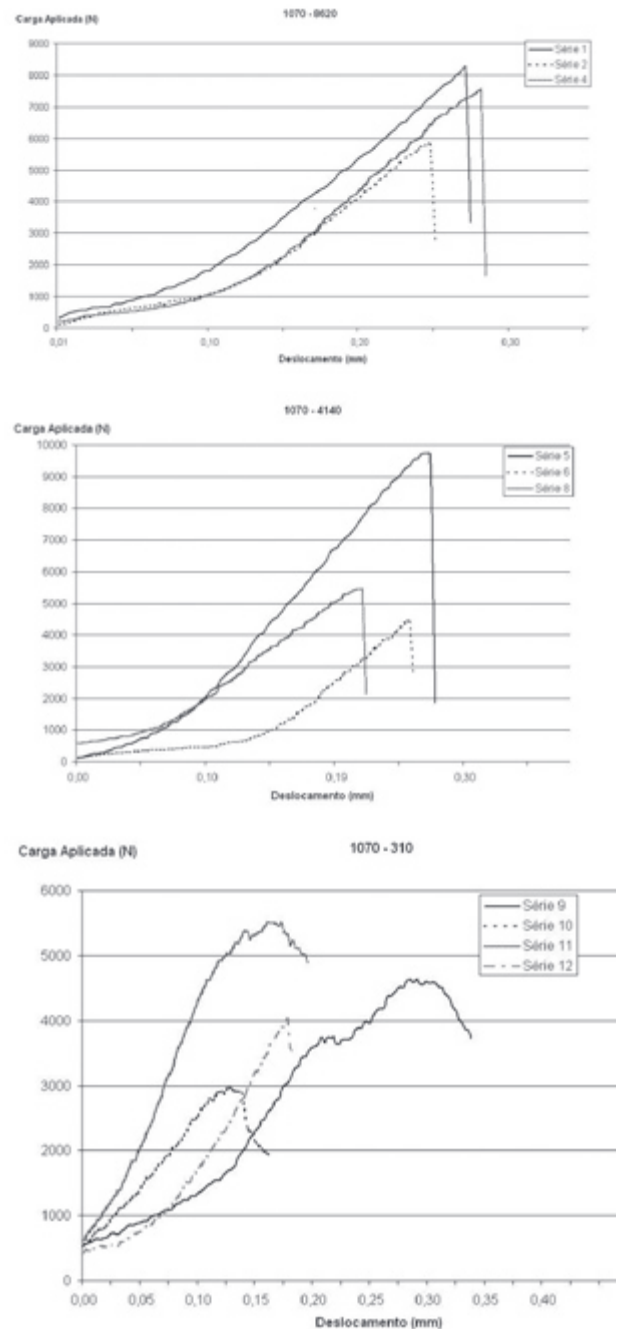


Figura 14. Gráficos com os resultados dos ensaios de carga. O gráfico (a) mostra os resultados dos depósitos em aço ABNT 8620, gráfico (b) dos depósitos em aço ABNT 4140 e o gráfico (c) dos depósitos em aço AISI 310.

carga aplicada maior para destacar o depósito em relação aos depósitos realizados com pressões axiais menores, conforme mostra o gráfico 8 (c). Isto se deve ao fato que com pressões maiores têm-se um maior contato íntimo dos materiais do depósito e do substrato [13, 15].

5. Conclusões

O objetivo principal deste trabalho era de mostrar que o processo de soldagem de deposição superficial por fricção é pode ser um processo alternativo na solução de problemas de desgaste, corrosão e melhorias nas propriedades superficiais de componentes e estruturas, podendo ser utilizado com materiais dissimilares.

Quanto aos estudos realizados até então se pode concluir que o processo de deposição superficial por fricção pode ser utilizado como alternativa para recuperação de componentes em aços de alto carbono, sendo os resultados encontrados promissores e que serão melhores avaliados.

Os parâmetros de deposição são muito relevantes para obtenção de um depósito de qualidade, onde os depósitos realizados com pressão axial maior (1,38 MPa) e velocidade de avanço menor (8,5 mm/s) foram o melhor conjunto de parâmetros para a deposição de pinos de aço inoxidável AISI 310. Para os depósitos com pinos de aço ABNT 8620 e 4140 está avaliação ficou prejudicada pelo fato de não se ter os depósitos com os parâmetros acima, porém pelos resultados obtidos pode-se avaliar que a velocidade de avanço menor obteve melhores resultados que os depósitos com velocidades de avanço maiores.

6. Agradecimentos

Gostaria de agradecer ao Eng. Mathias Beyer (GKSS) pela ajuda na execução dos depósitos, ao meu sobrinho Anderson K. Pelufa pela ajuda nas análises e ensaios. A todos os colegas que me ajudaram neste trabalho. Ao suporte dado pelo Instituto GKSS e pelo LAMEF-UFRGS. A CAPES pelo suporte financeiro.

7. Referências Bibliográficas

- [1] AMERICAN WELDING SOCIETY. Welding Handbook – Welding Processes – Part 2. 8th Edition.
- [2] NICHOLAS, E.D. Friction Processing Technologies. The Welding Institute.
- [3] VAN KALKEN A., Friction Surfacing of Stainless Steel on Mild Steel With a Robot. Dissertação de Mestrado. Delft University of Technology, 2001.
- [4] THOMAS, W.M. An Introduction to Friction Surfacing. Surface Engineering Conference, 1985, vol.3, paper 49, pp.261-277.
- [5] BATCHELOR, A. W. et al., The Effect of Metal Type and Multi-layering on Friction Surfacing. Journal of Materials Processing Technology, 57, 1996, pp.172-181.
- [6] BEDFORD, G.M. Friction Surfacing for Wear Applications. Metals and Materials, November 1990, pp.702-705
- [7] NICHOLAS, E.D., THOMAS, W.M. Metal Deposition by Friction Welding. Welding Journal, August 1986, pp.17-27.

- [8] NICHOLAS, E.D. Friction Surfacing. Metals Handbook Vol.6, pp.321-323.
- [9] BEDFORD, G.M. et al. On the Thermo-mechanical Events During Friction Surfacing of High Speed Steels. Surface and Coatings Technology 141 (2001), pp.34-39.
- [10] SHINODA, T. et al., Effect of Process Parameters During Friction Coating on Properties of Non-Dilution Coating Layers. Surface Engineering, 1998, vol.14, N° 3, pp.211-216.
- [11] SHINODA, T. et al., Development of Heavy Thickness Coating Process by Friction. Proc.of the 6th Int.Symp., JWS (1996), Nagoya, 719-724.
- [12] LI, J.Q., SHINODA, T. Underwater Friction Surfacing. Surface Engineering 2000, vol.16, N°1, pp.31-35.
- [13] VITANOV, V.I. et al., Decision Support System to Optimize the FRICTEC (Friction Surfacing) Process. Journal of Materials Processing Technology, 107, 2000, pp.236-242.
- [14] MITELEA, I., RADU,B., Thermal Field Numerical Analysis in Case of Friction Welding of Dissimilar Materials. Mathematical Modelling of Weld Phenomena 4, 1998, London: IOM Communications, pp.444-454.
- [15] VITANOV, V.I. et al., Neurofuzzy Approach to Process Parameter Selection for Friction Surfacing Applications. Surface and Coatings Technology 140, 2001, pp.256-262.
- [16] VOUTCHKOV, I. et al.. An Integrated Approach to Friction Surfacing Process Optimization. Surface and Technology 141 (2001), pp.26-33.
- [17] CHANDRASEKARAN, M. et al., Friction Surfacing of Metal Coatings on Steel and Aluminum Substrate. Journal of Materials Processing Technology 72 (1997), pp.446-452.