

EFEITO DO TRATAMENTO TÉRMICO NO ENSAIO DE TRAÇÃO A QUENTE DE UMA LIGA FERROSAPedro Henrique de Sousa Jardim (IC), Reny Angela Renzetti (PQ)¹¹Universidade Federal de Itajubá, Campus Itabira.**Palavras-chave:** Aço inoxidável duplex. Ensaio de Tração. Efeito PLC. Temperatura.**Introdução**

Na última década, o uso dos aços inoxidáveis duplex intensificou-se e grande experiência no manuseio e especificação/seleção destas ligas foi acumulada, assim como abundantes resultados de pesquisa relacionados à corrosão tanto generalizada como localizada desta família de aços inoxidáveis (OLIVEIRA, 2023).

O aço inoxidável duplex 2205 é amplamente utilizado em diversas indústrias devido a sua combinação de elevada resistência mecânica e excelente resistência à corrosão. Entre as propriedades mecânicas cruciais para o desempenho dos materiais, destaca-se a resistência à tração, que é comumente avaliada no ensaio de tração. Este tipo de ensaio é fundamental para se determinar a capacidade de um material de suportar forças de tração sem sofrer deformações ou fraturas (CALLISTER, 2016).

Um fenômeno que pode ser observado durante o ensaio de tração é o efeito Portevin-Le Chatelier (PLC), que é influenciado pela temperatura, composição química do material entre outros (SANTOS, 2019). A compreensão das interações do aço inoxidável duplex 2205 e do efeito PLC no ensaio de tração é essencial para a otimização de desempenho do material em aplicações críticas. A análise desses aspectos, fornece dados valiosos sobre o material, os processos de fabricação na qual o material pode ser submetido, as condições operacionais entre outros.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho é analisar o comportamento do aço inoxidável duplex 2205 em um ensaio de tração com diferentes temperaturas, obtendo as curvas de tensão-deformação e os parâmetros do material tais como: tensão máxima, limite de escoamento, módulo de elasticidade e deformação.

Metodologia

O material utilizado para este estudo foi uma chapa de aço AISI 2205, com espessura de 1,30 mm. O processo de corte dos corpos de prova foi realizado por eletroerosão a fio, garantindo precisão nas dimensões.

Para a análise metalográfica foram cortadas duas amostras para definir-se o sentido de laminação da chapa de aço AISI 2205. Em seguida, as amostras foram embutidas utilizando baquelite, lixadas, polidas e submetidas a um ataque químico eletrolítico, onde a amostras ficaram 30 segundos submersas em uma solução de 10% V de ácido oxálico com uma tensão de 3 volts. Para a visualização das fases e definir o sentido de laminação ao qual a chapa foi laminada, utilizou-se o microscópio eletrônico de varredura (MEV).

O ensaio de tração foi conduzido em três diferentes temperaturas: 100°C, 200°C e 300°C. Para o aquecimento dos corpos de prova, utilizou-se um forno de aquecimento indutivo acoplado com controle de temperatura, que funciona em conjunto com a máquina do ensaio de tração.

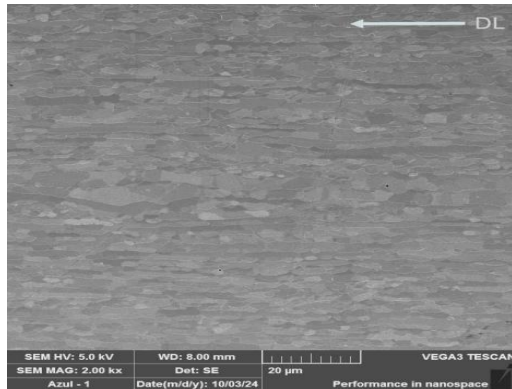
Após o aquecimento dos corpos de prova com as respectivas temperaturas, aguardou-se um intervalo de 20 minutos para a estabilização térmica. Posteriormente, os corpos de prova foram tracionados com uma velocidade constante de 5 mm/min. Os ensaios foram realizados de forma triplicada. Utilizando os resultados apresentados pelo ensaio de tração plotou-se as curvas de tensão-deformação e analisou-se os seguintes parâmetros: tensão máxima ($\sigma_{m\acute{a}x}$), limite de escoamento (σ_e), módulo de elasticidade (E), e a deformação em termos de alongamento (ϵ).

Resultados e discussão

Com o auxílio do microscópio eletrônico de varredura, foi possível obter as micrografias das amostras e definir a direção de laminação da chapa, como é mostrada na Fig. 1. Na figura, é possível observar a presença das fases de ferrita (cinza escuro) e austenita (cinza claro). A seta indica a direção de laminação (DL). É possível observar que as fases estão alinhadas com a direção de laminação.

“Do conhecimento acadêmico à transformação sustentável: inovação com validação científica”

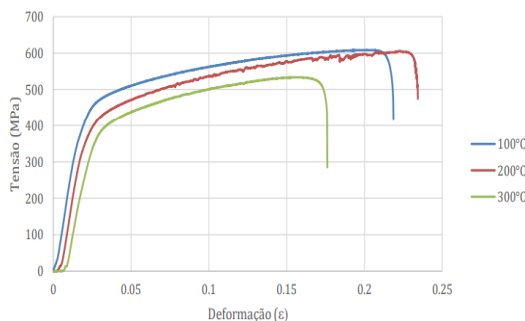
Figura 1 – Imagem da microestrutura da amostra, após o uso do microscópio eletrônico de varredura.



Fonte: Autoria Própria, 2024.

Com a realização do ensaio de tração foi possível plotar as curvas de tensão-deformação, Fig. 2, para as temperaturas de 100°C, 200°C e 300°C.

Figura 2 – Curvas de tensão-deformação para o aço AISI 2205 nas temperaturas de 100°C, 200°C e 300°C.



Fonte: Autoria Própria, 2024.

Através das curvas acima foi possível identificar para as três temperaturas os seguintes parâmetros: tensão máxima ($\sigma_{m\acute{a}x}$), limite de escoamento (σ_e), módulo de elasticidade (E), e a deformação em termos de alongamento (ϵ). Os valores para os parâmetros acima estão apresentados na tabela a seguir.

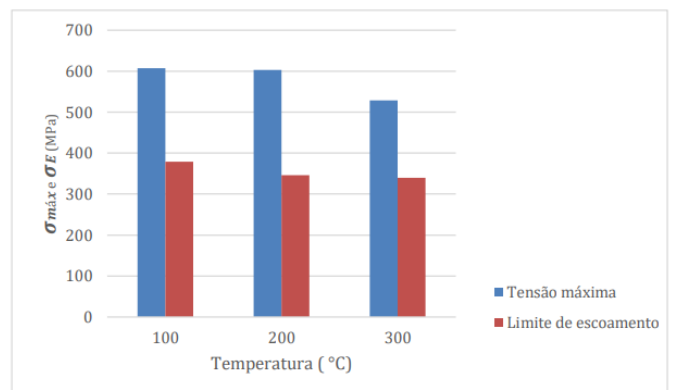
Tabela – 1. Parâmetros médios para as temperaturas de 100°C, 200°C e 300°C.

Temperatura (°C)	$\sigma_{m\acute{a}x}$ (MPa)	σ_e (MPa)	E (GPa)	ϵ (%)
100	607,372	378,717	26,249	22,538
200	603,365	346,211	26,727	22,994
300	528,846	339,406	24,101	17,555

Fonte: Autoria Própria, 2024.

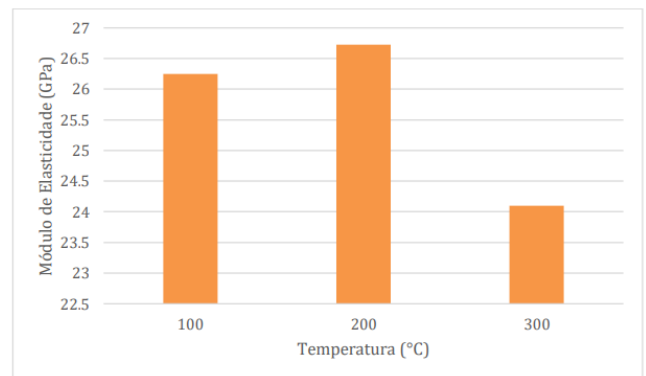
Utilizando os valores apresentados na tabela foi possível plotar gráficos para os parâmetros, Fig. 3 (tensão máxima e limite de escoamento), Fig. 4 (módulo de elasticidade) e Fig. 5 (alongamento).

Figura 3 – Valores médios da tensão máxima e do limite de escoamento para as temperaturas de 100°C, 200°C e 300°C.



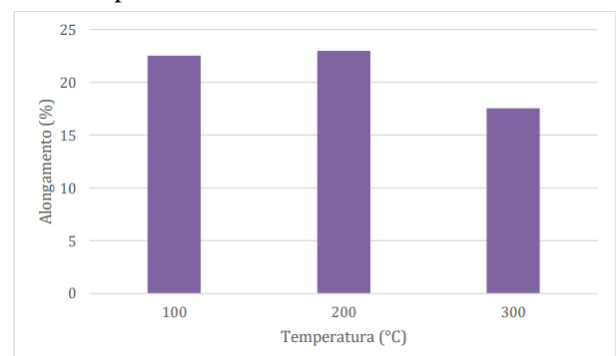
Fonte: Autoria Própria, 2024.

Figura 4 – Valores médios do módulo de elasticidade para as temperaturas de 100°C, 200°C e 300°C.



Fonte: Autoria Própria, 2024.

Figura 5 – Gráfico de valores médios do alongamento para as temperaturas de 100°C, 200°C e 300°C.



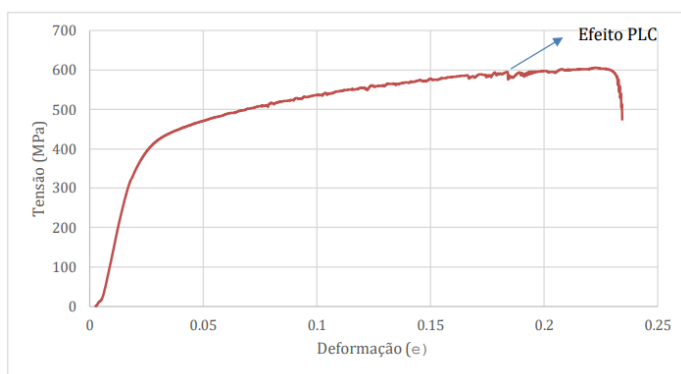
Fonte: Autoria Própria, 2024.

“Do conhecimento acadêmico à transformação sustentável: inovação com validação científica”

Durante o ensaio de tração, as amostras submetidas a temperatura de 200°C apresentaram o efeito de Portevin-Le Chatelier (PLC), Fig. 6, sendo caracterizado por apresentar uma região serrilhada na zona plástica, na curva tensão-deformação. Ou seja, por oscilações na tensão durante o processo de deformação plástica. Ele ocorre quando o corpo de prova contendo elementos de liga é carregado até a zona plástica.

A ocorrência do efeito PLC está condicionada principalmente devido a taxa de deformação e à temperatura, manifestando-se apenas dentro de intervalos específicos dessas variáveis. Além desses dois fatores, o efeito PLC pode ser influenciado também pela composição química do elemento e a concentração do soluto (SANTOS, 2019).

Figura 6 – Gráfico de tensão-deformação apresentando efeito PLC.



Fonte: Autoria Própria, 2024.

Em relação aos parâmetros analisados, observou-se uma redução nos valores de tensão máxima e limite de escoamento. Em contrapartida, tanto o módulo de elasticidade quanto o alongamento apresentaram aumento. Além disso, verificou-se que, ao submeter as amostras à temperatura de 300 °C, o efeito Portevin–Le Chatelier (PLC) tornou-se completamente ausente.

Conclusões

Ao submeter o aço inoxidável duplex 2205 a diferentes graus de temperatura a tendência de seus parâmetros tais como: tensão máxima, limite de escoamento, módulo de elasticidade e deformação é diminuir conforme o aumento de temperatura. A redução dos parâmetros devido a influência da temperatura nas amostras submetidas à 300°C em comparação com as amostras submetidas à temperatura de 100°C e 200°C, foi de:

- Tensão Máxima: 78,526 MPa;
- Limite de escoamento: 39,311 MPa;
- Módulo de elasticidade: 2,148 MPa;
- Alongamento: 4,983%.

As amostras submetidas a temperaturas na faixa de 200°C, apresentaram o serrilhado característico na curva tensão-deformação o que evidenciou o efeito PLC. Além disso, houve um aumento no alongamento e no módulo de elasticidade. Esses resultados evidenciam a importância de considerar a influência térmica nas propriedades mecânicas do aço inoxidável duplex 2205, especialmente em aplicações que envolvem variações de temperatura.

Agradecimentos

Agradeço à UNIFEI, pela disponibilidade dos recursos que garantiram a realização deste trabalho.

Referências

- CALLISTER, William D. RETHWISCH, David G. Ciência e Engenharia dos Materiais. 9ª edição. Rio de Janeiro. 2016.
- OLIVEIRA, Augusto César Araújo. INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NO ENSAIO DE TRAÇÃO DO AÇO INOXIDÁVEL DUPLEX UNSS31803/AISI 2205. Universidade Federal de Itajubá. Itabira - MG. 2023.
- SANTOS, Aécio de Jesus Monteiro. INFLUÊNCIA DA ANISOTROPIA SOBRE O EFEITO DE PORTEVIN-LE CHATELIER NAS CHAPAS AA5182. Universidade Federal do Pará. Belém – PA. 2019.