

## 7 - MATERIAIS PARA FERRAMENTAS<sup>1</sup>

O conhecimento humano sobre materiais para ferramentas data desde a pré-história, quando os utensílios para caça e alimentação foram imaginados e confeccionados. A descoberta e invenção destes é, sem dúvida, a maior contribuição para a evolução dos processos de usinagem. Isto vem permitindo um aumento na taxa de remoção e, por conseguinte, a redução no tempo e custo de fabricação.

Na literatura sobre processos de usinagem existe uma distinção entre os materiais empregados nos processos abrasivos (com geometria não definida) e aqueles utilizados como ferramentas de geometria definida.

Não obstante, observa-se que, praticamente, quase todos os materiais empregados como abrasivos são também utilizados nas outras ferramentas. Entretanto, alguns materiais, tais como o aço rápido e ligas fundidas não são empregados como abrasivos.

Neste capítulo manter-se-á a divisão clássica entre abrasivos e ferramentas de geometria definida. Isto é importante porque, em poucas situações os abrasivos são utilizados soltos. Na maioria dos casos os abrasivos são aglomerados por meio de um material ligante que garante forma e volume aos rebolos e lixas.

Diversos fatores influenciam a escolha do material ferramenta. Dentre eles, destacam-se os seguintes:

- material da peça a ser usinada;
- processo de usinagem selecionado;
- rigidez do conjunto “máquina-ferramenta-peça-dispositivo”; e
- disponibilidade de fornecimento.

A disponibilidade de fornecimento é tratada aqui como um fator importante, pois no Brasil existe uma enorme dependência em relação à importação de ferramentas. Após atender essas restrições, o melhor material deve ser selecionado em função dos seguintes objetivos:

- tempo de usinagem por peça; e
- custo de usinagem por peça.

Infelizmente, em várias ocasiões, observa-se tomada de decisões equivocadas, baseadas somente no preço de venda da ferramenta. O Engenheiro de processos deve entender que preço de venda não é sinônimo de custo por peça. Deve-se entender também que somente após uma análise pautada na experimentação pode-se chegar à melhor decisão.

### 7.1- REBOLOS

O rebolo é a denominação que se dá às ferramentas abrasivas empregadas nos processos de retificação<sup>2</sup>. Eles são constituídos, no mínimo por dois materiais: os abrasivos e os ligantes. Em alguns casos, emprega-se um terceiro material para garantir as dimensões necessárias ao rebolo, por exemplo um corpo metálico. Isto acontece, principalmente nos rebolos cujos abrasivos requeiram elevado investimento, tais como o diamante e o nitreto de boro cúbico. Ainda nesse caso, pode-se depositar os abrasivos diretamente sobre o corpo metálico por galvanização.

Além do volume de abrasivos e ligantes, os rebolos possuem um terceiro volume, correspondente à porosidade. Nenhum rebolo é isento de porosidade. As propriedades do rebolo dependem do tipo de abrasivo (material e granulometria), do tipo de ligante e da porosidade.

A tabela 7.1 contém uma lista dos principais abrasivos empregados na fabricação dos rebolos e suas principais propriedades. O nitreto de boro cúbico (CBN) e o diamante policristalino (PCD) são considerados superabrasivos.

---

<sup>1</sup> Capítulo 7 da apostila da disciplina de Usinagem ofertada no Curso de Motores e Combustíveis e ministrada pelos professores Dalberto Dias da Costa e Neri Volpato em julho de 2003.

<sup>2</sup> Nos outros processos abrasivos, tais como o brunimento e a lapidação, pode-se empregar outros tipos de ferramentas.

Tabela 7.1 – Principais abrasivos empregados na fabricação de rebolos

PROPRIEDADE	MATERIAL			
	Óxido de alumínio	Carboneto de silício	Nitreto de boro cúbico	Diamante policristalino
Estrutura cristalina	Hexagonal	Hexagonal	Cúbica	Cúbica
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	3,98	3,22	3,48	3,52
Ponto de fusão (°C)	2040	~2830	~3200 a 105 Kbar	~3700 a 130 Kbar
Dureza Knoop (kg/mm <sup>2</sup> )	2100	2400	4700	8000

A seleção do tipo de ligante depende das condições de corte a serem empregadas. Em geral, o ligante deve ser resistente o bastante para suportar as forças de retificação, temperatura e força centrífuga sem se desintegrar. Além disso, deve suportar eventuais ataques químicos dos fluidos de corte. Os principais tipos de ligantes são seguintes:

- **vitricado (V)**. mistura de argila caulim, quartzo e feldspato. É o principal tipo empregado na fabricação de rebolos. Possui limitação quanto à velocidade de corte, geralmente utilizado até 33 m/s.
- **Goma-laca (E)**. é um ligante muito elástico, utilizado em operações de acabamento fino. Não são empregados para cortes pesados.
- **Borracha (R)**. Empregada em rebolos elásticos sob alta velocidade. Aplicados em rebarbação e propiciam bons acabamentos na retificação de eixos comando e mancais.
- **Resinóides (B)**. são ligantes orgânicos desenvolvidos a partir de resinas sintéticas, por exemplo: fenólicas e fenoplásticas. Empregado em operações de alta velocidade (45 a 100 m/s). Tem baixa resistência à soluções alcalinas, o que exige um controle rigoroso do pH dos fluidos de corte.
- **Metálicos (M)**. empregados como ligantes dos superabrasivos. Podem ser sinterizados, por exemplo a partir de pó de bronze ou carbonetos metálicos, por deposição galvânica ou por infiltração da estrutura porosa por um metal de baixo ponto de fusão.

Existem duas propriedades que são específicas dos rebolos, a dureza e a estrutura.

- **Dureza**. Representa o grau de coesão dos grãos com o ligante. Não deve ser confundida com a dureza do abrasivo. É uma medida da resistência com que o grão abrasivo é retido na massa aglomerante. Se essa resistência for grande, o rebolo é classificado como duro. Caso contrário tem-se uma ferramenta mole. Segundo a ABNT, a dureza dos rebolos é classificada da seguinte maneira:
  - \*\* E-F-G muito moles;
  - \*\* H-I-J-K moles;
  - \*\* L-M-N-O médios;
  - \*\* P-Q-R duros; e
  - \*\* S-T-U-V –muito duros.
- **Estrutura**. Indica a concentração volumétrica de grãos abrasivos no rebolo. Não deve ser confundida com a porosidade do rebolo. Uma estrutura mais aberta de grãos idênticos, em geral dá um acabamento mais grosseiro do que uma estrutura mais fechada. Os vazios da estrutura atuam como bolsões para retirada do cavaco.

## 7.2 – MATERIAIS PARA FERRAMENTAS DE GEOMETRIA DEFINIDA

Atualmente, emprega-se, utiliza-se os seguintes materiais na construção destas ferramentas:

- aço carbono temperado;
- aço rápido;
- ligas de cobalto;
- metal duro (carbonetos cementados);
- cerâmicas (ou misturas metal-cerâmica);

- Nitreto de boro cúbico;
- Diamante policristalino; e
- Diamante monocristalino.

Além disso, nas últimas décadas os aços rápidos e o metal duro revestidos têm ocupado um espaço significativo na usinagem, especialmente na usinagem de materiais metálicos.

Na indústria automotiva, destacam-se os seguintes materiais, em ordem de consumo:

- metal duro revestido – torneamento de eixos de aço, fresamento de faces do bloco em ferro fundido e válvulas;
- diamante policristalino – fresamento e furação nos cabeçotes de Al-Si; torneamento de pistões e alargamento de guias de válvulas em ligas de cobre;
- Nitreto de Boro Cúbico – fresamento de algumas faces do bloco; torneamento de válvulas (em algumas empresas); mandrilamento de cede de válvulas;
- Cerâmicas ( $Al_2O_3 + ZrO_2$ ) – fresamento de peças em ferro fundido. Algumas empresas empregam na usinagem do bloco, entretanto, a preferência é maior pelo CBN e o metal duro.

Existem três propriedades importantes que uma ferramenta de corte deve atender:

- **dureza a quente.** Para ferramentas de corte, a dureza avaliada em temperaturas ambientes não é garantia de uma ferramenta dura no instante do corte. Todos os materiais para ferramentas, sem exceção, pedem dureza com o aumento da temperatura. Os mais sensíveis são os aços rápidos. Dessa forma, a avaliação da dureza em valores de temperaturas acima de 500 °C deve ser preferível à sua avaliação na temperatura ambiente. Entretanto, os valores de dureza, informados nos catálogos de fabricantes referem-se, quase sempre, à temperatura em torno de 20 °C.
- **tenacidade a fratura.** Esta propriedade é muito importante nos materiais considerados frágeis, tais como as cerâmicas, o CBN e o PCD. A tenacidade, nesse caso, é uma medida da capacidade do material em suportar choques. Quanto mais frágil for o material menos susceptível ao choque ele será. Esta propriedade é que limita a aplicação das ferramentas de cerâmicas em máquinas com baixa rigidez e em operações com grandes variações de sobrematerial. De certo modo, ferramentas muito duras possuem baixa resistência a fratura. Esse antagonismo de propriedades é que mantém as ferramentas menos duras, tais como o aço rápido e o metal duro ainda eficientes enquanto materiais para ferramentas de corte. A figura 7.1 contém um gráfico comparativo dessas duas propriedades para os principais materiais.
- **Afinidade química.** Está relacionada com a capacidade do material em ceder átomos ou reagir com os materiais da peça ou o cavaco. Algumas materiais, tais como ligas de titânio tem elevada propensão em combinar com o material da ferramenta, formando, por exemplo óxidos. Por outro lado, o diamante policristalino, material metaestável, não recomendado para a usinagem de ligas ferrosas pela facilidade que o diamante terá, sob altas temperaturas, em se difundir na matriz de ferro. As cerâmicas, ao contrário, são altamente estáveis, e dificilmente reagem com os outros materiais.

Praticamente, todos os materiais citados acima podem ser empregados nos diversos processos de usinagem por geometria definida. Entretanto, para os processos de torneamento e fresamento as alternativas são maiores. Para o brochamento, por exemplo, as opções são o aço rápido, preferencialmente e o metal duro. Para o alargamento, encontra-se pastilhas de metal duro, CBN, PCD e alargadores inteiros em metal duro e aço rápido. Para o mandrilamento a melhor oferta são as barras de mandrilar com pastilhas em metal duro.

O mercado de ferramentas está repleto de uma extensa gama de geometrias e dimensões, o que além da problemática da seleção do material, ainda exige do Engenheiro de Processos uma freqüente atualização desse conhecimento. Bons fabricantes fornecem bons catálogos, em papel e CD-Rom, o que auxiliar um pouco nessa tarefa.

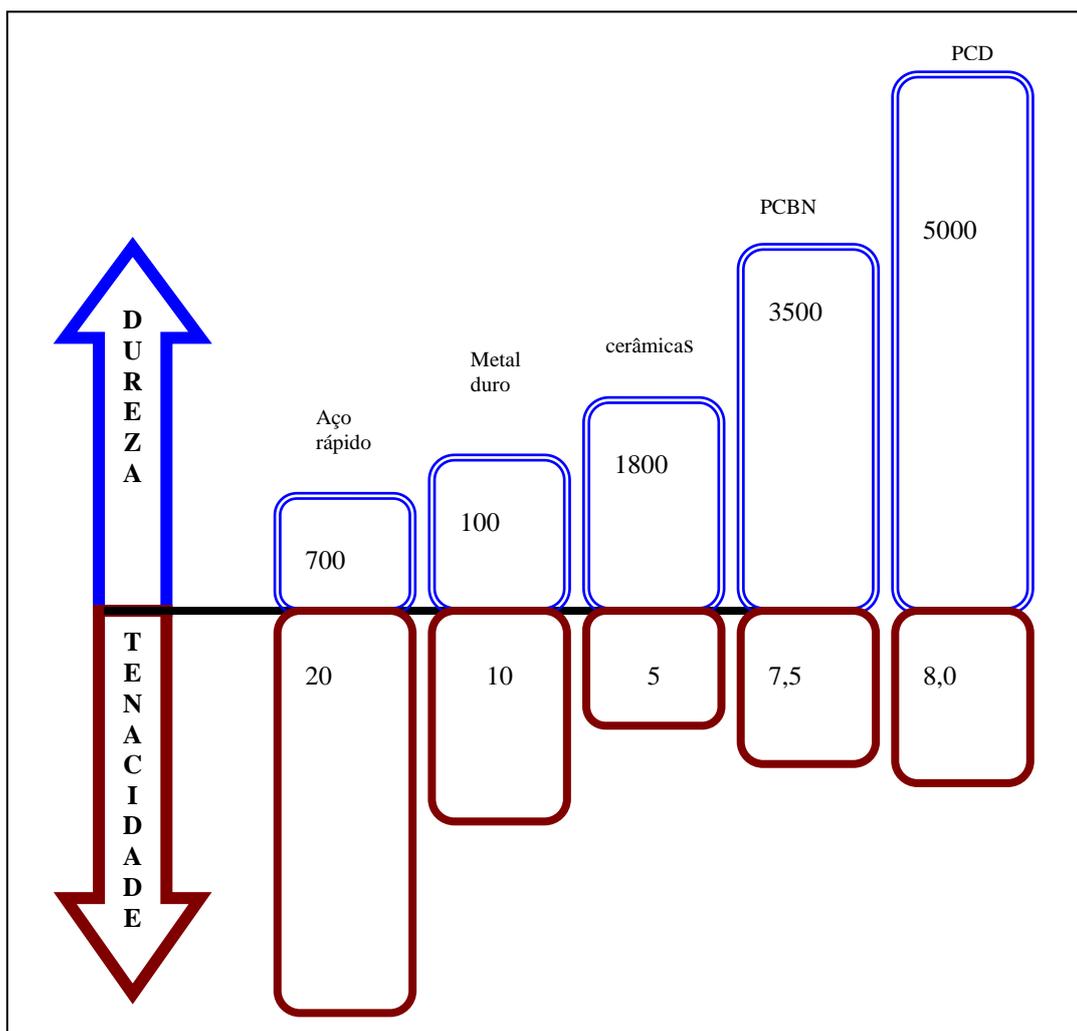


Figura 7.1 – Comparação dos principais materiais para ferramentas quanto à dureza (HV) e a tenacidade à fratura (Mpa (m)<sup>1/2</sup>)