



REVISÃO SOBRE EFEITO DA TAXA DE RESFRIAMENTO DURANTE A TÊMPERA E PROPRIEDADES DOS AÇOS PARA TRABALHO A QUENTE¹

Wharley Albino da Silva²

Rafael Agnelli Mesquita³

Thiago Brito⁴

Resumo

Dentre as diversas aplicações dos aços ferramenta na indústria, tem se destacado como especial interesse de estudo os aços desenvolvidos para trabalhos a quente, utilizados na fabricação das matrizes para moldes de injeção de ligas de alumínio, ferramentas para forjamento ou processos de extrusão. Estes possuem características metalúrgicas dispostas em diversos intervalos de composições, dentre estes o aço Tenax 300®, que apresenta como características principais uma tenacidade superior aos aços série tipo (H), maior condutividade térmica, boa resposta em aplicações que exijam resistência à formação e propagação de trincas térmicas e mecânicas, nas quais a tenacidade é propriedade determinante para a vida da ferramenta. Tanto a tenacidade quanto a dureza, são propriedades obtidas através dos tratamentos térmicos de têmpera e revenimento apropriados, onde a relação tempo, temperatura e taxas de resfriamento, são fatores determinantes para obtenção da condição ótima das propriedades mecânicas para trabalho a quente. Portanto, objetiva-se através de revisão bibliográfica da composição deste aço e trabalhos relacionados ao seu processo de tratamento térmico, conhecer e discutir a adequação deste aos resultados em termos de aumento do número de ciclos, redução de custos e garantia da qualidade dos produtos fabricados.

Palavras-chave: Aços ferramenta; Tratamento térmico; Dureza; Tenacidade.

REVIEW: EFFECT OF QUENCHING COOLING RATE ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF HOT WORK STEELS

Abstract

Among the many industrial applications of tool steels, a special interest in study and develop the hot work steels has emerged, its special used in the manufacture to make matrix moulds for injection alloy aluminum, forging tools or extrusion process. these features have provided metals in different composition intervals, Tenax 300® is one of then, which has a main features for superior toughness steel than AISI type (H) series, greater thermal conductivity, good response in applications requiring resistance and spread of thermal and mechanical cracks, on this process toughness property is determinant for tool life. both hardness and toughness properties are obtained through the appropriate heat treatment where time ratio of quenching, tempering, temperature and cooling rates are important factors determining the condition for obtaining optimum mechanical properties for hot work steels. therefore, this article objective is through review of steel composition and articles related to its heat treatment process, and know this to discuss the suitability results by increasing the number of cycles, cost reduction and quality assurance of products manufactured.

Key words: Tool steels; Heat treatment; Hardness; Toughness.

¹ Contribuição técnica ao 9º Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes, 10 e 11 de agosto de 2011, São Paulo, SP

² Mestrando em Engenharia. Uninove - silva.wharley@uninove.edu.br

³ Engenheiro de Materiais, Membro da ABM, Prof. Doutor, Uninove - rafael.mesquita@uninove.br

⁴ Físico, Dr. em Ciências dos Materiais.Co-Orientador, Prof. Doutor, Uninove - tfarias@uninove.br



1 INTRODUÇÃO

O estudo e desenvolvimento de aços ligados que aumentem a vida útil dos moldes e ferramentas têm sido buscadas pelas empresas fabricantes de aços ferramenta ao longo dos últimos anos. Estes representam uma grande parcela da produção siderúrgica de aços especiais, que são produzidos e processados para se atingir um elevado padrão de qualidade, utilizados em aplicações industriais principalmente em matrizes, moldes, ferramentas de corte a frio ou componentes de máquinas, para trabalhos a frio ou a quente.⁽¹⁾

Embora sejam encontradas diversas especificações normalizadas internacionalmente, a indústria trabalha com uma gama reduzida de aços que possuem suas propriedades e desempenhos consagrados ao longo do tempo, como os AISI, H13, AISI D2 e AISI M2, que por muito tempo são aplicados na construção de diversos componentes e equipamentos de uso industrial.⁽¹⁾ Porém, os critérios de escolha dos aços ferramenta frente ao aumento da complexidade dos produtos que precisam ser fabricados, que conseqüentemente geram matrizes com formas geométricas mais complexas e número de operações de fabricação reduzidas, fazem com que a indústria siderúrgica encare um grande desafio e busque o desenvolvimento de aços capazes de fornecer resultados ótimos de aplicação. Para tanto o estudo da combinação ótima do trinômio, microestrutura, propriedades após tratamento e aplicações de usinabilidade, destaca-se como ponto chave sendo estes completamente inter-relacionais.

Tais situações se agravam quando se trata de processos de conformação a quente, pois as matrizes utilizadas nestes trabalhos são muito maiores que as de trabalhos a frio,⁽²⁾ além do mais, estas são expostas a temperaturas que variam entre 500° e 1.300°, sujeitas a diversas cargas e forças que podem ocasionar o aparecimento de diversos tipos de defeitos devido à fadiga térmica.⁽³⁾

Os aços ligados fabricados para trabalhos a quente formam um grupo especial de aços de alta liga, destinados a ferramentas industriais para conformação de metais em alta temperatura, tipicamente acima de 500°, estes devem apresentar como propriedades principais em trabalho uma resposta de resistência mecânica a quente e resistência ao revenimento, resistência ao desgaste a quente e tenacidade.⁽⁴⁾

Em geral, dentre os diversos tipos de defeitos em aços ferramentas usados em regime de trabalho, as trincas ocasionadas por fadiga térmica, ou do termo em inglês *heat checking* vem sendo considerado como o maior fator causador de limitação ao uso das matrizes de trabalho a quente, reduzindo a vida útil dos moldes.⁽⁵⁾

Novos aços ferramentas vêm sendo desenvolvidos com o intuito de minimizar ou até eliminar estes problemas, da mesma forma que processos de tratamentos térmicos mais refinados e controlados para estes aços buscam trazer à tona as características essenciais para os processos em que é aplicado. O objetivo geral deste artigo é expor por revisão bibliográfica os resultados comparativos do aço Tenax 300, temperado em diferentes taxas de resfriamento comparando com os aços da série AISI H, não com o intuito de esgotar o assunto, porem de abrir o tema e discuti-lo.

2 AÇOS FERRAMENTA PARA TRABALHO A QUENTE

Os aços ferramenta de alta liga para trabalhos a quente tanto os tradicionais quanto os novos materiais possuem elevada temperabilidade, onde as propriedades destes materiais são intensamente influenciadas pelos aspectos de tratamentos térmicos, necessários na maioria das ferramentas de conformação.⁽⁵⁾ Além de essenciais às propriedades finais, estes tratamentos são importantes porque representam uma parte considerável do custo final da ferramenta (entre 5% e 20%), mas principalmente porque envolvem prazos longos, sendo assim muito relacionados à cadeia de produção.⁽⁶⁾



Figura 1. Exemplos de moldes e matrizes produzidos com aços ferramenta. Em todos os casos a têmpera e o revenimento são os tratamentos térmicos utilizados para o endurecimento.⁽²⁾

Dentre os aços comerciais utilizados na confecção de matrizes para trabalho a quente, destaca-se principalmente a família dos ligados ao cromo, Cr com adições de Mo e V em menores quantidades, que constituem a família dos aços série AISI H, sendo o mais popular o AISI H13 que é utilizado em uma faixa ampla de dureza entre 44 HRC a 50 HRC.⁽¹⁾

Os aços série H para trabalho a quente são divididos em três classes a serem selecionadas de acordo com a aplicação, a primeira classe destes trata dos aços a base de cromo, que contêm 5% de Cr e significantes quantidades de outros elementos como Si, Mo e V; a segunda classe trata dos aços a base de Tungstênio (W) e a terceira dos aços a base de Molibdênio (Mo). A Figura 2 demonstra os limites entre estas classes e também que múltiplos elementos são adicionados aos aços a base de Mo e W, fazendo com que o desempenho seja melhor que os aços a base de Cr.⁽⁵⁾

Nomenclaturas comerciais nacionais também são utilizadas para aços ferramenta de trabalho a quente, possuindo em alguns casos, similaridade com os aços da família AISI H conforme mostra o quadro abaixo, em destaque, o aço Tenax 300 e sua composição química (Figuras 2 e 3).

AISI Type	UNS No.	Composition(a), %								
		C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	W	V	Co
Chromium hot-work steels										
H10	T20810	0.35–0.45	0.25–0.70	0.80–1.20	3.00–3.75	0.30 max	2.00–3.00	...	0.25–0.75	...
H11	T20811	0.33–0.43	0.20–0.50	0.80–1.20	4.75–5.50	0.30 max	1.10–1.60	...	0.30–0.60	...
H12	T20812	0.30–0.40	0.20–0.50	0.80–1.20	4.75–5.50	0.30 max	1.25–1.75	1.00–1.70	0.50 max	...
H13	T20813	0.32–0.45	0.20–0.50	0.80–1.20	4.75–5.50	0.30 max	1.10–1.75	...	0.80–1.20	...
H14	T20814	0.35–0.45	0.20–0.50	0.80–1.20	4.75–5.50	0.30 max	...	4.00–5.25	...	...
H19	T20819	0.35–0.45	0.20–0.50	0.20–0.50	4.00–4.75	0.30 max	0.30–0.55	3.75–4.50	1.75–2.20	4.00–4.50
Tungsten hot-work steels										
H21	T20821	0.26–0.36	0.15–0.40	0.15–0.50	3.00–3.75	0.30 max	...	8.50–10.00	0.30–0.60	...
H22	T20822	0.30–0.40	0.15–0.40	0.15–0.40	1.75–3.75	0.30 max	...	10.00–11.75	0.25–0.50	...
H23	T20823	0.25–0.35	0.15–0.40	0.15–0.60	11.00–12.75	0.30 max	...	11.00–12.75	0.75–1.25	...
H24	T20824	0.42–0.53	0.15–0.40	0.15–0.40	2.50–3.50	0.30 max	...	14.00–16.00	0.40–0.60	...
H25	T20825	0.22–0.32	0.15–0.40	0.15–0.40	3.75–4.50	0.30 max	...	14.00–16.00	0.40–0.60	...
H26	T20826	0.45–0.55(b)	0.15–0.40	0.15–0.40	3.75–4.50	0.30 max	...	17.25–19.00	0.75–1.25	...
Molybdenum hot-work steels										
H42	T20842	0.55–0.70(b)	0.15–0.40	...	3.75–4.50	0.30 max	4.50–5.50	5.50–6.75	1.75–2.20	...

(a) 0.25% max Cu, 0.03% max P, and 0.03% max S; where specified, sulfur may be increased to 0.06 to 0.15% to improve machinability. (b) Available in several carbon ranges

Figura 2. Limites de composição das classes de aços de trabalho a quente.⁽⁵⁾

Nomenclatura Comercial (Brasil)	Similar AISI	Similar DIN	C	Si	Cr	Mo	W	V	Outros
VMO	~ 6F3	1.2714	0,57	-	1,1	0,50	-	0,1	Ni = 1,65
VH13 ISO	H13	~1.2344	0,40	1,0	5,2	1,3	-	0,9	-
VPC	H11	1.2344	0,36	1,0	5,0	1,3	-	0,4	-
TENAX 300	-	-	0,36	0,3	5,0	1,3	-	0,4	-
VHSUPER	-	1.2367 mod.	0,36	0,3	3,8	2,5	-	0,5	-
VCM	~H10	1.2365	0,36	0,3	2,8	2,8	-	0,4	-

Figura 3. Comparação das nomenclaturas comerciais nacionais e famílias AISI H e DIN.⁽⁷⁾

3 SELEÇÃO DOS AÇOS FERRAMENTA PARA TRABALHO A QUENTE

A importância da homogeneidade química em aços para trabalho a quente é fato conhecido na literatura e podendo ser encontrados em Wilmes e Burnes⁽⁸⁾ e Fucks, Haberling e Rasche.⁽⁹⁾ Em geral a seleção de aços ferramenta depende diretamente do processo de utilização, destacando-se dentre os fatores de decisão a temperatura de trabalho em que as ferramentas serão expostas, a carga que será aplicada, e a que taxas de resfriamento estas ferramentas estarão sujeitas.⁽⁵⁾

Diversas literaturas colaboram para o estudo da relação entre a composição química dos aços ferramenta em relação às características de resposta a deformação à temperatura de trabalho e resistência ao choque térmico, estas servem também para auxiliar na escolha do melhor tipo de aço e seu processo de tratamento térmico em relação à sua aplicação,⁽⁵⁾ brevemente resumidos na Figura 4.



Factor	H10	H11	H12	H13	H14	H19	H21	H22	H23	H24	H25	H26
Major factors												
Wear resistance	3	3	3	3	4	5	4	5	5	5	4	6
Toughness	9	9	9	9	6	6	6	5	5	5	6	4
Hot hardness	6	6	6	6	7	7	8	8	8	8	8	8
Minor factors												
Usual working hardness, HRC	39-56	38-55	38-55	40-53	40-54	40-55	40-55	36-54	38-48	40-55	35-45	50-58
Depth of hardening	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
Finest grain size at full hardness, Shepherd standard	8	8	8	8	8	8½	9	9	7	9	9	9
Surface hardness as-quenched, HRC	52-59	53-55	53-55	51-54	53-57	48-57	45-63	48-56	34-40	52-56	33-46	51-59
Core hardness (25 mm, or 1 in., diam round), HRC	52-59	53-55	53-55	51-54	53-56	48-57	45-63	48-56	34-40	52-56	33-46	51-59
Manufacturing factors												
Availability	3	4	4	4	3	2	4	2	2	2	2	3
Cost	J	J	J	J	2	2	4	4	4	4	4	4
Machinability	8	8	8	8	7	6	6	6	4	6	6	5
Quenching medium	A, O	A	A	A	A	A, O	A, O	A, O	S, O, A	A, O	A, O	S, O, A
Hardening temperature, °C (°F)	1010-1040 (1850-1900)	995-1025 (1852-1875)	995-1025 (1825-1875)	995-1040 (1825-1900)	1010-1065 (1850-1950)	980-1205 (1800-2200)	1095-1205 (2000-2200)	1095-1205 (2000-2200)	1205-1275 (2200-2325)	1040-1230 (1900-2250)	1150-1260 (2100-2300)	1175-1260 (2150-2300)
Dimensional change on hardening	L	L	L	L	L	L	M	M	M	M	M	M
Safety on hardening	H	H	H	H	H	H	M	M	M	M	M	M
Susceptibility to decarburization	H	H	H	H	H	H	M	H	H	M	M	M
Approximate hardness as-rolled or forged, HB	500	500	500	500	500	500	450	450	450	500	450	500
Annealed hardness, HB	192-229	192-229	192-229	192-229	207-235	202-241	207-235	207-235	213-255	202-248	207-235	212-241
Annealing temperature, °C (°F)	870-900 (1600-1650)	845-900 (1550-1650)	845-900 (1550-1650)	845-900 (1550-1650)	870-900 (1600-1650)	870-900 (1600-1650)	870-900 (1600-1650)	870-900 (1600-1650)	870-900 (1600-1650)	870-900 (1600-1650)	870-900 (1600-1650)	870-900 (1600-1650)
Tempering range, °C (°F)	540-650 (1000-1200)	540-650 (1000-1200)	540-650 (1000-1200)	540-650 (1000-1200)	565-650 (1000-1200)	565-675 (1050-1250)	595-675 (1100-1250)	595-675 (1100-1250)	650-815 (1200-1500)	565-650 (1050-1200)	565-650 (1050-1200)	565-650 (1050-1200)
Forging temperature, °C (°F)	1040-1120 (1900-2050)	1065-1150 (1950-2100)	1065-1150 (1950-2100)	1065-1150 (1950-2100)	1065-1175 (1950-2150)	1095-1205 (2000-2200)	1065-1175 (1950-2150)	1065-1175 (1950-2150)	1040-1175 (1900-2150)	1065-1150 (1950-2100)	1065-1175 (1950-2150)	1065-1175 (1950-2150)

Note: Ratings are explained in Chapter 2.

Figura 4. Comparação dos fatores relevantes para seleção de aços ferramenta para trabalho a quente e seus valores.⁽⁵⁾

Os aços Tenax 300 apresentam expressivo aumento da tenacidade bem como maior resistência a quente comparado com os demais aços, sendo estas propriedades importantes melhorias para aplicação em matrizes de fundição sob pressão e forjamento, proporcionando uma alternativa de material a ser aplicado, reduzindo defeitos como, por exemplo, os causados por fadigas térmicas que serão tratados adiante.⁽⁷⁾

Outros fatores como resistência à temperatura, resistência à fadiga que afetam no desempenho das ferramentas de trabalho a quente também devem ser considerados quando se especificam as características que compõem os aços ferramenta da mesma forma aos parâmetros do processo de tratamento térmico. Para todos os efeitos é aconselhável consultar as instruções e especificações do produto usado na confecção dos moldes ou matrizes juntamente com seus fabricantes e ter certeza que estes estão adequados para a aplicação desejada.⁽⁶⁾

Portanto antes da escolha do material para alguma aplicação, é importante saber o que se espera dele em termos de resultado no trabalho no molde sujeito às condições citadas anteriormente. Elementos de liga como %Cr, Ni, V e Mo, compõem fatores determinantes para determinação do intervalo de propriedades mecânicas que se espera deste material.⁽¹⁰⁾

4 EFEITOS DE RESPOSTA AO TRATAMENTO TÉRMICO NECESSÁRIAS PARA AÇOS DE TRABALHO A QUENTE

A finalidade do tratamento térmico é a alteração das propriedades mecânicas de um aço, através da modificação que se processa na sua estrutura, fornecendo a este aço as características desejadas.⁽¹¹⁾ Entretanto, por atuar na estrutura do aço, o tratamento térmico tem sempre, como efeito colateral indesejável e muitas vezes inevitável, a deformação, portanto aconselha-se deixar sobre-metal para posteriores usinagens de acabamento.⁽¹²⁾

Diversas propriedades mecânicas dos aços ferramenta para trabalho a quente são obtidas em função dos tratamentos térmicos, sendo este tão importante quanto à escolha do aço.

Os efeitos de resposta em propriedades mecânicas são resultantes da variação de fatores como a escolha do forno como meio de tratamento, as variações do tempo de austenitização, e as taxas de resfriamento que influenciam diretamente nas transformações da microestrutura. As taxas de resfriamento rápidas e controladas se apresentam como uma técnica de melhoria das propriedades mecânicas de resposta por minimizar os riscos de trincas e distorções.⁽⁶⁾

As operações de tratamento térmico dos aços ferramenta comumente usados são resumidas na Figura 5 da seguinte forma por Mesquita.⁽²⁾

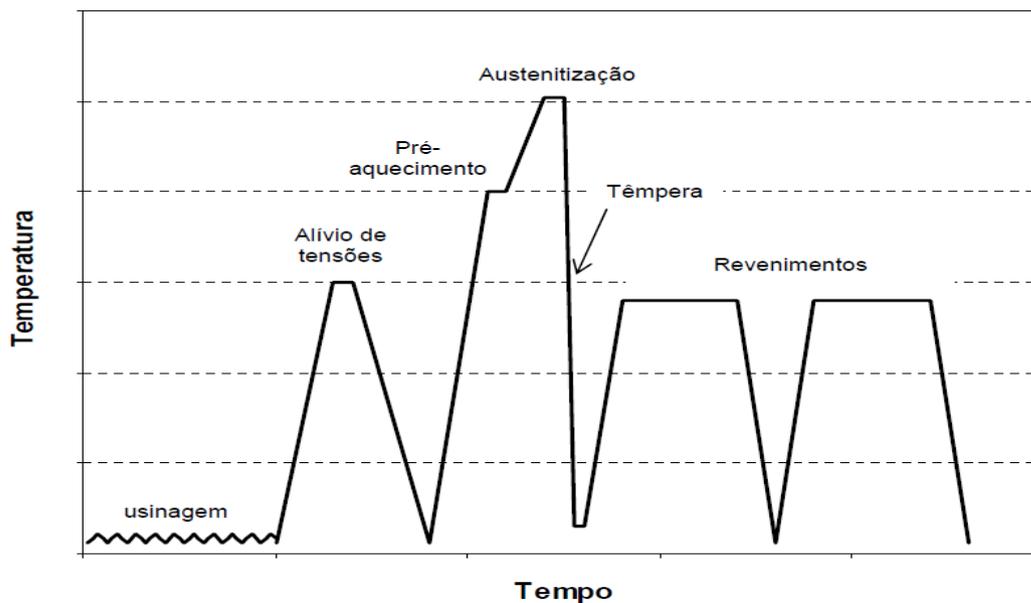


Figura 5. Esquema das principais operações realizadas pelos usuários dos aços ferramenta, na confecção dos moldes, ferramentas e matrizes.⁽²⁾

5 BREVE RESUMO SOBRE AS ALTERAÇÕES DA MICROESTRUTURA

No estagio prévio a tempera a microestrutura constitui-se recozida, com a presença de ferrita e carbonetos, a austenitização deve promover a transformação de toda ferrita em austenita. Quanto mais alta a temperatura, maior fração de carbonetos pode ser dissolvida, porem esta não pode ser demasiadamente alto, pois promove crescimento intenso do grão o que fragiliza o aço ferramenta.⁽²⁾

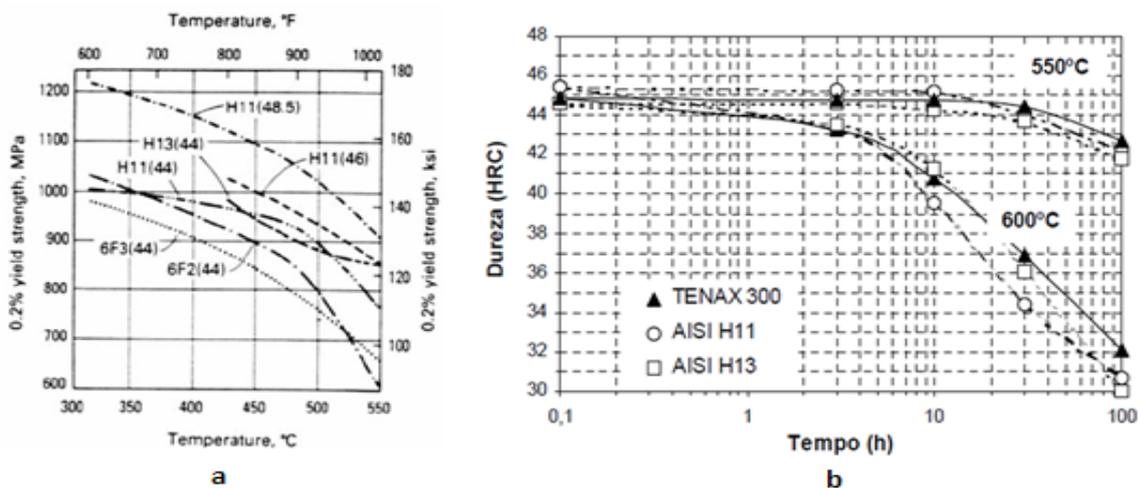
Para Holtz⁽¹¹⁾ e Mesquita,⁽²⁾ o revenimento é o tratamento que normalmente elimina inconvenientes produzidos pela têmpera, corrigindo a excessiva dureza e fragilidade

do material já na estrutura mertensítica aumentando sua ductilidade e resistência ao choque.

Para os aços de trabalho a quente, as principais características de qualidade que se busca obter após tratamento térmico são a dureza, tenacidade e resistência ao revenimento, este último aparece como necessário, pois além destes aços serem revenidos no processo de tratamento térmico convencional, continua sendo revenidos em suas aplicações.^(2,5,10) As influências do V, Cr e do Mo nas respostas de resistência ao revenimento dos aços ferramenta utilizados em trabalho a quente podem ser vistas de forma resumida nas Figuras 6 e 7:

Testing temperature		Tensile strength		Yield strength (0.2% offset)		Elongation 50 mm (2 in.), %	Reduction of area, %	Room-temperature hardness, HRC	
°C	°F	MPa	ksi	MPa	ksi			Before testing	After testing
H11(b)									
	Room								
150	300	1806	262	1482	215	10.0	35.8	50	50
260	500	1689	245	1358	197	10.1	36.1	50	50
345	650	1600	232	1345	195	9.8	34.5	50	50
425	800	1579	229	1317	191	10.0	35.2	50	50
480	900	1510	219	1289	187	11.4	38.7	50	50
540	1000	1427	207	1145	166	12.2	38.9	50	50
595	1100	1241	180	965	140	11.0	35.4	50	50
650	1200	979	142	724	105	12.8	46.2	50	47
		586	85	434	63	18.9	66.6	50	41
H13(c)									
480	900	1531	222	...	...	9	37	52	...
540	1000	1413	205	...	...	11	43	52	...
595	1100	1193	173	...	...	15	49	52	...
650	1200	814	118	...	...	22	59	52	...
H12(d)									
400	750	1703	247	...	...	12	36	53	...
540	1000	1482	215	...	...	12	41	53	...
650	1200	531	77	...	...	32	83	53	...
760	1400	124	18	...	...	71	97	53	...
H12(e)									
540	1000	1358	197	1086.7	157.6	10	55	50	...
620	1150	593.7	86.1	396.5	57.5	24	71	49.5	...

Figura 6. Análise das propriedades dos Aços série AISI H, ao Cr e Mo para aços ferramenta de trabalho a quente em elevadas temperaturas.⁽⁵⁾



Fonte: MESQUITA⁽⁷⁾.

Figura 7. a) Efeitos da temperatura na tensão de escoamento dos aços AISI H11, H13 e VMO (6F3) fonte ASM Handbook; b) Variação da dureza em função do tempo (resistência ao revenimento) de exposição na temperatura indicada para os aços AISI H11, H13 e Tenax 300. Amostras tratadas para dureza inicial de $45 \pm 0,5$ HRC.^(5,7)

A partir da análise da Figura 7b, pode-se observar claramente que a resposta do aço Tenax 300, nas mesmas condições de dureza dos demais AISI série H, um melhor



resultado de resistência ao revenimento do que os demais. Esse aumento se dá devido ao aumento de do teor de elementos formadores de carbonetos secundários e pela modificação de sua estabilidade.⁽⁷⁾

6 ANÁLISES E DISCUSSÕES SOBRE O TENAX 300 E AÇOS DE MERCADO SERIE AISI H

Até o momento observa-se que mecanismos metalúrgicos manipuláveis tais como composição química global, heterogeneidades químicas locais à escala da microestrutura, textura ou orientação preferencial e mecanismos de processo tais como a atmosfera ou meio de tratamento térmico, podem favorecer as modificações das propriedades de dureza, tenacidade e de resistência ao revenimento para aços de trabalho a quente. Estes contribuem para redução do número de defeitos nas matrizes de trabalho a quente, em especial as trincas por fadiga térmica, comentados na maioria das referências bibliográficas e em diversas literaturas citadas neste artigo.

Destacam-se como fator relevante, a evolução da composição das microestruturas e suas ligas no aço Tenax 300⁽⁷⁾. Estas fazem com que se obtenha um diferencial em termos de aumento de resistência ao revenido, pelo ganho de tenacidade e os meios pelos quais estas se processam nos tratamentos térmicos obedecidos às normas contidas na *North America Die casting Association*⁽⁶⁾ podendo estas ser observadas na Figura 8.

	H11	H13	H11 MOD.	TENAX 300®
C	0,36	0,40	0,35	0,35
Si	1,02	0,96	0,13	0,30
Mn	0,48	0,34	0,49	0,27
P	0,025	0,023	0,009	0,007
S	0,005	0,006	0,005	0,005
Co	0,02	0,02	0,02	0,01
Cr	5,03	5,23	4,99	4,96
Mo	1,40	1,31	2,28	1,39
Ni	0,23	0,25	0,10	0,17
V	0,34	0,85	0,57	0,42
W	0,03	0,02	0,02	0,02
Cu	0,11	0,20	0,03	0,10
Ti	<0,005	0,018	<0,005	<0,005
Nb	<0,010	0,020	0,010	<0,010
Al	<0,005	0,014	0,009	<0,005

Figura 8. Comparação da microestrutura e elementos de liga entre os aços série AISI H e Tenax 300.⁽⁷⁾

Durante o processo de trabalho, a temperatura da superfície de contato com o material aquecido sofre transformações causando a precipitação de carbonetos finos, levando também a suscetibilidade à fratura.^(3,7,10,13)

Modelos que tem por objetivo discutir os fatores que levam à aparição de tais defeitos e microestruturas são encontrados Behrens.⁽³⁾ Outros na literatura se utilizam de diversos métodos de análise matemática ou computacional, como correlação por parâmetros de Hollomon-Jaffe ou Larson-Miller.⁽¹⁴⁾

Em praticamente todas as aplicações em trabalho a quente, a superfície da matriz pode ser submetida a ciclagens térmicas, que podem causar a falha da mesma por

fadiga, sendo que nos processos de fundição sobre pressão esta é a principal solicitação tendo como consequência normal uma malha de trincas térmicas *heat checking*.^(2,3)

O diferencial estrutural do Tenax 300 se dá no balanceamento dos elementos de liga obtidos através de seu processo metalúrgico, que lhe conferem característica de resistir mais ao revenimento (Figura. 7b), sendo os elementos para manutenção da dureza o W, Mo e V, sendo o percentual de Mo presente no Tenax 300 tem relação ao similar de mercado AISI H13 uma ligeira diferença, a qual lhe confere maior tenacidade demonstrada na Figura 9, o qual sugeriu o nome.⁽⁷⁾

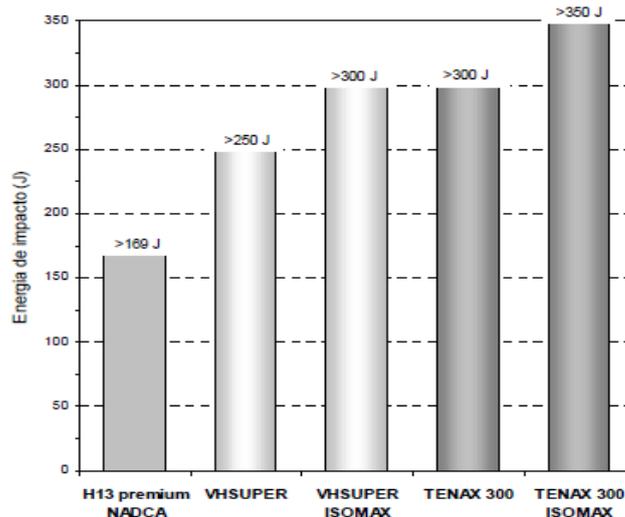


Figura 9. Análise de tenacidade ao impacto em corpos de prova sem entalhe comparativo entre os aços Tenax 300, VH SUPER e AISI H13.⁽⁷⁾

A melhoria de propriedades do aço Tenax 300, e seu processo de tratamento térmico demonstraram quando estes empregados em trabalho a quente, como forjamento a quente, atuam de modo a reduzir o surgimento de trincas mecânicas, com resultados analisados em laboratório superiores aos aços série AISI H⁽⁷⁾.

7 CONCLUSÃO

A revisão bibliográfica sobre aços ferramenta para trabalho a quente levou ao conhecimento das propriedades significantes que estes devem apresentar dentro do trinômio composição química, obtida por processos metalúrgicos controlados e normatizados conforme a *North America Die Casting Association*, dos parâmetros utilizados nos processos de tratamento térmico, que buscam conferir a estes as propriedades dureza, tenacidade e resistência ao revenido, sendo estes os parâmetros de controle da sua qualidade comparando sempre com o meio em que serão utilizados, válidos para seleção dos melhores aços para construção de moldes e matrizes sujeitas a condições críticas de trabalho, demonstrando os resultados publicados do aço Tenax 300 temperado em taxas de resfriamento controladas, superior entre os demais atendendo as características para as quais fora projetado. Portanto, observa-se que a evolução da composição química do aço Tenax 300 obtidas através de seu processo metalúrgico, comparado com os demais aços série AISI H, são capazes de proporcionar o aparecimento de melhores propriedades mecânicas após tratamento térmico, sendo observado como um diferencial importante na obtenção de matrizes para trabalho a quente.

Amostras foram reproduzidas em laboratório as quais se buscou comprovação dos valores acima citados, porém ainda sem análise final conclusiva, ficando esta análise para estudos futuros reproduzindo os ensaios realizados e publicados para comparação dos resultados.

O presente estudo se faz válido para melhorar a compreensão de fatores importantes de seleção dos aços ferramenta e dos aspectos da qualidade dos mesmos em termos da importância em se correlacionar todo o processo de obtenção dos mesmos com os resultados em propriedades mecânicas, sendo ponto importante para futuras discussões em controle da qualidade.

REFERÊNCIAS

- 1 HEAT TECH. *Aços Ferramenta – Informações Básicas*; Manual de informações técnicas, 2007.
- 2 MESQUITA, R.A. *Aços Especiais Para Moldes e Matrizes: Uma Abordagem Voltada à Indústria de Conformação de Metais, Cerâmicas e Polímeros*; Curso ABM – 2º Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes – 21 a 23 de Junho, 2005.
- 3 BEHRENS, B.A., SCHÄFER, F., HUNDERTMARK, A., BOUGUECHA, A. *Numerical Analysis of Tool Failure in Hot Forging Process*, 17th International Scientific and Technical Conference “Design and Technology of Draw Pieces and Die Stampings”, 22-24 September, 2008.
- 4 MESQUITA, R.A., FRANÇA, L.C., BARBOSA, C.A. *Desenvolvimento de um Novo Aço Ferramenta para Trabalho a Quente com Tenacidade Otimizada*, Anais do 57º Congresso Anual da ABM, p. 444-453, São Paulo, 2002.
- 5 ROBERT, G.; KRAUSS, G.; KENNEDY, R. *Tool Steels. 5. ed.*, ASM International, p. 10-23., Materials Park, Ohio, 1998.
- 6 NADCA # 229 – *Special Quality Die Steel & Heat Treatment Acceptance Criteria for Die Casting Dies*, Ed. North American Die Casting Association, Holbrook Wheeling, Illinois, 2006.
- 7 MESQUITA, R.A., BARBOSA, C.A. *Novo Aço Ferramenta de Alta Resistência a Quente*, Tecnologia em Metalurgia e Materiais, São Paulo, v.3, n.3, p 63-68, jan-mar, 2007.
- 8 WILMES, S., BURNS, K.P, *Vergleich der Zähigkeit Von Warmarbeitsstahl unterschiedlicher Herstellverfahren im Hinblick auf die Verwendung für Druckgießformen*, Giesserei, vol. 76, no. 24, p. 835-842, 1989.
- 9 FUCKS, K.D., HABERLING, E., RASCHE, K. *Microstructure and Technological Properties of Hot Work Tool Steels for Pressure Casting Dies*, Thyssen Eldelst. Techn. Ber, 1990.
- 10 BABU, S., RIBEIRO, D., SHIVPURI, R. *Material and Surface Engineering for Precision Forging Dies*, Precision Forging Consortium – Ohio Aerospace Institute and National Center for Manufacturing Sciences, June 10, 1999.
- 11 HÖLTZ, O.A. *Noções de tratamentos térmicos*, 2ªed, Sagra-DC Luzzatto, 1992.
- 12 YOSHIDA, S., *Seleção de Aços, Tratamentos Térmicos e Engenharia de Superfície para Moldes de Injeção de Plástico*, Curso do Programa Educacional Brasimet, 1998.
- 13 McHUGH, K.M., LIN, Y., ZHOU, Y., LAVERNIA, E.J. *Influence of Cooling Rate on Phase Formation in Spray-Formed H13 Tool Steel*, 3rd International Conference on Spray Deposition and Melt Amortization and 6th international Conference on Spray Forming, INL-Idaho National Laboratory, April 2006.
- 14 JANJUSEVIC, Z., GULISIJA, Z., MIHAILOVIC, M., PATARIC, A. *The Investigation of the Hollomon-Jaffe Equation on Tempering the HSLA Steel*, Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly, 2009.