

DETERMINAÇÃO DA FRAÇÃO DE RECRISTALIZAÇÃO ENTRE PASSES ATRAVÉS DO ENSAIO DE TORÇÃO A QUENTE COM DUPLA DEFORMAÇÃO DE UM AÇO MICROLIGADO AO NIÓBIO¹

José Brunoro²
Mario Roberto Bellini Tasca³
Helder Keitaro Ambo⁴
Marcelo Lucas Pereira Machado⁵

RESUMO

Os fenômenos metalúrgicos e microestruturais que ocorrem durante o processo de conformação a quente dos aços tem uma relação direta com os parâmetros de processamento como a temperatura, taxa de deformação, deformação, taxa de resfriamento e tempo entre passes. O controle desses parâmetros é de fundamental importância para a melhoria das propriedades mecânicas do material. Um método capaz de simular as condições reais dos processos termomecânicos da laminação é o ensaio de torção a quente, que possui uma boa eficiência e um baixo custo. Neste estudo são utilizadas amostras de um aço estrutural microligado ao nióbio que foram submetidas a ensaios termomecânicos na máquina de torção a quente do IFES. Foram realizados ensaios isotérmicos interrompidos com duas deformações. Através desses ensaios foram obtidas as deformações críticas para início da recristalização dinâmica, deformação de pico e a fração de recristalização entre passes.

Palavras-chave: Torção a quente; Laminação; Fração de recristalização (amaciamento).

Abstract

The metallurgical and microstructural phenomena occurring during hot forming steels have a direct relationship with the processing parameters such as temperature, strain rate, deformation, cooling rate and time inter passes. The control of these parameters is crucial for improving the mechanical properties of the material. A method to simulate the actual conditions of thermomechanical processes rolling mill is the hot torsion test, which has good efficiency and low cost. This study used specimens are of a structural steel microalloyed niobium that were submitted to the engine in hot torsion of IFES. Tests were performed with two isothermal interrupted deformation. Through these trials were obtained deformations critical to early dynamic recrystallization, deformation and peak fraction of recrystallization inter passes.

Key words: Hot torsion; Rolling mill; Fraction of softening.

¹ Contribuição técnica ao 68º Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Aluno de mestrado. Professor. IFES, Vitória, ES, Brasil.

³ Aluno de mestrado, IFES, Vitória, ES, Brasil.

⁴ Aluno de iniciação científica, IFES, Vitória, ES, Brasil.

⁵ Professor do IFES, Vitória, ES, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Os principais processos industriais de conformação a quente são: a laminação, a extrusão e o forjamento. Esses processos podem ser caracterizados através das variáveis, relevantes à simulação por torção a quente, tais como: a temperatura, a deformação, a taxa de deformação e o tempo entre deformações.⁽¹⁾

O processo de conformação a quente consiste, inicialmente, em aquecer o material até a temperatura de encharque, para a austenitização, realizar deformações programadas nas etapas de desbaste e de acabamento e em seguida promover o resfriamento controlado do material. A etapa de acabamento, durante o processo de tiras a quente na laminação de aços livres de intersticiais, é realizada com curtos tempos de espera entre passes. Sendo o intervalo entre passes pequenos, a recristalização estática não se completa, podendo ter o acúmulo de deformação de um passe para o outro e, conseqüentemente, o processo passa a ser controlado pela recristalização dinâmica ou metadinâmica, quando os últimos passes são efetuados no campo austenítico e ou pela recuperação dinâmica no campo ferrítico.

Uma técnica experimental capaz de reproduzir estas condições de processamento e que permite investigar os mecanismos que estão operando é o ensaio de torção a quente, através das curvas de escoamento plástico e do acompanhamento microestrutural. Com ensaios de torção a quente pode-se realizar sequencias de passes impondo parâmetros de processamento tais como a temperatura de reaquecimento, a taxa de resfriamento, a quantidade de deformação, a taxa de deformação e o tempo de espera entre passes.

Os ensaios de torção funcionam da seguinte forma: O eixo da máquina é dividido em duas partes, um eixo torçor e um eixo fixo que executa apenas o movimento de translação para permitir a colocação e a retirada dos corpos-de-prova. O controle, bem como o sistema de aquisição de dados, é feito através de uma interface com um computador.

As vantagens do ensaio de torção para determinação das curvas de escoamento plástico são inúmeras em relação a outros tipos de ensaios.⁽²⁾

Analisando a evolução da curva de escoamento plástico em conjunto com observações microestruturais pode-se determinar o mecanismo de amaciamento dominante em cada uma das etapas de processamento, permitindo assim, determinar os eventos característicos da laminação a quente e projetar sequencias de deformações que aperfeiçoam o processamento.⁽³⁾

A laminação é um processo de trabalho mecânico a quente, sendo uma etapa de extrema importância, pois é através dela que se obtêm as diversas formas dos produtos em aço para uso comercial (chapas, perfis, barras).⁽⁴⁾

O aço microligado ao nióbio é uma liga metálica largamente utilizada para construção de estruturas e equipamento devido as suas excelentes propriedades mecânicas. Em geral define-se, metalurgicamente, o aço microligado como sendo uma liga de ferro contendo baixo percentual em massa de carbono e também baixo percentual dos demais elementos de liga. Além do ferro e dos elementos de liga, esse aço contém sempre alguma quantidade de manganês, enxofre e fósforo, podendo apresentar ainda pequena quantidade de silício, alumínio e cobre.⁽⁵⁾

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Material Utilizado

Foi utilizado um aço comercial, microligado ao nióbio, cuja composição química está apresentada na Tabela 1. A análise química foi realizada utilizando um espectrômetro *Oxford Instruments*, modelo *Foundry-Master Pro* do laboratório de redução do IFES.

Tabela 1. Composição química do aço microligado ao nióbio

Fe	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Al	Cu	Nb	Ti	Co	P	S
98,3	0,1 24	0,1 07	0,3 82	0,4 28	0,4	0,0 44	0,0 35	0,0 26	0,0 79	0,0 24	0,0 11	0,0 17	0,0 12

2.2 Preparação dos Corpos de Prova

Os corpos de prova de torção foram usinados a partir de barras cilíndricas de 15,88 mm, com diâmetro útil de 5 mm e comprimento útil de 20 mm, como representado na Figura 1. O dimensionamento dos corpos de prova, diâmetro e comprimento úteis, foram otimizados para atender à capacidade de máximo torque do equipamento de torção e, assim, obter maiores taxas de deformação.

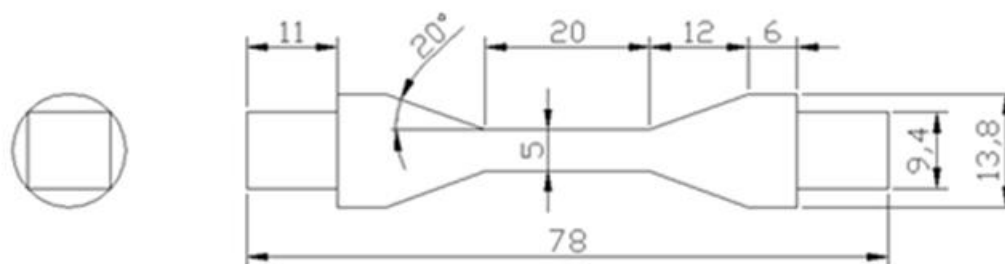


Figura 1. Desenho esquemático do corpo de prova.

2.3 Ensaios Isotérmicos Interrompidos com Duas Deformações

Esses ensaios são realizados com o objetivo de se identificar o que acontece nos intervalos entre os passes na conformação mecânica

Os ensaios foram interrompidos após uma deformação ($\epsilon_1 = 0,2$) menor do que a deformação crítica ($\epsilon_c = 0,24$) ou maior do que a deformação crítica obtida no ensaio de torção a quente, que foi de 0,4.

Os corpos de prova foram aquecidos até 1.230°C a uma taxa média de 3°C/s, e mantidos nessa temperatura durante 3 minutos, em seguida resfriados até a temperatura de ensaio a uma taxa média de 1°C/s e mantidos nesta temperatura por 1 minuto para eliminação dos gradientes térmicos antes do início da deformação.

A temperatura de ensaio foi mantida constante em 1.100°C e o tempo entre passes variando em intervalo de 1, 5, 15 e 40 s e com taxa de deformação de 0,2 s⁻¹ e deformação de 0,2. Uma segunda bateria de ensaios foi realizada, mantendo todos os parâmetros anteriores e alterando a deformação para 0,4.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os ensaios foram realizados de acordo com o procedimento explicitado no item 2.3. Com este tipo de experimento foi possível investigar os fenômenos de amaciamento que ocorrem nos intervalos entre passes em sequências de deformações.

A fração de amaciamento que ocorreu entre os passes, foi determinada pelo parâmetro de amaciamento PA (%), que é expresso pela Equação 1:⁽³⁾

$$PA(\%) = \frac{\bar{\sigma}_m - \bar{\sigma}_r}{\bar{\sigma}_m - \bar{\sigma}_0} \times 100 \quad (1)$$

Onde σ_m é a tensão na primeira interrupção do teste, σ_0 é a tensão de início de escoamento plástico na primeira deformação e σ_r a tensão na segunda deformação.

Para cada ensaio foram obtidas as curvas de escoamento plástico que podem ser vistas nas Figuras 2 e 3.

Observamos que a tensão de recarregamento da segunda deformação da Figura 2, onde a deformação é igual a 0,2 (abaixo da deformação crítica) está muito superior da tensão de recarregamento da primeira deformação. Já na Figura 3, onde a deformação é igual a 0,4 (acima da deformação crítica), essa diferença diminui, mostrando que o material amaciou mais do que a situação anterior. No caso da Figura 3d o amaciamento chegou a 100%, isso mostra uma completa recristalização do material.

As curvas da Figura 2 mostram que o amaciamento é bem pequeno, como mostrado nas Figuras 2a e 2b. Nestes dois casos o tempo entre passe é pequeno, portanto não há tempo para ocorrer a recristalização, ficando o amaciamento abaixo de 30%. As Figuras 2c e 2d é para o tempo entre passe de 15 segundos e 40 segundos respectivamente. Nestes dois casos o amaciamento aumentou, mostrando que ocorreu uma maior recristalização. A Figura 2c mostra um amaciamento acima de 50% e a Figura 2d chega a 80% de amaciamento.

As curvas da Figura 3 mostram que o amaciamento é bem grande, mesmo para tempo entre passe pequeno. Isso demonstra que ocorreu a recristalização Metadinâmica, seguida da dinâmica e por fim a estática. A Figura 3a com tempo entre passe de 1 segundo mostra que ocorreu um amaciamento acima de 60%. A Figura 3b com tempo entre passe de 5 segundos mostra um amaciamento acima de 80%. A Figura 3c com tempo entre passe de 15 segundos mostra um amaciamento acima de 90%. E por último, a Figura 3d com tempo entre passe de 40 segundos mostra um amaciamento de 100%, onde houve uma total recristalização do material.

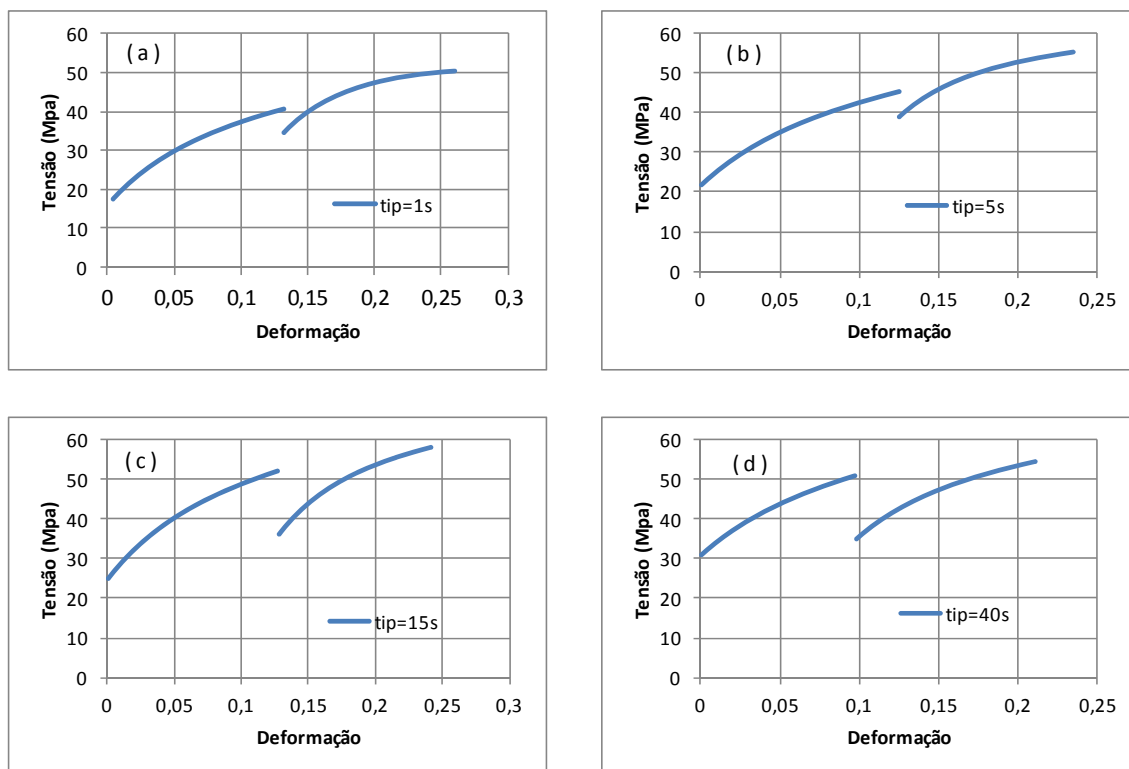


Figura 2. Ensaios isotérmicos com duas deformações realizados a 1.100°C do aço microligado ao nióbio, taxa de deformação $0,2 s^{-1}$, deformação 0,2 e tempo entre passes (t_{ip}) de: (a) 1s, (b) 5s, (c) 15s e (d) 40s.

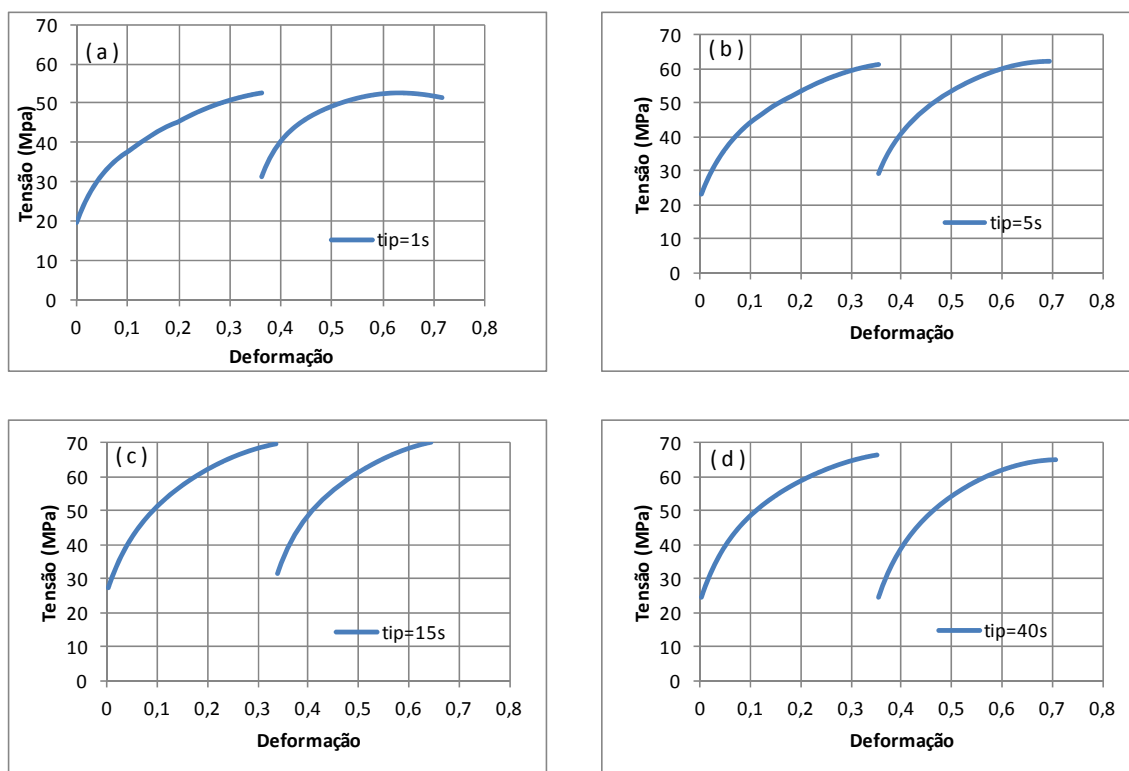


Figura 3. Ensaios isotérmicos com duas deformações realizados a 1.100°C do aço microligado ao nióbio, taxa de deformação $0,2 s^{-1}$, deformação 0,4 e tempo entre passes (t_{ip}) de: (a) 1s, (b) 5s, (c) 15s, e (d) 40s.

Com base nas curvas de escoamento plástico mostrado nas Figuras 2 e 3, observamos que à medida que o tempo entre passes aumenta, a tensão de recarregamento (σ_r) diminui. Isto ocorre porque o tempo entre passes é suficiente para que a recuperação e a recristalização estática restaurem o material, provocando assim amaciamento significativo após a deformação a quente. Podemos observar ainda que houve recristalização total, uma vez a fração de recristalização chegou a 100%.

4 CONCLUSÃO

Nos ensaios isotérmicos do aço microligado ao nióbio, concluímos que quanto maior o tempo entre passes, maior a fração de amaciamento do material.

O material quando foi deformado com deformação acima da deformação crítica teve um amaciamento significativamente maior do que aquele deformado abaixo da deformação crítica. Isto justifica a ocorrência da completa recristalização do material.

REFERÊNCIAS

- 1 BARBOSA, R. **Simulação de processos industriais a partir do ensaio de torção a quente**, Minas Gerais, Brasil, Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 1989.
- 2 JARRETA, D, D. SOUZA, N, E. BALANCIN, O. BARBOSA, A, C. **Análise crítica da base de dados de software de simulação numérica para conformação a quente da liga VAT 718**, Tecnologia em Metalurgia e Materiais – ABM, São Paulo, 2008.
- 3 REGONE, W. **Simulação da laminação a quente de um aço livre de intersticiais (if) através de ensaios de torção**, São Paulo, FAPESP, 2001.
- 4 FERRAZ, H. **Aço na construção civil**, São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2005.
- 5 BOSSARDI, K. **Nano tecnologia aplicada a tratamentos superficiais para o aço carbono 1020 ao fosfato de zinco**, Rio Grande do Sul, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.