

Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba

**PARAMETRIZAÇÃO DO FORNO A VÁCUO
NO AÇO VMO**

**Camila Cruz
Manuela Ramos Ruaro Dias**

**Pindamonhangaba - SP
2018**

Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba

**PARAMETRIZAÇÃO DO FORNO A VÁCUO
NO AÇO VMO**

**Camila Cruz
Manuela Ramos Ruaro Dias**

Monografia apresentada à Faculdade de
Tecnologia de Pindamonhangaba para
graduação, no Curso Superior de
Tecnologia em Processos Metalúrgicos

Área de Concentração: Mecânica e Metalúrgica
Orientador: Prof. Dr. César Alves da Silva
Leandro

**Pindamonhangaba - SP
2018**

C889p Cruz, Camila.
Parametrização do forno a vácuo no aço VMO / Camila Cruz;
Manuela Ramos Ruaro Dias / FATEC Pindamonhangaba, 2018.
38f.; il.

Orientador: Professor Dr. César Alves da Silva Leandro
Monografia (Graduação) – FATEC – Faculdade de Tecnologia
de Pindamonhangaba. 2018

1. Parametrizar. 2. Tratamento a vácuo. 3. Têmpera. I. Cruz,
Camila. II. Dias, Manuela Ramos Ruaro. III. Leandro, César Alves
da Silva. IV. Título.

CDD 669

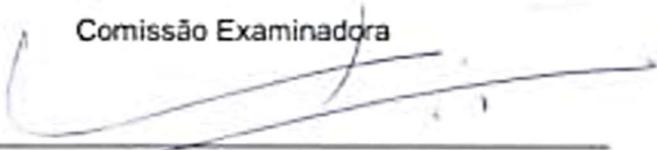
PARAMETRIZAÇÃO DO FORNO A VÁCUO NO AÇO VMO

Camila Cruz.

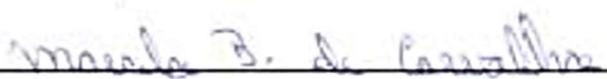
Manuela Ramos Ruaro Dias.

Monografia apresentada à Faculdade de
Tecnologia de Pindamonhangaba, para
graduação no Curso Superior de Tecnologia
em Processos Metalúrgicos.
Área de Concentração: Processos
Metalúrgicos
Orientador (a): Prof. Dr. César Alves Leandro.

Comissão Examinadora



Prof. Dr. César Alves da Silva Leandro



Prof. Me. Marcelo Bergamini de Carvalho



Me. Daniela Araújo de Souza

Pindamonhangaba - SP

2018

DEDICATÓRIA

Aos nossos familiares.

Ao professor Doutor César Alves da Silva Leandro que sempre nos manteve motivadas a construir nossa carreira.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer, em primeiro lugar a Deus, pela força e coragem durante toda essa longa caminhada.

Aos meus pais, pelo amor e apoio incondicional.

Obrigada especial, a minha amada irmã Juliana, que sempre foi a minha maior incentivadora, agradeço também ao meu cunhado, por todo apoio prestados a mim.

Aos meus amigos que sempre me ajudaram a não desistir, em especial ao José Benedito.

Aos professores que me deram apoio na orientação deste trabalho, em especial ao meu orientador César pelo convívio, apoio, compreensão e pela amizade.

Agradeço a minha querida tia Lígia, tenho certeza que lá de cima, está feliz e orgulhosa da sua sobrinha “Tia Isso é para você”.

Camila Cruz

Quero agradecer, imensamente, à Deus, pelo seu amor incondicional, agradeço também pela força, fé e coragem de prosseguir e alcançar os meus objetivos, e pela perseverança que me levou concluir esse trabalho.

Ao meu filho, pelo seu amor e compreensão, meu maior incentivador, que me dá forças para vencer todos os dias.

A minha mãe e ao meu pai pelo amor, carinho e apoio.

Sou grata também a minha madrinha Nilva Ruaro, que sempre me apoiou, e colaborou para meu crescimento pessoal.

Um agradecimento especial aos amigos e professores da Fatec, que ajudaram e contribuíram para minha formação nesse curso.

Manuela Ramos Ruaro Dias

Somos do tamanho dos nossos sonhos.

Fernando Pessoa.

CRUZ, C. DIAS M. R. R. **Parametrização do Forno a Vácuo no Aço VMO**. 2018. 38p. Trabalho de Graduação (Curso de Processos Metalúrgicos). Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. Pindamonhangaba 2018

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo, parametrizar o tratamento térmico no forno a vácuo do aço VMO. Sabe-se que tratamento a vácuo é a melhor solução, devido ser um tratamento limpo livre de resíduos e proporciona uma qualidade muito bem controlada, este tratamento não se destina para toda liga de aço, somente para aqueles mais temperáveis. Assim pensando em utilizar o tratamento a vácuo para o aço VMO, no qual trata-se de um aço de média têmpera, estuda-se a possibilidade de entender qual o limite de espessura a ser temperado uniformemente. O aço VMO é utilizado na indústria apenas após o tratamento térmico, de têmpera e revenimento. Os tratamentos térmicos recomendados por fabricantes desse aço são os tratamentos feitos com banho de sais ou em fornos com atmosfera controlada, resfriados em óleo agitado em temperatura de 60°C.

Palavras-chave: parametrizar, tratamento a vácuo, têmpera.

CRUZ, C. DIAS M. R. R. **Parametrization of Vacuum Oven in VMO Steel**. 2018. 38p. Graduation Work (Course of Metallurgical Processes). Faculty of Technology of Pindamonhangaba. Pindamonhangaba 2018

ABSTRACT

This work aims to parameterize the heat treatment in the vacuum oven of VMO steel. It is known that vacuum treatment is the best solution, because it is a clean treatment free from residues and provides a very well controlled quality, this treatment is not intended for all alloy steel, only for those more temperable. Thus, considering the vacuum treatment for VMO steel, which is a medium hardened steel, the possibility of understanding the thickness limit to be uniformly tempered is studied. VMO steel is used in the industry only after heat treatment, tempering and tempering. The heat treatments recommended by manufacturers of this steel are the treatments made with salt baths or in atmospheres with controlled atmosphere, cooled in agitated oil at a temperature of 60 ° C.

Key words: parametrization, vacuum treatment, tempering.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3- Gráfico de Revenimento	20
Figura 4- Curva de reação isotérmica representativa da transformação da austenita em perlita.....	23
Figura 5- Diagrama da transformação isotérmica de um aço	24
Figura 6. Diagrama da transformação do aço VMO (1.2714)	25
Figura 7- Forno a vácuo fechado	29
Figura 8 - Forno a vácuo aberto	29
Figura 9-Tanque de resfriamento do forno à vácuo.....	29
Figura 10- Tanque resfriamento do forno à vácuo	30
Figura 12 - Diagrama de Temperabilidade	30
Figura 11- Diagrama de Temperabilidade	31
Figura 13- Cortadeira arottec.....	33
Figura 14- Embutidora a quente Arottec	33
Figura 15 – Lixadeira Arottec.....	34
Figura 16- Politriz arottec universal.....	34
Figura 17- Martensita revenida ampliação de 500X	35
Figura 18- Martensita revenida ampliação de 1000X	35
Figura 19- Martensita revenida ampliação de 1000X	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Tipos de Aços Ferramentas (AISI/SAE)	17
Tabela 2- Composição química do VMO	19

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABELAS	10
1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1. JUSTIFICATIVA.....	12
1.2. OBJETIVO	12
2. REVISÃO DA LITERATURA	13
2.2. AÇO FERRAMENTA.....	14
2.2.1. Características	14
2.2.2. Composição química.....	14
2.2.3. Tratamento térmico dos aços ferramenta	15
2.2.4. Aplicação	16
2.2.5. Classificação	17
2.3. VH13	18
2.4. VMO	18
2.4.1. Aplicação.....	19
2.4.2. Alívio de Tensão	19
2.4.3. Têmpera para o VMO	19
2.4.4. Revenimento para o VMO.....	19
2.5. Forno a banho de sal.....	20
2.6. Forno a vácuo.....	20
2.7. Transformações que ocorrem no decorrer do tratamento térmico mediante a velocidade de resfriamento.	22
2.7.1. Curvas TTT	22
2.8. Têmpera	25
2.9. Revenimento	27
2.9.1. Principais Variáveis	27
2.10. Metalografia	28
3. MATERIAIS E MÉTODOS	28
4. CONCLUSÃO	37
REFERÊNCIAS.....	38

1. INTRODUÇÃO

As empresas do ramo de engenharias, mais especificamente as engenharias mecânicas, tem como a principal preocupação reduzir custos e ser sustentável, buscando produzir com qualidade e reduzindo custos sem agredir o meio ambiente.

Em um processo bem-sucedido de tratamento térmico, é de suma importância controlar a atmosfera do forno, uma vez que através deste controle é possível evitar a oxidação e decarbonetação na superfície dos metais, a qual se dá, devido à exposição das peças em altas temperaturas na presença de oxigênio. Com a remoção do oxigênio através do vácuo durante o tratamento térmico, é possível também obter peças totalmente limpas e assim, evitar o processo de jateamento, reduzindo o tempo de processo, mão de obra e consequentemente os custos (LEANDRO, 2013).

O tratamento térmico mundial aponta tendência de migrar para a utilização de tecnologias limpas. Essa tendência começa a se afirmar, consolidar e expandir em função dos graves problemas ambientais que inspiram temores. A tecnologia do tratamento térmico de ligas ferrosas mediante a austenitização com o forno a vácuo se mostra a mais adequada, para substituir as tecnologias denominadas "sujas", tais como banho de sal e o meio de resfriamento em óleo (TSCHIPTCHIN, 2012; VALE, 2011).

A norma brasileira NBR 10004, da ABNT, classifica os sais de têmpera como resíduos de classe I, que são perigosos. Sendo assim, não podem ser jogados no solo ou na água. Além disso, requerem tratamento especial tais como: neutralização dos sais, ou na falta de uma unidade de tratamento de neutralização, é necessário que sejam armazenados temporariamente em tambores com identificação do conteúdo e de sua procedência (ABNT, 2000).

Deve-se ressaltar que o banho de sal agride o meio ambiente devido à presença de metal pesado como carboneto de bário, soda cáustica, cloretos e etc, que são substâncias tóxicas, ou seja, a substituição do forno de banho de sal contribui com o meio ambiente, tornando a empresa sustentável, reduz custos, eliminando etapas de armazenamento e neutralização de sais.

No presente trabalho será detalhado uma tecnologia, referente ao tratamento térmico de têmpera no aço ferramenta para trabalho a quente e em especial o Aço VMO, um aço com boas propriedades de resistência mecânica em altas temperaturas, boa resistência ao revenimento, alta tenacidade e baixo custo.

O aço VMO normalmente é utilizado para Matrizes de forjamento em martelo ou forjamento em prensas, porta-matriz e matrizes de grandes dimensões, envolvendo grandes impactos. O mesmo geralmente é fornecido em blocos recozido, com dureza máxima de 250 HB para facilitar a usinagem, em seguida temperado e revenido em fornos de aquecimento

com atmosfera controlada ou banho de sais e resfriamento em óleo. Esse tratamento térmico é recomendado pelo fabricante (VILLARES, 2009).

Este trabalho visa fazer o tratamento térmico do aço VMO no forno a vácuo com o intuito de substituir o forno de sal para o processo de têmpera onde será possível controlar a velocidade de resfriamento com a introdução de nitrogênio e temperabilidade em peças ou ferramentas do Aço VMO de pequeno porte reduzindo custos, tempo e tornando-se sustentável, além de contribuir para o meio ambiente.

Para algumas qualidades de aço com aplicações específicas já é utilizado resfriamento com gás nitrogênio sob pressão, esse trabalho conceberá a parametrização do limite da espessura e os impactos na dureza e na microestrutura do aço VMO para tratamento térmico no respectivo forno a vácuo.

1.1. JUSTIFICATIVA

A necessidade de obter melhores resultados de dureza no aço VMO quando este é temperado em forno a vácuo.

1.2. OBJETIVO

Este trabalho tem por objetivo parametrizar um forno de têmpera a vácuo, que por sua vez parametrizamos o processo de têmpera do aço vmo, através do controle da atmosfera, velocidade de resfriamento e conseqüentemente a temperabilidade, tornando evidente a possibilidade de substituir o forno de banho de sal para o processo de têmpera, por este citado.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Aço

O aço é considerado um material industrial de destaque na engenharia devido a vasta gama de propriedades e características de desempenho que podem ser obtidos a custo baixo devido sua grande disponibilidade na crosta terrestre e a forte variedade dos processos de fabricação do aço (COSTA e SILVA, MEI; 2006).

Várias normas classificam os aços de acordo com o teor de carbono e elementos de ligas utilizadas para melhorar suas propriedades mecânicas e as características de usinabilidade. São igualmente especificados pelo seu comportamento de endurecimento quando essa característica é desejada (COPAERT, 1974).

Conforme a norma ABNT NBR NM 87:2000, o aço-carbono não ultrapassa os teores de 0,6% de silício (Si) e 1,65% de manganês (Mn), a norma especifica ainda teor máximo para alumínio de 1%, teor mínimo de boro de 0,0005%, máximo de 0,3% do teor de cobre e um teor máximo de chumbo de 0,35% podendo ainda conter adição de outros elementos para melhora das características, como selênio, telúrio, bismuto e nióbio. A soma de todos elementos não podendo ultrapassar 6% (ABNT 87, 2000).

São ordenados de acordo com o teor de carbono:

- Aço extra-doce: < 0,15%C
- Aço meio-doce: 0,15%C até 0,30%C
- Aço meio-duro: 0,30%C até 0,60%C
- Aço duro: 0,60%C até 0,70%C
- Aço extra-duro: 0,70%C até 2,00%C

Devido alguns elementos que podem estar presentes na composição da liga aço-carbono, é provável que apareça inclusões desejáveis ou indesejáveis. Esses elementos tendem a ser impurezas ou são colocadas para obtenção de uma liga com propriedades melhores (COSTA e SILVA, MEI; 2006).

De acordo com CHIAVERINI (2008), por muito tempo o fósforo foi considerado um elemento insatisfatório, equivalente a fragilidade a frio que confere aos aços, principalmente nos aços duros de alto carbono. Por esse motivo, as especificações são categóricas a respeito. O fósforo dissolve-se na ferrita, endurecendo e aumentando o tamanho de grão, determinando baixa resistência ao choque e baixa tenacidade, quanto mais alto o teor de carbono existente, maior essa tendência.

O fósforo apresenta alguns fatores favoráveis por elevar a dureza do aço, aumentando também sua resistência à tração geralmente usado no aço de baixo carbono onde seus efeitos

prejudiciais são menores. O fósforo melhora ainda a resistência a corrosão e a usinabilidade dos aços, especialmente quando adicionado com o enxofre, porém deve ser mantido em baixos níveis para diminuir a quantidade de inclusões não desejáveis (CHIAVERINI, 2008).

Alguns elementos, como o fósforo, enxofre, oxigênio e hidrogênio, não podem ser extintos totalmente na fabricação comum das ligas mas devem ser controlados e mantidos dentro da faixa de aceitação para não prejudicar suas propriedades mecânicas que podem ser afetadas pela composição química ou pela microestrutura (CALLISTER, 1991).

O aço ocupa o mais relevante nível de utilização na seleção de materiais de engenharia e indústria, devida importância e custo benefício que esse material apresenta (CHIAVERINI, 1988).

2.2 AÇO FERRAMENTA

2.2.1 Características

Os aços ferramentas exigem muita atenção e cuidado durante o processo em sua concepção, desde a fundição até o tratamento térmico, tendo em vista os atributos e desempenho a serem exercidos. Designado em sua maioria à fabricação de ferramentas, devem apresentar requisitos que possibilitem desempenhar as operações com precisão e baixo custo, esses aços devem apresentar características como: alta dureza, elevada resistência ao desgaste, temperabilidade, tenacidade, elevada resistência mecânica, dureza à quente ou ao rubro, tamanho de grão e excelente usinabilidade (CEFET-SP, 2001).

Para garantir estas características aos aços e melhorar seu desempenho, é primordial o engajamento de dois fatores a considerar sendo eles a composição química e o tratamento térmico, fatores importantes para atender os requisitos acima citados (CEFET-SP, 2001).

2.2.2 Composição química

Os principais elementos de liga presentes na composição química segundo (CHIAVERINI, 2008), são:

- Carbono: componente principal que confere ao aço e suas ligas a dureza e a resistência ao desgaste desejada por meio dos carbonetos precipitados, com teor elevado, podendo ser superior a 2%;
- Silício: empregado com a função de desoxidante, ele se mistura na ferrita decompondo

os carbonetos, não é usado separadamente como elemento de liga, apenas quando a intenção é a obtenção da formação de grafita;

- Manganês: melhora a temperabilidade consideravelmente, tem a função de desoxidante e dessulfurante em sua adição;
- Cromo: Usado geralmente com o Mn, em função de sua ação conjunta com a ferrita, aumenta a dureza sem prejudicar a ductilidade, conseqüentemente aumentando a resistência ao desgaste, também usado essencialmente para aumentar a temperabilidade;
- Vanádio: É um desoxidante e sua função crucial é inibir o crescimento do grão, melhora a dureza à quente do aço e a temperabilidade devido aos carbonetos instáveis formados em altas temperaturas;
- Tungstênio: com teor mais elevado simultaneamente com o cromo, atribui a dureza a quente, a mais relevante propriedade dos aços para ferramentas e matrizes, característica relevante na realização de corte a alta velocidade ou de conformação a altas temperaturas. Sua ação se potencializa quando usado juntamente com outros elementos de liga como molibdênio, cobalto, vanádio e cromo;
- Cobalto: Os aços com cobalto estão atrelados à descarbonetação, necessitando assim de um cuidado especial durante o aquecimento no tratamento térmico, usado comumente em aços rápidos, aumenta a dureza a quente e diminui a temperabilidade;
- Molibdênio: Muito usado para substituir o tungstênio em determinadas ocasiões, melhora e aumenta a dureza a quente, a resistência, a ductilidade e a temperabilidade nos aços.

2.2.3 Tratamento térmico dos aços ferramenta

O tratamento térmico nos aços ferramentas podem variar entre temperaturas mais baixas até as mais elevadas, dependendo do tipo de propriedade que se deseja obter. As elevadas temperaturas são necessárias para assegurar total solução dos carbonetos. Para evitar o excedente crescimento de grão, geralmente utiliza-se dois aquecimentos durante o tratamento térmico (CEFET-SP, 2001).

Os aços ferramentas são os mais complexos para se temperar, especialmente os de maior nível de carbono, isso porque são mais curtos os tempos de transferência à esquerda do cotovelo das curvas TTT (CHIAVERINI, 2008).

Eles também apresentam maior propensão à descarbonetação externa, o que é muito desfavorável para o aço ferramenta, podendo ser controlado com um tratamento térmico muito bem executado “a própria adoção do aquecimento em duas etapas, contribui para diminuir a tendência a descarbonetação, pelo menor tempo que o material fica exposto às

temperaturas mais elevadas” CHIAVERINI (2008).

No modo de resfriamento, as temperaturas também variam em extremos. Os aços ferramenta são sensíveis a deformação que podem ocorrer durante a têmpera, devido a drástica temperatura ao qual são sujeitos para obtenção de maior dureza, esse resfriamento drástico pode causar tensões internas, sendo essencial o revenimento final (CEFET-SP, 2001; MEI E SILVA 2006).

O revenimento é feito variando sua temperatura dependendo da composição da liga do aço, realizado após a têmpera para alívio de tensões internas, para melhora da fragilidade e instabilidade, sem afetar a dureza do material, podendo agregar ainda uma nova dureza ao material (MEI E SILVA, 2006).

2.2.4 Aplicação

A solicitação de um aço é feita mediante o desempenho para qual a ferramenta será destinada e deve atender as exigências complexas para tais características e aplicações, não podendo ser negligenciadas (MEI E SILVA, 2006). Essas aplicações podem ser divididas nos seguintes grupos:

- Trabalho a frio: são vistas aplicações de trabalho a frio as que ocorrem na temperatura ambiente ou até 200°C, usadas em operações de corte, conformação, embutimento, estiramento, rebarbação, compactação de pós, instrumentos de medição, etc. As características mais importantes são resistência ao desgaste e a tenacidade.
- Trabalho a quente: são consideradas as aplicações que acontecem acima de 200°C, típicas dos aços H10 e H13, usadas para moldes para fundição, matrizes de punções, facas ou tesouras para corte a quente, moldes para plásticos, extrusão, etc. As ferramentas utilizadas nessas operações são expostas a excessiva variação de temperatura, necessitando tenacidade, resistência a fadiga térmica, ao choque e ao desgaste.
- Baixa liga: É constituído por aços de alto carbono tendo o Cromo como principal elemento ou composto por outros elementos para aumento da temperabilidade. Com aplicações em calibres de precisão, tesouras, brocas para rochas, cilindros, roletes, etc.
- Ferramentas de usinagem: operam de modo contínuo entre temperaturas de 550 a 600°C, usadas em trefilas ferramentas para usinagem de rolos, tendo que manifestar maior dureza, resistência ao revenimento, e ao desgaste em temperaturas elevadas.
- Aços rápidos: mantém a dureza elevada em altas temperaturas, superiores a 58 HRC a 550°C e 55HRC a 600°C, aplicado quando se deseja corte à grande velocidade e pesados avanços, usinagem de materiais de média e alta resistência, lâmina de serra para

corte de metais, cilindros para laminação, etc. Suas solicitações deve envolver resistência ao desgaste e abrasão, estabilidade dimensional e boa tenacidade (CEFET-SP, 2001; MEI E SILVA 2006).

2.2.5. Classificação

É de extrema importância dividir e separar as composições dos aços, classifica-las para facilitar a comparação e seleção na fabricação de uma ferramenta, considerando as aplicações a qual será destinada, verificando as propriedades de maior ou menor relevância. Algumas das classificações são identificadas pelo meio de têmpera aplicado em seu tratamento, algumas pelas propriedades e outras pelo elemento de liga utilizado em sua composição (CEFET-SP, 2001)

A AISI classifica os aços ferramentas da seguinte maneira:

Tabela 1- Tipos de Aços Ferramentas (AISI/SAE)

TIPO	DESGNAÇÃO	APLICAÇÕES
W	Temperáveis em água (Water)	Trabalho a frio
S	Resistente ao choque (Shock)	Trabalho a frio ou a quente
O	Aço ferramenta para trabalho frio – temperável em óleo (Oil)	Trabalho a frio
A	Aço ferramenta para trabalho a frio – temperável à ar (Air)	Trabalho a frio
D	Aços ferramentas para trabalho a frio – matrizes (Dies)	Trabalho a frio a quente
H	Aços ferramentas para trabalho a quente (Hot)	Trabalho a quente
T	Aços rápidos ao tungstênio (Tungsten)	Usinagem
M	Aços rápidos ao molibdênio (Molibden)	Usinagem
P	Aços para moldes (Plastics)	Moldes para injeção de plásticos

Fonte: (CEFET-SP, 2001)

Além dos aços caracterizados segundo a AISI, existem também outras especificações, como as normas DIN (Alemanha), BS (Inglaterra), e EN (União Européia). As aplicações sobre o aço ferramenta deve ser consultada diretamente com o produtor, que indicará a especificação corretamente.

2.3. VH13

Os aços ferramenta do grupo H estão subdivididos em três subgrupos de acordo com o principal elemento de liga utilizado para conferir dureza a alta temperatura. Os aços ferramenta para trabalho a quente ligados ao cromo, contêm normalmente 5 % de crómio e quantidades significativas de outros elementos, como silício, molibdénio e vanádio. Múltiplos elementos são também adicionados aos aços ferramenta para trabalho a quente ligados ao tungstênio e aos aços ferramenta para trabalho a quente ligados ao molibdénio, de modo a obter-se um desempenho superior ao dos aços ferramentas para trabalho a quente ligados ao crómio. (ROBERTS, 1998)

O mais utilizado dessa família é o AISI H13, numa faixa ampla de dureza, entre 44 – 50 HRC, devendo ser especificada para as condições de aplicação da ferramenta. Devido a sua composição química, as principais características apresentadas pelo aço AISI H13 são: elevada temperabilidade, elevada resistência ao amolecimento pelo calor, boa resistência ao desgaste em temperaturas elevadas, excelente tenacidade, boa usinabilidade entre os aços-ferramenta, excelente resistência a choques térmicos devidos aos aquecimentos e resfriamentos contínuos, fazendo com que o surgimento de trincas térmicas seja reduzido. (UDDEHOLM; STEEL A HANDBOOK FOR MATERIALS, 1993).

2.4. VMO

O VMO é um aço ferramenta com propriedades de resistência mecânica alta tenacidade e boa resistência ao revenimento. Este aço pode ser fornecido em blocos em diferentes condições térmicas como por exemplo, recozido, como dureza máxima de 250HB. Quando fornecido nesta condição, o bloco pode ser usinado com mais facilidade e, normalmente temperado e revenido depois da gravação. Também pode ser beneficiado de acordo com a dureza especificada pelo cliente (VILLARES, 2009).

Este aço possui as seguintes propriedades:

- Propriedades Físicas: Densidade a 20 °C = 7,80 Kg/dm³;
- Condutividade térmica a 20 °C 500 °C 600 °C;
- (W / mK) 36,0 36,8 36,0;
- Expansão Térmica;
- Intervalo de temperatura (°C) 20-100 20-200 20-300 20-400 20-500 20-600;
- Coef. exp. térm. (10⁻⁶ m/mk) 12,5 13,1 13,4 13,9 14,0 14,3;
- Normas / Similares: DIN 56 NiCrMoV7 e WNr 1.2714 6F3 (ASTM); JIS G 4404 (1972)

Tipo SKT 4

O VMO é tem a seguinte composição química:

Tabela 2- Composição química do VMO

COMPOSIÇÃO QUÍMICA					
C	Mn	Cr	Ni	Mo	V
0,57	0,70	1,10	1,65	0,50	0,10

Fonte: (VILLARES, 2009)

2.4.1. Aplicação

O VMO geralmente é aplicado em matrizes de forjamento em martelo ou forjamento em prensas. Também é aplicado em porta-matriz e matrizes de grandes dimensões (CEFET-SP, 2001; VILLARES, 2009).

2.4.2. Alívio de Tensão

Este procedimento deve ser realizado após o processo de usinagem e antes da têmpera. O alívio de tensão é necessário em peças com gravura e perfis que a retirada de material tenha sido mais que 30%, com a finalidade de amenizar as distorções ao decorrer da têmpera. Este procedimento deve ser lento entre as temperaturas de 500 a 600°C e resfriamento em forno até 200°C (CEFET-SP, 2001; VILLARES, 2009).

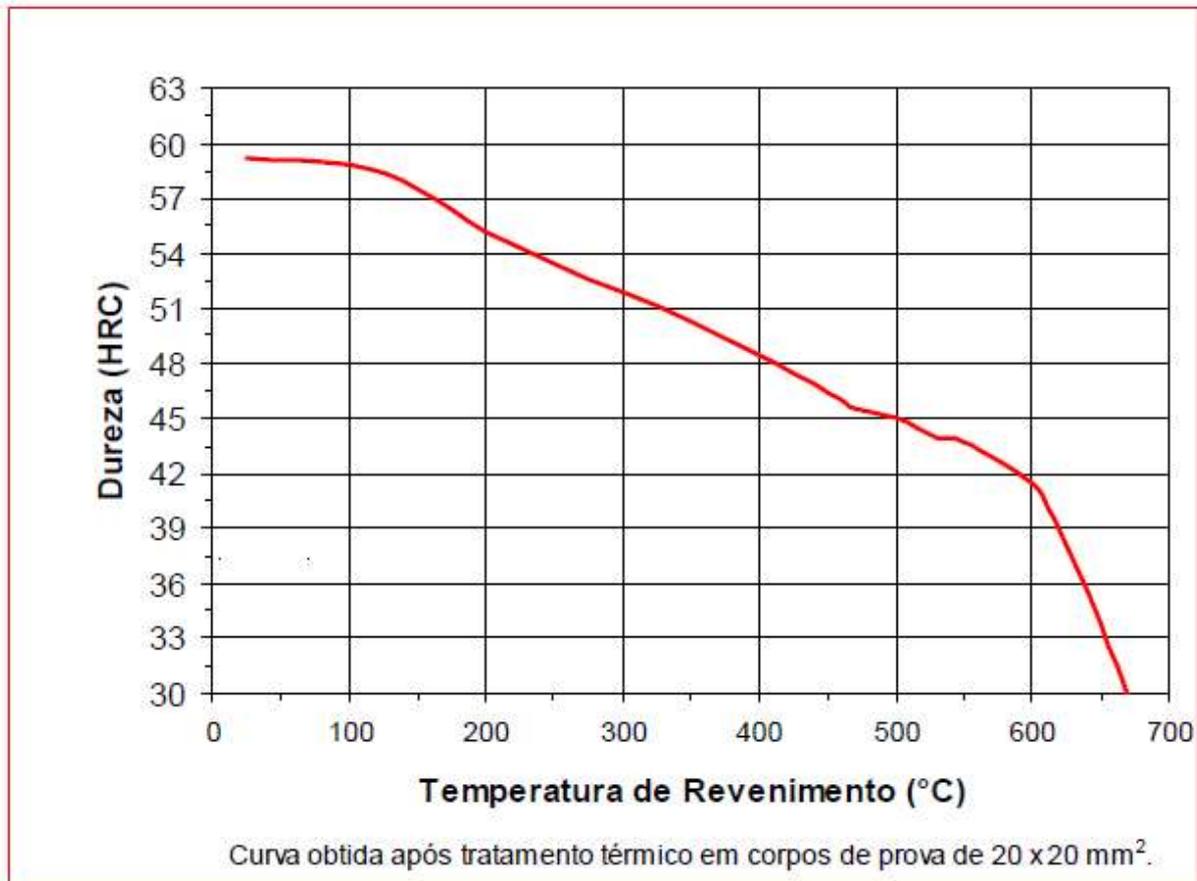
2.4.3. Têmpera para o VMO

Para o aço VMO, o aquecimento deve ser feito entre as temperaturas de 890 e 910°C com recomendação de pré-aquecimento das ferramentas. O meio mais apropriado para o resfriamento é o óleo com agitação e aquecimento entre 40 e 70°C (CEFET-SP, 2001; VILLARES, 2009).

2.4.4. Revenimento para o VMO

As ferramentas devem passar por um revenimento imediato após a têmpera e deve ser feito no mínimo 2 revenimento e, entre cada um deles, deve ser resfriado lentamente. A temperatura de revenimento deve ser escolhida de acordo com a dureza desejada conforme demonstra a figura abaixo. O tempo mínimo deve ser de 2 horas. Para peças maiores de 70 mm, o tempo deve ser calculado em função do tempo considerando 1 horas para cada polegada (CEFET-SP, 2001; VILLARES, 2009).

Figura 1- Gráfico de Revenimento



Fonte: (VILLARES, 2009)

2.5. Forno a banho de sal

Os fornos a banho de sal, requerem pelo menos de duas pessoas, para a têmpera de aços ferramentas, onde exige vários patamares de pré-aquecimento para se chegar na temperatura de austenização. Os pré aquecimentos são em fornos separados e de temperaturas diferentes em ordem crescente. ex: 500°C para 700°C para 850°C e então para o forno de austenitização. (SILVA e MEI, 2006)

2.6. Forno a vácuo

O forno a vácuo trabalha com um sistema automatizado do tipo 4.0, onde as peças são colocadas dentro forno na temperatura ambiente e após o fechamento da porta, a bomba de vácuo é acionada abaixando a pressão interna de 760 mmHg para 1mmHg ou 1 Tor (LEANDRO, 2013).

A partir desse momento é que se inicia o aquecimento do forno por meio de resistências de grafite em etapas pré determinadas por meio de um PLC, onde o aquecimento é gradativo e em etapas crescentes de patamares com a função de pré aquecimento. Por esse motivo em relação ao aço em questão e também em relação ao forno, para que o aquecimento não seja extremamente rápido e não venha provocar danos irreparáveis aos componentes internos do mesmo que por sua vez são de custos elevados. Todos os parâmetros do processo são inseridos em uma receita do PLC e que por sua vez faz o comando do forno. Nos parâmetros estão configuradas as velocidades de aquecimento em temperaturas e tempo de patamares de pré aquecimento até a temperatura de austenitização. Na temperatura de austenitização, as peças permanecem por um determinado tempo de encharque em função das suas dimensões e após o tempo concluído, o PLC fecha a válvula do vácuo, liga o circulador de ar e abre a válvula de nitrogênio iniciando-se o ciclo de resfriamento (LEANDRO, 2013).

O nitrogênio é introduzido no forno com uma pressão de 2 Bar como regra geral, principalmente pelo fator de segurança porque com o aumento dessa pressão existe o risco de explosão do forno (LEANDRO, 2013).

O forno a vácuo foi desenvolvido principalmente para a têmpera de aços de média e alta liga e especificamente para os aços ferramentas (LEANDRO, 2013).

Para esse aço VMO especificamente a Empresa TECTTERM adotou um sistema inovador no processo de resfriamento do nitrogênio, onde o mesmo passava por um trocador de calor confeccionado em serpentina de cobre e refrigerado por um tanque de 1700 litros de água o que não era o suficiente para a velocidade ideal de resfriamento do aço. O tanque de 1700 litros de água foi substituído por um de 3400 litros e que resultou em uma redução de 15°C do aquecimento da água e esse por sua vez acelerou a velocidade de resfriamento do aço austenitizado (LEANDRO, 2013).

As peças de aço VMO com uma espessura de até 70 mm e com uma carga de aproximadamente 100 Kg resultaram em uma transformação de austenita em martensita chegando a uma dureza após têmpera de 48 HRC e em conformidade com o especificado (LEANDRO, 2013; VILLARES, 2009).

O nosso trabalho foi desenvolvido com o aço VMO e tomando como referência a têmpera do aço H13, que por sua vez possui ótima temperabilidade em forno a vácuo que em condições normais de resfriamento atinge a dureza de 53 HRC em peças de até 200 mm com carga de até 400 Kg. Os aços de boa temperabilidade no forno a vácuo são os D6, D2, H13, HF800 e aços rápidos em geral (LEANDRO, 2013).

Quanto aos aços de média temperabilidade, o processo de resfriamento foi desenvolvido pela Empresa Tectterm, com o sistema de refrigeração acelerado, pelo aumento

da quantidade de água do trocador de calor e resultando em uma queda de temperatura de 1050°C, para 600°C em 15 minutos. Continuando com o processo de resfriamento, ou transformação de austenita em martensita, a porta do forno é aberta automaticamente, quando esse atinge a temperatura de 150°C (LEANDRO, 2013; VILLARES, 2009).

2.7. Transformações que ocorrem no decorrer do tratamento térmico mediante a velocidade de resfriamento.

O tratamento térmico possibilita alterar as propriedades físicas, aquecendo e resfriamento o material, sob circunstâncias controladas de temperatura, tempo, atmosfera e velocidade de resfriamento.

Quando acontece o resfriamento em ligas de ferro e carbono existe a viabilidade do aparecimento de vários tipos de estruturas estáveis ou de transição, dependendo da prática de resfriamento utilizado, em aços ligados de alta ou média liga. Essas estruturas e propriedades diferenciadas, geradas a partir do resfriamento, de um mesmo material inicial, é de grande interesse industrial e de grande relevância para aplicações na engenharia (MEI E SILVA, 1981)

A austenita é a forma estável do ferro puro entre 910°C e 1400°C, de estrutura cúbica de faces centrada. Quando resfriada lentamente, a austenita dará início a uma estrutura lamelar, denominada perlita, composta por ferrita e cementita, resfriando bruscamente se originará uma fase de transição, a martensita, de alta dureza (HONEYCOMBE, 1981)

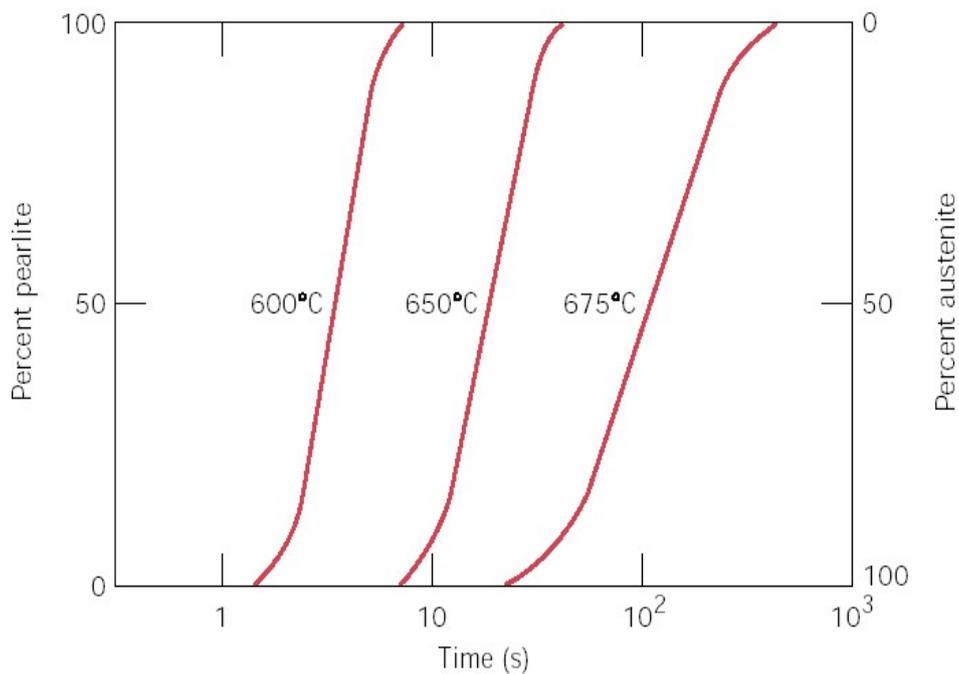
A martensita ocorre num resfriamento brusco, o suficiente para evitar a difusão do carbono, ficando o carbono retido em solução. Resultante disto, sucede a transformação para estrutura de corpo centrado tetragonal. A martensita não abrange a difusão, a sua formação ocorre imediatamente, independentemente do tempo, o carbono mantém-se intersticial, formando uma solução sólida de Ferro supersaturada com Carbono, que é capaz transformar-se em outras estruturas, por difusão, quando aquecida. Entre a perlita e a martensita, pode se formar a bainita, o qual sua estrutura é formada por placas de ferrita com carbonetos precipitados internamente (MEI E SILVA, 1981)

Para o entendimento dos diagramas utilizados nos tratamentos térmicos, são necessárias algumas informações isotérmicas ocorridas no aço. As estruturas concebidas quando a austenita converte-se isotermicamente é dada pelas curvas TTT (Temperatura, Tempo e Transformação).

2.7.1. Curvas TTT

Chamada transformação isotérmica, curva TTT ou em C, ou em S, são os fenômenos que ocorrem quando um aço é resfriado a diferentes tipos de velocidades, tomando-se os pontos de início de transformação da austenita, ou seja, o início e o término da formação da perlita, estabelecidas pela temperatura e o tempo (em escala logarítmica) de uma determinada transformação. A transformação da austenita para perlita obedecerá uma curva de reação isotérmica, como indica a figura 4 (CHIAVERINI, 1990)

Figura 2- Curva de reação isotérmica representativa da transformação da austenita em perlita



Fonte: (LEANDRO, 2013).

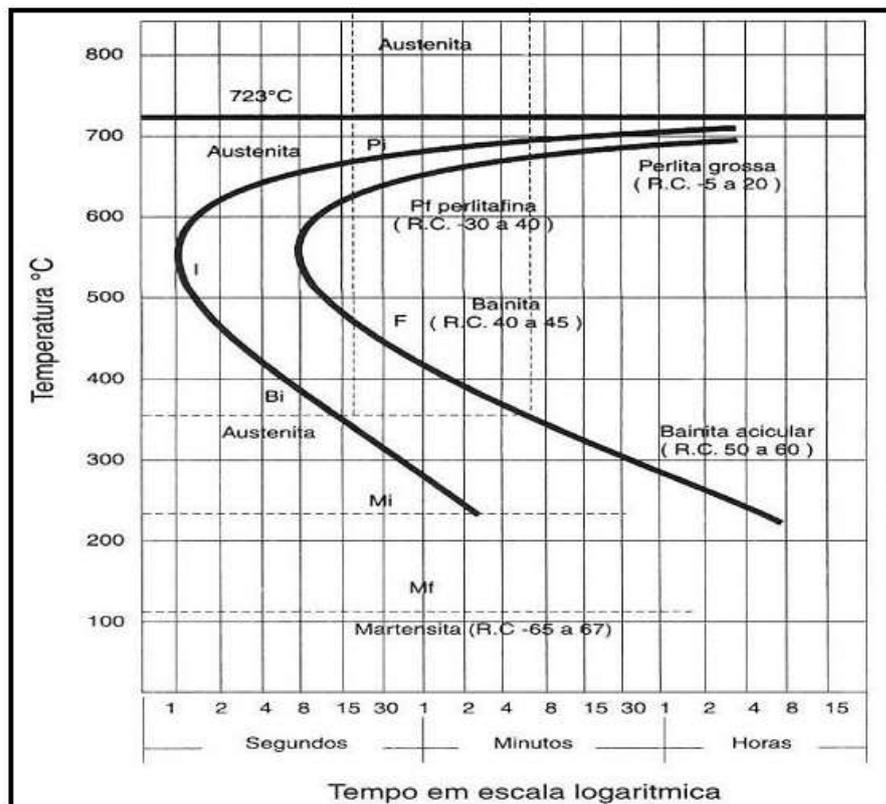
Para um melhor entendimento de como isso acontece, suponha que, corpos de prova de aço são aquecidos a uma temperatura acima da zona crítica obtenha estrutura inteiramente austenítica, depois são transferidos para um banho de chumbo ou sal fundido que está na temperatura abaixo da zona crítica onde são mantidos para observação. (HUME ROTHERY, 1968; HONEYCOMBE, 1981).

A amostra é mantida no banho líquido por um tempo desejável e logo depois é temperada em salmoura para que a austenita se transforme em martensita. Para casos em que as transformações no resfriamento ocorrem muito rapidamente é preferível a utilização do banho de chumbo em vez de banho de sal. As estruturas formadas podem ser analisadas por exame da microestrutura, e por métodos de metalografia, entre outros métodos. CHIAVERINI, (1990)

A estrutura produzida quando a austenita transforma-se isotermicamente é obtida

pelas curvas TTT. Para entendimento consideraremos um aço com teor de carbono aproximadamente de 0,77%. Estes aços resultam em somente dois produtos, perlita e bainita. Observa-se que a temperatura de austenitização Ac_3 equivale a $723^{\circ}C$ e estas transformações que aparecem no diagrama isotérmico, como na **figura 5**. Acima de cerca de $550^{\circ}C$ a $600^{\circ}C$ a austenita se transforma por completo em perlita, abaixo dessa temperatura até cerca de $450^{\circ}C$ formando-se tanto perlita como bainita. Por fim, entre $450^{\circ}C$ e $210^{\circ}C$ o produto de formação é somente bainita (SOUZA, MACHADO, 2015).

Figura 3- Diagrama da transformação isotérmica de um aço



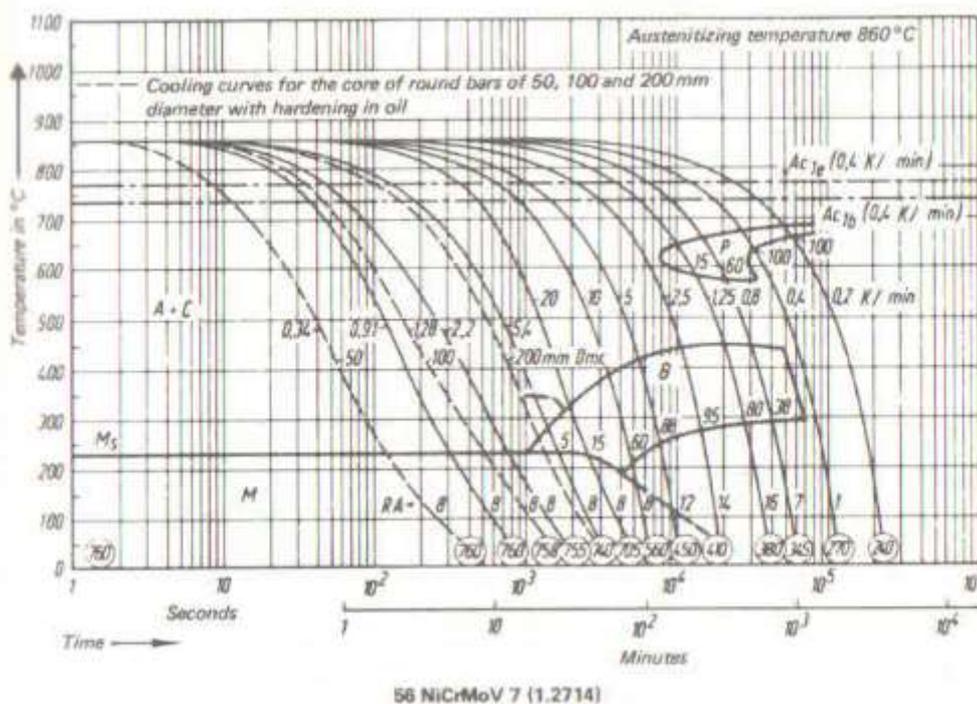
Fonte: (SOUZA, MACHADO, 2015).

Os diagramas TTT, não se aplicam às condições onde o resfriamento é contínuo e a austenização provém de temperaturas muito superiores. Para essas informações existem os diagramas de resfriamento contínuo CCT, onde determina a velocidade de resfriamento mais baixa que permite a formação de martensita. A tendência que um aço apresenta de formar estrutura martensítica quando temperado é a temperabilidade (SOUZA, MACHADO, 2015).

Um aço com alta temperabilidade apresenta estrutura martensítica mesmo quando for

resfriado mais lentamente, a partir da austenização, enquanto que um aço de baixa temperabilidade somente apresentará martensita a altas velocidades de resfriamento. No caso do VMO a velocidade de resfriamento torna-se crítica dependendo da massa do material, no caso de tratamento térmico em forno a vácuo, o resfriamento, a velocidade é de médio a lento, tornando o tratamento térmico do VMO uma dificuldade como descrita no presente. Como mostra a **figura 6** do aço VMO, se movermos a curva CCT para esquerda diminuimos a temperabilidade, movendo para direita a temperabilidade aumenta (LEANDRO, 2013)

Figura 4. Diagrama da transformação do aço VMO (1.2714)



Fonte: Norma DIM 17 350

2.8. Têmpera

Têmpera refere-se ao processo de resfriamento rápido das peças metálicas a partir da temperatura de austenitização ou de solubilização, tipicamente da faixa de 815 a 1250 ° C para os aços utilização da construção mecânica e aços ferramentas e inoxidáveis (COSTA e SILVA, MEI, 2006; CHIAVERINI, 1988).

Os aços inoxidáveis e de alta liga podem ser temperados para minimizar a presença de carbonetos nos contornos de grãos ou para melhorar a distribuição de ferrita, mas a maioria dos aços incluindo aço carbono, aço baixa liga e aços-ferramenta são temperados para produzir quantidades controladas de martensita na microestrutura (COSTA e SILVA, MEI,

2006; CHIAVERINI, 2003).

O endurecimento bem-sucedido normalmente significa alcançar a microestrutura, a dureza, a resistência ou a tenacidade necessária, minimizando a tensão residual, a distorção e a possibilidade de trincas (TSCHIPTCHIN, 2012; VALE, 2011).

A seleção de um meio de resfriamento depende da temperabilidade da liga em particular, da espessura da seção e da forma envolvida e das taxas de resfriamento necessárias para atingir a microestrutura desejada (COSTA e SILVA, MEI, 2006; CHIAVERINI, 1988).

Os meios de resfriamento mais comuns são líquidos ou gases. Os meios líquidos comumente usados incluem:

- Óleo que pode conter uma variedade de aditivos
- Água
- Soluções de polímeros aquosos
- Água que pode conter sal ou aditivos cáusticos

Os meios gasosos mais comuns são gases inertes, incluindo hélio, argônio e nitrogênio. Estes meios são usados às vezes após a austenitização em um Forno a Vácuo. A habilidade de um refrigerante para endurecer o aço, depende das características de resfriamento do meio de têmpera (TSCHIPTCHIN, 2012; VALE, 2011).

A eficácia da têmpera depende da composição do aço, do tipo de refrigerante ou das condições de uso. O design do sistema de têmpera e a precisão com que o sistema é mantido também contribuem para o sucesso do processo (TSCHIPTCHIN, 2012; VALE, 2011).

O objetivo do processo de têmpera é resfriar o aço a partir da temperatura de austenitização de forma suficientemente rápida para formar as fases micro estruturais desejadas, às vezes bainita, mas mais frequentemente martensita. A função básica do meio refrigerante é controlar a taxa de transferência de calor da superfície da peça que está sendo temperada (TSCHIPTCHIN, 2012; VALE, 2011).

A taxa de extração de calor por um meio refrigerante e a maneira como ele é usado, afeta substancialmente o desempenho desejado. Variações nas práticas de têmpera resultaram na atribuição de nomes específicos a algumas técnicas de têmpera:

- Têmpera Direta
- Têmpera com resfriamento ao ar

Têmpera por resfriamentos em meios de diferentes temperaturas

- Têmpera por Pulverização
- Têmpera por névoa
- Têmpera Interrompida

A têmpera direta refere-se à têmpera diretamente a partir da temperatura de

austenitização e é de longe a prática mais amplamente utilizada. O termo resfriamento direto é usado para diferenciar este tipo de ciclo de práticas mais indiretas que podem envolver carburação, resfriamento lento, reaquecimento, seguido por têmpera (TSCHIPTCHIN, 2012; VALE, 2011).

2.9. Revenimento

É um processo no qual o aço previamente endurecido é aquecido a uma temperatura abaixo da temperatura crítica inferior e resfriado ao ar até a temperatura ambiente, com a finalidade de elevar a tenacidade ou a ductilidade. Os aços são revenidos para obter valores específicos de propriedades mecânicas e também para aliviar as tensões de têmpera e garantir a estabilidade dimensional. Também esse processo é utilizado para aliviar as tensões e reduzir a dureza desenvolvida durante a soldagem e aliviar tensões induzidas pela conformação e usinagem. (COSTA e SILVA, MEI, 2006; TSCHIPTCHIN, 2012).

2.9.1. Principais Variáveis

Variáveis associadas ao revenimento, que afetam a microestrutura e as propriedades mecânicas de um aço revenido incluem:

- Temperatura de revenimento
- Tempo na temperatura
- Taxa de resfriamento a partir da temperatura de revenimento
- Composição do aço, incluindo teor de carbono, teor de liga e elementos residuais

Em um aço temperado com uma microestrutura que consiste essencialmente em martensita, o reticulado de ferro é alongado pelos átomos de carbono, produzindo a alta dureza dos aços temperados. Após o aquecimento, os átomos de carbono se difundem e reagem em uma série de etapas distintas que eventualmente formam o Fe₃C ou um carboneto de liga em uma matriz de ferrita que diminui gradualmente o nível de tensões. As propriedades do aço temperado são determinadas principalmente pelo tamanho, forma, composição e distribuição dos carbonetos que se formam, com uma contribuição relativamente menor do endurecimento por solução sólida da ferrita (COSTA e SILVA, MEI, 2006).

Essas alterações na microestrutura geralmente diminuem a dureza, a resistência à tração e a resistência ao escoamento, mas aumentam a ductilidade e a tenacidade. Sob certas condições, a dureza pode não ser afetada pelo revenido ou pode até ser aumentada como resultado disso. Por exemplo, o revenimento de um aço endurecido a temperaturas de revenido muito baixas pode não causar alteração na dureza, mas pode alcançar um aumento

desejado na resistência à deformação. Além disso, os aços de liga que contêm um ou mais elementos formadores de carboneto (cromo, molibdênio, vanádio e tungstênio) são capazes de apresentar endurecimento secundário; isto é, eles podem se tornar um pouco mais resistentes (duros) como resultado do revenimento COSTA e SILVA, MEI, 2006)

Temperatura e tempo são variáveis interdependentes no processo de têmpera. Dentro dos limites, a redução da temperatura e o aumento do tempo geralmente podem produzir o mesmo resultado que o aumento da temperatura e a diminuição do tempo. No entanto, pequenas mudanças de temperatura têm um efeito muito maior do que pequenas mudanças de tempo em operações típicas de revenimento. Com poucas exceções, o revenido é feito em temperaturas entre 175 e 705 ° C (350 e 1300 ° F) e por períodos de 30 minutos a 4 horas TSCHIPTCHIN, 2012; VALE, 2011).

2.10. Metalografia

A metalografia é uma das ferramentas mais valiosas dos metalurgistas. Desde o trabalho pioneiro de Henry Clifton Sorby em petrografia e metalografia na década de 1860, uma infinidade de técnicas foi desenvolvida (particularmente durante os últimos 40 anos) e aplicada ao estudo e caracterização de metais e outros materiais de engenharia, como cerâmicas e polímeros. Além do microscópio óptico convencional, o cientista de materiais pode utilizar microscópios eletrônicos e implementar técnicas de caracterização, como difração de raios X, análise de microsonda eletrônica e microscopia de campo iônico (ASM, METALS HANDBOOK, 2002).

A metalografia é tanto uma arte quanto uma ciência. A arte reside nas técnicas usadas para preparar um espécime - seccionamento, montagem, polimento, polimento e ataque - e para fotografar um espécime. Quando corretamente realizadas, essas técnicas resultam em uma micrografia que é uma representação verdadeira da microestrutura de um material e uma fotografia lindamente executada (COPAERT, 1974).

Atenção é dada aos problemas que podem ser encontrados e métodos para seu controle e eliminação (COPAERT, 1974).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Foi realizado o tratamento térmico de têmpera do aço ferramenta para trabalho a quente, com a designação comercial VMO (Villares metals), utilizando o forno a vácuo da empresa TECTTERM. De acordo com as figuras.

Figura 5- Forno a vácuo fechado



Fonte: Autor

Figura 6 - Forno a vácuo aberto



Fonte: Autor

Figura 7-Tanque de resfriamento do forno à vácuo



Fonte: O Autor

Figura 8- Tanque resfriamento do forno à vácuo



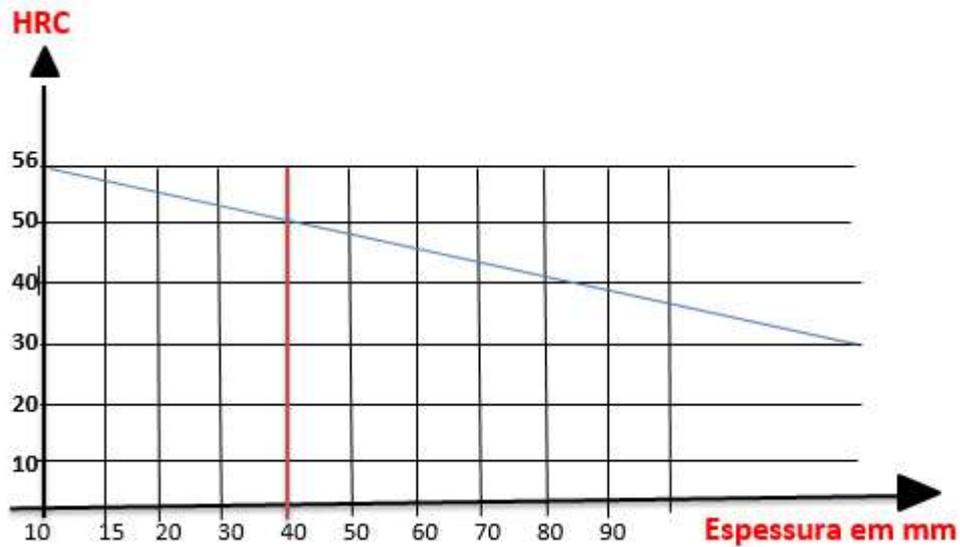
Fonte: O Autor

O material foi analisado pelo método de emissão óptica em um microscópio de marca olympus, modelo BX51M. Comparando se a composição química deste material analisado, com a do aço VMO, verificou-se que o mesmo se encontra em conformidade.

As amostras foram colocadas no Forno a Vácuo e aquecidas a temperatura de 900°C, para o processo de austenitização, por um tempo de encharque de 3 horas, sob uma potência de 65 KW. Depois de concluído a austenitização, iniciou-se o processo de resfriamento e foi injetado nitrogênio com uma pressão de 2 BAR até chegar a temperatura de aproximadamente 150°C, depois resfriado ao ar até 60°C, onde inicia-se os revenimentos a temperatura de 580°C, por dois ciclos de 2 horas, feito em forno a ar forçado.

Concluído os processos de tratamentos térmicos, os (cdps) foram inspecionados, quanto a dureza final obtida, por um durômetro Wilson em escala HRC e os valores encontrados, foram de 45 e 48.

**Figura 11 - Diagrama de Temperabilidade
Dureza resultante em função da espessura da peça
Austenitização a 1040°C
Forno a Vácuo Tectterm**



Fonte: O autor

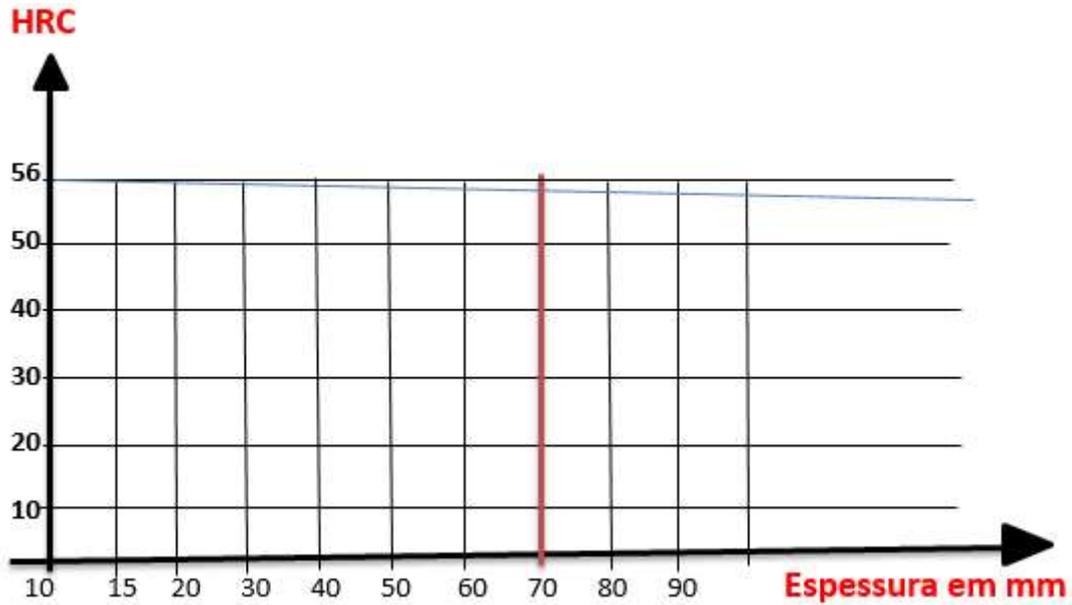
mm	HRC
10	56
20	53
30	52
40	50

Espessura máxima 40 mm

e = 40 mm → 1040°C → 50 HRC

Anteriormente era utilizado para o processo de refrigeração do nitrogênio, onde o mesmo passava por um trocador de calor confeccionado em serpentina de cobre e refrigerado por um tanque de 1700 litros de água o que não era o suficiente para a velocidade ideal de resfriamento, limitando a espessura do aço VMO em 40 mm para uma dureza resultante de 50 HRC.

**Figura 12- Diagrama de Temperabilidade
Dureza resultante em função da espessura da peça
Austenitização à 1040°C
Forno a Vacuo Tectterm**



Fonte: O autor

Mm	HRC
10	56
70	55

Espessura máxima 70 mm

e = 70 mm → γ 1040°C → 55 HRC

O tanque de 1700 litros de água foi substituído por um de 3400 litros e que resultou em uma redução de 15°C do aquecimento da água e esse por sua vez acelerou a velocidade de resfriamento do aço austenitizado. As peças de aço VMO com uma espessura de até 70 mm e com uma carga de aproximadamente 100 Kg resultaram em uma transformação de austenita em martensita chegando a uma dureza após têmpera de 55 HRC e em conformidade com o especificado

Além dos ensaios de dureza, foram realizadas as análises metalográfica, por um microscópio óptico Olympus de mesa e fotografadas por uma câmera digital Olympus acoplada ao mesmo microscópio.

Procedimento de Preparação Metalográfica

O processo de análise metalográfica, foi a seguinte: Primeiramente a amostra foi

cortada, numa cortadeira arotec, com refrigeração a água, para a peça não sofrer nenhum aquecimento, e podendo mudar a sua microestrutura.

Figura 9- Cortadeira arotec



Fonte: Autor

Após o corte, a peça foi colocada em uma embutidora Arotec, a quente chegando a temperatura de 150°C, fundindo a baquelite, fazendo que a mesma fique homogênea, e com o resfriamento tornando se em uma base sólida para a peça.

Figura 10- Embutidora a quente Arotec



Fonte: Autor

Após o embutimento, iniciou-se o lixamento da amostra, o qual foram utilizadas lixas de granulometria, 180, 200, 320, 400, 600, 800, 1.000 e 1.200 de maneira decrescente da mais grossa até a mais fina.

O processo foi realizado da seguinte maneira: segurar a amostra com as mãos, pressionando-a contra a lixa de maneira firme, para não gerar um abaulamento da amostra. Para o lixamento foi utilizado água corrente abundante, para evitar o aquecimento da amostra.

A troca entre uma lixa e outra foi acompanhada de uma rotação da amostra de 90°, de maneira que os riscos deixados pela lixa anterior fossem removidos pela lixa atual, tornando dessa forma a superfície da amostra cada vez mais isenta de riscos.

Figura 11 – Lixadeira Arotec



Fonte: Autor

O polimento foi realizado por uma politriz. Fez-se o uso de panos específicos para o polimento com a adição do abrasivo alumina 0,5 um, e água destilada. Com o aparelho desligado colocou-se sobre o pano a alumina e água destilada. A técnica utilizada no lixamento foi a mesma empregada para o polimento até que uma superfície espelhada fosse alcançada.

Figura 12- Politriz arotec universal



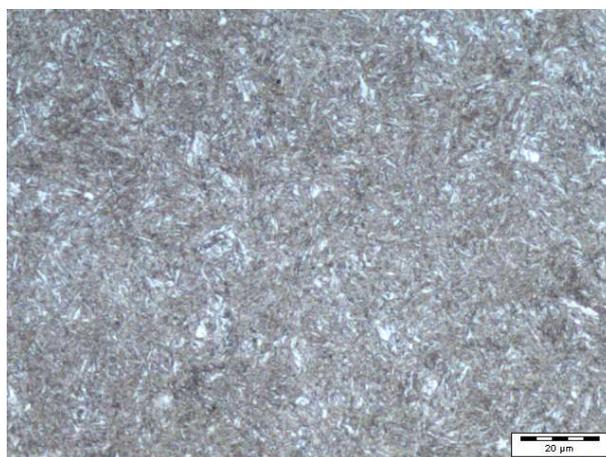
Fonte: Autor

Enfim, foi realizado o ataque químico. Utilizou-se a técnica por imersão conforme norma ASTM E3/2011. O reagente escolhido foi o NITAL 5% (5 ml HNO₃ + 95 ml de CH₃CH₂OH) e os critérios de aceitação conforme ASTM E7.

Com o ataque bem-sucedido, levou-se a amostra para observação no microscópio Olympus, onde foi possível verificar quais as fases presentes no metal.

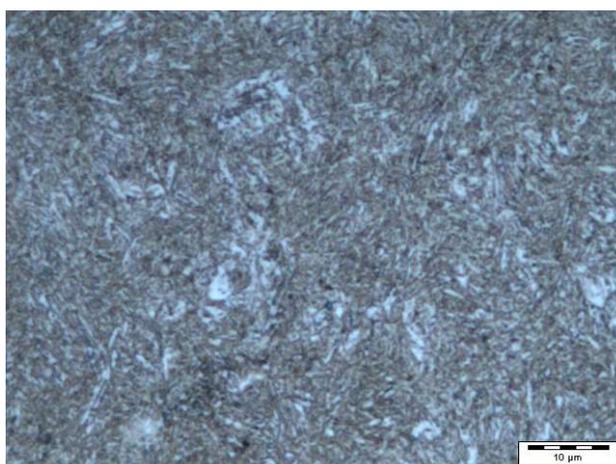
As imagens a seguir, comprovam as microestruturas de martensita revenida (regiões escuras), do aço VMO temperado em forno a vácuo e revenido em forno de atmosfera neutra com duplo revenimento de 580° C por duas horas cada.

Figura 13- Martensita revenida ampliação de 500X



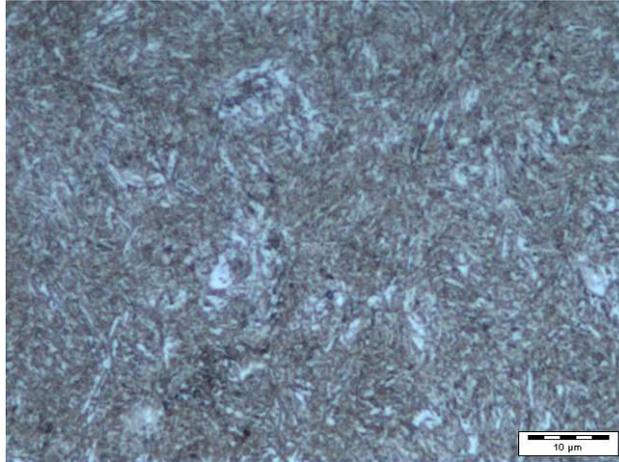
Fonte: Autor

Figura 14- Martensita revenida ampliação de 1000X



Fonte: Autor

Figura 15- Martensita revenida ampliação de 1000X



Fonte: Auto

4. CONCLUSÃO

Perante os dados apresentados, concluímos que se torna possível à obtenção de excelentes resultados de dureza após a Têmpera do Aço VMO em Forno a Vácuo.

O que não era possível de se obter com peças de 40 mm de espessura, hoje se torna possível com peças de até 70 mm e com uma dureza resultante de 55 HRC.

Este resultado só foi possível após a instalação de um sistema de refrigeração do nitrogênio e que por sua vez acelerou a velocidade de resfriamento do aço em questão, transformando toda a austenita em martensita.

Assim sendo, podemos dizer que através deste novo desenvolvimento os fornos em banho de sais tanto para os pré-aquecimento e tanto de austenitização são mais uma vez substituídos pelo Forno a Vácuo com tecnologia limpa sem resíduos, insumos e não agressiva ao meio ambiente.

REFERÊNCIAS

ASM, METALS HANDBOOK, **Metallography and Microstructures**, vol. 9, 2002.

CALLISTER, W, D. **Materials Science and Engineering** – Jonh Wiley & Sons, Inc., New York: 1991 p.113; 141- 146.

CEFET- SP. **Informações gerais sobre os aços**. São Paulo, 2001. Disponível: <http://www.associacaodeinspetores.com.br/arquivos/arquivo_artigo/be8263845f3ec3c3167cf64ffcbc22ac.pdf> Acesso em: 02. Outubro. 18.

CHIAVERINI V. **Aços e Ferros fundidos**. 6ª ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia, 1988. 48

CHIAVERINI, V. **Tratamentos térmicos das ligas metálicas**. 1ª ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2003.

COLPAERT, H. **Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns**. 4º ed. São Paulo: Blucher, 2008.

COSTA e SILVA, A. L., & MEI, P. R. (2006). **Aços e Ligas especiais**. São Paulo: Edgard Blücher.

HONEYCOMBE, R. W. K. **Aços: microestrutura e propriedades**. Londres, Edward Arnold Ltd, 1981.

LEANDRO, C. **Termodinâmica aplicada à metalurgia: teoria e prática** / César Leandro – 1 ed. São Paulo: Érica, 2013.

LEANDRO, M. R. **Estudos das Propriedades Mecânicas dos Aços H13 E “H13 Modificado” Aplicados em Matrizes De Extrusão de Alumínio**. 2009. 83 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo Escola de Engenharia de Lorena, Lorena, 2009.

SOUZA, D. A.; MACHADO. R. **Parametização de uma atmosfera neutra para fornos de revenimento resistivo**. 2015. P. **Trabalho de Graduação** (Curso Superior de Tecnologia em Processos Metalúrgicos) Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. Pindamonhangaba. 2015.

VALE, A. R. M. **Tratamento térmico**. **Apostila Ciência e Tecnologia**. Instituto Federal de Educação. Belém. 2011.

TSCHIPTCHIN, A. P. **Tratamento térmico dos aços. Dissertação de Mestrado.** EPUSP Engenharia Metalúrgica e de materiais. 2012. Disponível em <<https://ir.nctu.edu.tw/bitstream/11536/21012/1/000314074400010.pdf>> Acesso em: 17.Setembro.18