

# REDUÇÃO DO CICLO DE TRATAMENTO TERMICO DE ESFEROIDIZAÇÃO DO AÇO SAE 52100<sup>1</sup>

Carlos Roberto de Freitas<sup>2</sup>  
Flavio Lenine Cecotti<sup>2</sup>  
Amauri André Paludeto<sup>3</sup>  
Wander Gomes da Silva<sup>4</sup>  
Ricardo Strangis Cumino<sup>4</sup>

## Resumo

No presente trabalho foi estudado o comportamento do aço SAE 52100 submetido a um processo de esferoidização envolvendo microestrutura prévia martensítica após forjamento a quente. Para isso diversas amostras foram austenitizadas, temperadas e posteriormente submetidas a vários ciclos de recozimento para precipitação de carbonetos esferoidizados. Objetivou-se obter um material com microestrutura constituída de matriz ferrítica com carbonetos esferoidizados, apresentando dureza próximo a 200 HV similar ao material produzido por processos convencionais de recozimento de esferoidização. Foi utilizado ainda nitrogênio como atmosfera de proteção para prevenir formação de casca de óxido no processo de têmpera e no recozimento de esferoidização. As amostras foram preparadas a partir de anéis forjados a quente após aquecimento da barra por processo indutivo. A caracterização do material nas várias etapas do processo foi feita utilizando microscopia ótica e ensaios de dureza HV. Resultados obtidos nos ciclos estudados mostram ser possível a obtenção de material totalmente esferoidizado com ciclo total de tratamento inferior a 200 minutos livre de oxidação superficial.

**Palavras-chave:** Ciclo curto; Esferoidização; Aço SAE 52100.

## REDUCTION OF TIME FOR ANNEALING CYCLE FOR SPHEROIDIZING OF SAE 52100 BEARING STEEL

### Abstract

In the present work, it was studied the behavior of hot forged rings made from SAE 52100 bearing steel submitted to an annealing heat treatment for carbide spheroidizing from a prior martensitic microstructure. Several samples were austenitized and quenched; then the samples were submitted to different cycles of annealing in order to promote the precipitation of spherical carbides. The main purpose was to obtain a ferrítica matrix with spheroidized carbides presenting a hardness around 200 HV. These features have the same metallurgical conditions that are obtained from the conventional spheroidizing annealing. Nitrogen basis atmosphere was still used to prevent superficial oxidation. The material characterization was carried out by means of optical microscopy and hardness tests. The results show that is possible to obtain a total spheroidized microstructure of carbides from an annealing cycle lower than 200 minutes, free from superficial oxidation.

**Key words:** Short cycle; Spheroidizing; SAE 52100 steel.

<sup>1</sup> Contribuição técnica apresentada na 61º Congresso Anual da ABM, de 24 a 27 de julho de 2006, Rio de Janeiro – RJ

<sup>2</sup> Técnico Metalúrgico, Schaeffler Brasil Ltda

<sup>3</sup> Técnico Metalúrgico, Schaeffler Brasil Ltda – Engenheirando em Eng. de Controle e Automação Universidade Paulista, Sócio da ABM

<sup>4</sup> M.Sc. Eng. Metalurgista, Schaeffler Brasil Ltda, Sócio da ABM

## 1 INTRODUÇÃO

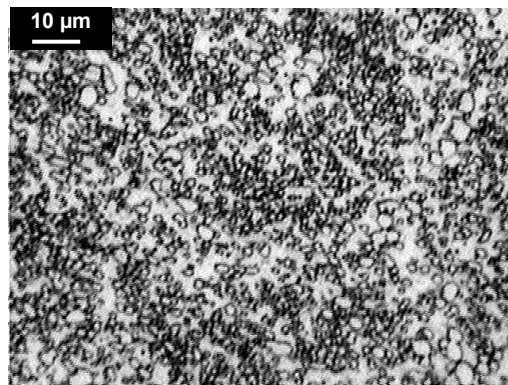
Os processos de recozimento para esferoidização do aço SAE 52100 são realizados industrialmente através de aquecimento e manutenção em temperatura por tempos que variam entre 15 e 30 horas aproximadamente.<sup>(1)</sup>

No processo tomado como referência para este estudo, a matéria prima em barra é fornecida no estado bruto de laminação, apresentando microestrutura perlítica com carbonetos proeutetoides em contorno de grão.

A barra é aquecida por indução até a temperatura ideal de forjamento (entre 950 e 1150 °C) em seguida é seccionada em “blanks” para conformação mecânica dos anéis sendo então resfriados ao ar até temperatura ambiente adquirindo microestrutura constituída de perlita lamelar e uma fina rede de cementita em contorno de grão.

A fim de promover um melhor rendimento na usinagem, bem como eliminar a presença de fase frágil em contorno de grão, representada pela rede de cementita pro eutetóide, o material forjado deve ser submetido a um processo de esferoidização que normalmente é executado em forno contínuo objetivando uma dureza próxima a 200 HV. Em seguida as peças são usinadas e posteriormente submetidas a tratamento térmico final (têmpera e revenimento ou austêmpera) onde finalmente adquirem o estado ideal para o processo final de retífica.

O processo de esferoidização na fabricação de anéis de rolamento constitui uma parcela importante do custo total do produto final. Isto se deve ao longo tempo de tratamento, além da necessidade de jateamento para remoção de carepas decorrentes do processo de conformação (forja) e até da própria etapa de esferoidização.



**Figura 1.** Material produzido por processo convencional de esferoidização apresentando dureza 196 a 210 HV 10

## 2 OBJETIVO

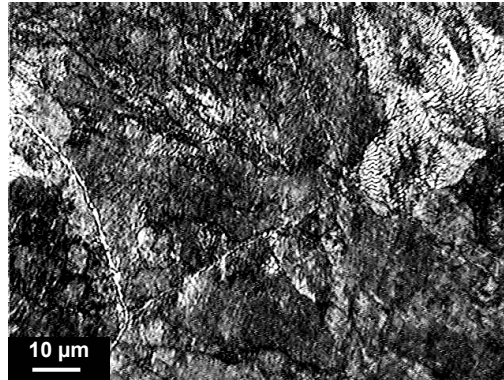
Este trabalho tem como objetivo principal apresentar uma proposta de redução do tempo do ciclo de esferoidização de anéis forjados de aço SAE 52100 através do uso de ciclos alternativos envolvendo uma operação de têmpera precedendo o recozimento de esferoidização.

Aliado a redução no tempo total do tratamento de esferoidização após forjamento, também é proposta a eliminação da operação de jateamento que precede a usinagem das peças forjadas através do uso de nitrogênio como atmosfera de proteção.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Matéria Prima

O material utilizado neste trabalho foi o aço SAE 52100 na forma de barra laminada com diâmetro de 55 mm, cuja composição química é apresentada na Tabela 1 e o aspecto metalográfico na Figura 2.

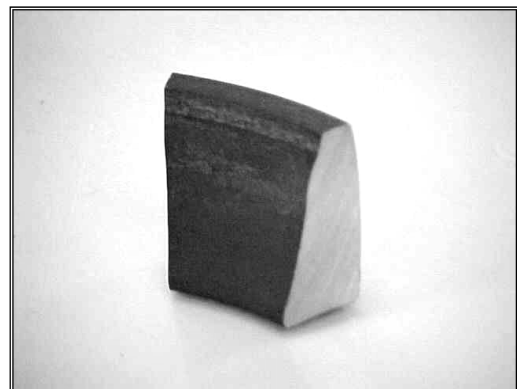


**Figura 2.** Microestrutura de partida perlítica com uma fina rede semicontinua de carbonetos.

**Tabela 1.** Composição química do núcleo material 52100

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	P	S	Cu	N	W	Ti
1,09	0,22	0,34	1,42	0,094	0,05	0,016	0,005	0,086	0,005	0,005	0,002

Os corpos-de-prova para tratamento térmico e posterior ensaios de dureza e metalografia foram obtidos a partir de anéis forjados a quente após aquecimento indutivo da barra laminada.



**Figura 3.** A - anel forjado; B – corpos de prova

#### 3.2 Ensaios Metalúrgicos

A análise metalográfica e os ensaios de dureza foram realizados numa secção do corpo de prova conforme Figura 3 (A) sendo executados 20 medições de dureza conforme DIN EN ISO 6507 varrendo toda superfície da amostra.

As amostras para análises metalográficas foram embutidas em baquelite, lixadas, polidas com pasta de diamante e analisadas por microscopia ótica após ataque químico com reativo de Nital 3%.

### 3.3 Tratamentos Térmicos

Inicialmente todas as amostras foram austenitizadas em forno de laboratório tipo mufla com atmosfera de nitrogênio e monitoramento da temperatura por termopar sendo posteriormente temperadas em óleo conforme ciclo mostrado na Figura 4.

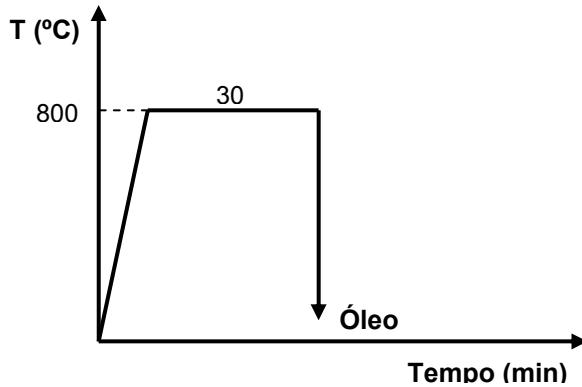
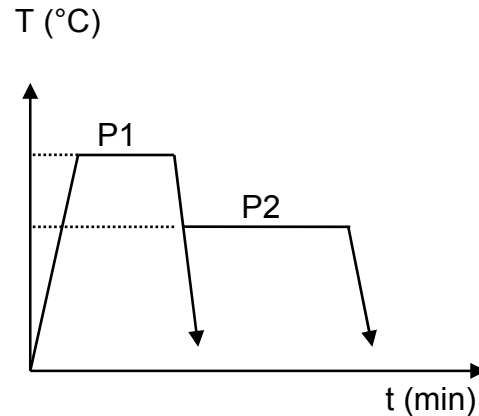


Figura 4. Esquema do ciclo de tempera prévia das amostras

Após tempera, as amostras foram submetidas a vários tratamentos de recozimento para precipitação de carbonetos esferoidizados conforme ciclos descritos na Tabela 2.

Tabela 2. Descrição dos ciclos utilizados

Ciclo	Patamar 1		Patamar 2	
	T (°C)	t (min)	T (°C)	t (min)
1	720	30	-----	-----
2	720	60	-----	-----
3	720	120	-----	-----
4	790	10	720	60
5	790	10	720	90
6	790	10	720	120
7	790	10	720	180



Observação - a velocidade de resfriamento da temperatura entre o patamar 1 patamar 2 foi de 30°C/min.

Na execução do ciclo 1 de recozimento das amostras martensíticas, foi ainda incluída uma amostra do material forjado no estado perlítico para avaliação comparativa do grau de esferoidização.

### 3.4 Avaliação do Acabamento Superficial do Material Produzido por Processo Convencional e pelo Processo em Estudo.

Para avaliar o aspecto superficial do material produzido por recozimento convencional ao ar, em comparação ao material produzido sob atmosfera de nitrogênio, foi feita análise metalográfica e ensaio de microdureza superficial em uma amostra de cada processo.

### 3.5 Avaliação da Descarbonetação do Material Forjado

A fim de se avaliar a descarbonetação superficial do material após forjamento foi feita análise metalográfica em toda seção da amostra. Também uma amostra foi posteriormente submetida à têmpera em atmosfera neutra para avaliação do perfil de dureza.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

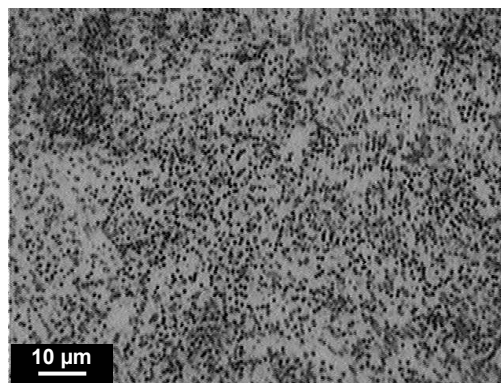
### 4.1 A Esferoidização do Aço SAE 52100

No processo convencional de esferoidização por recozimento, as lamelas de cementita da perlita e a rede de carbonetos proeutetóides fragmentam-se e com o tempo esferoidizam-se e coalescem.

No processo estudado, o mecanismo de esferoidização ocorre inicialmente por precipitação de carboneto da martensita, sendo que esta precipitação já se inicia em temperaturas inferiores a 200°C na forma de carbonetos  $\epsilon$ . Com o aumento da temperatura, entre 160 e 400°C inicia-se formação de cementita a partir dos carbonetos  $\epsilon$  além da decomposição de eventual austenita residual, sendo que para as temperaturas acima de 400°C até a temperatura A1 verifica-se principalmente crescimento e esferoidização da cementita.<sup>(2)</sup>

### 4.2 Têmpera para Obter Microestrutura Martensítica de Partida

Para as condições de têmpera utilizadas neste trabalho, foi verificada presença de carbonetos esferoidizados já após a têmpera do material (Figura 5), sendo que estes carbonetos são mais finos em relação aos carbonetos esferoidizados obtidos com processo convencional como os vistos na Figura 1.



**Figura 5.** Micrografia do material previamente perlítico e têmperado após leve ataque com reativo de nital para evidenciar a presença de carbonetos esferoidizados em matriz de martensita não revenida.

Provavelmente estes carbonetos são provenientes de esferoidização parcial da perlita no aquecimento para têmpera. Sua presença na microestrutura têmperada é uma indicação de que estes carbonetos já esferoidizaram no aquecimento e não entraram em solução na austenita, provavelmente em função da temperatura relativamente baixa de austenitização utilizada neste estudo.

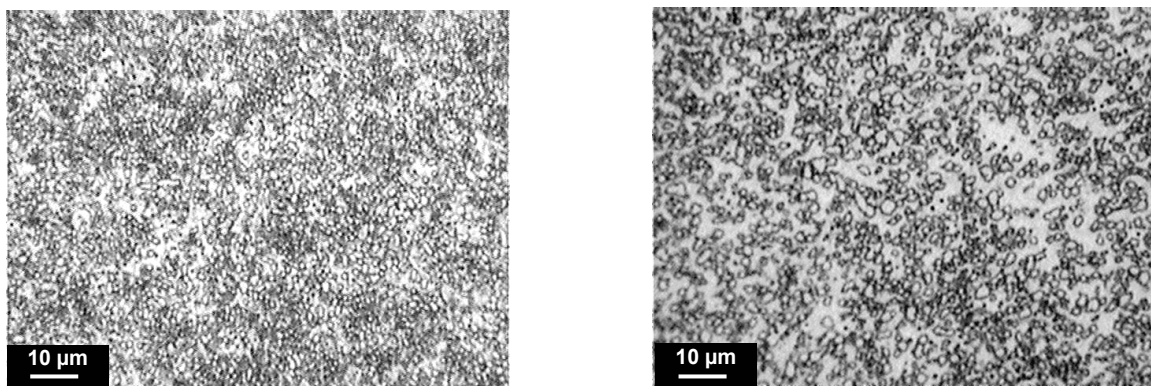
### 4.3 Resultado do Recozimento para Esferoidização das Amostras Martensíticas

Com os ciclos de recozimento descritos na Tabela 2, os seguintes resultados de dureza foram obtidos.

**Tabela 3.** Dureza obtida com os ciclos descritos na Tabela 2

Ciclo nº	01	02	03	04	05	06	07
Dureza HV	308-320	280-288	228-235	205-212	201-206	201-207	197-202

Para os ciclos estudados, verificou-se microestrutura constituída de carbonetos esferoidizados em matriz ferrítica. Esta definição para a microestrutura foi utilizada também por Vilella,<sup>(3)</sup> sendo que para os ciclos onde a dureza foi mais alta, ciclos 01 a 03 exemplificados na Figura 6A, nota-se um tamanho de carboneto menor quando comparado aos obtidos nos ciclos 4 a 7 exemplificados na Figura 6B, a partir dos quais a dureza mínima foi obtida. Observou-se ainda que o tamanho dos carbonetos dos ciclos 4 a 7 são morfologicamente semelhantes àqueles obtidos por processo convencional de recozimento mostrados na Figura 1.

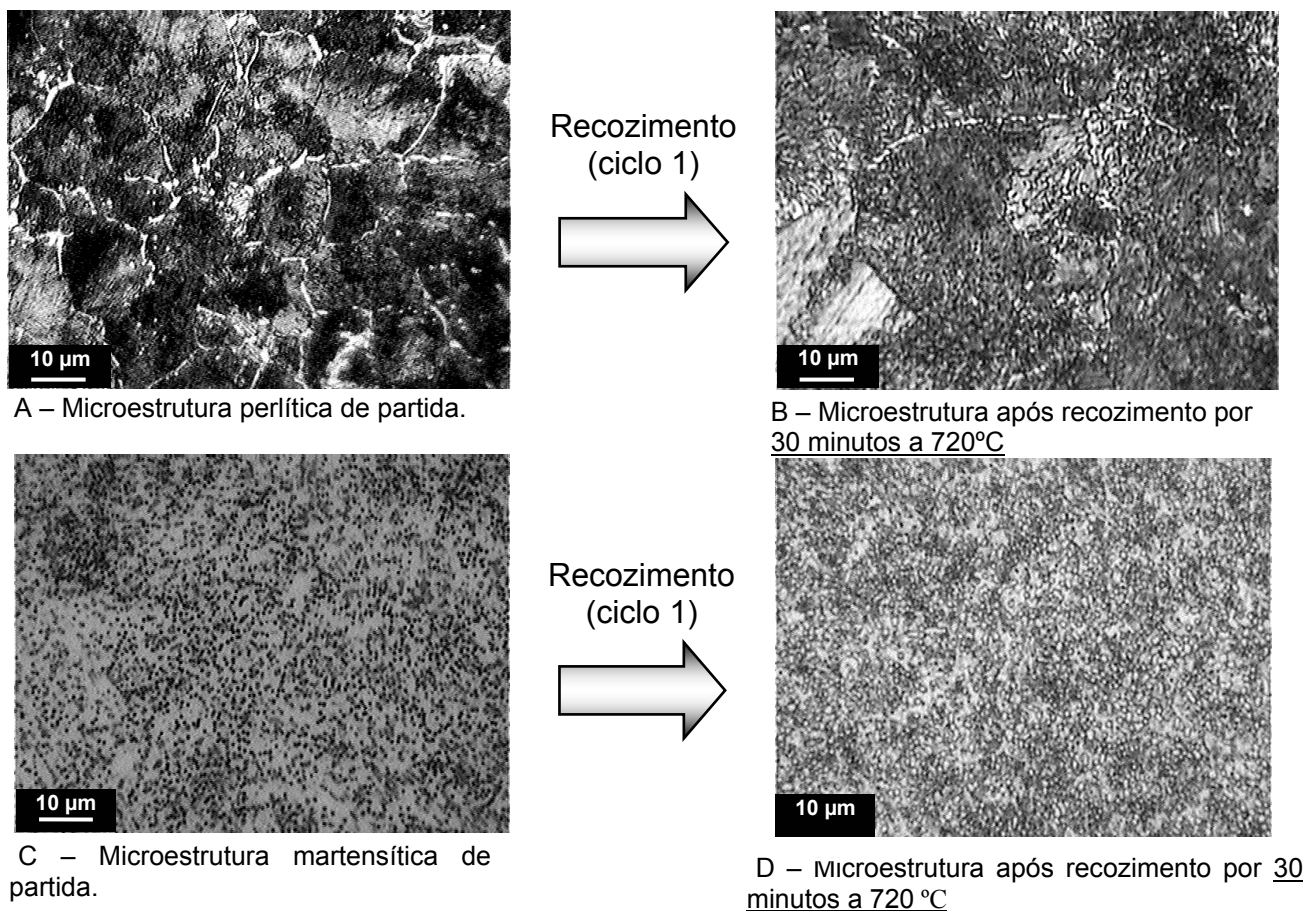


**Figura 6.** A (ciclo 1); B (ciclo 7)

Devido a martensita formar um grande número de pontos de nucleação<sup>(3)</sup> foi verificado que a esferoidização ocorre de maneira mais rápida quando comparado com microestrutura perlítica lamelar. Isto ficou evidente quando se submeteu uma amostra perlítica e uma martensítica a um mesmo ciclo de recozimento (ciclo 1).

Pode ser verificado na Figura 7 que ocorreu pouca alteração na microestrutura perlítica, por outro lado a microestrutura martensítica transformou-se totalmente num aglomerado de carbonetos esferoidizados em matriz ferrítica. Ainda segundo Vilella<sup>(3)</sup> um aço eutetóide perlítico exige em média 15 horas para esferoidização completa enquanto o mesmo aço martensítico requer apenas 2 horas.

O presente trabalho mostra que estas observações podem ser aplicadas para o aço SAE 52100 forjado.

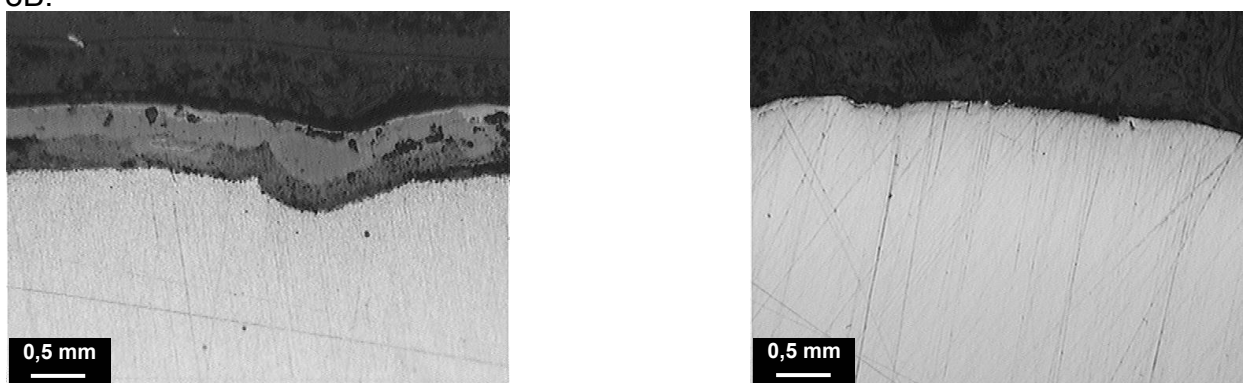


**Figura 7.** Comparação entre as micrografias obtidas no ciclo 1 de recozimento.

#### 4.4 Avaliação do Acabamento Superficial após Esferoidização

No processo convencional de esferoidização ocorre normalmente formação de uma camada de óxido de até 0,50 mm de espessura com dureza de 530 a 580 HV 0,05 (Figura 8A), Esta camada dura traz problemas para usinagem que exigem sua remoção por operação de jateamento.

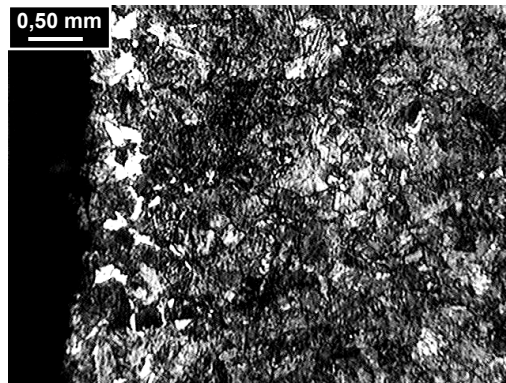
No processo estudado, foi utilizado nitrogênio como atmosfera protetora, e não ocorreu formação de camada de óxido como pode ser observado na Figura 8B.



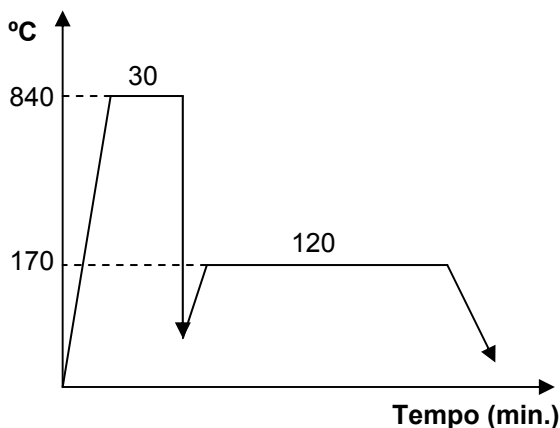
**Figura 8.** A Processo convencional B. Processo com nitrogênio

#### 4.5 Avaliação da Descarbonetação Superficial do Material Forjado Perlitico

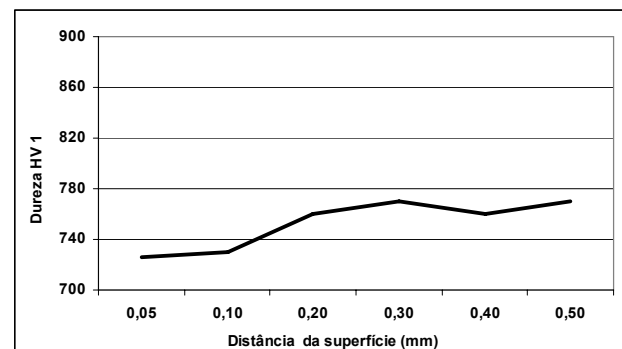
Para avaliação da descarbonetação do material forjado, além da análise metalográfica em toda secção da amostra, Figura 9A; foi feito ainda uma curva de dureza após têmpera neutra (Figura 9B) cujos resultados são mostrados na Figura 9C.



A: Microestrutura correspondente à região do diâmetro externo do anel forjado, onde a descarbonetação superficial devido ao processo de conformação foi mais acentuada (análise por espectroscopia indicou teor de carbono do núcleo 1,09% e na região descarbonetada 0,85).



B: Ciclo de tratamento empregado



C: Curva de dureza a partir da superfície descarbonetada

**Figura 9.** Caracterização da região descarbonetada das amostras

A ocorrência de trincas de têmpera em aço SAE 52100 apresentando descarbonetação é um problema comum em tratamento térmico devido à diferença entre as temperaturas de início de transformação martensítica ( $M_S$ ) do núcleo e superfície. Por esta razão uma avaliação criteriosa desta característica deve ser feita.



## **5 CONCLUSÃO**

Conforme resultados obtidos com os tratamentos dos ciclos 4 a 7, onde os valores de dureza e microestrutura foram equivalentes aos obtidos na esferoidização convencional de anéis forjados de SAE 52100, conclui-se que é possível reduzir o ciclo de tratamento de 15 para 3 horas partindo de uma microestrutura martensítica.

Também se torna possível a eliminação da operação de jateamento que precede a usinagem das peças esferoidizadas por meio da utilização de nitrogênio como atmosfera de proteção.

### **Agradecimentos**

Ao Grupo Schaeffler por possibilitar a realização deste trabalho.

### **REFERÊNCIAS**

- 1 Annealing of steel – ASM Handbook V.4- 1984.
- 2 K.E. Thelning – Full Annealing of High-Carbon Steel by Means of Isothermal Annealing 1996;
- 3 J. R. Vilella , in Principio da ciência dos materiais - Van Vlack -cap 11