



ANÁLISE DA FRATURA DE UM SISTEMA DE TRANSPORTE DE GÁS EXPOSTO EM MEIOS AGRESSIVOS¹

Edson Carlos da Silva | edson-carlos.silva@basf.com | UNISAL

Jorge Luiz Rosa | jorge.rosa2@fatec.sp.gov.br | FATEC

Camila Stephanie Gonçalves | camilastephaniegofe@hotmail.com | FATEC

José Rubens Camargo | jrubenscamargo@gmail.com | FATEC

Amir Rivaroli Junior | amir.rivaroli@fatec.sp.gov.br | FATEC

Emerson Augusto Raymundo | emersonaugustoray@gmail.com | FAETEC

RESUMO

A ideia básica desse projeto de pesquisa surgiu na busca a uma ação preventiva, pois a empresa passou por um processo de parada não programada dentro de um sistema de tubulação contínua, colocando em risco a segurança da planta, gerando desperdícios, gastos excessivos com manutenção e tempo de retorno operacional. Foram realizados estudos neste processo investigativo por meio de análises composição química para identificação do aço em questão, análises metalográficas, ensaios mecânicos e análise de fratura dos ensaios e da região comprometida. Por meio das análises macroscópicas e pela microscopia eletrônica de varredura, verificou-se que a fratura no tubo era uma fratura frágil com aspectos de clivagem. O sistema de tubulação fragilizou-se por conta das baixas temperaturas de trabalho. Essa perda de ductilidade também pode ser observada nos resultados dos testes de impacto. Assim pode se concluir que por meio das informações obtidas e a combinação de vários fatores contribuíram para que ocorresse a fratura.

Palavras-chave: Corrosão; análise metalográfica; mecanismo de fratura frágil.

1 XXIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XIX Encontro Latino Americano de Pós-Graduação e IX Encontro de Iniciação à Docência - Universidade do Vale do Paraíba 2019.

INTRODUÇÃO

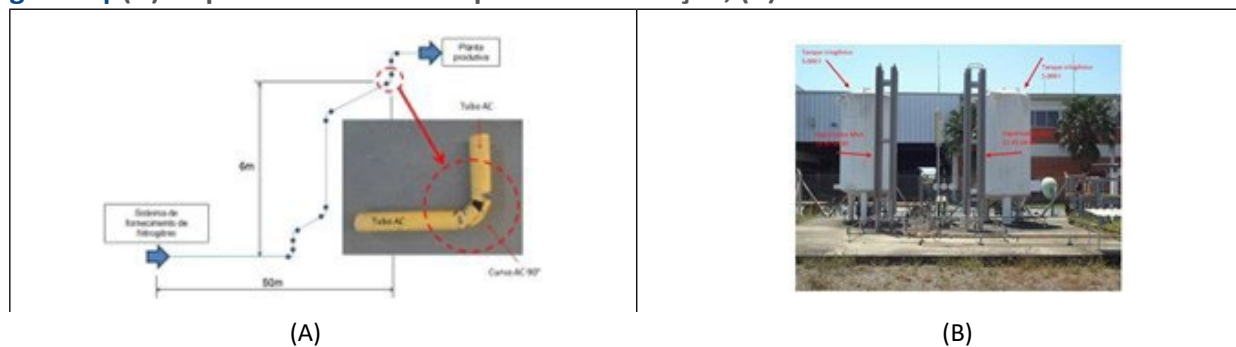
O envelhecimento dos aços ou o processo de fluência pode aumentar o risco de fratura podendo gerar perdas econômicas significativas e ainda consequências ambientais. A prevenção de falhas geralmente é realizada por atividades de monitoramento contínuo. Inspeções visuais e medições de ultrassom ajudam a detectar a formação e propagação de trincas (Gabetta et al., 2008) (Fassina, et al., 2012).

O mecanismo de fratura em temperatura de transição pode ocorrer, a fratura neste processo pode ter aparência microscópica de clivagem que é uma superfície de pequena deformação plástica ao longo do plano cristalino, já fraturas acima da temperatura de transição pode apresentar aspectos microscópicos chamado de “dimples”, que são pequenos vazios agrupados, esses “dimples” também chamados de microvazios coalescentes, são provenientes de deformação plástica induzida (Dowling, 1993). A degradação do material da tubulação pode ser observada por meio de testes mecânicos ou análises metalográficas por meio de amostras extraídas da própria parede do tubo. No entanto, as análises das estruturas metálicas podem conter alternativas não destrutivas mais rápidas e de menores custos. Em particular, metodologias de caracterização mecânica baseadas em técnicas de identificação, como líquido penetrante e ultrassom podem ser consideradas neste contexto. Este trabalho teve como objetivo analisar a fratura para que pudesse alterar-se qualquer parâmetro ou item do componente da conexão.

METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido numa empresa multinacional do segmento químico e petroquímico localizada no município de Guaratinguetá/SP. O evento do presente estudo aconteceu em suas instalações a cerca de 50 metros de um parque de tanques criogênicos que faziam o fornecimento de nitrogênio gasoso por intermédio de vaporizadores a uma temperatura de aproximadamente 25°C e pressão de operação de 14 bar. A imagem da Figura 1 mostra a tubulação instalada a 6 m de altura, por um “pipe rack” que garante a vedação da selagem do sistema de agitação de um reator numa planta produtiva.

Figura 1 | (A) Esquema do local de ruptura da tubulação, (B) sistema de fornecimento.



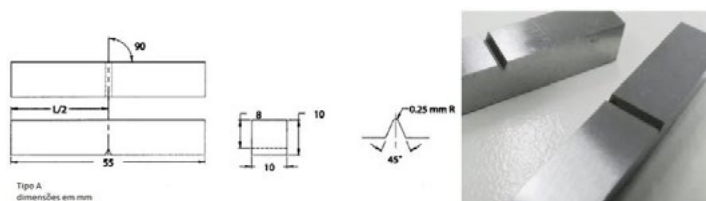
Fonte: Próprio autor (2019).

O sistema de fornecimento é apresentado na Figura 1 (b) que é composto por dois tanques criogênicos com capacidade de 5000 litros cada, modelo CSNT5000, possui dois conjuntos de vaporizadores, modelo MVA GB80, totalizando 160 Nm³/h ligados em paralelo, suficiente para cobrir uma demanda máxima anual de 41,33 m³/h que é aproximadamente ¼ da capacidade total do sistema. Após a detecção do rompimento, como ilustrado na Figura 1(A), realizou-se uma investigação no “pipe rack” do conjunto de acessórios da tubulação de 2” de diâmetro. Este rompimento bloqueou o fornecimento do nitrogênio gasoso para o interior do selo no sistema de agitação do reator na planta produtiva. Os acessórios da tubulação incluíam uma curva de 90°, material AC ASTM A234 Gr. WPB soldada numa seção de um trecho da tubulação de 2” de diâmetro em material AC ASTM A106 Gr. B. Baseado nas informações obtidas pelo fornecedor, do projeto de instalação e da operação; foram-se levantadas hipóteses que poderiam ter causado a fratura tais como, fadiga da tubulação, desalinhamento na linha, golpes de aríetes, tensão residual de processos de soldagem, corrosão, vazamento de nitrogênio líquido na tubulação. Em seguida foi proposto a obtenção das amostras fragmentadas a fim de realizar-se uma investigação técnica das possíveis causas que poderiam ter levado a ocorrer à fratura. Realizaram-se ensaios, tais como, análise química, análise macrográfica, análise metalográfica, análise de impacto e microscopia eletrônica de varredura (MEV).

A análise química foi realizada na própria empresa, utilizando-se um espectrômetro de emissão óptica da marca ESPECTROMAXX, modelo MLSP-01. Para as análises metalográficas foi utilizado o reagente químico Nital 5%, composição 5 ml de ácido nítrico concentrado (HNO₃) e 95 ml de álcool. A aplicação foi feita em temperatura ambiente. Foi realizado um ensaio de impacto que teve como objetivo uma avaliação da resistência ao impacto dos corpos de prova em diferentes

temperaturas para uma relação com o processo de fratura ocorrida. Os corpos de provas foram entalhados nas dimensões especificadas em norma técnica conforme pode ser visualizado por meio da Figura 2.

Figura 2 | Corpo de prova para ensaio de impacto Charpy.



Fonte: Próprio autor (2019).

O ensaio foi realizado em temperaturas de 25°C, 0°C, -10°C, -20°C, -30°C, -40°C e -50°C até a temperatura de -20°C, o resfriamento foi conduzido por meio de um banho termostizado, controlado por uma câmara, as reduções de temperatura ocorreram gradualmente em meio a nitrogênio líquido e acetona, a temperatura foi controlada com o auxílio de um termômetro digital.

RESULTADOS

O resultado obtido na análise química da amostra no tubo revela a composição química de um aço carbono ASTM A106 Gr. B, de acordo com o padrão ASTM A106 na Tabela 1.

Tabela 1 | Composição química do aço carbono na tubulação em percentagem.

Elementos	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Co
Concentração	0,24	0,166	0,89	0,03	0,02	0,04	0,01	0,04	0,01	0,01
Elementos	Cu	Nb	Ti	V	Pb	Sn	W	B	N	Fe
Concentração	0,01	0,004	0,01	0,001	0,004	0,001	0,01	0,01	0	98,5

Fonte: Próprio autor (2019).

O resultado obtido na análise química da amostra na curva de 90° revela a composição química de um aço carbono ASTM A234 Gr. WPB, de acordo com o padrão ASTM A234, conforme pode ser visualizado na Tabela 2.

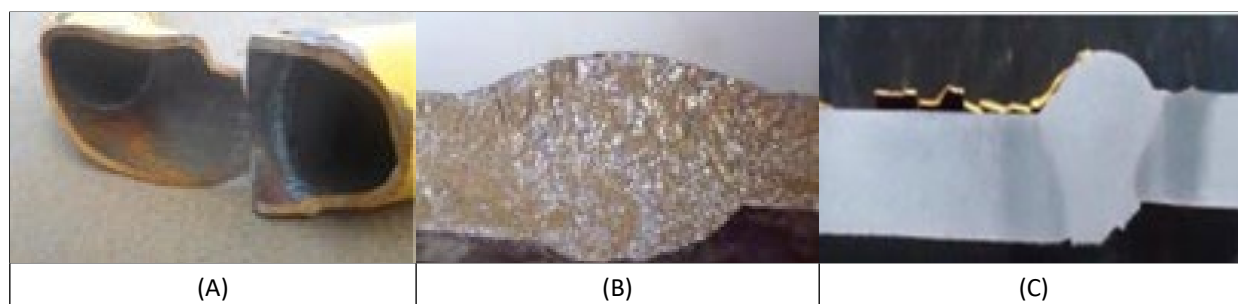
Tabela 2 | Concentração de elementos químicos na curva de 90° em porcentagem.

Elementos	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Co
Concentração	0,267	0,236	0,5	0,029	0,01	0,062	0,002	0,036	0,015	0,023
Elementos	Cu	Nb	Ti	V	Pb	Sn	W	B	N	Fe
Concentração	0,004	0,004	0,001	0,001	0,003	0,001	0,010	0,001	0	98,8

Fonte: Próprio autor (2019).

A Figura 3 (A e B) representa as superfícies de fratura do tubo, do cotovelo e a macrografia (C) da região da solda do tubo.

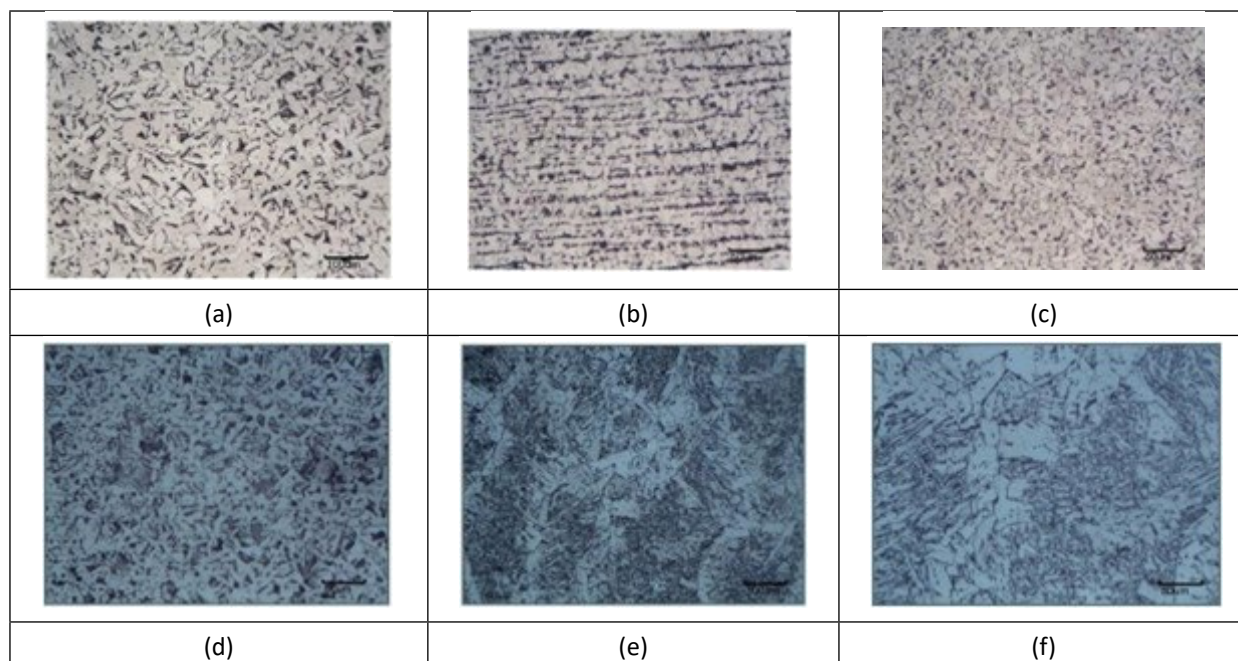
Figura 3 - (A), (B) Imagens da região fraturada, (C) Macrografia da região soldada da fratura.



Fonte: Próprio autor

A Figura 4 expõe os resultados das micrografias das regiões fraturadas do cotovelo e dos acessórios.

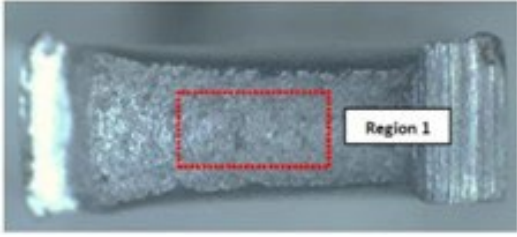
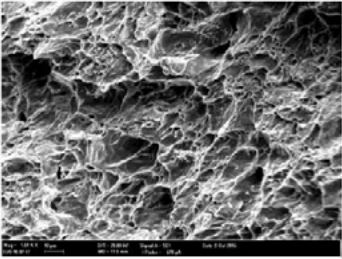
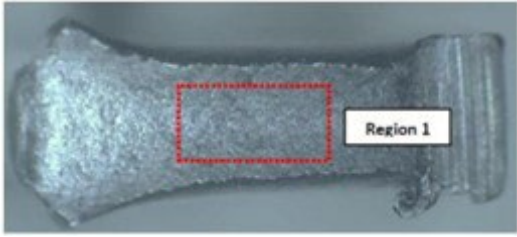
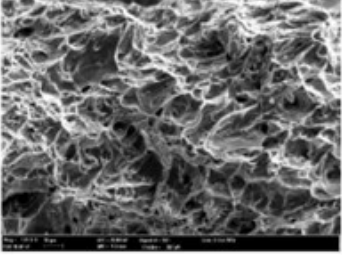
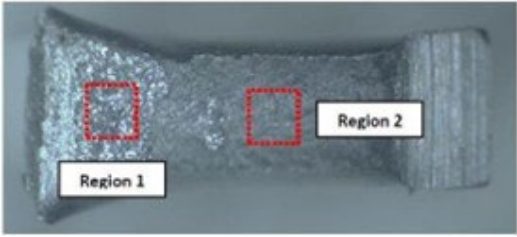
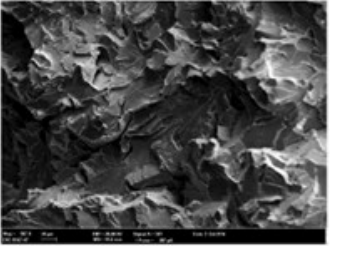
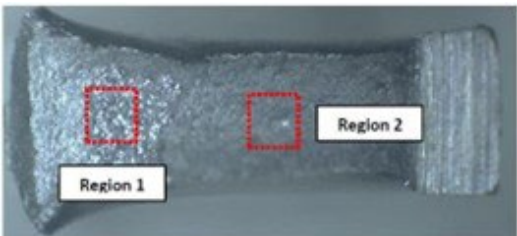
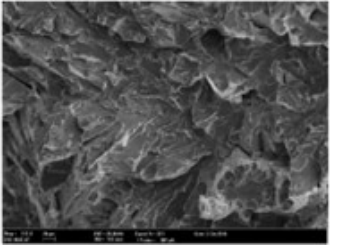
Figura 4 | Micrografias das regiões fraturadas.



Fonte: Próprio autor (2019).

As imagens da Figura 5 representam as análises por microscopia eletrônica de varredura da região fraturada.

Figura 5 | Imagens dos ensaios de impacto Charpy.

	
<p>(a) Temperatura ambiente</p>	<p>(b) MEV da região 1 da figura (a)</p>
	
<p>(c) Temperatura de zero graus celsius</p>	<p>(d) MEV da região 1 da figura (c)</p>
	
<p>(e) Temperatura de -10°C</p>	<p>(f) MEV da região 1 da figura (e)</p>
	
<p>(g) Temperatura de -20°C</p>	<p>(h) MEV da região 1 da figura (g)</p>

Fonte: Próprio autor (2019).

DISCUSSÃO

Como relação aos dois tipos de materiais envolvidos no processo de soldagem e o processo de soldagem em si, a composição química não diferem muito na concentração de carbono, as diferenças estariam na concentração de silício e manganês, esses elementos contribuem de alguma maneira nas propriedades mecânicas dos aços. O silício, por exemplo, aumenta a resistência ao desgaste, porém, torna o material menos dúctil. O manganês aumenta o campo da austenita, neste sentido os dois componentes aproximam em convergência em relação à fragilidade e ductibilidade respectivamente, ou seja, quando um tem um teor maior de manganês o outro tem uma concentração maior de silício. Por outro lado, o manganês pode aumentar a dureza quando houver uma concentração de tensão, por esse motivo utiliza-se em indústrias de rodas e ferrovias. Nas imagens da Figura 3, pode-se notar que a característica da fratura, assemelha-se a uma fratura frágil, mesmo por meio da evidente corrosão na sua superfície. Foi possível visualizar também um aspecto espelhado da fratura, que é característica resultante de falha frágil. O cordão de solda não apresentou visualmente descontinuidades.

Por meio das análises metalográficas, foi possível observar que a microestrutura da tubulação e do acessório da tubulação, cotovelo de 90°, era formada por ferrita e perlita como pode ser observado por meio das imagens (a) e (b) respectivamente da Figura 4, estruturas típicas de aços de baixo carbono. Pode ser observado ainda que no acessório os grãos se apresentam mais finos do que o material do tubo. Esta diferença é considerada normal, pois os processos de fabricação desses componentes são diferentes, sendo o tubo laminado e os acessórios de tubulações são forjados. A imagem (c) da mesma Figura 4 representa a zona termicamente afetada da região da solda, pode ser visualizada uma formação de grãos ferríticos e perlíticos de geometria não uniforme.

As imagens (d) da Figura 4 representa a zona termicamente afetada do cotovelo, pode ser observado que há diferença perante a imagem (c) da ZTA da metade do tubo, a presença da perlita é mais intensa e com pequenas frações de estruturas martensíticas. As imagens (e) e (f) pertencem à zona fundida da solda do metal de adição, nota-se a presença de ferrita Widmanstätten e perlita com perfil idiomórfico. Por meio das análises realizadas em MEV dos ensaios de impacto proposto, pode ser visualizada duas regiões com diferentes mecanismos de fratura, por clivagem e fratura

dúctil, imagens (b) e (d) da Figura 5. A fratura por clivagem pode ocorrer em materiais que apresentam baixa resistência mecânica em situações que estão a baixas temperaturas. Conforme foi diminuindo as temperaturas dos ensaios e aproximando a região da extremidade do corpo de prova às fraturas por clivagem foi se tornando mais evidentes, como pode ser observado através das imagens (f) e (g) da Figura 5. Não foi observada neste trabalho a temperatura de transição do material, pois poderia levar a condição de fragilização, pois os processos de fragilização podem ocorrer por alguns fatores, a temperatura de transição inerente do material que pode ser aminizado por adição de vários elementos de liga, porém neste material a concentração está muito abaixo para que isso fosse diminuído.

Outra situação da perda de resistência seria concentração de tensão ou aparecimento de outra componente de tensão, ou seja, de tensões bidimensionais para tridimensionais, se enquadrando o material na teoria da mecânica de fratura elasto-plástica MFEL, saindo do conceito dúctil para frágil. Outro fator que pode auxiliar seria o aparecimento de uma terceira tensão de cisalhamento, a corrosão pode auxiliar neste processo. A concentração desta tensão no eixo “z” pode se igualar as tensões do plano x e y levando a condições hidrostáticas. Esse evento geométrico pode ser representado pela teoria Von Mises, ou seja, sai do círculo de Mohr para materiais dúcteis para materiais frágeis.

CONCLUSÃO

Após os testes realizados nas amostras enviadas para análises, concluiu-se que os acessórios da tubulação estavam em conformidade com o especificado pelo cliente, tanto na composição química quanto na resistência mecânica. A microestrutura dos componentes apresentou consistente ou conforme especificado. A qualidade do cordão de solda foi analisada por satisfatória, não mostrou descontinuidades que poderiam inutilizar sua aplicação.

Com relação às análises macro e microscópica, verificou-se que a fratura no tubo foi de maneira geral fratura frágil por clivagem. O sistema de tubulação se apresentou como material frágil quando foi submetido a baixas temperaturas. A perda da ductilidade pode ser observado por meio do teste de impacto.

Pode-se concluir que depois das análises e testes realizados nos laboratórios, ou seja, por meio das investigações junto ao processo e as informações colhidas em campo que o rompimento pode ter sido por

uma combinação de dois fatores, tais como, a corrosão e concentração de tensão principalmente a baixas temperaturas. O projeto de abastecimento do gás nitrogênio não possuía uma válvula de estanque que garantia no momento em que não se tinha consumo pela produção, o sistema não liberaria o nitrogênio líquido em baixas temperaturas para a tubulação levando a acumular em pequenas quantidades principalmente no componente de estudo, logo o processo de corrosão poderia se instalar. Com relação a trabalhos futuros poderá ser analisada a temperatura de transição, os efeitos do processo de corrosão na concentração de tensão, a relação com as teorias da mecânica de fratura e desenvolvimento de projeto e layout.

REFERÊNCIAS

BOLZON, G.; MOLINAS, B.; TALASSI, M. Mechanical characterisation of metals by indentation tests: an experimental verification study for onsite applications, **Strain**, 48(6), 517–527, 2012.

DOWLING, N.E. Mechanical Behavior of Material, Engineering Methods for Deformation, **Fracture and Fatigue**, Prentice – Hall International, edition, p.309-310, 1993.

FASSINA, P.; BOLZONI, F.; FUMAGALLI, G.; LAZZARI, L.; VERGANI, L.; SCIUCCATI, A. Influence of hydrogen and low temperature on behavior of two pipeline steels, **Engineering Fracture Mechanics**, 81, p. 43–55, 2012.

GABETTA, G.; NYKYFORCHYN, H.; LUNARSKA, E.; ZONTA, P.P.; TSYRULNYK, O.T.; NIKIFOROV, K.; HREDIL, M.I.; PETRYNA, D.YU.; VUHERER, T. In-service degradation of gas trunk pipeline X52 steel, **Materials Science**, 48(1), p.104–119, 2008.