

# AÇO AUSTEMPERADO PARA APLICAÇÕES DE REPUXO CRÍTICO <sup>1</sup>

Charles Morales<sup>2</sup>

Ricardo Cumino<sup>3</sup>

Ivan Martins<sup>4</sup>

Manoel Marcos G.Lopes<sup>5</sup>

Rubens S. Freire<sup>6</sup>

## Resumo

O presente trabalho avaliou a influência da estrutura de um aço relaminado SAE 1050 em fita pré-austemperada quanto ao desempenho no processo de estampagem em prensa do tipo progressiva. Foram processados lotes experimentais em fitas pré-temperadas de aço laminado a frio tratadas termicamente em forno do tipo contínuo, austenitizadas e resfriadas isotermicamente por tempo determinado até obter a transformação da estrutura final predominantemente bainítica. Foram observados nos resultados de ensaio de tração das fitas valores de alongamento superiores ao do material anteriormente utilizado (estrutura martensítica), o que propiciou resultado de estampagem satisfatório, bem como redução considerável do refugo proveniente de trincas nas peças após estampagem.

**Palavras-chave:** Austêmpera; Estampagem.

## AUSTEMPERED STEELS FOR CRITICAL STAMPED PARTS

### Abstract

The present work has evaluated the performance of a SAE 1050 cold rolled heat treated material with a bainitic structure in a progressive stamping press machine. This cold rolled material was processed in a continuous furnace line, austenitizing and holding for a determined period to get the structure mainly composed by bainite. It was observed in the results at the tensile test that the elongation values were higher than the other material condition (Martensitic structure), which has guaranteed better condition in the stamping process, resulting considerable cracks reduction in the final parts after stamping.

**Key words:** Austempering; Stamping

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro de Processos Pleno; Armco do Brasil - charlesmorales@armco.com.br

<sup>3</sup> Engenheiro Metalurgista; M.Sc.–INA BRASIL ; - cuminrca@schaeffler.com

<sup>4</sup> Engenheiro de materiais; - INA BRASIL – martian@schaeffler.com

<sup>5</sup> Engenheiro Químico; Armco do Brasil – manojmarcos@armco.com.br

<sup>6</sup> Técnico de Processos; Armco do Brasil – rubens.freire@armco.com.br

# 1 INTRODUÇÃO

Como descrito em Goldenstein<sup>[1]</sup> desde o início do século passado sabia-se que o diagrama Fe-C apresenta um eutetóide onde a austenita se decompõe em ferrita mais carbonetos (cementita). Sabia-se também que após a têmpera da austenita e posterior tratamento térmico em baixas temperaturas forma-se também ferrita e cementita; conseqüentemente a idéia natural nos trabalhos da época era que a austenita transforma-se primeiro para martensita a qual depois se decompõe dando origem às diferentes estruturas de ferrita mais carbonetos. Esta concepção refletiu-se na nomenclatura, "sorbita" e "trostita" dada aos agregados finos de ferrita e cementita independentemente do tratamento térmico. Os trabalhos de Hultgren, Robertson e de Bain e Davenport na década de 20 mostraram através de estudos da decomposição isotérmica da austenita, que estes agregados formam-se diretamente a partir da austenita. Mostraram ainda, através de metalografia no limite de resolução do microscópio ótico, as diferenças entre os produtos de alta temperatura (perlita e ferrita) e de baixa temperatura (martensita) e os produtos das temperaturas intermediárias, de morfologia acicular e contendo carbonetos dispersos em uma matriz ferrítica. Estes últimos passaram a ser denominados de bainita em homenagem a esta descoberta. Duas morfologias diferentes de agregados de ferrita mais cementita não lamelares, típicas de aços de médio carbono, foram reconhecidas e denominadas de bainita superior e bainita inferior por Mehl em 1939.

De acordo com Metals Handbook<sup>[2]</sup> a transição entre bainita superior e inferior usualmente varia de aproximadamente 550°C para baixos percentuais de carbono até aproximadamente 350°C para aços com até 0,80%C. Como mostrado na Figura 1 esta transição é paralela por variações similares nas temperaturas  $B_s$  e  $M_s$ .

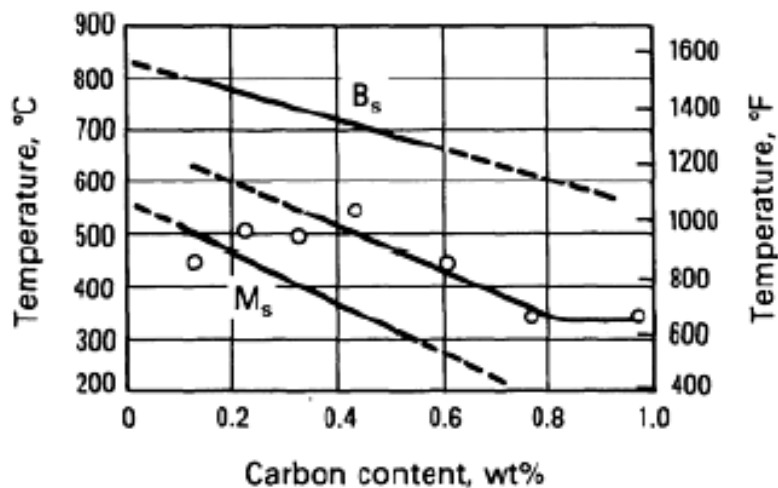
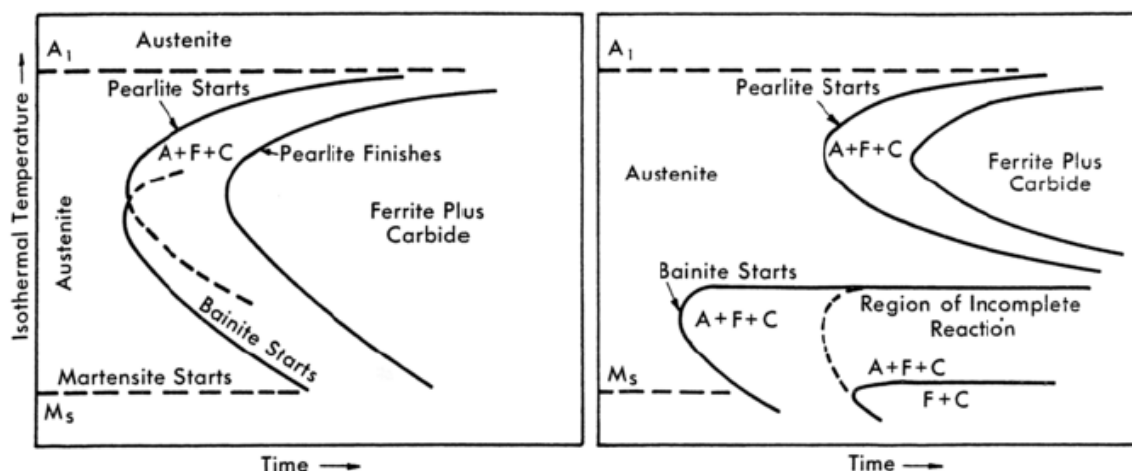


Figura 1 – Temperatura de início da bainita em relação às temperaturas  $B_s$  e  $M_s$ .

Conforme descrito anteriormente a Bainita é uma microestrutura resultante nos aços da decomposição da austenita em ferrita e cementita na faixa de temperatura acima da transformação martensítica e abaixo da perlítica.

Significante sobreposição de acordo com Metals Handbook<sup>[3]</sup> entre as faixas de temperatura de transformação entre a bainita e a perlita é geralmente observado nos aços carbono simples (Figura 2(a)). Entretanto, em muitos sistemas de aços ligados, a separação entre as faixas de temperatura entre a perlita e a bainita é distinta, resultando em uma baía entre as duas curvas de transformação na curva

tempo-temperatura-transformação como mostrado na Figura 2 (b). A transformação da bainita ocorre abaixo numa bem definida curva de início de transformação da bainita, e a fração transformada aumenta com o decréscimo da temperatura.



**Figura 2** – Diagramas tempo-temperatura-transformação nos quais (a) as regiões de perlita e bainita extensivamente sobrepostas, e (b) as regiões de perlita e bainita estão bem separadas nas faixas de temperatura em que elas ocorrem.

O objetivo principal do trabalho foi desenvolver um produto que pudesse eliminar a rejeição das peças por trincas oriundas durante a estampagem, onde foram processadas fitas relaminadas pré-austemperadas em processo contínuo objetivando uma estrutura final predominantemente bainítica obedecendo as mesmas características de propriedades mecânicas descritas na tabela 1, que foram colocadas em teste para avaliação dos resultados, os quais estão mencionados na Tabela 2 deste trabalho.

A especificação do produto mencionada na Tabela 1 deste trabalho determina que o material relaminado pré-temperado seja fornecido com estrutura martensítica revenida (H+A), entretanto atendendo o produto com esta condição de estrutura o desempenho no processo de estampagem não atingia um grau de desempenho satisfatório, gerando um refugo de peças acabadas com trincas.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Característica do Produto a Ser Fornecido

A especificação do produto estabelece as seguintes características mecânicas conforme a Tabela 1.

**Tabela 1** – Exigências de propriedades mecânicas do produto fornecido em fita relaminada independente da condição de microestrutura ser martensítica ou bainítica.

R.tração [N/mm <sup>2</sup> ]	900 – 1000
%alongamento A10	≥9
Dureza Vickers HV10	280 - 310

### 2.2 Processamento na Fábrica

Para se garantir a repetibilidade do processo no tratamento térmico de austêmpera foram utilizados os seguintes conceitos:

M.prima com bitola de partida padronizada a fim de se ter reduções de laminação definidas, neste caso a redução a frio total foi de 75%;  
Ciclo de recozimento em forno do tipo caixa com atmosfera de hidrogênio a uma temperatura de 660°C por um período de 6h;

## **2.3 Técnicas de Caracterização Microestrutural**

### **2.3.1 Análise metalográfica**

A análise metalográfica foi realizada na seção longitudinal (direção de laminação) de todas as amostras. A preparação metalográfica das amostras envolveu as etapas de corte, embutimento em baquelite, lixamento, polimento e ataque químico. A microestrutura das amostras foi revelada com reagente metalográfico Nital. A observação das amostras foi realizada com auxílio da técnica de microscopia óptica, utilizando um microscópio ótico da marca Union, equipado com analisador de imagens.

### **2.3.2 Análise de microscopia eletrônica de varredura**

A análise de microscopia eletrônica foi realizada na EPUSP, departamento de engenharia metalúrgica em um aparelho Philips modelo XL 30, com as amostras do material na condição tratada isotermicamente.

## **2.4 Ensaios Mecânicos**

Foram realizados os seguintes ensaios mecânicos: ensaio de tração, ensaio de embutimento Erichsen e ensaio de dureza Vickers.

### **2.4.1 Ensaio de tração**

Os corpos de prova foram preparados com auxílio de uma prensa automática de estampagem, as dimensões dos corpos de prova utilizados conforme norma NBR-6673. Os ensaios de tração foram realizados em um equipamento da marca Instron, modelo 3385H, da Armco do Brasil S.A.

A partir dos ensaios de tração foram determinados: limite de resistência e alongamento total.

### **2.4.2 Índice de embutimento Erichsen**

A determinação do índice de embutimento Erichsen (IE) foi realizada de acordo com a norma NBR-5902. Para o ensaio foram utilizados uma matriz com diâmetro interno de 27 mm e um punção de 20 mm para o material (espessura de 0,5 mm). Esse ensaio é apenas para avaliação da ruptura da calota conforme procedimento interno criado para o produto.

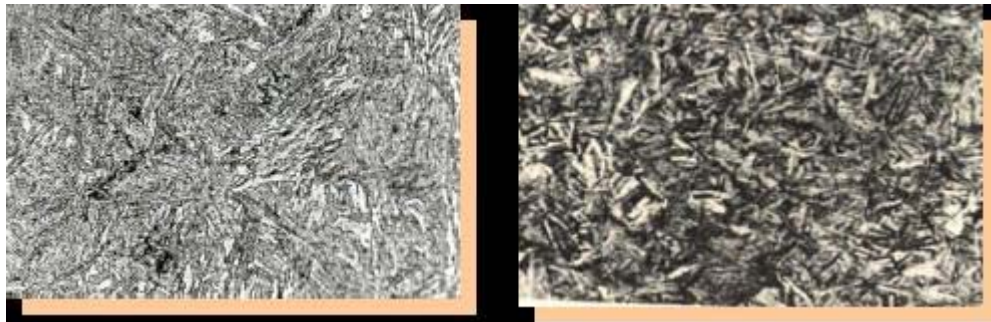
### **2.4.3 Dureza Vickers**

A dureza Vickers foi utilizada na caracterização dos materiais no estado austemperado. Utilizou-se um equipamento modelo Microteste 3212B, com carga de 10 kg. Os valores foram tomados pela média de 3 indentações.

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Caracterização das Amostras por Microscopia Ótica

O aço na condição austemperada apresentou a seguinte estrutura conforme pode ser verificado na figura 3(b) abaixo, comparado com a estrutura da Figura 3 (a) na condição anterior (tempera).



(a) ampliação 400x

(b) ampliação 400x

**Figura 3** – (a) estrutura martensítica revenida; (b) estrutura bainítica

#### 3.2 Ensaios Mecânicos

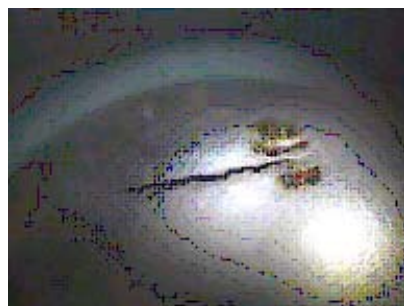
Os resultados dos ensaios mecânicos obtidos na condição de têmpera e austêmpera são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Propriedades mecânicas nos dois processos, têmpera e austêmpera.

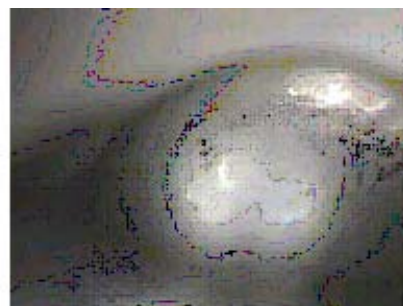
Processo Material	L.R. [N/mm <sup>2</sup> ]	Along. (A10) %	Dureza Hv 10	I.E (mm)
Têmpera	933	16,10	293,00	6,00
Austêmpera	924	19,60	287,50	7,20

#### 3.3 Caracterização do Ensaio de Embutimento Erichsen

A Caracterização do ensaio de embutimento é feita com objetivo de se padronizar o ensaio de liberação conforme fotos da Figura 4, onde a calota com ruptura (Figura 4 (a)) é considerada não aprovada e a sem ruptura (Figura 4 (b)) considerada aprovada para teste de estampagem.



(a)

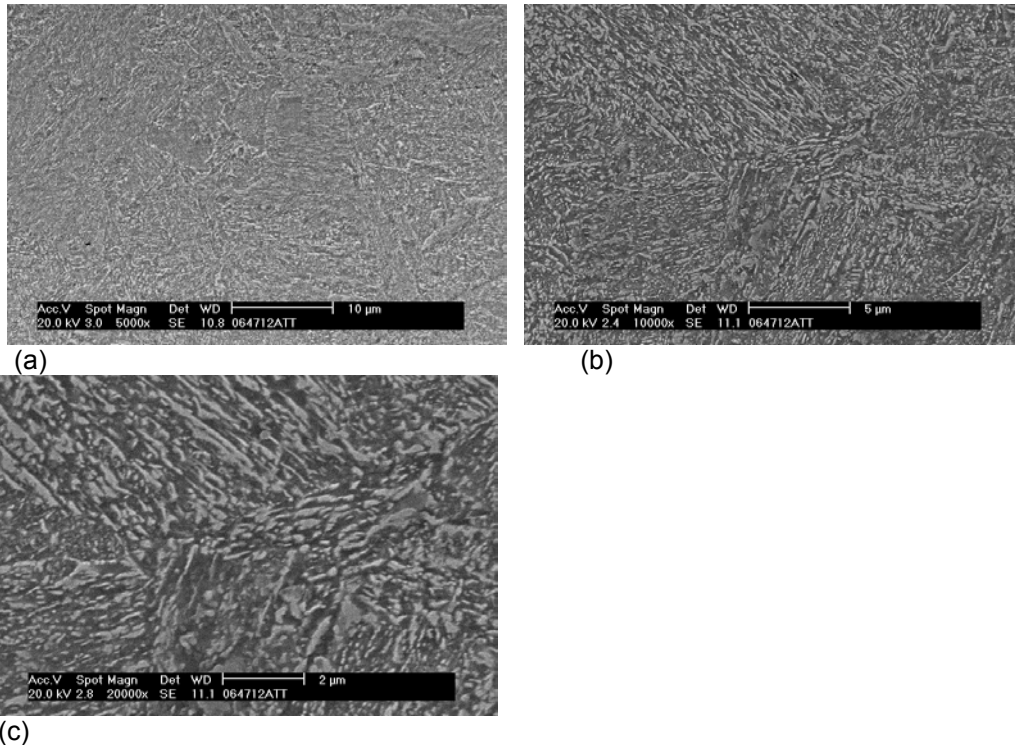


(b)

**Figura 4** – calota rompida (a) considerada não aprovada, e (b) calota sem ruptura, considerada aprovada.

### 3.4 Caracterização das Amostras por Microscopia Eletrônica de varredura

Foram realizadas análises de MEV usando a técnica de elétrons secundários na condição austemperada conforme pode ser verificada na Figura 5.



**Figura 5** – (a) , (b) e (c), estrutura composta predominantemente por bainita, sendo favorável para aplicações em peças pré-temperadas que exijam conformação.

### 3.5 Fatores Importantes no Processo de Estampagem da Peça

Os fatores críticos de estampagem estão mencionados na Tabela 3 abaixo considerando a situação anterior (tempera) e a situação atual (austemper) verificados pelo cliente.

**Tabela 3.** Variáveis importantes na estampagem da peça.

	<b>Situação Anterior</b>	<b>Situação Atual</b>
<b>Velocidade de estampagem</b>	40 – 50 golpes / min	Atual 70/80 golpes/min c/ aumento gradativo, próximo do ideal (100 golpes / min)
<b>Quebras</b>	Travas e matrizes de furar	Não ocorrem mais
<b>Reajustes no Processo</b>	A cada troca de bobina	Não ocorrem mais

### 3.6 Condição da Peça após Estampagem

A Figura 6 (a) exemplifica a condição da peça no caso de fita pré-austemperada (estrutura bainítica) situação atual, e a Figura 6 (b) na condição pré-temperada (estrutura martensítica) situação anterior.



(a)

(b)

**Figura 6** – (a) peça estampada com estrutura pré-austemperada (estrutura bainítica); (b) peça estampada com estrutura pré-temperada (estrutura martensítica).

#### **4 CONCLUSÕES**

- 1- O processo relaminado pré-austemperado aplicado ao produto em questão permitiu a execução da estampagem do componente em escala produtiva e praticamente a eliminação de refugo de peças devido a trincas.
- 2- O alongamento superior no material austemperado favorecido pela morfologia da estrutura, permite uma maior segurança no processo de estampagem do componente, como pode ser observado na figura 6(a).
- 3- Os ganhos de ajustes de set-up e perda de ferramental pelo cliente são variáveis que não puderam ser mensuradas quantitativamente, porém o aumento de 50% na velocidade de estampagem reflete na produtividade do produto final.

#### **Agradecimentos**

As seguintes pessoas da ARMCO e INA que tiveram participação significativa neste trabalho, que foi realizado e apresentado em 2006 no programa PSIC da INA BRASIL.

Ricardo Marcolino – UP10 – INA

Fabiano Scudeler– UP10 - INA

Juliano Alvez – UP10 - INA

Maurício Valentine – ARMCO

Mauro Navas - ARMCO

Leandro Neves M.Teixeira – ARMCO

Ricardo Urias - ARMCO

Rubens Girardi - ARMCO

Sidnei C. Almeida - ARMCO

Paulo R. Azevedo – ARMCO

Ao Profº Dr. Hélio Goldenstein da USP pela ajuda e realização da análise no MEV, bem como pelo artigo que propiciou mencionar uma introdução histórica breve sobre o contexto deste trabalho.

#### **REFERÊNCIAS**

- 1 Goldenstein, Hélio; "Bainita em Aços". In Bott, Ivani; Rios, Paulo; Paranhos, Ronaldo (org.). Aços: Perspectivas para os próximos 10 anos, 1ª ed., Rio de Janeiro, 2002, p 77-88.
- 2 Metals Handbook, Structures: Bainitic Structures, v.9, ASM Intern., 2004. p.1435.
- 3 Metals Handbook, Metallurgy and microstructures: Bainitic Structures, v.9, ASM Intern., 2004, p.461.