

AVALIAÇÃO DE DEFEITOS TIPO "GOUGE" EM TUBOS DE AÇO INOX 304L UTILIZADOS NA FABRICAÇÃO DE AGULHAS HIPODÉRMICAS*

Alexandre Iartelli¹

Resumo

A produção de cânulas, materiais utilizados na fabricação de dispositivos médicos, é feita a partir de uma tira de aço inoxidável 304L laminado em tubos e posteriormente soldado por processo GTAW. Após esse procedimento, o tubo sofre uma série de passes de trefilação com recozimento e sem recozimento, para diminuir seu diâmetro. Por fim, são realizadas as etapas de corte, apontamento e limpeza do material. Durante a trefilação, uma série de defeitos chamados "GOUGE" é encontrada, provocando altas perdas nos processos, em função das desconformidades com as especificações técnicas. Inicialmente, no intuito de caracterizar e detectar possíveis causas dos defeitos foram analisadas as características do processo, desde a soldagem até a trefilação sem recozimento. Em seguida, foram feitas análises com microscopia de varredura, para avaliar algumas características metalúrgicas do material. Como o objetivo era caracterizar o defeito, diversas causas possíveis surgiram, como a influência da corrente ou velocidade de soldagem, temperatura de tratamento juntamente com as reações do gás Amônia na geração das desconformidades, a velocidade de trefilação ou a quantidade de óleo lubrificante. Concluiu-se que o processo de soldagem não foi o causador da falha, bem como a trefilação sem recozimento. A possibilidade da causa da descontinuidade ficou com o processo de trefilação com recozimento. Assim, diversas propostas para trabalhos futuros surgiram.

Palavras-chave: Gouge; GTAW; Trefilação; Cânulas.

EVALUATION OF DEFECTS TYPE "GOUGE" IN 304L STAINLESS STEEL PIPES USED IN THE MANUFACTURE OF SURGICAL NEEDLES

Abstract

The production of cannulae, materials that are used in the manufacture of medical devices are made from a 304L stainless steel strip rolled in a pipe and then welded by GTAW process. After this procedure, the tube undergoes in a series of drawing passes with and without annealing to reduce its diameter. Finally, the steps are carried cut, and pointing and cleaning material. In the drawing, a series of defects called "gouge" is found, causing high losses in the process, depending on the technical specifications discontinuities. Initially, in order to characterize and detect possible causes of defects analyzed the characteristics of the process, from welding to drawing without annealing. Then, analyzes were performed with scanning electron microscopy, to evaluate some metallurgical characteristics of the material. As the goal was to characterize the defect, several possible causes emerged as the influence of current or welding speed, temperature treatment along with the reactions of ammonia gas in the generation of discontinuities, the speed of drawing or the amount of lubricating oil. It was concluded that the welding process is not the cause of the fault as well as drawing without annealing. The possibility of the cause of the discontinuity was annealed drawing process. Thus, various proposals have emerged for future work.

Keywords: Gouge; GTAW; Drawing; Cannulae.

¹ Engenheiro Metalurgista, MsC, Engenheiro Especialista, Cânulas, Becton Dickinson Brasil Ltda., Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Os aços inoxidáveis são classificados em função das fases metalúrgicas presentes, diferentes dos outros materiais que são classificados em função da composição química. As três principais fases que classificam estes materiais são: austenita, ferrita e martensita. Desta forma os aços inoxidáveis possuem os seguintes tipos: Austeníticos, Ferríticos, Martensíticos, Duplex (aproximadamente 50% de austenita e 50% de ferrita) e os Endurecíveis por precipitação - PH's [1], Tabela 1.

Tabela 1. Teores em % de massa, dos principais constituintes dos aços inoxidáveis [3]

| Teores dos constituintes da liga em % | | | | | | | | |
|---------------------------------------|-----------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| Classe | Tipo | C | Mn | Si | S | P | Cr | Ni |
| Austeníticos | AISI 304 | 0,08 | 2,00 | 1,00 | 0,03 | 0,04 | 19,00 | 9,00 |
| Austeníticos | AISI 316* | 0,08 | 2,00 | 1,00 | 0,03 | 0,04 | 17,00 | 12,50 |
| Martensíticos | AISI 410 | 0,15 | 2,00 | 1,00 | 0,03 | 0,03 | 12,50 | |
| Martensíticos | AISI 420 | 0,15 | 2,00 | 1,00 | 0,03 | 0,03 | 13,00 | |
| Ferríticos | AISI 430 | 0,12 | 1,25 | 1,00 | 0,03 | 0,04 | 17,00 | |
| Ferríticos | AISI 439 | 0,07 | 1,00 | 1,00 | 0,03 | 0,03 | 18,00 | |

O instituto norte americano do ferro e aço (AISI) classifica os aços inoxidáveis com três números, às vezes seguido por uma letra, por exemplo: 304, 304L, 410 e 430. Os aços inoxidáveis ferríticos e martensíticos são ferromagnéticos. Os duplex são relativamente magnéticos, devido ao seu conteúdo elevado de ferrita; e os austeníticos não são ferromagnéticos [2].

1.1. Aços Inoxidáveis Austeníticos

Os aços inoxidáveis austeníticos são amplamente utilizados devido a sua boa resistência à corrosão, resistência mecânica a quente, trabalhabilidade, soldabilidade e biocompatibilidade para os que possuem baixo teor de níquel.

A austenita é estável nestes aços a partir da adição de elementos austenizantes (carbono, nitrogênio, cobre), merecendo destaque o níquel, que é adicionado em teores acima de 8%. Os aços inoxidáveis austeníticos possuem boa ductilidade, tenacidade e alongação durante o ensaio de tração [3].

A série de aços austeníticos mais utilizada é a 300, baseada no sistema 18Cr-8Ni, contendo elementos adicionais com a finalidade de promover propriedades adequadas.

A liga 304 (UNS 30400) é considerada a raiz desta série de aços, e juntamente com o 304L (UNS 30403), representam os aços inox austeníticos mais utilizados.

Os avanços na fabricação e refino proporcionou evolução na fabricação dos aços inoxidáveis, conforme mostrado na Figura 1, a partir do AISI 304.

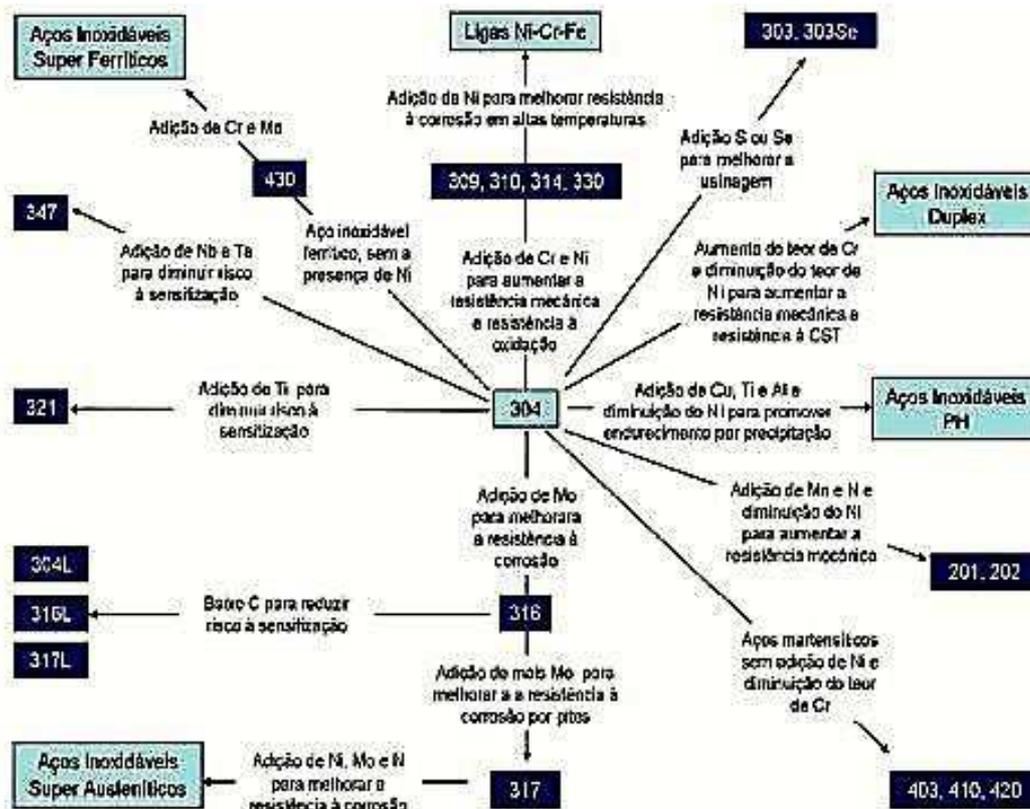


Figura 1. Diferentes tipos de aços inoxidáveis a partir da modificação do aço 304 [3].

Os aços inoxidáveis são ligas que contêm altos teores de cromo, níquel e molibdênio em sua composição química. O cromo, em especial, confere excelente resistência à corrosão quando comparados aos aços carbono [4].

O cromo presente nessas ligas entra em contato com o meio externo oxidante, formando uma fina camada passiva constituída principalmente de Cr_2O_3 , que possui estabilidade nas condições atmosféricas. A efetividade desta camada está vinculada ao teor mínimo de cromo igual a 10,5%. Desta forma, denomina-se aço inoxidável as ligas Fe-Cr, Fe-Cr-C e Fe-Cr-Ni com teor de cromo pelo menos de 10% a 12% de cromo, que permite a formação da camada passiva [3].

Nas Tabelas 2 e 3 tem-se as composições químicas e teores dos principais aços inoxidáveis austeníticos, onde podemos notar que as diferenças entre o 304e o 316L está ligada à presença de Molibdênio na composição deste último.

Tabela 2. Propriedades mecânicas: laminados a frio - aços inoxidáveis AISI 304 e 316L.

| AISI | Limite de Resistência (MPa) | Limite de Escoamento (MPa) | Alongamento 50mm (%) | Dureza Rockell-B (HRB) | Limite de Fadiga (MPa) |
|------|-----------------------------|----------------------------|----------------------|------------------------|------------------------|
| 304 | 700 | 300 | 54 | 85 | 241 |
| 304 | 600 | 280 | 58 | 75 | 241 |
| 316L | 530 | 240 | 40 | 88 | - |

Fonte: ArcelorMittal - 2006.

Tabela 3. Composição química: aços inoxidáveis AISI 304 e 316L.

| AISI | C | Mn | Si | P | S | Cr | Ni | Mo | N ₂ |
|------|------|------|------|-------|------|-------|--------|-----|----------------|
| 304 | 0,08 | 2,00 | 0,75 | 0,045 | 0,03 | 18-20 | 8-10,5 | - | 0,10 |
| 316L | 0,03 | 2,00 | 0,75 | 0,045 | 0,03 | 16-18 | 10-14 | 2-3 | 0,10 |

Fonte: ArcelorMittal - 2006

1.2. Soldabilidade dos Aços Inoxidáveis

Os aços austeníticos são os que possuem melhor soldabilidade entre os aços inoxidáveis. O instrumento utilizado para prever a microestrutura do metal de solda destes aços, conhecendo a composição química é o diagrama de Schaeffler, tendo sua importância semelhante ao diagrama Fe-C, para os aços carbono de acordo com [5].

Os aços inoxidáveis possuem dois grupos de elementos de liga, os estabilizadores da ferrita (Cr, Si, Mo, Ti e Nb) e os estabilizadores da austenita (Ni, C, N e Mn). Schaeffler construiu o diagrama utilizando as Equações 1 e 2 para o Cromo e Níquel equivalente.

$$Ni_{eq} = Ni + 0,5 Mn + 30 C \quad (1)$$

$$Cr_{eq} = Cr + Mn + 1,5 Si + 0,5 Nb \quad (2)$$

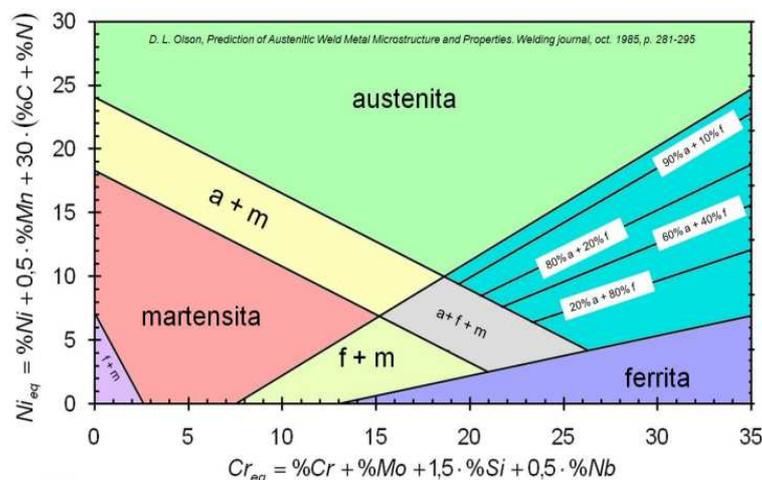


Figura 2. Diagrama de Schaeffler [3].



Figura 3. Micrografia óptica com campo polarizado do aço 304 como recebido [3].

1.3. Sensitização

A sensitização consiste em conduzir os aços inoxidáveis austeníticos à corrosão intergranular. Este tipo de degradação, consiste na precipitação de carbonetos ricos em cromo nos contornos de grão e no empobrecimento de cromo na região vizinha após tratamentos térmicos, trabalho a quente ou soldagem na faixa entre 400°C e 850°C [6]. Na Figura 4 tem-se a representação esquemática da Sensitização na Zona Termicamente Afetada de um aço inox (Arcellor - Mital).

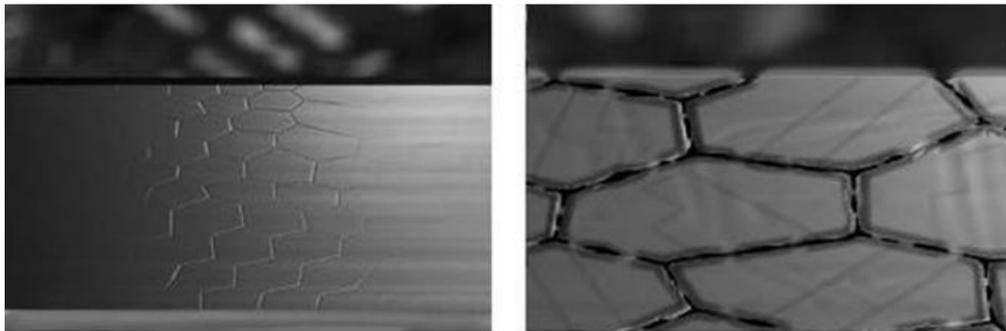


Figura 4. Representação esquemática da Sensitização na Zona Termicamente [3].

2. PRODUÇÃO DE CÂNULAS

O processo de deformação plástica dos metais, onde o material passa entre rolos é denominado laminação. Na laminação, o metal é submetido a elevadas tensões de compressão, resultantes da ação de prensagem dos rolos, e tensões cisalhantes superficiais, resultantes da fricção entre os rolos e o material. A conformação de tubos também pode ser considerada como um processo de laminação. A matéria prima utilizada neste processo é uma chapa ou tira metálica.

Essa chapa ou tira passa por diversas cadeiras que conformam o material até a forma final de um tubo, para posterior soldagem. Na Figura 5 tem-se a ilustração do equipamento de laminação de tubos com costura.

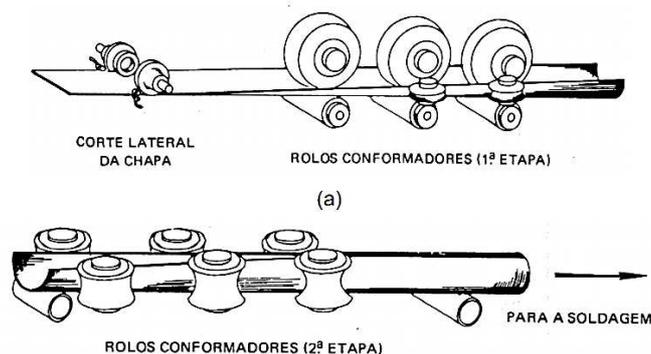


Figura 5. Laminação de tubos com costura.

Imediatamente após sua conformação, as tiras são soldadas utilizando o processo de soldagem GTAW (Gas Tungsten Arc Welding), nesse processo de soldagem utiliza-se um arco entre um eletrodo não consumível de tungstênio e a peça a ser soldada. Este processo tem como características principais a utilização de um eletrodo não consumível e um gás inerte para proteger o cordão de solda. Como ele não utiliza metal de adição, é também chamada de solda autógena. Na Figura 6 tem-se o esquema do processo de soldagem TIG.

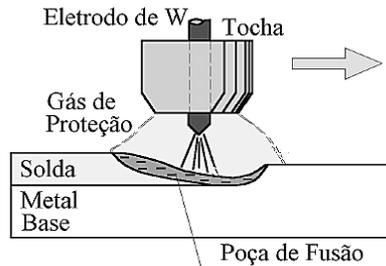


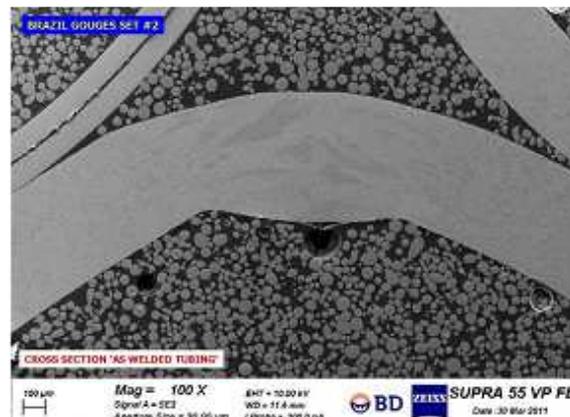
Figura 6. Processo de Soldagem TIG [7].

O processo de fabricação das cânulas utiliza soldagem autógena, onde uma tira de aço inoxidável pré-conformada na forma tubular é unida utilizando o arco elétrico do processo GTAW.

Durante o processo, o arco elétrico gerado entre o eletrodo de Tungstênio e o tubo promove a fusão localizada das duas laterais gerando o cordão de solda. Durante o processo, todo o sistema é protegido por uma atmosfera de gás Argônio, a fim de impedir a contaminação por gases atmosféricos.

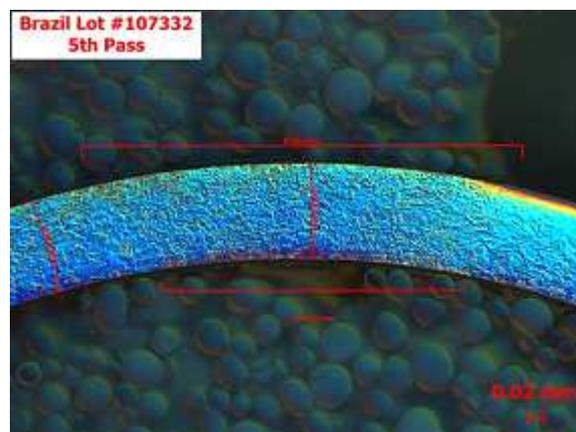
O aço inox inicialmente passa por diversas etapas de trefilação, com a finalidade de fabricar agulhas e cânulas cirúrgicas. Os diâmetros finais podem chegar a 0,2mm, o que exige precisão na fabricação dos cordões de solda, isto é, devem possuir dimensões adequadas para suportar as exigências de uso.

Nas Figuras 7 a 9 têm-se alguns exemplos de resultados obtidos através da utilização do microscópio por varredura.



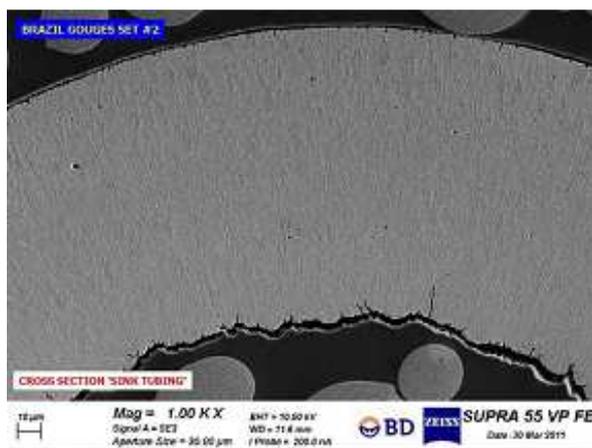
Fonte: Becton Dickinson.

Figura 7. Detalhe da microestrutura do cordão de solda através da microscopia.



Fonte: Becton Dickinson.

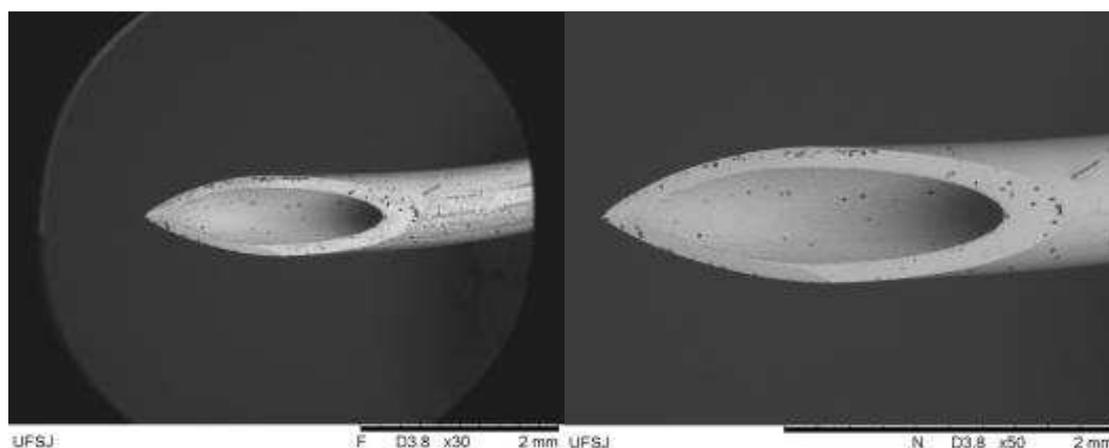
Figura 8. Análise das dimensões do cordão de solda.



Fonte: Becton Dickinson.

Figura 9. Detalhe das rugosidades externa e interna da cânula.

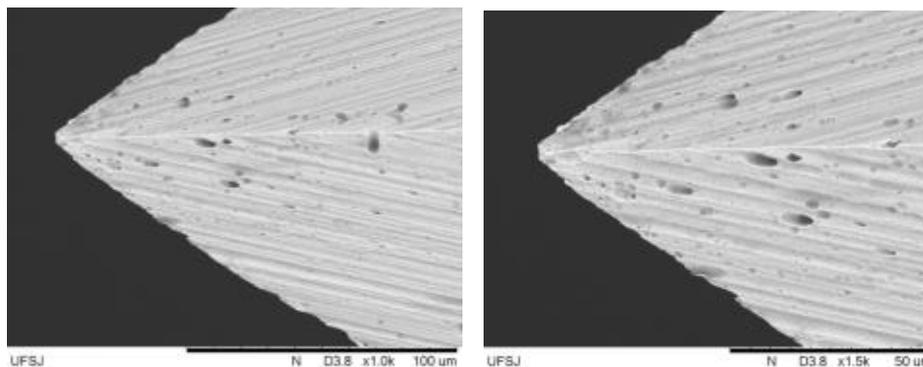
Os aços inoxidáveis são utilizados na produção de instrumentos cirúrgicos em função da sua elevada resistência à corrosão, baixa rugosidade, facilidade de limpeza. Essas características, atreladas à produção de um cordão de solda adequado são fundamentais para o bom desempenho das agulhas e cânulas. Após as etapas de trefilação, o material é cortado em diversos tubos que, após sofrerem uma lavagem, são agrupados e apontados, Figura 10.



Fonte: Becton Dickinson.

Figura 10. Cânula apontada.

Depois de apontado, o material segue para o último processo de limpeza, contendo solventes e ácidos em uma série de banhos, por várias horas, Figura 11. Em um deles, antes do material ser embalado, as cânulas são submetidas a um banho eletroquímico. Uma solução contendo ácido ortofosfórico e ácido sulfúrico forma um eletrólito onde as cânulas, presas a um dispositivo formado por um ânodo e um cátodo provoca uma aceleração da corrosão no material. Isto retira materiais presos, rebarbas e gera pequenas fissuras no material. Estas fissuras são próprias para deposição de silicone, utilizado em processos posteriores.

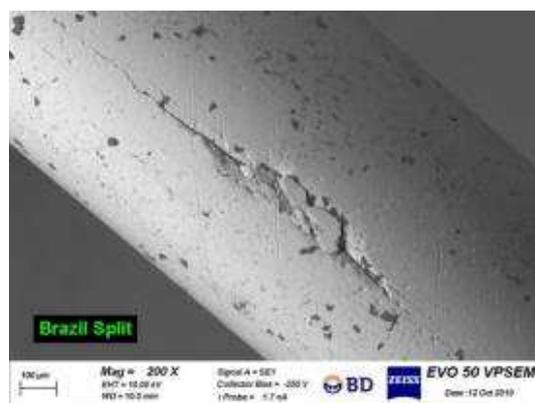


Fonte: Becton Dickinson.

Figura 11. Cânula apontada e limpa.

3. GOUGE

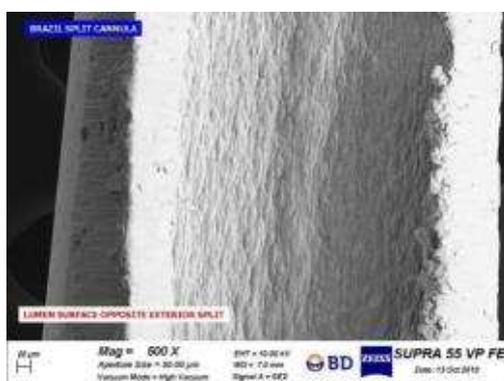
Durante o processo de fabricação há o apararecimento de um defeito conhecido como Gouge. Este defeito têm por característica principal a morfologia de um arranhado onde uma pequena parte do material é verdadeiramente arrancado e sobreposto sobre ele, como mostrado na Figura 12.



Fonte: Becton Dickinson.

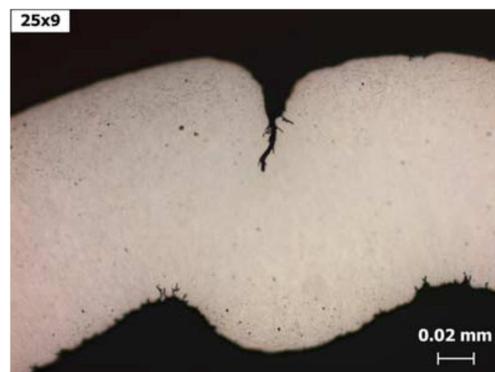
Figura 12. Cânula com GOUGE.

O GOUGE pode apresentar morfologias variadas, bem como tamanhos. Uma coisa importante a se notar, é que o defeito reflete na parte interna do material como uma deformação, e não como um furo passante. Nas Figuras 13 e 14 tem-se duas formas de visualização do defeito.



Fonte: Becton Dickinson.

Figura 13. Cânula onde o GOUGE causa uma deformação na parte interna.



Fonte: Becton Dickinson.

Figura 14. Cânula onde o GOUGE causa uma deformação na parte interna.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O procedimento experimental foi realizado através de amostras enviadas às dependências do centro de pesquisas da empresa Becton e Dickinson em Atlanta, EUA, à qual realizou a seleção e análise pelo microscópio de varredura Carl Zeiss SMT EVO-MA-10 Scanning Electron Microscope (SEM) Serial # 10-1174.

As amostras correspondem ao material 25 PF e 30 PF. Estanomenclatura refere-se ao tamanho das cânulas. Na Tabela 4 tem-se, com clareza, estas definições.

Os ensaios foram realizados em amostras de aço inoxidável AISI 304L com uma composição aproximada dos elementos, conforme mostrado na Tabela 5. Esta liga está em conformidade com as normas ISO/TR 15510:1997 e EN 10088-1:1995, correspondendo à denominação X2CrNi 18-9.

Tabela 4. Dimensões do tubo, 2003.

| Gage | Diâmetro externo | | Diâmetro interno | | PF = parede fina |
|------|------------------|-------|--------------------|------------------|------------------|
| | Min | Max | Parede Normal Mín. | Parede Fina Mín. | |
| 25 | 0,500 | 0,530 | 0,232 | 0,292 | |
| 30 | 0,298 | 0,320 | 0,133 | 0,165 | |

Fonte: Becton Dickinson, 2003.

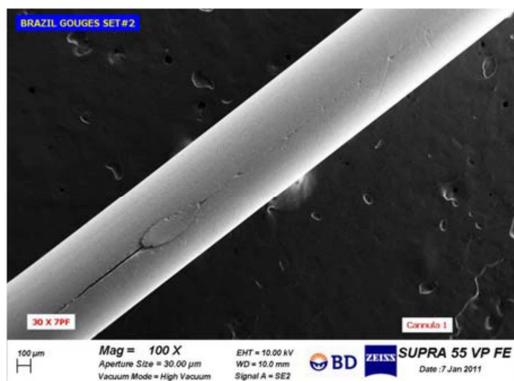
Tabela 5. Composição química aproximada do aço inoxidável AISI 304L.

| AISI | C | Mn | Si | P | S | Cr | Ni | Mo | N ₂ |
|------|-------|------|------|-------|-------|-----|----|------|----------------|
| 304L | >0,02 | >1,7 | >0,3 | >0,03 | <0,03 | >18 | >8 | <0,5 | 0,10 |

Fonte: Becton Dickinson.

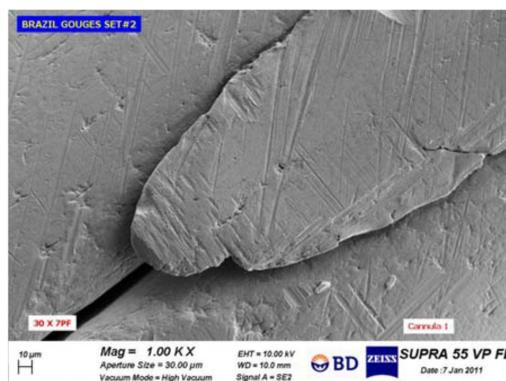
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pelas fotos das cânulas, pode-se ver a morfologia e distribuição do defeito na cânula. Nota-se que os defeitos apresentam duas morfologias básicas: uma onde há uma parte do material “sobreposta” sobre a superfície do defeito, e outra onde o defeito “atravessa” a parede da cânula. Nas Figuras 15 a 18 tem-se a ilustração destas formas.



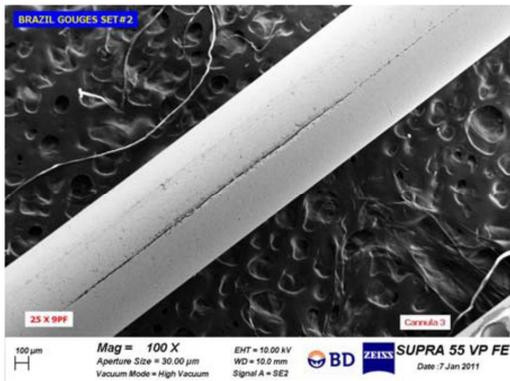
Fonte: Becton Dickinson.

Figura 15. Cânula com GOUGE.

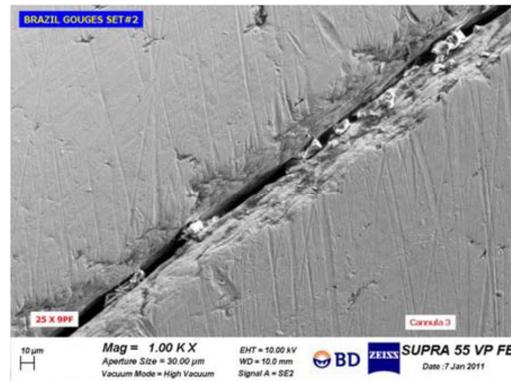


Fonte: Becton Dickinson.

Figura 16. Material sobreposto no defeito.

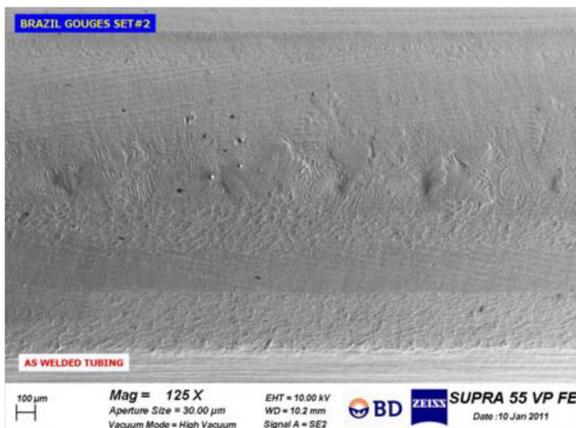


Fonte: Becton Dickinson.
Figura 17. Cãnula com GOUGE.



Fonte: Becton Dickinson.
Figura 18. GOUGE atravessando a parede.

O tubo soldado também foi analisado, no intuito de se encontrar alguma informação que levasse à causa do defeito. Nas Figuras 19 e 20 tem-se a superfície do tubo, especialmente na região soldada, parte mais suscetível ao aparecimento de defeitos.

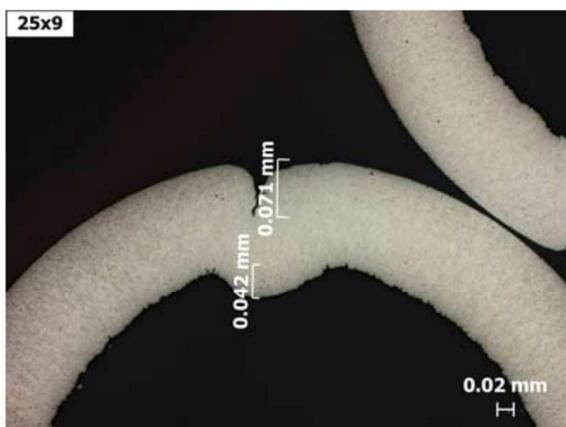


Fonte: Becton Dickinson.
Figura 19. Superfície do tubo soldado.

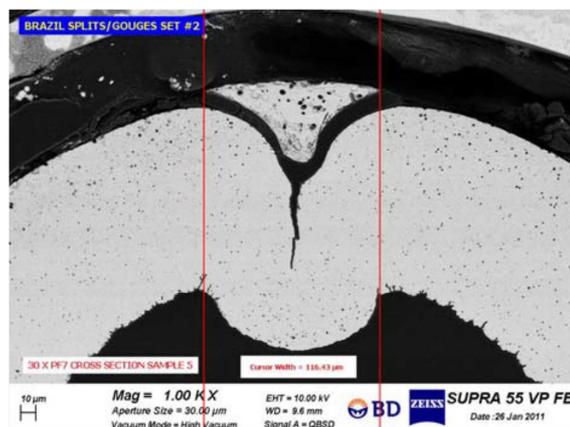


Fonte: Becton Dickinson.
Figura 20. Superfície do tubo soldado.

Fotos de seção transversal do defeito também foram tiradas. Elas mostram, como já foi dito, que o defeito reflete na superfície interna do tubo, deformando-o. Também comprovam que o material sobreposto ao defeito pertence ao material base, não sendo de origem exógena a ele, Figuras 21 e 22.

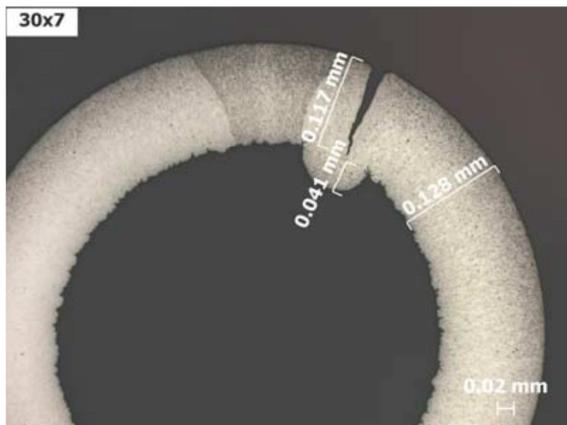


Fonte: Becton Dickinson.
Figura 21. Seção transversal do defeito.



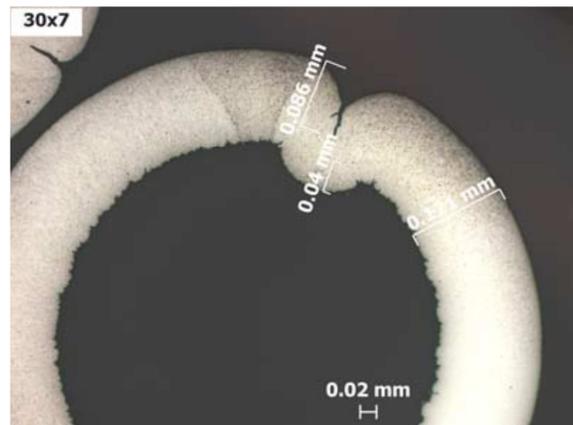
Fonte: Becton Dickinson.
Figura 22. Seção transversal do defeito.

A mesma coisa se fez com o tubo para avaliar a região soldada. Note que esta região da foto está com uma forma diferenciada, mais escura. Esta região é o cordão de solda, Figuras 23 e 24.



Fonte: Becton Dickinson.

Figura 23. Seção transversal do defeito.



Fonte: Becton Dickinson.

Figura 24. Seção transversal do defeito.

Observando as fotos, especialmente as figuras 23 e 24, vemos que a solda, ou melhor, o cordão de solda, não é o causador do defeito na cânula. Podemos notar que o cordão, apesar de estar bem próximo ao defeito, não têm influência nenhuma nele.

Outra característica que deve ser notada é que o material trefilado sem recozimento, isto é, na etapa final de produção do tubo, não apresenta o defeito. Diversos lotes de produção foram acompanhados para ver se o defeito surge depois dos passes de trefilação e nenhuma bobina apresentou este defeito. Somente aparece quando ele é formado em etapas anteriores e passam despercebidos pela produção.

Por fim temos a trefilação com recozimento como a potencial causadora do defeito. O processo de trefilação com recozimento contém uma série de variáveis que, sozinhas ou até mesmo associadas, podem causar a falha. Dentre elas estão: velocidade de trefilação (em cada passe), temperatura de recozimento, óleo de lubrificação, estado das ferramentas e condições dos equipamentos (fornos).

Um detalhe sobre toda esta discussão: até agora não foi encontrado nada, em termos de literatura, sobre o assunto. Não foram encontrados artigos livros ou estudos publicados que falam sobre o processo e poderiam ajudar no estudo da possível ou possíveis causas do defeito. O GOUGE já existe há bastante tempo, mas as hipóteses de sua causa ficam, por muitas vezes, guardadas "a sete chaves", se existirem.

6 CONCLUSÃO

Como já foi dito anteriormente, o principal causador do defeito é o processo de trefilação com recozimento. Nele temos variáveis importantíssimas na transformação metalúrgica do material, como temperatura de tratamento e velocidade de trefilação. A velocidade de trefilação é duplamente importante, pois, como se trata de um processo contínuo, a velocidade de trefilação impacta no tempo que o material fica dentro do forno e no gradiente de temperatura.

Surge-se, então, uma série de possibilidades para trabalhos futuros, visando avaliar cada variável e assim chegar a um denominador comum, conforme apresentado a seguir.

- Temperatura de recozimento: estudar a influência de diversas temperaturas de recozimento dos tubos.
- Velocidade de trefilação: avaliação das velocidades máxima, mínima e média para cada passe, bem como a influência desta velocidade no tempo de tratamento dos tubos.
- Ferramentas: Avaliação das condições das ferramentas de trefilação, variando entre novas, média vida e final de vida.
- Óleo: Avaliação do óleo de trefilação, alternando entre óleo novo, meia vida e final de vida.
- Forno de recozimento: estudo das condições do forno, como tubo mufla e quantidade de amônia dissociada.

REFERÊNCIAS

- 1 GIRALDO, C. A. S. Resistência à corrosão intergranular do aço inoxidável ferríticos NS S43000: avaliação pelo método de reativação eletroquímica, efeito de tratamento isotérmico e mecanismo de sensibilização, Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 197 p, 2006.
- 2 MORAES, F. C. Influência da Microestrutura dos Aços Inoxidáveis (Austeníticos, Ferríticos e Martensíticos) na proteção contra corrosão por filmes de polianilina, Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, 2006.
- 3 LIPPOLD, J.C; KOTECKI, D.J. Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steels, New Jersey, John Wiley & Sons, p 141-198, 2005.
- 4 MODENESI, P. J. Soldabilidade dos Aços Inoxidáveis Austeníticos, Coleção Tecnologia da Soldagem, vol. 1, Osasco-São Paulo, Editora SENAI, 2001.
- 5 DIAS, A.O. Análise da Influência dos Parâmetros de Pulsação na Soldagem do Aço Inoxidável AISI 304 Através do Arame Tubular AWS E316LT1-4, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Itajubá, 2009.
- 6 Zanetic, S. T.; Falleiros, N, A. Determinação do grau de sensibilização de aços inoxidáveis austeníticos pelo método DL-EPR, Boletim Técnico FATEC-SP, vol.11, 2001.
- 7 Van Vlack, L. H. Princípio de ciências e tecnologia dos materiais. São Paulo, SP: Campos, 1988.

BIBLIOGRAFIA

- 1 Callister, W.D. Materials science and engineering: an introduction. 5.ed. New York: John Willey and Sons, 1999.
- 2 COLPAERT, H. Metalografia dos produtos siderúrgicos. São Paulo, SP: Editora Edgard Blucher, 1974.
- 3 Padilha, A. F; Guedes, L. C. Aços Inoxidáveis Austeníticos, 1. ed. São Paulo: Editora Hemus, 1994.
- 4 Dieter, G.E. Metalurgia mecânica. Rio de Janeiro, RJ: Guanabara Koogan, 1981.
- 5 Honey Combe, Steels- Microstructure and properties. London: Edward Arnold, 1981.
- 6 Mei, P.R., Silva, Aços e ligas especiais. Sumaré, SP: Eletrometal Metais Especiais, 1987.
- 7 Padilha, F.A., Ambrózio, F.F. Técnicos de análise microestrutural. São Paulo, SP: Hemus, 1985.
- 8 Reed-Hill, R.E. Princípios da metalurgia física. São Paulo, SP.: Campos, 1982.
- 9 P J Andersen, Andersen. Metals for Use in Medicine, Elsevier Ltd, Madison, WI, USA, 2011.

- 10 Lima A. S, Abreu H. F. G., Neto P. L., Sobral A. V. C., Silva M. J. G., Nascimento A. M.; Aspectos da Corrosão Intergranular dos Aços Inoxidáveis Austeníticos AISI 304L, AISI 316L, AISI 321 E AISI 347, Usados em Refinarias; 6º COTEQ, Bahia, 2002.
- 11 Silva, P. N.; Aços Inoxidáveis, CCT- Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2010.