



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMR 3301

Complementos de Fabricação Mecânica

Profa. Izabel Machado



Materiais Cerâmicos

A característica comum de materiais cerâmicos é serem constituídos de elementos metálicos e elementos não metálicos, ligados por ligações de caráter misto, iônico-covalente

Materiais Cerâmicos

Os materiais cerâmicos são usualmente materiais de alta resitência, alto ponto de fusão e de baixa tenacidade. Cerâmicas podem ser tradicionais ou avançadas

<https://www.infoescola.com/materiais/ceramica/>



•**CERÂMICA TRADICIONAL:** é aquela utilizada em revestimentos diversos, que vão desde azulejos até vasos para cultivo. Tijolos também são produzidos a partir desta cerâmica, assim como qualquer outro objeto que não requer uma maior sofisticação.

•**CERÂMICA AVANÇADA:** são materiais de engenharia, obtidos a partir de uma matéria prima de melhor qualidade e controle de composição, que pode ser a mesma que dá origem à cerâmica tradicional. Tem propriedades melhores, sejam elas mecânicas, elétricas, ópticas

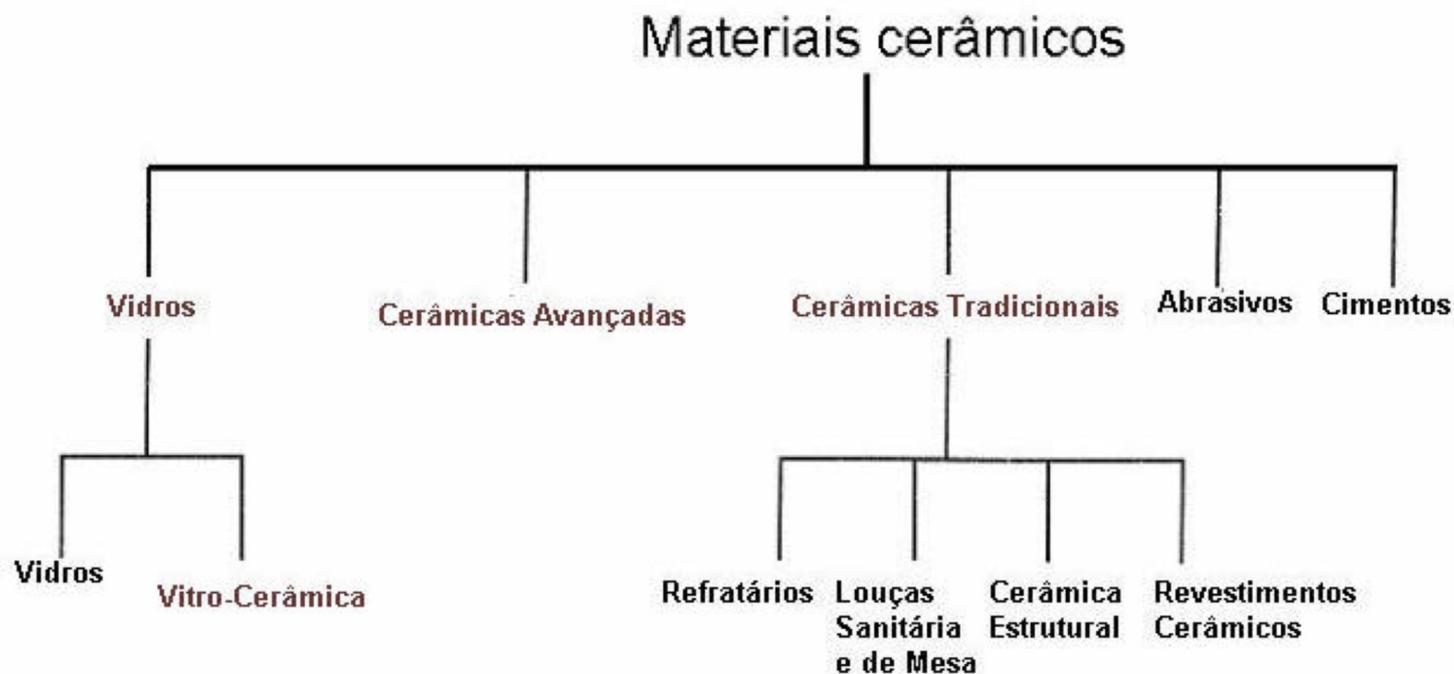
•Os principais materiais cerâmicos são:

- –
Materiais Cerâmicos Tradicionais: cerâmicas estruturais, louças, refratários (provenientes de matérias primas argilosas).
- – Vidro e Vitro-Cerâmicas.
- – Abrasivos.
- – Cimentos.
- – Cerâmicas “Avançadas”: aplicações eletro-eletrônicas, térmicas, mecânicas, ópticas, químicas, bio-médicas.

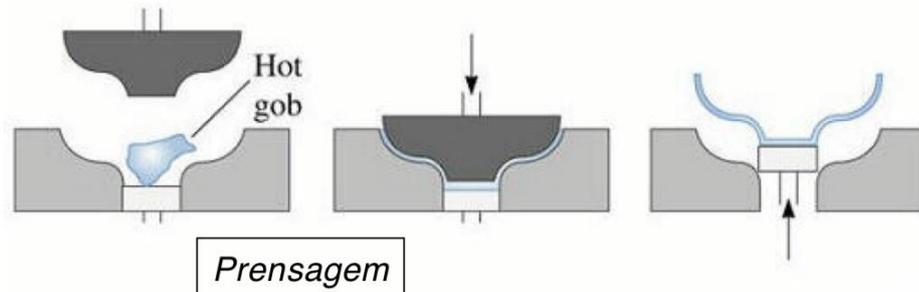
http://sites.poli.usp.br/d/pmt2100/aula10_2005%201p.pdf



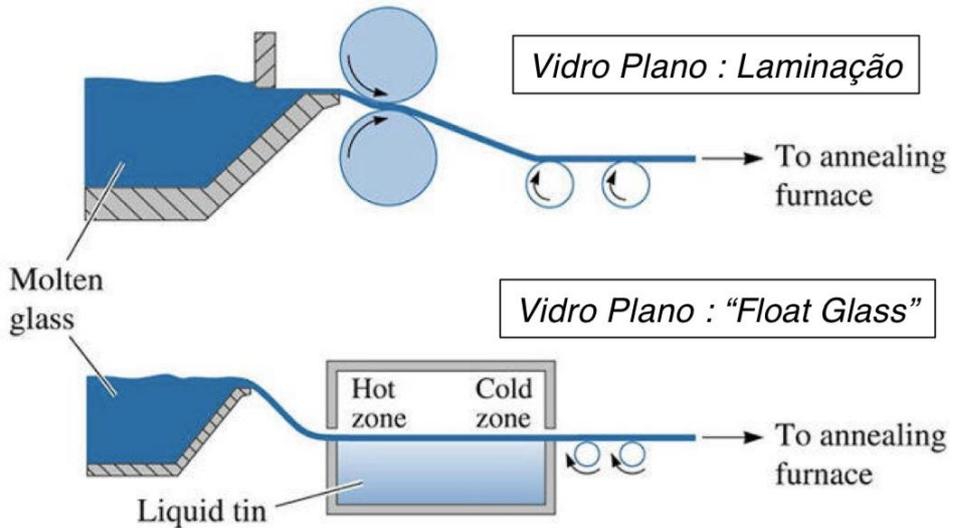
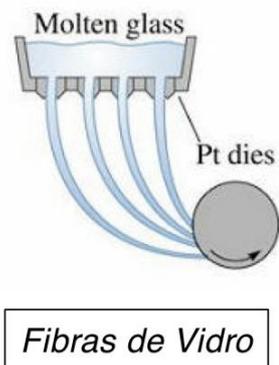
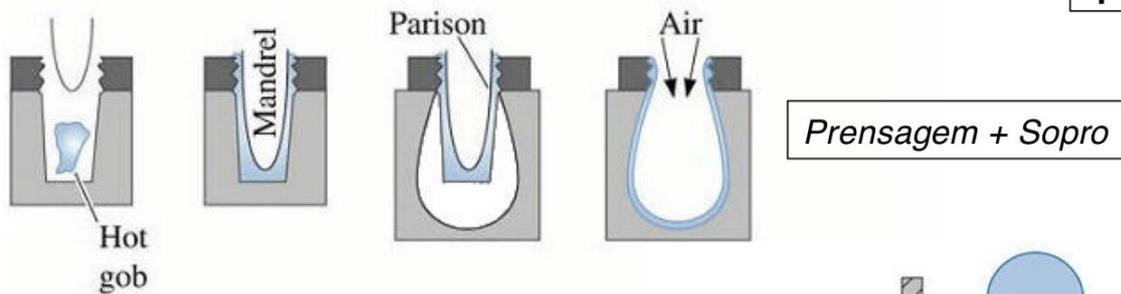
Classificação dos Materiais Cerâmicos Baseada na Aplicação



http://sites.poli.usp.br/d/pmt2100/aula10_2005%201p.pdf



Conformação de Produtos de Vidro





Obtenção de cerâmicas

O processo conhecido por colagem de barbotina (em inglês “slip casting”) é uma das mais técnicas mais antigas de conformação de cerâmica. Nesta técnica, uma suspensão coloidal (usualmente usando água como solvente) é vazada em um molde poroso. A peça é formada no interior do molde que pode ser oco ou sólido e dependendo da suspensão pode ser removido ou não.

A maioria das peças de cerâmica é feita pela técnica de prensagem, na qual pós aglomerados são usados para o enchimento dos moldes que são prensados, com uma determinada pressão, até se obter a razão de compressão e a densidade a verde desejada.

<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/158176>



Obtenção de cerâmicas

Extrusão é o processo pelo qual uma mistura plástica é comprimida através de uma matriz que possibilita a formação de geometrias muito complexas em duas dimensões. A mistura plástica consiste de pós inorgânicos, um ligante e um líquido (como por exemplo, a água). A principal limitação deste método é que a terceira dimensão não pode ser alterada. Barras, tubos e estruturas lineares são usualmente extrudados.

Na injeção de pós cerâmicos é utilizado um veículo orgânico fundido para dentro da cavidade de um molde. Após a solidificação do polímero, tem-se a peça conformada a verde. O processo permite a execução de formas complexas, obtenção de espessuras relativamente finas e precisão dimensional melhores do que na colagem e na prensagem

<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/158176>



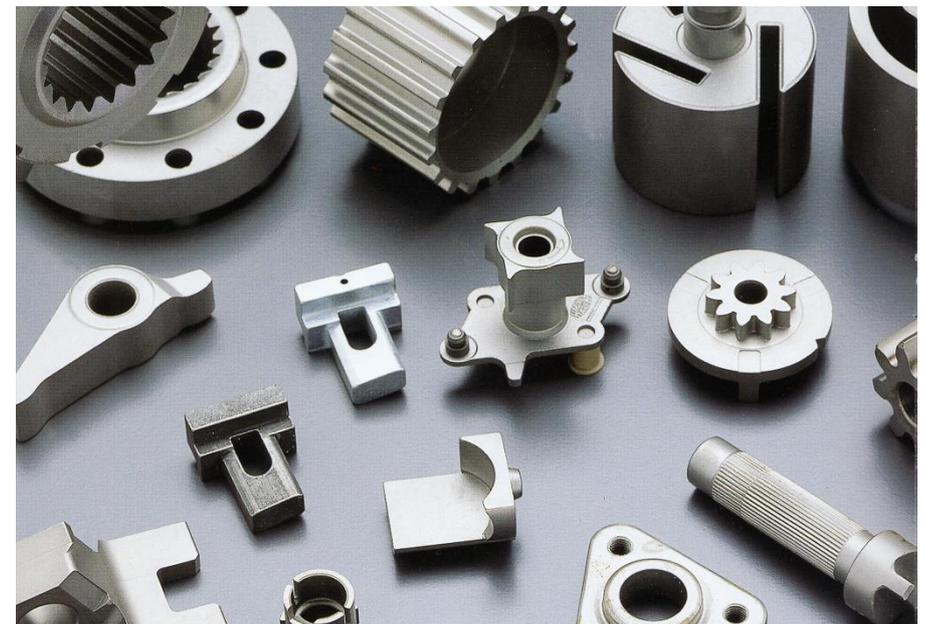
Onde a Metalurgia do Pó é empregada

✓ Aplicações e seleção do processo





✓ Aplicações e seleção do processo





Histórico

- Produção de metais refratários: W e Mo (ligas com elevado ponto de fusão);
- 1920 foram solucionados problemas de sinterização em vácuo;
- Materiais compostos: Metal-Carbono (alta condutividade e lubrificação sólida);
- Metal duro (ferramentas);
- Mancais autolubrificantes (buchas);
- A partir da década de 1960, a Metalurgia do Pó começou a ser mais efetiva;
- A massa de produtos sinterizado em automóveis tem crescido;
- Desenvolvimento contínuo do processo : HIP, SPS.



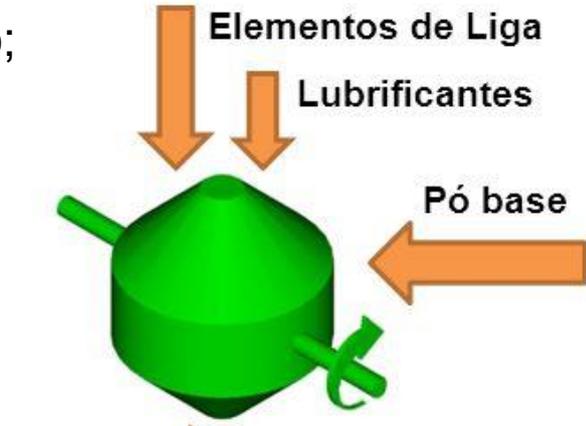
Metalurgia do pó – Cerâmicos (sinterização)

- ✓ Materiais para ferramentas;
- ✓ Propriedades mecânicas;
- ✓ Compactação
- ✓ Sinterização (no estado sólido ou com formação de fase líquida)

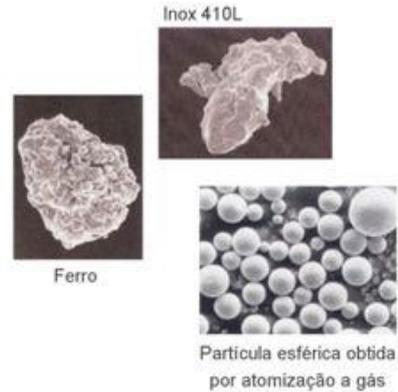


2-Mistura

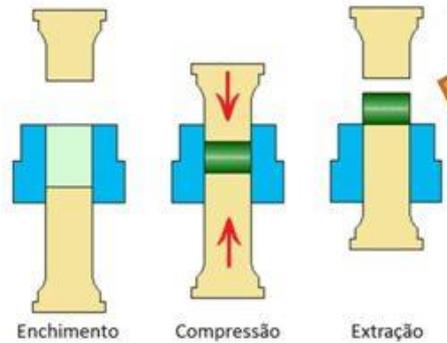
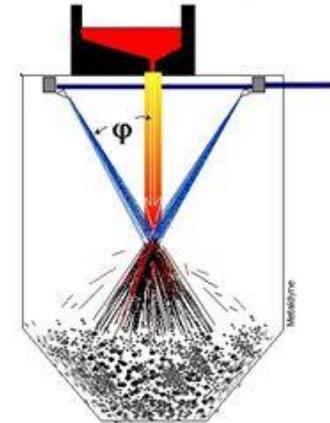
✓ Processo;



Processo Básico

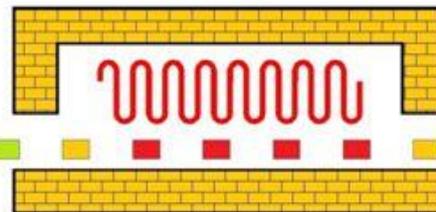


1-Atomização

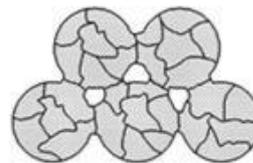


3-Compactação

4-Sinterização



Bronze: 780 - 840°C
Aço: 1050 - 1150°C
Ligação metalúrgica das partículas de pó



5- OPERAÇÕES COMPLEMENTARES

- Calibragem
- Cunhagem
- Usinagem
- Forjamento
- Tratamento térmico
- Tratamento de superfície
- Rebarbação
- Impregnação
- Infiltração
- Jateamento

5- Produto acabado





✓ Processo

O processo básico de fabricação

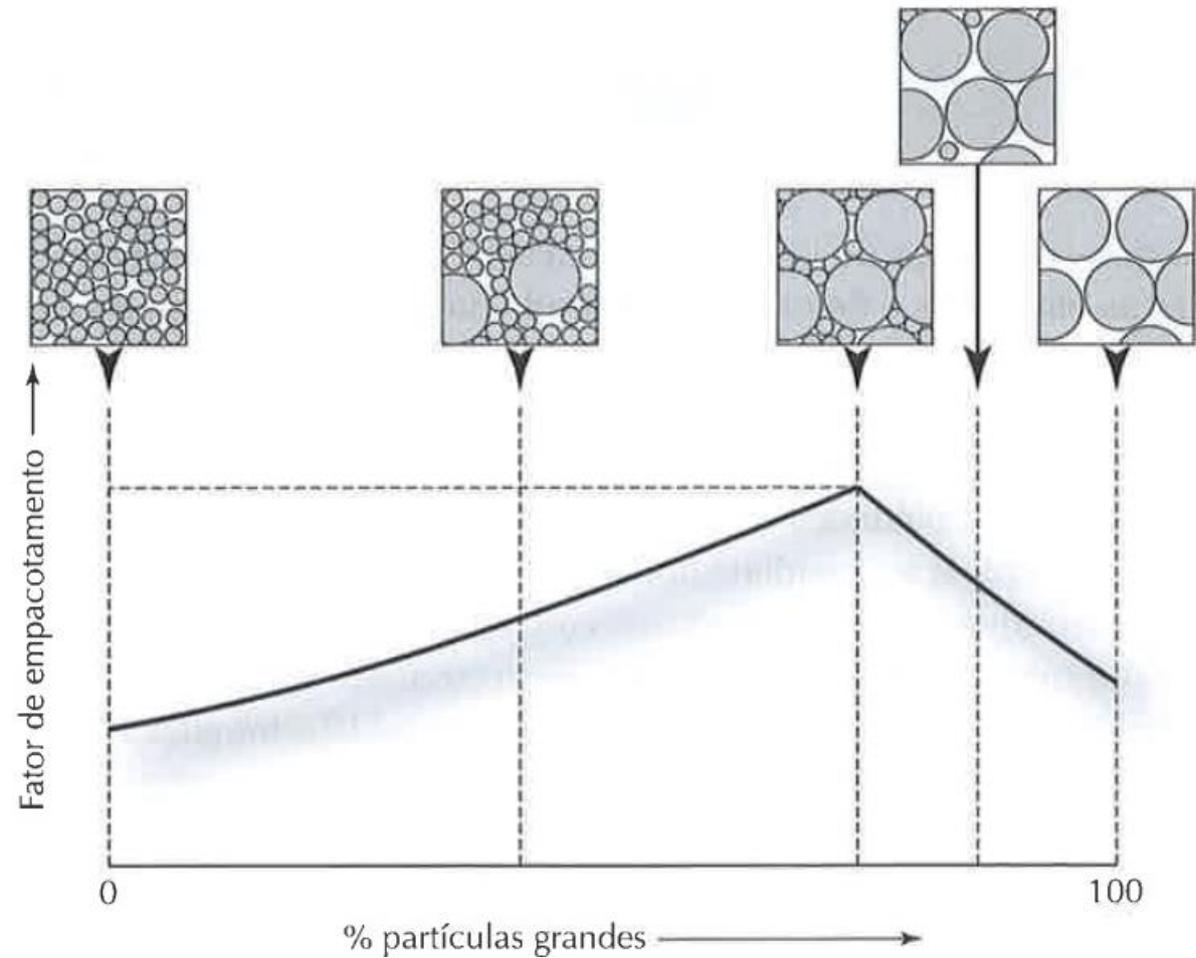
- Mistura: pós metálicos elementares ou pré-ligados, misturados com lubrificantes e/ou aditivos para a produção de uma mistura homogênea;
- Compactação a verde com dimensões próximas às da peça acabada (temperatura ambiente e pressões podendo variar entre 130 e 830 N/mm²);
- Sinterização: aquecimento em atmosfera controlada e em temperaturas abaixo do ponto de fusão;
- Calibragem: correções dimensionais após a sinterização;
- Impregnação: uso de óleos para mancais auto lubrificantes, por exemplo.



Compactação

Figura 6.3

Fator de empacotamento de uma mistura homogênea entre partículas esféricas de tamanhos diferentes de acordo com a quantidade relativa entre elas.





SINTERIZAÇÃO

O processo de sinterização é influenciado pelos seguintes parâmetros:

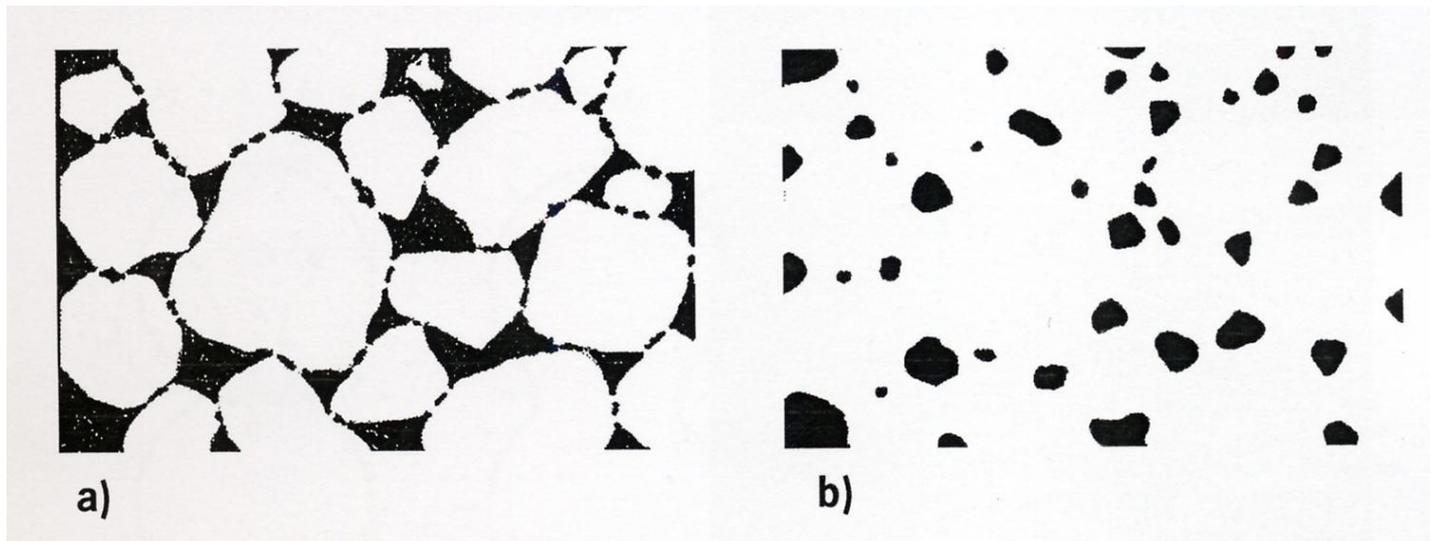
Temperatura e tempo;

Estrutura geométrica das partículas;

Composição da mistura;

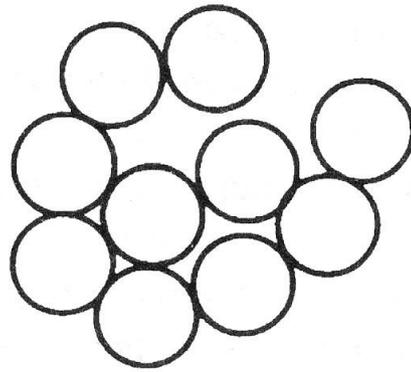
Densidade da peça ao verde (pressão);

Composição da atmosfera.

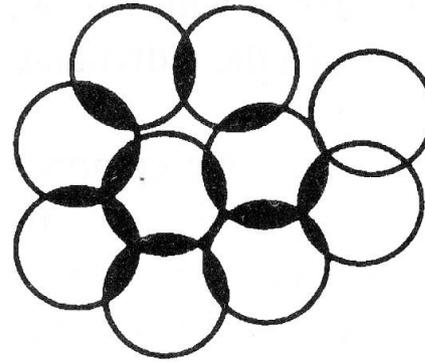




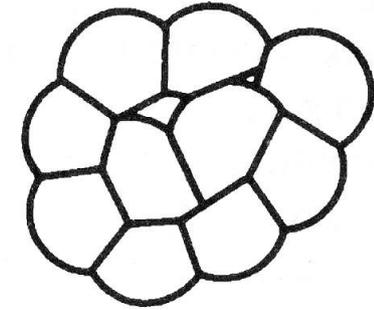
✓ Sinterização



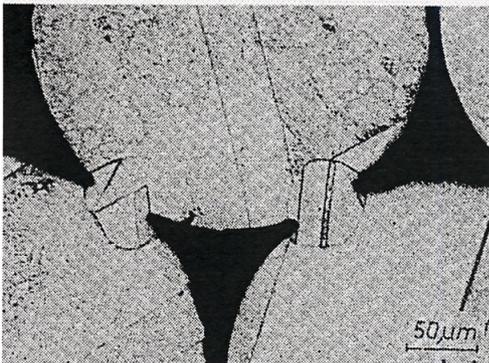
a



b



c



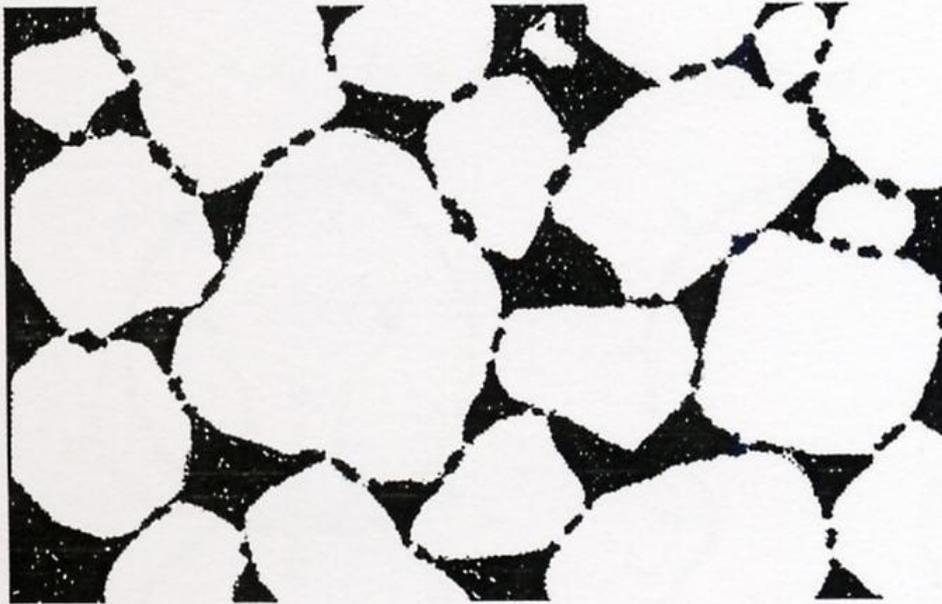
Força motriz → redução de energia livre associada com as superfícies:

- Redução da área superficial total (Crescimento das partículas → mudança forma dos poros);
- Eliminação da interface sólido-vapor (crescimento de grão → densificação).



Sinterização

Fase sólida – Material Homogêneo



a)

Condição inicial



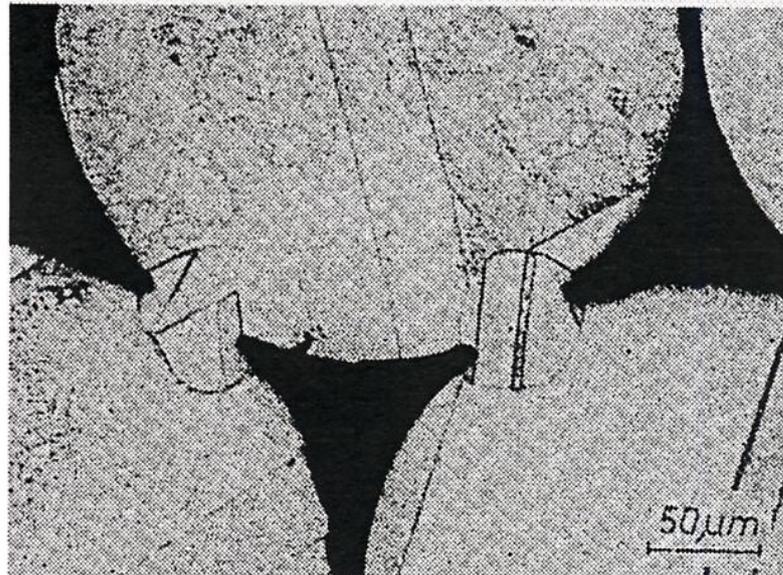
b)

Condição Final



Sinterização

Formação do ponto de sinterização



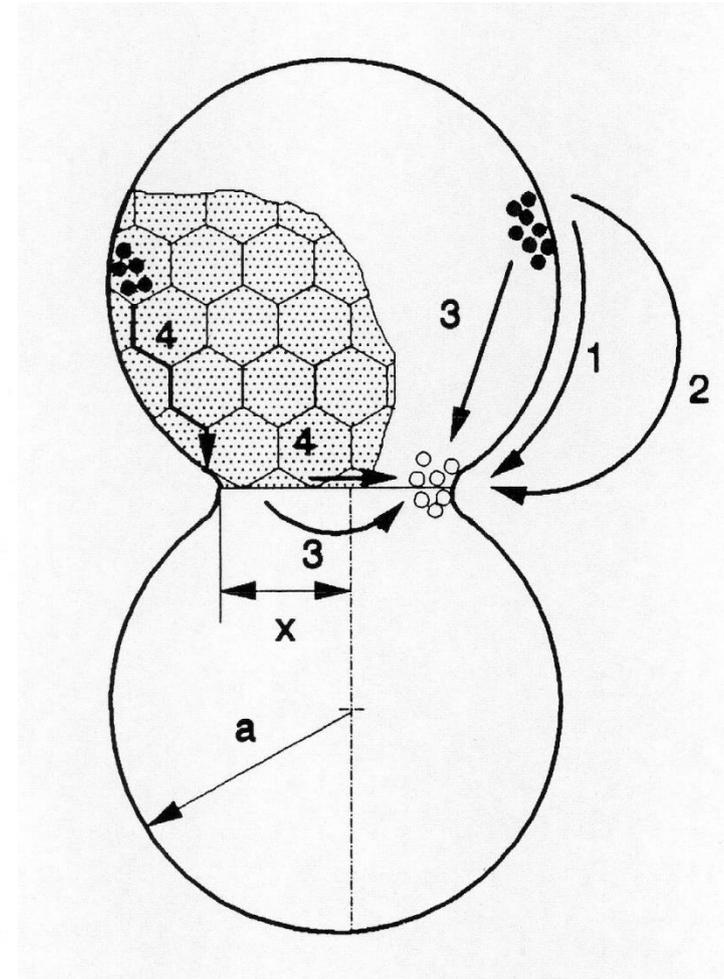
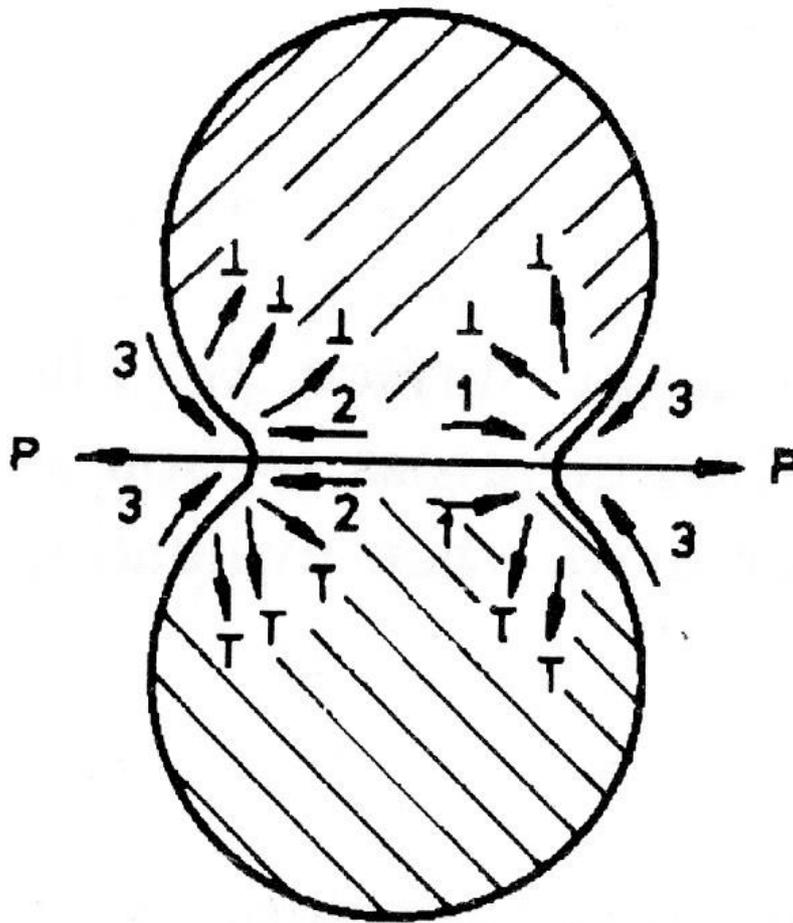
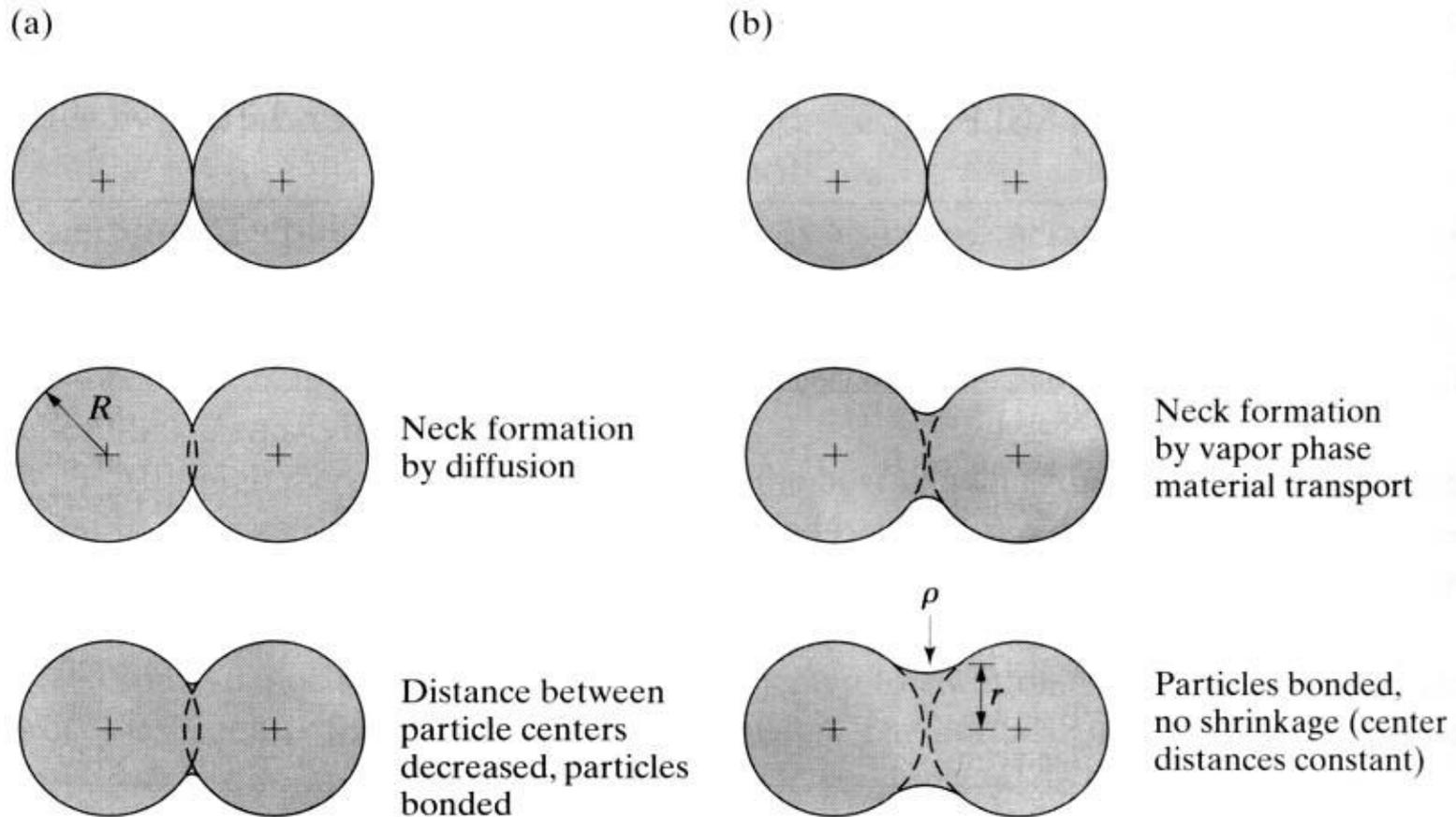




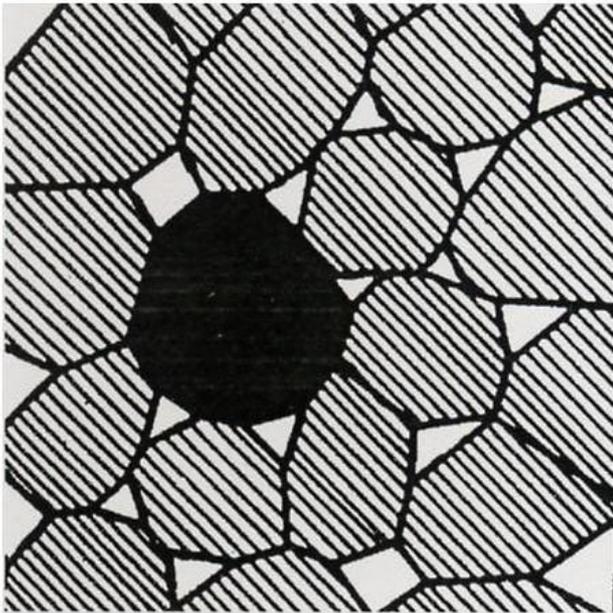
Ilustração do que pode ocorrer durante o processo de sinterização e que causa a união entre as partículas de pó.



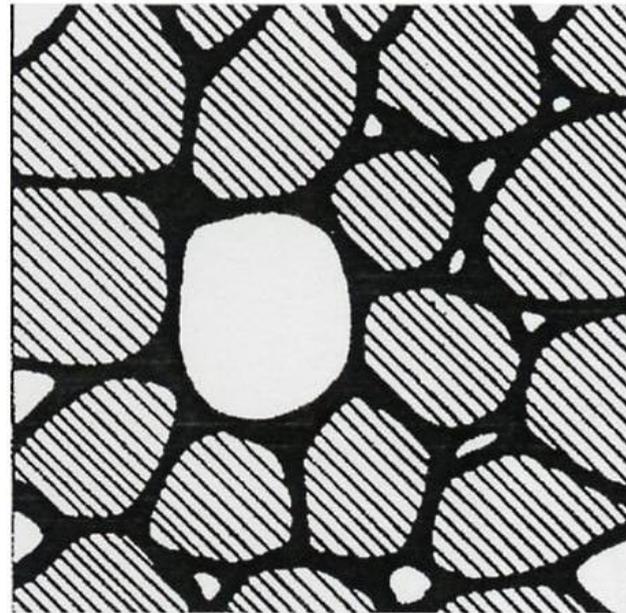


Sinterização

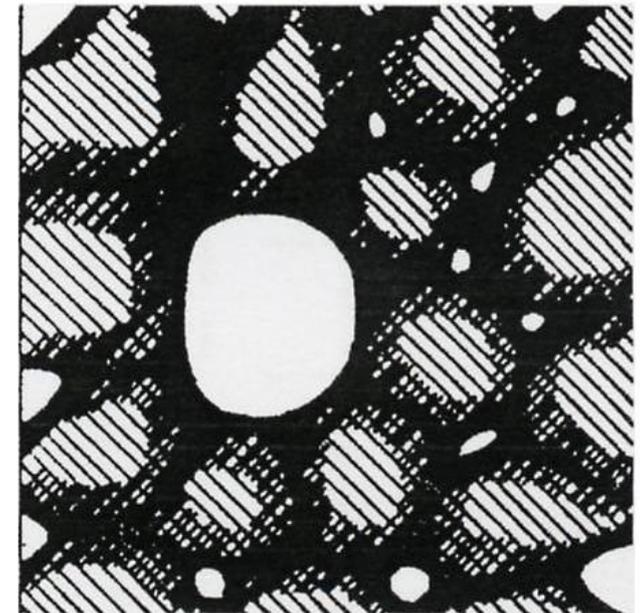
Sinterização com formação de fase líquida



Material heterogêneo



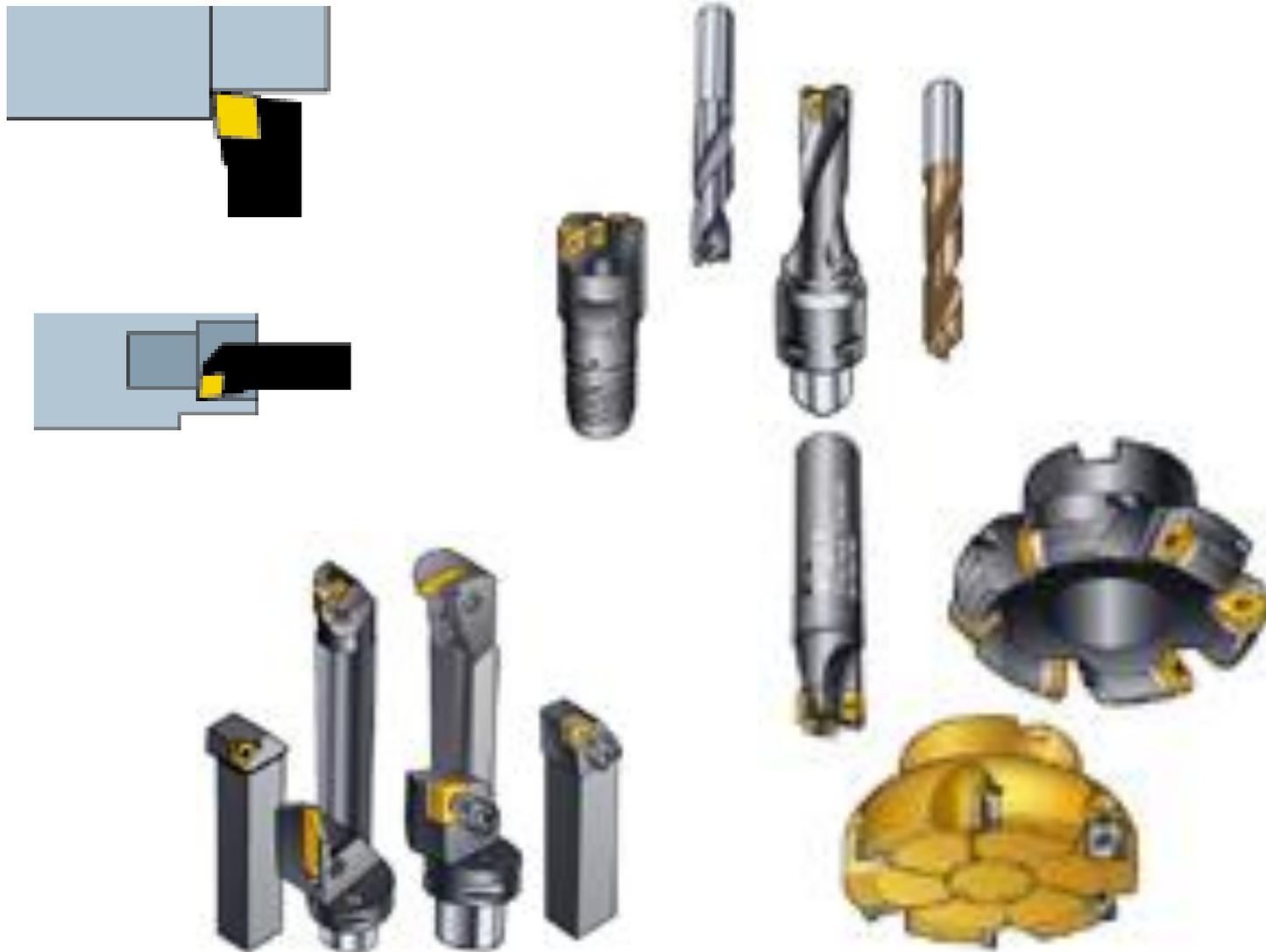
Fusão do componente com mais baixo ponto de fusão



Ligação da fase sólida com a líquida

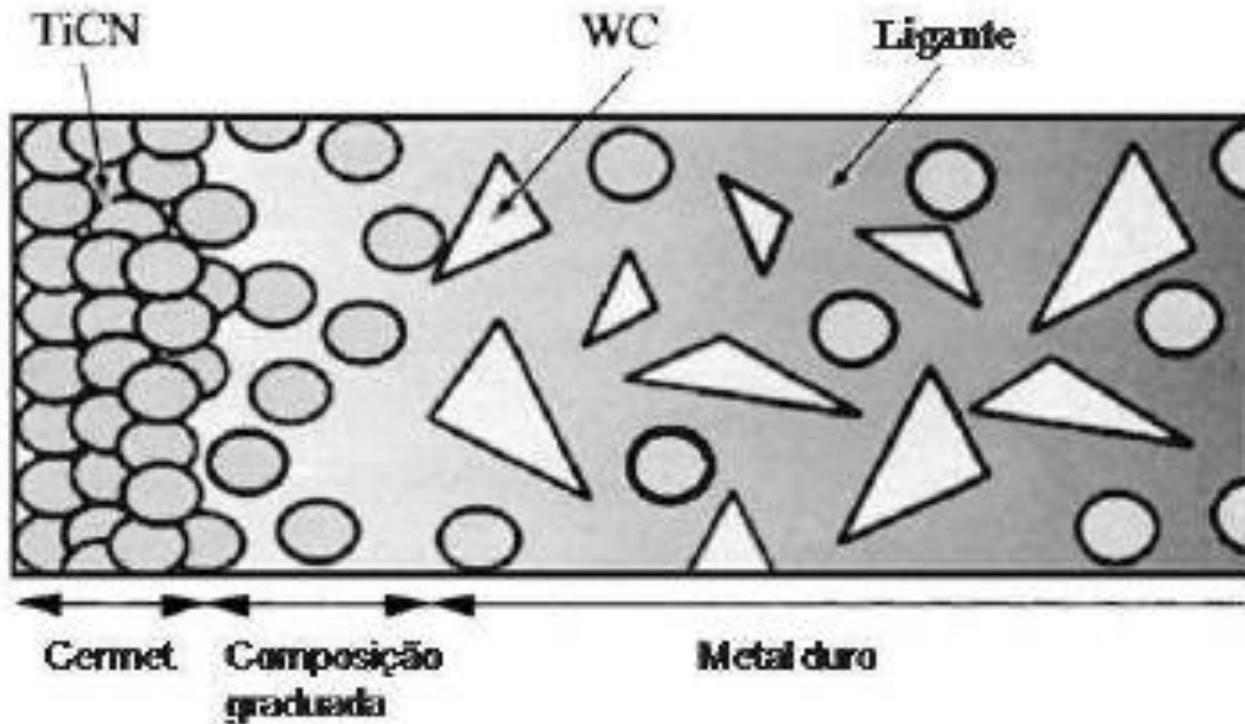


Materiais para ferramentas





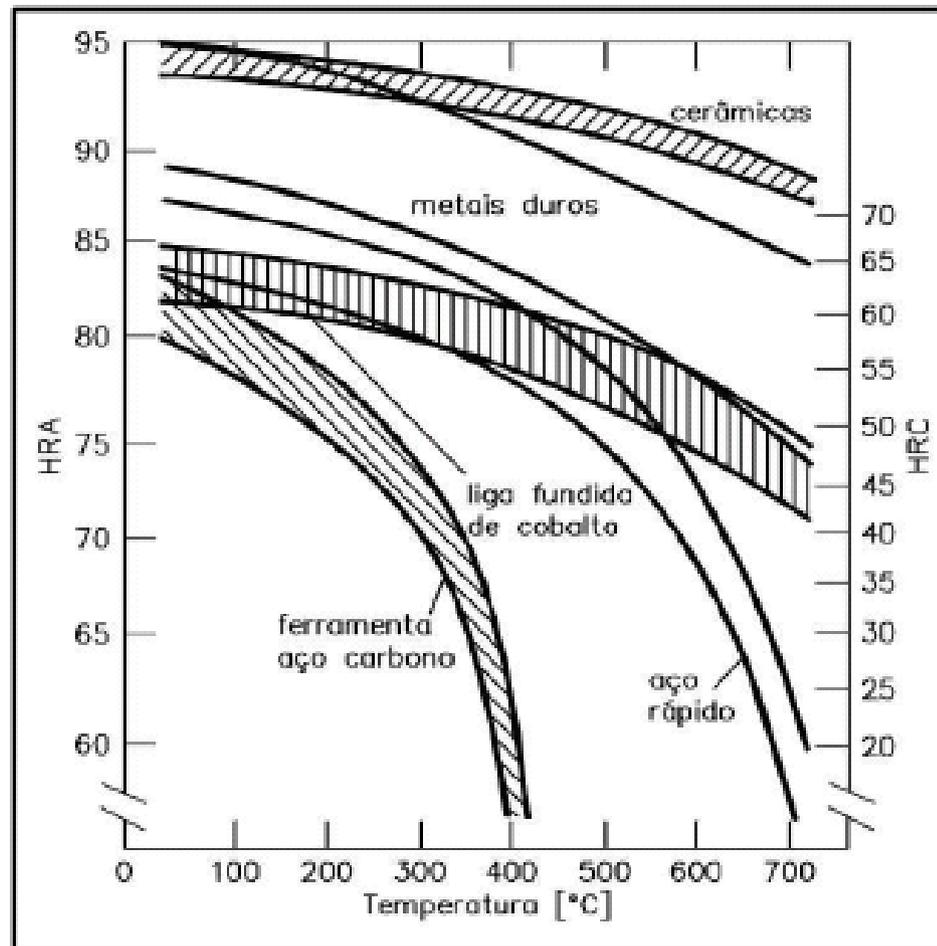
Materiais para ferramentas



Esquema ilustrativo da gradação funcional (Nomura et al, 1999).



Materiais para ferramentas



Variação da dureza de alguns materiais de ferramentas de corte em função da temperatura (adaptado de Shaw, 2005).



Materiais para ferramentas

A grande popularidade das ferramentas de metal duro, que são fabricadas pela metalurgia do pó, se deve ao fato deles possuírem a combinação de resistência ao desgaste, mecânica e tenacidade em altos níveis . WC em pó e a mistura com Co.



Materiais para ferramentas

Cerâmicas

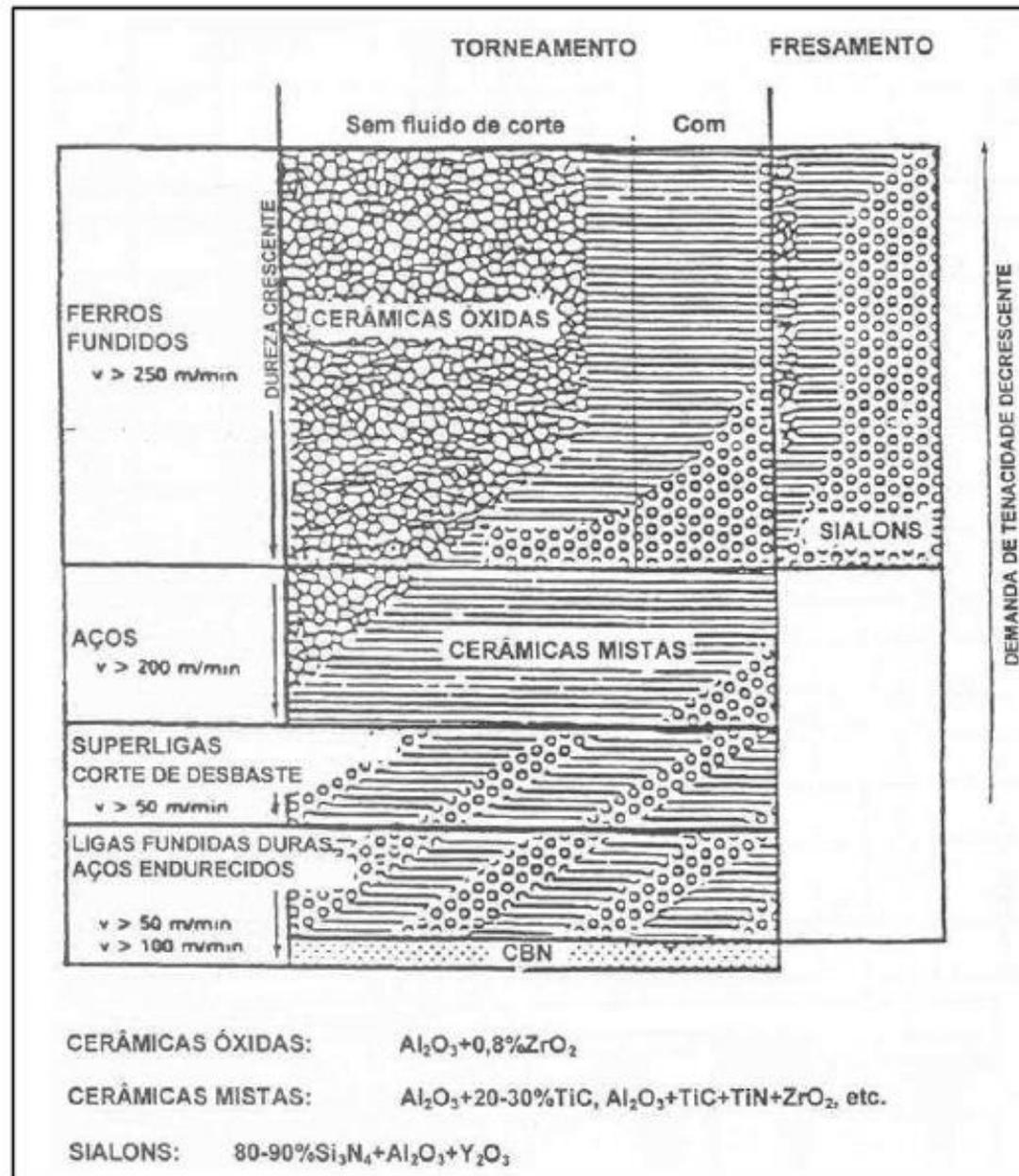
As ferramentas cerâmicas, também fabricadas pela metalurgia do pó, são utilizadas para uma ampla faixa de velocidades de corte em operações de acabamento e para desbaste com altas taxas de remoção em materiais de difícil usinagem (ASM Handbook, 1989).



Materiais para ferramentas

Cerâmicas

As cerâmicas, geralmente, usadas em usinagem são aquelas a base de alumina (Al_2O_3) ou nitreto de silício (Si_3N_4). Podem ainda ser utilizados aditivos para auxiliar a sinterização (ASM Handbook, 1989).



– Campo de aplicação das Cerâmicas e CBN (Pastor, 1987 apud. Machado et al., 2009).



Materiais para ferramentas

Tabela 4 – Aplicação e classificação de Metal Duro.

Identificação (Classe)	Identificação (Cor)	Aplicação	Designação ISO		Dureza e Res. Desgaste	Tenacidade
P	Azul	Aço: Todos os tipos de aço e aço fundido, exceto aços inoxidáveis com estrutura austenítica	P01 P10 P20 P30 P40 P50	P05 P15 P25 P35 P45	↑	↓
M	Amarelo	Aço Inoxidável: Aço inoxidável austenítico e austenítico/ferrítico e aço fundido	M01 M10 M20 M30 M40	M05 M15 M25 M35	↑	↓
K	Vermelho	Ferro Fundido: Ferro fundido cinzento, ferro fundido nodular, ferro fundido maleável	K01 K10 K20 K30 K40	K05 K15 K25 K35	↑	↓
N	Verde	Metais Não Ferrosos: Alumínio e outros metais não ferrosos, materiais não metálicos	N01 N10 N20 N30	N05 N15 N25	↑	↓
S	Marrom	Superligas e Titânio: Ligas especiais resistente ao calor baseadas em ferro, níquel e cobalto, titânio e ligas de titânio	S01 S10 S20 S30	S05 S15 S25	↑	↓
H	Cinza	Materiais Endurecidos: Aço endurecido, materiais de ferro fundido endurecido, ferro fundido branco	H01 H10 H20 H30	H05 H15 H25	↑	↓

(ISO 513:2004)



METAL DURO

Carbetos cementados são compostos de carbeto do metal de transição (principalmente o tungstênio) com um metal ligante (geralmente cobalto), possuindo uma microestrutura característica. O processamento de peças de carbetos cementados é feito por uma rota da metalurgia do pó.

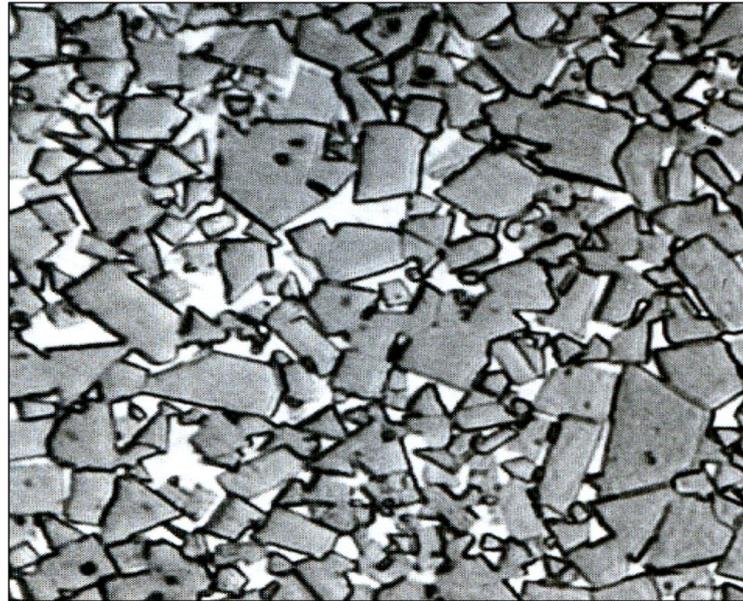


Figura 2 - Fotomicrografia de um carbetos cementado WC-Co. Ampliação de 100×
[Callister, 2002].

<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp132464.pdf>



Tabela 1 - Fatos históricos que relatam o desenvolvimento do metal duro
[Brookes, 1995].

Data*	Fato histórico
1923-25	WC-Co
1929-31	WC-TiC-Co TiC-Mo ₂ C-Ni, Cr, Mo
1930-31	WC-TaC(VC, NbC) - Co TaC-Ni
1931	TiC-TaC-Co
1938	WC-Cr ₃ C ₂ -Co TiC-VC-Ni, Fe
1944	TiC-NbC-Ni, Co
1948-70	Submicron WC-Co
1949	TiC-VC-NbC-Mo ₂ C-Ni
1950	TiC(Mo ₂ C, TaC)-Ni, Co-Cr
1952-66	TiC – aços e ligas tratáveis à quente
1956	WC-TiC-Ta (Nb) C-Cr ₃ C ₂ -Co
1957	TiC-TiB ₂
1959	WC-TiC-HfC-Co
1965-70	TiC-Mo ₂ C-Ni, Mo
1965-75	Prensagem isostática a quente (HIP) em WC-Co
1965-78	TiC, TiN, Ti(C,N), HfC, HfN e Al ₂ O ₃ – cobertura por meio de CVD em WC-Co
1968-69	WC-TiC-Ta (Nb) C-HfC-Co
1968-69	WC-TiC-Nb (Ta) C-HfC-Co
1968-70	(Ti, Mo)C-Ni, Mo
1968-73	TiC-Al ₂ O ₃
1969-70	TiC-TiN-Ni
1969-71	Tratamento termo-químico de endurecimento superficial
1972-75	TiC-TaN-Ni
1974-77	PDC em metal duro a base de WC
1973-78	Multi-carbetos, carbonitreto/nitreto e múltiplas coberturas carbeto/carbonitreto/nitreto/óxido
1976-79	Carbetos Complexos com adição de Ru
1979	Ligas de TiC-TaC-Mo ₂ C-Ni
1980	Superligas endurecidas por precipitação de Ti(C, N)
1981	Coberturas finíssimas de camadas de AlON (oxinitreto de alumínio) em WC-Co
1981	Cermet de carbeto/carbonitreto de W/Ti/Mo com ligante complexo à base de Co/Ni
1983-92	Sinter-HIP
1992-95	Cobertura de diamante por CVD (Plasma)
1993-95	Cobertura de carbonitreto complexo
1994	Aglomerados de grãos finos de WC em matriz tenaz de Co

* Todas as datas são aproximadas.

[http://livros01.livrosgratis.com
.br/cp132464.pdf](http://livros01.livrosgratis.com.br/cp132464.pdf)



O metal duro é processado utilizando uma rota tradicional de metalurgia do pó:

1. sinterização à vácuo por fase líquida dos compactados de pós de WC e Co misturados.
2. Esta rota constitui-se em:
 - I - os pós são misturados em suas devidas proporções até completa homogeneização;
 - II - a mistura é, então, compactada, com auxílio de uma matriz por meio de prensagem (uniaxial – na maioria das vezes); com isso, o corpo já possui formato requerido e resistência adequada para ser manuseado;
 - III – o densificado a verde é levado a um forno, onde se realizará a sinterização do material, que tem como objetivo principal promover uma completa densificação do corpo prensado, conferindo a este as propriedades requeridas.

<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp132464.pdf>



Figura 12 - Fotografia de um forno HIP [Tweed, 2

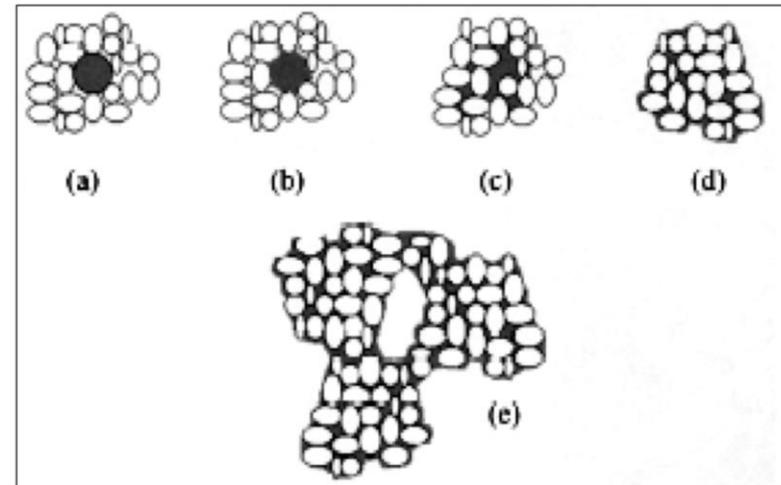
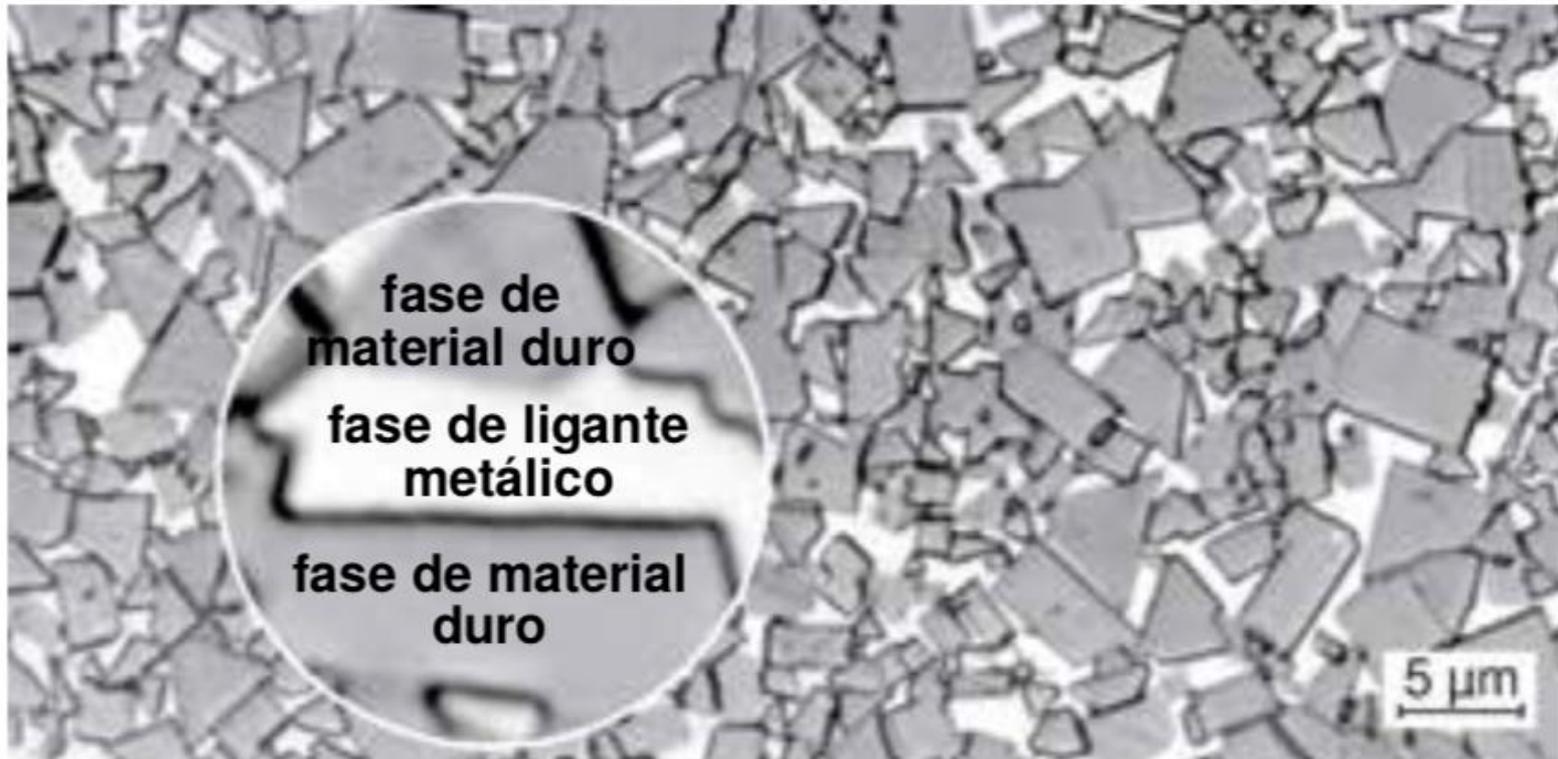


Figura 11 - Esquema do mecanismo de sinterização no estado sólido [Da Silva *et al.*, 2001].



Micrografia de Metal duro WC-Co

<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjHyNuJtLzsAhUgH7kGHd7kA3kQFjAQegQICxAC&url=https%3A%2F%2Fwww.cerazitit.com%2Fde%2Fservice%2Fdownloads%2F%3Ffileid%3D1721%26cHash%3D2dfb03181ee7add751d20619ed15be5&usg=AOvVaw06QkcvL0OZa4D9NdVVxx0C>



USINAGEM

Os processos de usinagem que podem ser empregados na usinagem a verde de materiais cerâmicos englobam os processos de usinagem com ferramenta de corte de geometria definida e geometria não-definida. Apesar da grande abrangência destes processos e suas múltiplas aplicações na usinagem de metais, existem limitações na aplicação dos processos na usinagem de cerâmicas no estado a verde.

A usinagem a verde é realizada tanto em peças apenas modeladas ou compactadas quanto em peças pré-sinterizadas. Durante a pré-sinterização os ligantes são volatilizados através da ação do calor. A peça é aquecida, com velocidade controlada, até uma temperatura inferior à de sinterização havendo um ganho de resistência na peça. Devido à sua importância, as características e as vantagens da usinagem a verde serão vistas posteriormente.

<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/158176>



- Retificação: basicamente é um processo de acabamento, no qual a remoção do material se dá na faixa de alguns micrometros. A remoção do material da peça é feita através dos gumes dos grãos dos rebolos ou fitas. Como resultado da retificação temos uma superfície com baixa rugosidade e com precisão de forma.
- Lapidação: é um processo de usinagem com grão abrasivo solto, suspenso em um líquido ou em uma pasta. É um processo fino ou ultra-fino com o qual pode-se obter uma qualidade superficial extremamente elevada, com precisão de forma e tolerância dimensional. As superfícies lapidadas apresentam ranhuras aleatórias e um brilho opaco.
- Polimento: em exigências excepcionais à qualidade da peça, é necessário o polimento, que é aplicado em superfícies previamente lapidadas, para melhorar o acabamento, reduzir a aspereza da superfície, remover os danos causados pela retificação ou pela lapidação e produzir uma superfície refletora

<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/158176>



Fresagem de metal duro

Introdução

A fresagem do metal duro é uma nova tecnologia que surgiu nos últimos anos e pode ter vantagens quando comparada com outras tecnologias de produção.

Vantagens e limites da fresagem:

- ▲ Comparada com outras tecnologias de produção, como a eletroerosão por penetração em molde, a fresagem reduz o tempo de processamento. Isto é possível devido ao fato de a peça ser usinada diretamente, a usinagem por elétrodo é eliminada e outras perdas de tempo, como os períodos de espera entre as diferentes operações, sofrem uma redução.
- ▲ Bom acabamento da superfície: Os valores de R_a até 0,05 podem ser obtidos diretamente através de fresagem, o que reduz o tempo necessário para o polimento final.
- ▲ Podem ser produzidas formas complexas. Formas e perfis que anteriormente só podiam ser produzidos através de eletroerosão por penetração em molde podem ser fresados.
- ▲ Um limite da tecnologia é que não é apropriada para a remoção de grandes quantidades de material. Devido aos tipos de ferramentas de fresagem disponíveis para o metal duro, a remoção de grandes quantidades de material pode ser economicamente desvantajosa.
- ▲ Pode ser difícil usinar raios pequenos. O raio da peça usinada será diretamente afetado pelo raio da ferramenta de fresagem.

Ferramentas de fresagem para metal duro (revestimentos de diamante CVD, PCD)

Para conseguirem cortar, as ferramentas têm de ser cerca de quatro vezes mais duras do que o material que vai ser usinado. Com base nas propriedades mecânicas e na dureza das classes de metal duro (800-2200 HV₃₀), apenas dois materiais são normalmente utilizados para usinagem: Ferramentas em PCD (diamante policristalino) ou CVD (revestimento de diamante). Estes materiais possuem ambos uma dureza de cerca de 8000-10 000 HV₃₀, sendo, por isso, adequados para a usinagem do metal duro.



Fresagem do Metal duro de tungstênio ²⁾

²⁾ Fraunhofer IPT

<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjHyNuJtLzsAhUgH7kGHd7kA3kQFjAQegQICxAC&url=https%3A%2F%2Fwww.ceratizit.com%2Fde%2Fservice%2Fdownloads%2F%3Ffileid%3D1721%26cHash%3D2fdfb03181ee7add751d20619ed15be5&usg=AOvVaw06QkcvL00Za4D9NdVvxx0C>



Acabamento

Os procedimentos mais frequentes de usinagem de peças de metal duro sinterizadas são:

▲ **Retífica**

▲ **Eletroerosão**

Eletroerosão por penetração

Erosão por fio

Estes procedimentos serão abordados com mais detalhes a partir da página 18.

Retífica



Erosão por fio



Eletroerosão por penetração



Acabamento, procedimentos mais frequentes

<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjHyNuJtLzsAhUgH7kGHd7kA3kQFjAQegQICxAC&url=https%3A%2F%2Fwww.ceratizit.com%2Fde%2Fservice%2Fdownloads%2F%3Ffileid%3D1721%26cHash%3D2dfb03181ee7add751d20619ed15be5&usg=AOvVaw06QkcvL0OZa4D9NdVVxx0C>



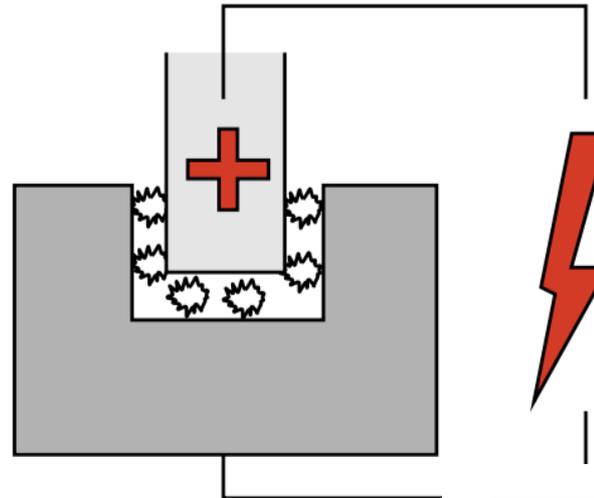
Usinagem por eletroerosão

No processo de usinagem por eletroerosão, materiais condutores, como o metal duro de tungstênio, são usinados num dielétrico (água ou óleo). A peça trabalhada e a ferramenta de moldagem representam, cada uma delas, um eletrodo. Ocorrem processos de descarga de alta frequência entre ambas. Esses processos de descarga são acionados ultrapassando a tensão disruptiva elétrica entre a peça trabalhada e a ferramenta de moldagem, que é determinada pela distância de trabalho e pela capacidade de isolamento do dielétrico. A imagem à direita mostra o princípio de usinagem por eletroerosão.

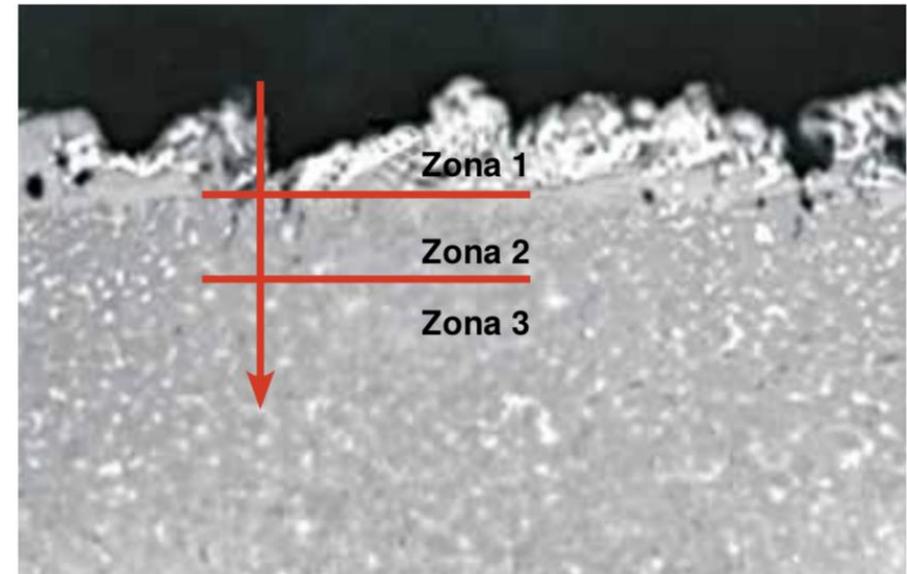
Regra geral, existem dois métodos diferentes:

- ▲ Eletroerosão por fio
- ▲ Eletroerosão por penetração

Ambos os métodos são descritos nos seguintes parágrafos.



Princípio da usinagem por eletroerosão



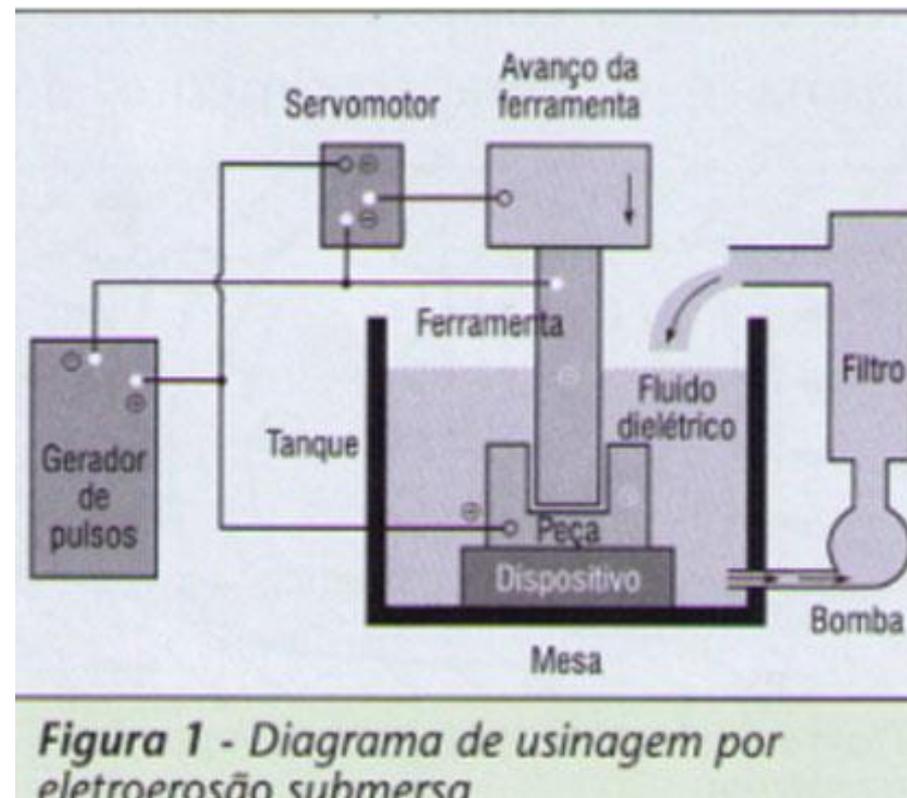
Superfície do Metal duro com corte em bruto

<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjHyNuJtLzsAhUgH7kGHd7kA3kQFjAQegQICxAC&url=https%3A%2F%2Fwww.ceratizit.com%2Fde%2Fservice%2Fdownloads%2F%3Ffileid%3D1721%26cHash%3D2fdfb03181ee7add751d20619ed15be5&sg=AOvVaw06QkcvL0OZa4D9NdVVxx0C>



Eletroerosão

Para que a eletroerosão ocorra, é necessário que os materiais envolvidos (peça a ser usinada e a ferramenta) sejam bons condutores de eletricidade. A ferramenta que produz a erosão, ou seja, o desbaste da superfície usinada, é o eletrodo (cobre ou grafite).





Equipamento

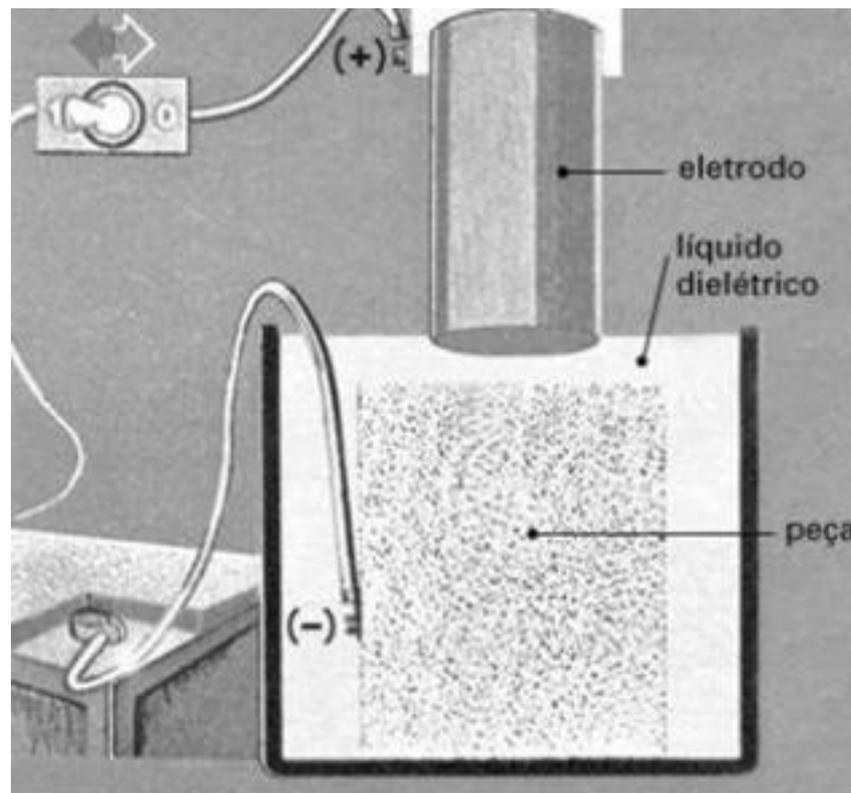


Peça e eletrodo são mergulhados num recipiente que contém um fluido isolante, isto é, não condutor de eletricidade, chamado dielétrico. Em geral, são utilizados como dielétricos o óleo mineral e o querosene. O querosene requer cuidados especiais, pois é inflamável e exala um odor forte, prejudicial à saúde e ao ambiente.



Tanto a peça como o eletrodo estão ligados a uma fonte de corrente contínua, por meio de cabos. Geralmente, o eletrodo tem polaridade positiva e a peça, polaridade negativa.

Um dos cabos está conectado a um interruptor, que aciona e interrompe o fornecimento de energia elétrica para o sistema. A figura a seguir mostra um esquema simplificado do processo de eletroerosão.



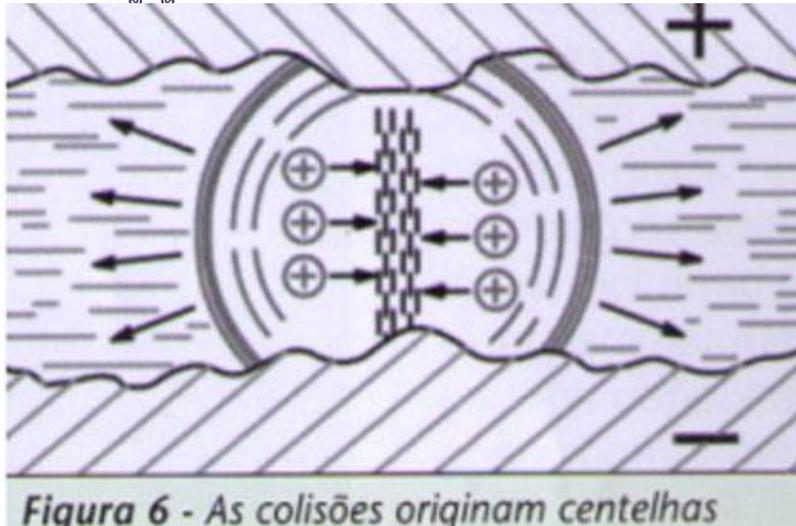


Figura 6 - As colisões originam centelhas

Quando o espaço entre a peça e a ferramenta é diminuído até uma distância determinada, o dielétrico passa a atuar como condutor, formando uma “ponte” de íons entre o eletrodo e a peça. Produz-se, então, uma centelha que superaquece a superfície do material dentro do campo de descarga, fundindo-a. Estima-se que, dependendo da intensidade da corrente aplicada, a temperatura na região da centelha possa variar entre 2.500°C e 50.000°C .

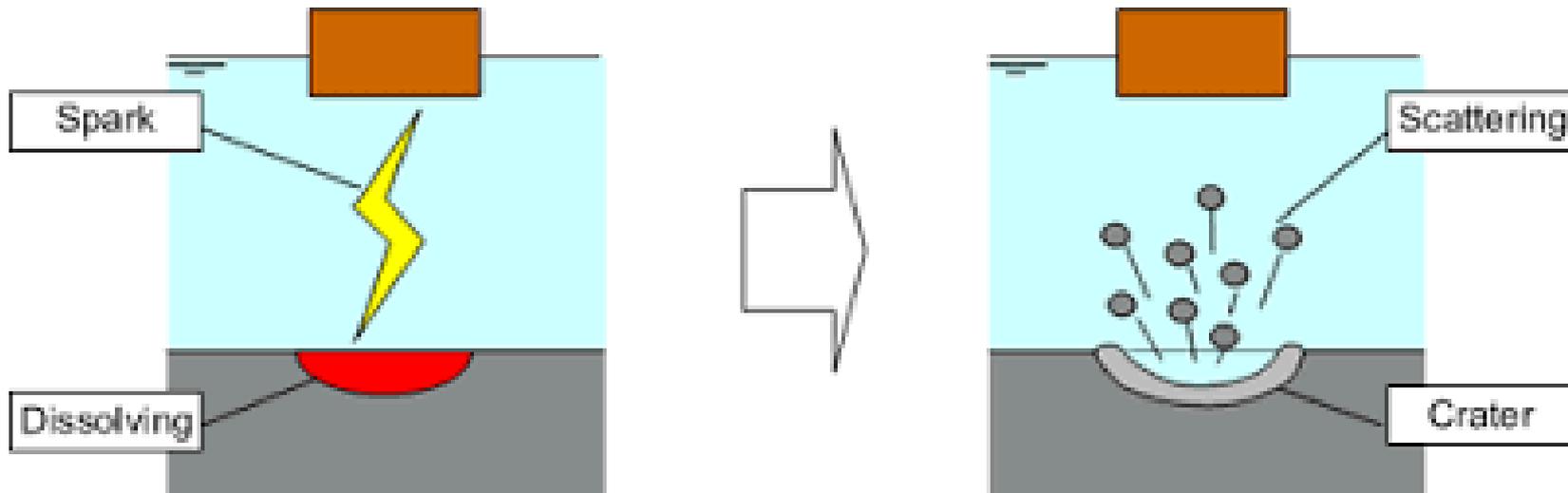
O processo de erosão ocorre simultaneamente na peça e no eletrodo. Com ajustes convenientes da máquina, é possível controlar a erosão, de modo que se obtenha até 99,5% de erosão na peça e 0,5% no eletrodo.



As partículas fundidas, desintegradas na forma de minúsculas esferas, são removidas da região por um sistema de limpeza e, no seu lugar, fica uma pequena cratera. O dielétrico, além de atuar como isolante, participa desta limpeza e ainda refrigera a superfície usinada.

A duração da descarga elétrica e o intervalo entre uma descarga e outra são medidos em microssegundos e controlados por comandos eletrônicos.

Descargas sucessivas, ao longo de toda a superfície do eletrodo, fazem a usinagem da peça. A frequência das descargas pode alcançar até 200 mil ciclos por segundo. Na peça fica reproduzida uma matriz, que é uma cópia fiel do eletrodo, porém invertida.







Eletroerosão a fio

O processo mais comum de eletroerosão baseia-se na penetração do eletro- do na peça, como foi descrito anteriormente.

Para certas finalidades, como a usinagem de cavidades passantes e perfura- ções transversais, é preferível usar o processo de eletroerosão a fio.

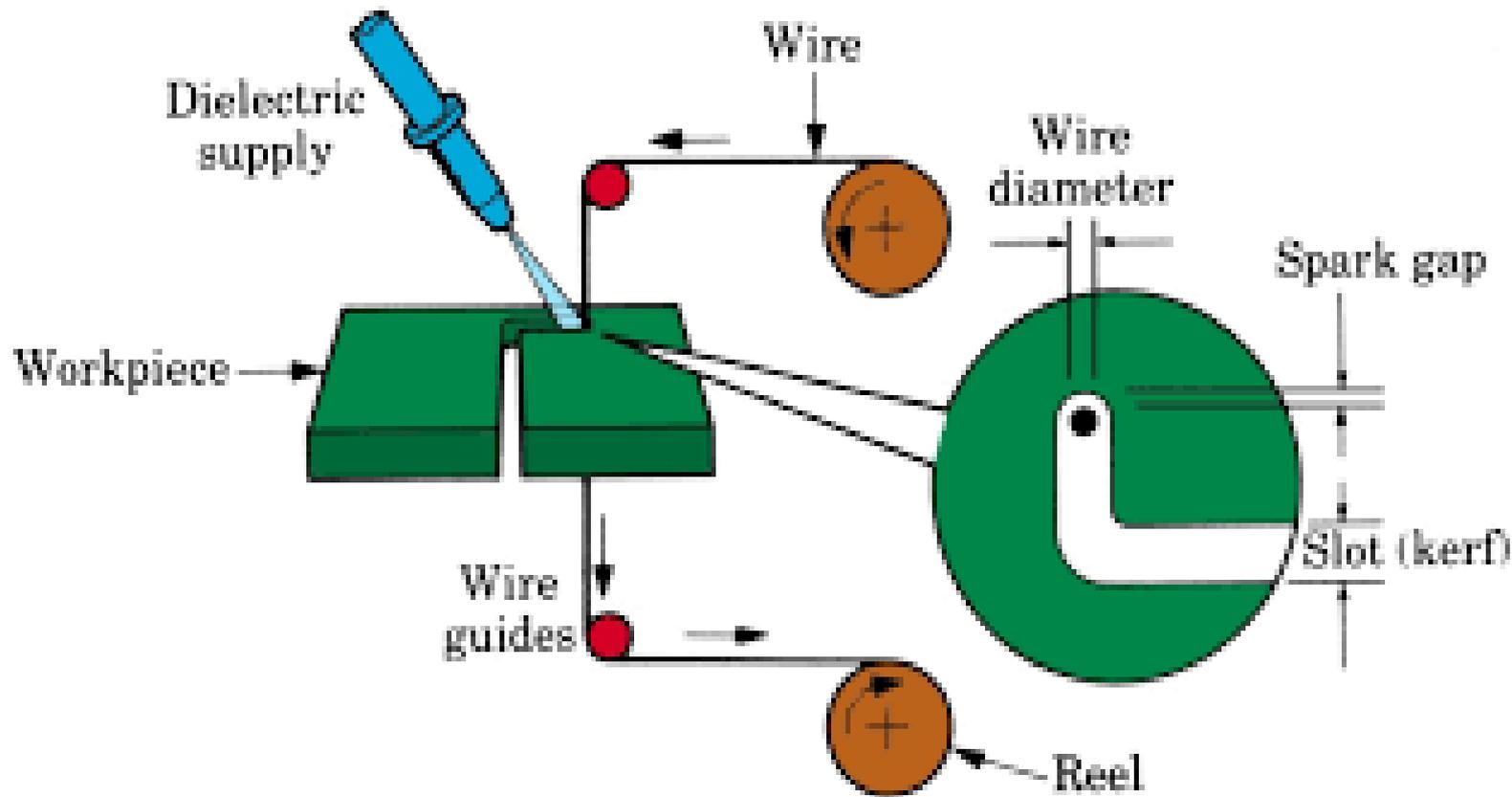
Os princípios básicos da eletroerosão a fio são semelhantes aos da eletroerosão por penetração.

A diferença é que, neste processo, um fio de latão ionizado, isto é, elétrica- mente carregado, atravessa a peça submersa em água desionizada, em movi- mentos constantes, provocando descargas elétricas entre o fio e a peça, as quais cortam o material. Para permitir a passagem do fio, é feito previamente um pequeno orifício no material a ser usinado.

O corte a fio é programado por com- putador, que permite o corte de perfis complexos e com exatidão

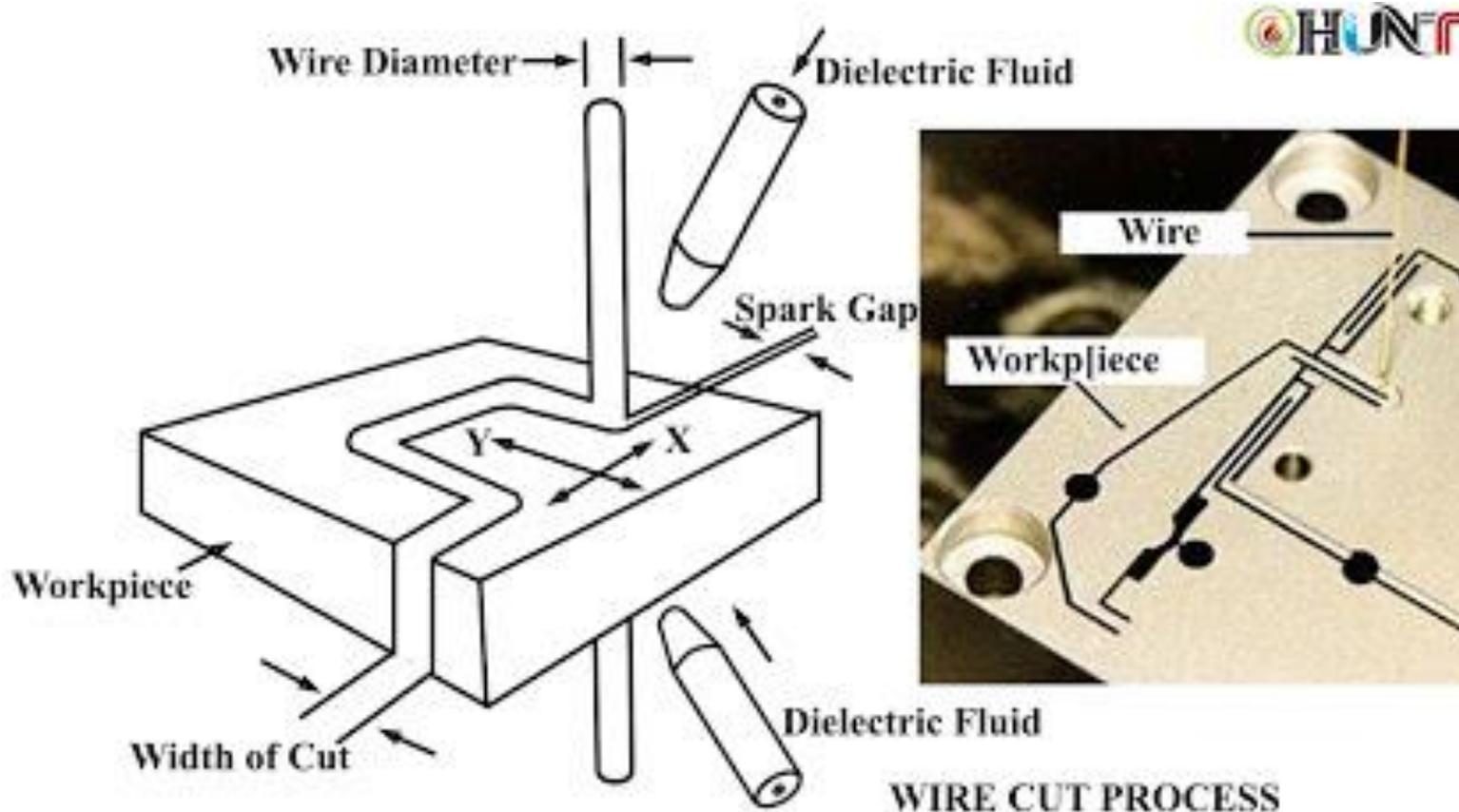


Eletroerosão a fio





Eletroerosão a fio





Eletroerosão a fio – equipamento





The methods of ceramics machining:

- **Machining of ceramics in the presintered state**
- **Grinding of ceramics**
- **Ultrasonic machining of ceramics**
- **Rotary ultrasonic machining of ceramics**
- **Laser assisted machining of ceramics**
- **Laser machining of ceramics**

Ultrasonic machining of ceramics

Ultrasonic machining (UM) of ceramics is the machining method using the action of a slurry containing abrasive particles flowing between the workpiece and a tool vibrating at an ultrasonic frequency

Machining of ceramics

Dr. Dmitri Kopeliovich

https://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=machining_of_ceramics



1. Quais as principais etapas dos processos de metalurgia do pó? Faça uma descrição de cada uma dessas etapas.
2. Descreva os principais processos de usinagem de cerâmicos para ferramentas
3. O que é metal duro?
4. Quais são as diferenças na sinterização com e sem fase líquida?



FIM