

Análise do comportamento da resistência do aço AISI 304L, através da aplicação de jatos de cerdas em componentes para uso industrial

Analysis of the strength behavior of AISI 304L steel, through the application of bristle jets in components for industrial use

DOI:10.34117/bjdv8n6-110

Recebimento dos originais: 21/04/2022

Aceitação para publicação: 31/05/2022

Pascoal Meller Neto

Especialista

Instituição: Centro Universitário - UNISATC
Endereço: Rua Pascoal Meller 43, Criciúma – SC
E-mail: pascoal.neto@satc.edu.br

Alexandre Milanez

Doutor

Instituição: Centro Universitário - UNISATC
Endereço: Rua Pascoal Meller 43, Criciúma – SC
E-mail: alexandre.milanez@satc.edu.br

RESUMO

O uso de tratamento superficial para obter uma superfície resistente a fadiga de esforços cíclicos é bastante difundido no meio industrial e acadêmico. No entanto, novos tratamentos vão surgindo, facilitando e melhorando os processos atuais. O presente trabalho tem como objetivo estudar o aumento da resistência a fadiga através do processo de tratamento com jatos de cerdas, focando o alívio de tensões residuais na superfície do aço inoxidável austenítico AISI 304L. O processo consiste no uso de jatos de cerdas, utilizando o equipamento MBX *Bristle Blaster*, que trabalham a frio, martelam a superfície do material causando mudanças nas suas propriedades mecânicas. Os resultados obtidos mostram que nos corpos de provas onde houveram a aplicação do processo, houve um aumento considerável da microdureza na superfície e uma elevação nos valores de tensão de escoamento. No entanto, no ensaio de fadiga foi possível observar a tendência da redução na vida em fadiga do aço AISI 304L com micromartelamento em relação ao mesmo aço sem o tratamento, comportamento que pode ser justificado pelas condições do material analisado, que apresentava elevado nível de encruamento.

Palavras-chave: tratamento superficial, jato de cerdas, aço inoxidável austenítico 304L.

ABSTRACT

The use of surface treatment to obtain a fatigue resistant surface to cyclic stresses is widespread in the industrial and academic environment. However, new treatments are emerging, facilitating and improving the current processes. The present work aims to study the increase of fatigue resistance through the bristle jet treatment process, focusing on the relief of residual stresses on the surface of the austenitic stainless steel AISI 304L. The process consists in the use of bristle jets, using the MBX *Bristle Blaster* equipment, that work in cold, hammering the surface of the material causing changes in its

mechanical properties. The results obtained show that in the specimens where the process was applied, there was a considerable increase in the microhardness on the surface and an increase in the yield stress values. However, in the fatigue test it was possible to observe the tendency of reduction in the fatigue life of AISI 304L steel with micro-machining in relation to the same steel without the treatment, behavior that can be justified by the conditions of the analyzed material, which presented a high level of strain hardening.

Keywords: surface treatment, bristle jet, austenitic stainless steel 304L.

1 INTRODUÇÃO

A indústria deseja cada vez mais um material com uma superfície dura e resistente a abrasão, de modo que este onere menos custos com manutenção em razão de sua maior durabilidade e eficiência na aplicação. Atualmente no mercado, existem alguns procedimentos para obtenção destas características superficiais, como tratamentos térmicos (cementação e nitretação), aplicação de revestimentos superficiais, jateamento por pistola de agulhas (desincrustador), martelamento ou jato de cerdas (*Bristle Blaster*) e jateamento por granalha (*shot peening*) (Rodrigues, 2007). Segundo Pukasiewicz (2002) e Belentani (2014), os métodos mais eficientes para aumentar o desempenho de um componente à fadiga consiste na aplicação de tensões residuais de compressão que afetam uma certa camada superficial.

O processo de jateamento é difundido na indústria como método para limpar, eliminar rebarbas (desrebarbamento), provocar o aumento da rugosidade da superfície, diminuindo a porosidade de camadas de ligas macias, gerando um perfil de ancoragem para melhor adesão de tintas e outros revestimentos (Del Monte, 2016).

O jateamento utilizando a técnica de jatos por cerdas (*Bristle Blaster*) consegue em apenas um único passo, satisfazer o critério de limpeza superficial e atingir os requisitos do perfil de rugosidade desejado. Essa técnica apresenta vantagens operacionais comparada ao processo de *Shot peening*, já que este último necessita que o operador utilize redes de ar comprimido (Pedrosa, 2007). A qualidade do ar da rede, bem como a mangueira de jateamento devem ser avaliadas e ajustadas. O operador deve realizar a tarefa enclausurado e utilizando equipamento de segurança. O grão gasto tem de ser recuperado e descartado de maneira apropriada, bem como o equipamento que deve ser, a depender do caso, desmontado, limpo e removido do local de trabalho (Stango, 2011a).

Os perfis de rugosidade criados nas superfícies dos metais por jateamentos convencionais se comparados aos perfis obtidos por micromartelamentos, apresentam uma eficiência menor. Isso se dá pelo fato que o micromartelamento causar uma mudança na estrutura do aço, aumentando a resistência a fadiga pela transformação parcial da austenita superficial em martensita. Porém, para o processo de jateamento por *Shot peening* existem normas que prevêm a forma mais adequada de aplicá-lo e métodos de controle do processo e da qualidade baseado em dados empíricos (Xavier, 2010). Já para o jateamento por martelamento, por se tratar de um processo relativamente novo, as informações encontradas em literatura indicam que o uso deste método acarreta o alívio de tensões residuais e maior resistência ao mecanismo de desgaste por fadiga (Stango, 2011b).

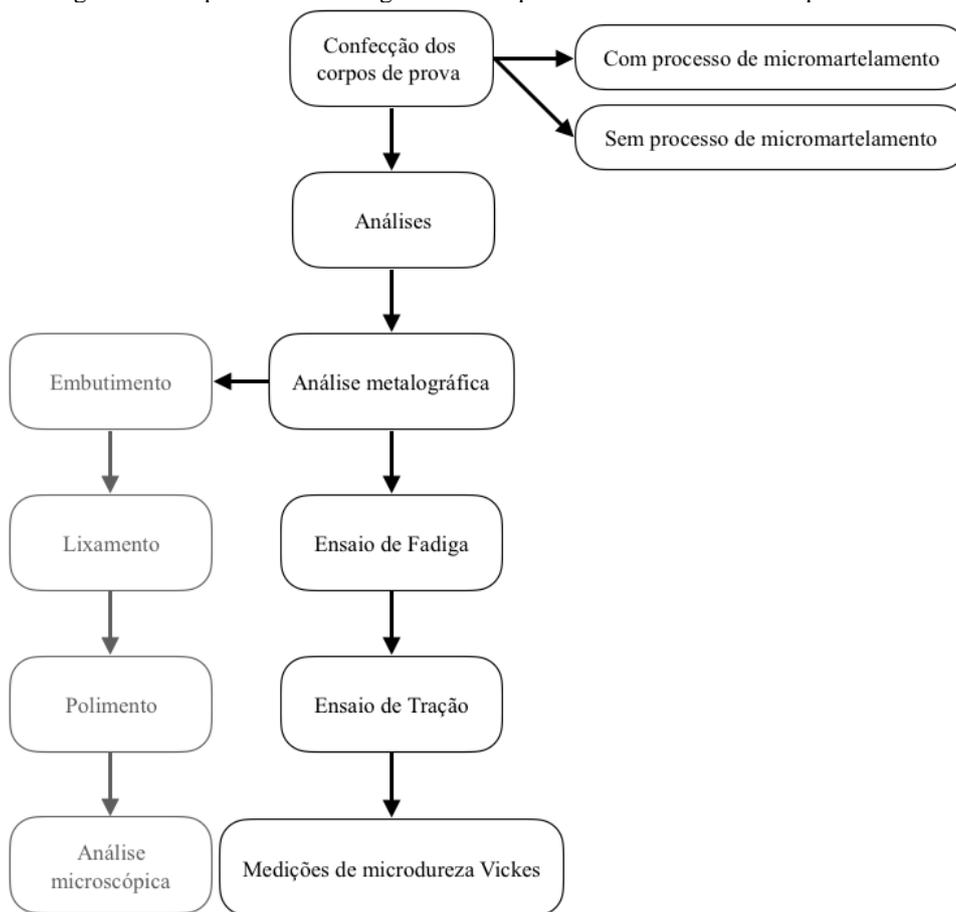
O estudo da fadiga é de primordial importância para o projeto de peças sujeitas a tensões cíclicas, como eixos, molas entre outros. Segundo Belentani (2014), um metal se rompe por fadiga, quando a tensão cíclica, aplicada a ele, tem uma flutuação suficientemente grande e é maior que um valor característico de cada metal, denominado limite de fadiga, o qual pode ser determinado mediante um ensaio de fadiga.

Neste trabalho, o equipamento MBX *Bristle Blaster* foi utilizado para provocar repetidos micromartelamentos na superfície dos corpos de provas em aço inoxidável austenítico AISI 304L, não para fins de limpeza, mas com o intuito de criar uma tensão residual de compressão na superfície. O objetivo é verificar através de ensaios, em qual escala estas tensões superficiais poderão ou não melhorar a vida útil de componentes sujeitos a esforços cíclicos; apresentar se há diminuição das causas de falha por fadiga graças as tensões de compressão residuais inseridas pelo processo, as quais minimizam as condições de nucleação e propagação de trincas na superfície das peças, região está que é sujeita a maiores tensões de trabalho.

2 METODOLOGIA

As metodologias e análises utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho estão apresentadas no fluxograma da Figura 1.

Figura 1 – Etapas da metodologia utilizada para o desenvolvimento experimental.



2.1 CORPOS DE PROVA

O material utilizado para confecção dos corpos de provas (CPs) foi o aço inoxidável austenítico AISI 304L. O aço foi comercialmente adquirido em barra redonda trefilada no diâmetro de 12 mm, sendo necessário o processo de usinagem para as medidas desejadas dos corpos de provas, tanto para tração quanto para fadiga.

Ao todo foram confeccionadas 18 unidades de CP's para realização da análise microestrutural, microdureza e dos ensaios de tração e de fadiga. Abaixo pode ser visto o desenho esquemático do corpo de prova para o ensaio de fadiga (Fig. 2) e de tração (Fig. 3).

Figura 2– Desenho esquemático do CP para fadiga.

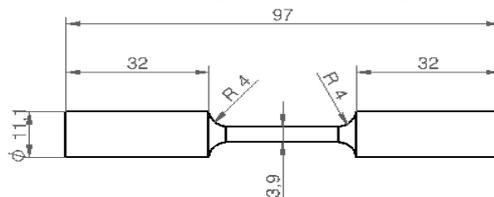
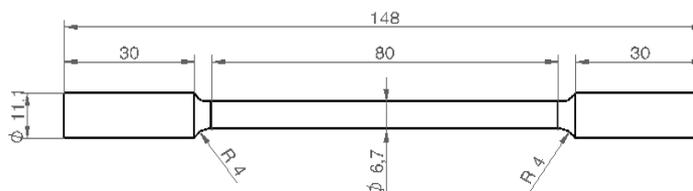


Figura 3 – Desenho esquemático do corpo de prova para tração com as medidas em milímetros.



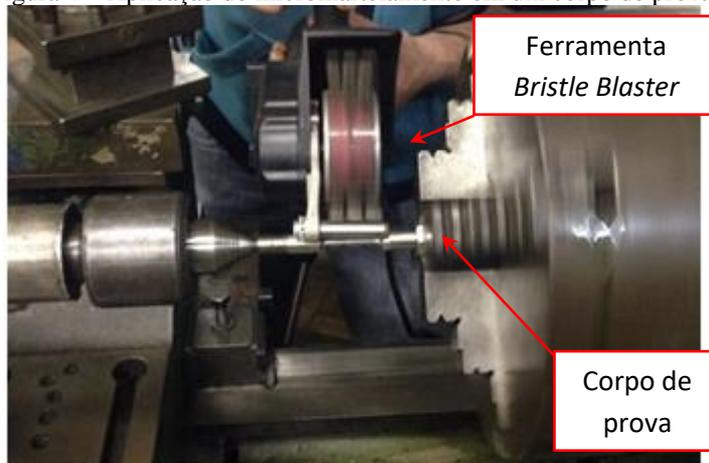
2.2 ANÁLISES

As análises microestrutural, de microdureza Vickers e ensaio de tração foram realizados no LACAMI (Laboratório de Caracterização Microestrutural do Centro Universitário SATC). O ensaio de fadiga foi realizado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), no LAPEC (Laboratório de Pesquisa em Corrosão). O equipamento empregado no presente estudo, utilizado para o processo de micromartelamento, foi o MBX *Bristle Blaster* elétrico fabricado pela empresa Monti.

2.2.1 Processo de Micromartelamento dos CPs

Ao todo, foram ensaiados 10 corpos de provas. Na Figura 4 pode se observar o processo sendo realizado.

Figura 4 – Aplicação do micromartelamento em um corpo de prova.



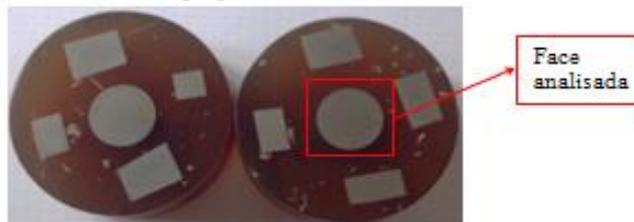
O micromartelamento foi realizado em um torno convencional devido à seção circular do corpo de prova, para que se tivesse a superfície martelada de forma homogênea.

2.2.2 Análise Metalográfica

O procedimento utilizado para a preparação das amostras foi conduzido em três etapas, que são: seccionamento (seção transversal), lixamento, e polimento. Esse procedimento possibilitará que não haja imperfeições, facilitando a observação da microestrutura do material.

As análises microestruturais foram feitas conforme a NBR 13284 que trata da preparação de corpos de prova para análise metalográfica. Os corpos de prova foram confeccionados (embutimento em resina) e analisados com e sem o micromartelamento, com o intuito de observar a microestrutura típica do aço inoxidável austenítico do tipo 304L antes e após o processo. Na Figura 5 tem-se a amostra preparada

Figura 5 – Amostra preparada com detalhe da face a ser analisada.



Foi analisada a seção transversal dos corpos de provas (Fig. 5). As amostras retangulares de aço na periferia em relação à face central analisada, são calços que serviram para auxiliar durante a preparação da amostra, evitando o desnivelamento da amostra. Após os processos de lixamento e polimento, as amostras foram atacadas quimicamente, para então, examiná-las através de um microscópio ótico.

Foi utilizado o procedimento de classificação de inclusões em aços por comparação de quadros (*chart comparison*), conforme a norma da ASTM E-45 (*Standard Test Methods for Determining the Inclusion Content of Steels*). Essa norma estabelece os procedimentos de classificação manual, em muitas das vezes baseados na técnica de comparação, na qual o observador obtém uma imagem da amostra ao microscópio e a compara com quadros de referência que contém exemplos esquemáticos dos diversos tipos de inclusão.

2.2.3 Medições de Microdureza Vickers

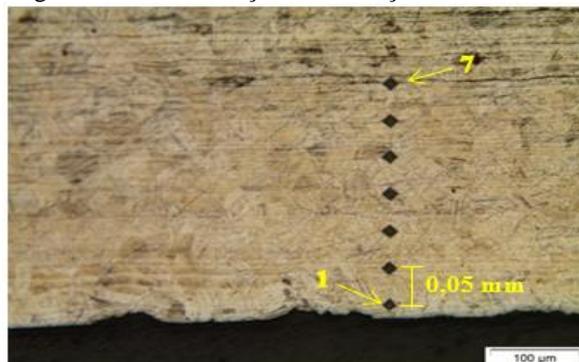
Esse ensaio consiste em forçar um penetrador de diamante com formato de pirâmide de dimensões conhecidas, através da aplicação de uma carga pré-estabelecida, sobre a superfície do corpo de prova.

Esse método parte do princípio de que as impressões ocasionadas pelo penetrador possuem similaridade geométrica, independentemente da carga aplicada. O Número Vickers (HV) é determinado pela razão entre a área superficial da impressão (mm^2) e a carga (kgf).

As duas amostras foram submetidas ao ensaio de microdureza Vickers utilizando um microdurômetro Shimadzu modelo HMV-2, sendo utilizada uma carga de 98.07 mN (HV 0.01) e tempo de aplicação da carga de 8 segundos para ambas amostras.

As microdurezas foram medidas a partir da superfície dos corpos de provas, com uma distância entre as indentações de 0,05 mm, gerando 7 medições por amostra, como na Figura 6.

Figura 6 – Demonstração das medições nas amostras.



Esse procedimento foi repetido por 7 vezes, teve como objetivo determinar com maior precisão a distribuição das durezas no corpo de prova.

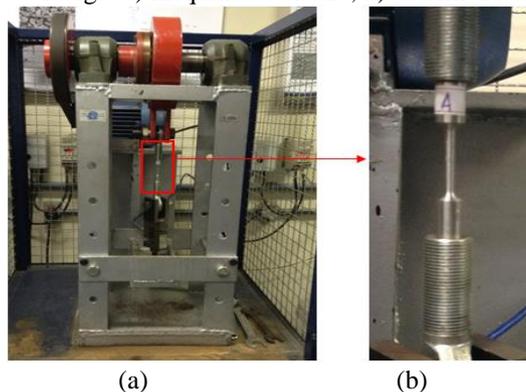
2.2.4 Ensaio de Resistência à Fadiga

O ensaio de fadiga foi realizado no Laboratório de Pesquisa em Corrosão – LAPEC, na Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Foram confeccionados ao todo 10 corpos de provas para o ensaio, porém, apenas 7 corpos de provas foram realmente utilizados sendo que os outros 3 serviram para ajustes iniciais da máquina de ensaio.

O ensaio serve para especificar os limites de tensão e de tempo de uso de uma peça ou elemento de máquina. O presente trabalho irá comparar os corpos de prova com e sem o processo de micromartelamento, na busca de alteração ou não da resistência mecânica.

A Figura 7 apresenta como foi realizado o ensaio de fadiga.

Figura 7 – Ensaio de fadiga: a) máquina de ensaio; b) detalhe do CP fixo na máquina.



Utilizou-se uma máquina do tipo excêntrica (Fig. 7) com o seguinte procedimento:

- Ensaios de fadiga tração-descarregamento ($R=0$) dos corpos de prova de aço AISI 304L sem micromartelamento com tensão máxima aplicada igual a 500 MPa.
- Ensaios de fadiga tração-descarregamento ($R=0$) dos corpos de prova de aço AISI 304L com micromartelamento com tensão máxima aplicada igual a 500 MPa.

2.2.5 Ensaio de Resistência à Tração

No ensaio de tração é possível observar o comportamento do aço inoxidável quando submetido à ação de uma carga uniaxial no corpo de prova até a sua ruptura.

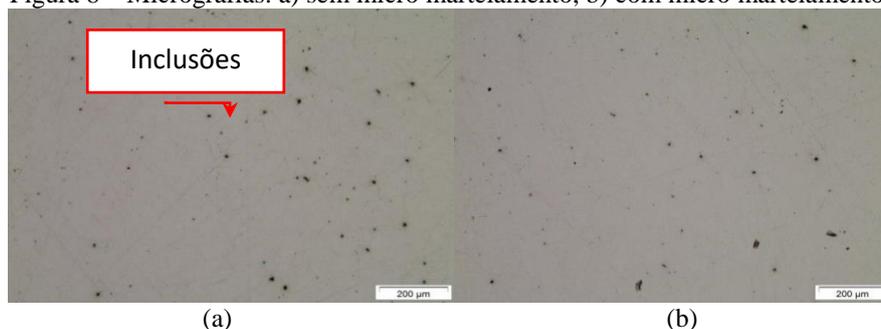
Foram ensaiados 4 corpos de prova com micromartelamento e 2 sem o micromartelamento. O ensaio foi realizado no LACAMI – Laboratório de Caracterização Microestrutural na Faculdade SATC, conduzido conforme a norma NBR ISO 6892-1/2013 em uma máquina universal de ensaios, modelo DL10000 da marca EMIC.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 MICROSCOPIA ÓTICA

Precedentemente ao ataque químico na amostra, foi realizada uma análise, a qual, possibilitou definir o tipo de inclusões no aço. Na Figura 8 as micrografias referentes às amostras sem e com o micromartelamento respectivamente.

Figura 8 – Micrografias: a) sem micro martelamento, b) com micro martelamento.

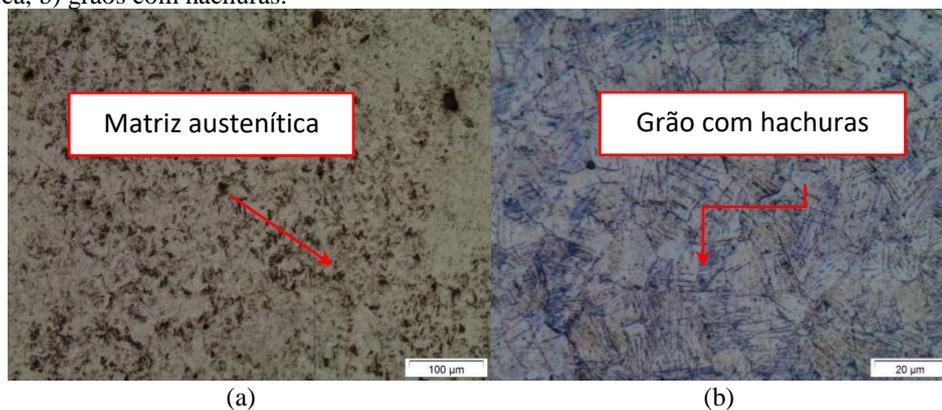


Através da análise que antecedeu o ataque químico para determinação do tipo de inclusão, utilizando o método baseado na técnica de comparação de quadros (*chart comparison*), pode-se determinar que o aço possui inclusões do tipo D, óxido globular de série grossa com espessura de até 12 μ m tamanho 2.

A influência das inclusões é menos prejudicial às propriedades mecânicas do metal quando em menor quantidade, menor tamanho, mais homoganeamente distribuídas e de forma esférica, não enfrentando o problema de inclusões mistas (Chiaverini, 2005).

Em seguida, foi possível realizar o ataque químico com ácido oxálico nas amostras para a análise de suas microestruturas através da microscopia ótica. As micrografias da Figura 9 mostram a microestrutura da seção transversal do corpo de prova sem o processo de micromartelamento.

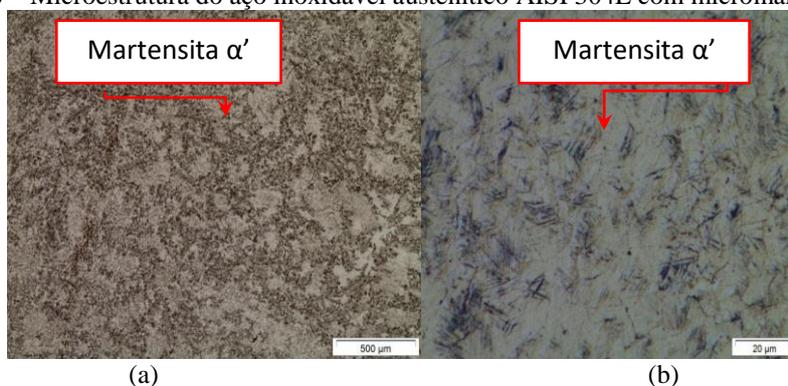
Figura 9 – Microestrutura do aço inoxidável austenítico AISI 304L sem micromartelamento. a) matriz austenítica, b) grãos com hachuras.



A microestrutura da Figura 9a é formada por uma matriz austenítica de tonalidade clara e é possível ver precipitação de martensita na superfície, região de tonalidade escura. Na Figura 9b, com uma ampliação maior, é possível ver grãos maclados e com várias hachuras. Estima-se que a região escura pode caracterizar a precipitação de martensita devido ao processo de preparação da amostra no polimento mecânico, assim como o próprio processo de trefilação da barra, ou até mesmo na usinagem dos corpos de provas, que pode ter encruado o material (Giora, 2012).

As micrografias da Figura 10 mostram a microestrutura da seção transversal do corpo de prova onde foi realizado o processo de micromartelamento.

Figura 10 – Microestrutura do aço inoxidável austenítico AISI 304L com micromartelamento.



A microestrutura da Figura 10a mostra a matriz austenítica com uma grande precipitação de martensita do tipo α' em tonalidade escura. Na Figura 10b, tem-se a micrografia com ampliação maior, podendo-se visualizar melhor a estrutura. A martensita do tipo ϵ não é possível de ser visualizada devido a ela ser confundida com a matriz austenítica, somente a martensita α' pode ser observada em forma de hachuras nos grãos (Onyuna, 2004).

4.2 MICRODUREZA VICKERS

Realizado a microscopia ótica nas amostras, em seguida, as mesmas foram submetidas à microdureza Vickers. As microdurezas foram medidas na superfície dos corpos de provas com uma distância entre as indentações de 0,05 mm, gerando 7 medições por amostra. No Quadro 2 é realizada a comparação de microdureza das amostras com e sem micromartelamento.

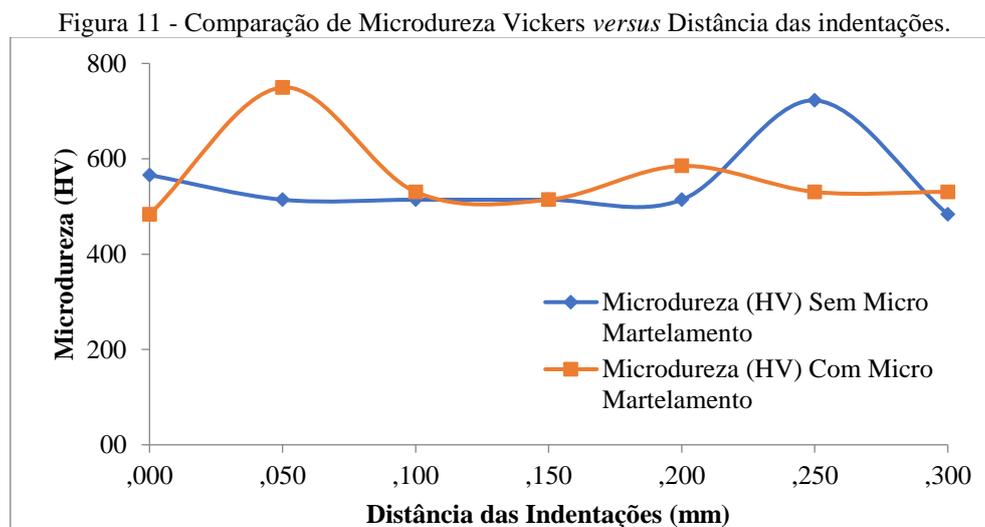
Quadro 2 – Comparação de microdureza das amostras com e sem micromartelamento.

Posição	Distância das indentações (mm)	Microdureza (HV)	
		Sem Micromartelamento	Com Micromartelamento
1	0,00	565,9	483,5
2	0,05	514,2	749,6
3	0,10	514,2	530,5
4	0,15	514,0	514,1
5	0,20	514,0	584,9
6	0,25	722,4	530,5
7	0,30	483,5	530,6

Observa-se que o corpo de prova sem micromartelamento apresenta valores de dureza aproximados ocorrendo uma discrepância alta na 6ª indentação onde se tem o valor de 722,4 HV. Este valor pode ter sido obtido durante a medição devido a grãos encruados na superfície da amostra pelo processo de fabricação da barra através da trefilação, isso também pode ser atribuído ao polimento mecânico que pode gerar um encruamento superficial durante o processo, ou durante a própria usinagem do corpo de prova que pode ter encruado o material (Callister, 2002).

Observou-se também discrepância de valores no corpo de prova com micromartelamento, destinado ao mesmo motivo do corpo de prova sem o processo de micromartelamento, onde se supõe que os grãos estejam encruados desuniforme, fazendo com que estes valores se apresentem desta maneira.

A Figura 11 mostra os valores de microdureza dos processos com e sem micromartelamento.



No entanto, apesar da discrepância de valores apresentados, os dados do corpo de prova com micromartelamento são levemente maiores, porém, isso não pode ser atribuído ao processo de micromartelamento, devido às causas já comentadas anteriormente.

4.3 ENSAIO DE FADIGA

Os resultados para corpos de prova sem micromartelamento estão mostrados na Quadro 3 e os corpos de prova com micromartelamento estão ilustrados no Quadro 4. Foram obtidos valores para 6 corpos de provas, devido à demora que os mesmos apresentam até chegar a ruptura não foi possível completar o ensaio com os 10 corpos de provas fabricados.

Um corpo de prova sem micromartelamento ensaiado apresentou ruptura no raio de concordância do mesmo, sendo este então, descartado dos resultados.

Quadro 3 - Resultados obtidos do aço AISI 304L sem micromartelamento.

	Condição	Nº de ciclos
CP 1	Sem Martelamento	19533
CP 2	Sem Martelamento	20065
Média	Sem Martelamento	19799
Desvio Pàdrão	Sem Martelamento	266

Quadro 4- Resultados obtidos do aço AISI 304L com micromartelamento.

	Condição	Nº de ciclos
CP 3	Com Martelamento	16691
CP 4	Com Martelamento	13919
CP 5	Com Martelamento	18061
Média	Com Martelamento	16224
Desvio Pàdrão	Com Martelamento	1723

Analisando-se os resultados, percebe-se uma tendência de redução na vida em fadiga do aço AISI 304L com micromartelamento em relação ao mesmo aço sem micromartelamento.

Segundo o relatório de análise do LAPEC, este resultado pode estar relacionado com a condição do material analisado, que apresentava elevado nível de encruamento. Sendo assim, as possíveis tensões residuais compressivas geradas pelo micromartelamento podem ter sido insignificantes e a pior condição superficial gerada pelo micromartelamento tenha apresentado maior influência, facilitando a nucleação de trincas de fadiga. Entretanto, a diferença entre os resultados das duas condições do

material não é muito significativa, podendo ser menor que o espalhamento natural dos resultados obtidos em testes de fadiga.

4.4 ENSAIO DE TRAÇÃO

Com o ensaio de tração pode ser estudada a resistência do material e analisado o seu comportamento quando submetido aos esforços do ensaio. Obtiveram-se valores comparativos entre os corpos de provas com e sem o micromartelamento. Na Figura 12, tem-se um corpo de prova rompido na máquina de ensaio.

Figura 12 – Corpo de prova sem micromartelamento rompido no ensaio de tração.



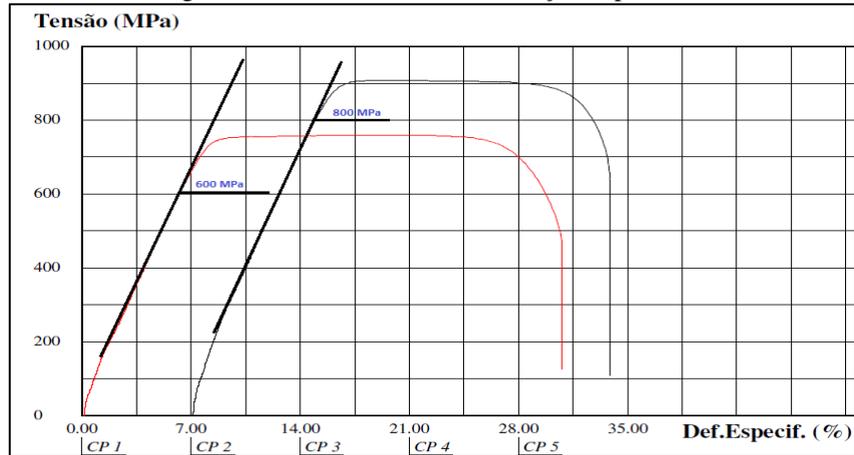
Pode-se observar que o corpo de prova apresentou uma fratura característica de fratura dúctil, que ocorre apenas após deformação plástica extensa e é caracterizada pela lenta propagação de trincas resultantes da nucleação e crescimento de micro cavidades no material.

Foram submetidos ao ensaio 2 corpos de provas sem o processo, cujo valores podem ser observados no Quadro 5 e suas respectivas curvas de Tensão *versus* Deformação gerados pelo ensaio na Figura 13.

Quadro 5 – Resultados dos CPs sem Micromartelamento.

Corpo de Prova	Tensão Máxima (MPa)	Tensão Escoamento (MPa)
CP 1	760,0	600,0
CP 2	909,3	800,0
Média	834,6	700,0
Desvio Padrão	105,6	100,0

Figura 13 – Tensão *versus* Deformação Específica.



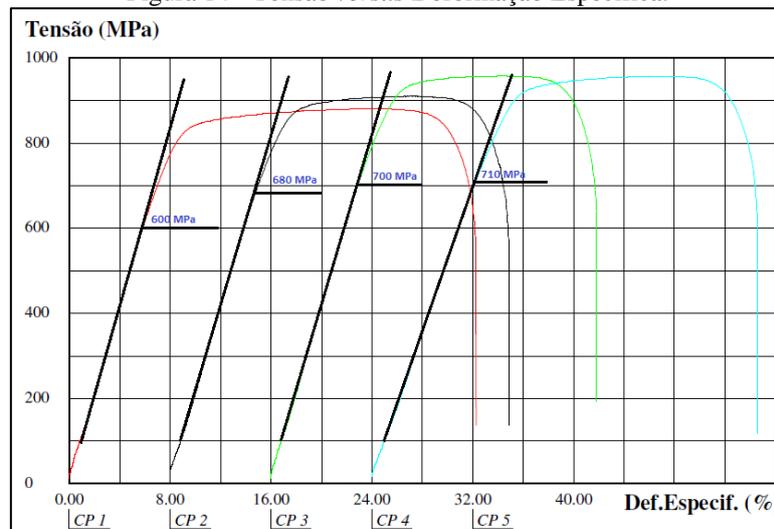
Foi traçada uma reta perpendicular às curvas para que se pudesse obter a tensão de escoamento, ou seja, onde começa a deformação irrecuperável do corpo de prova.

Também foram submetidos ao ensaio de tração 4 corpos de provas com o processo de micromartelamento. Resultados na Quadro 6 a seguir e suas respectivas curvas de Tensão *versus* Deformação, gerados pelo ensaio na Figura. 14.

Quadro 6 – Resultados dos CPs com Micro Martelamento.

Corpo de Prova	Tensão Máxima (MPa)	Tensão Escoamento (MPa)
CP 1	880,80	600,00
CP 2	911,00	680,00
CP 3	958,80	700,00
CP 4	957,70	710,00
Média	927,10	672,50
Desvio Padrão	38,04	49,92

Figura 14 - Tensão *versus* Deformação Específica.



A deformação máxima que um material pode suportar em conformação plástica depende do estado de tensões. Tensões de tração provocam a ruptura antes que tensões de compressão, assim a capacidade de deformação máxima aumenta quanto maiores forem os componentes de compressão, ou quanto mais compressiva for a tensão efetiva aplicada ao componente ou peça (Ribeiro, 2003).

Essas tensões de compressão residuais que foram inseridas minimizaram as condições de nucleação e propagação de trincas na superfície das peças, região sujeita a maiores tensões de trabalho. Essas tensões atuam contrabalanceando as tensões de tração favorecendo a um maior ciclo de operação do componente.

5 CONCLUSÃO

De acordo com os ensaios realizados foi possível concluir que a microdureza Vickers, apesar da discrepância de valores, os dados do corpo de prova com micromartelamento são levemente maiores, porém, isso não significa que tenha sido o efeito do micromartelamento em sua superfície, devido ao seu estado de encruamento após a usinagem, assim, estima-se que a ferramenta de micromartelamento não ocasionou mudanças significativas no material.

O ensaio de tração mostrou valores de tensão máxima e escoamento maiores para os corpos de provas onde houve o processo de micromartelamento mostrando que a tensão compressiva na superfície da amostra pode influenciar nos resultados de forma positiva a este novo método;

Contudo, o ensaio de fadiga apresentou resultados que desfavorecem o micromartelamento na superfície do aço, comportamento este prejudicado pelas condições já acima descritas como o estado de encruamento do material analisado e possível relação da usinagem dos corpos de provas, levando-se em consideração que o processo talvez tenha fragilizado os corpos de provas, surgindo microtrincas e escamas na superfície, assim, causando a ruptura com menor número de ciclos de operação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à SATC pela possibilidade de execução do trabalho.

REFERÊNCIAS

ASTM E45-97 - Standard Test Methods for Determining the Inclusion Content of Steels – Annual Books of ASTM Standards, Section 3, Volume 03.01, ASTM, West Conshohocken, p163-176,1999.

Belentani, B. A.; Silva, E. F.; Santos, M. Jr.; Martins, C. D.; Meoralli, L. M. *Relatório 4 -Ensaio de Fadiga - Laboratório de Materiais II*. UNESP – Universidade Estadual Paulista, 2014.

Callister, W. D. *Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução*. 5. ed. Rio de Janeiro, LTC, 2002.

Chiaverini, V. *Aços e Ferros Fundidos: características gerais, tratamentos térmicos, principais tipos* – 7. ed. ampl e rev. São Paulo, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais – ABM, 2005.

Colpaert, H. *Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns*. 4. ed. São Paulo, Edgard Blucher, 2008.

DEL MONTE, Fernando Ferreira. **Desenvolvimento de elementos de fixação (âncoras de suturas) em materiais biocompatíveis através de processo de Manufatura Aditiva**. 2016. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

Giora, R. P. *Avaliação Comparativa de Barras Laminadas do Aço AISI 304L Com e Sem Tratamento Térmico de Solubilização Com Foco em Corrosão*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012.

ISO 8501 – Preparation of steel substrates before application of paints and related products – Visual assessment of surface cleanliness - Part 1: Rust grades and preparation grades of uncoated steel substrates and of steel substrates after overall removal of previous coatings (2007).

Monti. *Product Sheet Bristle Blaster*. Disponível em: <http://www.bristle-blaster.com/en/>. Arquivo extraído da Internet em março de 2022.

NBR 13284. *Preparação de corpos-de-prova para análise metalográfica* - Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, 1995.

NBR ISO 6892-1/2013. *Metallic materials - Tensile testing - Part 1: Method of test at room temperature*, 2013.

Onyuna, M., Oettel, H., Martin, U., Weib, A., On the deformation behaviour and martensitic transformation of metastable austenitic steels, *Advanced Engineering Materials*, 2004, 529- 535.

PEDROSA, P. D. **Variação do Estado de Tensões Residuais Introduzidas por Shot Peening em Aço Duplex uns 31803 Durante Ciclos de Fadiga**. 2007. 188p. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2007.

PUKASIEWICZ, MGA. **Propagação de trincas por fadiga em juntas soldadas do aço inoxidável martensítico tipo CA6NM-**. 2002. Tese de Doutorado. Dissertação de mestrado, Curitiba.

RIBEIRO, J. E.; VAZ, M. A. P.; PILOTO, P. A. G. **Medição de campos de tensões residuais: estudo preliminar**. 2003.

RODRIGUES, L.D., **Medição de tensões residuais em tubos visando a determinação e esforços em dutos enterrados**, Dissertação M.Sc, DEM, PUCRio, abril 2007.

Stango, R. J. *Application of Bristle Blasting for Maintenance and Refurbishment of Ship Steel*, Mechanical Engineering Department, Marquette University, 2011a.

Stango, R. J.; Fournelle, R. A.; Martinez, J. A. *Bristle Blast Surface Treatment of Welded Joints Fabricated from Commercial Ship Construction Steel*, NACE Corrosion Conference, Paper No. 11417, 2011b.

Xavier, K.; Barroso, P. S. *Investigation of shot-peened austenitic stainless steel 304L by means of magnetic Barkhausen noise*, Materials Science and Engineering A, 2010.