Unisanta Science and Technology, **2014, 16, December**
Published Online 2014 Vol.3 N°2 http://periodicos.unisanta.br/index.php/sat)

UNISANTA
Science and Technology
ISSN 2317-1316

Pesquisa do Efeito do Processo Produtivo nas Propriedades Mecânicas de Chapas Grossas de Aço Estrutural Microligado ao Nióbio e Titânio

Patrícia Pala Diniz, Yago Reitz de Castro & Willy Ank de Morais

Unisanta – Universidade Santa Cecília – Departamento de Pós-Graduação
Programa de Mestrado em Engenharia Mecânica
Rua Oswaldo Cruz- Santos-SP, Brasil
E-mail: patricia.diniz@usiminas.com
Received June, 2014, *revised september,* 2014

Resumo: Em função da aplicação da chapa grossa é exigido determinado comportamento do material. Para o mesmo projeto de liga e faixa de espessura, podem ser empregados diferentes tipos de processos de fabricação. Esse estudo apresenta o efeito do processo produtivo nas propriedades mecânicas de chapas grossas, com exemplos de resultados obtidos em chapas grossas estruturais de aços carbono-manganês microligados ao nióbio e titânio. Resultados de ensaios de tração e impacto Charpy evidenciaram as diferenças entre chapas produzidas por laminação controlada, laminação de normalização e normalizadas em forno.

Palavras chave: Chapas grossas; Aços microligados; Normalização; Laminação controlada.

Research of the effect of of Process Conditions on the Mechanical Properties of Structural Plates of C-Mn-Nb-Ti Steels

Abstract: Depending on the particular application of the plate material behavior is required. For the same alloy design and a range of thickness, it can be used different production process types. This works presents the effect of the production process on the mechanical properties of plates, with examples of results obtained in structural plates of C-Mn-Nb-Ti steels. Tensile and Charpy impact tests results were used to evidence the differences between properties of the plates produced by controlled rolling, normalizing rolling and normalizing by furnace.

Keywords: Plates; Microalloyed steels; Normalizing; Controlled rolling.

1. Introdução

Gradativamente, os engenheiros e projetistas consideram o emprego de aços mais resistentes, para evitar o uso de estruturas cada vez mais pesadas. A escolha certa do aço e de seu procedimento de fabricação leva em consideração, além do aumento da resistência mecânica, outros requisitos exigidos, tais como: tenacidade, ductilidade, resistência ao impacto. No caso de chapas grossas, três rotas de fabricação diferenciadas se destacam neste cenário: laminação controlada, normalização e laminação de normalização.

Copyright © 2014 ISESC.

A laminação controlada objetiva aumentar a resistência e a tenacidade do aço com controle rigoroso de temperatura e deformação durante a laminação.

Neste processamento, podem ser empregados aço microligados que proporcionarão chapas com boa tenacidade e soldabilidade. Porém o material produzido por este processo é considerado instável em temperaturas elevadas em termos de propriedades mecânicas, já que seu endurecimento é proveniente de precipitação interfásica coerente e encruamento.

Chapas de aço normalizada, seja no forno ou no laminador, são empregadas na construção, conformação a quente ou para beneficiamento (tratamento térmico).

A normalização causa um grande incremento na tenacidade, pela melhora da ductilidade e homogeneização da estrutura, reduzindo as regiões frágeis do material, além de estabilizar as propriedades mecânicas.

A laminação de normalização é definida, como por exemplo, pela norma EN10025, em que a deformação final é realizada em um determinado intervalo de temperatura, levando à condição de material equivalente à obtida após normalização, processo no qual os valores especificados para as propriedades mecânicas são mantidos mesmo após a normalização.

2. Materiais e Métodos

O trabalho foi desenvolvido com chapas grossas (ARBL ou HSLA) de aços C - Mn microligados ao nióbio (Nb) e titânio (Ti), cuja composição química objetivada é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição química objetivada das corridas do aço C-Mn microligado ao Nb e Ti aplicado para a especificação EN10025-2 S355 (% em peso).

C	Mn	Nb	Ti
0,16	1,40	0,035	0,015

Esse mesmo projeto de liga é utilizado para atender diferentes normas que exigem limite de resistência mínimo de 345MPa, para espessura entre 16 e 28 mm, produzido pelas rotas: (1) laminação controlada; (2) laminação de normalização e (3) normalizada em forno após laminação convencional.

Na laminação controlada, placas são reaquecidas, de maneira que ocorra a solubilização plena do Nb. A laminação inicia com o desbaste da placa até uma espessura intermediária.

Interrompe-se a laminação até que o material atinja uma temperatura abaixo da temperatura de não recristalização (Tnr). Nesse instante, a laminação de acabamento é continuada até temperatura de acabamento especificada para o material, baseada na temperatura de transformação de fase calculada (Ar3).

O cálculo da Ar3 e Tnr foi realizado pelas equações de Andrews e Boratto, respectivamente.

As chapas normalizadas no forno de tratamento térmico foram laminadas convencionalmente.

Após laminação as chapas são resfriadas ao ar, jateadas com granalhas de aço e tratadas no forno de tratamento térmico. A temperatura do forno foi de 910°C, com tempo de aquecimento e encharque médio de 50 minutos, em função das dimensões das chapas. No caso do material processado através da laminação de normalização, as placas foram laminadas visando temperatura de acabamento de 900°C. Os passes na fase de acabamento são diferenciados visando recristalizações plenas sucessivas.

O objetivo que a microestrutura da chapa ao final da laminação esteja totalmente austenítica, semelhante ao que ocorre no processo de tratamento térmico convencional de normalização. Para todos os casos foram realizados ensaios de tração e impacto Charpy.

Os ensaios de tração foram realizados na direção transversal, com base de comparação de L_0=200mm e os ensaios de impacto Charpy(10x10mm) na direção longitudinal e entalhe em "V".

A Figura 1 e 2 mostram os resultados dos ensaios de tração em função dos diferentes processos de produção da chapa grossa: limite de escoamento (LE, em MPa), limite de resistência (LR, em MPa) e alongamento (A, em %).

Conforme mostrado na Figura 5, a resistência mecânica obtida nas chapas grossas processadas através da laminação controlada foi maior do que a resistência das chapas normalizadas diretamente na laminação ou normalizadas no forno: média de 61 e 94MPa no LE e de 32 e 60MPa no LR, respectivamente.

Com um aumento médio de 16% no LE e de 8% no LR, nota-se que o LE é mais impactado pelo processo de laminação, por outro lado o LR depende mais da composição química. Esperava-se que as propriedades das chapas normalizadas no forno fossem similares as normalizadas na laminação. Neste caso, a diferença média foi de 9% no LE e de 5% no LR.

Como esperado e evidenciado na Figura 2, o resultado de alongamento foi maior no material normalizado no forno de tratamento térmico, devido ao fato, de o material estar menos encruado, e assim apresentar uma capacidade de deformação plástica melhor durante o ensaio.

Copyright © 2014 ISESC. *Unisanta Science and Technology* **(59-62) p.p. ISSN 2317-1316**

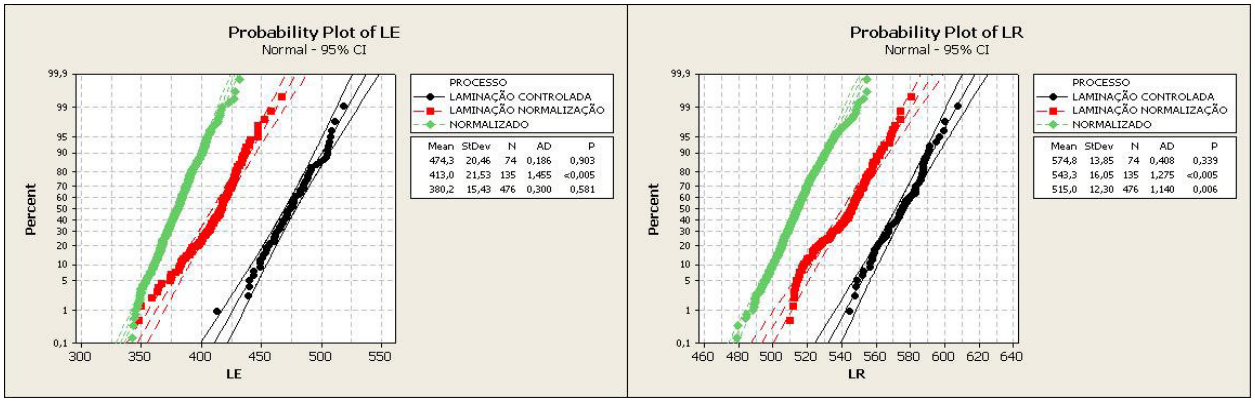


Figura 1. Resultados dos limites de escoamento e de resistência em ensaios de tração.

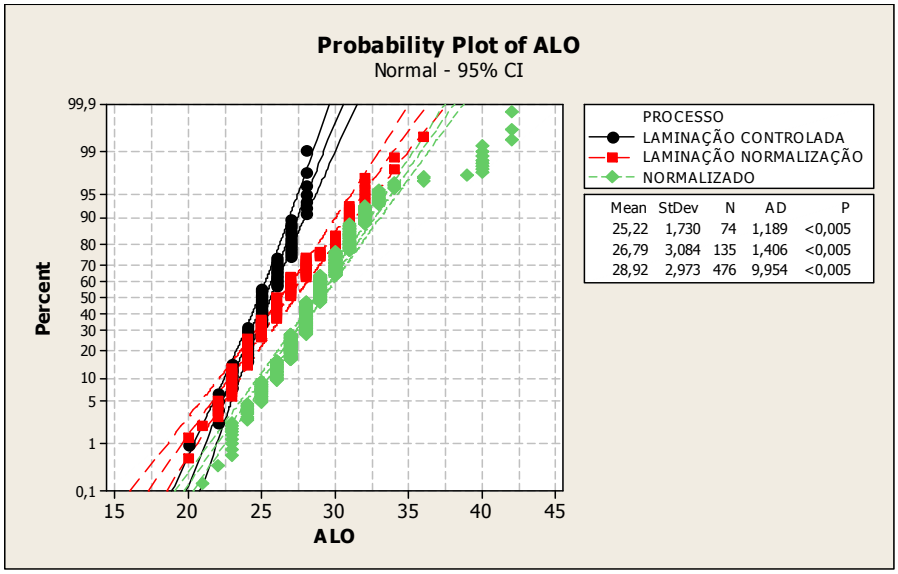


Figura 2. Resultados de alongamento em ensaios de tração.

A tenacidade foi quantificada através do ensaio de impacto Charpy e os resultados obtidos estão mostrados na Figura 3.

O material obtido por laminação de normalização e laminação controlada apresentaram resultados satisfatórios (>27J) a -20ºC. Porém as chapas obtidas por laminação controlada apresentaram valores de energia 75% maiores, em média.

Copyright © 2014 ISESC.

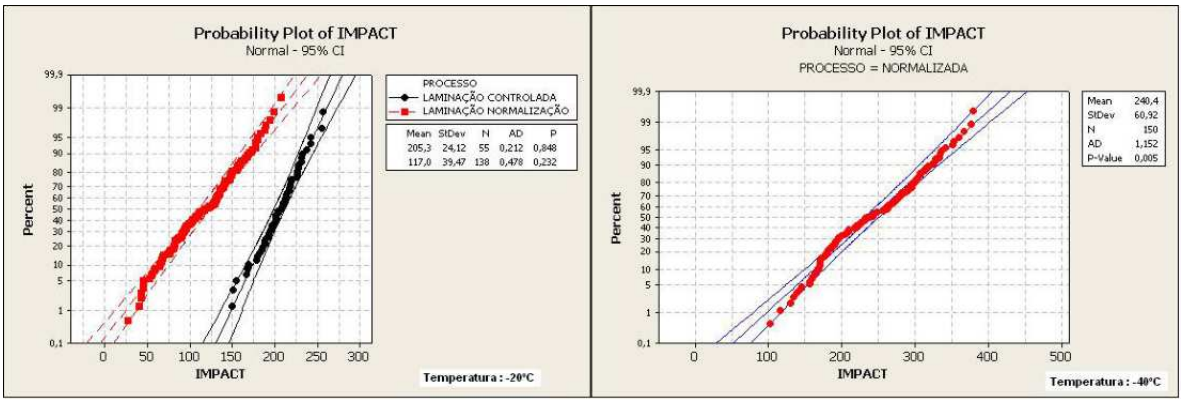


Figura 3. Resultados de energia absorvida nos ensaios de impacto Charpy (J).

As chapas grossas normalizadas no forno de tratamento térmico foram ensaiadas a -40°C, que é uma temperatura mais baixa (mais crítica) e que na qual o material apresenta uma tenacidade menor. Mesmo assim, as chapas normalizadas apresentaram a -40°C os resultados de energia absorvida 17% e 105% maiores do os obtidos a -20°C com as chapas normalizadas na laminação e obtidas por laminação controlada, respectivamente.

Os resultados de tração do processo de laminação de normalização sugerem que algumas variáveis importantes no processo deveriam ser ajustadas para diminuir a dispersão nos resultados, especialmente a taxa de redução entre passes durante a fase de acabamento do material. Quando baixas reduções nos passes finais são aplicadas, visando um controle de forma da chapa, pode ocorrer um aumento no tamanho de grão recristalizado, induzindo a formação de grãos grosseiros e heterogêneos (ROBERTS, 1984; SIWECKI, 1984).

3. Conclusões

Chapas de aço obtidas por laminação controlada apresentam uma boa conjunção de entre resistência mecânica (elevada) e tenacidade (adequada), porém existem limitações de aplicabilidade que restringem o uso deste material, especialmente após tratamento térmico. Neste caso deve-se dar preferência no emprego de chapas obtidas por normalização, sendo que quando a tenacidade é um item mais crítico a preferência é da chapa normalizada em forno.

4. Referências Bibliográficas

DINIZ, P.P. **O Processo de Laminação de Normalização nas Propriedades Mecânicas de Chapas Grossas Estruturais de Aço C-Mn Microligados ao Nióbio e Titânio**, Monografia, MBA em Siderurgia, Escola Politécnica da USP, 2008, 109p.

GINZBURG, V. **Metallurgical design of flat rolled steels**. Nova York, 2005. 744p.

KRAUSS, G.. Steels: **Heat Treatment and Processing Principles**. ASM International, 1989.

LESLIE, W. C. **The Physical Metallurgy of Steels**. Techbooks, India, 1991.

MORAIS, W. A.; MAGNABOSCO, A. S.; MENEZES, E. B. **Metalurgia física e mecânica aplicada**. 2a Edição. São Paulo: ABM, 2009. v. 1 e 2. 942 p.

ROBERTS, W. et al. **Prediction of microstructure development during recrystallization hot rolling of Ti-V steels.** International conference on technology and applications of hsla steels., Philadelphia: ASM, 1984. p.35-52.

ROBERTS, W. **Recent innovations in alloy design and processing of microalloyed steels.** HSLA steels, ASM, 1984. p. 33-41.

SIWECKI, T.; et al. **Characteristics of TiV steels with special emphasis on obtaining attractive properties following normal, high-finishing – temperature rolling**, 1984.

SIWECKI, T.; HUTCHINSON, B.; ZAJAC, S.. **Recrystallization controlled rolling of HSLA steels**. International conference microalloying, 1995. p. 197-211.

Copyright © 2014 ISESC.