

**Ivan Dias do Nascimento**

**ESTUDO PARA A MELHORIA DA  
DURABILIDADE DE FERRAMENTAS DO  
TIPO SOQUETE**

**Taubaté – SP**

**2005**

**Ivan Dias do Nascimento**

**ESTUDO PARA A MELHORIA DA  
DURABILIDADE DE FERRAMENTAS DO  
TIPO SOQUETE**

Dissertação apresentada para obtenção do Título de Mestre pelo Curso de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté,

Área de concentração: Materiais e Processos

Orientador: Prof. Dr. Marcos Valério Ribeiro

**Taubaté – SP**

**2005**

Ivan Dias do Nascimento

Estudo para a Melhoria da Durabilidade de Ferramentas do Tipo Soquete

Universidade de Taubaté, Taubaté, SP.

Data: \_\_\_\_\_

Resultado: \_\_\_\_\_

COMISSÃO JULGADORA

Prof. Dr.: \_\_\_\_\_ Instituição \_\_\_\_\_

Assinatura: \_\_\_\_\_

Prof. Dr.: \_\_\_\_\_ Instituição \_\_\_\_\_

Assinatura: \_\_\_\_\_

Prof. Dr.: \_\_\_\_\_ Instituição \_\_\_\_\_

Assinatura: \_\_\_\_\_

## **Dedicatória**

Dedico este trabalho a meu filho Marcelo e minha esposa Angela que são motivo de todo meu esforço.

Dedico também a minha mãe Maria Aparecida Andrade do Nascimento que sempre será um exemplo e sem Ela não conseguiria chegar onde estou.

## **Agradecimentos**

Agradeço a Deus por permitir que tudo acontecesse.

Agradeço á empresa T.Q. Ind. e Com. LTDA, e AJIL Ind. e Com. LTDA fabricante de soquetes, pelo apoio.

Agradeço ao Prof. Dr. Marcos Valério Ribeiro pela orientação e apoio sempre que foi necessário.

Agradeço ao Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Paula Rosifini Alves pelo apoio sempre que foi necessário.

## **Resumo**

Este estudo consiste em melhorar a durabilidade do soquete extriado de 3/8” tendo como modelo soquete importado de renome mundial, porém com um preço mais caro. O soquete nacional utilizava como especificação o aço SAE 4140 com dureza 41 – 45 HRC, (461 – 514 HB), com uma durabilidade de 5 dias úteis, (aproximadamente 2000 fixações), e em alguns casos havia ruptura do soquete no sentido longitudinal, ou seja, nos sentido das esfrias. A utilização deste soquete é para fixação de parafuso esfriado com solicitação mecânica é de fadiga sob torção. Através de pesquisa foi escolhido o material SAE 5160 recozido por apresentar alta resistência à fadiga, boa usinabilidade e encontrado no mercado com facilidade. Para pesquisa foi reproduzido soquetes com mesmas dimensões e introduzido um alívio de tensão pós usinagem, e aumento de resistência mecânica através de tratamento térmico, para isto foi feito estudo através da curva T.T.T. para análise e otimização do processo, para isto foi feito estudo metalográfico com objetivo inicial era aumentar a durabilidade de 5 dias para 20 dias de utilização (aproximadamente 8000 fixações).

**Palavras chaves:** tratamento térmico, ABNT 5160, usinagem, soquete.

## *SUMÁRIO*

|                         |    |
|-------------------------|----|
| Resumo                  | 05 |
| Abstract                | 06 |
| Lista de Figuras        | 08 |
| Lista de Quadros        | 10 |
| Lista de Símbolos       | 11 |
| 1 Introdução            | 12 |
| 2 Revisão da Literatura | 14 |
| 3 Proposição            | 28 |
| 4 Material e Método     | 29 |
| 5 Resultados            | 41 |
| 6 Discussão             | 51 |
| 7 Conclusões            | 53 |
| Referências             | 54 |

## LISTA DE FIGURAS

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Figura 1 -  | Soquetes fraturados no sentido longitudinal a partir do fundo da estria.  | 13 |
| Figura 2 -  | Alívio de tensões indicando temperaturas recomendadas para alívio de tensão Chiaverini, 1987.   | 19 |
| Figura 3 -  | Diagrama da curva T.T.T. aço SAE 5160 (ASM, 1977).  | 22 |
| Figura 4 -  | Gráfico de resfriamento curva A e B com constituintes prováveis (Felbeck, 1971).  | 24 |
| Figura 5 -  | Rede cfc com grãos deformados.  | 26 |
| Figura 6 -  | Formação de tensão residual através da usinagem conforme croqui esquemático acima simulando a deformação pelo cisalhamento dos grãos. | 27 |
| Figura 7 -  | Croqui do soquete utilizado.  | 29 |
| Figura 8 -  | Croqui representando a confecção das estrias do soquete.  | 31 |
| Figura 9 -  | Gráfico do processo de desenvolvimento do tratamento térmico.   | 32 |
| Figura 10 - | Equipamento para embutimento.   | 34 |
| Figura 11 - | Politriz utilizada para lixamento.  | 34 |
| Figura 12 - | Foto da politriz utilizada no polimento das amostras.   | 35 |
| Figura 13 - | Microdurômetro utilizado na medição de dureza em Rockwell e Vickers   | 36 |
| Figura 14 - | Microscópio utilizado para análise da estrutura do material, tirar fotos e gerar imagens.   | 36 |
| Figura 15 - | Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV).  | 37 |
| Figura 16 - | (a) Painel powerfocus 2000, (b) Apertadeira com cabo.   | 38 |



|  |    |
|--|----|
| Figura 17 - (a) Equipamento para aferição vista lateral com célula de carga, (b) Equipamento para aferição vista frontal com dispositivo de fixação. | 38 |
| Figura 18 - (a) Fixação do cardan (b) Cardan fixado.   | 39 |
| Figura 19 - Vista dos quatro parafusos de fixação do cardan.   | 39 |
| Figura 20 - Soquete estriado (a), ferramenta punção estriado (b), Parafuso cabeça estriada (c).  | 40 |
| Figura 21 - Micrografia da amostra antes do alívio de tensão.  | 41 |
| Figura 22 - Micrografia do interior do soquete no qual não foi realizado alívio de tensões.  | 42 |
| Figura 23 - Micrografia da borda interna do soquete (estria) no qual não foi realizado alívio de tensões.  | 42 |
| Figura 24 - Micrografia da amostra após do alívio de tensão.   | 43 |
| Figura 25 - Micrografia da amostra temperada sem revenimento.  | 44 |
| Figura 26 - Micrografia da borda externa do soquete temperado, sem revenimento.  | 44 |
| Figura 27 - Micrografia do interior do soquete, temperado ainda sem revenido .   | 45 |
| Figura 28 - Micrografia da amostra temperada e revenida.   | 45 |
| Figura 29 - Micrografia da borda externa do soquete temperado e revenido.  | 46 |
| Figura 30 - Micrografia do interior do soquete, temperado e revenido.  | 46 |
| Figura 31 - Soquete embutido para a medição de microdureza e seus resultados.  | 47 |
| Figura 32 - Gráfico demonstrando o acompanhamento dos testes com o soquete.  | 47 |
| Figura 33 - Mapeamento de dureza do soquete com os devidos revenimentos.   | 48 |
| Figura 34 - Gráfico do processo de tratamento térmico, após a estudo apresentando redução de tempos.   | 48 |
| Figura 35 - Soquete articulado 19 mm.  | 50 |

## LISTA DE QUADROS

|  |    |
|--|----|
| Quadro 1 - Composição do ABNT 5160.  | 29 |
| Quadro 2 - Procedimento para desenvolvimento dos corpos de prova.  | 33 |
| Quadro 3 - Resultados Econômicos do soquete estriado em estudo.  | 49 |
| Quadro 4 - Resultados Econômicos do soquete estriado 3/8'' importado e o soquete em estudo.                                  | 49 |
| Quadro 5 - Ganho anual do soquete articulado sextavado 19mm.   | 50 |
| Quadro 6 - Resultados Econômicos do soquete articulado com opção de troca somente da bucha do soquete e pino de articulação. | 50 |

## Lista de Símbolos

|                    |                            |
|--------------------|----------------------------|
| $\gamma$           | Austenita                  |
| $\rho$             | Densidade de discordâncias |
| $b$                | Vetor de Burgers           |
| $^{\circ}\text{F}$ | Graus Fahrenheit           |
| $^{\circ}\text{C}$ | Graus Celsius              |
| CV                 | Cavalo-vapor               |
| HRC                | Dureza Rockwel C           |
| HB                 | Dureza Brinell             |
| HV                 | Dureza Vickers             |
| N.m                | Newton Metros              |
| ton                | Toneladas                  |

## 1. Introdução

Na montagem de um veículo um dos elementos auxiliares de fixação mais utilizados são os parafusos. Alguns deles possuem sua parte externa cabeça estriada em particular para a fixação do eixo cardan, em função do pouco espaço disponível na montagem.

A fixação é considerada crítica para todas as empresas automobilísticas, devido ao grau de responsabilidade do conjunto em relação à segurança do veículo, e de seus ocupantes. Uma falha nesta fixação pode ocasionar a queda do cardan, impulsionando o veículo para frente, elevando a uma possível destruição do veículo com perda de vidas humanas.

Apesar da durabilidade do soquete nacional ser muito baixa, um outro fator a ser levado em consideração é que em virtude do soquete importado ter um tempo de espera entre o pedido e a chegada de 60 dias, isto implica em se ter um estoque maior, aumentando o custo.

Com o intuito de resolver o problema de durabilidade dos soquetes, foram pesquisadas várias séries de aços com relação aos esforços envolvidos na fixação (com características de esforços repetitivos), entre os aços os que mais se destacaram foram os aços cromo (série 5XXX).

Através de pesquisa foi escolhido o material ABNT 5160 recozido por apresentar alta resistência a esforços repetitivos, boa usinabilidade e grande disponibilidade no mercado. Para a pesquisa foram reproduzidos soquetes com mesmas dimensões e introduzido um tratamento de alívio de tensões após usinagem, e o aumento da resistência mecânica foi obtido através de tratamento térmico de têmpera, que teve suas condições de aplicação variadas para se observar os efeitos produzidos no soquete. A têmpera foi seguida de um duplo revenimento. Para a análise e otimização do processo, foi feito além do acompanhamento em chão de fábrica do desempenho dos soquetes testados, um estudo metalográfico da melhor condição. O objetivo inicial era aumentar a durabilidade do soquete de 5 para 20 dias de utilização (aproximadamente 8000 fixações), chegando a obter até uma vida de 40 dias.

Esse estudo foi feito em um parafuso de 3/8" utilizado em veículos da classe de 17 ton e até a potência 210 CV, é indicado somente parafuso de cabeça estriada com diâmetro de 3/8", pelo menor espaço ocupado em relação a um parafuso de cabeça sextavada de mesmo diâmetro. A durabilidade do soquete nacional no passado, normalmente era muito pequena em chão de fábrica, pois o mesmo se desgastava muito rapidamente na região estriada.

No período de 1997 até 1998 o valor do dólar em relação ao real era muito próximo, assim sendo a relação custo/benefício era favorável à utilização de soquete importado de uma marca de renome mundial. A partir de 1998, porém, houve uma desvalorização do real perante o dólar, assim a aquisição do soquete importado tornou-se inviável, obrigando a empresa a buscar alternativas.

O material utilizado no soquete nacional era ABNT 4140 com especificação de dureza de 41 a 45 HRc. Nesta época além da baixa durabilidade observou-se em alguns soquetes a ocorrência de fratura no sentido longitudinal iniciando no fundo da estria (Figura 1).



Figura 1 - Soquetes fraturados no sentido longitudinal a partir do fundo da estria.

## 2. Revisão da Literatura

### 2.1 – Aços-cromo

Um aço-liga é um aço com suficientes elementos químicos adicionados a ele para modificar as propriedades de um aço-carbono simples (Souza, 1989). A quantidade do elemento de liga adicionado pode variar enormemente; de adições muito baixas ( $10^{-3}$  a  $10^{-1}$  %) a adições muito altas (por exemplo, 20 % ou mais). Os elementos químicos mais utilizados, além do carbono, como elementos de liga são: cromo, níquel, molibdênio, tungstênio, manganês, silício e cobre. Existem outros elementos que são incorporados mesmo em pequenos teores para melhorar ainda mais a qualidade do aço, como o vanádio, nióbio, boro e titânio. Existem também elementos que são adicionados em alguns poucos tipos de aço, como o cobalto, por exemplo.

O cromo aumenta a temperabilidade, a resistência mecânica e a resistência à corrosão. Esses aços têm a desvantagem de sofrer fragilidade ao revenido e deve-se, pois tomar precauções no resfriamento, ou seja, resfriar o aço rapidamente após o revenimento quando passar pela região de temperaturas ao redor de 540 °C (Coutinho, 1992).

O cromo afina o grão do aço, diminui a velocidade crítica de resfriamento e aumenta, portanto, a penetração da têmpera. O cromo também estimula a formação de carbeto e por isso aumenta consideravelmente a resistência, a dureza e o limite de escoamento do aço, do que resulta uma grande resistência ao desgaste e alta capacidade de corte.

Ainda segundo Coutinho (1992), os aços com carbono bem baixo são bons para cementação e ficam com uma superfície muito dura e resistentes à abrasão, porém sem grande tenacidade. Já os aços com carbono mais alto são utilizados para molas, engrenagens, parafusos e porcas, etc.

O silício pode ser adicionado aos aços-cromo para melhorar a resistência à oxidação em alta temperatura. O titânio é estabilizador do carbono na forma de carbeto de titânio e com isso, evita o endurecimento durante o resfriamento ao ar (Souza 1989).

O cromo melhora as qualidades magnéticas do aço e por isso os aços ao cromo são recomendados para fabricação de ímãs permanentes (até 4 % de Cr).

Os aços com teor mais elevado de cromo devem ser mantidos muito tempo na temperatura de têmpera, para que todos os carbeto de cromo se dissolvam antes do resfriamento.

O aço ABNT 5160, material objeto de nosso estudo tem na sua composição os seguintes elementos, os quais influenciam em algumas propriedades (Souza, 1989):

**1. Carbono (C):** é o principal composto a aumentar a resistência mecânica por meio de tratamento térmico elevando a temperatura de transição dúctil - frágil, diminuindo a tenacidade e auxilia na resistência a corrosão.

**2. Manganês (Mn):** tem a propriedade de abaixar a temperatura dúctil – frágil, aumentando a tenacidade auxilia, o qual compensa a diminuição de tenacidade causada pelo carbono, quando dissolvido na ferrita aumenta bastante sua dureza e resistência mecânica, reduzindo bem pouco a ductilidade. Quando o manganês esta dissolvido na austenita, ele estabiliza, aumentando a temperabilidade moderadamente. O manganês tem tendência pouco maior que o ferro a formar carbeto e, por isso tem pouca ação no revenimento do aço após têmpera nas porcentagens em que geralmente aparece nos aços de baixa resistência (até 1% nos aços tratados termicamente). A função principal do manganês é combinar-se com enxofre, formando o sulfeto de manganês (MnS), impedindo que forme o sulfeto de ferro (FeS), que fragiliza o aço, principalmente a temperaturas mais altas. O sulfeto de manganês não contribui para a fragilização, assim o metal pode ser trabalhado a quente, sem problemas. Os teores de manganês sempre encontrado nos aços, (0,5% Mn), já são suficientes para esta finalidade. O manganês não é utilizado para desoxidar o aço existem outros elementos mais eficazes para este fim. O manganês em teores mais altos tem também a capacidade de refinar o grão da perlita nos aços baixo carbono pela diminuição da temperatura de transformação da austenita aumentando a tenacidade do aço carbono. Em torno entre 1 e 1,35 % o manganês confere boas propriedades ao impacto, fazendo a temperatura de transição dúctil-frágil do aço diminuir, podendo assim o material ser empregado em temperaturas mais baixas. Finalmente o manganês contribui para o aumento da resistência a corrosão atmosférica e em ácidos, embora não seja adicionado para esta finalidade, pois este aumento não é grande.

**3. Cromo (Cr):** é um elemento que forma carbeto estáveis e muito duros nos aços, tendo maior tendência à formação de carbeto que o manganês. O cromo adicionado nos aços de baixa e alta resistência em teores que variam de cerca de 1% - 1,1% Cr.

Com porcentagem de carbono baixa, os aços contendo cromo são dúcteis, porém, com o aumento do teor de carbono eles se tornam muito duros devido à presença de excesso de carbeto de cromo duro. A ductilidade dos aços de baixo carbono é acompanhada de boa tenacidade, mesmo em temperaturas subzero. Entretanto a influência do cromo no aumento da resistência da ferrita é pequena. Os carbetos de cromo, sendo muito duros, conferem aos aços grande resistência ao desgaste e grande capacidade de corte. Esses carbetos de cromo são de difícil dissolução na austenita. O principal efeito do cromo é o de aumentar a resistência à corrosão e a oxidação, esta resistência resulta da presença da presença de um filme fino de óxido ou hidreto na superfície do metal, que estabilizado pelo cromo, protege o metal.

**4. Silício:** promove a grafitização, porém esse efeito só é significativo quando em teores mais altos. Portanto, ele tende a decompor a cementita ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) em carbono livre. Tendo a propriedade de grafitizar, ele faz baixar a solubilidade do carbono no ferro, ficando rejeitado como grafita, o que é indesejável à resistência mecânica e a ductilidade do aço. Dessa maneira, os aços ao silício devem conter um teor bem baixo de carbono para evitar a formação de grafita (abaixo de 0,1% C). Nos teores usados para desoxidar o aço, o silício contribui para aumentar a tenacidade; assim, os aços desoxidados (também chamados acalmados) são mais tenazes e dúcteis que os demais (Telles, 1989).

## 2.2 – Tratamentos Térmicos

O aquecimento e o resfriamento, ou mais exatamente, a temperatura de aquecimento, a permanência neste estado, a velocidade e o meio de resfriamento, alteram a microestrutura dos aços modificando as suas características mecânicas (Chiaverini 1987).

A alteração da estrutura dos aços, por meios térmicos, a fim de melhorar suas qualidades é denominada **tratamento térmico**, o qual comporta três fases: aquecimento, permanência numa dada temperatura e resfriamento.

Quando estas operações são conjugadas a etapas de conformação mecânica, são chamadas de *tratamentos termomecânicos*. Aços e ligas especiais são submetidos a diversos tratamentos termomecânicos, com vistas à otimização de suas propriedades. Enquanto alguns tipos de tratamentos se aplicam à ampla gama de aços e ligas, outros têm sua aplicação restrita a determinadas famílias de aços ou ligas.



Os tratamentos térmicos dos aços e ligas especiais englobam uma das mais amplas faixas de temperaturas dentre os processos industriais, variando desde o tratamento subzero (temperaturas abaixo de 0°C) para estabilização, até a austenitização de aços rápidos, a 1280 °C. Além disso, diversas taxas de resfriamento são empregadas, visando permitir a obtenção da exata estrutura desejada.

### 2.2.1 – Tipos de Recozimento

O tratamento térmico conhecido por recozimento pleno é usado com frequência em aços com baixos e médios teores de carbono, que serão submetidos à usinagem ou que poderão apresentar uma deformação plástica a frio durante uma operação de conformação.

Para a realização do tratamento, a liga é austenitizada (transformada em austenita) pelo aquecimento até 15 a 40 °C (40 a 70 °F) acima da linha  $A_3$  ou  $A_1$  (Figura 2) até que seja atingida uma condição de equilíbrio. A liga é resfriada no próprio forno, isto é, depois de desligado o forno a amostra permanece dentro do mesmo até que seja atingida a temperatura ambiente, ou seja, é um processo que normalmente demanda muito tempo.

A estrutura resultante deste tratamento é uma perlita grosseira (além de uma outra fase pré-eutetóide), relativamente mole e dúctil, entretanto com uma microestrutura de grãos pequenos e uma estrutura granular uniforme.

O **recozimento intermediário** consiste de um tratamento térmico usado para anular os efeitos da deformação plástica a frio, isto é, para amolecer e aumentar a ductilidade de um metal que tenha sido previamente submetido a um processo de encruamento.

Ele é utilizado durante alguns procedimentos de fabricação que exigem uma extensa deformação sem haver ocorrência de fratura ou excessivo consumo de energia. É permitida a ocorrência de processos de recuperação e de recristalização. Normalmente deseja-se obter uma microestrutura com grãos finos, portanto, o tratamento térmico é encerrado antes que se tenha um crescimento de grão apreciável.

A oxidação da superfície pode ser prevenida ou minimizada mediante um processo de recozimento a uma temperatura relativamente baixa, (porém acima da temperatura de recristalização), ou em uma atmosfera inerte. O resfriamento pode ser feito em caixa com areia, cal virgem, etc., para reduzir o tempo de troca térmica.

Se a peça estiver em sua condição final e o forno for a ar, possivelmente ocorrerá uma descarbonetação superficial tanto no recozimento pleno como no recozimento intermediário o que impossibilita este tratamento. Isto poderia ser resolvido se o tratamento for feito em forno a vácuo ou de atmosfera controlada o que encarece o produto, além de ser difícil a disponibilidade desse tipo de forno em tamanho pequeno o que também encareceria o tratamento da carga.

**Recozimento subcrítico** (ou alívio de tensões) para aços que contém médio e alto teor de carbono e que possuem uma microestrutura composta por perlita, esses aços podem ser tratados termicamente (acima de 0,35 % C), ou recozido de forma subcrítica apresentando a seguir boa ductilidade, e podem ser facilmente usinados ou deformados.

O tratamento de recozimento subcrítico consiste em aquecer o aço até uma temperatura eutetóide abaixo da linha  $A_1$ , ou até aproximadamente 700 °C (1300 °F), conforme Callister Jr. (2000).

Conforme indicação do Handbook da ASM (1994), é recomendada uma temperatura para tratamento de recozimento para o aço SAE (ABNT) 5160 de 815 a 870 °C (1500 a 1600 °F), com objetivo de se obter ductilidade para usinagem e trabalhos a frio, e resfriamento no próprio forno (recozimento pleno), ou resfriamento em areia, cinza e cal, (recozimento intermediário), o qual diminui custo, porém promovendo um resultado diferente, sendo mais homogêneo ou menos homogêneo.

### **2.2.2 - Tensão residual**

As tensões originadas nos processos mecânicos a frio, tratamentos térmicos das ligas e também em usinagens pesadas, podem levar a sérios defeitos, tais como empenamento e fissuração, que levam ao descarte de peças. Na operação de tratamento térmico as tensões residuais podem aparecer no resfriamento, principalmente em peças de grandes secções após a austenitização, porque mesmo no resfriamento ao ar a superfície de uma seção de grandes dimensões, pode transformar-se em ferrita e cementita muito antes do que sua região central.

Quando a região central começa a se transformar; a expansão volumétrica que ocorre devido à formação da ferrita fica reprimida pela superfície mais fria, já transformada, resultando assim uma peça com centro sob compressão e a superfície sob tração. A mesma situação ocorre na transformação da martensita no resfriamento

mais severo com conseqüências mais drásticas em relação às tensões de menores dimensões e, sobretudo quando as peças são de formas complexas.

No caso de tratamento que leva à formação de martensita na têmpera, as tensões residuais são eliminadas com a operação de revenimento. No caso da usinagem, principalmente quando são necessárias grandes forças de corte, as quais podem promover microdeformações a frio, que podem vir a gerar tensões, que se não forem removidas terão grande influência na vida da peça em fadiga.

Do mesmo modo que o trabalho a frio, as operações de soldagem constituem outra fonte de tensões, porque à medida que a região soldada central contrai, após a fusão, essa contração fica reprimida pela região adjacente à solda. Para eliminar essas tensões residuais; realiza-se o tratamento de “alívio de tensões”.

Como as temperaturas empregadas se situam abaixo da zona crítica (figura 8) não se verificam mudanças estruturais no aço, nem modificações nas suas propriedades mecânicas. Tanto o aquecimento como no resfriamento na operação de alívio de tensões devem ser levados a efeito lentamente, sobretudo em peças de grandes secções ou grandes conjuntos soldados, para impedir que novas tensões residuais de natureza térmica sejam originadas. Importante mencionar que os alívios de tensões são feitos abaixo da linha  $A_1$  ( $727\text{ }^\circ\text{C}$ ), portanto não há o perigo de ocorrer decarbonetação (Chiaverini 1987).

Segundo Van Vlack (1984) a recomendação é para uma temperatura de aproximadamente  $600\text{ }^\circ\text{C}$  para alívio de tensão, com tempo necessário para garantir que o centro da massa da peça atinja a mesma temperatura.

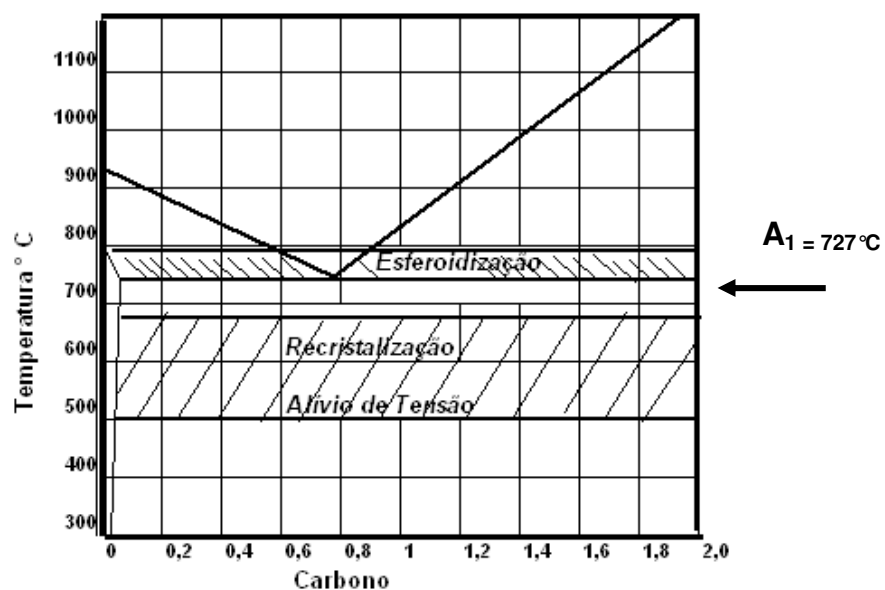


Figura 2 - Alívio de tensões indicando temperaturas recomendadas para alívio de tensão Chiaverini, 1987.

Atualmente o método mais utilizado na determinação da tensão residual é a difração de raios-X, conforme Guimarães e Imakuma (1990). Estas tensões são normalmente introduzidas nos metais e outros materiais através de processos que resultam em deformações não uniformes e permanentes na forma ou volume, estes processos podem ser:

- Mecânicos: laminação, trefilação, extrusão, usinagem, etc.;
- Térmicos: fundição, soldagens, tratamentos térmicos;
- Químicos como oxidação e/ou corrosão.

Os efeitos das tensões nos materiais são na maioria dos casos, danosos uma vez que podem causar deformações, acelerar transformações de fase, processos de corrosão e ainda aumentar o atrito interno.

As tensões residuais também provocam fraturas, principalmente na operações onde pequenas deformações estão envolvidas. Esses tipos de fraturas incluem fadiga, corrosão sob tensão e fendas por fragilização.

### **2.2.3 – Pré-Aquecimento**

Alguns tipos de aços exigem temperaturas de austenitização elevadas, nestes casos. Para os aços ligados para ferramentas e matrizes há a necessidade de que seu aquecimento seja realizado em mais de uma etapa, fazendo com que sejam diminuídos os riscos de choque térmico, além de diminuir a tendência de acentuado crescimento de grão.

No aquecimento dos aços para ferramentas para têmpera algumas precauções devem ser tomadas.

- Para conseguir-se endurecimento total deve haver suficiente solução de carbonetos; contudo uma dissolução excessiva de carbonetos pode resultar em maiores quantidades de austenita residual;
- Para garantir-se suficiente tenacidade, é necessário manter tamanho de grão num mínimo, dentro da possibilidade prática de aquecimento;
- É necessário controle rigoroso das reações superficiais durante o aquecimento, sobretudo descarbonetação, porque se houver descarbonetação a região superficial do aço não endurecerá suficientemente.

A transformação dessa zona pode ocorrer a uma temperatura mais elevada que no centro do aço, e a consequência, além das tensões normais, surgem durante o resfriamento da têmpera, outras tensões, às vezes mais elevadas aparecem, podendo resultar em fissuração do aço. Os meios para se controlar essas reações superficiais consistem na utilização de fornos de atmosfera controlada ou a vácuo (os quais encarecem o tratamento térmico), e o forno de banho de sal neutro, mais facilmente encontrado no mercado.

Vale a pena salientar que esses tipos de tratamentos térmicos são indicados para peças acabadas, além disso, deve-se tomar cuidado com a severidade do resfriamento, ou seja, não fazer resfriamentos bruscos, que podem trazer deformações às peças; por outro lado para peças não acabadas podem ser utilizados fornos em que ocorre descarbonetação, tendo somente o cuidado de deixar sobremetal suficiente para remoção da parte descarbonetada. Exemplo: Forno FCA (forno ventilado a ar tipo mufla).

Para os tratamentos térmicos que utilizam banho de sal se trabalha numa faixa de temperatura de 540 a 940 °C. Os banhos de contendo cloreto são geralmente os preferidos; um detalhe que deve ser levado em conta é que, embora as misturas de cloretos sejam inertes em relação ao aço, elas gradualmente se oxidam, formando dioxicloreto e, logo a seguir óxidos de carbonetos que tendem a descarbonetar o aço. Para evitar esta tendência, adiciona-se uma substância *retificadora* ao banho, tais como ácido bórico, boreto de sódio (bórax), que se transformam em óxidos, carbonatos e metaboratos estáveis facilmente removíveis.

#### 2.2.4 - Tratamento de Têmpera

Para tratamento térmico de têmpera o Handbook da ASM (1994), recomenda temperaturas entre 800 a 845 °C (1475 a 1550 °F), com objetivo de se obter martensita, ou seja, a célula unitária do material em seu estado normal é CCC, (Cúbica de Corpo Centrado), passando pela linha A<sub>1</sub>, (727 °C) na fase austenítica passa para CFC (Cúbica de Face Centrada), após o resfriamento a estrutura da célula unitária passa a ser TCC, (Tetragonal de Corpo Centrado).

Os diagramas (TTT) de Transformação–Tempo–Temperatura para os aços-cromo, foram realizados pela primeira vez por Devenport e Bain (ASM 1977), e estas pesquisas possibilitaram igualmente explicar mais cientificamente os fenômenos que levam à formação dos constituintes que se originam na têmpera destes aços.

#### Aço Cromo

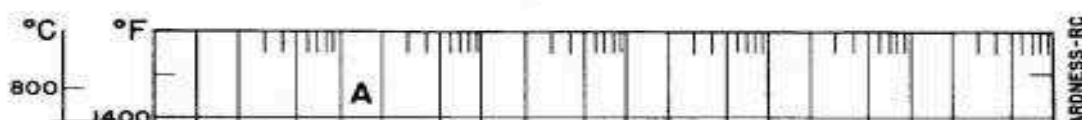


Figura 3- Diagrama da curva T.T.T. aço SAE 5160 (ASM, 1977).

Os resfriamentos em banho de sal mais comuns são constituídos de 50% a 60% de nitrato de potássio, 37% a 50% de nitrato de sódio e 0% a 10% de nitrato de sódio. Esses sais se fundem a 130°C e podem ser utilizados na faixa de temperatura de 163 a 538 °C. Em comparação com os óleos, os sais apresentam as seguintes vantagens:

- Maior faixa de temperatura de operação;
- Pequena mudança de viscosidade numa larga faixa de temperatura;

- Estabilidade química, de modo de modo que o banho não precisa ser renovado, e somente compensar as perdas;
- Maior facilidade de lavagem das peças após resfriamento;
- Uniformização da temperatura é mais rápida quando as peças são mergulhadas no sal.

Para este desenvolvimento foi feita a opção do uso de sal fundido, pois podemos utilizar temperaturas mais altas, e como os soquetes estão acabados evitam-se distorções geométricas devido à diminuição do intervalo entre a temperatura de austenitização e a temperatura de resfriamento diminuindo também as tensões internas com a diminuição do choque térmico, sendo que esta temperatura está abaixo da temperatura da martensita inferior fazendo assim que a austenita se transforme em martensita (Chiaverini 1987).

De acordo com Felbeck (1971) vale salientar que entre as curvas A e B da figura 9, teremos quatro fases presentes austenita, ferrita, e cementita (carbeto de ferro) juntas na forma de perlita e martensita.

A microestrutura final após têmpera, portanto, depende, sobretudo de dois fatores:

- 1) A velocidade em que a austenita se transforma em perlita, este fator que é uma importante propriedade do aço e que pode ser medido pelas velocidades limites de resfriamento A e B que se estendem desde a faixa de velocidade de resfriamento em que se formam, respectivamente.
- 2) A velocidade efetiva com que um dado grão de aço é resfriado. O primeiro fator acima é exatamente outra forma de descrever a temperabilidade, pois se a transformação  $\gamma = P$  for deslocada para direita, assim a velocidade de resfriamento B também será deslocada para direita (figura 12), a velocidade mínima de resfriamento é mais fácil de ser conseguida, de modo que tal aço tem uma temperabilidade maior. As peças que têm algumas polegadas de espessura, por exemplo, podem ser transformadas em martensita somente se for usado um aço de elevada temperabilidade.





pois esse tipo de falha ocorre normalmente após um longo período de tensão repetitiva ou ciclo de deformação. A fadiga é importante no sentido de que é a maior causa individual de falhas em metais, sendo que ela se relaciona a aproximadamente 90 % de todas as falhas em metais.

A falha por fadiga é de natureza frágil, mesmo nos materiais dúcteis, no sentido de que existe muito pouca, ou nenhuma deformação plástica generalizada associada com falha. O processo ocorre pela iniciação e propagação de trincas, e em geral a superfície da fratura é perpendicular à direção de uma tensão aplicada à iniciação e propagação de trincas.

O processo de falha por fadiga é caracterizado por três etapas distintas (Callister Jr. 2000):

- 1- Iniciação da trinca, onde uma pequena trinca se forma em algum ponto de alta concentração de tensão;
- 2- Propagação da trinca, durante a qual essa trinca avança em incrementos a cada ciclo de tensão;
- 3- Fratura final, que ocorre muito rapidamente uma vez que a trinca que está avançando tenha atingido seu tamanho crítico.

O Handbook da ASM (1994) ressalta os aços resistentes à fadiga (por definição são aços favoráveis a sofrer esforços repetitivos tendo uma boa durabilidade). A deformação no aço e a fratura superficial mostram aparências e características diferentes nos materiais que sofrem carregamento dependendo da composição química e das propriedades mecânicas na microestrutura e na macroestrutura. A resistência à fadiga tem sido bastante estudada, pois influencia na seleção de aços que devem reunir requisitos específicos, tais estudos tem mostrado que a resistência à fadiga é proporcional à tensão, porém esta generalização não está assegurada, e em muitas circunstâncias não é verdadeira e nem abrangente. Esta resistência depende do processo de fabricação, técnicas de tratamento térmico, acabamento superficial e ambiente de utilização do material.

Wang *et al.* (1995), fizeram ensaios do efeito da pré - tensão no número de ciclos e comportamento em molas de alta resistência fabricada com aço SAE 5160. A conclusão foi que no ciclo de compressão foram detectados deslizamentos (deformação superficial), somente quando o efeito Bauschinger foi introduzido na pré-tensão, alta o suficiente para compensar o correspondente à tensão de deslizamento. O efeito Bauschinger é a diminuição do módulo de elasticidade quando se inverte o sentido de esforço de compressão ou tração aplicado, superando a região elástica.

Mukhopadhyay, *et al* (1997), concluíram que a falha em fadiga prematura de uma mola, ocorreu devido a um processo impróprio de tratamento térmico para o aço cromo SAE 5160, onde uma das soluções foi a indicação de um resfriamento menos severo, o qual propiciará a transformação total da austenita em martensita para obtermos estrutura TCC, (Tetragonal de corpo centrado), com uma tensão residual que não comprometa a resistência à fadiga.

## 2.4 - Deformação pela usinagem formando tensão residual

Conforme Subbarao *et al* (1973) e Reed Hill (1973), a maclação mecânica pode ocorrer nos metais ccc e em poucos metais cfc, particularmente a baixas temperaturas em casos que a tensão de cisalhamento requerida por processo de escorregamento é muito alta. Como no escorregamento, a maclação consiste de cisalhamento sobre um plano definido em uma direção definida. De modo diferente do escorregamento, entretanto os movimentos de escorregamentos são só uma pequena fração do espaçamento interatômico e o escorregamento é distribuído uniformemente em um volume, ao invés de ser localizado sobre um número discreto de planos. O processo de maclação em uma rede cfc está ilustrado abaixo na figura 6.

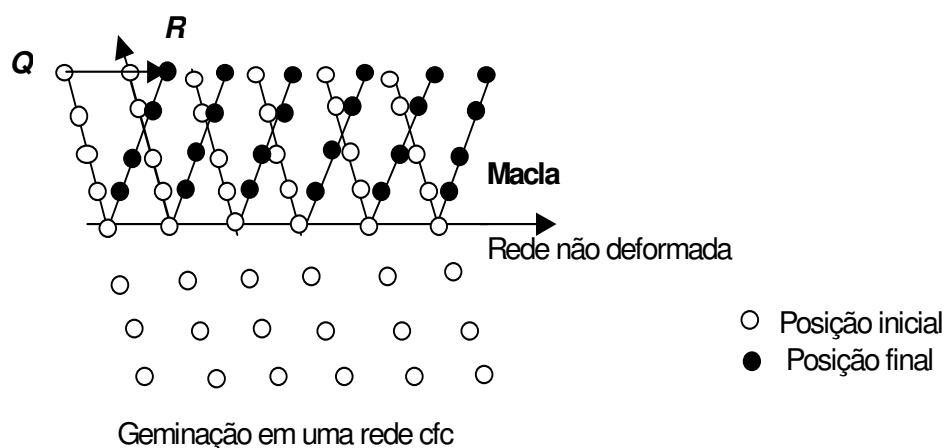


Figura 5 – Rede cfc com grãos deformados.

Sob a ação da tensão de cisalhamento, átomos de um lado do plano da macla se moveram para que a rede tivesse uma imagem especular com relação ao plano médio. Como no escorregamento, a maclação é suposta ocorrer por um mecanismo de discordâncias, mas as discordâncias que causam a maclação são parciais e não perfeitas (Figura 6).

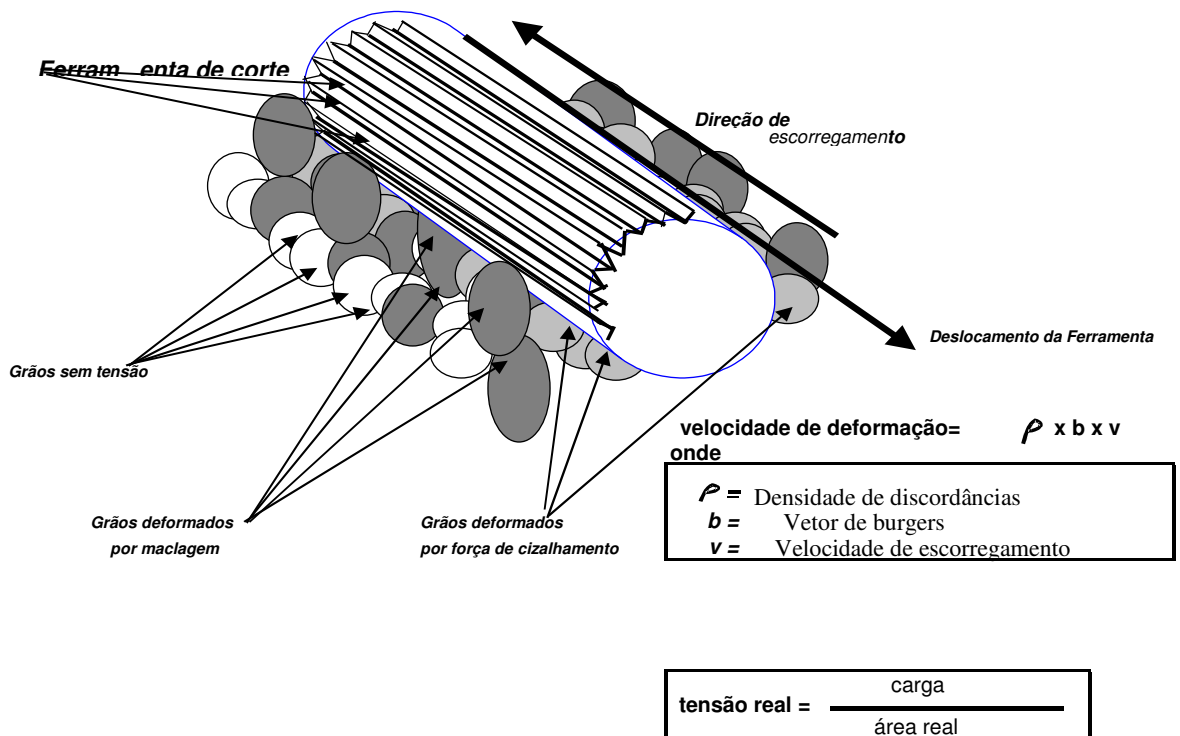


Figura 6 – Formação de tensão residual através da usinagem conforme croqui esquemático acima simulando a deformação pelo cisalhamento dos grãos.

### **3. Proposição**

O objetivo principal do presente trabalho é a partir de melhorias no tratamento térmico e material aumentar a sua durabilidade e usá-la em substituição a ferramenta importada, conseqüentemente reduzir custos.

## . Material e Método

O material estudado foi o aço ABNT 5160, facilmente encontrado no mercado, o qual foi aplicado na confecção de soquetes de fabricação nacional com objetivo de aumentar a durabilidade desta ferramenta com relação a esforços repetitivos sob torção num torque especificado pela engenharia de 61N.m – 75 N.m, que pela necessidade de processo é programado um torque nominal de 68 N.m numa apertadeira eletrônica descrita posteriormente (figura 16 a e b). Este material foi escolhido também em função da sua boa temperabilidade e usinabilidade. No quadro 1 é possível verificar a sua composição.

Quadro 1 – Composição do ABNT 5160.

|           | C (%p)      | Mn (%p)    | Cr (%p)    | Si (%p)     |
|-----------|-------------|------------|------------|-------------|
| ABNT 5160 | 0,55 – 0,65 | 0,65 – 1,1 | 0,60 – 1,0 | 0,20 – 0,35 |

### 4.1 – Processo para confecção do soquete estriado

Para a confecção dos soquetes (Figura 7) foram realizadas as seguintes operações na seqüência de processo:

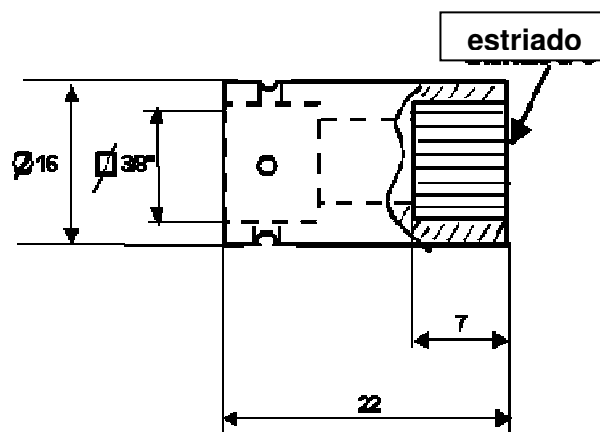


Figura 7 - Croqui do soquete utilizado

- 10 - O material é recebido e separado por tipo (no caso do ABNT 5160 é indicado pela cor preta).

- 20 - Cortar material conforme ordem de serviço com serra de fita horizontal.
- 30 - Facear e fazer furo de centro em torno mecânico.
- 40 - Furar em furadeira.
- 50 - Chanfrar guia para cunhagem do estriado.
- 60 - Centralizar na prensa da fig. 16 para fazer o estriado, (que é feito progressivamente, porém somente com uma ferramenta, ou seja, sem ferramenta de alívio anterior de mesma geometria somente o furo), fazer o estriado em duas ou mais batidas regulando esse avanço com uma chave elétrica.
- 70 - Virar a peça e fazer o quadrado conforme pedido, (em nosso caso o quadrado é de 3/8" para encaixe da apertadeira).
- 80 - Tornear conforme diâmetro final dando acabamento e canal.
- 90 - Fazer furo de contenção para colocação de esfera para trava das apertadeiras dentro do canal.
- 100 - Inspeccionar e Gravar o número da ordem de serviço para rastreabilidade.
- 110 – Embalar.

Na figura 8 está representada esquematicamente a montagem utilizada para a confecção das estrias do soquete testado.

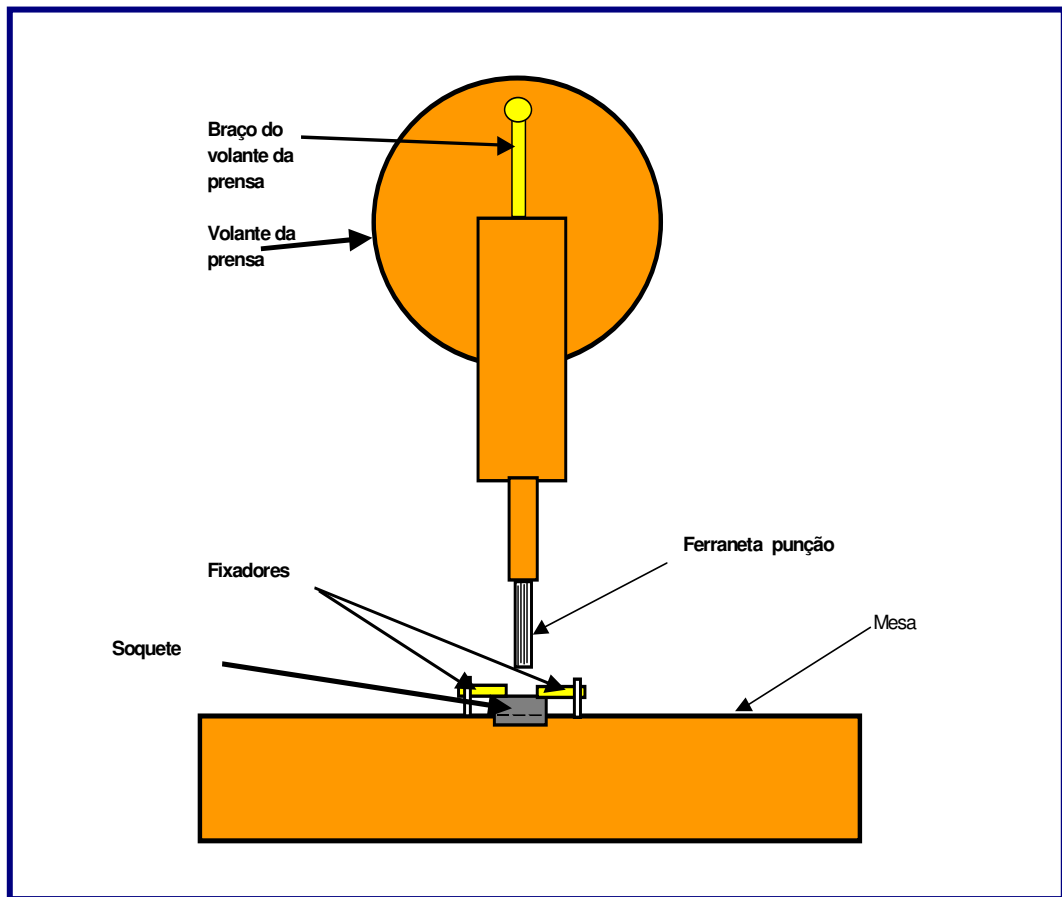


Figura 8 – Croqui representando a confecção das estrias do soquete

## 4.2 - Tratamentos Térmicos

Para a realização do tratamento térmico dos soquetes foram realizadas as seguintes operações na seqüência de processo e conforme o esquema da (Figura 09):

- 10 - Fazer alívio de tensão e forno FCA, (mufla), Brasimet com temperatura de 550 °C – 650 °C durante 2 horas, resfriar no próprio forno até 300°C, retirar a peça e terminar o resfriamento ao ar.
- 20 - Fazer pré-aquecimento de 400°C por 2 horas.
- 30 - Levar ao forno de tratamento térmico em banho de sal neutro com composição básica de cloreto de bário, (fornecimento Brasimet), numa temperatura de 840°C durante 30 minutos.
- 40 - Resfriar em sal AS140 Brasimet a 180°C por 50 minutos.
- 50 - Fazer lavagem

60 - Fazer duplo revenimento: o primeiro revenimento a 320°C durante 40 minutos e resfriamento ao ar e segundo revenimento a 320°C durante 40 minutos e resfriamento ao ar, o objetivo é uma dureza de 48 – 52 HRC.

70 - Fazer lavagem

80 - Inspeccionar.

90 - Olear.

100 - Embalar.

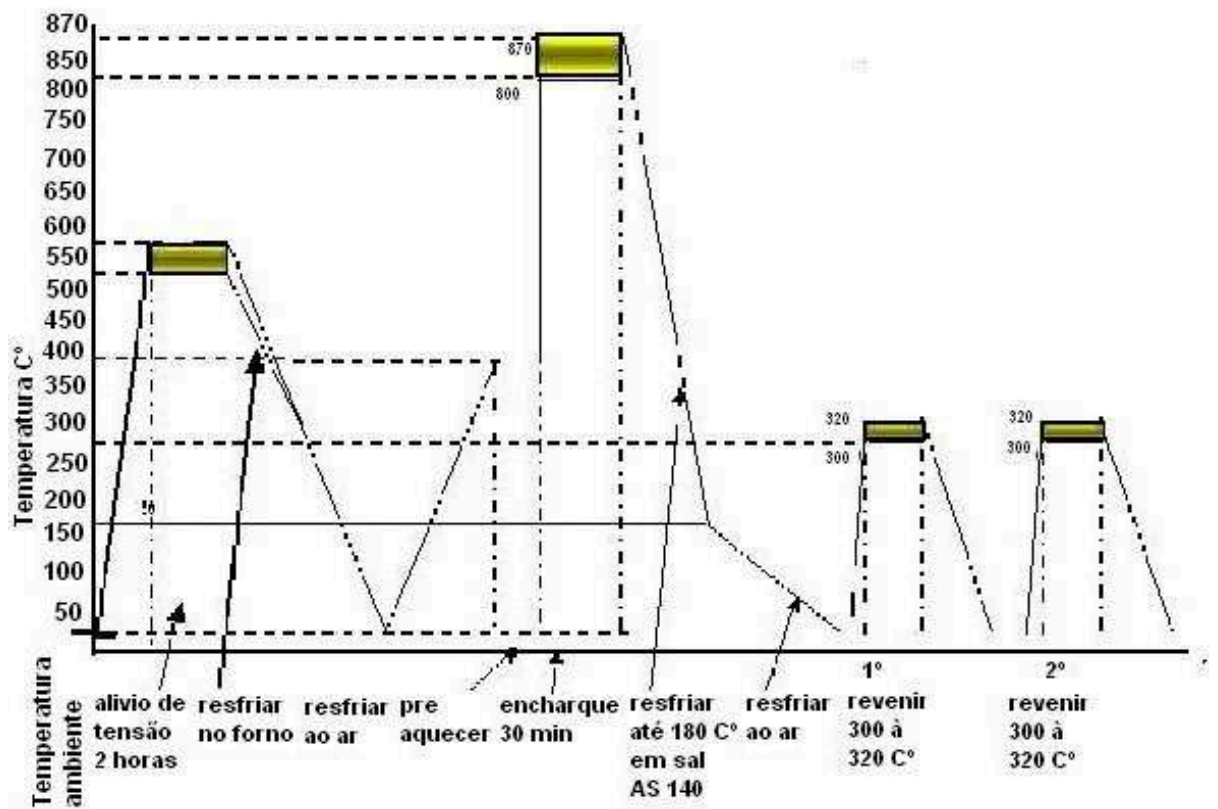


Figura 9 – Gráfico do processo de desenvolvimento do tratamento térmico



Para realizar o estudo do tratamento térmico do soquete foram utilizados 62 corpos de prova sendo que foram divididos e utilizados os seguintes critérios, resumidos no quadro 2:

Quadro 2 - Procedimento para desenvolvimento dos corpos de prova.

| Tratamento Térmico   | Quantidade | Descrição  |
|----------------------|------------|--|
| Sem alívio de tensão | 03         | Retiramos 3 CDP's de soquetes estriados de 3 / 8" com propósito de verificar a tensão retida no material após usinagem .                                       |
| Com alívio de tensão | 59         | Alívio de tensão com temperatura entre 500 – 600 °C nos 59 soquetes e retiramos 3 para análise após alívio de tensão   |
| Têmpera              | 56         | Têmpera com temperatura de 840 °C nos 56 soquetes e separamos 28 para análise da microestrutura após tratamento térmico e enviamos o restante para revenimento |
| 1º revenimento       | 28         | Revenimento em 28 soquetes com objetivo de aliviar a tensão e precipitação de carbeto 320 °C   |
| 2º revenimento       | 28         | Revenimento em 28 soquetes com objetivo de aliviar a tensão dos carbeto precipitados no 1º revenimento 320 °C  |

O método utilizado para análise metalográfica foi baseado nos procedimentos relatados por Colpaert (1974) e conforme a Instrução de Ensaio da Volkswagen (2003). O material utilizado para realizar o embutimento foi o baquelite preto com pressão variando de 20 kgf/cm<sup>2</sup> a 30 kgf/cm<sup>2</sup> com permanência de 15 minutos sob pressão na embutidora modelo Tempopress 2, fabricação da Panambra (Figura 10).

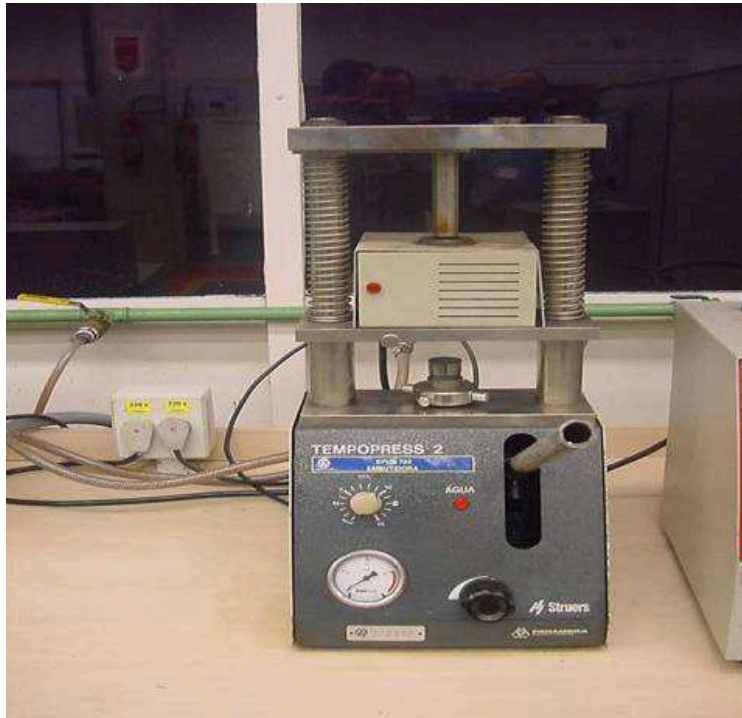


Figura. 10 – Equipamento para embutimento.

Preparação para o ensaio metalográfico; preparar a amostra por intermédio do processo de lixamento utilizando lixas d'água na seqüência de granulação 180, 220, 320, 400, 600, 1200 em politriz e água corrente para resfriamento, na politriz modelos APL-4D e APL-4, Arotec (Figura 11).



Figura. 11 – Politriz utilizada para lixamento

Polimento da amostra utilizando a politriz fabricação da Arotec APL – 4 (Figura 12) e óxido de alumínio diluído em água, até a amostra estar isenta de riscos de lixa.



Figura 12 – Foto da politriz utilizada no polimento das amostras

Em seguida foi realizado o ataque químico para revelar a microestrutura das amostras e realização de ensaio de microdureza, foi utilizado um ataque com Nital a 4% ( para cada 100 ml foi utilizado 96 ml de álcool etílico, e 4 ml de ácido nítrico). Imediatamente as amostras foram lavadas em água corrente para se retirar o excesso de reagente.

Em seguida as medidas de microdureza Vickers foram realizados em um microdurômetro EPUS 002 (Figura 14) e os valores convertidos para Rockwell (HRC).



Figura 13 Microdurômetro utilizado na medição de dureza em Rockwell e Vickers

Para a observação das microestruturas foram utilizados microscópios óptico e eletrônico de varredura (MEV), o óptico foi o EPUS 494 (1000x) conforme a Figura 13, e o eletrônico foi o LEO 1450 VP de pressão variável (Figura 15).



Figura 14 – Microscópio utilizado para análise da microestrutura do material, tirar fotos e gerar imagens





Figura 15 - Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV)

#### 4.3 – Ensaio com o soquete nacional

A apertadeira **ETV S7 150 CTADS 13** (Figura 16 a e b), com capacidade de torque até 150 Nm, contém um motor, célula de carga e mecanismo mecânico tipo engrenagem para transmissão de movimento. A precisão do equipamento é +/- 5% de dispersão máxima do torque médio programado, que é a média aritmética entre torque máximo e o torque mínimo especificado pela engenharia. Devido ao fato do torque ser crítico, todos os torques são armazenados com o número do chassi para se ter rastreabilidade.

O dispositivo de controle utilizado para as fixações através do soquete em estudo, é uma **powerfocus série 2000 tipo tensor S** fabricado pela Atlas Copco, a qual é munida de um painel eletrônico com mostrador luminoso que indica o torque em Nm, para a ligação é utilizado um cabo de oito pinos que tem a finalidade de fornecer energia e permitir comunicação entre a apertadeira e o painel.

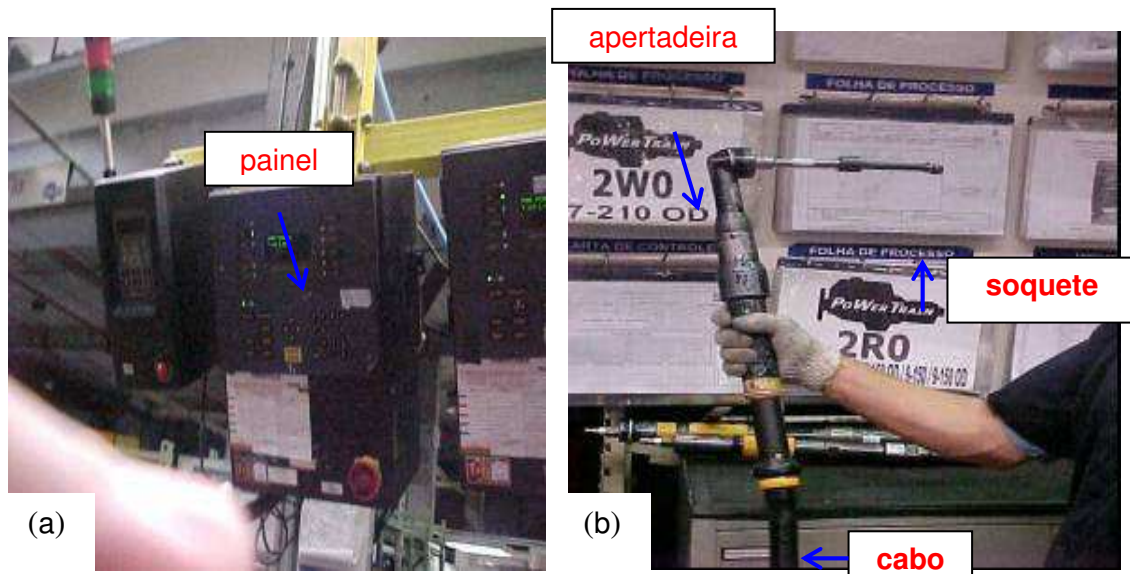


Figura 16 – (a) Painel powerfocus 2000, (b) Apertadeira com cabo

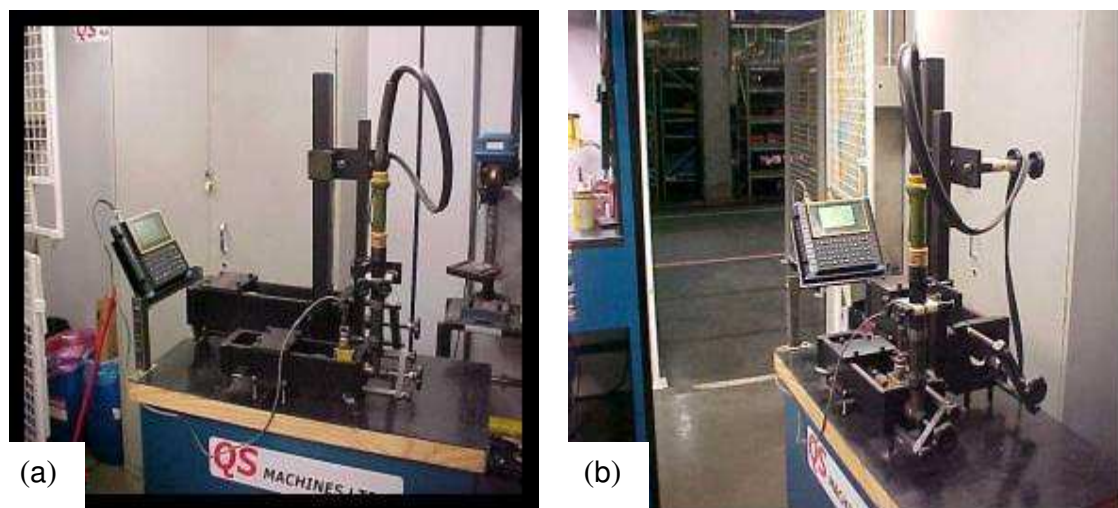


Figura 17 – (a) – Equipamento para aferição vista lateral com célula de carga, (b) Equipamento para aferição vista frontal com dispositivo de fixação

O equipamento é verificado por uma célula de carga padrão, munido de dispositivo de armazenamento de dados DataMyte (Figura 17 a e b) que nos dá uma maior fidelidade aos dados de acompanhamento da durabilidade do soquete.

O cardan figura 18 (a e b) é o meio que faz a ligação entre a caixa de transmissão e o eixo traseiro dando movimento ao veículo, sua fixação é feita por 04 parafusos de cabeça estriada figura 5 num intervalo a cada 4 minutos utilizando soquete estriado.



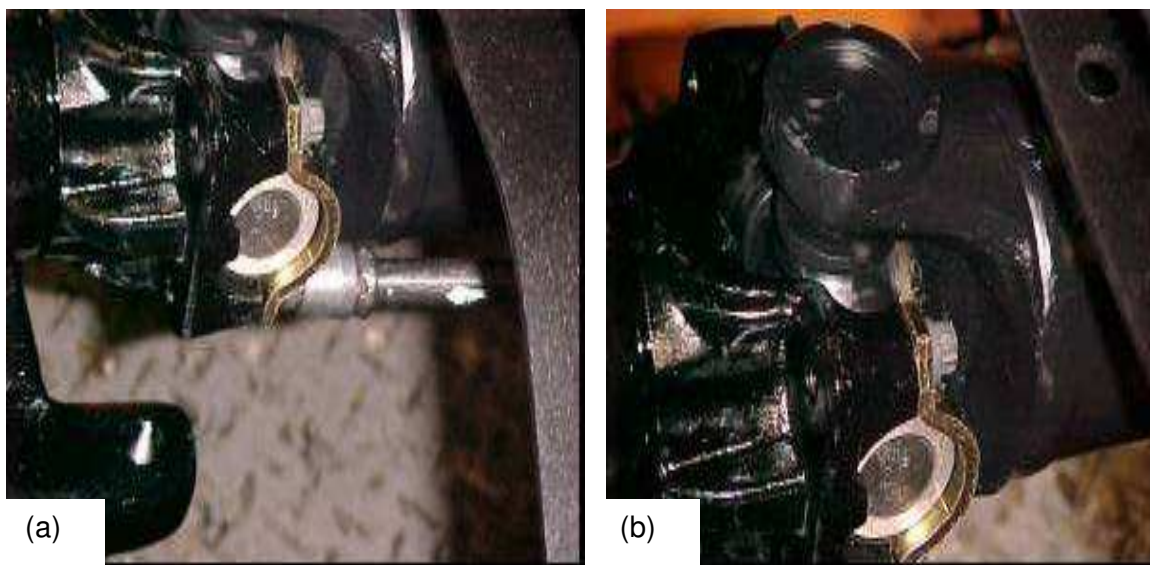


Figura 18 – (a) Fixação do cardan (b) Cardan fixado



Figura 19 - Vista dos quatro parafusos de fixação do cardan

Na Figura 20 estão representados: o soquete utilizado na fixação (21a), o punção utilizado para a cunhagem das estrias do soquete (6.b) e o parafuso com cabeça estriada usado na fixação do cardan (20c).

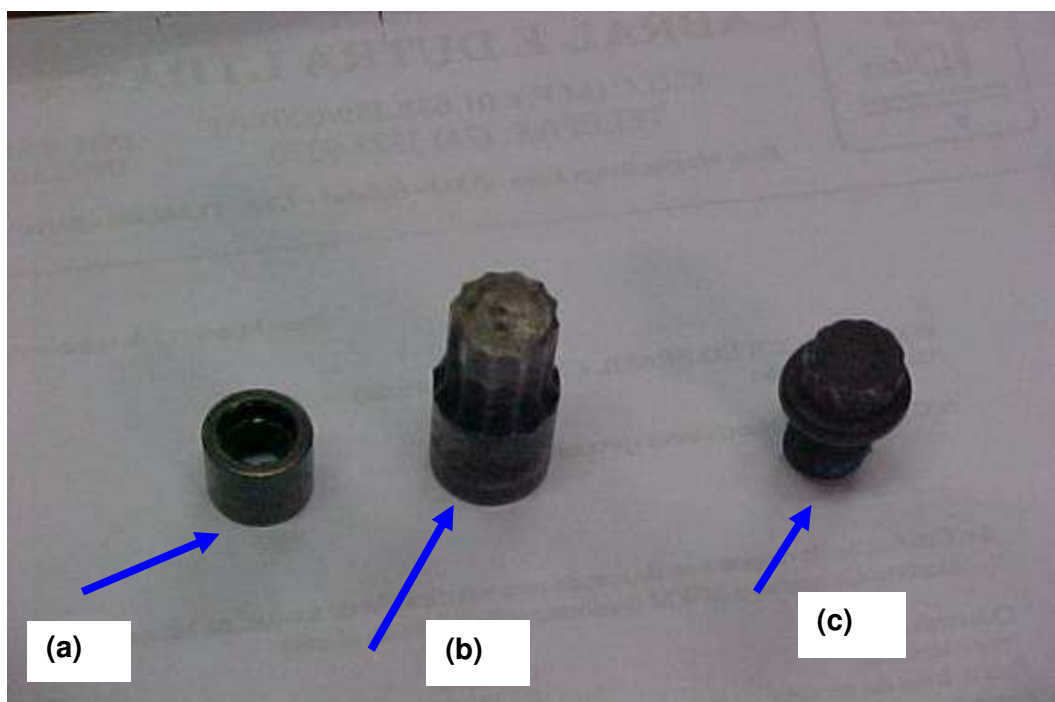


Figura 20 - Soquete estriado (a), ferramenta punção estriado (b), Parafuso cabeça estriada (c).



## 5. Resultados

Após a preparação das amostras, as mesmas foram analisadas com o auxílio de microscopia óptica e eletrônica de varredura, além da realização de medidas de microdureza, cujos resultados passam a ser apresentados.

Inicialmente foi analisada a amostra, que ainda não havia sido submetida a nenhum tratamento térmico, somente tinha sido usinada a estria do soquete. Pode ser notada a distribuição uniforme dos carbeto por toda a extensão da matriz, tanto pela imagem óptica (Figura 21), quanto pela imagem do MEV (Figura 22). O valor de microdureza obtido foi de 20 HRC (238 HV).



Figura 21 – Micrografia da amostra antes do alívio de tensão

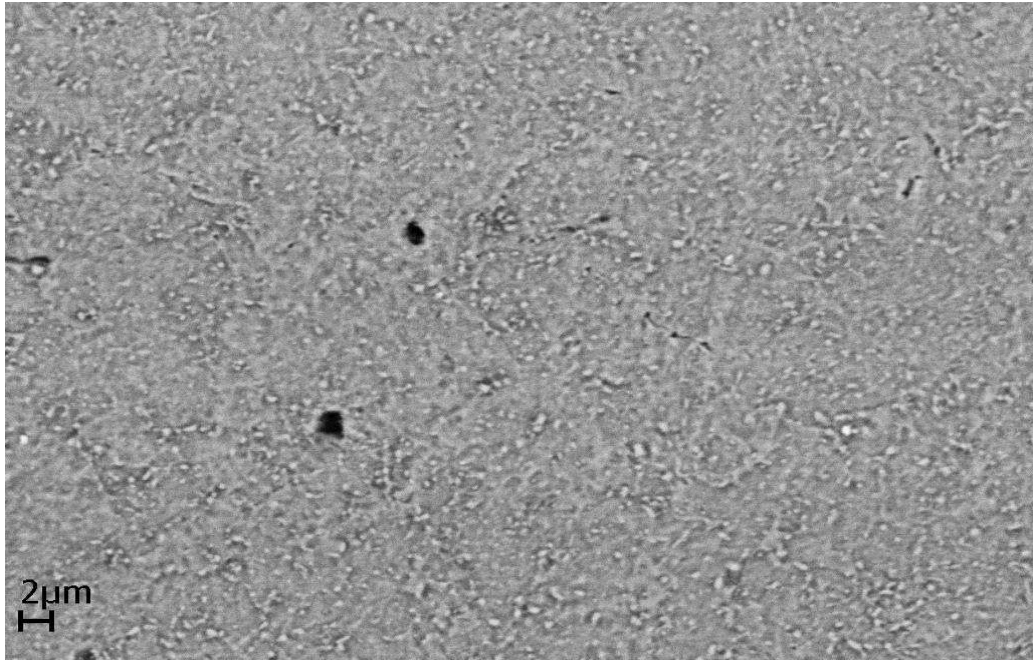


Figura 22 – Micrografia do interior do soquete no qual não foi realizado alívio de tensões

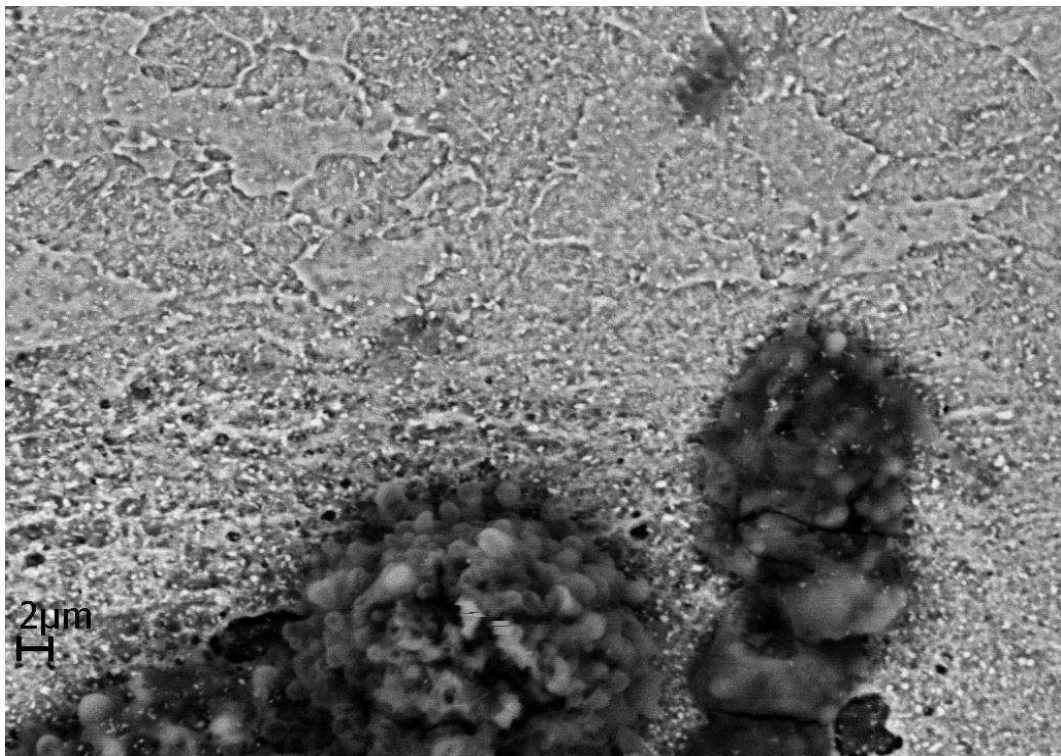


Figura 23 – Micrografia da borda interna do soquete (estria) no qual não foi realizado alívio de tensões

Cabe ressaltar que na região próxima ao corte que originou a estria do soquete, a morfologia dos grãos presentes se modifica (Figura 26), fazendo com que o

comportamento desta região tenda a se modificar, o que pode ser revertido com a aplicação de um tratamento de alívio de tensões que também poderia fazer com que a microestrutura se reorganizasse, no sentido de promover novamente uma homogeneização da morfologia desta estrutura.

Analisando as micrografias (Figuras 21 à 23) pode-se observar a diferença entre a disposição da microestrutura da amostra antes e depois do alívio de tensões, a mesma se tornou mais homogênea, principalmente em relação à região próxima a estria.

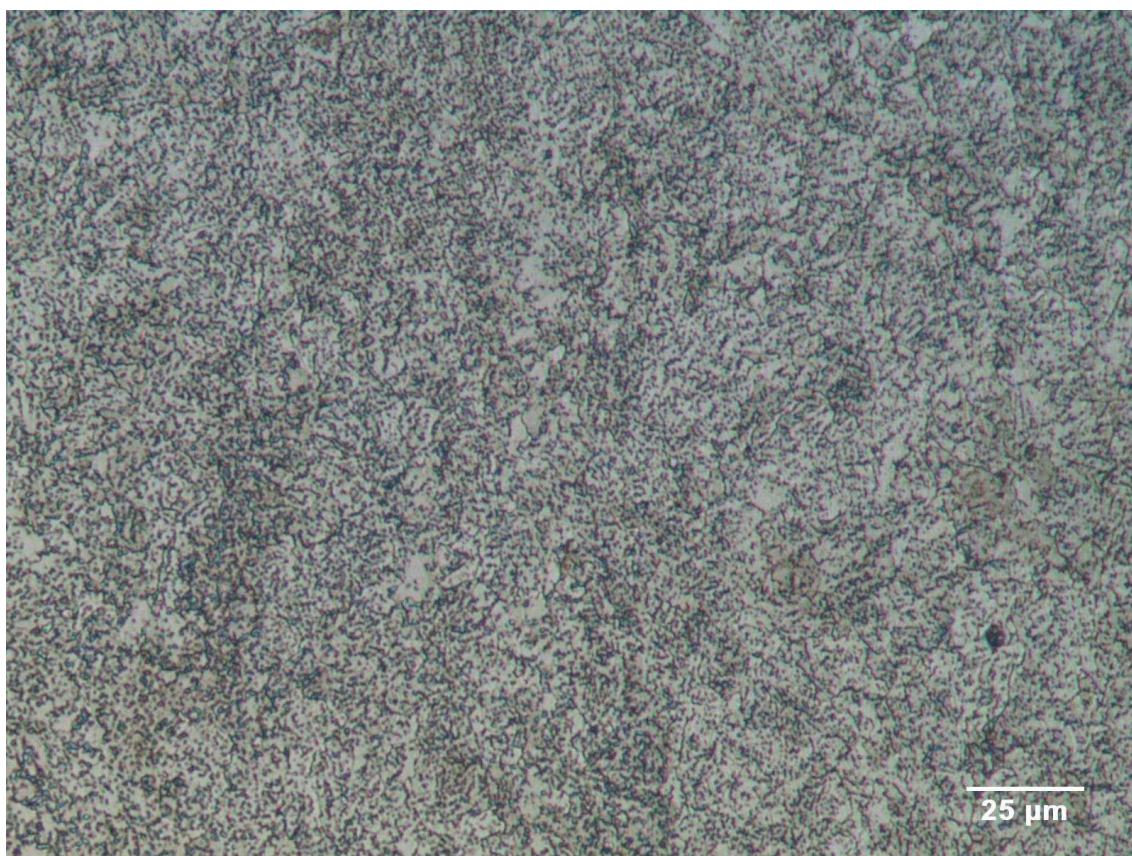


Figura 24 – Micrografia da amostra após do alívio de tensão.

Na seqüência, a análise das imagens das amostras temperadas (Figuras 24 à 26), possibilitou observar a presença de martensita revenida e poucos pontos de carbeto, após a têmpera pois com a redução da severidade de resfriamento foi possível que toda austenita se transformasse em martensita, com uma microdureza medida de 65 HRc (832 HV). Por intermédio das micrografias é possível notar que a região mais externa que se transforma inicialmente sofre algumas modificações em relação ao interior da amostra.



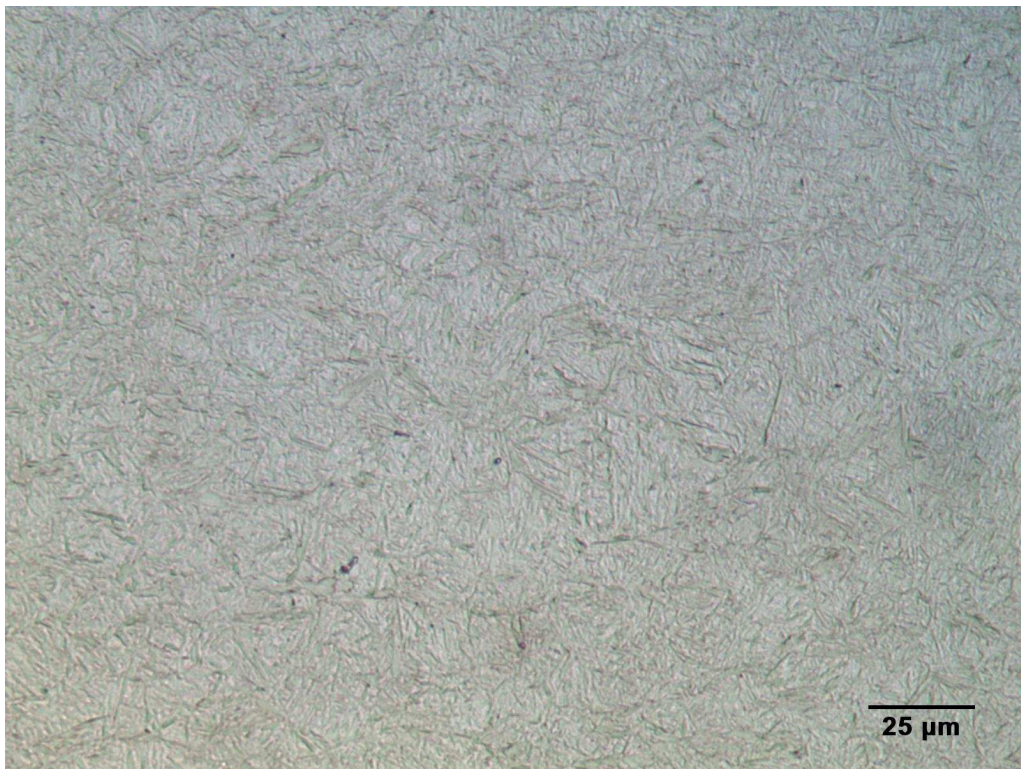


Figura 25 – Micrografia da amostra temperada sem revenimento.

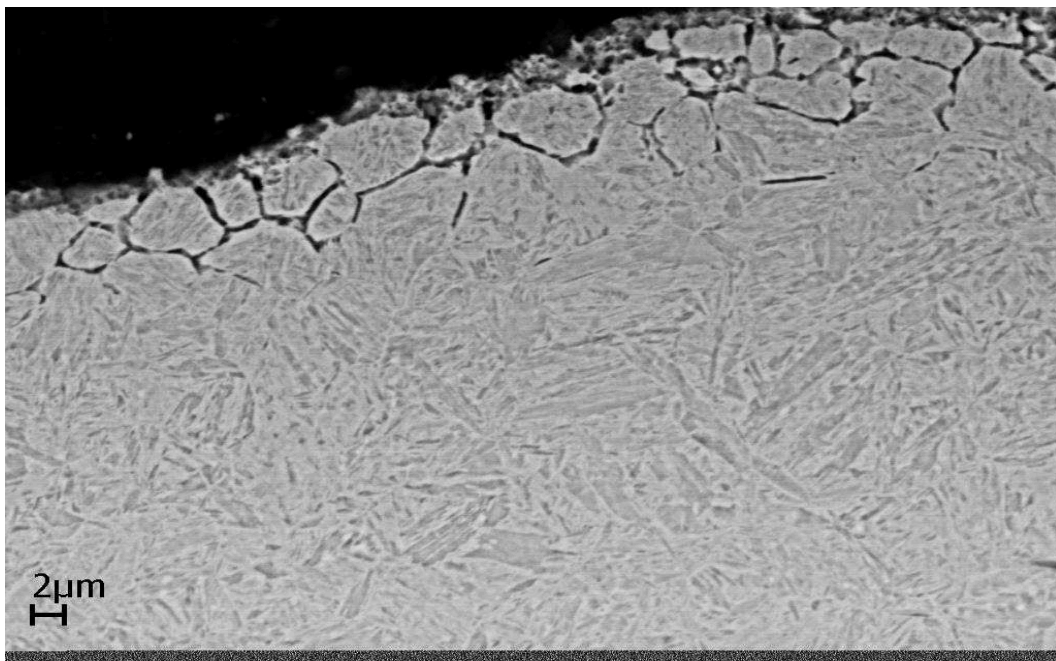


Figura 26 – Micrografia da borda externa do soquete temperado, sem revenimento.



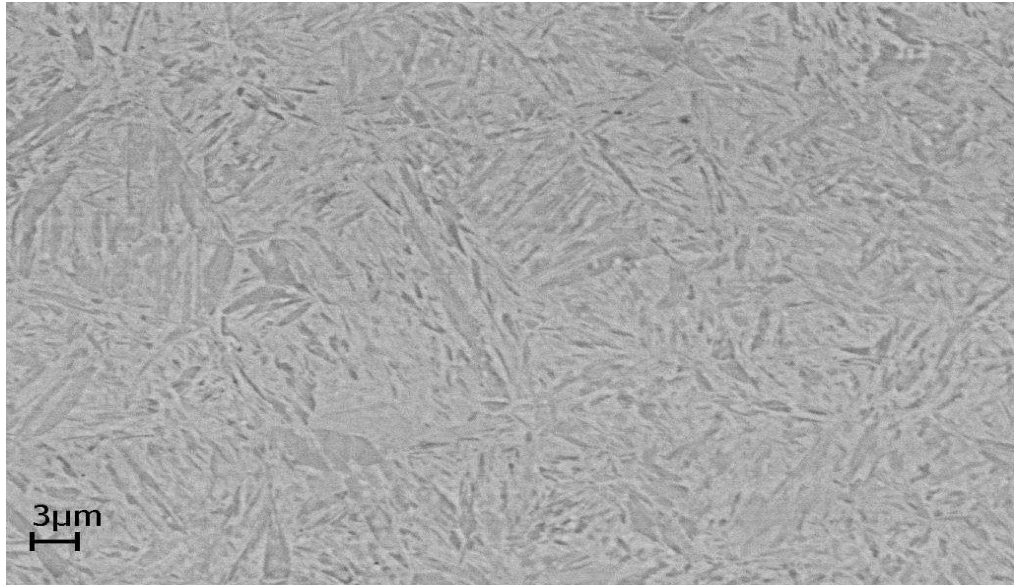


Figura 27 - Micrografia do interior do soquete, temperado ainda sem revenido.

Na Figura 28 pode ser observada a presença predominante de martensita revenida contendo pontos de carbeto distribuídos pela matriz, a microdureza medida foi de 52 HRC (544 HV), conforme a indicação da (Figura 29).

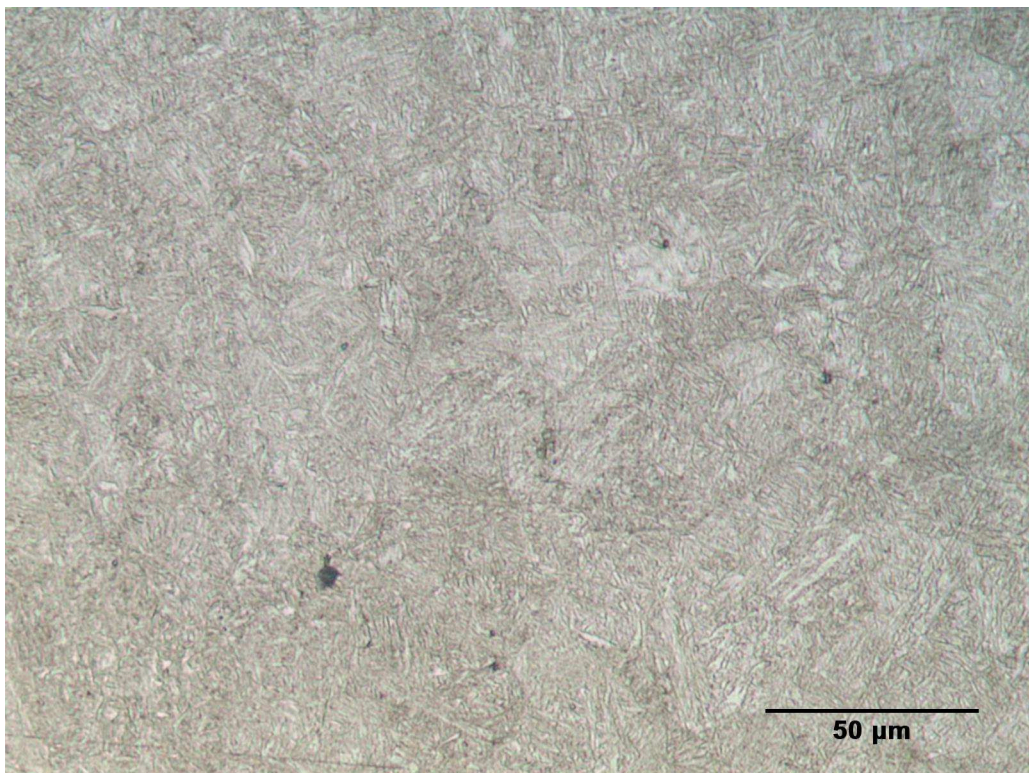


Figura 28 - Micrografia da amostra temperada e revenida.

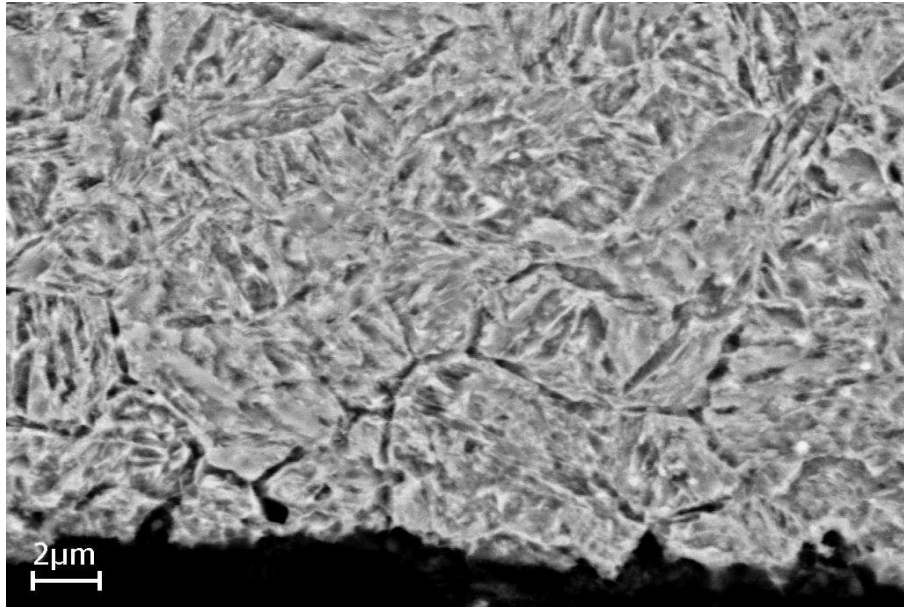


Figura 29 - Micrografia da borda externa do soquete temperado e revenido.

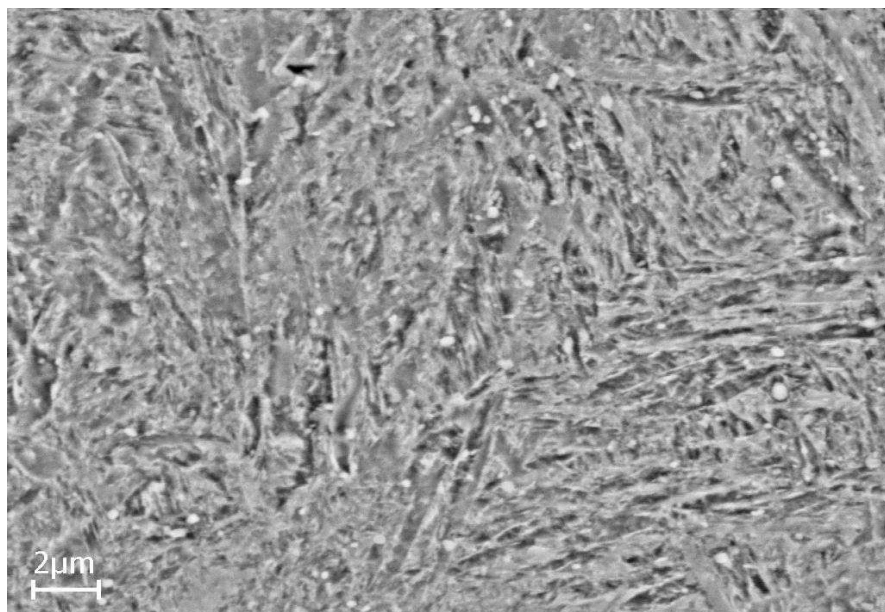


Figura 30 - Micrografia do interior do soquete, temperado e revenido.

Os valores das medidas de microdureza realizados no soquete prontos estão indicados na Figura 31, foram realizadas medidas tanto nas

superfícies interna e externa quanto no interior do soquete.

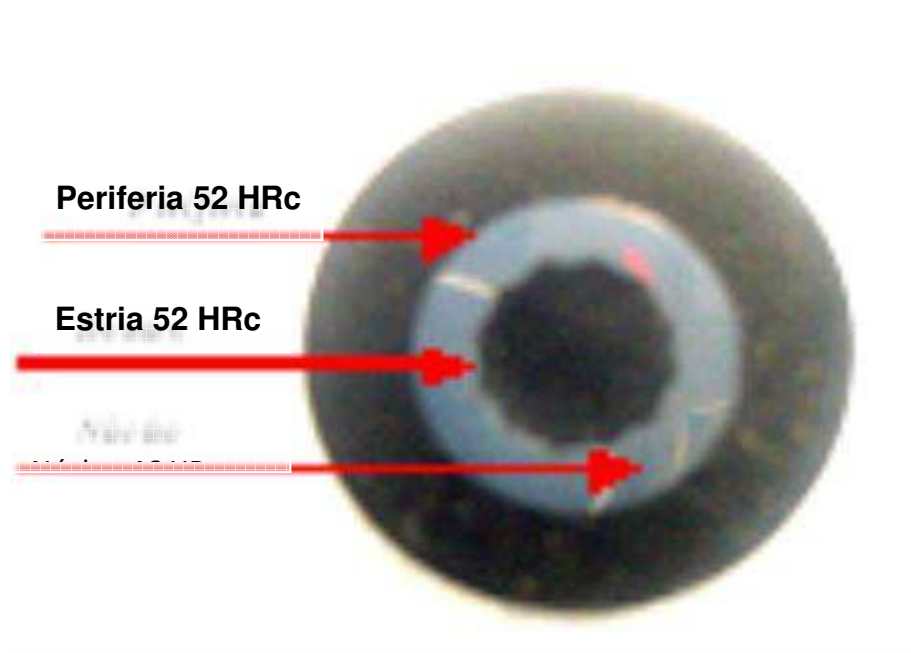
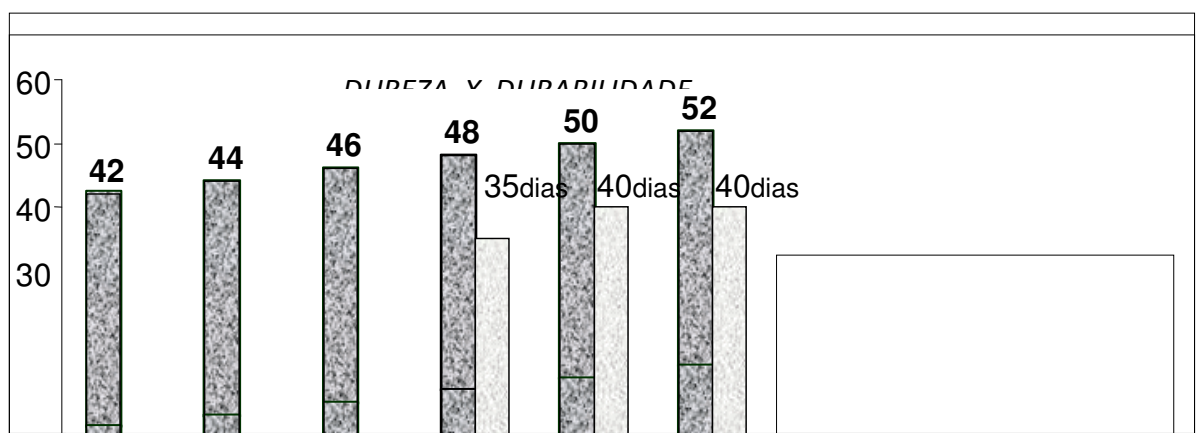


Figura 31 - Soquete embutido para a medição de microdureza e seus resultados.

**A escolha da faixa de dureza de 48 HRC a 52 HRC se explica pelo gráfico da figura 32 no qual estão representados os dados de durabilidade do soquete para os diferentes valores de dureza.**



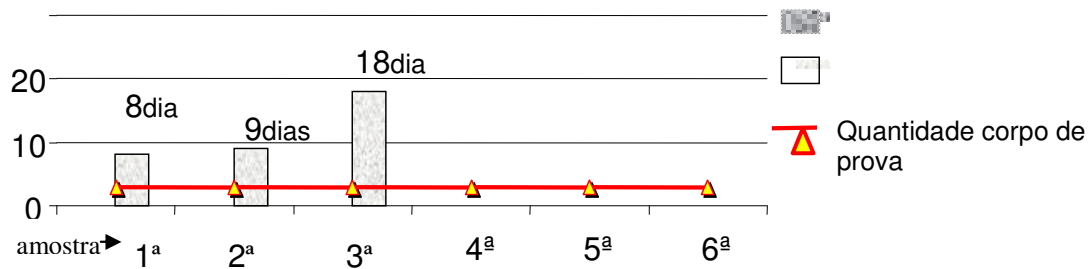


Figura 32 – Gráfico demonstrando o acompanhamento dos testes com o soquete.

Na figura 33 estão representados esquematicamente os valores de microdureza levantados para duas situações testadas.

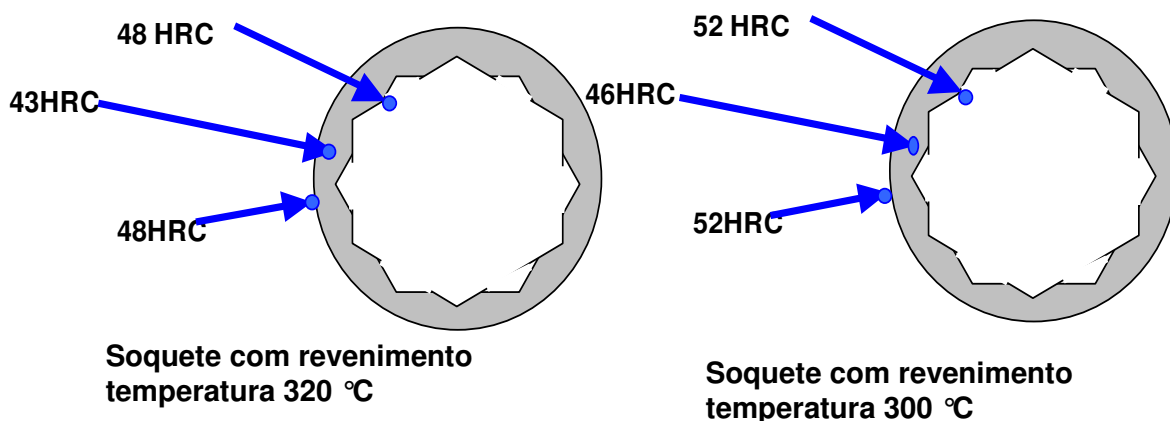


Figura 33 - Mapeamento de dureza do soquete com os devidos revenimentos.

**Na Figura 34 está esquematizado todo o ciclo de tratamento térmico sugerido após a avaliação dos testes para os soquetes.**



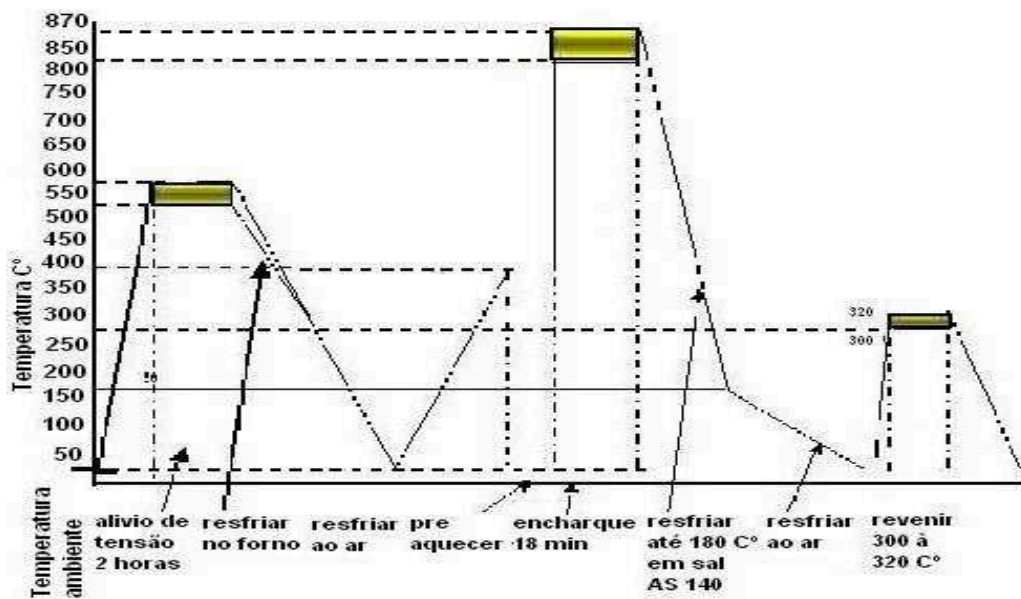


Figura 34 – Gráfico do processo de tratamento térmico, após a estudo apresentando redução de tempos.

Cálculo da economia gerada através deste trabalho:

O soquete estriado com fabricação antiga durava 5 dias a um preço de R\$ 16,00 como se trabalha normalmente 20 dias úteis no mês, o custo mensal era de R\$ 64,00 e anual R\$ 768,00.

O custo atual, como o soquete passou a ter uma vida útil média de 40 dias sem alteração do preço, o custo anual passou a ser de R\$ 96,00 gerando então uma economia de R\$ 672,00 vide cálculo abaixo :

Quadro 3 - Resultados Econômicos do soquete estriado em estudo.

|  |
|--|
| <b>Ganho anual R\$ 768,00 – R\$ 96,00 = R\$ 672,00</b> |
|--|

O soquete estriado importado tem um preço de R\$106,00 e sua vida útil é de 37 dias, o custo anual então é de R\$690,00 se compararmos o custo do soquete importado com o do soquete nacional teremos o seguinte resultado;

Quadro 4 - Resultados Econômicos do soquete estriado 3/8" importado e o soquete em estudo.

**Ganho anual R\$ 690,00 – R\$ 96,00 = R\$ 594,00**

Através do presente trabalho, foi possível aplicar a mesma tecnologia para um soquete articulado de 19 mm (figura 32), que através do processo de fabricação anterior tinha uma vida útil de 5 dias, com a utilização simultânea de um soquete do lado esquerdo e outro do lado direito, para fazer a fixação do motor no coxim.

O preço deste soquete é de R\$ 95,00 e como na operação são utilizados 2 soquetes, o custo passa a ser de R\$ 180,00. Como normalmente se trabalham 20 dias úteis por mês, o custo mensal passa a ser de R\$ 760,00 e o custo anual de R\$ 9120,00. Com a alteração de processo o soquete passou a ter uma vida útil de 120 dias com um custo anual de R\$ 360,00.



Figura 35 - Soquete articulado 19mm

Quadro 5 – Ganho anual do soquete articulado sextavado 19mm.

**Ganho anual R\$ 9120,00 –R\$ 360,00 = R\$ 8760,00**

Se for mantida a integridade do articulado, se tem necessidade de trocar somente a bucha que tem um valor de R\$ 60,00 a um custo anual de R\$ 120,00 logo a economia anual ficaria conforme segue.

Quadro 6 - Resultados Econômicos do soquete articulado com opção de troca somente da bucha do soquete e pino de articulação.

**Custo anual com processo antigo R\$9120,00 – R\$120,00 = ganho anual R\$9000,00**

## 6. Discussão

Os resultados obtidos serão discutidos com base no acompanhamento *in loco* do desempenho dos soquetes submetidos à alteração da matéria-prima e do tratamento térmico aplicado.

A especificação da matéria-prima para este desenvolvimento foi de acordo com a ASM (1994), que indica o material SAE 5160 (similar ao ABNT 5160), no estado recozido, que melhora consideravelmente a usinabilidade do material, minimizando assim a força de corte e as tensões residuais.

Já Subbarao et al. (1973) e Reed Hill (1973), citam que a maclação mecânica pode ocorrer no processo de cisalhamento, provocando tensões residuais no material, que se for submetido a tratamento térmico de têmpera com estas tensões certamente ocorrerão trincas.

Para evitar que esta tensão seja aumentada no tratamento térmico foi utilizado um alívio de tensão subcrítico, ou seja, com temperaturas abaixo da linha  $A_1$  conforme citado por Callister (2000) e Chiaverini (1987), esta faixa de temperatura é justificada também em função de se minimizar, e até mesmo evitar, a ocorrência de descarbonetação do material.

Para o tratamento térmico de têmpera utilizamos as temperaturas, conforme indicado no Handbook ASM (1994), e como severidade do meio de resfriamento utilizamos conforme indicado por Mukhopadhyay et al. (1997) e Chiaverini (1987), ou seja, um resfriamento com severidade suficiente para que toda austenita fosse transformada em martensita, tendo como resultado uma possível eliminação do segundo revenimento.

O revenimento foi realizado de acordo com Chiaverini (1987), que sugere utilizar temperaturas na faixa de 260 a 360 °C, para se atingir uma dureza entre 48 a 52 HRC, no caso foi utilizada uma faixa de 300 a 320 °C de temperatura, e conforme acompanhamento da relação de dureza versus temperatura de revenimento, foi obtida uma dureza de 48 HRC com 320 °C e 52 HRc com temperatura de 300 °C. Comprovando que o revenimento da martensita foi alcançado de forma adequada.

Cabe ressaltar que na região próxima ao corte que originou a estria do soquete, a morfologia dos grãos presentes se modifica (Figura 26), fazendo com que o comportamento desta região tenda a se modificar, o que pode ser revertido com a aplicação de um tratamento de alívio de tensões que também poderia fazer com que a microestrutura se reorganizasse, no sentido de promover novamente uma homogeneização da morfologia desta estrutura.

Analisando as micrografias pode-se observar a diferença entre a disposição da microestrutura da amostra antes e depois do alívio de tensões, a mesma se tornou mais homogênea, principalmente em relação à região próxima à estria, comprovando a eficácia do tratamento de alívio de tensões que permitiu que a microestrutura se reorganizasse, no sentido de promover novamente uma homogeneização da morfologia desta estrutura.

Pode ser verificado pelas micrografias que com 18 minutos já foi possível obter uma estrutura martensítica, praticamente isenta de austenita retida, em virtude deste resultado o tempo de permanência dentro do forno pode passar de 30 para 18 minutos, e não é necessário realizar um 2º revenimento, pois não há necessidade de se revenir austenita, transformada durante o primeiro revenimento já que a mesma não foi detectada.

Finalizando pode ser comentado que esta condição foi a que propiciou a maior durabilidade da ferramenta nos testes, com valores até superiores em alguns casos que a da ferramenta importada, confirmando que a melhoria no processo foi alcançada juntamente com a proposta de nacionalização do item.

## 7 Conclusões

A avaliação que podemos fazer, é que após a realização do estudo foi a viabilidade técnica e econômica, pois além do êxito obtido com soquete estriado de 3/8", pudemos transferir toda a tecnologia para um soquete articulado de 19 mm, no qual o fator econômico foi até mais expressivo que no soquete inicialmente em estudo, devido à geometria da área de aperto ser sextavada e pelo preço ser mais alto, e já esta sendo transferido o mesmo estudo para soquetes de outras dimensões, o que fará com que a economia se multiplique .

Pela ótica do fator produtivo podemos dizer que houve um ganho expressivo, tanto em relação ao revenimento quanto ao tempo de encharque, pois com a retirada de um revenimento, além de baratear o processo ganha-se uma fase de fabricação, já a redução no tempo de encharque aumenta a produtividade e pelo lado energético possibilita uma redução expressiva em termos de consumo de energia e insumos utilizados .

Apesar do acréscimo de uma operação de alívio de tensão, que resolve um problema de qualidade uma vez que esporadicamente ocorrem quebras prematuras de soquetes, mesmo a dureza e a estrutura do material estando conforme a especificação de projeto.

Portanto a conclusão é que neste estudo obtivemos êxito, além de uma melhora expressiva na qualidade de um soquete de fabricação nacional.

## Referências Bibliográficas

American Society for Materials, **Atlas of Isothermal Transformation and Cooling Transformation Diagrams** 2. ed. 1977, 422 p.

American Society for Materials, **The Materials Information Society**, v.4, 1994, p.39 – 155.

CALLISTER, W. **Ciências e Engenharia de Materiais**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2000, 589 p.

COLPAERT, H. **Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns**. 3. ed. São Paulo: Edgard Blücher LTDA, 1974, 412 p.

COUTINHO, C.B. **Materiais Metálicos para Engenharia**. 1. ed. Minas Gerais: Fundação Cristiano Otoni. 1992, 405 p.

CHIAVERINI, V. **Tratamentos Térmicos de Ligas Ferrosas**. 2. ed. São Paulo: Editora ABM, 1987, 232 p.

DIETER, G.E. **Metalurgia Mecânica**. 2. ed. Rio de Janeiro : Editora Guanabara Dois, 1981, 653 p.

FELBECK, D.K. **Introdução aos Mecanismos de Resistência Mecânica**. 1. ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 1968, 147 p.

GUIMARÃES, L.R.; IMAKUMA, K. **Determinação da tensão residual por difração de raio-X**. In: III SEMINÁRIO BRASILEIRO DE ENGRENAGENS, São Paulo: EPUSP, 1990. p. 185-209.

METALS HANDBOOK, **Properties and Selection of Metals**, 8. ed. 1961, v. 1, p. 37 – 155.

MONTEIRO, E.P. **Tratamentos Térmico, Químicos e Mecânicos dos Aços**. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Universidade Federal Fluminense, 1982, v. 2, p. 549-954.

MUKHOPADHYAY, N.K. et al, Premature failure of a leaf spring due to improper materials processing. **Materials Science and Engineering**, p.161-170, 1997.

REED HILL, R.E. **Princípios de Metalurgia Física**, 4. ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois , 1982, 556 p.

SOUZA, S.A. **Composição Química dos Aços**. 1. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1989, 134 p.

SUBBARAO; CHAKRAVORTY; MERRIAM; RAGHAVAN; SINGHAL. **Experiências de Ciências dos Materiais**. 1. ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 1973, 236 p.

TELLES, P.C.S. **Materiais Para Equipamentos de Processo**. 4. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência Ltda, 1989, 244 p.

VAN VLACK, L.H. **Princípios de Ciência e Tecnologia dos Materiais**. 4. ed. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1984, 566 p.

Volkswagen. **Instrução de Ensaio I.E. 4480.007**, 2003.

WANG, Z.Y.Z. Effect of prestrain on cyclic creep behaviour of high strength spring steel. **Materials Science and Engineering**. A, 210, 83 - 93, 1993.



