

INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
SUL-RIO-GRANDENSE
Campus Sapucaia do Sul

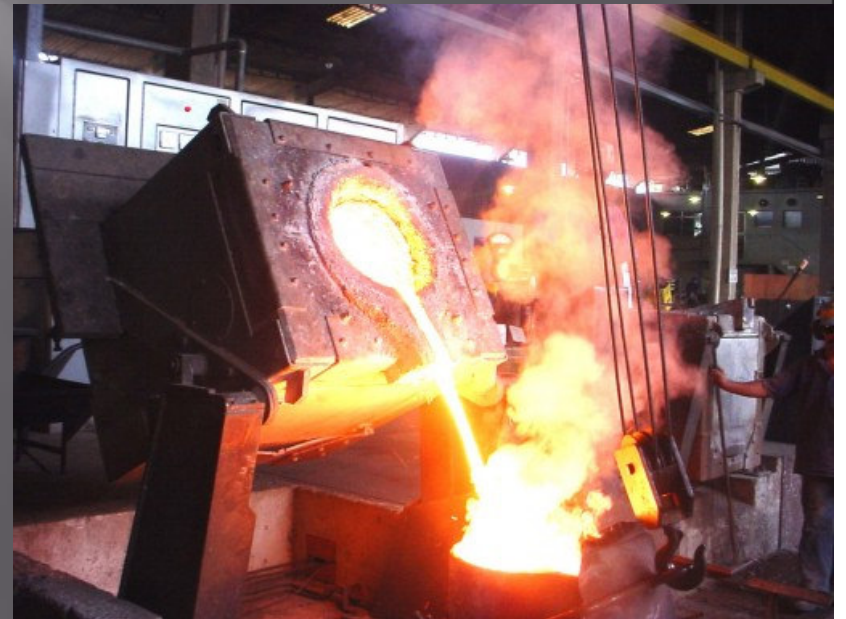
MATERIAIS PARA MOLDES E MATRIZES

Tecnologia em Fabricação Mecânica
Fundamentos de Projeto de
Ferramentas

Prof. Mauro César Rabuski Garcia

AÇOS

- ▣ São ligas de ferro e carbono, com até 2% de carbono e mais elementos residuais como: silício, manganês, enxofre e fósforo.
- ▣ Propriedades que os tornam materiais para fabricação de moldes e matrizes:
 - ▣ 1) Resistência mecânica
 - ▣ 2) Elevada dureza
 - ▣ 3) Usinabilidade
 - ▣ 4) Elevada condutividade térmica
 - ▣ 5) Polibilidade
 - ▣ 6) Temperabilidade
 - ▣ 7) Resistência ao desgaste e a abrasão



Nomenclatura dos aços

- ▣ Segundo a norma NBR 6006, os aços são classificados conforme a sua constituição química.
- ▣ Por exemplo: aço ABNT 1045 corresponde a:
 - 10 – classe aço ao carbono
 - 45 – 0,45% de carbono
- Outro exemplo: ABNT 1020
 - 10 – classe aço ao carbono
 - 20 – 0,20% de carbono



Classes dos aços construção mecânica

Designação SAE	Tipo de aço
10XX	Aços-carbono comuns
11XX	Aços de usinagem (ou corte) fácil, com alto S
13XX	Aço-manganês com 1,75% de Mn
15XX	Aço-manganês com 1,00% de Mn
23XX	Aço-níquel com 3,50% de Ni
25XX	Aço-níquel com 5,00% de Ni
31XX	Aço-níquel-cromo com 1,25% de Ni e 0,65% de Cr
33XX	Aço-níquel-cromo com 3,50% de Ni e 1,55% de Cr
40XX	Aços-molibdênio com 0,25% de Mo
41XX	Aços-cromo-molibdênio com 0,50% ou 0,90% de Cr e 0,12% ou 0,20% de Mo
43XX	Aços-níquel-cromo-molibdênio com 1,80% de Ni, 0,50% ou 0,80% de Cr e 0,25% de Mo
46XX	Aços-níquel-molibdênio com 1,55% ou 1,80% de Ni e 0,20% ou 0,25% de Mo
47XX	Aços-níquel-cromo-molibdênio com 1,05% de Ni, 0,45% de Cr e 0,20% de Mo
48XX	Aços-níquel-molibdênio com 3,50% de Ni e 0,25% de Mo
50XX	Aços-cromo com 0,28% ou 0,65% de Cr
50BXX	Aços-cromo-boro com baixo teor de Cr e no mínimo 0,0005% de B
51XX	Aços-cromo com 0,80% a 1,05% de Cr
52XX	Aços-rolamento
61XX	Aços-cromo-vanádio com 0,80% ou 0,95% de Cr e 0,10% ou 0,15% de V
86XX	Aços-níquel-cromo-molibdênio com baixos teores de Ni, Cr e Mo
87XX	Idem
92XX	Aços-silício-manganês com 0,85% Mn e 2,00% de Si
93XX	Aços-níquel-cromo-molibdênio com 3,25% de Ni 1,20% de Cr e 0,12% de Mo
94BXX	Aços-níquel-cromo-molibdênio com baixos teores de Ni, Cr, Mo e, no mínimo, 0,0005% de B
98XX	Aços-níquel-cromo-molibdênio com 1,00% de Ni, 0,80% de Cr e 0,25% de Mo

Aços Ferramentas

- ▣ Aços Ferramenta Temperáveis em Água - W
- ▣ Aços Ferramenta Resistentes ao Choque - S
- ▣ Aços Ferramenta Temperáveis em Óleo - O
- ▣ Aços Ferramenta Temperáveis ao ar - A
- ▣ Aços Ferramenta para Trabalho a Frio - D
- ▣ Aços Ferramenta para Trabalho a Quente - H
- ▣ Aços Ferramenta para Moldes - P
- ▣ Aços Rápido ao Molibdênio - M

Aços usados em moldes e matrizes

Steel type	AISI No.	Composition (%)	Thermal conductivity (W/(m · K))	Thermal expansion (10 ⁻⁶ K ⁻¹)		
<i>Carbon steel</i>	1020	0.18–0.23 C 0.04 P 0.05 S	0.30–0.60 Mn	46.7	11–15	
	1030	0.28–0.34 C 0.04 P 0.05 S	0.60–0.90 Mn	46.7	14.9	
	1040	0.37–0.44 C 0.04 P 0.05 S	0.60–0.90 Mn	46.7		
	1095	0.90–1.03 C 0.04 P 0.05 S	0.30–0.50 Mn	43.3	11–14	
<i>Alloy steel</i>	4130	0.28–0.33 C 0.20–0.35 Si 0.15–0.25 Mo 0.04 S	0.30–0.60 Mn 0.80–1.10 Cr 0.035 P	46.7		
	4140	0.38–0.43 C 0.20–0.35 Si 0.15–0.25 Mo 0.04 S	0.75–1.00 Mn 0.80–1.00 Cr 0.035 P			
	6150	0.48–0.53 C 0.20–0.35 Si 0.15 V 0.035 P	0.70–0.90 Mn 0.80–1.10 Cr 0.04 S	60.6	10–12	
	8620	0.18–0.23 C 0.20–0.35 Si 0.40–0.60 Cr 0.035 P 0.04 S	0.70–0.90 Mn 0.40–0.70 Ni 0.15–0.25 Mo 46.7			
<i>Tool steels</i>	Shock-resisting steels:	S1	0.50 C 0.75 Si 1.25 Cr 2.50 W 0.20 V	62.3	11–13	
		S7	0.50 C 0.70 Mn 0.25 Si 3.25 Cr 1.40 Mo		14.9	
	Cold-work steels: – oil hardening	O1	0.90 C 1.20 Mn 0.50 Cr 0.50 W 0.20 V			
		– medium alloy, – air hardening	A2	1.00 C 1.00 Mo 5.00 Cr		
			A4	0.95 C 2.00 Mn 0.35 Si 2.20 G 1.15 Mo		
		– medium alloy, – air hardening – high carbon, – high chromium	A6	0.70 C 2.00 Mn 1.00 Cr 1.00 Mo		
	D2		1.50 C 1.00 Mo 12.00 Cr 1.00 V			
	Hot-Work steels: – chromium base		H13	0.35 C 0.40 Mn 1.00 Si 1.40 Mo 5.00 Cr 1.00 V	24.6	12–13
		H23	0.30 C 12.00 Cr 12.00 W			
	Special purpose steels: – low-alloy	L6	0.75 C 0.75 Mn 0.90 Cr 1.75 Ni 0.35 Mo			
	Mold steels: – low carbon – medium alloy	P2	0.07 C 0.20 Mo 2.00 Cr			
		P20	0.35 C 0.80 Mn 0.50 Si 0.45 Mo 1.70 Cr	29.0	12.7	
	Stainless steel: (martensitic)	420	0.15 C (min.) 1.00 Mn 1.00 Si 12.00–14.00 Cr	23.0	11–12	

Such tables are subject to change from time to time with new steels added or others eliminated, and composition of steels is sometimes altered. Current publications (AISI/SAE) should be consulted if latest information is desired.

Tabela orientativa para aços recomendados para moldes de injeção

Tabela orientativa dos aços recomendados para molde de injeção

Componentes do molde	Aços recomendados	Tratamento térmico	Dureza RC
Placa fixação inferior e superior	ABNT 1020 a 1040	-	-
Coluna ou espaçador			
Porta extratores			
Placa suporte			
Anel de centragem			
Placa extratora			
Placa de montagem dos postigos			
Placa impulsora			
Bucha-guia			
Coluna-guia	54 a 58		
Bucha de injeção	Aço Cromo-Níquel ABNT 3310	58 a 60	
Postigos fêmeas		58 a 60	
Postigos machos		58 a 60	
Camisa extratora		54 a 58	
Pinos extratores		54 a 58	
Extrator de canal		54 a 58	
Parafusos limitadores		50 a 56	
Lâminas extratoras		50 a 56	
Pinos de retorno	50 a 56		

Tabela orientativa para materiais para moldes de injeção

MATERIAIS PARA CONSTRUÇÃO DE MOLDES								
ELEMENTOS	MATERIAL	VILLARES	TRATAMENTO	HRC				
PLACA BASE SUPERIOR	ABNT 1045							
PLACA BASE INFERIOR								
PORTA MATRIZ								
PORTA MACHO								
PLACA SUPORTE								
ESPAÇADORES								
PLACA EXTRATORA								
PORTA EXTRATOR								
ANEL DE CENTRAGEM					ABNT 1020/1045			
BUCHA INJETORA						VND	TEMPERADO	50/55
BUCHA GUIA	ABNT 8620	VB-20	CEM. TEMP.	60/65				
COLUNA DE GUIA	ABNT 8620	VB-20	CEM. TEMP.	60/65				
BUCHA POÇO FRIO		VND/ H-13	TEMPERADO	50/55				
SUPORTE PILAR	ABNT 1020							
PINO TOPE		VND	TEMPERADO	50/55				
PINO DE RETORNO	ABNT H-13	H-13	NITRETADO	50/55				
PINO EXTRATOR	ABNT H-13	H-13	NITRETADO	50/55				
BUCHA EXTRATORA	ABNT H-13	H-13	NITRETADO	50/55				
LAMINA EXTRATORA	ABNT H-13	H-13	NITRETADO	50/55				
MACHO	ABNT H-13	H-13	TEMPERADO	50/55				
CAVIDADE	ABNT P-20	P-20	NIT. /BENEF.	50				
POSTIÇO	AÇO INOX	MATERIAIS CLORADOS						
GAVETA								
POSTIÇO DELGADO	ABNT 5160	VR-60	TEMPERADO	50/55				
SUPORTE P/ GAVETA		VND	TEMPERADO	50/55				

Tabela de abrasividade dos polímeros

Abrasividade	Material
Baixa	PEBD
	PEBDL
	PEAD
	PP
	GPPS
	HIPS
	PA 6, PA 6.6
	POM
	ASA
	SAN
	ABS
Média	PET
	PBT
	PPO
Alta	PC
	PEEK
	PPS
	ASA/PC
	Materiais com carga: fibra de vidro, microesfera de vidro, CaCO ₃ , dióxido de titânio, antichama

Recomendações para seleção de aços, tratamento térmico e de superfície

Seleção Padrão	Abrasividade do produto		Produção desejada		
			Baixa	Média	Alta
			—————→		
	↓	Baixa	Aço: ao carbono (1020/1045) TT: nenhum	Aço: ao carbono (1020/1045) TT: nenhum TS: Nitrocarbonetação	Aço: ABNT 4340 ou P20 TT:nenhum TS: Nitrocarbonetação
		Média	Aço: ao carbono (1020/1045) TT: nenhum TS: Nitrocarbonetação	Aço: ABNT 4340 ou P20 TT: nenhum TS: Nitrocarbonetação	Aço: Classe Precipitation Hardening TT: envelhecimento TS: Nitrocarbonetação / Nitretação a plasma/ PVD
			Aço: Classe Precipitation Hardening (PH) TT: envelhecimento TS: Nitrocarbonetação/Nitretação a plasma	Aço: ABNT H13 TT: Têmpera a vácuo TS: Nitrocarbonetação /PVD	Aço: ABNT H13 TT: Têmpera a vácuo TS: Nitrocarbonetação / PVD
Requisitos Especiais	Polibilidade: Aço: P20 ou ABNT 420; TT: Têmpera a vácuo (420) e nenhum (P20); TS: PVD				
	Corrosão: Aço: P20 ou ABNT 420; TT: Têmpera a vácuo (420) e nenhum (P20); TS: PVD				
	Baixa Deformação: Aço P20 ou ABNT 420; TT: Têmpera a vácuo (420) e nenhum (P20)				

Aços padrão para injeção de plásticos

Aço	Equivalências	Características	Dureza de utilização
SAE 1020/1045		Aço carbono comum	Utilizado no estado de fornecimento (recozido)
AISI 4340	VM40 (Villares)	Aço carbono baixa liga. Fornecido no estado pré-beneficiado	Utilizado no estado de fornecimento pré-beneficiado com durezas de 28/32 HRC
AISI P20	VP20IM (Villares) P20 (Gerdau) IMPAX (Uddeholm) M200 (Boehler) THYROPLAST 2311 (Thyssen)	Aço ferramenta, específico para moldes plásticos. Alta polibilidade. Fornecido no estado pré-beneficiado	Utilizado no estado de fornecimento, pré-beneficiado com durezas de 28/32 HRC
CLASSE PH	VP50IM (Villares) ADINOX 41 VAR (Thyssen) M261EXTRA (Boehler) CORRAX (Uddeholm)	Aços ferramenta endurecíveis por tratamento térmico por precipitação Elevada polibilidade. Corrax e Adinox 41 são inoxidáveis. Deformação no tratamento térmico menor do que nos temperáveis	VP50IM e M261 EXTRA – 38/42 HRC ADINOX41 – 38/42 HRC CORRAX – 46/48 HRC Todos após tratamento térmico de envelhecimento
AISI H13	VH13IM (Villares) W302 (Boehler) ORVAR (Uddeholm) H13 (Gerdau) THYROTHERM 2344 (Thyssen)	Aço ferramenta para trabalho a quente Endurecível por temperatura	Utilizado no estado temperado para 50/52 HRC
AISI 420	VP420IM (Villares) M310 ISOPLAST (Boehler) STAVAX (Uddeholm) 420 (Gerdau) THYROPLAST 2083 (Thyssen)	Aço inoxidável martensítico Alta polibilidade (varia de acordo com a qualidade) Endurecível por temperatura	Utilizado no estado temperado para 50/52 HRC A polibilidade varia com o processo de tratamento térmico e a qualidade do aço.

Aços para moldes - Villares

Características	VP20 ISO	VP20 IM	VP50 IM	VP 420 IM	VH13 IM
Usinabilidade	Boa, tanto recozido como beneficiado	Boa, tanto recozido como beneficiado	Excelente	Boa	Boa
Soldabilidade	Boa	Boa	Excelente	Difícil	Média
Polibilidade	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
Reprodutibilidade Condição Normal de entrega	Boa Beneficiado para 30/34 HRC	Boa Beneficiado para 30/34 HRC	Boa Solubilizado, dureza de 30/35 HCR. Pode ser entregue envelhecido com 40/42 HCR	Boa Recozido, dureza de 200 HB ou na versão VP420 TIM temperado e revenido para 28/32 HCR	Boa Recozido, dureza máxima de 197 HB
Aplicações típicas	Moldes para injeção de termoplásticos não clorados Matrizes para extrusão de termoplásticos não clorados Moldes para sopro	Moldes para injeção de termoplásticos não clorados Matrizes de extrusão para termoplásticos não clorados Moldes para sopro	Moldes para injeção de termoplásticos não clorados Matrizes para extrusão de termoplásticos não clorados Moldes para termoplásticos reforçados com carga. Plásticos de Engenharia Moldes para sopro	Moldes para plásticos corrosivos (clorados) acetato e PVC Resistência a atmosferas úmidas Moldes para sopro	Mandris e outros componentes de extrusoras Moldes para injeção de termoplásticos não clorados que requer alto grau de polimento
Nitretação	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
Cementação	Sim, antes de temperar	Sim, antes de temperar	Não	Não	Não

Aços para moldes- UDDEHOLM

Aços para Moldes	Principais Características
<i>IMPAX[®] SUPREME</i> (AISI P20, modificado)	Ligado ao Ni-Cr-Mo pré-temperado, fornecido com 290-330 HB, com excelentes propriedades de polimento e texturização. Indicado para muitas aplicações de moldes para injeção, moldes para sopro e matrizes de extrusão.
<i>CALMAX</i> <i>COMPAX</i>	Aço recomendado para injeção – compressão – e transferência – moldes onde necessita de uma ótima resistência ao desgaste e resistência à compressão.
<i>STAVAX[®] ESR</i> (420 modificado)	Aço inoxidável para têmpera com boa resistência à corrosão, ótima polibilidade, muito boa indeformabilidade no tratamento térmico, fácil de usar.
<i>CORRAX</i>	Aço inoxidável temperável por revenimento para gravuras delicadas e de desenho complicado.
<i>ORVAR[®] SUPREME</i> (AISI H13, melhorado)	Uma qualidade versátil com 5% Cr para moldes e matrizes com boa resistência a abrasão, polibilidade e boa indeformabilidade no tratamento térmico.
<i>RIGOR[®]</i> (A2)	Indicado para moldes para têmpera, de alta produção de peças pequenas, de desenho complicado.
<i>ELMAX[™]</i> <i>VANADIS 4</i> <i>VANADIS 6</i> <i>VANADIS 10</i>	Fabricado pela metalurgia do pó 3ª geração (Superclean), apresenta uma ótima indeformabilidade no tratamento térmico, ótima polibilidade e resistência à abrasão. <i>ELMAX</i> é resistente à corrosão. <i>VANADIS 4</i> tem uma ótima tenacidade. <i>VANADIS 10</i> tem uma ótima resistência à abrasão. São indicadas para moldes de alta produção, para peças complicadas e pequenas, resistente à abrasão.
Suporte para Moldes <i>HOLDAX[®]</i> (AISI 4130/35, modificado)	Aço pré-temperado indicado para bases e moldes sem alta exigência de polibilidade, ótima usinabilidade, boa resistência à compressão.
<i>RAMAX[®] S</i> (420F, modificado)	Aço inoxidável pré-temperado indicado para moldes sem alta exigências de polibilidade, extratores especiais, bases de moldes, ótima usinabilidade, boa resistência à compressão.
Alumínio <i>ALUMEC</i>	Alumínio ligado, com alta resistência mecânica (160 HB), indicado para moldes de sopro, protótipos e moldes para pequenas produções.
Cobre Berílio <i>MOLDMAX[®]</i>	Possui alta resistência (36-42 HRC), indicado para moldes que solicitam alta condutibilidade térmica. Para insertos de gargalos e bases de garrafas para moldes de sopro, insertos para moldes de injeção, sistema de câmaras a quente.
<i>PROTHERM[®]</i>	Possui alta condutibilidade térmica, para aplicações que requerem alta condutibilidade térmica com moderada resistência

Seleção de aços para moldes - UDDEHOLM

Processo / Material		Qualidade do aço	Dureza HRC (HB)
Molde para injeção	Termoplásticos - Aços para moldes pre-temperado	<i>ALUMEC</i>	(~160)
		<i>IMPAX SUPREME</i>	33 (~310)
	- Aços para têmpera total	<i>CALMAX</i>	45-58
		<i>GRANE</i>	45-56
<i>ORVAR SUPREME</i>		45-54	
<i>STAVAX ESR</i>		45-54	
Plásticos Termoagregados	<i>CORRAX</i>	46-50	
	<i>ELMAX, VANADIS 4</i>	58-60	
	<i>CALMAX</i>	52-58	
	<i>GRANE</i>	52-56	
Moldes para Compressão / Transferência	Plásticos Termoagregados	<i>RIGOR, ELMAX, VANADIS 4</i>	58-60
		<i>VANADIS 6</i>	60-64
		<i>CALMAX</i>	56-58
		<i>GRANE</i>	54-56
Molde para sopro	Geral	<i>STAVAX ESR</i>	45-54
		<i>CORRAX</i>	46-48
		<i>ELMAX, VANADIS 4</i>	58-60
		<i>VANADIS 6</i>	60-64
Extrusão	Geral	<i>ALUMEC</i>	(~160)
		<i>CORRAX, IMPAX SUP.</i>	33 (~310)
		<i>STAVAX ESR</i>	45-54
		<i>RAMAX S</i>	37 (~340)
Material para Bases	Geral	<i>CORRAX</i>	48-50
		<i>IMPAX SUPREME</i>	33 (~310)
		<i>STAVAX ESR</i>	45-54
		<i>RAMAX S</i>	37 (~340)
Material para Bases	1. Alta resistência, pré-temperado, fácil usinagem	<i>HOLDAX</i>	33 (~310)
	2. Igual a 1, mais resistência à corrosão, baixa manutenção. Também para condição de produção "higiênico", não precisa niquelar	<i>RAMAX</i>	37 (~340)

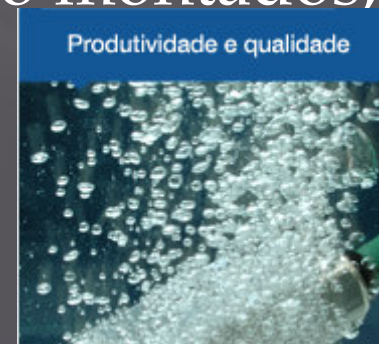
Recomendações Especiais

Exigência especial ou Requerimento	Qualidade do aço	Dureza HRC (HB)
Moldes grandes	Para componentes automotivos, incluindo painéis, pára-choques, etc.	ALUMEC (~160) IMPAX SUPREME 33 (~310)
	Como acima, pouca exigência no acabamento superficial.	HOLDAX 33 (~310) CORRAX 44-46 RAMAX S 37 (~340)
Alto acabamento superficial	Para peças ópticas/médicas, tampas e painéis transparentes, disquetes, peças de alto polimento, etc.	STAVAX ESR 45-54 ELMAX, VANADIS 4 58-60 ORVAR SUPREME 48-54
Gravuras Complexas	1. Peças grandes montadoras / componentes para ferramentas manuais.	IMPAX SUPREME 33 (~310) CORRAX 34-46
	2. Peças pequenas com baixa resistência a abrasão.	IMPAX SUPREME 33 (~310) CORRAX 34-46
	3. Peças pequenas com exigência de alta resistência à abrasão. Ex. peças eletro / eletrônicos.	RIGOR 60-62 CALMAX 52-58 GRANE 50-56 STAVAX ESR, ORVAR SUP. 50-54 ELMAX, VANADIS 4 58-60 VANADIS 6 60-62 CORRAX 32-50
	4. Peças muito complexas e delicadas	CALMAX 52-58 GRANE 50-56 RIGOR 60-62 STAVAX ESR, ORVAR SUP. 50-54 VANADIS 4 58-60 ELMAX 56-58 VANADIS 6 60-64
Moldagem de materiais abrasivos	Para materiais com fibras / reforçados; resinas de engenharia	CALMAX 52-58 GRANE 50-56 RIGOR 60-62 STAVAX ESR, ORVAR SUP. 50-54 VANADIS 4 58-60 ELMAX 56-58 VANADIS 6 60-64
Alta produção	Para peças termoplásticas, cutelarias, recipientes em geral	CALMAX 52-58 GRANE 52-56 STAVAX ESR 45-54 VANADIS 4 58-60 ELMAX 56-58 ORVAR SUPREME 52-54
Resistência à corrosão	1. Para matérias corrosivos incluindo PVC 2. Para ambientes úmidos 3. Para manchas desbotadas 4. Resistência à corrosão dos canais de resfriamento	STAVAX ESR 50-54 ELMAX 58-60 RAMAX S 37 (~340)
Texturização	1. Aços pre-temperado	IMPAX SUPREME 33 (~310)
	2. Aços para têmpera total	ORVAR SUP. , STAVAX ESR 45-54 CALMAX 45-58 GRANE 45-56 VANADIS 4 58-60 ELMAX 56-58
Alta condutibilidade térmica	Moldes para injeção e sopro, insertos e partes para sistemas de bicos quentes	MOLDMAX 36-42 PROTHERM (~190)

MOLDMAX® E PROTHERM® são produtos registrados da Brush Wellman Inc. , Cleveland, Ohio.

Aço poroso – Porcerax II

- ▣ O Porcerax II é um metal parecido com a pedra de pomes com uma porosidade que varia entre 20 e 30% por volume. Um sistema de poros interligados com um diâmetro médio de $7\ \mu\text{m}$ (0,007 mm) encontra-se distribuído por todo o material.
- ▣ O Porcerax II pode ser usado como uma parte do material do molde (postiço), permitindo a liberação do gás num ponto específico selecionado. Pode-se ainda usinar o molde e postiço montados, pois o Porcerax II possui ótima
- ▣ usinabilidade.



Envelhecimento

- ❑ É um tratamento de endurecimento, aplicado em uma classe específica de aços, que tem como característica a baixa temperatura de tratamento (480°C a 570°C);
- ❑ Apresenta vantagem em relação a têmpera devido as temperaturas são abaixo da temperatura crítica, não ocorrem deformações devido a transformações microestruturais, e se restringem, portanto, aquelas causadas pelo efeito de temperatura apenas.
- ❑ Conseqüentemente, as deformações são substancialmente menores e permitem que se deixe o mínimo de sobremetal, ou até mesmo nenhum resquício, dependendo da geometria e do processo de tratamento adotado.
- ❑ Na maioria dos casos é interessante utilizar diretamente a nitretação por terem temperaturas bem próximas, conferindo simultaneamente endurecimento e camada de alta resistência ao desgaste.

Têmpera em Vácuo

- ❑ Recomenda-se o tratamento em fornos a vácuo devido a ausência de dano na superfície, diferentemente dos tratamentos em banho de sais fundidos ou mesmo em fornos sem atmosfera controlada.
- ❑ Pela ausência de oxigênio, não ocorre oxidação da superfície dos moldes. No caso de banho de sais fundidos ou fornos sem atmosfera, é comum a ocorrência de “absorção” de sal ou impurezas nas porosidades naturais da superfície do aço, o que, necessariamente, prejudicará o posterior polimento.
- ❑ A têmpera em vácuo, além da melhoria na qualidade superficial, apresenta também melhor homogeneidade no que se refere a aquecimento e resfriamento. Naturalmente que melhorando a homogeneidade microestrutural após a têmpera, há influência direta no desempenho da ferramenta, em especial naquelas que têm elevados requisitos de solicitações mecânicas em trabalho.



Equipamento para têmpera, revenimento e recozimento



Cementação

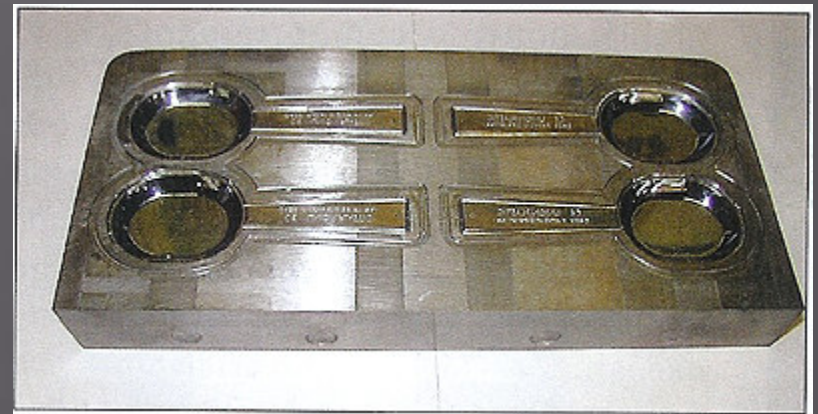
- ❑ Consiste no enriquecimento superficial de carbono de peças de aço de baixo carbono.
- ❑ A temperatura de aquecimento é superior à temperatura crítica e as peças devem ser envolvidas por um meio carbonetante que pode ser sólido (carvão), gasoso (atmosferas ricas em CO) ou líquido (banhos de sal à base de cianetos).
- ❑ A peça cementada deve ser posteriormente temperada.



Nitretação



- ▣ Consiste no enriquecimento superficial de nitrogênio, que se combina com certos elementos dos aços formando nitretos de altas dureza e resistência ao desgaste.
- ▣ As temperaturas de nitretação são inferiores às da zona crítica e os aços nitretados não exigem têmpera posterior.
- ▣ O tratamento é feito em atmosfera gasosa, rica em nitrogênio ou em banho de sal.



PVD

- ▣ PVD (Physical Vapour Deposition)
- ▣ Processo que permite a deposição de um produto sólido num substrato, por meios físicos e em estado vapor.



Carbonitretação

- ▣ Endurecimento superficial que consiste na introdução simultânea na superfície do aço de carbono e nitrogênio em atmosfera gasosa.

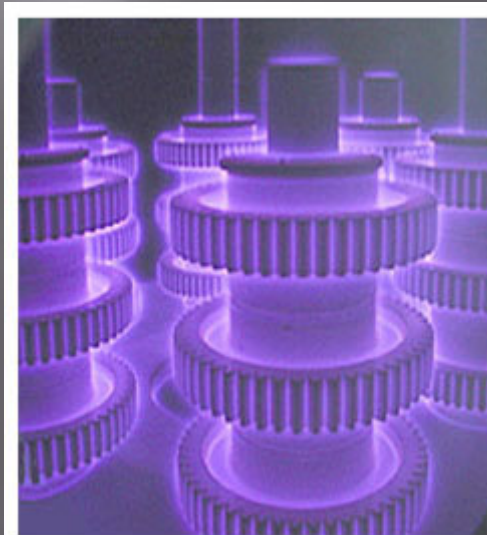


Figura 2: Plasma constituído de uma mistura N₂ + H₂ envolvendo engrenagens

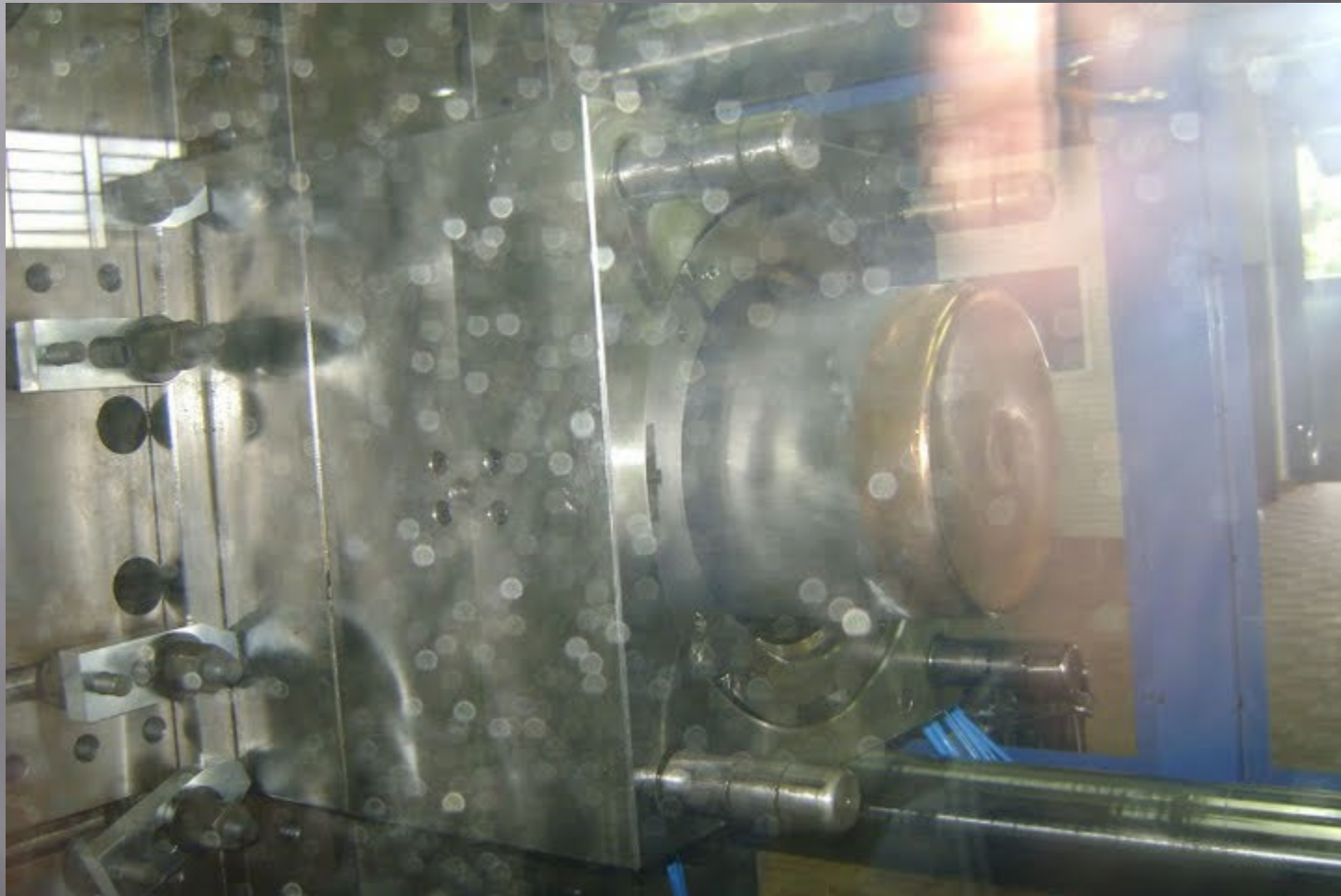
Ligas de Cobre-berílio

- ▣ As ligas constituídas de teores de berílio acima de 1,7% apresentam melhoria nas propriedades mecânicas e redução nas propriedades térmicas. A resistência à tração é acima de 1200 MPa e dureza de 440 HB. É uma liga dúctil, possível de polimento e pode ser temperada.
- ▣ Por outro lado as ligas com menos de 1,7% de berílio são usadas em trocadores de calor, pois são resistentes a corrosão. Podem ser recobertas com níquel ou cromo. Podem ter a dureza aumentada para até 780 HB, temperatura de tratamento 400°C, podem ser soldadas, usinadas ou fundidas.

Ligas de Cobre-berílio

- ▣ As ligas de cobre-berílio são muito usadas na fabricação de insertos em moldes de injeção onde se requer rápido resfriamento das peças injetadas e, conseqüentemente, um menor tempo de ciclo, pois o cobre-berílio tem alta condutividade térmica retirando o calor de regiões onde é difícil o resfriamento da peça.

Cobre-berílio no macho



Ampco

- ▣ Ligas de cobre com alta condutividade térmica.
- ▣ São largamente usadas como inserto em moldes de injeção, matrizes de extrusão e moldes de sopro.
- ▣ Usadas na indústria automotiva e indústrias de plástico.
- ▣ Reduzem tempos de custo



Zinco e suas ligas

- ▣ As ligas de zinco são usadas em moldes protótipos, molde para pequenas produções ou moldes de sopro.
- ▣ Apresentam propriedades mecânicas inferiores quando comparadas as ligas de cobre.
- ▣ Apresentam alta condutividade térmica 105 W/m.K
- ▣ A liga de zinco que se destaca na fabricação de insertos é o **Zamak**.

Ligas de alumínio

- ▣ Recentemente usadas para máquinas com distribuição de carga uniforme, são fáceis de trabalhar e possuem alta condutividade térmica, cerca de quatro vezes a condutividade térmica dos aços.
- ▣ Ligas mais usadas são 7075-T6 e 7029-T6.
- ▣ A espessura das placas dos moldes de alumínio são 40% maiores do que as placas de aço, mas o peso dos moldes de alumínio é 50% menor do que os moldes de aço.
- ▣ As ligas de alumínio possuem boa usinabilidade.

Ligas de estanho-bismuto

- ▣ São ligas macias, metais pesados, frágeis ao choque, plasticidade sob carga constante.
- ▣ São mais resistentes com o aumento da idade.
- ▣ São usadas em moldes protótipos, moldes de sopro, termoformagem e matrizes.