



XXIV CREAM
Congresso Nacional de Estudantes
de Engenharia Mecânica



Universidade Federal
do Rio Grande



INSTITUTO FEDERAL
RIO GRANDE DO SUL
Campus Rio Grande

XXIV Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica – 11 a 15/09/2017 – Rio Grande - RS

OBTENÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO AÇO AISI 4340

LARA CRISTINA PEREIRA DE ARAÚJO¹, LEONEL L. D. MORALES^{1,2}

1. Centro Universitário do Distrito Federal – UDF, Escola de Engenharia e Tecnologia. Engenharia Mecânica
SEP/SUL EQ 704/904 Conj. A
CEP 70390-045 – Brasília, DF.

2. Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Programa de Pós-Graduação em Ciências Mecânicas.
Campus Universitário Darcy Ribeiro
CEP 70910-900 – Brasília, DF.
llaracristina@gmail.com

RESUMO: Um dos materiais mais utilizados na indústria mecânica, offshore e naval é o aço AISI 4340, devido a suas propriedades mecânicas as quais permitem altas exigências. A liga também é usada na fabricação dos risers presentes nos sistemas de extração de petróleo, fato que motivou o projeto do qual este estudo faz parte. Este trabalho apresenta os resultados preliminares da caracterização do aço AISI 4340. Para fins comparativos foram usados corpos de provas para o material recozido e normalizado. A partir de corpos de provas confeccionados com aço AISI 4340, foram realizados testes de ensaios de tração para obter as propriedades mecânicas do material e por meio dos testes de dureza foi possível verificar a influência dos tratamentos térmicos das amostras. A partir dos valores encontrados foram construídas as curvas de tensão deformação nas duas condições e comparados os resultados.

Palavras-Chave: Caracterização, propriedades mecânicas, aço 4340

ABSTRACT:

One of the most used materials in the mechanical, offshore and naval industry is AISI 4340 steel, due to its mechanical properties which allow high demands. The alloy is also used in the manufacture of risers present in oil extraction systems, a fact that motivated the project of which this study is part. This paper presents the preliminary results of the characterization of AISI 4340 steel. For comparison purposes, test bodies were used for annealed material and standardized. From test bodies made with AISI 4340 steel, tensile tests were carried out to obtain the mechanical properties of the material and through the hardness tests it was possible to verify the influence of the thermal treatments of the samples. From the values found, the stress strain curves were constructed under both conditions and the results were compared.

Keywords: Characterization, mechanical properties, steel 4340

INTRODUÇÃO

A caracterização de materiais, por meio de ensaios uniaxiais, é de fundamental importância para conhecer as propriedades mecânicas dos materiais e dessa forma obter subsídios para estruturar modelos constitutivos robustos que permitem prever a forma como evolui o comportamento plástico e o endurecimento dos mesmos, aplicações desta natureza podem ser observadas em Malcher (2011) aonde são descritas várias contribuições e a forma como os modelos evoluíram ao longo dos últimos anos. Outra contribuição importante Recentemente novas abordagem e aplicações relacionadas aos materiais elasto-plásticos foram apresentadas, uma das mais importantes publicações neste sentido foi publicadas por Mamiya, et al (2014) onde é proposto um modelo baseado no terceiro invariante do tensor tensão, os resultados apresentados são satisfatórios quando confrontados com dados experimentais, sendo que a calibração dos modelos nestes trabalhos foram possíveis de serem realizados a partir de resultados experimentais, por meio de ensaios de tração (Gao, et al 2011). Um estudo aplicado ao dimensionamento de componentes mecânicos considerando este comportamento pode ser encontrada no trabalho de Sandoval (2013). Nos risers existentes nas plataformas de extração de petróleo (Thomas 2001) é utilizado o aço AISI 4340 devido apresentar propriedades mecânicas adequadas às exigências da função, este material é considerado de baixa liga e alta resistência, como descrito por Kupka (2009).

Com o intuito de melhorar ou recuperar propriedades dos materiais ferrosos, são aplicados diferentes tratamentos térmicos, neste projeto foi investigado o comportamento do aço AISI 4340 normalizado e recozido. O tratamento de normalização, segundo Callister (2008) tem por objetivo uniformizar e refinar a granulação dos aços, assim como melhorar a uniformidade da microestrutura. Na normalização, é obtida uma melhor homogeneização das microestruturas resultantes do que no recozimento pleno, pois a temperatura de tratamento é mais alta. A granulação mais fina é conseguida no resfriamento mais rápido.

Os tratamentos térmicos de recozimento, de acordo com Vale (2011), são divididos em alívio de tensões ou subcrítico, recozimento para recristalização, recozimento para homogeneização, recozimento total ou pleno, recozimento isotérmico ou cíclico e esferoidização ou coalescimento. Os recozimentos para alívio de tensões e para recristalização são aplicados a qualquer liga metálica. O recozimento para homogeneização é indicado para peças fundidas. O recozimento total ou pleno e o recozimento isotérmico ou cíclico são indicados para os aços em geral. O que diferencia cada um desses tratamentos térmicos de recozimento é o produto formado e a aplicação prática do material tratado (no caso de necessitar maior resistência mecânica ou melhor usinabilidade).

Neste trabalho o objetivo é identificar as propriedades do aço AISI 4340 tratados termicamente, para verificar a diferença de dureza, o limite de escoamento e o endurecimento do material, por meio de ensaios laboratoriais. Do ponto de vista metodológico, foram realizados ensaios em corpos de provas, construídas as curvas características e mensuradas as propriedades. Após realizados os ensaios foram verificadas significativas mudanças para as condições estudadas, como era de se esperar há uma influência nas propriedades desse material após ser submetido aos tratamentos térmicos e os resultados são um importante subsídio para continuar os estudos e a estruturação de modelos que descrevam o comportamento elastoplástico desse material.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O aço utilizado na pesquisa foi adquirido em forma de barras, nas condições de recozido e normalizado, sendo o diâmetro nominal de 1 polegada.

O aço AISI 4340 é um aço ligado ao cromo e molibdênio, apresenta boa resistência mecânica, usinabilidade média, baixa soldabilidade e alta temperabilidade. Este material frequentemente é empregado em componentes mecânicos em geral sob a ação de tensões dinâmicas e utilizado para a fabricação de peças na indústria automotiva e na indústria petrolífera e construção naval (Kupka, 2009). Na Tabela 1 é mostrada a estrutura química do material.

Tabela 1. Composição do aço AISI 4340 (retirado de Kupka, 2009)

C	Mn	P máx.	S máx.	Si	Cr	Mo
0,38 - 0,43	0,75 - 1,00	0,030	0,040	0,15 - 0,35	0,8 - 1,10	0,15 - 0,25

Este material é classificado como um aço baixa liga de médio carbono apresentando alta tenacidade, alta resistência quando tratado termicamente e com alta resistência à fadiga. São facilmente usináveis nas condições recozido, normalizado e revenido e apresentam boa ductilidade, quando recozido, a maioria das operações de conformação são executadas nesta condição, podendo ser dobrado, repuxado ou estampado, pode ainda ser soldados por fusão ou por resistência. Os estados pré-aquecimento e pós-aquecimento devem ser efetuados quando se usam métodos tradicionais de soldagem. Pode ser forjado na faixa de temperatura de 900 ~1230°C.

O aço AISI 4340 é considerado de baixa liga, para atingir uma microestrutura adequada para as diversas aplicações, geralmente, são tratados termicamente por austenitização, têmpera, e depois revenimento para melhorar as propriedades mecânicas (Hosford, 2007). Estes materiais são utilizados mais frequentemente na condição revenida, tendo as microestruturas da martensita (Callister, 2008).

Em particular nesta investigação o material utilizado foi submetido à normalização numa faixa de temperatura de 860°C – 800°C, durante 1h, para cada 25 mm de diâmetro e resfriamento ao ar. O recozimento do Aço AISI 4340 adquirido para este projeto foi realizado a 850°C, durante 1h, para cada 25 mm de diâmetro e resfriado lentamente no forno.

Inicialmente foram retiradas amostras dos dois materiais para realizar os ensaios de dureza e logo confeccionados os corpos de prova. Os corpos de prova (CPs) nesta etapa do trabalho foram produzidos seguindo a norma NBR ISO 6892-1. Na Figura 1 é mostrada a forma geométrica do corpo de prova utilizado.

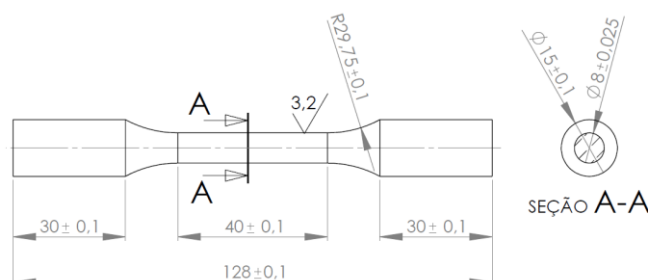


Figura 1. Representação gráfica do Corpo de Prova.

Como o objetivo inicial foi obter as propriedades mecânicas, nesta etapa do projeto foram confeccionados CPs lisos e com bom acabamento superficial e os dados foram tratados no MATLAB.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizados ensaios de dureza, para as amostras do material nas duas condições de tratamento (normalizado e recozido). O ensaio foi realizado por meio de um Durômetro Analógico Rockwell, no laboratório de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Distrito Federal – UDF. Os valores obtidos na escala HRC foram transformados para HB. As medições foram realizadas em três regiões da amostra, no centro, na região intermediária e na borda. A Figura 2 apresenta os resultados para a dureza do material normalizado.

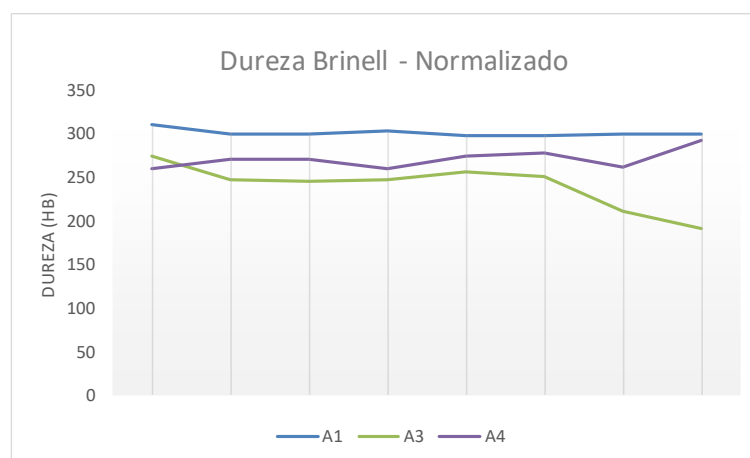


Figura 2. Dureza Brinell para amostra de aço AISI 4340 – Normalizado

Para obter os valores médios foram descartadas as medições que apresentaram valores muito discrepantes. Observando o gráfico da Fig. (2) podemos notar que a amostra 1 apresenta uma curva bastante uniforme e homogênea, porém são os valores mais altos, a amostra quatro apresenta valores menores. O valor médio da dureza Brinell para a condição normalizado foi de 271.42 HB.

Na Figura 3, são dispostas representações gráficas da dureza para o material recozido. Neste caso o procedimento de medição e critérios foram idênticos aos da condição normalizado.

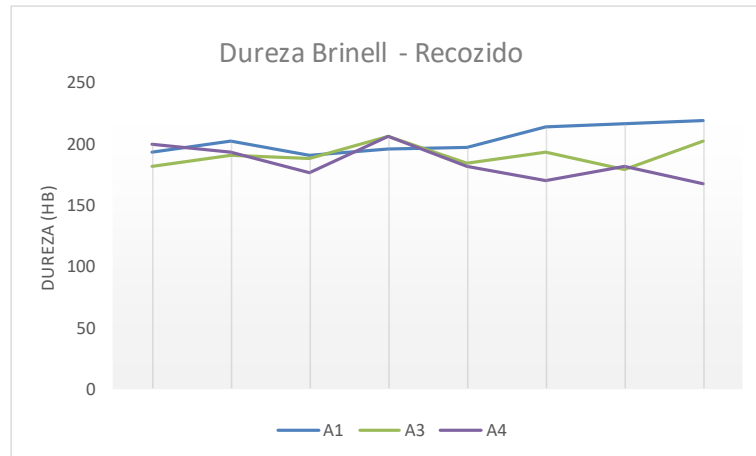


Figura 3. Dureza Brinell para amostra de aço AISI 4340 – Recozido

O valor médio da dureza para esta condição foi de 184.92 HB, a amostra 1, também foi bastante homogênea e apresenta os valores maiores. Nas duas situações foi possível constatar que na região intermediária das amostras os valores ficam levemente acima. Em geral, é possível afirmar que as medições obtidas são bastante aproximadas dos valores encontrados na literatura.

Para continuar o procedimento de caracterização do material, após obtidos os valores da dureza o procedimento continuou com os ensaios de tração monotônicos para corpos de provas do material nas duas condições estudadas, os ensaios foram realizados no laboratório de ensaios mecânicos da Universidade de Brasília e foi utilizada a Máquina de Ensaio Universal MTS.

A partir desses resultados serão encontradas grandezas de grande importância para o andamento da pesquisa. Força, deslocamento e deformação são os parâmetros fornecidos pelos ensaios. A partir desses valores são calculados os valores para a tensão de engenharia, a deformação verdadeira e a tensão verdadeira. A máquina de ensaio foi calibrada com uma velocidade de deslocamento de 1 mm por minuto e a força de fechamento das garras de 12 Mpa.

Após o ensaio foram fornecidos como resultado a força (KN) e o deslocamento sofrido pelo corpo de prova. Com estes valores foi possível calcular a Tensão e a Deformação de engenharia (MPa), usando as seguintes relações, mostradas na Eq. (1) e Eq. (2):

$$\sigma_{ENG} = \frac{F}{A} \quad (1)$$

$$\varepsilon_{ENG} = \frac{d}{l} \quad (2)$$

Aonde A, corresponde à área transversal, d é o deslocamento e l o comprimento da região de ensaio do corpo de provas. De posse desses valores foram calculados a Tensão e Deformação verdadeira (MPa), da seguinte forma, apresentadas na Eq. (3) e Eq. (4),

$$\sigma_V = \sigma_{ENG}(1 + \varepsilon_{ENG}) \quad (3)$$

$$\varepsilon_V = Ln(1 + \varepsilon_{ENG}) \quad (4)$$

Na Figura 4, são mostrados os resultados para força, tensão de engenharia e tensão verdadeira, obtidas a partir dos resultados do ensaio para o corpo de prova liso.

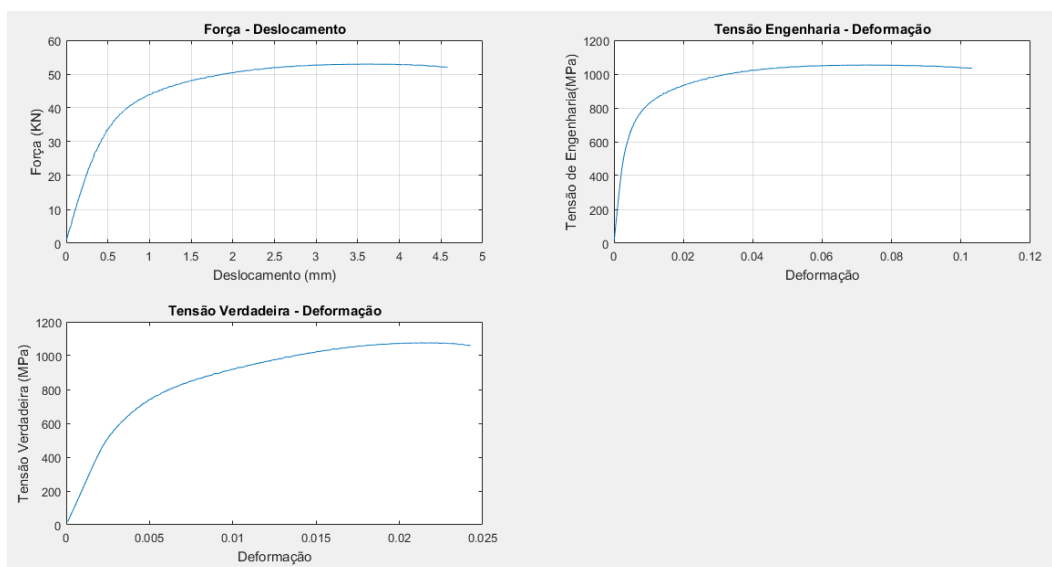


Figura 4. Curvas características para o Aço AISI 4340 Normalizado.

No caso do material normalizado os valores obtidos foram os seguintes, a força máxima atingiu um valor de 52.39 KN para um deslocamento máximo de 4.58 mm, sendo a tensão de engenharia máxima de 1053.17 Mpa, por outro lado a tensão verdadeira máxima foi de 1075.56 Mpa, o limite de escoamento para o material normalizado observado no ensaio foi de 634 Mpa, também foi calculado o módulo de elasticidade cujo valor foi de 198 GPa. Como é possível notar nas figuras anteriores o comportamento do material na condição normalizado é muito similar ao encontrado na literatura técnica.

Para fins de comparação também foram realizados ensaios para o material recozido, foram adotadas as mesmas condições de ensaio usadas no caso do aço normalizado e os resultados obtidos para esse experimento e usando corpo de provas do aço AISI 4340 recozido são mostradas nas curvas da Fig. (5).

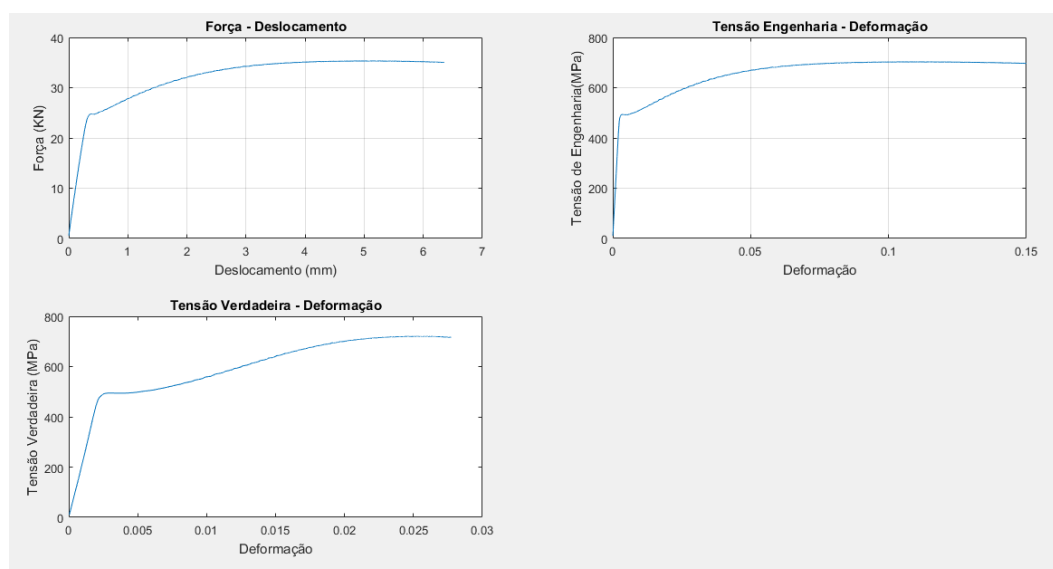


Figura 5. Curvas características para o Aço AISI 4340 Recozido.

Para o caso do aço AISI 4340 recozido temos que a força máxima no ensaio alcançou o valor de 35.32 KN, chegando a um deslocamento máximo em torno de 6.35 mm, já a tensão máxima de engenharia chega a um valor de 702.86 MPa, sendo que a tensão verdadeira máxima apresenta um valor de 720.63 MPa, quanto ao limite de Escoamento apresenta 500.93 MPa, para este caso também foi calculado o valor do módulo de elasticidade cujo valor foi de 205 GPa.

Importante ressaltar que a máquina de ensaio possui um *strain gauge*, por esse motivo no momento que o material começa a escoar, a máquina é parada, o *strain gauge* é retirado e o ensaio continua até o rompimento do corpo de prova. Este procedimento é adotado para preservar o equipamento.

Outra curva de interesse é a forma como a deformação plástica se comporta para este material, sendo assim a seguir são apresentadas as curvas de encruamento nas duas condições de ensaio. As Figuras 6 e 7 mostram a curva de encruamento para o aço AISI 4340 normalizado e recozido respectivamente.

A partir dos resultados da tensão verdadeira foram plotados os valores a partir da região de plasticidade dessa forma podemos ter uma previsão do comportamento plástico do material. Por convenção para identificar a região plástica deve ser traçada uma linha paralela à região elástica iniciando no ponto de 0.2% de deformação. Sendo este o valor de deformação permanente para metais.

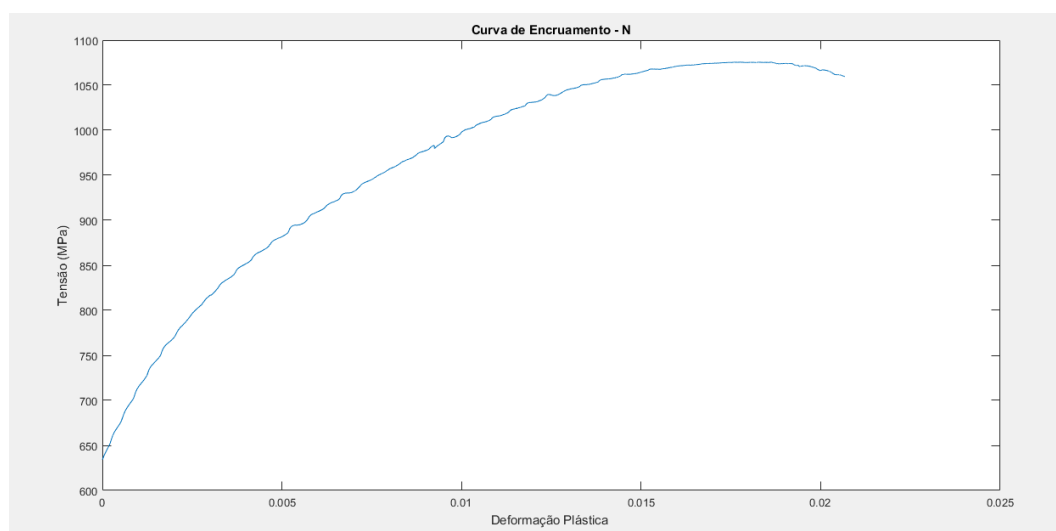


Figura 6. Curvas Encruamento o Aço AISI 4340 Normalizado.

Do ensaio é possível inferir que a tensão máxima para o aço normalizado é de 1075.56 Mpa, apresentando um comportamento não linear.

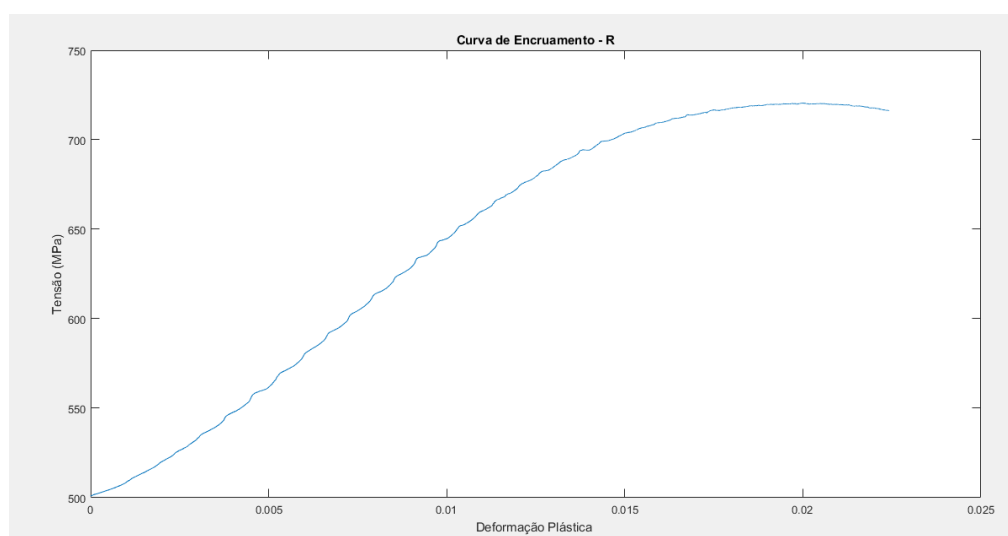


Figura 7. Curvas Encruamento o Aço AISI 4340 Recozido.

Para o caso do material recozido a tensão máxima de encruamento chega a um valor de 720.12 Mpa e como era de se esperar um comportamento também não linear.



Dessa forma foram encontrados os limites de escoamento do material nas duas condições de tratamentos térmicos, estes valores são de fundamental importância para a continuação da pesquisa, tanto para a calibração dos modelos numéricos quanto para a obtenção das equações governantes do fenômeno.

CONCLUSÃO

Do ensaio de dureza foi percebida uma mudança, como era de esperar, o material recozido apresenta uma dureza menor que o normalizado, a distribuição da dureza nos pontos de medição apresenta uma homogeneidade, sendo que na região intermediária das amostras foram observados os maiores valores. Isto significa que o objetivo do tratamento térmico foi eficaz e atingiu o propósito.

Quando observados os resultados dos ensaios de tração também foram percebidas diferenças significativas, acompanhando a tendência, isto é, o material recozido apresenta valores menores do que o material normalizado. Foi verificada uma redução entre as grandezas quantificadas da ordem de 68%, quando comparado o aço normalizado e recozido. O módulo de elasticidade é uma exceção desta variação, pois apresentou uma diferença da ordem de 3%. Em geral, os valores obtidos estão bastante próximos daqueles encontrados na literatura para este material e nas condições estudadas.

As curvas de encruamento apresentam tendência não linear e é necessário investigar modelos de ajuste para ter uma aproximação que permita usar esses resultados como calibração dos modelos numéricos.

Todos os resultados apresentados neste trabalho ainda são preliminares e insipientes, considerando que o projeto está ainda no início e há necessidade de continuar a pesquisa realizando um maior número de corpos de provas. Nas próximas etapas do projeto serão ensaiados corpos de provas com geometrias diferentes para encontrar a influência de outros parâmetros no comportamento do material.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Brasília, por ter cedido às dependências do laboratório de ensaio de materiais e ao Centro Universitário do Distrito Federal – UDF, pelo incentivo e apoio financeiro para a realização da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- Callister, W. D. J., 2008, “Ciência e engenharia de materiais uma introdução”. 7a ed. Utah: John Wiley & Sons, 2008.
- Hosford, W.F., 2007, “Materials Science an intermediate text”, Cambridge University Press.
- Gao, X., Zhang, T., Zhou, J., Graham, S.M., Hayden, M., Roe, C., 2011, “On stress-state dependent plasticity modeling: Significance of the hydrostatic stress, the third invariant of stress deviator and the non-associated flow rule”. International Journal of Plasticity, vol. 27, 2:217-231.
- Kupka P. K., 2009, “Utilização de Solução Polimérica em substancias ao óleo como meio de resfriamento no Tratamento Térmico Têmpera de Barras de Aço”, Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- Mamiya E. N., Malcher, L., Reis, F. J. P., Andrade, F.X.C, Cavalheiro J. V. S., 2014, “Elasto-plastic model based on the third invariant of the deviatoric stress tensor: Monotonic and cyclic loading application. 11th. World Congress on Computational Mechanics (WCCM XI), Barcelona.
- Malcher, L., 2011, “Da Mecânica do Dano Continuo: Uma evolução do Modelo de Lemaitre para Redução da Dependência do Ponto de Calibração”, Tese de Doutorado em Ciências Mecânicas Publicação ENMTD-09/2011. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília.
- Sandoval, C.F.B., 2013, “Modelos Elasto-plásticos e a sua Influência no Processo de Dimensionamento de Componentes Mecânicos”, Dissertação de Mestrado em Ciências Mecânicas, Publicação ENM.DM - 211/2014, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 88p.
- Thomas, J. E., 2001, “Fundamentos de Engenharia do Petróleo”, 2ª Edição. Editora Interciência.
- Vale, A. R. M., 2011, “Tratamento térmico”. IFPA e UFSM.

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo material impresso contido neste artigo.