

ESTUDO POR ENSAIOS DE TORÇÃO DA RECRISTALIZAÇÃO E DA RECUPERAÇÃO DE LIGAS BIFÁSICAS APÓS CONFORMAÇÃO A QUENTE ¹

*Cynthia Serra Batista Castro²
Tiago Evangelista Gomes³
Nilton José Lucinda de Oliveira⁴
Mário Lúcio Talarico⁴*

Resumo

O estudo da recristalização e da recuperação de ligas bifásicas foi feito através da simulação de laminação a quente por ensaios de torção, realizados em resfriamento contínuo em uma máquina universal de ensaios mecânicos. Dois ciclos de visão geral foram realizados, com a finalidade de verificar a microestrutura antes da deformação do material e a ocorrência ou não de recristalização e/ou recuperação dinâmica. Para os ensaios de torção, visando o estudo da recristalização e da recuperação, foram realizados seis ciclos diferentes de simulação da laminação a quente, mantendo-se as deformações e variando-se as temperaturas dos passes de acabamento. Para cada ciclo realizado examinou-se a microestrutura por microscopia óptica. Os resultados sugerem que houve simultaneamente recuperação e recristalização em algumas das amostras estudadas.

Palavras-chave: Recristalização; Recuperação; Aços bifásicos; Ensaio de torção.

STUDY BY TORSION TESTS OF RECRYSTALLIZATION AND RECOVERY OF DUAL PHASE ALLOYS AFTER HOT ROLLING

Abstract

The study of recrystallization and recovery of dual phase alloys was studied by hot rolling simulation using torsion tests, performed during continuous cooling in a universal testing machine. Two cycles of general vision were made to verify the microstructure before the deformation of the material and to observe if the recrystallization and/or dynamic recovery occurs. In order to study the recrystallization and recovery, six different cycles of finishing hot rolling simulation were planned. The deformation temperatures were varied, close to the industrial hot rolling practice. For each cycle the microstructure was analyzed by optic microscopy. The results indicated that recrystallization and recovery occurs in the specimens studied.

Key words: recrystallization; recovery; dual phase alloys; torsion tests.

¹ *Contribuição técnica ao 64º Congresso Anual da ABM – Internacional, 13 a 17 de julho de 2009, Belo Horizonte – MG – Brasil.*

² *Doutora. Pesquisadora em Ciência e Tecnologia – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC*

³ *Aluno de Graduação em Engenharia Metalúrgica. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais – UFMG.*

⁴ *Mestre. Pesquisador associado em Ciência e Tecnologia – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC*

1 INTRODUÇÃO

Os aços inoxidáveis ferríticos são bastante usados devido as suas qualidades e baixo custo de produção em relação ao custo dos aços inoxidáveis austeníticos. Estes aços são utilizados em aplicações no segmento de utilidades domésticas, tais como pias de cozinha, baixelas, cubas e mesas de fogões, as quais estão submetidas a operações de estampagem. Entretanto, durante as operações de conformação destes aços na fabricação dos produtos podem aparecer sulcos em sua superfície, defeito conhecido como estrias (ridging). As estrias não alteram as propriedades mecânicas do material, mas são indesejáveis na medida em que prejudicam o aspecto visual da superfície do produto e sua retirada, por meio de operações de lixamento e polimento, onera significativamente a peça final. De acordo com alguns autores,⁽¹⁻⁴⁾ as estrias estão relacionadas com a existência de bandas ou colônias de grãos de mesma orientação cristalográfica com comportamento plástico diferente. Estas bandas, apresentando forte textura cristalográfica após recozimento são geradas pelos mecanismos de deformação e de amaciamento que ocorrem ao longo de todo o processamento dos aços inoxidáveis ferríticos, desde o lingotamento até seu estado final. Na laminação a quente,⁽⁵⁾ o amaciamento se faz principalmente por recuperação dinâmica, que implica na aniquilação e rearranjo contínuo de deslocamentos, simultaneamente à criação de deslocamentos necessárias para o prosseguimento da deformação. Os grãos deformados se alongam, produzindo um arranjo de deslocamentos que resulta na formação de subgrãos no seu interior. O crescimento dos subgrãos resulta em novos cristais dentro dos grãos deformados, os quais têm orientações cristalinas freqüentemente muito próximas da orientação dos grãos originais antes da deformação. Dentro de certas condições⁽⁵⁾ pode ocorrer também recristalização estática. Nestes casos, as orientações cristalinas após o recozimento podem ser diferentes das orientações iniciais. A recristalização estática⁽⁶⁾ durante a laminação a quente dos inoxidáveis ferríticos pode ser promovida pelo aumento da deformação e pelo aumento do tempo entre passes. Por outro lado, a recristalização estática é suprimida quando a transformação ferrita - austenita ocorre simultaneamente ao amaciamento.⁽⁶⁾ Essa transformação deve ser considerada, já que os aços inoxidáveis ferríticos tipo ABNT 430 são bifásicos nas temperaturas usuais de laminação. O estudo da cinética de recristalização de aços bifásicos é de fundamental importância para a redução do estriamento em chapas de aços inoxidáveis ferríticos. A simulação de laminação por ensaios de torção é a técnica adequada para se estudar a laminação a quente, uma vez que permite reproduzir os processos termomecânicos envolvidos no processamento industrial. Esta técnica tem sido pouco usada para o estudo de ligas nas quais a austenita e a ferrita coexistem em altas temperaturas, resultando em maior complexidade e competição entre os mecanismos de recuperação e recristalização deste dois constituintes. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi estudar a recristalização e a recuperação de ligas bifásicas através de simulação de laminação a quente por ensaio de torção.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os corpos de prova de torção, para a simulação da laminação a quente e estudo da recristalização e da recuperação de ligas bifásicas, foram usinados a partir de

amostras medindo 200 mm de comprimento por 100 mm de largura e 28 mm de espessura, retiradas de chapas após a laminação de desbaste na indústria, de maneira que seu comprimento útil estivesse na direção longitudinal à laminação de desbaste, correspondendo a um cilindro de 15 mm de comprimento por 7 mm de diâmetro.

Os ensaios de torção foram realizados em um equipamento de ensaios mecânicos, INSTRON 1125, equipado com módulo de torção e célula de torque com capacidade de até 2.000 kgf.cm. O aquecimento da amostra foi feito através de uma bobina de indução eletromagnética acoplada a uma fonte com controlador programável. A bobina é posicionada em torno de um tubo de quartzo que tem como finalidade possibilitar a criação de uma atmosfera de proteção para a amostra a ser ensaiada e para resfriamento rápido. Através da circulação de argônio ou mistura de argônio e nitrogênio a amostra é protegida contra oxidação excessiva. De acordo com trabalhos realizados anteriormente,^(7,8) a atmosfera ideal para evitar, ou pelo menos reduzir a desnitreção e não causar a nitreção do CPT durante os ensaios de torção a quente, é uma mistura de argônio e nitrogênio na proporção de 85/15.

Ensaio considerando dois ciclos de visão geral foram realizados. O primeiro, sem a aplicação de passes de deformação com a finalidade de verificar a microestrutura presente antes da deformação do material. Para este, o corpo de prova de torção (CPT) foi inicialmente aquecido até 1050°C, com uma taxa de 2°C/s, deixado nesta temperatura por 120 segundos, seguido de resfriamento, a 0,5°C/s até 1.010°C. Ao atingir esta temperatura, foi feito um resfriamento rápido até a temperatura ambiente utilizando CO₂. O segundo ensaio de visão geral foi realizado com o objetivo de verificar a ocorrência ou não de recristalização e/ou recuperação dinâmica. Neste ciclo, o CPT foi aquecido em condições idênticas ao primeiro ensaio de visão geral e então resfriado a 0,5°C/s de 1.050°C até 960°C, deixado nesta temperatura por 60 segundos, sendo então aplicado um passe de 2,5 de deformação equivalente, também seguido de resfriamento rápido até a temperatura ambiente.

Foram realizados também seis ciclos diferentes de ensaios de torção, simulando a laminação de acabamento em Laminador tipo Steckel, a fim de analisar a recristalização e a recuperação em cada ciclo. Nestes experimentos, os corpos de prova de torção foram aquecidos a 2°C/s, até 1.050°C, permanecendo nesta temperatura por 120 segundos, seguidos de resfriamento com taxa de 0,5°C/s, aplicando-se 5 passes de deformação. Foram variadas as temperaturas de deformação de acordo com os esquemas de experimentos mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 — Esquema de experimentos realizados para a simulação da laminação

Passo	Deformação	Tempo entre Passes (s)	Esq1 (°C)	Esq 2 (°C)	Esq 3 (°C)	Esq 4 (°C)	Esq 5 (°C)	Esq 6 (°C)
1	0,51	50	1010	990	970	950	930	910
2	0,51	30	985	965	945	925	905	885
3	0,46	30	970	950	930	910	890	870
4	0,40	30	955	935	915	895	875	855
5	0,34	30	940	920	900	880	860	840

Para simular as condições de bobinamento após a laminação de acabamento, os corpos de prova foram resfriados da temperatura do último passe até 610°C com taxa de 4°C/s. O tempo de permanência a 610°C foi de 600 segundos, seguido de resfriamento rápido até a temperatura ambiente.

Os CPTs para a análise metalográfica foram cortados com discos abrasivos, sendo todo o comprimento útil de 15 mm embutido e o lixamento e polimento foram realizados a partir da superfície, em seção longitudinal ao eixo do CPT, até 0,1mm de profundidade, obtendo-se a largura da seção de aproximadamente 2 mm. Este procedimento foi adotado para que as análises e quantificações fossem feitas o mais próximo possível da superfície do CPT, pois as deformações foram calculadas para a periferia do comprimento útil do CPT. Foram utilizadas lixas de 320 mehs, 400 mesh e 600 mesh e polimento por 5 min em panos de 9µm e 3µm com pasta de diamante. A última etapa da preparação foi o polimento em solução de sílica coloidal com granulometria de 0,04 µm (OPU) por 1 min. A seguir, foi feita a despassivação da superfície polida com a aplicação de algodão umedecido com uma solução de 98% de água destilada, 2% de ácido acético e 2 gotas de alumina coloidal. O ataque colorante foi feito a 75°C, por 1min45, em uma solução de 87% de água destilada, 10% de H₂SO₄, 3% de HF e 5 gotas de HNO₃. A análise metalográfica foi feita em microscópio ótico com luz polarizada.

3 RESULTADOS

A micrografia ótica da figura 1 apresenta a microestrutura característica do aço na forma como recebido após laminação de desbaste da indústria. Como pode ser observado, a microestrutura apresenta grãos ferríticos, equiaxiais e livres de deformação, com a martensita heterogeneamente distribuída ao longo de todo material. Pode-se observar ainda que, os grãos possuem duas orientações preferenciais que estão apresentadas nas cores verde e vermelho.

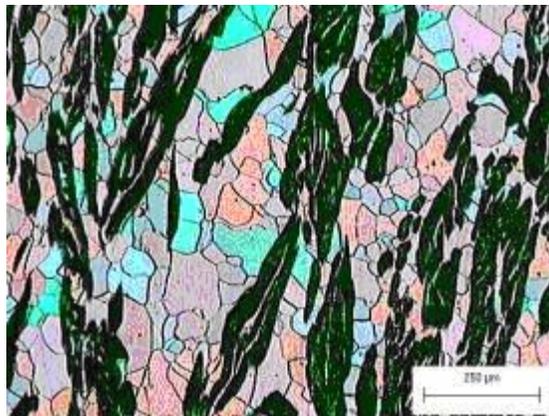


Figura 1: Micrografia do aço inoxidável ABNT 430 logo após a laminação de desbaste. Grãos coloridos de ferrita; martensita em preto. Ataque colorante e luz polarizada.

A Figura 2 mostra a curva de tempo versus temperatura para o ciclo de visão geral realizado sem a aplicação de passes de deformação, conforme descrito na metodologia.

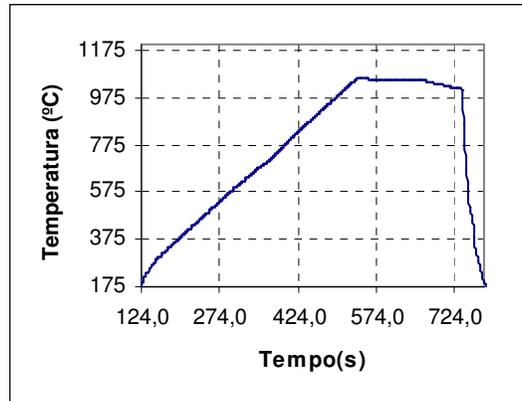


Figura 2 – Curva tempo x temperatura para o ciclo realizado sem a aplicação de passes de deformação.

A Figura 3 apresenta a curva tensão equivalente em função da deformação equivalente para a amostra deformada no ensaio consistindo da aplicação de apenas um passe de 2,5 de deformação equivalente, considerando a metodologia citada anteriormente.

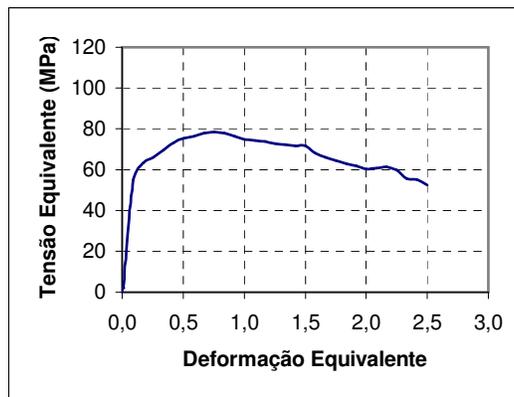


Figura 3 – Ciclo para a amostra deformada com um passe de 2,5 de deformação equivalente.

Nas Figuras de 4 a 9 são apresentados gráficos tensão em função da deformação dos CPTs deformados às temperaturas de 940 até 840°C respectivamente. A Figura 10 apresenta a micrografia óptica da amostra isenta de aplicação de passes de deformação. Os grãos de ferrita apresentam-se coloridos e, em preto, os grãos de martensita provenientes da austenita presente quando o material se encontrava no campo bifásico $\alpha+\gamma$.

Na amostra deformada com um passe de 2,5 de deformação equivalente (Figura 11), pode-se observar a presença de contornos de subgrãos, o que indica estar havendo recuperação. Pode-se observar também que existem duas orientações preferenciais, indicadas pelas duas colorações distintas dos grãos de ferrita.

Nas micrografias das Figuras 12 a 23, das amostras deformadas à temperatura de 940°C até 840°C, respectivamente, os grãos apresentam sinais de deformação acumulada (observado pela presença de contornos de subgrãos), apresentando também algumas regiões com grãos livres de deformação, indicativo de estar ocorrendo recristalização, o que está de acordo com os gráficos de tensão em função da deformação apresentados.

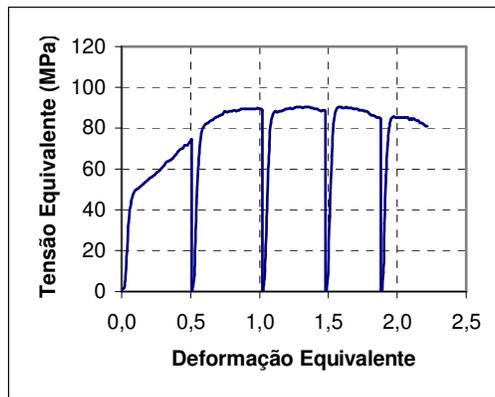


Figura 4 – Curvas tensão em função da deformação da amostra deformada até a temperatura de 940°C.

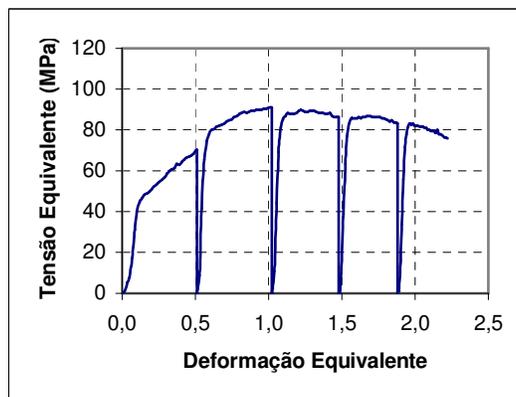


Figura 5 – Curvas tensão em função da deformação da amostra deformada até a temperatura de 920°C.

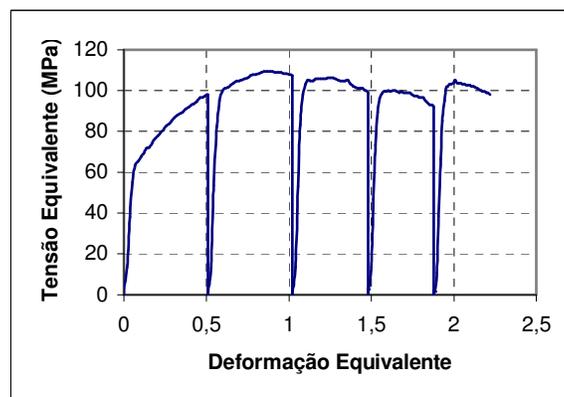


Figura 6 – Curvas tensão em função da deformação da amostra deformada até a temperatura de 900°C.

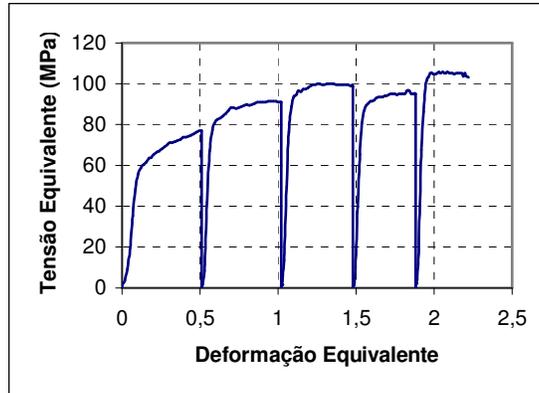


Figura 7 – Curvas tensão em função da deformação da amostra deformada até a temperatura de 880°C.

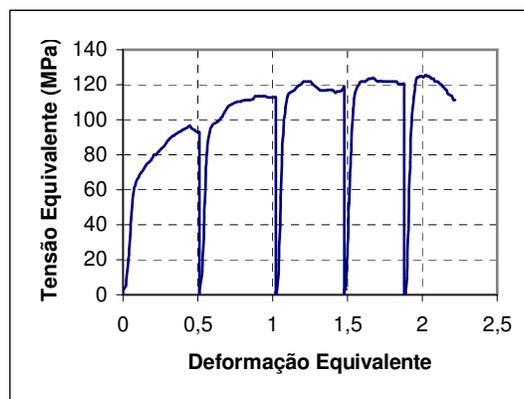


Figura 8 – Curvas tensão em função da deformação da amostra deformada até a temperatura de 860°C.

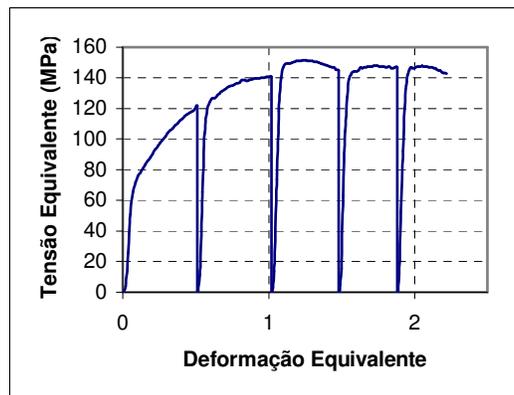


Figura 9 – Curvas tensão em função da deformação da amostra deformada até a temperatura de 840°C.

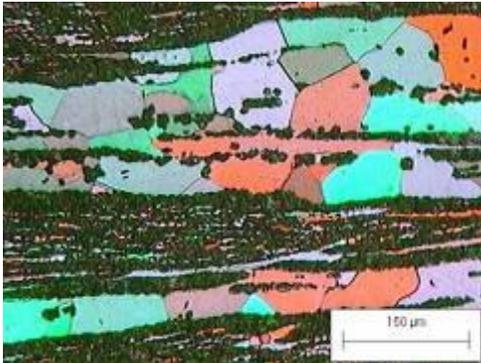


Figura 10: Micrografia óptica da amostra isenta de aplicação de passes de deformação. Ataque colorante e luz polarizada.

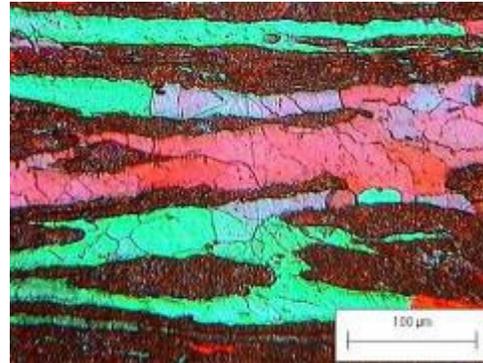


Figura 13: Micrografia óptica da região da borda da amostra deformada até a temperatura de 940°C. Ataque colorante e luz polarizada.

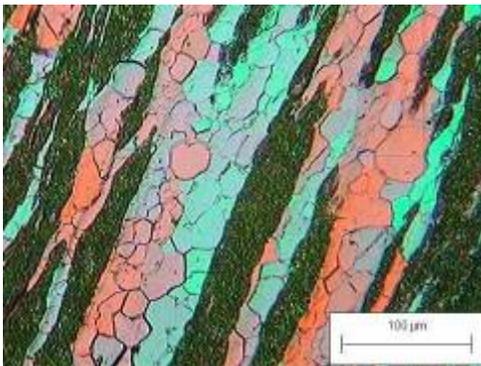


Figura 11: Micrografia óptica da amostra deformada com um passe de 2,5 de deformação equivalente de deformação. Ataque colorante e luz polarizada.

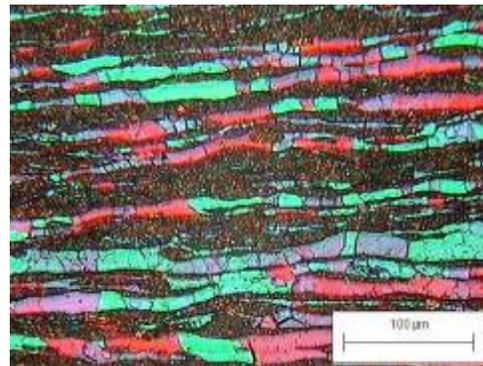


Figura 14: Micrografia óptica da região do centro da amostra deformada até a temperatura de 920°C. Ataque colorante e luz polarizada.

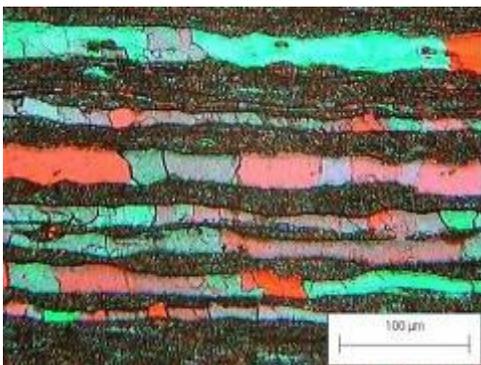


Figura 12: Micrografia óptica da região do centro da amostra deformada até a temperatura de 940°C. Ataque colorante e luz polarizada.

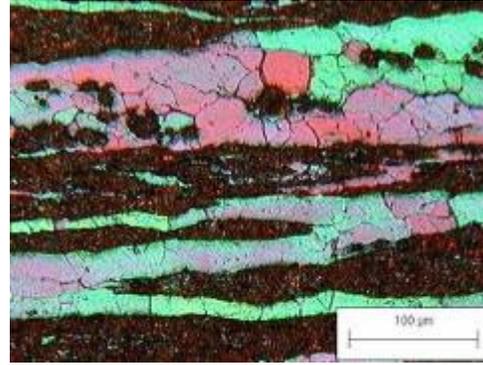


Figura 15: Micrografia óptica da região da borda da amostra deformada até a temperatura de 920°C. Ataque colorante e luz polarizada.

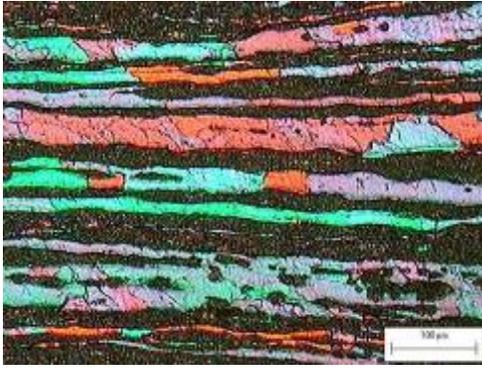


Figura 16: Micrografia óptica da região do centro da amostra deformada até a temperatura de 900°C. Ataque colorante e luz polarizada.

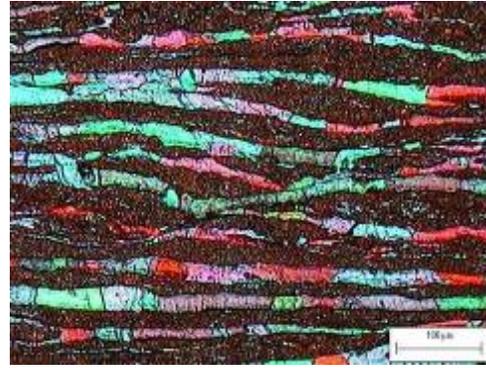


Figura 19: Micrografia óptica da região da borda da amostra deformada até a temperatura de 880°C. Ataque colorante e luz polarizada.

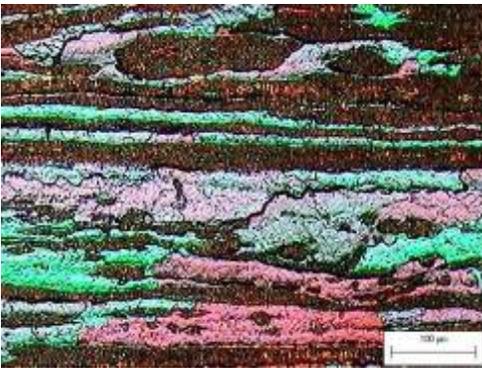


Figura 17: Micrografia óptica da região da borda da amostra deformada até a temperatura de 900°C. Ataque colorante e luz polarizada.

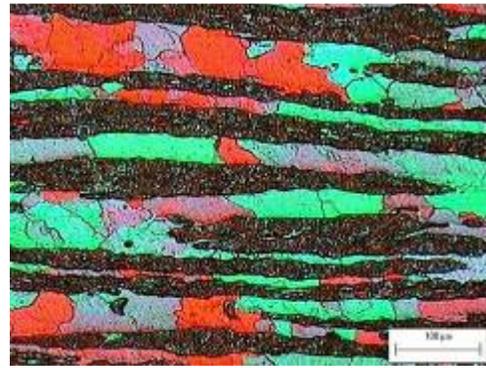


Figura 20: Micrografia óptica da região do centro da amostra deformada até a temperatura de 860°C. Ataque colorante e luz polarizada.

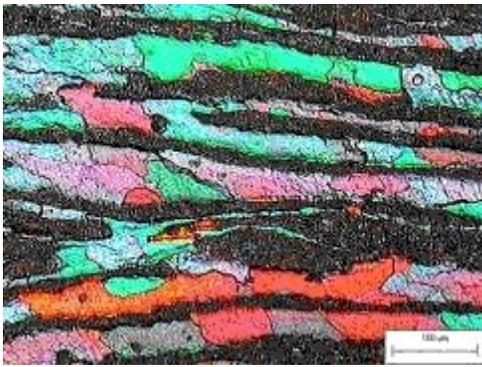


Figura 18: Micrografia óptica da região do centro da amostra deformada até a temperatura de 880°C. Ataque colorante e luz polarizada.

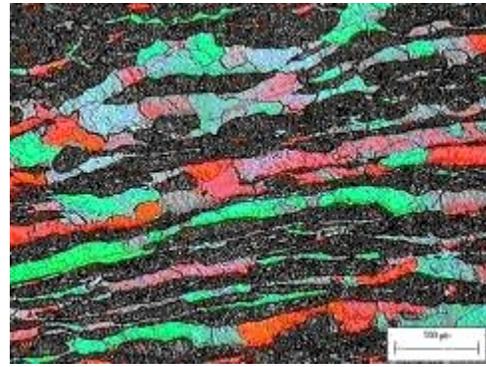


Figura 21: Micrografia óptica da região da borda da amostra deformada até a temperatura de 860°C. Ataque colorante e luz polarizada.

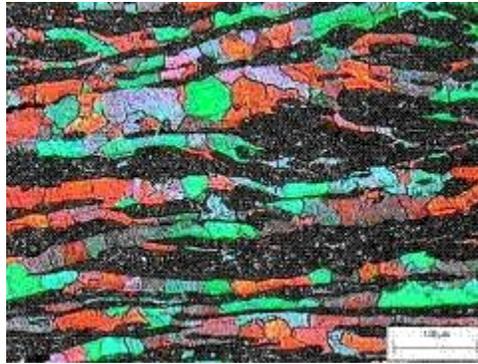


Figura 22: Micrografia óptica da região do centro da amostra deformada até a temperatura de 840°C. Ataques colorante e luz polarizada

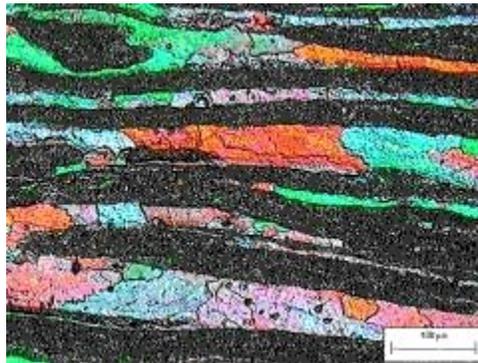


Figura 23: Micrografia óptica da região da borda da amostra deformada até a temperatura de 840°C. Ataques colorante e luz polarizada.

3 DISCUSSÃO

Como se sabe, durante a deformação plástica de uma amostra metálica policristalina em temperaturas relativamente baixas comparando-se com a temperatura de fusão, ocorrem mudanças na microestrutura, nas propriedades do material e na forma dos grãos. Como pode ser observado nas micrografias obtidas, houve alterações significativas da forma dos grãos antes e depois da deformação.

Observando as microestruturas de cada corpo de prova vemos que, no centro, onde a deformação foi maior, ocorreu recristalização, sendo este um processo de formação de novos grãos livres de deformação com baixas densidades de discordâncias, conferindo ao material as propriedades de origem antes da deformação a quente sofrida. Isso se deve ao elevado estado de energia de deformação nesta região do corpo de prova. Como se sabe, a recristalização é o processo no qual a extensão depende do tempo e da temperatura entre outras, o tempo foi uma constante para todos os ensaios realizados, já a temperatura foi uma variável. Pode ser observado que, a deformação em temperaturas relativamente baixas favorece a recristalização, como pode ser visto comparando-se as micrografias para cada esquema de temperatura. O processo de recristalização é utilizado como uma das principais formas de se reduzir o estriamento do aço inoxidável ABNT 430, pois, ao recristalizar-se, o aço forma novos grãos com orientações cristalográficas distintas e livres de bandas de direções cristalográficas preferenciais. No entanto, este aço tem

sua recristalização prejudicada devido à alta velocidade do processo de recuperação dinâmica e estática.

A recuperação é um processo que ocorre devido a uma parte da energia interna de deformação armazenada ser liberada em função do movimento das discordâncias como resultado de uma melhor difusão atômica em temperaturas mais elevadas, ou seja, há a formação de subgrãos. No processo de recuperação uma parte das discordâncias é eliminada e as restantes são rearranjadas em contornos de baixo ângulo. Este processo é facilitado com o aumento da temperatura, que torna mais fácil produzir escorregamento cruzado e escalagem, fatores estes que são os responsáveis pela dinâmica deste processo. Em metais, como os aços inoxidáveis ferríticos, onde a energia de falha de empilhamento é alta, o processo de recuperação é facilitado e acontece rapidamente.

Para todas as amostras, a recuperação pode ser observada melhor nas bordas do corpo de prova, devido a menor deformação sofrida nesta região da amostra comparando-se com a região central.

4 CONCLUSÃO

Através da análise metalográfica pode ser observado que a deformação em temperaturas relativamente baixas favorece a recristalização, devendo-se, portanto, terminar a laminação de acabamento em temperaturas mais baixas que as usuais, pois a ferrita sofre somente recuperação dinâmica ou estática em altas temperaturas. Durante a recristalização, são formados novos grãos com orientações cristalográficas distintas e livres de bandas de direções cristalográficas preferenciais, podendo-se assim minimizar os efeitos das estrias, sulcos que surgem na superfície da chapa laminada a frio dos aços inoxidáveis ferríticos, quando submetidos a operações de estampagem.

REFERÊNCIAS

- 1 CUNHA, M.A.: Efeito de uma normalização na evolução da textura e no enrugamento do aço inoxidável AISI 430, Tese de Mestrado, UFMG (março 1978).
- 2 SILVA, J.N.: Análise da conformação a frio do aço ABNT 430 modificado por Nb, Al, Al-Nb e Al-Ti, Tese de Mestrado, UFMG (novembro 1990).
- 3 BROCHU, M.: Analyse du phénomène de cordage dans les aciers inoxydables ferritiques de type 430, Projet de fin d'étude présenté pour l'obtention du diplôme Baccalauréat en Génie des Matériaux, École Polytechnique de Montréal (Avril 1997).
- 4 PARK, S.; KIM, K.Y.; LEE, Y.D.; PARK, C.G. Evolution of microstructure and texture associated with ridging in ferritic stainless steels. *ISIJ International*, v. 42, n.1, p. 100-105, 2005.
- 5 COTA, A.B., BARBOSA, R., SANTOS, D.B., Simulation of the Controlled Rolling and Accelerated Cooling of a Bainitic Steel Using Torsion Testing, *Journal of Materials Processing Technology*, vol 100, 2000, pp. 156-162.
- 6 VILELA, J.J., BARBOSA, R., Prediction of Stress Strain Curves of Hot Deformed IF Austenite, *ISIJ International*, vol. 42 (2002), no. 3, pp. 319-321.
- 7 OLIVEIRA, N.J.L.; TALARICO, M.L.; ANDRADE, M.S. Desnitretação e recristalização em aços inoxidáveis ferríticos. *in: CONGRESSO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA E MATERIAIS*, n. 62, 2007, Vitória, Brasil, ABM2007.

- 8 OLIVEIRA, T.R.; MONTHEILLET, F. Estudo da recristalização dinâmica durante a deformação a quente dos aços inoxidáveis ferríticos estabilizados. *In: SEMINÁRIO BRASILEIRO DO AÇO INOXIDÁVEL. N. VII 2004, São Paulo, Brasil, 2004.*
- 9 ANDRADE, M.S. ; TALARICO, M.L. ; SILVA, I.F. ; OLIVEIRA, N.J.L. Influência da Deformação na Precipitação da Cementita em Aços Hipereutetóides.. *In: Anais do 48 Congresso Anual da ABM., 1993, RIO DE JANEIRO. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 1993.*
- 10 TALARICO, M.L., ANDRADE, M.S, OLIVEIRA, N.J.L., BERTOLACE, D.C. SILVA, J.E., JUNQUEIRA, R.M.R., Simulação de Processos e Esferoidização de Aço para Ferramentas do Tipo DIN 125Cr1.. Belo Horizonte, CETEC, 1998. Relatório de Projeto.
- 11 CALLISTER, W D Jr, Ciência e Engenharia de Materiais Uma Introdução, Quinta Edição, Utah, 2000 .
- 12 TALARICO, M.L., OLIVEIRA, N.J.L. Determinação de Temperaturas de Transformações de Fases com Aplicação de Deformações. *In: 55º Congresso Anual da ABM, 2000, Rio de Janeiro.*
- 13 TALARICO, M.L., OLIVEIRA, N.J.L., Simulação do Tratamento Termomecânico na Laminação de Fio Máquina. Belo Horizonte, CETEC, 2001. Relatório de Projeto.
- 14 CIZEK, P., WYNNE, B.P., A Mechanism of Ferrite Softening in a Duplex Stainless Steel Deformed in Hot Torsion. *Materials Science and Engineering, A230 (1997) 88-94.*
- 15 LOMBRY, R., ROSSARD, C., THOMAS, B.J., Étude des Mécanismes de Déformation et d'Adoucissement Dynamique des Aciers Ferritiques Fe-Cr au Cours de la Déformation à Chaud. *Revue de Métallurgie, Décembre 1981, pp. 975-988.*
- 16 BORATTO, *et. all.* "Projeto de Esquemas de Laminação Controlada Através de Ensaio de Torção Computadorizado", COLAM-ABM, Setembro de 1987, São Paulo.
- 17 BARBOSA, R.A.M.N., BORATTO, F. e SANTOS, D. Fundamentos da Laminação Controlada, E.E da UFMG, Belo Horizonte, 1989.
- 18 WEISS, J.J. JONAS, P.J. HUNT, G.E. Ruddle. "Simulation of Plate Rolling on a Computerized Hot Torsion Machine and Comparison with Mill Results", *Proceedings International Conference of Steel Rolling, Iron and Steel Institute of Japan, Tokyo, Japan, October 1980, p. 1225-1236.*
- 19 COTA, A.B., MODENESI P.J., BARBOSA, R., SANTOS D.B., Temperaturas de Transformação no Resfriamento Contínuo Determinadas através de Ensaio de Torção em um Aço Bainítico de Baixo Carbono. *Revista Virtual Matéria, v.03 n.2, 1999. 6pp.*
- 20 COTA, A.B., BARBOSA, R., SANTOS, D.B., Simulation of the Controlled Rolling and Accelerated Cooling of a Bainitic Steel Using Torsion Testing, *Journal of Materials Processing Technology, vol 100, 2000, pp. 156-162.*
- 21 VILELA, J.J., BARBOSA, R., Prediction of Stress Strain Curves of Hot Deformed IF Austenite, *ISIJ International, vol. 42 (2002), no. 3, pp. 319-321.*
- 22 PINHEIRO, I. P., BARBOSA, R., CETLIN, P.R., A Importância do Caminho de Deformação nos Processos de Restauração a Quente do Aço Livre de Intersticiais, *Metalurgia e Materiais, vol. 59 (2003), no. 532, pp. 15-18.*
- 23 CHO, S.H., KANG, K.B., JONAS, J.J. Mathematical Modeling of the Recrystallization Kinetics of Nb Microalloyed Steels. *ISIJ International, Vol. 41(2001), No. 7, pp. 766-773.*
- 24 TALARICO, M.L., ANDRADE, M.S., SILVA, I.F., SILVA, J.E., JUNQUEIRA, R.M.R., Aços Microligados para Parafusos. Belo Horizonte, CETEC, 1991. Relatório de Projeto.
- 25 TALARICO, M.L., ANDRADE, M.S, SILVA, I.F., SILVA, J.E., BRANCO, J.R. T., BORATTO, F.J.M., LOUREIRO, F.G., COELHO, G.A., Simulação em Laboratório de Processamento de Aço Carbono para Ferramentas do Tipo DIN 125Cr1. Belo Horizonte, CETEC, 1991. Relatório de Projeto.

- 26 ANDRADE, M.S. ; TALARICO, M.L. ; SILVA, I.F. ; OLIVEIRA, N.J.L. Influência da Deformação na Precipitação da Cementita em Aços Hipereutetóides.. In: Anais do 48 Congresso Anual da ABM., 1993, RIO DE JANEIRO. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 1993.
- 27 TALARICO, M.L., ANDRADE, M.S, OLIVEIRA, N.J.L., BERTOLACE, D.C. SILVA, J.E.,JUNQUEIRA, R.M.R., Simulação de Processos e Esferoidização de Aço para Ferramentas do Tipo DIN 125Cr1.. Belo Horizonte, CETEC, 1998. Relatório de Projeto.
- 28 CALLISTER, W D Jr, Ciência e Engenharia de Materiais Uma Introdução,Quinta Edição, Utah,2000 .
- 29 TALARICO, M.L., OLIVEIRA, N.J.L. Determinação de Temperaturas de Transformações de Fases com Aplicação de Deformações. In: 55º Congresso Anual da ABM, 2000, Rio de Janeiro.
- 30 TALARICO, M.L., OLIVEIRA, N.J.L., Simulação do Tratamento Termomecânico na Laminação de Fio Máquina. Belo Horizonte, CETEC, 2001. Relatório de Projeto.
- 31 CIZEK, P., WYNNE, B.P., A Mechanism of Ferrite Softening in a Duplex Stainless Steel Deformed in Hot Torsion. Materials Science and Engineering, A230 (1997) 88-94.
- 32 LOMBRY, R., ROSSARD, C., THOMAS, B.J., Étude des Mécanismes de Déformation et d'Adoucissement Dynamique des Aciers Ferritiques Fe-Cr au Cours de la Déformation à Chaud. Revue de Métallurgie, Décembre 1981, pp. 975-988.