

Caracterização de Fratura em um tie-in de material Incoloy 800HT de uma Tubulação de Vapor Superaquecido.

Leonardo Peres ORCID0000-0002-9179-2925¹, Silvio Thorlay²

^{1/2} Companhia Brasileira de Estireno - Unigel
Avenida Nove de Abril, 2400 - Cubatão – SP, Brasil.

Resumo: Caracterização de uma ruptura em um tie-in de $\frac{3}{4}$ " de material Incoloy 800HT, de uma tubulação de saída de vapores superaquecidos de um dos reatores do processo de Estireno, observado durante a sua campanha operacional, sendo substituído por um novo tie-in após paralização do processo e purga do sistema. Com o trecho retirado, foi realizado exame visual na região da fratura, sendo observada características de ruptura frágil, com uma pequena deformação localizada apenas nas regiões onde, aparentemente, foi exercida a tensão que levou o componente a ruptura, local de instalação da mangueira de aço flexível no tie-in. Outra característica evidenciada posteriormente na análise metalográfica que colabora com a suspeita de fratura frágil foi a sensibilização do material de solda e do tubo, na região da ruptura, devido a forma irregular e em picos das faces separadas pela ruptura das superfícies. Com intuito de confirmar a suspeita de fratura frágil, foram preparadas amostras na superfície da fratura para análises metalográficas, além de remoção de limalhas de metal nas regiões das soldas e do tubo, para identificação da composição química dos componentes. As análises realizadas confirmaram a suspeita inicial de fratura frágil, indicando como causa principal a redução da tenacidade do material, associada a sensibilização do Incoloy pela sua exposição prolongada na temperatura de ao redor de 900°C, pode-se caracterizar também que o esforço da mangueira flexível instalada no tie-in teve contribuição significativa para a origem da fratura.

Palavras chave: Macrografia, Sensibilização em Incoloy, Fratura Frágil, Micrografia Óptica.

Fracture Characterization in a tie-in of Incoloy 800HT of Material from Superheated Steam Pipe.

-----ABSTRACT-----

Characterization of a rupture in a $\frac{3}{4}$ " tie-in made of Incoloy 800HT material, of a superheated steam outlet pipe from one of the Styrene process reactors, observed during its operational campaign, being replaced by a new tie-in after process shutdown and system purge. With the section removed, a visual examination was carried out in the region of the fracture, and characteristics of brittle rupture were observed, with a small deformation located only in the regions where, apparently, the tension was exerted that led the component to rupture, the site of installation of flexible steel hose on tie-in. Another characteristic evidenced later in the metallographic analysis that collaborates with the suspicion of brittle fracture was the sensitization of the weld material and the tube, in the region of rupture, due to the irregular shape and in peaks of the faces separated by the rupture of the surfaces. In order to confirm the suspected brittle fracture, samples were prepared on the surface of the fracture for metallographic analyses, in addition to the removal of metal filings in the regions of the welds and the tube, to identify the chemical composition of the components. The analyzes carried out confirmed the initial suspicion of brittle fracture, indicating as the main cause the reduction in the tenacity of the material, associated with the sensitization of Incoloy due to its prolonged exposure to a temperature of around 900°C, it can also be characterized that the effort of the flexible hose installed in the tie-in had a significant contribution to the origin of the fracture.

Keywords: Macrography, Sensitization in Incoloy, Fragile Fracture, Optical Micrograph.

Date of Submission: 03-06-2023

Date of Acceptance: 17-06-2023

I. Introdução

Em um processo produtivo industrial, nesse caso, as transferências de produtos entre equipamentos e expedições (carregamentos), são realizados por sistemas de tubulações, formados por conjuntos de tubos, curvas, válvulas e outros tipos de acessórios de forma a interligar os equipamentos de processo, regidos por normas de construção e montagem, nesse caso o código ASME B.31.3 [1]. Nesse artigo, destaca-se um acessório de tubulação denominado "Tie-in", nomenclatura normalmente utilizada para definir tubos

interligados em pontos da tubulação através de weldolets ou sockolets, chamados de derivações, geralmente de tubos de dimensões inferiores para instalação de instrumentos usados para registro e controle das principais variáveis operacionais.

Uma vez que, o processo opera com temperaturas elevadas e gases com teor de polímeros provenientes da obtenção de estireno, os materiais empregados nas tubulações de transferência são aços especiais. Nesse caso foi adotado a especificação Incoloy 800HT, um metal com alto teor de cromo e níquel, com a composição química, 32Ni-21Cr-0.3~1.2 (Al+Ti) 0.08C [2], a presença de Titânio e Alumínio melhoram as propriedades mecânicas dessa liga metálica quando submetidas a elevadas temperaturas por longo tempo.

Durante o processo produtivo de Estireno, na tubulação de saída do Reator Primário, que transfere vapor superaquecido a aproximadamente 900°C para o Reator Secundário, foi evidenciado vazamento de vapor por um tie-in de 3/4" instalado na geratriz superior desse sistema, foto 01.



Foto 01 – Posição do tie-in de 3/4" onde ocorreu o rompimento durante campanha de produção de estireno, objeto desse estudo.

Nesse acessório de tubulação está instalado um Indicador de temperatura (TI) que mede a temperatura do fluido transferido pela tubulação de saída de vapor do Reator Primário. Nesse mesmo acessório está instalada uma magueira flexível de aço inoxidável ligada a uma tubulação de Nitrogênio para realização de purgas de inertização. O indicador de temperatura encaminha um sinal de 4 a 20V para a sala de controle do processo.

Após a paralização do processo produtivo para avaliação do vazamento, foi constatada a ruptura do trecho de tubo do tie-in, próximo a solda de ligação desse componente com o Sockolet, instalado na tubulação, foto 02, esse um colar de redução usado para fazer a união na forma de boca de lobo, nos casos de derivações com grande diferença de diâmetro.



Foto 02 – Detalhe da ruptura na região da solda de instalação do tie-in (sockolet x Tubo de 3/4").

Com cuidado para preservar a região de ruptura foi realizada a remoção do isolamento térmico deste trecho de forma a não prejudicar a retirada de amostras para análise, com objetivo de identificar os mecanismos de danos envolvidos na falha, pois esse vazamento foi responsável pela paralização do processo produtivo, que levaram a perdas materiais e ameaça a segurança do processo e pessoal. As ameaças a segurança não foram concretizadas graças as ações realizadas pelas equipes de operação e a brigada de contenção a emergências.

Para aumento da confiabilidade desse sistema, e redução da possibilidade de uma nova ocorrência similar, imediatamente teve início uma avaliação de fratura. O exame visual revelou superfícies com características que indicavam grande possibilidade de fratura frágil, fato bastante difícil de ocorrer em materiais submetidos a altas temperaturas, por isso foi retirada amostra para análise metalográfica com objetivo de identificar a causa da perda de tenacidade do metal.

As faces irregulares na superfície da fratura, com a presença de vários picos e vales em todo período confirmavam a suspeita de fratura frágil, com uma análise mais detalhada da superfície da fratura foi possível identificar que a origem da falha na ZAC (zona Afetada pelo Calor) da solda de união com a tubulação principal (boca de lobo).

Após consulta a literatura técnica pertinente verificamos que uma das possíveis causas da perda de tenacidade poderia estar associada a sensitização da ZAC da solda e passamos a procurar indícios desse processo.

Para tal foram realizados testes laboratoriais nos corpos de prova na região da união soldada para análise metalográfica, usando Microscopia Eletronica de Varredura. A composição química da solda foi determinada através de técnicas de Emissão Óptica.

Juntando os resultados do exame visual, consulta a literatura e confirmação da sensitização do material da solda, ficou claro que a causa mais provável da falha foi a perda de tenacidade do material provocada pela sensitização da solda que associada a concentração de tensões pela carga da mangueira ligada ao tie-in, levou a iniciação e propagação de uma trinca. Como foi observado também indícios de perda de espessura na forma de pitting na região, esse fato pode ter contribuído para a concentração de tensões na região.

II. Materiais e Métodos

Como primeiro método de avaliação do dano, ainda com o tie-in instalado na tubulação, foi removido o isolamento térmico ao entorno da região da ruptura na derivação de ¾", preservando o cenário, para sua análise em campo, foto 03.



Foto 03, Detalhe da região onde houve o início da ruptura, e remoção do isolamento térmico ao seu entorno.

Para promover as análises laboratoriais, foi solicitada a remoção do corpo de prova retirando-a com lixadeira elétrica de 4" com disco de corte, na superfície do Sockolet instalado na tubulação principal de 24", para não prejudicar a análise do dano quanto a remoção de material excessivo, foto 04.



Foto 04 – Vista do tie-in de ¾" removido da tubulação.

Já com o corpo de prova removido do seu local de instalação, a amostra foi separada em 2 duas peças, sendo uma da região de soldagem e outra relacionada ao próprio tubo de $\frac{3}{4}$ ", para avaliação visual das superfícies da ruptura, evidenciando em primeira análise, a possibilidade de fratura frágil, em função do tipo de ruptura apresentada nas duas faces separadas, com geometria de picos e vales, e com pequena deformação na região onde se iniciou o processo de ruptura, fotos 05 e 06.



Foto 05 – Vista da superfície de ruptura da região de solda, com indicação do início do dano, com deformação.



Foto 06 - Vista da superfície de ruptura da região do tubo, com indicação do início do dano, com deformação.

Com essa análise, foi possível direcionar as regiões de avaliação, sendo essas as de deformação plástica, o que indica o início da ruptura, sendo realizado cortes nas seções transversais dos corpos de prova, tanto da região da solda, quanto da extremidade do tubo de $\frac{3}{4}$ ", fotos 07 e 08, respectivamente.



Foto 07 – Detalhe do corte transversal no corpo de prova da região da solda do tie-in onde ocorreu a deformação plástica (início da ruptura).



Foto 08 – Detalhe do corte transversal no corpo de prova da região do tubo de 3/4” do tie-in onde ocorreu a deformação plásticas (início da ruptura).

Com os cortes dos corpos de prova executados, foram realizados ensaios macrograficos para identificação e avaliação das trincas, utilizando o proprio microscópio otico TNM 07PL, com ampliação de imagem de até 5x.

Uma vez que, durante a avaliação dos metodos a serem utilizados na caracterização do dano, foi possível inferir a sensitização, foi realizado apenas o ensaio de Micrografia Eletronica de Varredura – MEV, utilizando o microscopio Apreo 2 MEV/FEG.

Desta forma, os corpos de prova, tanto da solda, quanto do tubo de 3/4”, foram preparados nas regiões de interesse, essa corresponde a região de início da fratura, conforme indicado nas fotos acima.

Complementando as análises, foram realizados ensaio de dureza no durometro de modelo HP250 de fabricação WPM (fabricante alemã), nas superfícies dos corpos de prova, para comparação e identificação correta do material aplicado nessas regiões, seguindo descrito na norma ASTM E92, ed.17 [5].

Quanto as avaliações da composição química, para caracterização dos materiais do tubo e solda, foram removidos materiais com retifica elétrica de ponta montada de carboneto de tungstênio para minimizar a questão de contaminação da amostra, com remoção em torno de 10g, para indentificação de propriedades através de Emissão Ótica, à temperatura ambiente de aproximadamente 23°C, seguindo o procedimento descrito na ASTM A 751, ed. 14a [3].

3. Resultados e discussões

Como primeira avaliação do dano, ainda com o tie-in instalado em campo, foi possível identificar a ruptura da derivação de 3/4” na região oposta ao esforço da mangueira flexível instalado na extremidade do tie-in, com possibilidade de ser um contribuinte ao dano, foto 09.



Foto 09. Detalhe da região onde houve o início da ruptura, indicando o lado posterior a instalação da mangueira flexível, instalada na extremidade do tie-in.

Durante a análise visual após a remoção do tie-in de 3/4” da tubulação onde estava instalada, foi caracterizada a ruptura frágil na região da solda superior do Sockolet com o tubo de 3/4”, em virtude das características das faces, tanto da solda, quanto do tubo, com pouca deformação, apenas na região onde ocorreu o início da ruptura, foto 10.



Foto 10 – Vista da região com deformação plástica onde ocorreu o início da ruptura.

Corroborando com essa primeira avaliação, observa-se região com cisalhamento dos planos cristalinos causando depressões nas duas faces da ruptura pela separação dos grãos do material, com aparecimento de trincas na região onde ocorreu o início da ruptura do corpo de prova.

Nessa mesma região, início da ruptura, ainda visualmente, pode-se evidenciar trincas do lado interno do tubo de $\frac{3}{4}$ ", indicando o mecanismo de dano de sensitização.



Foto 11 – Vista das trincas visuais no interior do tubo de $\frac{3}{4}$ ", na região da ruptura, com trincas características de sensitização.

Ainda nessa região, com ampliação de 40x, fica mais evidente a caracterização da sensitização, pelas trincas evidenciadas na região do início da ruptura, de acordo com a figura 01 e 02.

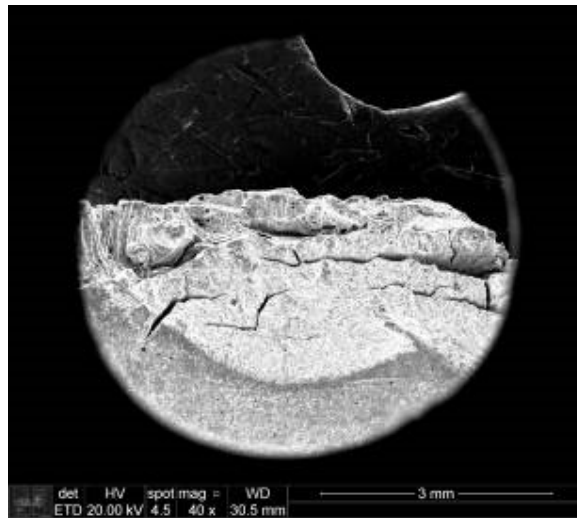


Fig.01 – Vista ampliada a 40x da região interna do corpo de prova do tubo com trincas na região da ruptura.

Quando ampliado a 100x no Microscópio de Varredura – MEV, é possível também identificar as marcas de deformação, ilustrada na figura 02, confirmando a característica frágil da fratura, estima-se inclusive que

a trinca tenha tido propagação rápida e transgranular, com pouca deformação plástica, pela separação de planos cristalinos, essa propagação da trinca no interior dos grãos provoca a textura facetada observada na figura 03.

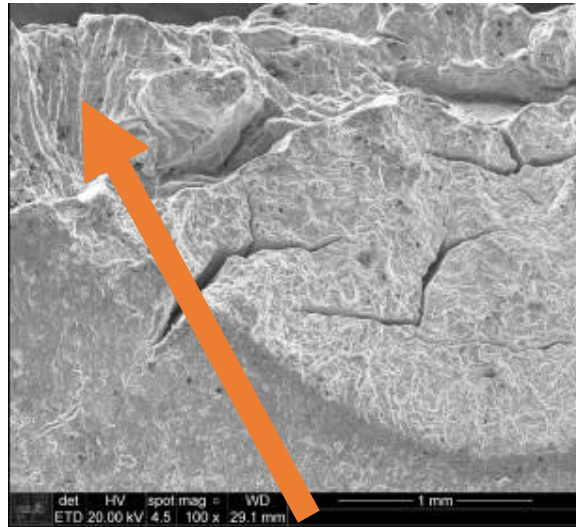


Fig.02 – Imagem ampliada a 100x, com evidência de deformação plástica na região do início da fratura.

Quanto a sensitização foi melhor identificada após ensaio laboratorial de MEV, onde foi possível identificar o cisalhamento dos planos cristalinos, conforme ilustrado na figura acima.

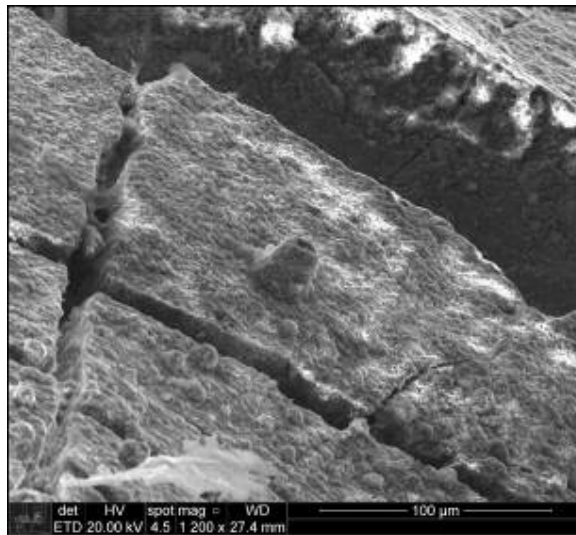


Fig.03 – Imagem das trincas Intergranulares no material 800HT.

Desta forma, fica evidente a sensitização do material, resultado da redução localizada na camada passivada interna do tubo pela concentração de cromo nos contornos de grão do metal causada pela precipitação de carbonetos de cromo que ocorrem durante a operações com altas temperaturas, com o advento de tensão de tração provocada pelo esforço excessivo da mangueira flexível tensionada durante sua campanha, evidenciada na foto 03.

Esse mecanismo é responsável pela separação dos planos cristalinos pelos contornos de grãos, conforme ilustrado na figura 04, provocado pelo aumento significativo de precipitados intergranulares ricos em cromo, colaborado pelo efeito de tensões e elevada temperatura de operação de 900°C.

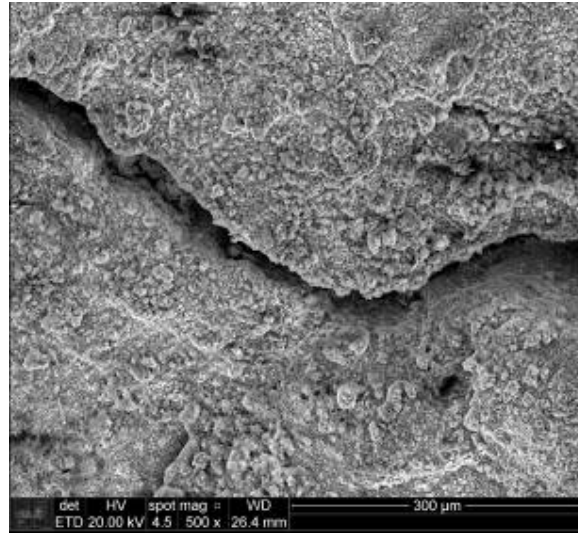


Fig.04 – Ilustração da sensitização promovida integranularmente, na região superficial interna do tubo.

Avaliando o interior da trinca, é possível identificar o cisalhamento dos planos cristalinos do material, pelas marcas de clivagem, figura 05.

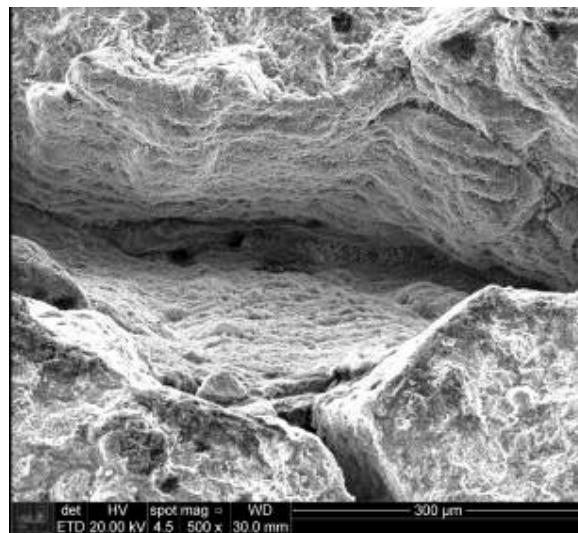


Fig.05 – Marcas de clivagem no cisalhamento dos planos cristalinos, no interior da trinca.

Os resultados de dureza realizado no corpo de prova do tubo, conforme ilustrados na tabela 01, indica valores abaixo aos especificados nas normas de fabricação de tubos de Incoloy 800HT. Essa perda de propriedades mecânicas, evidenciada pela dureza, deve estar associada ao longo período operacional a que o material foi exposto (cerca de 15 anos).

Propriedade Mecânica Incoloy 800HT - Dureza					
		Normativa		Encontrada	
		HV	HB	HV	HB
Min		160	120	194	75
Max		200	170		80

Tabela 01 – Resultados do ensaio de dureza em comparação com as propriedades normativas do incoloy 800HT [4].

Quanto as análises químicas das amostras retiradas pelo processo de remoção por limalhas, evidenciou-se propriedades química semelhantes, referentes a composição química do tubo conforme tabelas 02 e 03.

Composição da Liga Incoloy 800HT								
Elemento	Al	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Si	Ti
Min (%)	0	19	0	39,5	0	30	0	0,15
Max (%)	1	23	0,75	50	1,5	35	1	0,6

Tabela 02 – Propriedades química do Incoloy 800HT

Composição da Liga Incoloy 800HT - Amostrado								
Elemento	Al	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Si	Ti
Max (%)	0,5	20,5	0,04	46	0,56	31,2	0,34	0,54

Tabela 03 – Propriedades química do Incoloy 800HT retirados da amostra, após ensaio de Emissão Ótica [4].

III. Conclusões

Após análises laboratoriais dos corpos de prova pelo Microscópio Eletrônico de Varredura MEV fica evidente a caracterização da fratura frágil, provocada pelo processo de sensitização do Incoloy 800HT na região da ZAC da solda de instalação do tubo do tie-in de 3/4" com o Sockolet instalado na tubulação de transferência de vapor ao Reator de Estireno, conforme ilustrado na foto 2.

A localização do início da fratura na região de solda evidência que o processo de sensitização da solda foi a principal causa da fratura, corroborado pela aplicação de

Tensão pela mangueira conectada ao tie-in sem uma suportação adequada.

Referências Bibliográficas

- [1]. ASME B.31.3, AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. ASME IX: Process Piping Guide, Revision of ASME IX. New York, 2009.
- [2]. Alloywire, <https://www.alloywire.com.br/products/incoloy-800ht>: Composição química do 800HT. São Paulo, 2023.
- [3]. ASTM A751, ed.14a, Standard Test Methods and Practices for Chemical Analysis of Steel Products, In: Annual Book of , ASTM Standards, 2021.
- [4]. ASTM A92, ed.17, Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials, In: Annual Book of, ASTM Standards, 2019.
- [5]. TORK, Centro Tecnológico de Materiais. Relatório final de Ensaio – 1093/670/07 OS n° 23025225 MCSP (Ensaio de Dureza e Análise Química). São Paulo SP.

Leonardo Peres. "Caracterização de Fratura em um tie-in de material Incoloy 800HT de uma Tubulação de Vapor Superaquecido" *The International Journal of Engineering and Science (IJES)*, 12(6), (2023): pp. 54-60