



Simulação física da laminação de tiras a quente de um aço microligado ao Nióbio e Titânio

Gabriel Augusto de Avila Santiago^{1,2}, Luciano Pessanha Moreira¹, Duílio Norberto Ferronato Leite¹, Bruno Fernandes Mudesto³, Melina Gamis da Silva³, Harison da Silva Ventura³

¹Universidade Federal Fluminense, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica; ²Companhia Siderúrgica Nacional, Gerência de Laminados a Quente, ³Companhia Siderúrgica Nacional, Gerência de Desenvolvimento de Produtos.

Palavras-chave: *Gleeble3500; Laminação de tiras a quente; Aços Microligados; Tensão Média de Escoamento.*

INTRODUÇÃO

No processo de laminação de tiras a quente devido as elevadas temperaturas envolvidas, grandes deformações feitas em um único passe e tempo suficiente entre passes, a ocorrência de recristalização é um importante fenômeno para o amaciamento entre passes e tem forte influência nas propriedades mecânicas da bobina laminada a quente. Os elementos microligantes adicionados ao aço atuam basicamente de duas formas a interferir nos processos de recristalização, quando em solução sólida atuam retardando a recristalização pela distorção imposta na matriz austenítica e dificultando a movimentação dos contornos. Já a precipitação de compostos intermetálicos, como o TiC e o Nb (N, C), quando distribuídos na matriz atuam como barreiras para a movimentação dos contornos de grão e das discordâncias, retardando o processo de recristalização^{1,2}.

O controle da recristalização durante a laminação a quente é de extrema importância para a estabilidade do processo e acerto das propriedades das bobinas. Sendo o refino de grão uma das principais técnicas para melhoras as propriedades mecânicas do aço, o retardo a recristalização no trem acabador e o acúmulo de deformação durante os passes possibilita um alto grau de encruamento na austenita, aumentando o número de sítios para a nucleação de grãos ferríticos e refinando o tamanho de grão do material^{3,4}.

METODOLOGIA

A simulação física dos passes de laminação foi realizada na Gleeble3500 equipado com a unidade de conversão móvel de torção a quente instalada no Laboratório Multiusuário de Conformação e Tratamentos Termomecânicos da EEIMVR/UFF. O material utilizado para a simulação foi um aço microligado ao Nb e Ti e tem sua composição química listada na Tabela 1. Os parâmetros da simulação são representativos de uma linha real de laminação de tiras a quente com trem contínuo, composto por 7 passes de laminação de desbaste e 7 passes de acabamento.

Tabela 1 – Composição química (% em massa) do aço NbTi.

Liga	C	Mn	Si	Al	Nb	Ti	P (ppm)	N(ppm)
NbTi	0,092	1,529	0,084	0,043	0,050	0,066	160	50

Fonte: Autor (2023).

Como parâmetros iniciais, a temperatura de reaquecimento utilizada foi de 1220 °C e manteve-se essa temperatura por 300 segundos. Com o intuito de avaliar a influência do esquema de passes variou-se entre as simulações as temperaturas de acabamento, entre 1010 e 910 °C e as espessuras finais de bobinas variando entre 12,75 e 2,00 mm. Devido as variações inseridas na simulação, para cada conjunto de ensaio foi utilizado um valor real do tempo entre passes e da deformação efetiva por cadeia. Foi adotada uma taxa de deformação experimental de 2,5 s⁻¹ para a etapa de desbaste e 5,0 s⁻¹ para o acabamento.

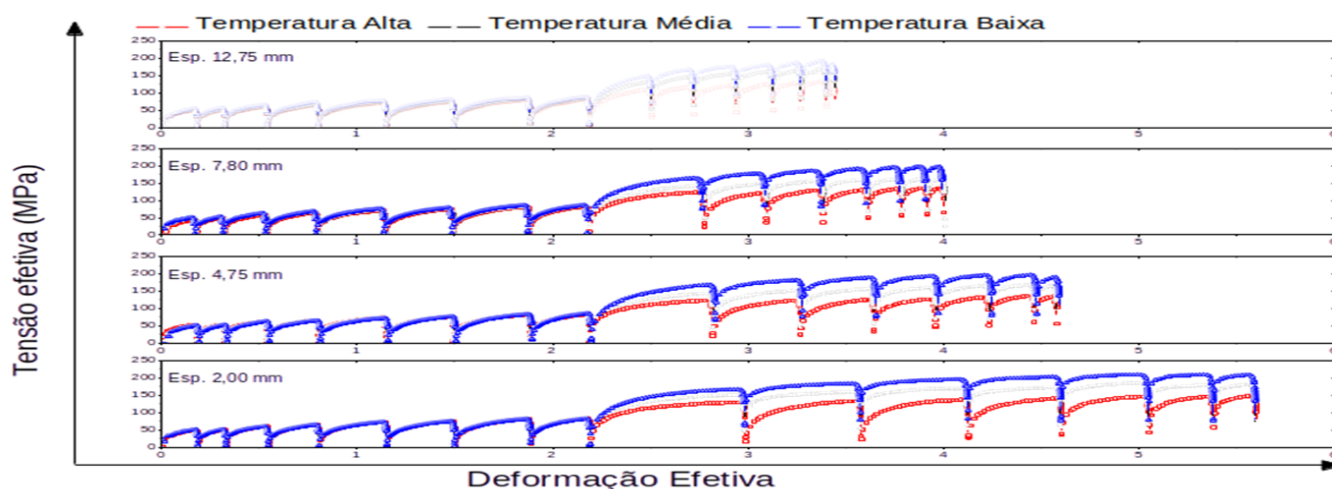
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 é possível visualizar as curvas tensão deformação para todos os conjuntos de variáveis simuladas. Observa-se que as curvas dos sete primeiros passes estão sobrepostas, a sobreposição está relacionada a invariabilidade dos parâmetros de laminação de desbaste para todas as simulações e boa repetibilidade que o equipamento e os corpos de prova apresentaram. Na etapa de desbaste, assim os resultados obtidos por Pereda et al¹ para os primeiros passes de acabamento, devido as temperaturas envolvidas acima da temperatura de não recristalização para o aço simulado e o maior tempo entre passes, há a ocorrência de amaciamento completo entre passes devido ao fenômeno de recristalização estática.



Já na etapa de laminação de acabamento, região na qual os parâmetros de processo simulados foram alterados, observa-se maiores tensões conforme a temperatura de entrada no trem acabador cai e a espessura final da bobina diminui. Assim como foi apresentado por Buchmayr³, o conjunto de menor temperatura e maior deformação aplicada em um passe favorece a ocorrência de recristalizações dinâmicas e/ou metadinâmicas, resultando no amaciamento entre passes. Com a elevação da deformação total no trem acabador, consequentemente menor espessura de bobina, ficou mais evidente o amaciamento entre passes e estabilidade da tensão média de escoamento. Outro ponto de destaque nas curvas de tensão deformação é o forte amaciamento apresentado pelo material de 12,75 mm na sétima cadeira de acabamento, esse fenômeno se deve da baixa deformação realizada no passe e o conjunto das baixas deformações nas cadeiras anteriores que são acumuladas ao longo dos passes e favorece a recristalização somente nesta etapa da laminação.

Figura 1 – Curvas de Tensão vs Deformação obtidas para as diferentes espessuras e temperaturas simuladas.



Fonte: Autor (2023).

CONCLUSÕES

A simulação física dos passes de laminação permitiu avaliar a influência dos parâmetros de processo da laminação na evolução das tensões médias de escoamento das curvas de tensão deformação. Observou-se que, principalmente para a maior espessura ensaiada, uma forte queda da tensão média de escoamento no último passe de laminação. Neste caso, realizando a laminação com seis etapas de acabamento, há a possibilidade de redistribuir as deformações nas cadeiras, maximizando as deformações acumuladas no trem acabador e favorecendo o encruamento da austenita e consequentemente com maiores quantidades de sítios para a nucleação da ferrita, aumentando a resistência da bobina laminada a quente pelo maior refino de grão.

Os resultados atingidos corroboram a importância da simulação física para o desenvolvimento de produtos, sendo capaz de prever fenômenos que porventura possam vir incidir sobre o aço durante processamento e maximizando as propriedades almejadas na produção de aços microligados.

AGRADECIMENTOS

À Companhia Siderúrgica Nacional - CSN pela disponibilização dos corpos de prova para a execução dos ensaios, à CAPES e ao CNPq.

REFERÊNCIAS

- [1] PAREDA, B.; LOPEZ, B.; RODRIGUEZ-IBABE, J. M. Strategies to modulate the interaction of Nb with microstructure during hot rolling of flat products. **Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**, v. 17, n. 2, p. 124-130, 2020
- [2] FELKER, C. A.; SPEER, J. G.; DE MOOR, E.; FINDLEY, K. O. Hot strip mill processing simulations on a Ti-Mo microalloyed steel using hot torsion testing. **Metals**, v. 10, n. 3, p. 334-351, 2020
- [3] BUCHMAYR, B. Thermomechanical Treatment of Steels - A Real Disruptive Technology Since Decades. **Steel research international**, v. 88, n. 10, p. 170182-170196, 2017.
- [4] LARZABAL, G.; ISASTI, N.; RODRIGUEZ-IBABE, J. M.; URANGA, P. Evaluating Strengthening and Impact Toughness Mechanisms for Ferritic and Bainitic Microstructures in Nb, Nb-Mo and Ti-Mo Microalloyed Steels. **Metals**, v. 7, n. 2, p. 65-83, 2017.