

# **Estudo do tratamento térmico de têmpera do aço-ferramenta VMO sob duas diferentes condições de resfriamento <sup>1</sup>**

J.C.Vendramim <sup>2</sup>  
Mario L.Nunes <sup>3</sup>  
Gilberto Munhoz <sup>4</sup>

## **Resumo**

O aço-ferramenta DIN 1.2714, ou “VMO” da marca comercial Villares Metals, é utilizado no setor metal-mecânico na forma de matrizes de forjamento em martelo, prensas, porta-molde de matrizes e moldes de grandes dimensões e suporte de conjunto de matriz de extrusão de alumínio. Essas aplicações requerem um produto final obtido do tratamento térmico com a melhor propriedade mecânica.

Este trabalho estuda duas diferentes condições de resfriamento no processo de tratamento térmico de têmpera do aço-ferramenta DIN 1.2714, sendo uma com aquecimento em forno a vácuo e resfriamento com gás nitrogênio sob pressão (4,5Bar); e a segunda em forno de atmosfera (Ipsen) e resfriamento em um tanque com óleo a 60°C. Utilizou-se em um bloco de aço nas dimensões de 90x228mm com furos para alojamento de corpos de prova de dimensões de 10x10x90mm e posterior ensaio Charpy, exame metalográfico – óptico e MEV – e de durezas.

Palavras-chave: têmpera; aço; matriz

---

1 – Seminário TTT “Temas de Tratamento Térmico” – 2006

2 – Isoflama Ind. e Com. de Equip. Ltda – Engenharia e Vendas

3 – Fem-Unicamp – Depto. de Conformação dos Metais; Doutorando.

5 – Alcoa Alumínio – Chefe Ferramentaria Sorocaba

## Introdução

A indústria do setor metal-mecânico utiliza o aço-ferramenta WNr. 1.2714, marca “VMO” Villares Metals, como matriz de forjamento a quente em martelo, ou em prensas, porta-molde de matrizes e moldes de grandes dimensões e suporte de conjunto de matriz de extrusão de alumínio. O aço VMO tem na propriedade “tenacidade” (capacidade de absorver energia na fase plástica) uma boa razão para aplicações industriais que envolvem impactos, além da razoável resistência mecânica em altas temperaturas e, portanto, boa resistência ao revenimento.

Esse aço é, geralmente, fornecido em blocos recozidos pelo fabricante com dureza da ordem de 250 HB [1] para facilitar a operação de usinagem. A etapa seguinte seria submeter a ferramenta construída nesse aço ao tratamento térmico de têmpera e revenimento em fornos de aquecimento, por exemplo, com atmosfera protetora (atmosfera redutora para evitar a decarbonetação) e resfriamento em óleo. O fabricante do aço não menciona, e indiretamente poderia não recomendar, o tratamento térmico desse aço em forno que utiliza a tecnologia do “forno a vácuo” para aquecimento e resfriamento em gás inerte nitrogênio sob pressão em função da menor “*temperabilidade*” (no contexto do tratamento térmico dos aços-ferramenta, seria a capacidade do aço formar o microconstituente “martensita” no resfriamento a partir da temperatura de austenitização [2]).

O aço VMO é produzido com a seguinte composição química média [1], como mostrado na tabela 1

Tabela 1 – Composição química média de fabricação do aço VMO

C	Mn	Cr	Ni	Mo	V
<b>0,57</b>	<b>0,70</b>	<b>1,10</b>	<b>1,65</b>	<b>0,50</b>	<b>0,10</b>

- Normas similares do aço VMO: DIN 56 NiCrMoV7; 6F3 (ASTM); JIS G 4404 (1972) Tipo SKT 4

A baixa presença de elementos de liga no aço VMO indicaria que a propriedade *temperabilidade* não seria *adequadamente* atendida. A máxima

dureza a uma determinada profundidade é dependente da espessura da ferramenta e das condições de resfriamento no tratamento térmico. A recomendação do fabricante para utilizar resfriamento em óleo estaria associada à baixa temperabilidade desse aço. Entretanto não é incomum se utilizar resfriamento com gás nitrogênio sob pressão da tecnologia de forno a vácuo nas ferramentas construídas em aço VMO para algumas aplicações.

Em função das duas tecnologias disponíveis para o tratamento térmico desse aço, este trabalho descreve o estudo realizado para duas condições de resfriamento e respectivos efeitos na dureza e microestrutura:

## Metodologia

Um bloco do aço VMO foi preparado para alojar os corpos de prova sem entalhe de dimensões conforme norma para a realização de ensaio Charpy. A Figura 1 apresenta o bloco de aço utilizado neste estudo e indica o local onde se alojou os corpos de prova e os respectivos termopares para monitoramento da temperatura no forno a vácuo.

- Dimensões do bloco: 90 x 228 mm
- Dimensões do corpo de prova alojado em orifícios de 10 x 10 x 90 mm.

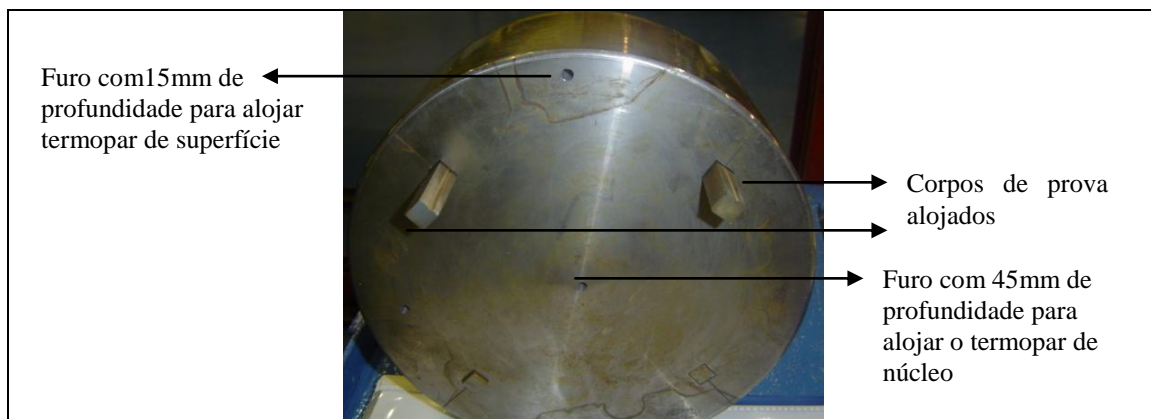


Figura 1 – Bloco de aço VMO utilizado para o tratamento térmico

Os parâmetros de tratamento térmico utilizados para o bloco de aço deste estudo da Figura 1 estão descritos na Tabela 1, abaixo:

Tabela 1 – Descrição dos parâmetros de tratamento térmico

<b>Descrição</b>	<b>Forno a Vácuo</b>	<b>Forno Atmosfera</b>
Temperatura de austenitização	900° C	910° C
Tempo à temperatura de austenitização	30 min	30 min
Resfriamento	N2 - 4,5 Bar	Óleo – 60°C
Temperatura de revenimento	440° C	460° C
Tempo à temperatura de revenimento	3h	3h

Para o tratamento térmico em forno a vácuo utilizou-se dois termopares de contato para monitorar a evolução das temperaturas da superfície e núcleo, conforme norma NADCA (“North American Die Casting Association”) [3].

O ciclo térmico do forno de atmosfera não foi monitorado com termopar de contato no bloco de aço em função das dificuldades técnicas inerentes ao processo. A monitoração foi visual através do termopar da câmara do forno sem registro gráfico. Os revenimentos foram dois e à mesma temperatura nas duas condições de resfriamento.

A microestrutura do corpo de prova foi examinada pela técnica da microscopia óptica e com a técnica da microscopia eletrônica de varredura. O microscópio de varredura é IBM, fabricante Jeol, modelo JxA-840<sup>a</sup>, do laboratório metalográfico da Faculdade de Engenharia Mecânica da Unicamp. A microestrutura dos corpos de prova foi examinada para as condições descritas, a seguir:

- Superfície;
- Sub-superfície, a 10 mm da superfície; e
- Núcleo

A dureza Rockwell C, conforme norma NBR 146.1, foi examinada nos mesmos locais da inspeção realizada para a microestrutura. Os corpos de prova de dimensões 10x10x55 mm foram ensaiados na máquina Charpy no laboratório de ensaios mecânicos da Faculdade de Tecnologia “Fatec” da cidade de Sorocaba, SP. A Figura 3 é um desenho esquemático da seção transversal do bloco de aço, do corpo de prova alojado neste e respectivos locais considerados para a inspeção metalográfica.

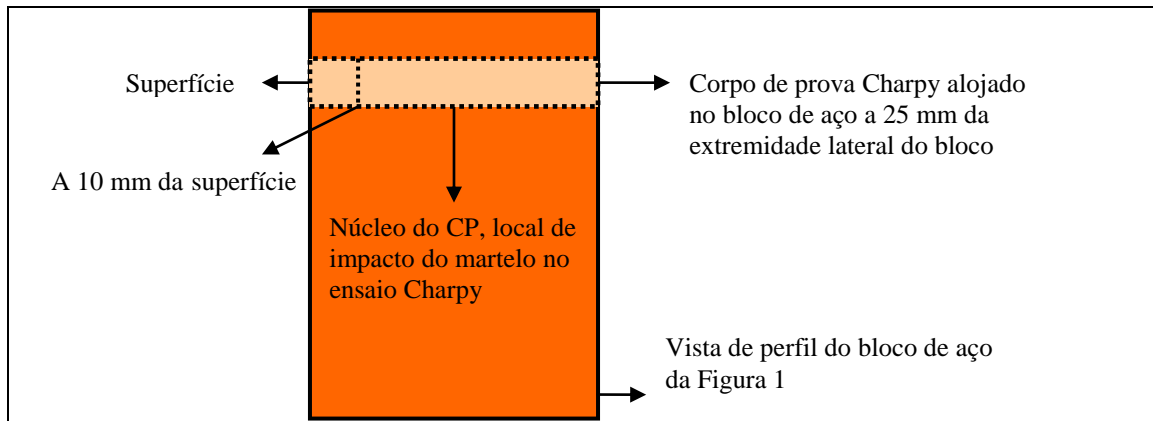


Figura 3 – Desenho esquemático do perfil do bloco de aço e localização do alojamento do corpo de prova Charpy

## Resultados e Discussão

A inspeção metalográfica realizada nos locais indicados na Figura 3 mostrou microestruturas diferentes para as condições de resfriamento consideradas neste estudo. Para as duas situações de resfriamento – nitrogênio e óleo – a superfície apresenta microestrutura constituída de martensita revenida e carbonetos dissolvidos, conforme Figura 4.

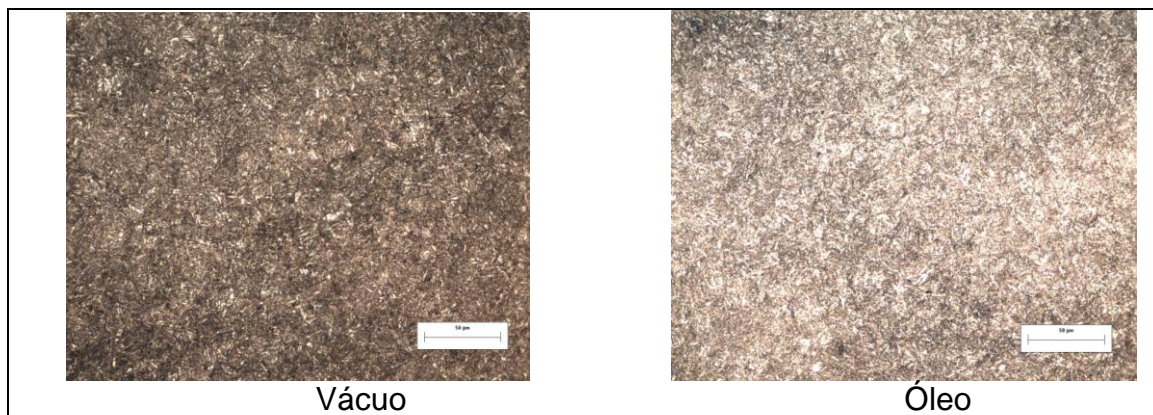


Figura 4 – Microestruturas da superfície para “vácuo” e “óleo”. Aumento 500x

Para a sub-superfície, a 10 mm de profundidade, a microestrutura ainda apresenta similitudes para as duas condições de resfriamento, como mostrado na Figura 5.

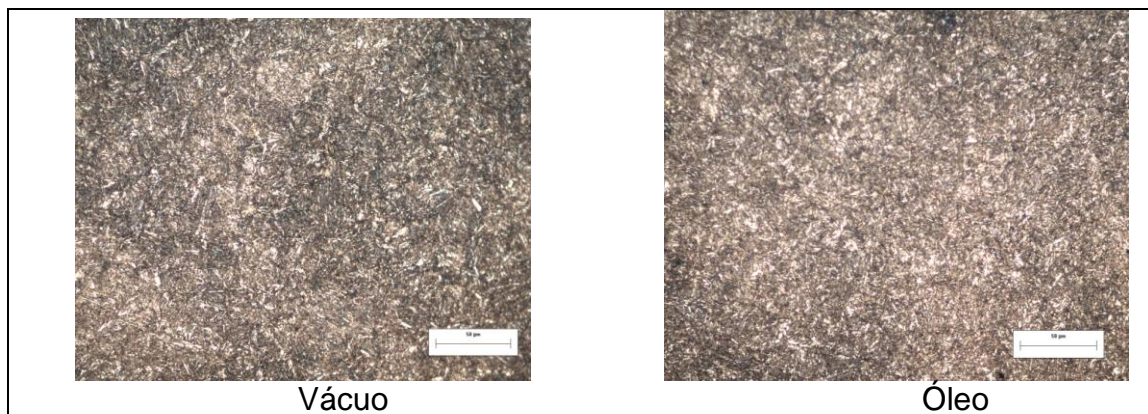


Figura 5 – Microestruturas na sub-superfície (a 10mm). Aumento 500x

A Figura 6 mostra as microestruturas formadas na região correspondente ao centro, ou núcleo, do corpo de prova, área onde ocorre o impacto do martelo do ensaio Charpy. O corpo de prova com resfriamento em vácuo mostrou microestrutura na área central do corpo de prova constituída de agulhas martensita revenida e bainita, sendo que a amostra com resfriamento em óleo apresentou martensita revenida. O resfriamento no gás nitrogênio sob pressão (forno a vácuo) promoveu transformação microestrutural mais lenta que o resfriamento em óleo. A inspeção de dureza no corpo de prova confirmou a diferença de microestrutura apenas para a área central do corpo de prova, conforme mostra a Tabela 2.



Figura 6 – Microestruturas na região central do corpo de prova. Aumento 500x

Tabela 2 – Resultados da inspeção de dureza para Vácuo e Óleo

Local	Dureza HRC – Vácuo / Óleo			
	1	2	3	Média
Superfície	48 / 46	48 / 47	48 / 46	48 / 46
a 10 mm Sup	46 / 44	47 / 45	46 / 46	46 / 45
Centro	36 / 43	38 / 43	40 / 44	38 / 43

O ensaio Charpy mostrou resultados diferentes para as amostras com resfriamento em nitrogênio e óleo. A amostra com resfriamento com gás nitrogênio sob pressão não desenvolveu comportamento frágil à fratura, ou seja, não rompeu com o impacto do martelo, enquanto a amostra com resfriamento em óleo mostrou fratura com energia de 27,1 e 28,7 kg.m, respectivamente. O corpo de prova com resfriamento em nitrogênio sob pressão absorveu a energia do impacto do martelo provocando deformação sem rompimento. A microestrutura de martensita revenida uniforme é a melhor condição para combinar excelentes propriedades de resistência mecânica e tenacidade

A Figura 7 mostra os corpos de prova depois da realização dos ensaios Charpy.

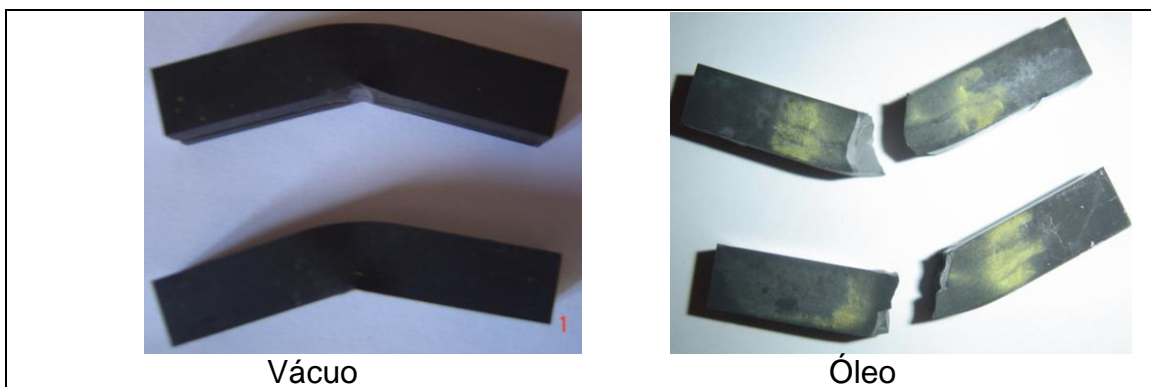


Figura 7 – Corpos de prova depois do ensaio Charpy.

A Figura 8 mostra as microestruturas obtidas na inspeção metalográfica por microscopia eletrônica de varredura do corpo de prova ensaiado com fratura no Charpy. Nessa inspeção se observou que os micromecanismos de fratura desenvolvidos na face de fratura durante o ensaio Charpy são do tipo “quase clivagem” (Figura 8a) e “dimples” [4] (Figura 8c).

O impacto do martelo na superfície do corpo de prova está assinalado na Figura 8b que mostra como se propagou a trinca até a ruptura final.

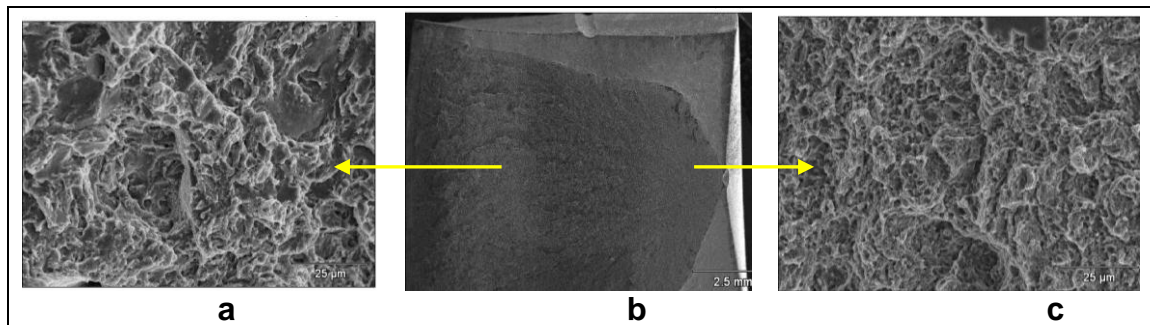


Figura 8 – Microestrutura do MEV; a) Aumento 10x; b e c) Aumento 1000x

## Conclusão

O aço VMO testado neste trabalho mostrou que para as condições descritas na Figura 1 o resfriamento com gás nitrogênio sob pressão não desenvolveu microestrutura uniforme até a região central, sendo observado a presença de microconstituente bainita.

A dureza da área central do corpo de prova com resfriamento com gás nitrogênio e no óleo resultou em valores diferentes depois do revenimento.

O ensaio de impacto Charpy para medir o comportamento a fratura frágil do aço VMO nas duas condições de resfriamento não apresentou fratura para o corpo de prova com resfriamento no gás nitrogênio, enquanto o corpo de prova com resfriamento em óleo desenvolveu fratura frágil.

## Referências bibliográficas

- [1] Catálogo de aços Villares Metals - 2004
- [2] Steels. Microstructure and Properties, R. W. K. Honeycombe, Edward Arnold, London, 1981
- [3] NADCA – North American Die Casting Association
- [4] Tool Steel – George Roberts, 5th Edition, 1997 - ASM



]

## **Estudo do tratamento térmico de têmpera do aço-ferramenta VMO sob duas diferentes condições de resfriamento <sup>1</sup>**

J.C.Vendramim <sup>2</sup>  
Mario L.Nunes <sup>3</sup>  
Jan Vataavuk <sup>4</sup>  
Gilberto Munhoz <sup>5</sup>

### **Abstract**

The tool steel DIN 1.2714, " VMO " of Villares Metals commercial mark, is used in the metal-mechanic sector like hammer, or presses, in hot conforming, door-mold of dies and molds of great dimensions and support of aluminum extrusion dies. Those applications request an obtained final product of the heat treatment with the best mechanical property.

This work studies two different cooling conditions in the process of heat treatment of hardening of the tool steel DIN 1.2714, being one with heating in oven to vacuum and cooling with gas nitrogen under pressure (4,5Bar); and second condition in atmosphere oven (Ipsen) and cooling in a tank with oil to 60°C. It was used in a block of steel in the dimensions of 90x228mm with holes for lodging bodies proof of dimensions 10x10x90mm and subsequent Charpy test, metallography inspection - optical and MEV - and hardness inspections.

Words-keys: hardening; steel; dies

- 1 – Seminário TTT “Temas de Tratamento Térmico” – 2006
- 2 – Isoflama Ind. e Com. de Equip. Ltda – Engenharia e Vendas
- 3 – Fem-Unicamp – Depto. de Conformação dos Metais; Doutorando.
- 5 – Alcoa Alumínio – Chefe Ferramentaria Sorocaba