

VINÍCIUS MARTINS - viniushiper@yahoo.com.br
 PAULO RICARDO BÖESCH JÚNIOR - paulo.boesch@ufrgs.br
 RODRIGO GONZATTI - rgonzatti@yahoo.com.br
 WILSON CORRÊA RODRIGUES - wilson.rodrigues@ufrgs.br
 ALEX FABIANO BUENO - alex.bueno@ufrgs.br
 LÍRIO SCHAEFFER - schaefer@ufrgs.br



Materiais e tratamentos superficiais aplicados à ferramentas para metalurgia do pó

A seleção correta dos materiais auxilia na otimização dos custos de produção de um ferramental, incidindo diretamente na produtividade e no custo do produto. Atendendo a esta demanda foram pesquisados os materiais aplicados na fabricação de matrizes de compactação para a metalurgia do pó e na confecção dos moldes para a moldagem de pós por injeção.

O mercado de componentes produzidos pela metalurgia do pó tem crescido continuamente nos últimos anos. Essa constante expansão pode ser atribuída a alguns fatores, tais como: a criação de novas aplicações através de sua “popularização” entre os projetistas, além da melhoria da matéria-prima e das técnicas de processamento resultando em componentes com propriedades mecânicas finais superiores. Tem-se observado também, que além do crescimento da quantidade de peças produzidas, houve um aumento no valor agregado e na qualidade; isto se explica, sobretudo, pelo aumento de requisitos de geometria, tolerâncias dimensionais e propriedades mecânicas exigidas pela alta competitividade do mercado consumidor [1].

A metalurgia do pó através da técnica de sinterização é um processo de produção de peças pequenas e de geometria complexa altamente competitiva no mercado industrial mundial. Este processo tem como característica produção em grande escala, com alto padrão de repetibilidade, e contribuindo de forma bastante positiva com o meio ambiente, pois emite uma quantidade mínima de resíduos sólidos [2].

O processo PIM - *Powder Injection Mold*, moldagem por injeção de pós, foi desenvolvido em 1973 e utilizado em escala industrial a partir do final dos anos setenta. Atualmente, a indústria tem se interessado na fabricação de peças de forma complexa tais como guias de aço inox¹, válvulas de fechamento circulares, pás de turbina feitas por carbetto de silício, as quais apresentam boa

resistência mecânica, melhoria na transmissão de calor e energia, entre outras [3].

No projeto e fabricação de um produto é essencial que as propriedades dos materiais e os processos sejam compreendidos. O ferramental é um elemento chave dos sistemas de produção. Compreender as propriedades, características, aplicabilidade e usinabilidade dos materiais que o compõe são essenciais para a competitividade no meio industrial, possibilitando assim selecionar os mais aptos para cada aplicação e que, simultaneamente, determinam custos de produção mais baixos. Os aspectos econômicos na sua seleção são tão importantes como as considerações de ordem tecnológica relativas às suas propriedades [4].

Os aços comumente utilizados na fabricação de ferramentas (moldes e/ou matrizes) fazem parte de uma família de materiais denominada aços-ferramenta. Estes materiais evoluíram de simples ligas de Ferro (Fe) e Carbono (C) produzidas até 1868, para ligas complexas altamente ligadas. Os elementos que compõe essas ligas são Tungstênio (W), Vanádio (V), Cromo (Cr), Molibdênio (Mo), Silício (Si), Manganês (Mn) e Cobalto (Co). Dependendo das quantidades que estes elementos são adicionados ao sistema Fe-C e dos tratamentos térmicos dados, haverá formação de ligas com diferentes pro-

¹Inox: forma reduzida de inoxidável, que é a qualidade do que resiste à oxidação. Em metalurgia é uma liga de Ferro (Fe) e Cromo (Cr), podendo conter também Níquel (Ni), Molibdênio (Mo) e outros elementos, que apresenta propriedades físico-químicas superiores aos aços comuns, sendo a alta resistência à oxidação atmosférica a sua principal característica.

priedades mecânicas. Em geral, a solicitação que a ferramenta irá receber em trabalho é que determinará a propriedade mecânica desejada e, conseqüentemente, os elementos de liga que deverão ser adicionados [5].

O objetivo deste trabalho é apresentar o que está sendo utilizado atualmente na confecção de moldes e matrizes destinados aos processos de metalurgia do pó, bem como salientar as propriedades e possíveis aplicações para cada material.

CONSIDERAÇÕES GERAIS

A crescente introdução no mercado de uma vasta gama de novos materiais com características técnicas específicas determina, por vezes, um desgaste anormal por abrasão dos equipamentos de produção. Neste contexto, os fabricantes de moldes e matrizes são confrontados com a necessidade de encontrar soluções para incrementar a resistência dos seus produtos e, simultaneamente, com níveis de exigência para a qualidade final cada vez mais elevadas.

Parâmetros a serem considerados na seleção de um aço-ferramenta

Os aços utilizados na fabricação de ferramentais devem ser resistentes às altas pressões empregadas durante o processo de produção, bem como pela necessidade de suportar as tensões de flexão e as cargas de compressão, exigindo que a resistência no núcleo de aço seja alta enquanto se mantém uma dureza superficial adequada que permite [4,6]:

- Suportar efeitos de erosão dos materiais nas zonas do molde ou matriz em que o fluxo é restrito ou obstruído;
- Resistir ao desgaste, especialmente em grandes produções e;
- Manter na superfície um alto grau de polimento, que facilite a extração do produto e lhe proporcione um bom acabamento.

Tenacidade²

A metalurgia do pó em geral fornece tenacidade mais alta do que o processo convencional. Esta propriedade nos aços tende a decrescer com o aumento do teor de elementos de liga, sendo afetada também pelo processo de produção do aço.

Resistência ao desgaste

O aumento de teores de elementos de liga eleva a resistência ao desgaste tendo os carbeto³ um impor-

tante papel. A maioria dos carbeto é formada quando os elementos de liga como Vanádio, Molibdênio e Cromo combinam-se com o Carbono durante a solidificação do aço. Porcentagens mais altas de carbeto melhoram a resistência ao desgaste, mas reduzem a tenacidade. A resistência ao desgaste abrasivo do aço-ferramenta é promovida pela dureza da matriz, dada pelo tratamento térmico e pela presença dos carbeto primários não dissolvidos [5,7].

Tensão limite de compressão

Durante a conformação temos dois fatores que interferem na resistência compressiva: a) o teor de liga de elementos como o Molibdênio e o Tungstênio são benéficos para o aumento da resistência à compressão e; b) a dureza, que quanto mais elevada em um dado aço mais alto também é o seu limite de compressão.

A figura 1 apresenta um comparativo das propriedades citadas de algumas classes de aços-ferramenta normatizados [7].

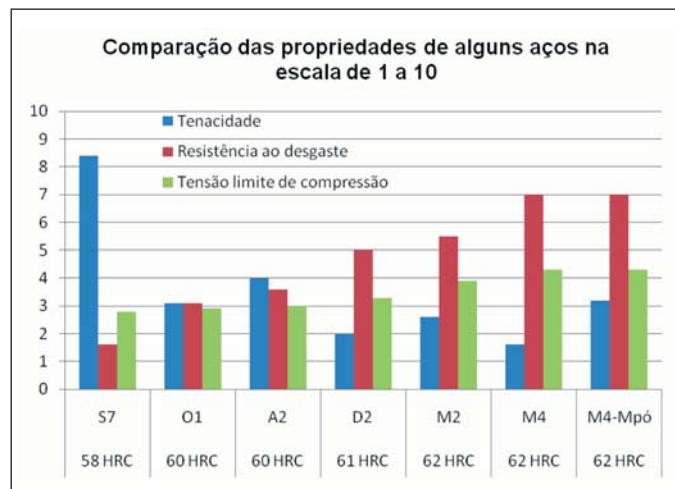


Figura 1 - Propriedades de alguns aços na escala de 1 a 10 [7]

Tratamentos superficiais e o aumento da dureza

Os tratamentos superficiais têm por objetivo prolongar a vida das ferramentas. Estes aumentam a dureza superficial e a resistência ao desgaste e reduzem o coeficiente de atrito. Tratamentos que produzem maiores valores de dureza, como o revestimento com carbeto de Titânio (Ti) e a difusão térmica produzem camadas su-

²Tenacidade: é a energia mecânica, ou seja, o impacto necessário para levar um material à ruptura. Se um material é tenaz ele pode sofrer um alto grau de deformação sem romper. Em outras palavras, tenacidade é uma medida de quantidade de energia que um material pode absorver antes de fraturar. Os materiais cerâmicos, por exemplo, tem baixa tenacidade.

³Carbeto: classe de compostos, também denominada de carbonetos, que se constitui de sais binários contendo carbono e características inorgânicas.

perficiais mais espessas, mas exigem uma grande quantidade de calor, o que inviabiliza seu uso em muitas aplicações. Os métodos usualmente empregados para tratamento superficial das ferramentas são a nitretação convencional, nitretação a plasma e processo PVD [7,8].

Têmpera⁴ superficial

O processo consiste em produzir-se uma têmpera localizada apenas na superfície das peças de aço, adquirindo as propriedades e as características típicas da estrutura martensítica⁵. A figura 2 mostra o efeito do tempo de aquecimento na profundidade de endurecimento [9].

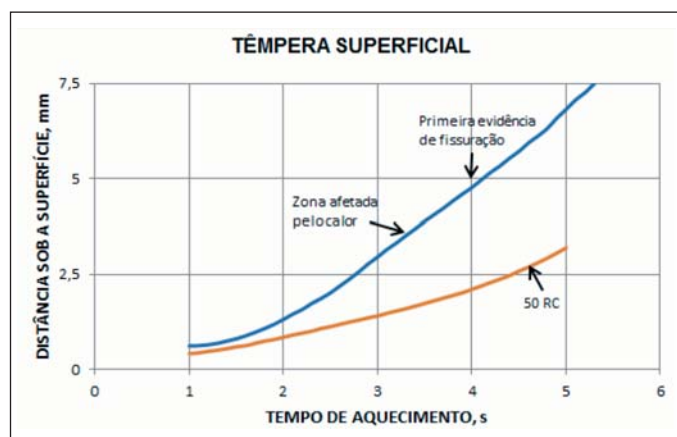


Figura 2 - Efeito do tempo de aquecimento na profundidade de endurecimento [9]

Nitretação gasosa

A nitretação gasosa em alta temperatura consiste no enriquecimento superficial em Nitrogênio (N) de aços, por meio de tratamento termoquímico em temperaturas elevadas (entre 500 a 600°C), sob atmosfera gasosa rica em N_2 . Por meio deste tratamento é possível obter peças com camadas de elevado teor de Nitrogênio com aproximadamente 0,5 a 2 mm de espessura e alto nível de tensões residuais de compressão, sobre núcleos com propriedades mecânicas otimizadas.

A microestrutura das camadas nitretadas depende principalmente da composição química do material base e da quantidade de Nitrogênio absorvido durante o tratamento. As principais razões para se utilizar a nitretação são: obtenção de altíssima dureza superficial (em torno de 65 HRC⁶) e alta resistência ao desgaste; melhoria na resistência à fadiga e à corrosão (exceto para aços inoxidáveis) [10,11].

Nitretação a plasma

A nitretação a plasma é um processo utilizado para

melhorar as propriedades mecânicas, tribológicas⁷ e a resistência à corrosão dos materiais, proporcionando um aumento na vida útil das peças tratadas. O controle dos parâmetros envolvidos no tratamento termoquímico a plasma, tais como a mistura gasosa, temperatura, tempo e pressão, são muito importantes para a formação adequada das estruturas das camadas de proteção [12, 13, 14].

A figura 3 apresenta uma peça sendo submetida ao processo de nitretação a plasma.

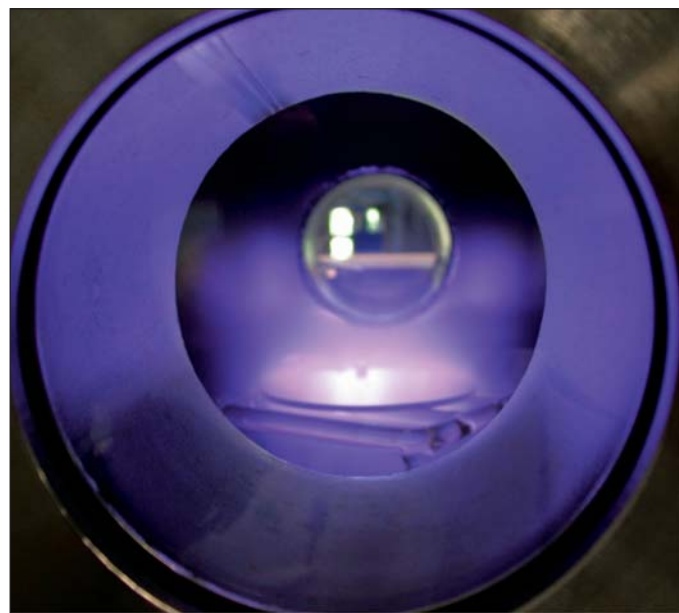


Figura 3 - Nitretação a plasma de uma peça em aço [15]

Revestimentos de superfície

Entre as inúmeras maneiras para reduzir o desgaste e aumentar a dureza superficial de matrizes, uma delas é a deposição de uma fina camada de filme formado geralmente por materiais cerâmicos com dureza elevada e baixa afinidade em relação às peças a serem conformadas [5]. Atualmente, as ferramentas de conformação a

⁴Têmpera: Tratamento térmico caracterizado pelo resfriamento em velocidade superior a velocidade crítica de têmpera de uma liga Ferro-Carbono, a partir de uma temperatura acima da zona crítica para os aços hipoeutetóides e geralmente dentro da zona crítica para os aços hipereutetóides, resultando em transformação da austenita em martensita.

⁵Martensita: fase metaestável que corresponde a uma solução sólida supersaturada de carbono em ferro. É uma fase extremamente dura.

⁶Dureza Rockwell: é um método de medição direta de dureza desenvolvido por Stanley Pickett Rockwell em 1922, nos Estados Unidos. É um dos mais utilizados em indústrias e um dos mais simples e que não requer habilidades especiais do operador. Além disso, várias escalas diferentes podem ser utilizadas através de possíveis combinações de diferentes penetradores e cargas, o que permite o uso deste ensaio em praticamente todas as ligas metálicas, assim como em muitos polímeros.

⁷Tribologia: do grego Tribos = atrito e Logos = estudo, significa a ciência que estuda o atrito. É definida como "a ciência e a tecnologia da interação entre superfícies com movimento relativo e dos assuntos e práticas relacionadas". Atualmente trata dos tópicos relativos ao atrito, desgaste e lubrificação.

frio utilizam filmes depositados pelo método PVD⁸, devido a este processo permitir a cobertura com revestimentos a temperaturas de aproximadamente 250°C e 500°C. Com isso os substratos mantêm suas propriedades mecânicas durante o aquecimento excessivo. Os revestimentos, além de diminuir o desgaste das ferramentas, melhoram a qualidade superficial do produto conformado, aumentam a produtividade e reduzem o uso de lubrificantes.

O processo PVD, pode aumentar a vida de uma ferramenta de precisão de aço rápido com alto teor de liga, mas não resolve o problema de desgaste de uma matriz com tolerâncias estreitas nem impede a flexão de punções submetidos a altas cargas [16]. A figura 4 apresenta esquematicamente o processo de PVD a plasma.

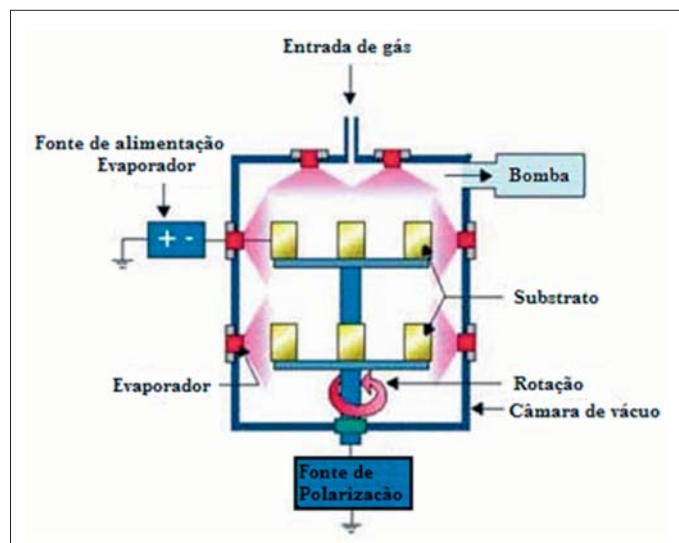


Figura 4 - Processo PVD a plasma [17]

ESCOLHA DO MATERIAL PARA FERRAMENTA

A escolha do material para ferramenta é de extrema importância e está ligada diretamente com a qualidade e exigência do ferramental e do processo.

Aços-ferramenta

A principal e mais difundida classificação dos vários tipos de aços-ferramenta foi desenvolvida pela AISI (American Iron and Steel Institute), organizando os mesmos, com base em pontos fundamentais como elementos de liga, aplicação ou tratamento térmico. A tabela 1 especifica, de forma resumida, indicações gerais para a escolha de aços-ferramenta [18, 19, 20].

Os fabricantes desenvolvem aços com características especiais, obtidas por métodos de processamento os quais incluem desoxidação controlada, desgaseificação a vácuo (VAD⁹) ou refusão em vácuo (VAR¹⁰), produ-

GRUPO	CARACTERÍSTICAS	SÍMBOLO AISI	LIGAS
Aço Ferramenta para trabalho a frio	Endurecido em água	W	W1, W2, W5,
	Endurecido em óleo	O	O1, O2, O6, O7,
	Endurecido ao ar	A	A2, A4, A6, A7, A8, A9, A10, A11,
	Alto C, Alto Cr	D	D2, D3, D4, D5, D7
Resistente ao impacto	Médio Carbono	S	S1, S2, S4, S5, S6, S7
Aço Ferramenta para trabalho a quente	Ligados ao Cr, W e Mo	H	H10-19 ao Cr
			H20-39 ao W
			H40-59 ao Mo
Aços rápidos	Ligados ao Mo	M	M1, M2, M3, M7, M10, M33, M42, M50 ao Mo
	Ligados ao W	T	T1, T4, T5, T6, T8, T15 ao W
Aço Ferramenta para moldes	Baixo Carbono	P	P6, P20, P21
Especiais		L	L2, L6

Tabela 1 - Classificação dos aços ferramenta [18, 19, 20]

zindo aços mais uniformes e isentos de impurezas. Dentre as propriedades melhoradas dos materiais estão a possibilidade de polimento com qualidade ótica, aumento da resistência ao desgaste e à corrosão, melhoria da usinabilidade e resistência à deformação, dureza uniforme, entre outras [7]. Devido às ligas de aço-ferramenta apresentarem alto custo em relação aos aços convencionais de baixa liga, ao optar-se por fabricar uma ferramenta com aços altamente ligados espera-se que essa ferramenta apresente alta resistência ao desgaste, à fadiga e à fratura, com uma maior vida útil para que o custo da fabricação dessa ferramenta dilua-se na produção das peças [5].

Os aços ferramenta para trabalho a frio são subdivididos nas classes D, A, O conforme apresentado na tabela 1. Essas classes têm como característica comum elevado teor de Carbono, que potencializa os valores de dureza, aumentando a resistência ao desgaste. O que as difere são os elementos de liga, que afetam a quantidade e a distribuição dos carbeto na matriz [21].

Os aços ferramenta para trabalho a frio da classe A, também denominados “temperáveis ao ar”, são caracterizados pelos altos teores de C, Mn, médios teores de Cr e moderados teores de outros elementos de liga,

⁸PVD: do inglês Physical Vapour Deposition, significa deposição física de vapor. Trata-se de um processo descoberto acidentalmente por Faraday, que observou a deposição de partículas na superfície interna de bulbos de lâmpadas incandescentes oriundas da explosão do filamento. O processo consiste de deposição em vácuo onde, primeiramente, um material é transformado em vapor, então é transportado nessa fase e por último é depositado na superfície de um substrato. Este processo permite depositar uma infinidade de metais puros e ligas (como Ouro, Cromo, e outros) bem como uma série de nitretos e outros compostos.

⁹VAD: do inglês Vacuum Arc Degassing, significa desgaseificação a arco por vácuo. Também denominada desgaseificação por aquecimento a vácuo (VDH - Vacuum Heating Degassing). Foi uma tecnologia criada há mais de 40 anos para produção de aço.

¹⁰VAR: do inglês Vacuum Arc Remelting significa refusão a arco em vácuo.

com exceção do AISI A7.

O resultado após tratamento térmico de têmpera e revenido é uma estrutura martensítica com fina dispersão de carbeto. Esta classe de aços é aplicada em facas de cisalhamento, punções de corte e matrizes para conformação. Pelo fato de serem temperáveis ao ar, possuem a vantagem de minimizar os riscos ou tendência a trincas, assim como tendem a apresentar baixos valores de distorção durante o endurecimento, garantindo estabilidade dimensional, importante propriedade, por exemplo, quando usados como matrizes [22].

Os aços ferramenta da classe O, também conhecidos como “temperáveis em óleo”, possuem altos teores de C e moderados teores de elementos de liga, suficientes para promover boa profundidade de endurecimento pela têmpera em óleo. Difere-se dos demais aços ferramenta para trabalho a frio devido à baixa resistência ao revenido. As aplicações dos aços do grupo O incluem matrizes e punções para corte, conformação e calibradores para metais não ferrosos [22, 23, 24]. Os aços-ferramenta da classe D (de alto C - alto Cr) foram desenvolvidos com o objetivo de substituir os aços rápidos. Os valores de dureza a quente obtidos na época revelaram-se insuficientes para a referida substituição, tendo sido notado, porém, que havia presença de carbeto em grande quantidade na matriz martensítica revenida o que aumentava consideravelmente a resistência ao desgaste. Os teores elevados de C e Cr, além da presença de outros elementos de liga formadores de carbeto, como o V, promovem uma estrutura com considerável fração volumétrica de carbeto, responsável diretamente pela alta resistência aos mecanismos de desgaste. O Cr é o principal elemento de liga presente nestes aços com concentração nominal na ordem de 12,5% em peso [22].

AÇOS FERRAMENTA OBTIDOS POR M/P

Recentemente, o mais significativo desenvolvimento foi a introdução da metalurgia do pó (M/P) para fabricação dos aços-ferramenta, possibilitando o surgimento de estruturas isotrópicas¹¹ e homogêneas, potencializando assim a resistência ao desgaste, aumentando a tenacidade destes aços e possibilitando o surgimento de novas ligas com composições químicas mais complexas [22]. Na tabela 2 estão apresentados alguns dos principais aços-ferramenta produzidos por M/P.

Observa-se na tabela 2 que o processo proporcionou o surgimento de ligas com elevados teores de Carbono e elementos formadores de carbeto, que só podem ser

Fabricante	Nome comercial	Composição Química (% peso)			
		C	Cr	Mo	V
Böhler	K 190	2,30	12,50	1,10	4,00
Crucible	CPM 10V	2,45	5,25	1,30	9,75
Uddeholm	Vanadis 10	2,90	8,00	1,50	9,80
	ASP 23	1,30	4,20	5,00	3,10

Tabela 2 – Alguns aços ferramenta sinterizados [25, 26, 27,28]

obtidas pela metalurgia do pó. A figura 5 mostra uma comparação entre microestrutura de aço-ferramenta temperado, sendo uma amostra obtida pela metalurgia convencional, onde a seta indica o carbeto grosseiro; e outra produzida por metalurgia do pó indicando pela seta o carbeto fino [29].

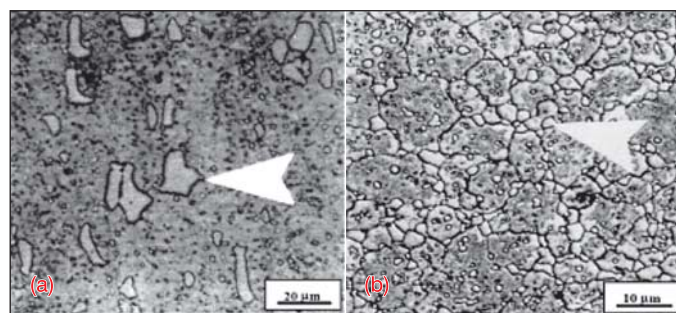


Figura 5 - (a) metalurgia convencional e (b) metalurgia do pó [29]

Na figura 5 observa-se através da microscopia ótica, que o aço produzido a partir do processo da metalurgia do pó, (figura 5b) não apresenta uma microestrutura caracterizada por estrias, mostrando tamanho, distribuição e morfologia homogênea dos carbeto. Tais características são responsáveis pelo incremento da resistência ao desgaste, à capacidade de corte, a tenacidade, além de reduzir distorções típicas durante os tratamentos térmicos [29].

Em algumas situações específicas, em que a resistência ao desgaste e à compressão deve ser superior às dos aços para trabalho a frio da classe D, [30] podem ser utilizados aços rápidos. Tais materiais atingem dureza acima de 64 HRC e possuem carbeto primários de alta dureza, proporcionando resposta adequada nas aplicações mais críticas.

Um exemplo típico de aço rápido ao Molibdênio é o M2 (são os da classe M), de elevada dureza, resistência ao desgaste e boa tenacidade. São beneficiados para durezas superiores a 62 HRC. Estes aços são frequentemente temperados em banhos de sais e utilizados principalmente em situações que exigem maiores esforços de flexão ou concentração de tensão. Podem ser inclu-

¹¹ Isotropia: do grego ísos = igual e tropos = girar. Propriedade que caracteriza as substâncias que possuem as mesmas propriedades físicas independentemente da direção considerada.

sive aplicados aços rápidos obtidos por metalurgia do pó, devido a maior tenacidade desses materiais [31, 32].

AÇOS PARA FABRICAÇÃO DE MOLDES

Os aços indicados na tabela 3 são os de uso corrente no Brasil sendo oferecidos por fabricantes nacionais e importadores. A relação apresenta as principais características dos aços indicados e a dureza obtida após tratamento térmico. Nota-se que os aços indicados são para a seleção padrão para moldes de injeção, devido a suas funções de requisitos especiais.

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 polibibilidade. 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 polibibilidade. 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) THYROTERM 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 polibibilidade (varia de acordo com a qualidade). Endurecível por temperatura	Utilizado no estado temperado para 50/52 HRC A polibibilidade varia com o processo de tratamento térmico e a qualidade do aço.

Tabela 3 - Aços padrão para injeção [6]

FERRAMENTA DE METAL DURO

O metal duro destaca-se pela elevada dureza e resistência à abrasão aliadas a elevada resistência e tenacidade. As propriedades de cada fase, a microestrutura e a composição da mistura são os parâmetros que influenciam nas propriedades finais do produto [33]. É um material composto a base de WC e Cobalto como aglomerante, que encontrou diversas aplicações no campo da engenharia, destacando-se na fabricação de ferramentas para usinagem, matrizes de conformação, brocas de mineração e componentes resistentes ao desgaste [34]. A classe de metal duro utilizada em ferramentas para compactação e conformação é a G com o percentual de Cobalto variando entre 18 a 30%

FERRAMENTA DE COMPACTAÇÃO

As ferramentas de compactação e os moldes para

injeção de pós metálicos são ferramentas de extrema complexidade e sofrem grandes cargas de desgaste. Muitas vezes estas ferramentas possuem uma grande variedade de material visando à minimização do custo em função das propriedades mecânicas.

A figura 6 mostra ferramentas de compactação de baixa e média complexidade aplicadas em fabricação de diversas peças.



Figura 6 - Ferramentas de compactação com baixa e média complexidade [35]

Já a figura 7 apresenta ferramentas de compactação de alta complexidade aplicadas em fabricação de peças variadas.



Figura 7 - Ferramentas de compactação com alta complexidade [35]

A figura 8 apresenta punções e matrizes de compactação de alta complexidade aplicadas em fabricação de várias peças.



Figura 8 - Punções e matrizes de compactação com alta complexidade [36]

O molde da figura 9 possui os espaçadores, as bases superiores e inferiores de aço AISI 1020 e as placas porta cavidades inferiores e superiores de AISI 1045. As cavidades são fabricadas em aço AISI P20. Nesta ferramenta

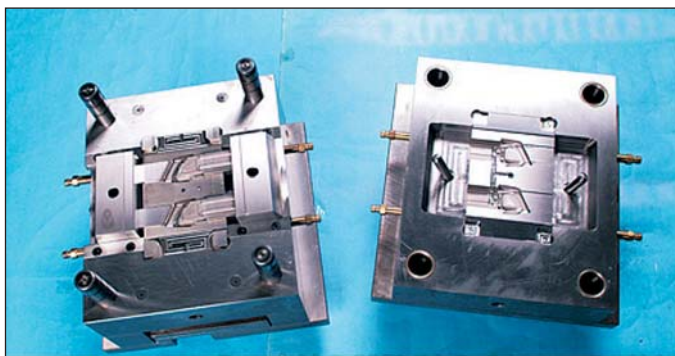


Figura 9 - Punções e matrizes de compactação com alta complexidade [36]

para moldagem de pós por injeção é possível observar um sistema de colunas e guias, o sistema de gavetas e as cavidades.

CONCLUSÕES

De acordo com a pesquisa realizada, o melhor material para fabricação de ferramentas de compactação é o metal duro em relação às propriedades de resistência ao desgaste e abrasão, permitindo a utilização de revestimento que aumenta a vida útil do ferramental. A utilização de insertos em ferramentas de compactação é a solução economicamente viável para a minimização dos custos de ferramental em função da vida produtiva da mesma.

O molde para injeção de pós metálicos tem o seu custo reduzido utilizando vários tipos de materiais e aços para sua fabricação. As partes menos nobres (por exemplo, o porta-molde) são constituídas de aço ao carbono, enquanto nas partes que estão envolvidas com a matéria prima em processamento ou que sofre grande desgaste devem ser utilizados aços ferramentas. Os aços mais utilizados para a fabricação das cavidades dos moldes são AISI P20 e AISI H13.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Galiotto, A.; *Estudo da sinterabilidade de materiais ferrosos contendo elevados teores de sulfeto como aditivos*. Dissertação. Universidade Federal de Santa Catarina. 2005
- [2] Chiaverini, V.; *Metalurgia do pó*. São Paulo, Brasil: Associação Brasileira de Metalurgia e materiais - ABM, 4ª Edição, 2001.
- [3] História da metalurgia do pó
Disponível em: www.mpf.org/newsroom/facts.pdf. Acesso em: 04/08/2010.
- [4] Metals Handbook. *Introduction to heat threatening of tools steels*, vol. 4, 1991.
- [5] Mendes, M. A. R. S.; *Estudo do desgaste de ferramentas com e sem revestimento de filmes finos utilizadas em operações de conformação a frio*. Dissertação para o título de mestre em engenharia São Paulo, Brasil, 2009.
- [6] Garcia, M. C. R.; *Apostila de fundamentos de projetos de ferramentas* Instituto federal de educação, ciência e tecnologia Sul-rio-grandense - IFSUL, RS, Brasil, 2009.
- [7] Disponível em:
http://www.cimm.com.br/portal/noticia/material_didatico/6399. Acesso em: 10/08/2010.
- [8] Yuhara, D. A.; *Aplicação de revestimentos PVD em ferramentas de corte*. Brasimet São Paulo Brasil 2000. Disponível em: www.brasimet.com.br/artigos/revestimentos.pdf. Acesso em: 02/08/2010.
- [9] Chiaverini, V.; *Aços e ferros fundidos*. 5ª Edição, São Paulo: Edgard Blücher, 1993. ABM, p. 518, 1982.
- [10] Garzón, C. M.; Tschiptschin, A. P.; *Nitreção gasosa em alta temperatura de aços inoxidáveis*. Revista Matéria, v. 10, n. 4, /pp. 502 - 525, 2005 Disponível em: <http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo10697>. Acesso em: 12/08/2010.
- [11] *Nitreção gasosa em moldes de injeção*. Disponível em: <http://www.moldesinjecao plasticos.com.br/sistematrata mento termoquimico.asp>. Acesso em: 12/08/2010.
- [12] Miola, E. J.; Souza, S. D.; Nascente, P. A. P.; Olzon-Dionysio, M.; Olivieri, C. A.; Spinelli, D.; *Appl. Surf. Sci.*, 272, 144-145 (1999).
- [13] Gontijo, L. C.; Machado, R.; Miola, E. J.; Casteletti, L. C.; Nascente, P. A. P.; *Ver. Bras. Apl. Vácuo*, 20, 1-2, 31-36 (2001).
- [14] Abdalla, A. J.; Baggio-Scheid, V. H.; *Tratamentos termoquímicos a plasma em aços carbono*. Corros. Prot. Mater., Vol. 25, Nº 3, 2006.
- [15] Disponível em:
<http://www.pmt.usp.br/Pronex/DSCN8192.JPG>. Acesso em: 09/08/2010.
- [16] Vetter et al.; *Hard coatings for lubrication reduction in metal forming*. Surface and coatings technology. Vol. 86 87, pp. 739-747, 1996.
- [17] Disponível em: http://www.superior-coat.com/shber_tech1en.htm. Acesso em: 09/08/2010.
- [18] Roberts, G.; Krauss, G.; Kennedy, R.; *Tool steels*. 5ª edição, American Society for Metals, Metals Park, OH., 1998.
- [19] American Society for Metals - *Metals Handbook*. V.1, 7ª edição, 1983.
- [20] Krauss, G.; *Steels: heat treatment and progressing principles*. Colorado: ASM International, 2st ed., 1990.
- [21] Krauss, G.; *Principles of heat treatment of steel*. Ohio, A. Society for metals, 1980.
- [22] Roberts, G.; Krauss, G.; Kennedy, R.; *Tool steels*. 5ª edição, American Society for Metals, Metals Park, OH., 1998.
- [23] American Society For Metals - *Metals Handbook*. v. 1, 7ª edição, 1983.
- [24] *Tool steels*. Steel Products Manual. Iron and Steel Society. 1998.
- [25] Aços Böhler - *Catálogo Técnico* - 2002.
- [26] Uddeholm - *Catálogos Técnicos - Aços Especiais* - 2002 - 2006.
- [27] Crucible Particle Metallurgy - *Technical catalogue - Crucible tool steel and specialty alloy selector*, 2001.
- [28] Thyssen - *Catálogo Técnico - Aços Especiais*. Brasil, 1ª edição,

nov., 1998.

- [29] Relatórios Mahle Metal Leve - Centro de Pesquisas Tecnológicas - 2002 a 2006.
- [30] Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 6189: Aços Ferramenta*. Rio de Janeiro, 1982.
- [31] Mesquita, R. A.; Barbosa, C. A.; *Evaluation of as-hiped PM high speed for production of large diameters cutting tools*. Materials Science and Forum, V. 416 - 418, p. 235-240, 2003.
- [32] Mesquita, R. A.; Andrijauskas, P. S.; Barbosa, C. A.; *Aços de alta tenacidade para matrizes de trabalho a frio*. In: Encontro de Integrantes da Cadeia Produtiva de Ferramentas, Moldes e Matrizes, I.; 2003, São Paulo. Anais. São Paulo: ABM, pag. 51. 2003.
- [33] Martins, V.; Rodrigues, W. C.; Schaeffer, L.; *Obtenção eficaz de compósitos de metal duro através de balanço de massa* - Anais do 64º Congresso da ABM 2009 Brasil Disponível em: <http://www.ufrgs.br/ldtm/publicacoes/metaldurobalanco.pdf>. Acesso em 19-08-2010.
- [34] Correa, E. O.; Klein, A. N.; Santos, J. N.; *Microstructure and mechanical properties of WC Ni-Si based cemented carbides developed by powder metallurgy*. Journal of Refractory Metals and Hard Materials journal homepage, 2010. Disponível em: <http://www.elsevier.com/locate/IJRMHM>. Acesso em: 5 jul. 2010.
- [35] *Ferramentas de compactação*. Disponível em: <http://www.sz-wholesale.com/p/Other-1/Powder-Metallurgy-Moulds--Plastic-Moulds-56843.html>. Acesso em 01/08/2010.
- [36] *Ferramentas de compactação*. Disponível em: www.dachenty.com.tw/.../Products/products2.asp. Acesso em: 5 jul. 2010.

Contribuição Técnica apresentada na 14ª Conferência Internacional de Forjamento - Brasil/RS, 20 a 22 de outubro de 2010, Porto Alegre, RS, Brasil.

Vinícius Martins - Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais (PPGEM). Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM), Departamento de Metalurgia, UFRGS. Professor do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia Sul-rio-grandense - IFSUL.

Paulo Ricardo Böesch Júnior - Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais (PPGEM). Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM), Departamento de Metalurgia, UFRGS.

Rodrigo Gonzatti - Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais (PPGEM). Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM), Departamento de Metalurgia, UFRGS.

Wilson Corrêa Rodrigues - Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais (PPGEM). Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM), Departamento de Metalurgia, UFRGS.

Alex Fabiano Bueno - Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais (PPGEM). Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM), Departamento de Metalurgia, UFRGS. Professor do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia Sul-rio-grandense - IFSUL.

Lírio Schaeffer - Engenheiro Mecânico e Mestre em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e Doutor na área de Conformação Mecânica pela Universidade Técnica de Aachen na Alemanha (Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule - RWTH). Coordenador do Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM) da Escola de Engenharia da UFRGS. Pesquisador na área de Mecânica, Metalurgia e Materiais do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), professor das disciplinas relacionadas aos processos de fabricação por conformação mecânica e vinculado ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Minas e Energia (PPGEM) da UFRGS. Autor de vários livros sobre conformação mecânica.