

Estudo dos efeitos dos tratamentos térmicos no aço AISI41B30H utilizado na fabricação de cilindros para armazenamento de gás natural veicular ⁽¹⁾

*Thiago de Carvalho Silva ⁽²⁾
Luiz Carlos Rolim Lopes ⁽³⁾*

Objetivo: A empresa White Martins Gases Industriais – CILBRÁS produz cilindros de alta pressão para fins de armazenamento de GNV (Gás Natural Veicular) através de extrusão rotativa e estampagem profunda. Em qualquer destes processos de conformação a microestrutura do material é modificada pela deformação plástica e além disso há modificações por parte dos tratamentos térmicos. O objetivo é estudar os efeitos subsequentes à essas transformações na microestrutura.

Metodologia: Os corpos de prova foram submetidos aos tratamentos térmicos de recozimento e têmpera e revenido. Em uma outra etapa executam-se a metalografia e os ensaios mecânicos possibilitando a determinação das microestruturas e as propriedades mecânicas em cada tratamento, e também no aço como recebido, este previamente normalizado. Foram realizados testes de dureza, microdureza, tração uniaxial e de impacto.

Resultados e Conclusões: A maior resistência ao desgaste do material ocorre após ao tratamento térmico de têmpera seguido pelo tratamento de revenido a temperaturas que variam para uma faixa de 300°C. O tratamento térmico a ser aplicado de maneira que se obtenha um menor trabalho de conformação durante o processo de fabricação dos cilindros é o tratamento térmico de recozimento. A maior ductilidade foi observada quando submetido aos tratamentos térmicos de têmpera e revenido 660°C. Por outro lado, observou-se maior fragilidade quando é submetido aos tratamentos térmicos de têmpera e revenido 300°C.

Palavras chaves: Cilindro GNV, AISI41B30H, Tratamentos Térmicos.

(1) 6° ENEMET de 24 a 28 de julho de 2006, Rio de Janeiro, RJ

(2) Graduando em Engenharia Mecânica pela UFF – Volta Redonda, RJ

(3) Professor Adjunto da UFF, Volta Redonda, RJ; Coordenador do Projeto Rotas de Conformação para Fabricação de Selantes Metálicos para Cilindros Leves para GNV

1. INTRODUÇÃO

O gás natural veicular (GNV) é uma excelente escolha para a substituição de combustíveis líquidos derivados do petróleo, tanto pelo aspecto de custo como do ponto de vista ecológico, pois a queima do gás natural se dá com emissão mais baixa de gases que produzem o efeito estufa. Assim, hoje se busca produzir motores especificamente projetados para a queima do GNV tanto para veículos leves como pesados. Sendo o peso do cilindro para armazenamento de GNV um fator limitante para o seu emprego em veículos de passageiros, a norma ISO 11439 admite o emprego de cilindros leves de diferentes tipos.

Este trabalho é parte integrante do projeto Rotas de Conformação para Fabricação de Selantes Metálicos para Cilindros Leves para GNV, executado pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica de Volta Redonda, que integra o campus da Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica de Volta Redonda, EEIMVR - UFF, e tem como empresa interveniente a White Martins, líder no mercado de gases industriais e medicinais na América do Sul e fabricante de reservatórios para GNV com fábricas em Barra Mansa e em Manaus.

O cilindro é obtido por intermédio da conformação de tubos de aço sem costura por um processo denominado extrusão rotativa. É necessário que o material a ser extrudado apresente uma tensão de escoamento baixa e boa plasticidade. Para modificar as propriedades mecânicas do material pode-se submetê-lo a alguns tratamentos térmicos dentre os quais pode-se citar o recozimento, a têmpera e o revenido. O aço utilizado é o AISI41B30H, cuja composição podemos observar na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição química do aço AISI 41B30H (%).

| | C | Mn | Si | Ni | Cr | Mo | Cu | Nb | B | P | S |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|-------|--------|-------|-------|
| Mínimo | 0,28 | 0,40 | 0,15 | 0,20 | 0,80 | 0,15 | - | 0,010 | 0,0005 | - | - |
| Máximo | 0,33 | 0,60 | 0,35 | 0,30 | 1,10 | 0,25 | 0,35 | 0,030 | 0,002 | 0,015 | 0,010 |

Com uma extensa revisão na literatura, podemos resumir os tratamentos térmicos utilizados:

Recozimento. Consiste no aquecimento do aço até acima da zona crítica, seguido de um resfriamento lento, normalmente dentro do forno, busca-se com este tratamento térmico restabelecer as propriedades normais que foram alteradas por um tratamento mecânico ou térmico anterior.

Têmpera. Consiste no aquecimento da peça até acima da zona crítica, seguido de um resfriamento rápido em água, óleo, etc. Seu objetivo é aumentar a dureza do aço, tornar mais elevado seu limite de escoamento, sua resistência à tração, sua resistência à compressão e ao desgaste; em consequência deve-se observar uma diminuição significativa na resistência ao choque e no alongamento.

Revenido. Consiste em reaquecer a peça temperada até uma temperatura conveniente, abaixo da zona crítica, e resfriá-la novamente. É praticado com a finalidade de corrigir certos efeitos da têmpera, quando por exemplo se manifesta uma dureza, ou fragilidade, excessivas ou quando há tensões internas perigosas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa se iniciou com uma revisão bibliográfica sobre tratamentos térmicos e metalografia, que trouxe informações fundamentais para o início das atividades.

Os corpos de prova foram submetidos aos tratamentos térmicos de recozimento e têmpera e revenido. Em uma outra etapa executam-se os ensaios mecânicos e a análise metalográfica possibilitando a determinação das propriedades mecânicas e a caracterização das estruturas em cada tratamento, e também no aço como recebido, este previamente normalizado

Para a realização dos tratamentos térmicos, utilizou-se um forno do tipo mufla de marca Brasimet capaz de atingir temperaturas de até 1300°C.

Recozimento. Para este tratamento adotou-se uma faixa de temperatura de 830 a 850°C. Depois de aquecido o forno, colocou-se os corpos de prova cobertos por cavacos, a fim de se evitar a descarbonetação do material ambos no interior de uma bandeja e se esperou a equalização da temperatura do conjunto forno, bandeja, cavacos e amostras. O tempo de permanência dentro do forno foi de dez minutos, passado esse tempo desliga-se o forno e deixa-se resfriar o conjunto.

Têmpera. Depois de aquecido o forno a uma temperatura de 820 °C, o conjunto, já acondicionado na bandeja é colocado no interior do mesmo, a permanência do conjunto no interior do forno após a equalização de temperatura foi de dez minutos, em seguida é feito o resfriamento rápido em óleo a fim de se obter uma estrutura martensítica.

Revenido. . Após temperados, todos os corpos de prova foram submetidos ao tratamento térmico de revenido. Os corpos de prova foram submetidos a diferentes temperaturas de revenido, estas de 300°C, 450°C, 610°C , 660°C, isso com um intervalo de confiança de mais ou menos 10°C. As considerações com relação ao acondicionamento e tempo de permanência dos corpos de prova no interior do forno são as mesmas adotadas nos tratamentos anteriores. O resfriamento neste tratamento é feito lentamente ao ar.

2.1. A PRÁTICA METALOGRAFICA

Junto ao trabalho de tratamentos térmicos foi feita em cada etapa a prática metalográfica, que visa analisar a microestrutura a fim de verificar se o objetivo do tratamento térmico foi alcançado. A metalografia consiste em 7 etapas, são elas:

Corte. É retirado do material uma pequena amostra a ser analisada;

Embutimento. É embutida a pequena amostra em um pequeno cilindro de baquelite;

Lixamento. A amostra já embutida é lixada sempre da granulometria maior para a menor, sempre quando mudado a lixa, lixa-se noventa graus em relação à última;

Polimento. O polimento nada mais é que um lixamento mais fino;

Ataque Químico. De acordo com o que se quer analisar no material utiliza-se ataques químicos diferentes, ora para revelar bainita, ora martensita, bem como ferrita e perlita.

Análise Microestrutural. Com um analisador de imagens digital verificou-se o resultado proveniente do ataque, podendo então concluir de acordo com o ataque, a microestrutura e a microtextura.

Limpeza. A limpeza é sempre feita após cada etapa da metalografia;

2.2. ENSAIO DE DUREZA

Os ensaios de dureza foram executados de acordo com a norma NBR 6671 para teste de dureza Rockwell C e Rockwell B, em materiais metálicos. Os ensaios de dureza foram executados no laboratório de ensaios mecânicos da UFF - EEIMVR em um durômetro WOLPERT.

2.3. ENSAIO DE MICRODUREZA

Os ensaios de dureza foram executados segundo os princípios do método Vickers, para materiais metálicos. Os ensaios foram realizados no laboratório de análise de imagens da UFF-EEIMVR.

2.4. ENSAIO DE TRAÇÃO UNIAXIAL

Os ensaios de tração foram realizados nos corpos de prova de acordo com a norma NBR 6892 em uma máquina WOLPERT com capacidade de 20t. Para os corpos de prova que necessitaram de uma máquina com capacidade maior realizou-se o ensaio de tração uniaxial, de acordo com a norma NBR 6892, em uma máquina WOLPERT com capacidade de 60t, no laboratório de ensaios mecânicos da CILBRÁS.

2.5. ENSAIO DE IMPACTO

Os ensaios de impacto foram executados em uma máquina WOLPERT de acordo com a norma ISO 148. Os ensaios à temperatura ambiente foram executados no laboratório de ensaios mecânicos da EEIMVR e os à temperaturas sub-zero foram executados no laboratório da CILBRÁS. As temperaturas de ensaio foram a 25, 0, -20 e -70°C respectivamente.

3. RESULTADOS

3.1. MATERIAL NORMALIZADO

O material é recebido normalizado, antes dos tratamentos térmicos prescritos, analisou-se sua microestrutura e constatou-se que sua microestrutura é constituída de perlita e ferrita, com uma microtextura granular, como podemos apreciar na Figura 1, na Tabela 2 podemos observar as durezas Rockwell C e Brinell.

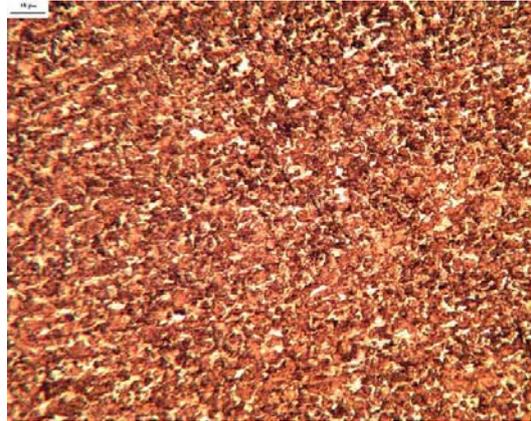


Figura 1- Aço AISI 41B30H Normalizado com Ataque de Nital a 3% e Aumento de 100x

Tabela 2 – Dureza Rockwell C e Brinell

| DUREZA ROCKWELL C | DUREZA BRINELL |
|----------------------|-------------------|
| 13,10 | 198,22 |

A Figura 2 mostra a curva tensão deformação para o material nesta condição, obtida experimentalmente. O limite de escoamento foi determinado, como sendo o valor de tensão para uma deformação de 0,20% e vale 541,11 MPa. O gráfico da tensão x deformação verdadeira é mostrado na figura 3.

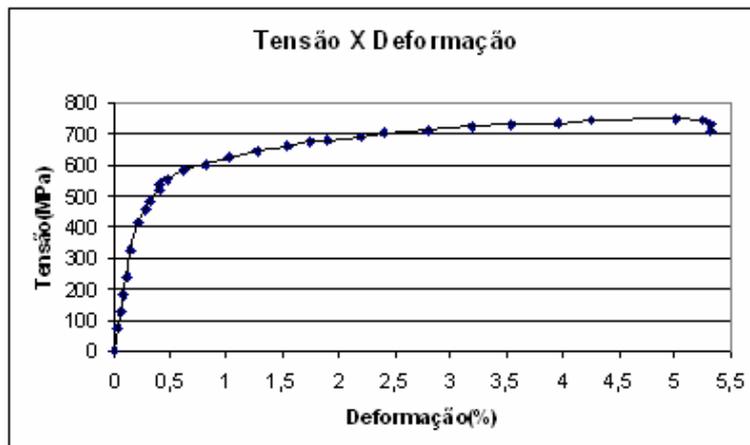


Figura 2– Curva tensão x deformação de engenharia determinada experimentalmente

3.2. MATERIAL RECOZIDO

Foi constatado uma microestrutura composta por ferrita e perlita com uma microtextura alinhada (seções longitudinais em linhas paralelas), o material apresentou uma dureza de 75,98 HRB (ROCKWELL B)

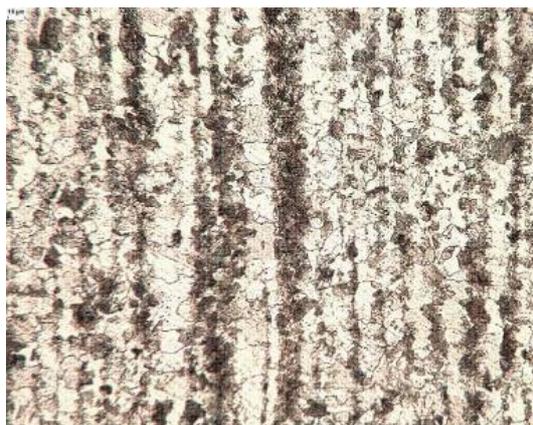


Figura 3- Aço AISI 41B30H Recozido com Ataque de Nital a 3% e Aumento de 200x.

A Figura 4 mostra a curva tensão deformação obtida experimentalmente. A dureza foi de 75,98 HRB (ROCKWELL B). A tensão limite de escoamento foi determinada como sendo aquela aplicada para uma deformação de 0,20% e vale 290,33MPa.

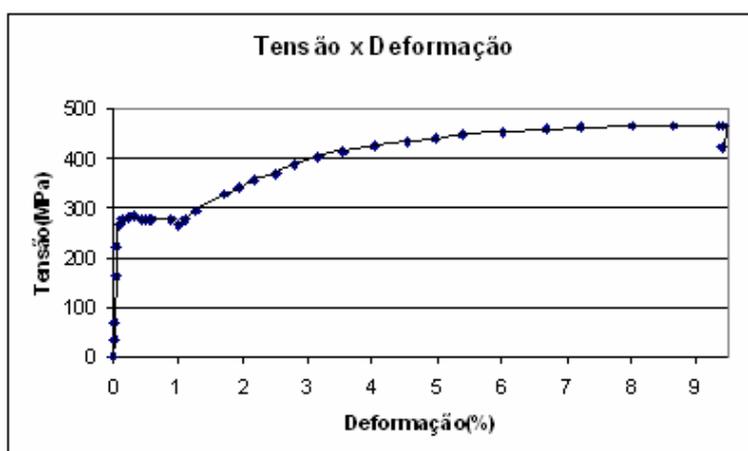


Figura 4 – Curva tensão x deformação de engenharia determinada experimentalmente

3.3. MATERIAL TEMPERADO

Foi verificada uma microestrutura martensita, a eficiência na formação da martensita se deve em maior importância ao boro na composição do aço, a microtextura foi a martensítica.



Figura 5- Aço AISI 41B30H Temperado com Ataque de Nital a 3% e Aumento de 500x.

3.4. MATERIAL TEMPERADO E REVENIDO

Foi verificada uma microestrutura martensita revenida, e uma microtextura revenida. As figuras seguintes mostram a dispersão das partículas de cementita em uma matriz ferrítica . Na tabela 4 constam os valores de microdureza Vickers.

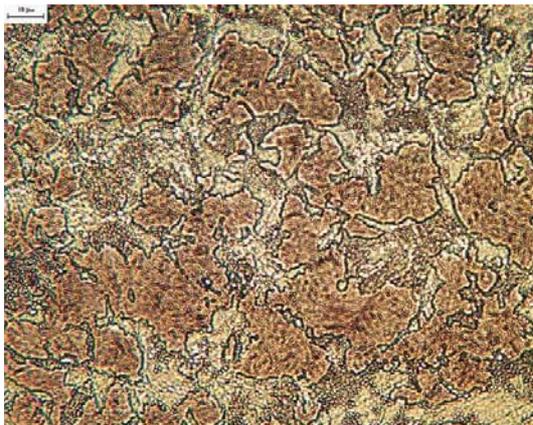


Figura 6- Aço AISI 41B30H Revenido a 300°C com Ataque de Nital a 3% e Aumento de 500 x.

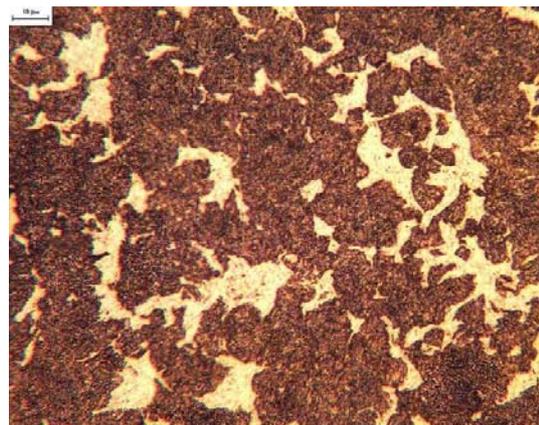


Figura 7 - Aço AISI 41B30H Revenido a 450°C com Ataque de Nital a 3% e Aumento de 500 x.

Tabela 3 – Dureza Rockwell C e Brinell

| TEMPERATURA DE REVENIDO (°C) | DUREZA ROCKWELL C | DUREZA BRINELL |
|------------------------------|-------------------|----------------|
| 300 | 47,62 | 430,00 |
| 450 | 38,06 | 354,15 |
| 610 | 33,32 | 313,65 |
| 660 | 28,71 | 277,22 |

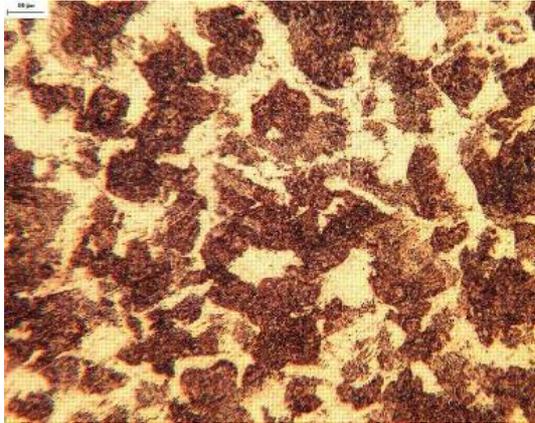


Figura 8 - Aço AISI 41B30H Revenido a 610°C com Ataque de Nital a 3% e Aumento de 500x.

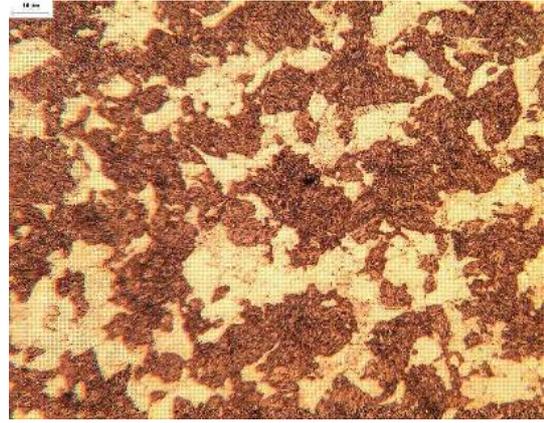


Figura 9 - Aço AISI 41B30H Revenido a 660°C com Ataque de Nital a 3% e Aumento de 500x.

Tabela 4 - Microdurezas dos Materiais Revenidos

| TEMP. DO REVENIDO | 300 °C | 450 °C | 610 °C | 660 °C |
|---|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| MICRODUREZA NA REGIÃO PREDOMINANDO A MATRIZ FERRÍTICA | 250 HV (245 HB) | 240 HV (235 HB) | 212 HV (202 HB) | 220 HV (216 HB) |
| MICRODUREZA NA REGIÃO PREDOMINANDO CEMENTITA | 482 HV (476 HB) | 340 HV (336 HB) | 337 HV (321 HB) | 260 HV (257 HB) |

As Figuras 10 e 11 mostram as curvas tensão deformação obtidas experimentalmente para os corpos de prova com revenidos de 610 e 660°C, respectivamente. As tensões limite de escoamento foram determinadas como sendo aquelas aplicadas para uma deformação de 0,20% e valem 415MPa e 400MPa.

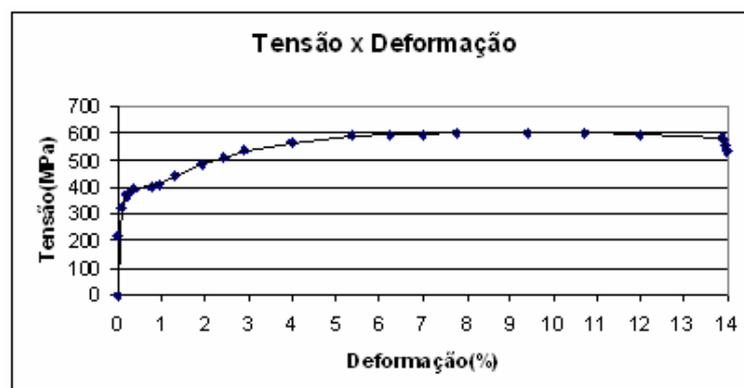


Figura 10 – Curva tensão x deformação de engenharia determinada experimentalmente, Revenido de 610°C

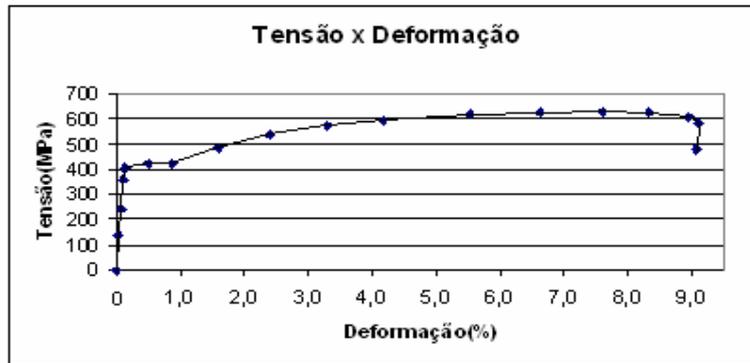


Figura 11 – Curva tensão x deformação de engenharia determinada experimentalmente, Revenido 660°C

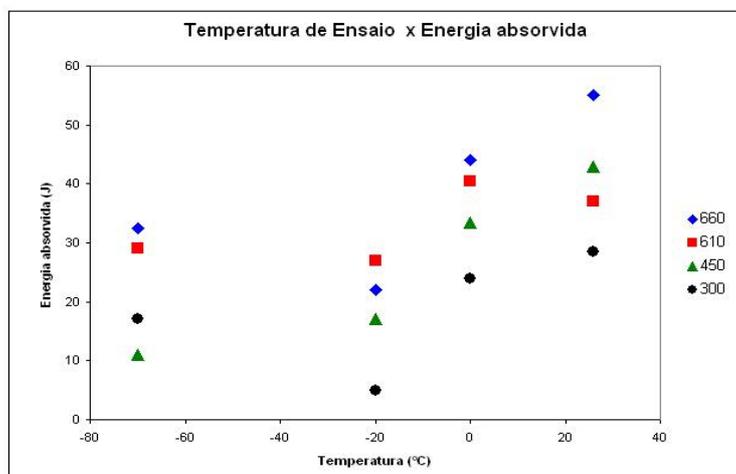


Figura 12 – Ensaio de impacto Charpy-V.

Da Figura 12, pode-se constatar que a maior tenacidade ao impacto é observada para o material aos tratamentos térmicos de têmpera e revenido, quando a temperatura de revenido é mais elevada. É o caso dos corpos-de-prova revenidos a 610 e 660°C. Por outro lado, observou-se menor tenacidade quando o tratamento de revenido se dá em temperaturas baixas, 300 e 450°C.

4. CONCLUSÃO

A maior resistência ao desgaste do material provavelmente pode ser obtido submetendo se o material em questão ao tratamento térmico de têmpera seguido pelo tratamento de revenido a temperaturas que variam para uma faixa de 300°C.

O tratamento térmico a ser aplicado de maneira que se obtenha um menor trabalho de conformação durante o processo de fabricação dos cilindros é o tratamento térmico de recozimento, isto devido ao baixo limite de escoamento do material resultado do tratamento térmico aplicado.

A maior ductilidade foi observada para o material quando submetido aos tratamentos térmicos de têmpera e revenido, quando a temperatura de revenido varia para as maiores faixas de temperatura. Por outro lado, observou-se maior fragilidade quando o mesmo material é submetido aos tratamentos térmicos de têmpera e revenido, quando a temperatura de revenido varia para as menores faixas de temperatura.

5. AGRADECIMENTOS

Luiz Carlos Rolim Lopes, Engenheiro Metalúrgico, D.Sc., Professor Adjunto, Coordenador do Projeto; **Gustavo Borges Amorim**, Engenheiro Civil, M.Sc. Doutorando, Bolsista CAPES; **Giselle Barbosa de Mattos**, Engenheira Metalúrgica, Mestranda, Bolsista DTI/CNPq. Também às instituições participantes: Fundação Euclides da Cunha de Apoio Institucional à UFF, White Martins Gases Industriais – CILBRÁS, FINEP, Rede GásEnergia/PETROBRÁS.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ashby, M.F. and D.R.H. Jones, Engineering Materials 2, An Introduction to Micro_structures, Processing and Design, Pergamon Press, Oxford, 1992.

CHIAVERINI, V. Aços e ferros fundidos. 4 ed. Associação Brasileira de metais, 1979.

Metals Handbook. The American Society For Metals v.2, 8. Ed. 1964. p. 708.

Bullens, D.K. Steel and its heat treatment. 5 ed. John Willey & Sons, 1948.

Site internet [<http://www.spectru.com.br>]f

Site internet [<http://www.cbca-ibs.org.br>]

7. ABSTRACT

The company White Martins Industrial Gases – CILBRÁS produces high pressure cylinders to store natural gas to automobile industry trough rotative extrusion and deep stamping. Anyone of these forming processes the material's microstructure is modified trough plastic forming and moreover there are modifications due to heat treatments. The object is study the effects subsequents to these transformations in the microstructure. The specimens have been submitted to the heat treatments of annealing and quench and tempering. In another way were done the metallography and the mechanical testings possibiliting the determination of the microstructures and the mechanical proprerties in each treatment, and also in the steel just like received, this one previously normalized. Were realized hardness and microhardness tests, tensile and impact tests. The biggest material resistance to wear occurs after to the heat treatment of quench followed by treatment of tempering in temperatures that vary for a band of 300°C. The heat treatment to be applied thus if it gets a lesser work of conformation during the process of manufacture of the cylinders is the heat treatment of annealing. The biggest ductility was observed when submitted to the heat treatments of quench and tempering that vary for a band of 660°C. On the another hand, it was observed biggest fragility when is submitted to the heat treatments of quench and tempering 300°C.

Keywords: Cylinder Natural Gas, AISI41B30H, Heat Treatments.