

material do pino. Confirmando, que para as características geométricas empregadas, somente o processo em dois estágios, sendo o primeiro com baixa carga axial, poderia vir a resultar no preenchimento do furo.

Com o intuito de prover total preenchimento do furo, com o processo em apenas um estágio, trabalhou-se na geometria do pino e do furo. Inicialmente, manteve-se a folga radial e alterou-se a geometria de ponta do pino, passando esta a ter um ângulo de 180° apresentado na figura 5.2, e também a geometria da ponta do furo que passou a ter o mesmo ângulo (figura 5.3). Após a realização dos ensaios 18 e 19, percebeu-se que o fenômeno que ocorreu durante os ensaios 10, 11, 12 e 17 novamente se repetiu, ou seja, todo material plastificado do pino ficou aderido ao mesmo, não havendo preenchimento do furo da chapa de reparo. Desta forma, ficou claro que a folga radial até então utilizada, trabalhando em apenas 1 estágio, era excessiva.

As figuras 6.6 e 6.7 mostram os gráficos dos dados adquiridos para os ensaios 18 e 19, respectivamente. Em ambos os gráficos, tal como ocorrido durante o ensaio 16, a velocidade de rotação se manteve em torno do seu valor de referência. O valor de torque máximo chegou a valores pouco inferiores a 20 N*m para o ensaio 18 e pouco superiores a isso durante o ensaio 19. Com relação à força axial e ao comprimento de queima, o mesmo fenômeno observado durante o ensaio 16 se repetiu. Em ambos os casos, a força axial máxima foi inferior a 20.000 N, valor abaixo do valor de referência, e ainda a taxa de queima do pino se manteve constante e aproximadamente igual a 3 mm/s.

Depois de realizado os ensaios 18 e 19, foi executado o ensaio 20, sendo que neste ensaio, o furo tinha as mesmas características dos ensaios 18 e 19. O pino de queima alterava geometricamente dos anteriores apenas pelo aumento do diâmetro, passando a ter $\phi = 12,7$ mm (figura 5.2). Desta forma, houve uma redução da folga radial de 1,15 mm para 0,8 mm. Conforme esperado, com uma menor folga radial, o furo da chapa de reparo foi preenchido pelo material do pino, e mais, como será visto posteriormente, assim como nos ensaios 13, 14, 15 e 16, houve a formação da ligação metálica entre o material do pino e o fundo da chapa de reparo.

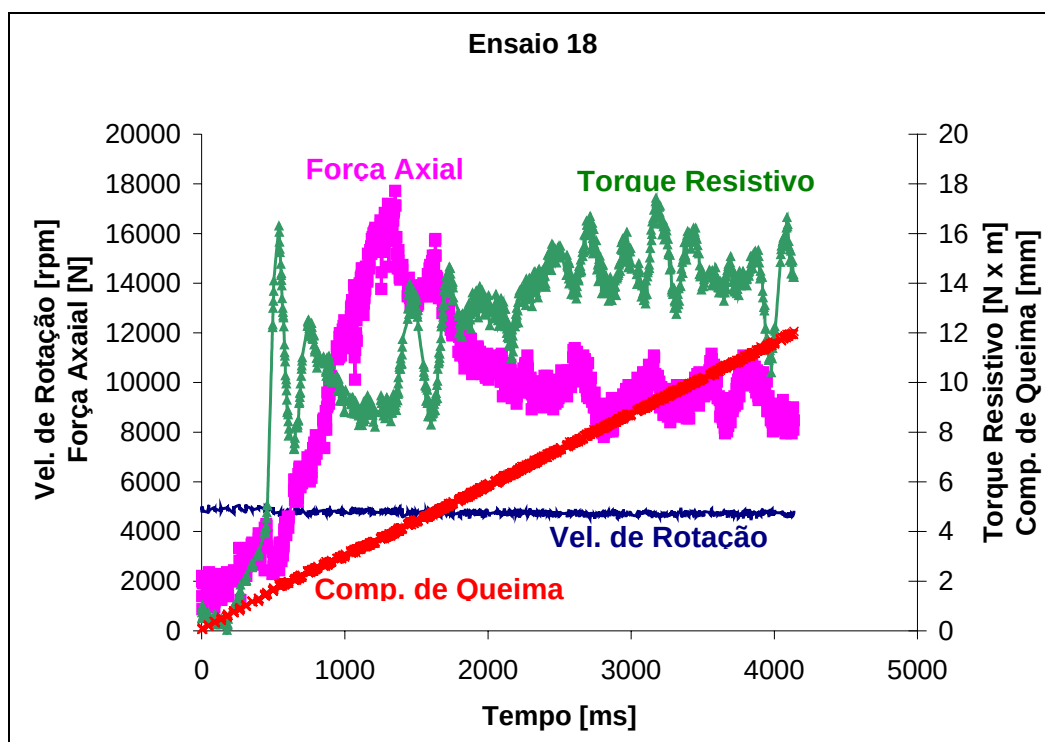


Figura 6.6: Dados adquiridos durante o ensaio 18. Cujos parâmetros de teste são descritos na tabela 6.2.

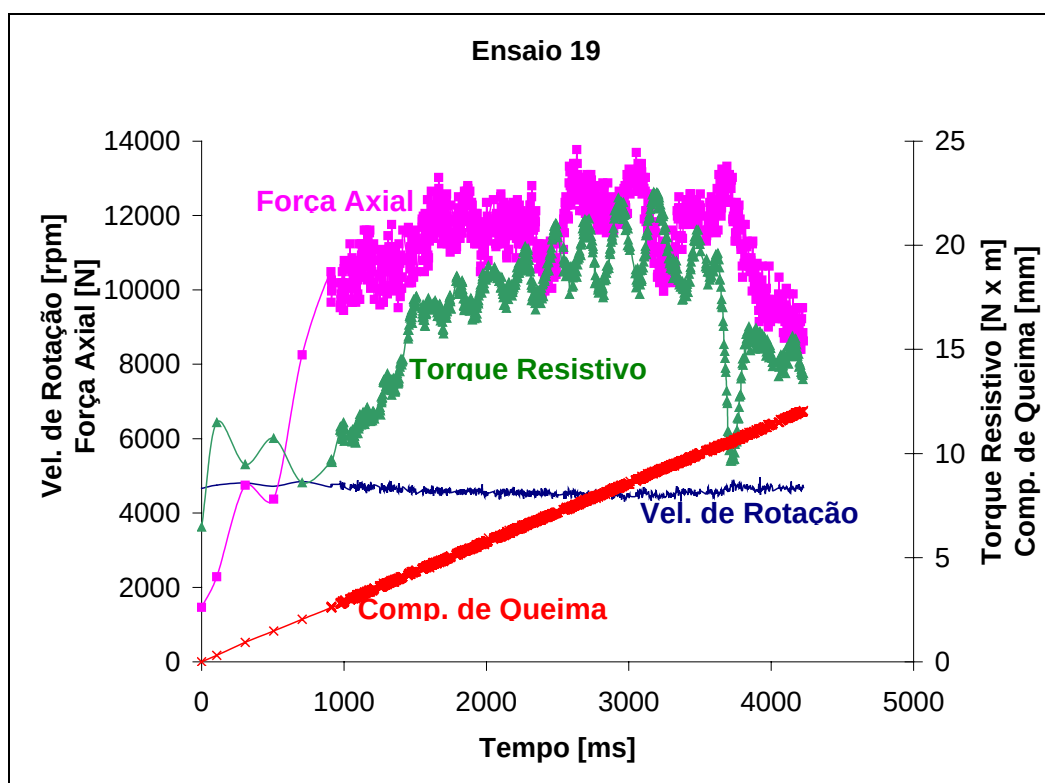


Figura 6.7: Dados adquiridos durante o ensaio 19. Cujos parâmetros de teste são descritos na tabela 6.2.

Através da análise do gráfico dos dados adquiridos para ensaio 20 (figura 6.8), percebe-se, nitidamente, um valor de pico máximo para o valor do torque resistivo (aproximadamente 30 N*m), bastante superior aos valores obtidos anteriormente, o que se explica devido ao aumento do diâmetro do pino. Outro detalhe interessante a ser observado na mesma curva do torque é a presença de uma queda abrupta do mesmo, explicada pela plastificação do material, formando um sistema visco-plástico, fenômeno semelhante ao que ocorre no processo de soldagem por atrito, fase τ_3 do processo de soldagem por atrito apresentado (Lebedev and Chernenko, 1992). A curva de velocidade de rotação aparece com um valor de mínimo, que não coincidentemente acontece no mesmo instante de torque máximo. Essa pequena queda é explicada pelo fato de que o sistema de controle levou alguns instantes para recuperar a velocidade de rotação em seu valor de referência inicial.

As curvas de força axial e de comprimento de queima seguiram a mesma tendência das curvas anteriores. Como solução a esse problema foi proposto que, para os ensaios subseqüentes, fosse alterada a regulação da vazão máxima do cartão de controle PID da força axial, aumentando o limite de vazão de 1,36 L/min para 2,72 L/min e, aumentando a taxa de queima de 3 mm/s para 6 mm/s. Espera-se que esse valor seja superior ao necessário para que o sistema faça o controle da força axial no valor de referência e, ainda, não muito elevado a ponto de gerar um impacto nos rolamentos no momento do contato inicial entre o pino de queima e o furo.

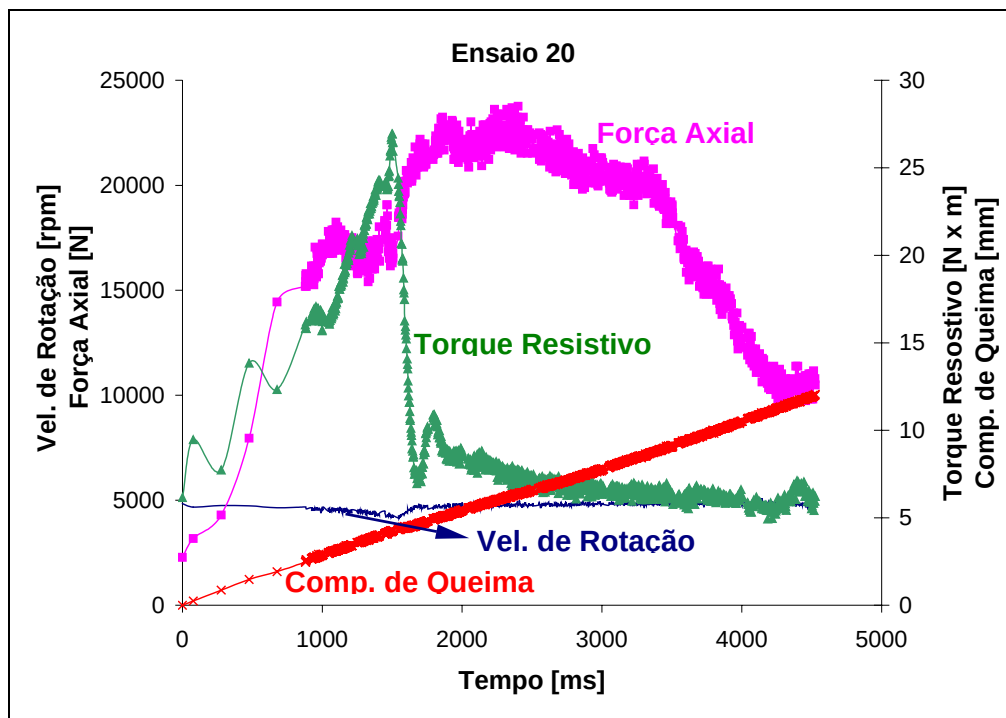


Figura 6.8: Dados adquiridos durante o ensaio 20. Cujos parâmetros de teste são descritos na tabela 6.2.

6.2 Macrografias e inspeção visual

Inicialmente foi realizada a análise macrográfica dos ensaios 2, 4 e 6. A figura 6.9 ilustra a macrografia do ensaio número 2. Percebe-se por essa macrografia, que não houve total preenchimento do furo por parte do material do pino, indicativo de uma baixa força axial.

Nas figuras 6.10 e 6.11, tem-se as macrografias dos ensaios 4 e 6, respectivamente. Nesses ensaios utilizou-se como parâmetro de entrada uma carga axial de 5000 N. Percebe-se, que para a carga axial aplicada houve quase que total preenchimento do furo da chapa de reparo pelo material do pino. No entanto, fica claro a presença de vazios, indicado por manchas escuras, na parte interna ao pino.

Além da presença desses vazios, pode ser visto em ambas as macrografias uma linha escura ao longo de todo o contorno da interface entre o pino de queima e a chapa de reparo, indicando a ausência de ligação metálica, fato que pode ser confirmado pela figura 6.11 b.

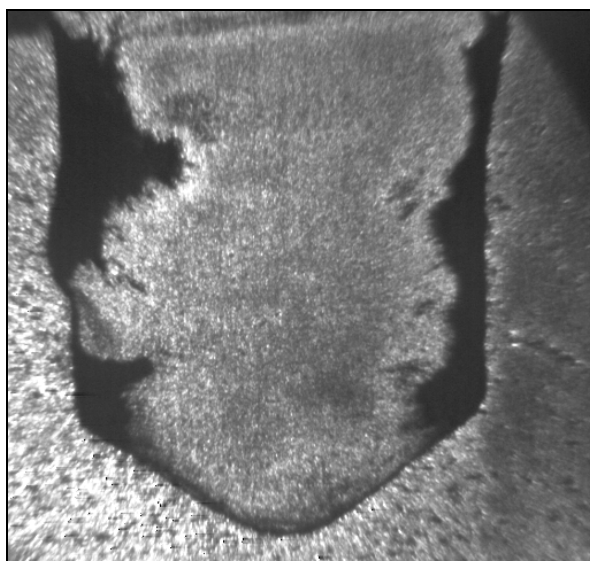


Figura 6.9: Macrografia do ensaio 2, indicando não haver total preenchimento do furo por parte do pino, além de não existir nenhum ponto com ligação metálica.

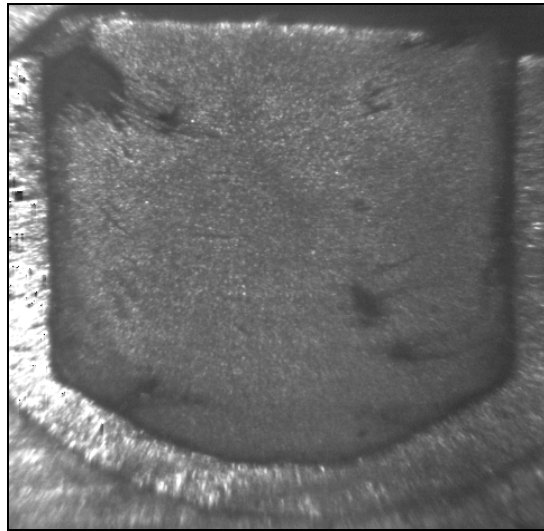


Figura 6.10: Macrografia do ensaio 4. Presença de vazios indicados por manchas escuras e ausência de formação de ligação metálica.

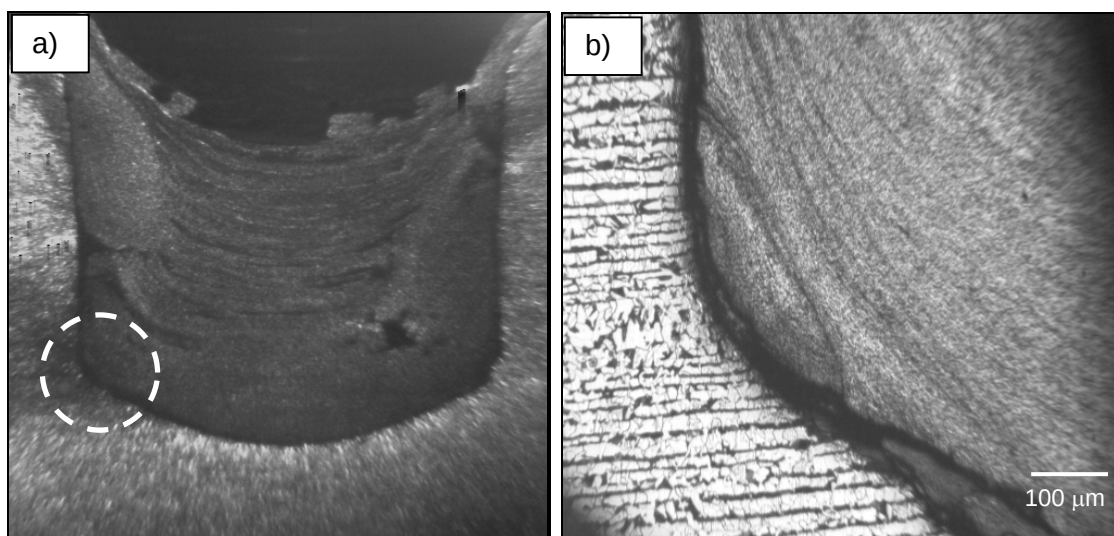


Figura 6.11: a) Macrografia do ensaio 6, com manchas escuras indicando a presença de vazios; e b) Ampliação mostrando vazios na interface entre a chapa de reparo e o pino de queima, indicando ausência de ligação metálica.

A figura 6.12 refere-se à chapa de reparo do ensaio 15 (os ensaios 13, 14 e 16 apresentaram característica similar). Observa-se por essa foto a presença de vazios em várias regiões da peça, principalmente no que concerne à parede lateral e na região de transição entre o fundo do furo e a parede lateral do mesmo. No entanto, ao contrário dos ensaios 2, 4, e 6, na interface entre o fundo da chapa de reparo e o pino de queima existe uma região com indicação de formação de ligação metálica, fato que será melhor discutido no item 6.3 desse capítulo.

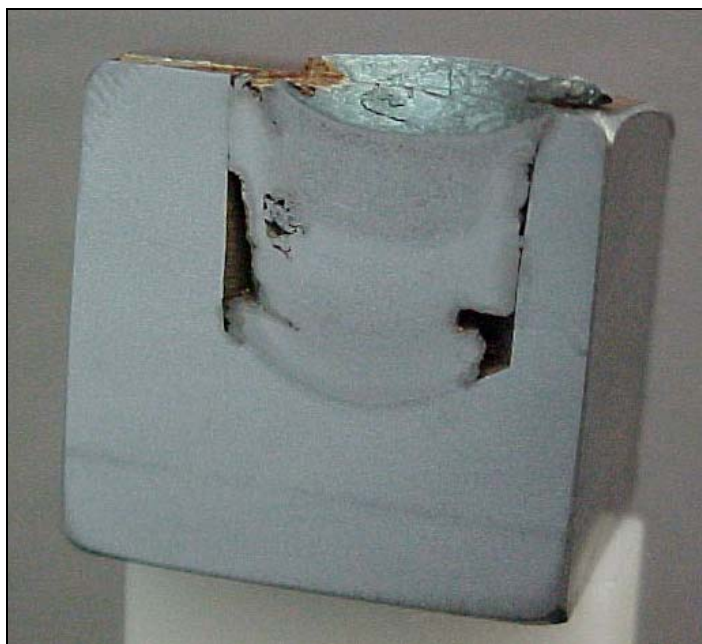


Figura 6.12: Foto da seção transversal do ensaio 15. Presença de vazios nas laterais e na região de transição fundo/parede lateral, e possível presença de regiões com ligação metálica.

Também foi realizada uma análise visual da seção transversal da peça do ensaio 20 (figura 6.13). Pela análise da mesma, percebe-se a falta de material plastificado na parte superior da peça, provavelmente devido ao maior comprimento do furo (figura 5.3), visto que o comprimento de queima manteve-se em 12 mm.

Na parede lateral inferior há um preenchimento quase que total de material, contudo há uma nítida linha escura indicando a falta de ligação metálica entre a chapa de reparo e o pino. Na região de transição entre o fundo e a parede lateral também não houve preenchimento do furo por parte do pino, indicando essa ser uma região também problemática necessitando de uma maior análise empírica. No que tange à parte inferior do furo, semelhantemente ao visto anteriormente, há uma nítida indicação formação de ligação metálica, a qual será analisada posteriormente no item 6.3.

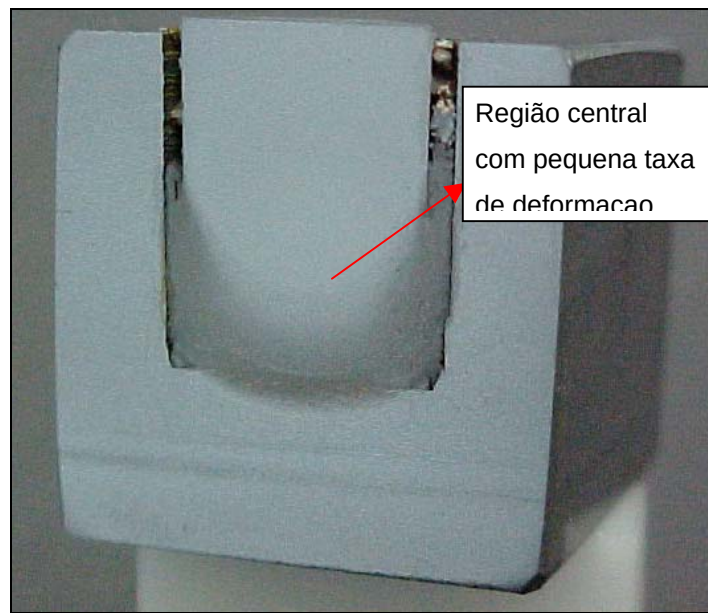


Figura 6.13: Foto da seção transversal do ensaio 20. Presença de vazios nas laterais e na região de transição fundo/parede lateral, e possível presença de regiões com ligação metálica.

6.3 Micrografias

Após verificada a indicação de formação de ligação metálica das amostras referentes aos ensaios de 13 a 16 e ao ensaio 20, foi realizado o estudo microestrutural dessas amostras.

Ao analisar as figuras 6.14 e 6.15 a), referentes à interface entre o fundo da chapa de reparo e o pino de queima, observa-se que, em ambos os casos, a nítida formação da ligação metálica entre as peças.

Através da análise dessas figuras, percebe-se também, uma transição brusca entre a microestrutura da chapa de reparo constituída de faixas de perlita intercaladas com faixas de ferrita e a microestrutura do pino. A microestrutura do pino, por sua vez, apresenta-se bastante refinada e, constituída, muito provavelmente de ferrita acicular.

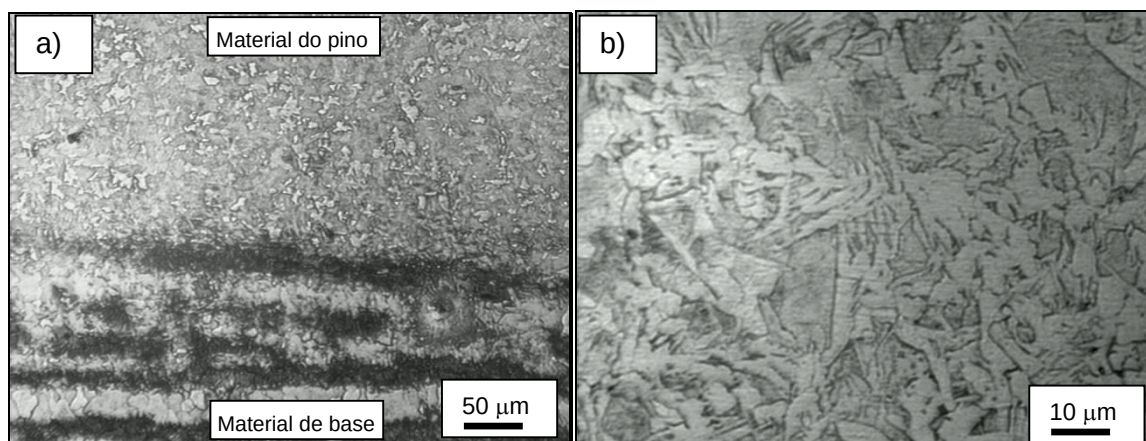


Figura 6.14: Figuras da análise microstrutural da amostra 15: a) Região de interface inferior entre o pino e o furo e b) Microestrutura do pino de queima.

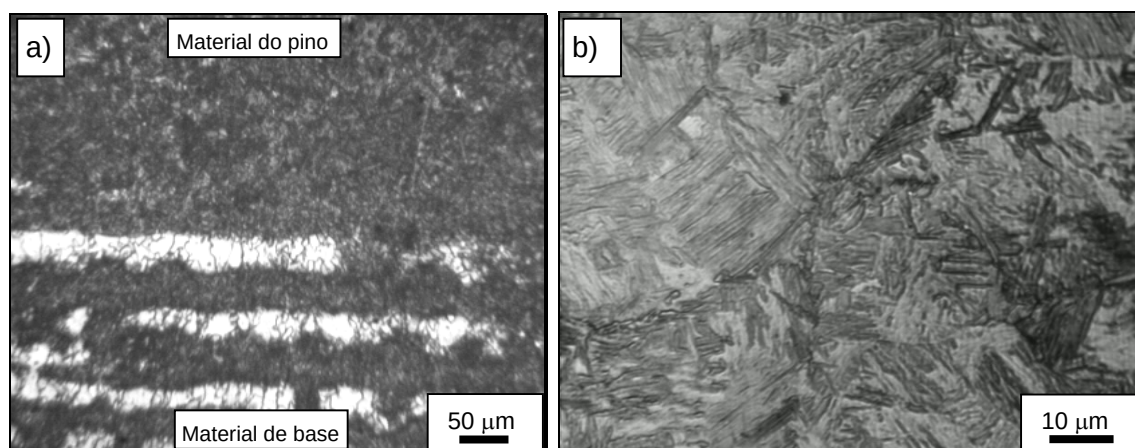


Figura 6.15: Figuras da análise microstrutural da amostra 20: a) Região de interface inferior entre o pino e o furo e b) Microestrutura do pino de queima.

6.4 Ensaios de microdureza

A figura 6.16 mostra o perfil de microdureza horizontal da amostra referente ao ensaio 20. Percebe-se nitidamente um ligeiro aumento de dureza na região referente à parte preenchida pelo pino de queima. Isso pode ser explicado pelo fato de que essa região contém uma microestrutura bastante refinada, com forte presença de ferrita acicular (figura 6.15), provendo, assim, maiores valores de dureza na região em relação ao metal de base. Outro detalhe que pode ser observado é uma pequena queda da microdureza ao longo do perfil a partir da posição 2,5 mm seguida, posteriormente, de um aumento a partir da posição 10 mm, decorrente da falta de deformação do pino em sua região central, como pode ser visto na figura 6.13

As figuras 6.17 e 6.18 ilustram os perfis verticais de microdureza das amostras referentes aos ensaios 15 e 20, respectivamente. Na figura 6.17 nota-se que a microdureza tende a aumentar seu valor à medida que se aproxima da região da interface, na qual assume um valor de pico, que pode ser explicado pela transição abrupta de microestrutura (figura 6.14). Assim como no perfil de microdureza horizontal referente ao ensaio 20, percebe-se que a região referente ao pino de queima possui valores de microdureza ligeiramente superiores aos do metal de base devido às suas características microestruturais.

Na figura 6.18, referente ao ensaio 20, observa-se situação semelhante, na qual, na região da interface entre o pino de queima e o furo há um valor de pico, com grandes oscilações para pontos laterais, oscilações essas decorrentes da transição de microestrutura. Outro fato importante a ser observado é que nesse caso o valor de microdureza teve pico 370 Kgf/cm^2 , bastante superior ao referente ao ensaio 15 (210 Kgf/cm^2), provavelmente decorrente de um maior encruamento nessa região quando comparado ao ensaio 15, ou ainda pelo fato de que a temperatura da região possa ter sido suficiente para que houvesse a austenetização do material e conseqüente formação de uma microestrutura martensítica.

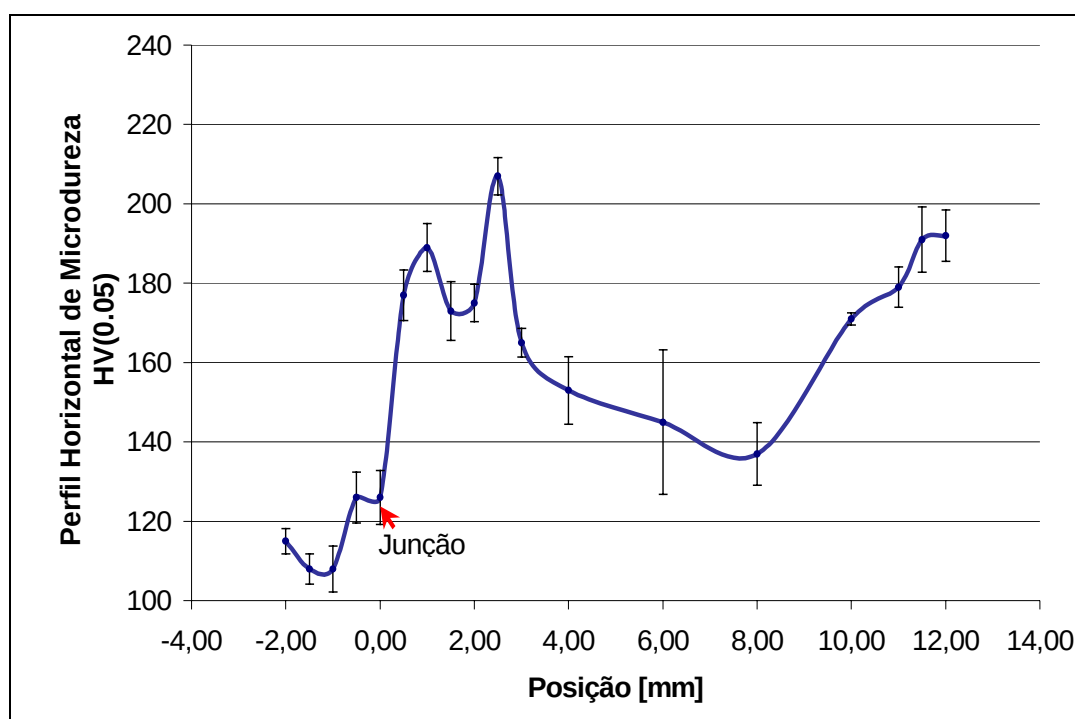


Figura 6.16: Perfil de microdureza horizontal da amostra referente ao ensaio 20.

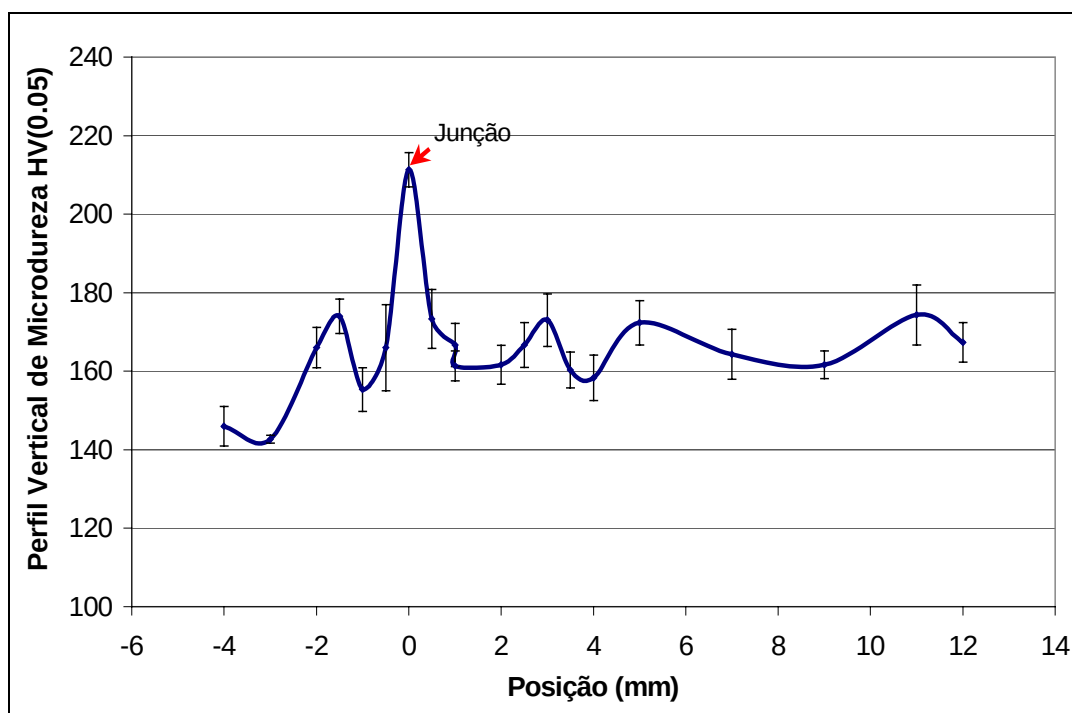


Figura 6.17: Perfil de microdureza vertical da amostra referente ao ensaio 15.

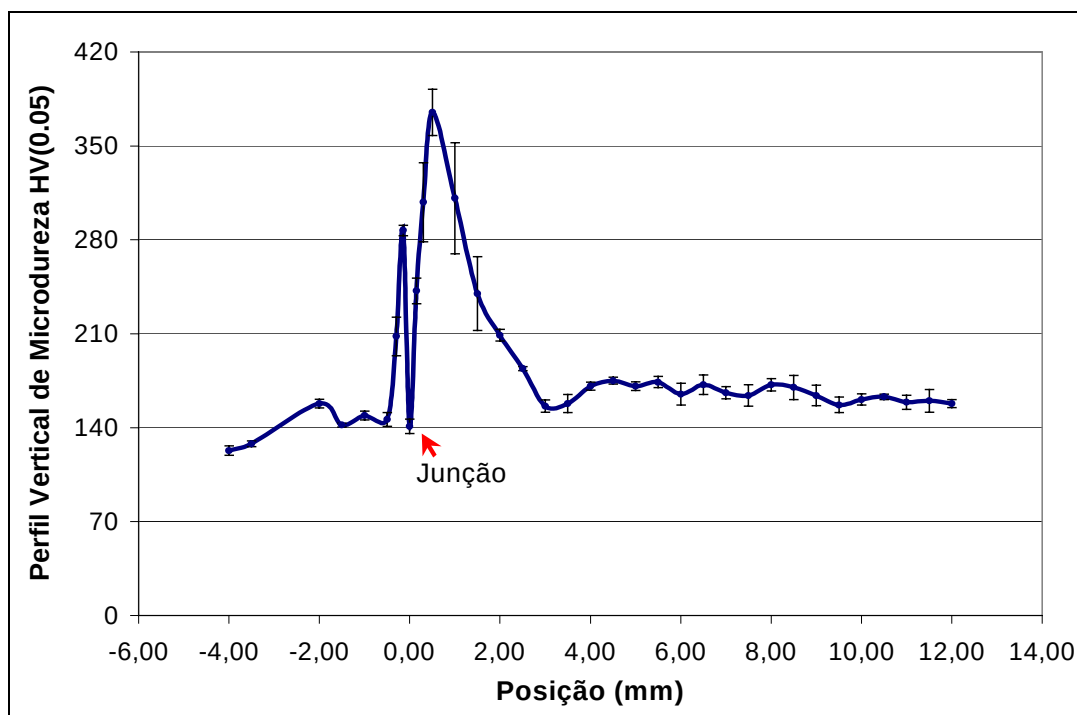


Figura 6.18: Perfil de microdureza vertical da amostra referente ao ensaio 20.

Capítulo VII

CONCLUSÕES

Ao longo desse trabalho foram desenvolvidas várias etapas do projeto de desenvolvimento de um equipamento para reparo de trincas por atrito. Dentre essas etapas, citam-se: desenvolvimento conceitual da estrutura física do equipamento, passando pelo dimensionamento, confecção de desenhos técnicos, desenvolvimento do sistema de controle e software, acompanhamento de fabricação, instalação e montagem, calibrações, ensaios preliminares de validação do equipamento e determinação dos limites operacionais.

O desenvolvimento de tais etapas permitiu obter um maior conhecimento do equipamento e do processo, estabelecendo parâmetros de ajuste do equipamento que melhor atendeu o processo, além de levantar dados baseados nos quais se possa propor uma matriz de ensaios buscando, dessa vez, otimizar o processo para um preenchimento total do furo pelo pino de queima, como também otimizá-lo no que tange às propriedades mecânicas da região de reparo.

Assim sendo, a partir do que foi exposto nessa dissertação pode-se tirar as seguintes conclusões:

- i - Ao final do projeto, obteve-se uma infra-estrutura, até então inexistente no país, para o estudo do processo de reparos de trincas por atrito, a qual permitirá estabelecer parâmetros ótimos do referido processo para os diversos tipos de materiais metálicos, visando a futura utilização do mesmo em estruturas “offshore” e/ou áreas classificadas. Também com a referida estrutura será permitido estudar outros processos utilizados na indústria aeronáutica, ou ainda novas vertentes do processo de reparo de trincas por atrito que possam vir a ser propostas no cenário mundial;
- ii - O equipamento desenvolvido pode trabalhar com velocidades de rotação de até 8000 rpm, força axial de 50 KN e força tangencial de 10 KN (situação em que se utiliza uma mesa x), simultaneamente. Sendo que os componentes críticos, que vêm a limitar as forças axial e tangencial e a velocidade de rotação do equipamento, são os mancais de rolamento, os quais possuem vida útil limitada;

- iii - O dimensionamento estrutural dos principais componentes da cabeça de reparo (haste vazada e cilindro externo) foi realizado com o auxílio do programa computacional comercial de elementos finitos ANSYS 6.0[®]. Tanto a haste vazada como cilindro externo, devido aos requisitos geométricos mínimos necessários para a sua fabricação, apresentaram coeficientes de segurança bastante elevados;
- iv - O sistema de controle utilizado, consta de cartões PID analógicos, que atuam em dois sistemas distintos: primeiramente, na força axial através da pressão de óleo da linha de entrada da haste hidráulica, sendo o elemento atuado a válvula direcional proporcional de controle de pressão. E, em segundo, na velocidade de rotação através da vazão de óleo da linha de entrada do motor hidráulico, sendo o elemento atuado a válvula direcional proporcional de controle de vazão. Ambas as válvulas direcionais proporcionais possuem tempo de reposta de 15 ms. O baixo tempo de resposta do sistema permite o perfeito controle das variáveis em um processo que dura em torno de 10 segundos.
- v - O programa computacional de controle do sistema foi implementado com o auxílio do programa comercial LabView 6.0[®]. O algoritmo do sistema permite a identificação de qualquer falha durante o processo, interrompendo o mesmo e gerando uma mensagem de segurança. As variáveis de processo são inseridas pelo usuário em um ambiente gráfico de fácil operação. O algoritmo também permite monitorar todas as variáveis em tempo real através de acompanhamento gráfico, além de armazenar todos os dados adquiridos para posterior exportação dos mesmos, permitindo o tratamento dos mesmos para uma melhor análise dos resultados. Para se ter uma maior facilidade de implantação e otimização do programa e, ainda, permitir a inserção de novas fases ao processo (inserção da mesa x por exemplo) o algoritmo foi estruturado em sub-rotinas;
- vi - Na calibração de todas as variáveis, à exceção do torque resistivo, foram observados coeficientes de correlação superior a 0,99, indicando uma elevada correlação. Foram observadas pequenas diferenças entre as equações de calibração do sinal de saída da força axial e velocidade de rotação, em relação às equações de calibração do sinal de entrada, diferenças essas decorrentes dos diferentes ganhos do sistema de controle no que tange aos sinais de entrada e saída;

- vii - Para o perfeito funcionamento do sistema é preciso trabalhar com pressões hidráulicas na entrada do motor hidráulico da ordem de 31,5 MPa. Pressão essa suficiente para prover torque ao motor hidráulico capaz de vencer o torque resistivo decorrente do atrito dinâmico entre a chapa de reparo e o pino de queima. A utilização de valores de pressão hidráulica inferiores pode levar ao travamento do motor hidráulico durante o processo de reparo;
- viii - Com aplicação de valores mais elevados de forças axiais, faz-se necessário, para que se tenha controle da força ao longo de todo o processo, a elevação da vazão máxima da válvula direcional proporcional de controle da força axial, pois para elevadas cargas axiais, a taxa de queima do pino ficou limitada por essa vazão (para a vazão de 1,2 L/min tem-se uma taxa de queima máxima do pino de 3 mm/s, inferior à necessária para o perfeito andamento do processo);
- ix - Ao longo do processo, à exceção dos ensaios em que houve o travamento do motor, o sistema de controle da velocidade de rotação se mostrou bastante eficaz mediante as variações de torque resistivo, não permitindo grandes oscilações da velocidade de rotação em relação ao seu valor de referência;
- x - Os valores de torque resistivo máximo são obtidos durante o início do processo, sendo que seu valor sofre uma forte queda em uma segunda etapa. Essa queda do torque é atribuída à formação de um regime semi-viscoço, pois o material do pino nessa etapa, devido às altas temperaturas apresenta baixos limites de cisalhamento favorecendo assim a diminuição do atrito entre o pino de queima e o furo da chapa de reparo reduzindo o torque resistivo;
- xi - A utilização de baixas cargas axiais (valores inferiores a 5 KN) dificulta a formação de ligação metálica entre o pino de queima e a chapa de reparo, além de deixar vazios no interior da região preenchida pelo pino de queima. Fica eliminado, portanto, a utilização do processo de reparo de trincas nessa faixa de força axial;

- xii - A utilização do processo em dois estágios, com carga axial do primeiro estágio inferior ao do segundo estágio, pode vir a favorecer o preenchimento do furo da chapa de reparo pelo pino de queima, quando da utilização de folgas radiais maiores, como também pode vir a evitar picos de torque no motor hidráulico no início do processo. Contudo, um maior estudo sobre os valores da força axial do primeiro e do segundo estágio deve ser realizados, para que se tenha valores ótimos que levem a formação da ligação metálica ao longo de toda a região de interface entre o pino de queima e o furo da chapa de reparo;
- xiii - Valores elevados de folga radial fazem com que não haja o preenchimento do furo da chapa de reparo pelo pino de queima, pois com folgas elevadas, o material do pino que é plastificado adere-se ao próprio pino, não entrando em contato com a parede do furo. Em contrapartida, valores de folga radial reduzidos podem levar a um excessivo torque resistivo que pode vir a ser superior ao limite do motor hidráulico ou ainda, ser superior ao limite de algum componente mecânico do equipamento;
- xiv - A região do pino deformada plasticamente apresenta valores de microdureza superiores ao do metal de base, indicando uma possível austenitização do metal e encruamento do mesmo. Fazendo que, essa região possa vir a ter propriedades mecânicas superiores ao material a ser reparado.
- xv - Não foi possível, dentro do escopo do trabalho, concluir quais são as faixas de valores das variáveis de entrada estipuladas pelo usuário ideais para que se obtivesse: a) total preenchimento do furo pelo pino de queima e b) formação da ligação metálica entre os mesmos;
- xvi - Estudos mais profundos e elaborados são necessários para que, não só se obtenha parâmetros ótimos (folga radial, força axial de cada estágio, velocidade de rotação de cada estágio, número de estágios e força de forjamento) do processo para os diversos tipos de materiais aplicados na indústria offshore, como também adquirir um maior conhecimento do processo como todo visando obter os seus limites de operação, aplicabilidade e potencialidades.

Capítulo VIII

TRABALHOS FUTUROS

O processo de reparo de trincas por atrito é relativamente recente, e poucos estudos fenomenológicos são encontrados na bibliografia a seu respeito. Com o intuito de sua futura utilização em campo, vários testes devem ser preliminarmente realizados. Assim, sugere-se a realização de ensaios de otimização dos parâmetros do equipamento, visando obter uma região de reparo totalmente preenchida pelo pino de queima e na qual haja formação de ligação metálica ao longo de todo o contorno entre o pino de queima e o furo da chapa de reparo.

Para realização desses ensaios, sugere-se a utilização de uma matriz, na qual a variação dos valores de parâmetros do processo permita tirar conclusões independentes da influência de cada um no processo como um todo, como também entender a influência de seu efeito combinado. Para tal, deve-se utilizar ferramentas estatísticas apropriadas de otimização. As principais variáveis avaliadas nessa etapa devem a força axial, força de forjamento, velocidade de rotação, folga radial, geometria de ponta do pino e do furo da chapa de reparo e profundidade do furo.

Também sugere-se a realização de ensaios em aços API utilizados na indústria “offshore”, com o intuito de avaliar as propriedades mecânicas da região de reparo. Nesses aços sugere-se ainda a realização de ensaios com o sistema submerso em água, visando compreender a influência do meio nas propriedades mecânicas e na qualidade da região de reparo.

Para a compreensão do processo, também sugere-se a inserção de células de carga na chapa de reparo, na parede lateral e no fundo do furo de modo a obter os esforços atuantes nessas regiões. De modo análogo, sugere-se a introdução de termopares nas mesmas regiões, obtendo os perfis de temperaturas ao longo do tempo em cada região. Com a combinação dessas duas informações poder-se-á ter um maior conhecimento do processo.

Também sugere-se, a realização de ensaios em aços inoxidáveis e aços carbono com furos passante. Recomenda-se, também, a realização de ensaios com proteção gasosa e em ambientes molhados

Já está sendo desenvolvida no Laboratório de Tribologia e Materiais da Universidade Federal de Uberlândia, uma nova cabeça de reparo a ser utilizada em campo, a qual contará com um motor hidráulico de maior torque. Com a nova cabeça de reparo será possível a

utilização de maiores cargas axiais e maiores diâmetros de pino avaliando suas influências no processo. Essa nova cabeça de reparo utilizará a mesma unidade hidráulica e sistema de controle da já então desenvolvida.

Finalmente, pretende-se, após os ensaios em laboratórios, realizar os ensaios de campo e verificar as reais potencialidades do processo.

Capítulo IX

REFERÊNCIAS

- ANDREWS, R.E.; MITCHEL, J.S., 1990 “Underwater repair by friction stitch welding”. Metals and Materials, pg.796-797.
- ASM – international, 1992 “ASM Handbook Volume 18: Friction, Lubrication, and Wear Technology”.
- ASM, 1993 “Welding Handbook”. Vol. 6. American Society of Metals.
- AWS, 1991; “Welding Handbook” 8th ed, ed R.L. O’Brien. Vol. 2, Miami: American Welding Society. pg. 955. (0-87171-354-3).
- BLACKMORE, G.R., 2000 “Back to the Future, Underwater Repair by Friction Welding”, Underwater Intervention, Houston, Jan 24-26.
- COLETTA, E.R; CANTRELL, M.A., 2002 “Friction Pull Plug Welding: Top Hat Plug Design” United States Patent. Patent Number: US 6.386.419 B2.
- DAWES, C.J.; HALL, A., 1999 “Friction Stir Welding” Training in Aluminium Application Technology – TALAT. Lecture 4410.
- DIN, 2000 “European committee for standardization”, Standard, DIN EN ISO 15620, 2000.
- DUFFIN, F.D.; BAHRANI, A.S., 1976 “The Deceleration Phase in the Friction Welding of Mild Steel”. Welding Research International, Vol. 6.
- ELLIS, C.R.G., 1972 “Continuous Drive Friction Welding of Mild Steel”. Welding journal, Ed. April pg. 183s – 197s.
- GREY, I.C., 1995 “Attachment of Marine Fasteners Utilizing Portable Friction Stud Welding”, Paper nº 25, Corrosion 95.

LEBEDEV, V.K.; CHERNENKO, I.A., 1992 "Friction Welding" Sov. Tech. Ver., Vol. 4
pg. 59 – 168.

LIN, B.C.; MU, C.K.; WU, W.W.; HUNG, C.H., 1999 "The Effect of Joint Design and Volume
Fraction of A360/SiC (p) Composites" Welding Research Supplement, pg. 100s – 108s.

MANNESMANN REXROTH, catálogo: "Fixed Displacement Motor A2FM, Open and Closed
Circuits" – www.boschrexroth.com.br.

MEYER, A., 2002 "Friction Hydro Pillar Processing", Dr.-Ing. Thesis an der Technischen
Universität Braunschweig, Hamburg.

NICHOLAS, E.D., 1995 "Friction Hydro Pillar Processing" in 11th Annual North American
Welding Research Conference. 7-9.11.95.

PINHEIRO, G.A.; BRACARENSE, A.Q.; MARQUES, P.V.; MEYER, A.; DOS SANTOS, J.F.;
BLAKEMORE, G.R., 2001 "Costura por Fricção: Fundamentos e Aplicações". 1º Cobef.

SU, J.A.; NELSON, T.W.; MISHRA, R.; MAHONEY, M., 2003 "Microestrutural Investigation of
Friction Stir Welded 7050-T651 Aluminium" Acta Materialia 51 pg. 713-729.

THOMAS, W.; NICHOLAS, D.; JONES, S.B.; LILLY, R.H.; DAWES, C.J.; DOLBY, R.E., 1992
"Friction Forming". TWI, Cambridge, Patent N°. EP 0 602 072 B1.

THOMAS, W.; NICHOLAS, D., 1997 "The Need for Gas Shielding – Positive Advantages for
Two Friction Processes.

THOMAS, W.; SMITH, P.T., 1997 "UK Patent Application", GB 2 306 365 A, Applicant – TWI,
07.05.1997.

VILL, V.I., 1962 "Friction Welding of Metals". Ed. I.P. Baykova. New York: American Welding
Society.

WWW.PETROBRAS.COM.BR;

