

ESTUDO DO EFEITO TRIP DO AÇO 316L INDUZIDO POR CONFORMAÇÃO MECÂNICA POR LAMINAÇÃO A FRIO E POR JATEAMENTO COM MICROESFERAS DE VIDRO

Matheus Felipe Teodoro Nascimento (IC), Ricardo Luiz Perez Teixeira¹ (PQ)

¹Universidade Federal de Itajubá – Campus Itabira.

Palavras-chave: Aço inoxidável. Laminação. Jateamento. Efeito TRIP. Martensita α' .

Introdução

O aço inoxidável austenítico AISI 316L grau ASTM F138: 2019 é empregado como biomaterial metálico de baixo custo, em relação às demais ligas metálicas de biomaterial (como as ligas de titânio), em próteses e em equipamentos cirúrgicos, dentre outras aplicações na área médica cirúrgica. Estas aplicações se devem às suas boas propriedades mecânicas e especialmente a sua resistência à corrosão (RATNER, 2004; ASTM138-13a, 2013).

Muito embora o aço apresente as características mencionadas, estas poderão ser comprometidas com o surgimento de defeitos provenientes da conformação mecânica, possibilitando a nucleação de fase cristalina de martensita α' . A martensita α' é gerada por efeito TRIP (plasticidade induzida por transformação de fases) e ocorre em aços inoxidáveis austeníticos, como o 316L. Ela altera as características microestruturais, mecânicas, de resistência à corrosão e magnéticas do aço AISI 316L, tornando-o inadequado para uso como biomaterial, segundo a norma ISO 5832-1 (2016). Segundo a norma, o aço deve se apresentar plenamente austenítico, sem a presença de outras formas, como a martensita α' , detectáveis por microscopia em uma ampliação de até 10 \times , fases (MARQUES et al., 2020).

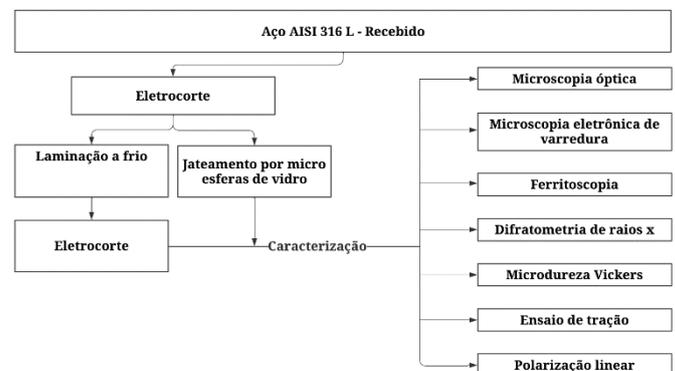
Desse modo, o objetivo deste estudo é avaliar a variação da geração de martensita α' por efeito TRIP no aço inoxidável AISI 316L como recebido, jateado por microesfera de vidro e laminado a frio, com reduções de espessura de 10%, 20% e 30%, por meio de análises microscópicas, magnéticas, químicas e mecânicas e verificar em que condições satisfaz plenamente a norma citada (ISO 5832-1, 2016).

Metodologia

As amostras do aço AISI 316L foram preparadas nas condições de laminação a frio com reduções de 10%, de 20% e de 30% de espessura e de jateadas com microesferas de vidro. As amostras foram dimensionadas e cortadas com dimensões aproximadas de 1 cm \times 1 cm

para realização das caracterizações mecânicas, eletroquímica, morfológica, magnética e cristalográfica, conforme Figura 1. Os cortes das amostras para caracterização foram feitos por eletroerosão a frio.

Figura 1- Metodologia para caracterização do aço AISI 316L



A amostra recebida do material 316L possui espessura inicial de 3,90mm. Para confecção das amostras nas condições de laminação foi necessário utilizar um laminador reversível, modelo L. E. 200 com cilindro de 120mm de diâmetro, operando com baixa velocidade, 6,05 m/s, a fim de não superaquecer a peça. Como já era conhecido a porcentagem de redução de espessura para as amostras, 10%, 20% e 30%, bastou realizar as laminações para chegar nos resultados mostradas na tabela 1.

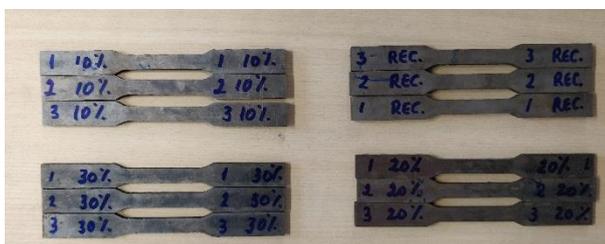
Tabela 1 - Variação do comprimento das amostras na laminação a frio.

Amostra	l ₀ (mm)	l _f (mm)	ε (%)
0%	3,90	3,90	0
10%	3,90	3,51	10
20%	3,90	3,08	20
30%	3,90	2,73	30

A amostra do material na condição de jateamento foi fornecida pela empresa *Aperam South America* em formato de chapa com medidas de uma folha A4 (297mm de comprimento x 210 mm largura) com 1,5mm de espessura.

Os ensaios mecânicos de tração foram feitos nas amostras do aço AISI 316L nas condições de material como recebido e material que passou por processo de laminação com redução da espessura de 10%, 20% e 30%. Para realização do ensaio, foi necessário o corte dos corpos de prova conforme a norma ASTM E8M, figura 2.

Figura 2 – Corpos de prova para ensaio de tração.



O ensaio foi realizado na máquina INSTRON modelo EMIC 23-1000 que possui aplicação de carga máxima de 100.000 (cem mil) newtons. A velocidade definida para realização do ensaio foi de 5 milímetros por minuto.

A análise de microscopia ótica foi feita no aço AISI 316L nas condições como recebido e com laminação com redução de espessura de 10% 20% e 30%, onde amostras 1cm x 1cm foram embutidas em baquelite lixadas com lixas de granulometria de 220, 400, 600 e 1200 respectivamente. O passo seguinte foi realizar o eletropolimento das amostras a uma temperatura de 40°C em 500 ml de uma solução com H₃PO₄ e H₂SO₄ na proporção volumétrica de 2:1, contendo 75 ml de glicerol. Para revelação das microestruturas, as amostras foram atacadas por ataque eletrolítico utilizando densidade de corrente de 1 A/mm² durante 3 minutos. A solução utilizada para o ataque foi 10%, da massa total da solução, de ácido oxálico e 90% de água destilada. Por fim, as amostras foram analisadas no microscópio óptico metalográfico da marca OPTON com ampliação de 400x.

O ensaio de Microdureza Vickers foi realizado nas amostras em todas as condições estudadas. Para realização dos ensaios foi considerado a norma ASTM E 92:17. As medições de microdureza foram realizadas utilizando o equipamento WILSON modelo 402 MVD onde as características de operação foram: carga aplicada de 300 grama-forças por 10 segundos.

As análises de Difratoimetria de Raio X foram feitas com ângulo de varredura de 0,02° por minuto com 2θ estabelecido em um intervalo entre 10 e 120°. Foi necessário lixar as amostras nas condições de como recebido e laminadas com lixas de granulometria 400, 600 e 1200.

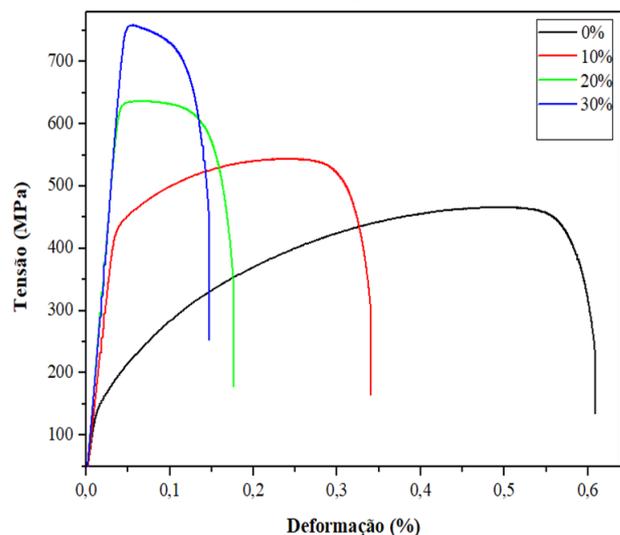
O ensaio de Ferritoscopia foi realizado em todas as amostras estudadas onde foram feitas 20 medições em condição jateada, e 10 medidas em cada amostra laminada e em condição recebida.

O ensaio de Polarização Potenciodinâmica foi realizado nas amostras em todas as condições. Foi utilizada solução de NaCl em concentração de 3,5% em volume, com célula composta pelo eletrodo de calomelano saturado, um eletrodo de platina e a amostra de 1cm X 1cm. O ensaio foi feito em temperatura de 24°C com taxa de varredura do ensaio de 1,67 mV/s e com um acréscimo de potencial de 5 mV. Assim, o objetivo é analisar o potencial crítico de pite, Epite, das amostras em condições jateada e laminada.

Resultados e discussão

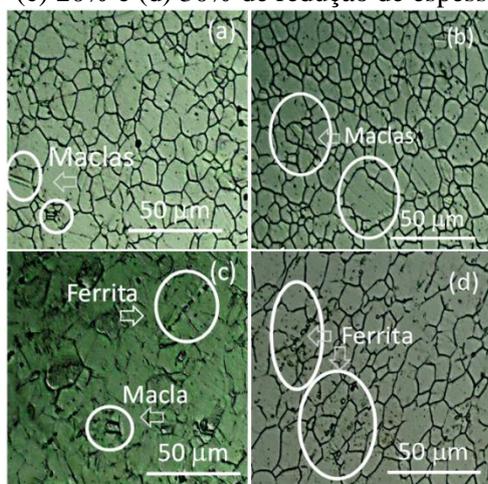
Os resultados do ensaio de resistência mecânica por tração uniaxial demonstraram que com o aumento percentual de redução de espessura por laminação a frio, houve um aumento considerável da tensão de escoamento, tensão máxima, tensão de ruptura e modo elástico; e uma diminuição da estrição. Os resultados são apresentados na figura 3.

Figura 3 - Ensaio de tração das amostras do aço AISI 316L como recebido, com 10%, 20%, e 30% de redução de espessura.



As micrografias das amostras de aço AISI 316L revelaram a presença de grãos característicos da fase austenítica, os quais sofreram deformação pela conformação a frio, o que resultou na elevação gradual com a deformação da resistência mecânica. Presença de ferrita nas condições de 20% e 30% de deformação foram identificadas, o que pode induzir a formação de martensita α' . As imagens capturadas e analisadas são demonstradas na figura 4.

Figura 4 - Microscopia óptica das amostras do aço AISI 316L com ampliação de 400x: (a) Recebido; (b) 10%; (c) 20% e (d) 30% de redução de espessura.



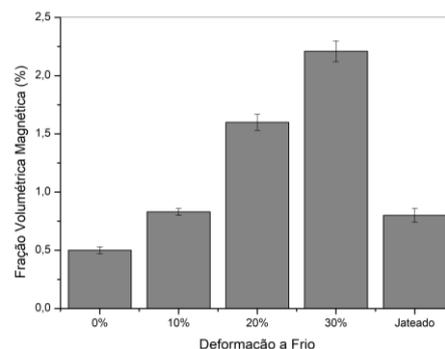
Os resultados de Dureza Vickers das amostras conformadas mostraram, também, o aumento gradual da dureza conforme a progressão das laminações e aumento da dureza na condição jateada quando comparada a amostra na condição recebida. Os resultados são demonstrados na tabela 2.

Tabela 2 - Dureza Vickers das amostras do aço AISI 316L.

Amostra	Dureza (HV)
0%	159 ± 10
10%	245 ± 15
20%	279 ± 30
30%	318 ± 40
Jateado	340 ± 8

Os ensaios de Ferritoscopia detectaram um aumento gradual da fração volumétrica magnética com a elevação da deformação por laminação e por jateamento. O aumento de fase magnética nas amostras pode indicar a nucleação de fase martensita α' . Os resultados obtidos são demonstrados na figura 5.

Figura 5 - Fração magnética induzida por deformação a frio.



A difratometria detectou a presença de fase cristalina de martensita α' nas amostras de redução de espessura de 20% e de 30% e na amostra jateada, sendo somente detectada ruídos para menores deformações do aço 316L. Esse resultado confirma a nucleação do efeito TRIP por deformação a frio, com o aumento da deformação aumentou-se o número de discordâncias e essas foram responsáveis pela nucleação da martensita α' . Os resultados são demonstrados na figura 6 e figura 7.

Figura 6 - Difratograma de raios X das amostras laminadas.

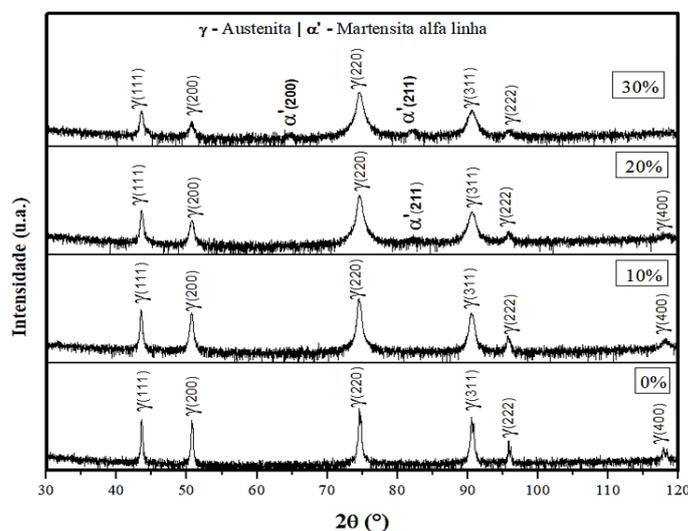
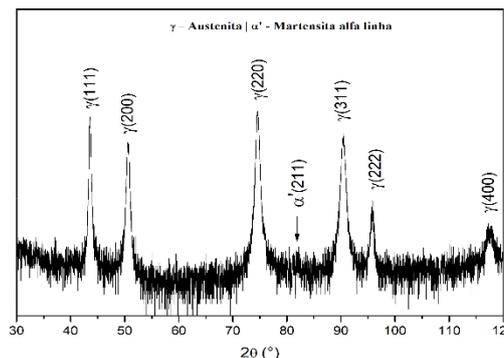


Figura 7 - Difratograma de raios X da amostra jateada



Os resultados do ensaio de Polarização Potenciodinâmica são apresentados na figura 8. O potencial de pite (Epíte) representa o momento em que os pites são formados e há um aumento brusco da densidade de corrente, onde quanto maior for o potencial de pite, maior será a resistência do material a formação de pite (DE BARROS; MOREIRA, 2013). Mediante a isso, os resultados encontrados não satisfazem o estudo, pois através das análises feitas no MEV, figura 9, o material com maior evidência de pite foi a amostra com 30% da redução de espessura.

Figura 8 – Resultados do ensaio de polarização.

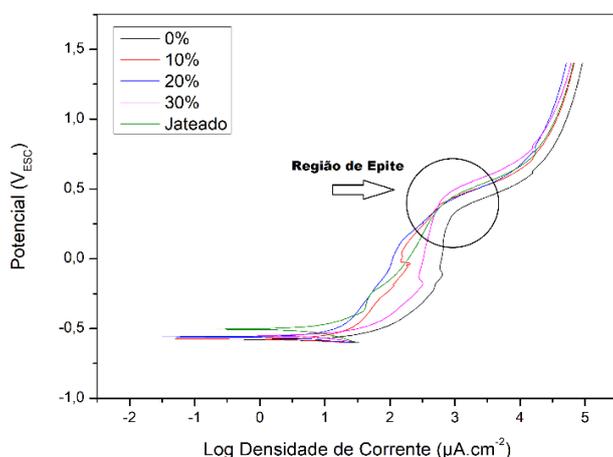
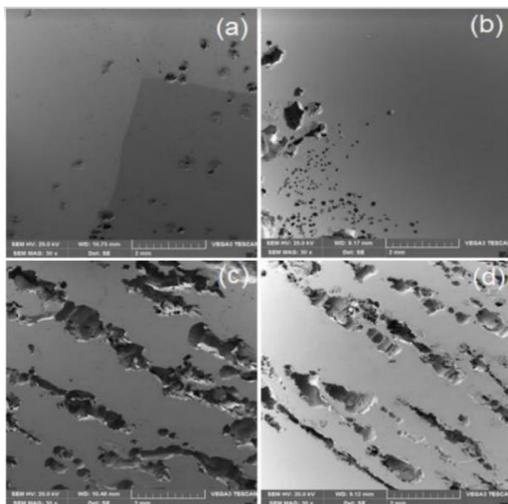


Figura 9 – Curvas do ensaio de polarização. (a) Recebido; (b) 10%; (c) 20% e (d) 30%



Conclusões

As amostras do aço AISI 316L que foram preparadas nas condições de laminação a frio e de jateamento com microesferas de vidro apresentaram um encruamento e um percentual volumétrico de fase magnética crescente com a intensidade do encruamento. Pelos resultados de

difração de raios X, detectou-se a presença de martensita α' nas condições de redução de espessura de 20% e de 30%, bem como na condição de jateamento. Portanto, o efeito TRIP foi detectado principalmente nessas condições e recomenda-se, após a conformação a frio e o jateamento do aço AISI 316L, um tratamento térmico de austenitização a 1050°C, para que o aço possa atender plenamente como biomaterial austenítico atendendo a norma ISO 5832-1 (2016).

Agradecimento

Agradeço a Deus por toda força, graça e sustento concedido a mim e aos meus apoiadores durante a realização dos trabalhos de Iniciação Científica.

Agradeço ao meu orientador Prof. Ricardo Luiz Perez Teixeira por todo apoio, incentivo, dedicação e companheirismo ao me instruir na realização desse trabalho.

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa ofertada que foi de suma importância para construção dos estudos apresentados nesse trabalho.

Referências

ASTM F138-13a, Standard Specification for Wrought 18Chromium-14Nickel-2.5 Molybdenum Stainless Steel Bar and Wire for Surgical Implants (UNS S31673), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013.

ISO 5832-1, Implants for surgery - Metallic materials - Part 1: Wrought stainless steel, International Organization for Standardization, 2016.

MARQUES, Allan Victor Mathias et al. Avaliação do efeito de deformação plástica na dureza, microestrutura e propriedades magnéticas de um aço inoxidável AISI 316L. *Matéria* (Rio de Janeiro), v. 25, 2020.

DE BARROS, A. P.; MOREIRA, F. L. INFLUÊNCIA DO TEMPO DE EXPOSIÇÃO À 475°C NA SENSITIZAÇÃO E NOS POTENCIAIS DE PITE E DE PROTEÇÃO DO AÇO INOXIDÁVEL SUPER DUPLEX UNS S32750, 2013.

RATNER, Buddy D. et al. *Biomaterials science: an introduction to materials in medicine*. San Diego, California, p. 162-4, 2004.