



**CONCURSO DE PROVAS E TÍTULOS DO MAGISTÉRIO SUPERIOR**  
**EDITAL N° 377 DE 25/05/2022, PUBLICADO NO DOU N° 102 DE 31/05/2022**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA – SETOR DE FABRICAÇÃO – VAGA**  
**MC-025**

**QUESTÕES PROVA ESCRITA**

Conforme o Inciso III do Artigo 35 da Resolução n° 15/2020 do CONSUNI, seguem as questões da Prova Escrita:

1. Explique a razão pela qual o ensaio de tração uniaxial de uma barra cilíndrica de aço apresenta instabilidade plástica.
2. Considere o processo de forjamento a frio de uma barra de aço de seção transversal retangular entre ferramentas rígidas sob condições de deformação plana com efeitos de atrito. Em seguida, estabeleça um método de cálculo para previsões da pressão de contato e esforço.
3. Quais são os fenômenos físico-químicos que causam o desgaste de uma ferramenta de usinagem? Em que níveis de velocidade de corte cada um deles acontece? Por quê? Relacione os tipos (formas) de desgaste da ferramenta de usinagem com os fenômenos causadores de desgaste.
4. O que é vida de uma ferramenta de usinagem? Quais são as formas que podem ser utilizadas para se detectar o fim da vida de uma ferramenta, direta e indiretamente, em um processo produtivo?

**PROVA ESCRITA**  
**28/11/2022**

**CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO**

0T08P1

**RESPOSTA QUESTÃO 1**

Os modos de determinar as propriedades mecânicas dos materiais é através de ensaios mecânicos padronizados utilizando a peça em tamanho real, em escala ou corpo de prova padronizado. Entre os ensaios mais comuns tem-se os ensaios de tração, compressão, torção, flexão, dureza e impacto. Estes ensaios tem por objetivo fornecer propriedades como: tensão de escoamento ( $\sigma_y$ ), limite de resistência (LR), tensão de ruptura etc. O ensaio de tração é o mais comum e utilizado por sua simplicidade e quantidade de informações fornecidas.

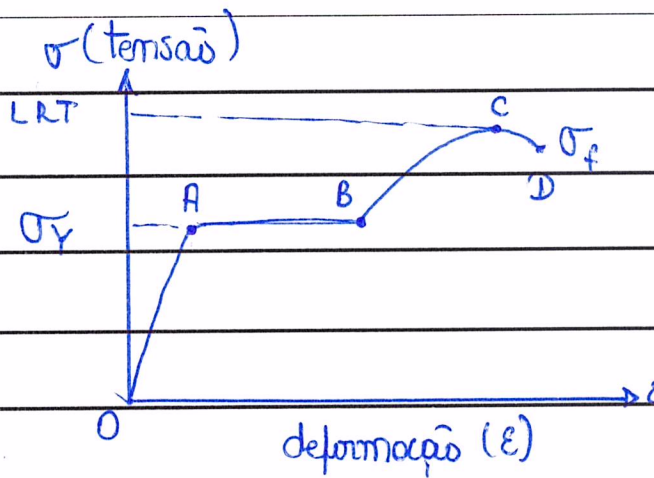
O corpo de prova do ensaio de tração tem seção normalmente circular e de extremidades aumentadas para que não fracture quando em carregamento (princípio de Saint-Venant) pelas garras da máquina de tração. Apesar do corpo aumentado, sua taxa é tão baixa que este ensaio é considerado com corpo estática. O gráfico gerado neste ensaio é da variação do  $\sigma$  com o deslocamento e algumas observações podem ser tiradas da curva resultante:

PROVA ESCRITA  
28/11/2022

CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO

OTO 8P<sub>1</sub>

RESPOSTA QUESTÃO 1



De O até A tem-se o regime elástico linear com comportamento descrito pela lei de

Hooker ( $\sigma = F/A$  e  $\sigma = E \cdot \epsilon$ )

(Onde A é a área da seção e E

é o módulo de elasticidade dado por  $\Delta\sigma/\Delta\epsilon$  dentro do regime elástico linear. Em A tem-se a tensão de escoamento ( $\sigma_y$ ) onde o comportamento passa do elástico para o plástico e outras equações descrevem o comportamento do material, como a eq. de Hollomon

$$\sigma = \sigma_0 \cdot \epsilon^n, \text{ onde } n \text{ é o expoente de encruamento}$$

O encruamento é o aumento da resistência do material deformado à frio devido ao acúmulo de defeitos lineares da rede cristalina, no entanto deslocações que funcionam como uma barreira à

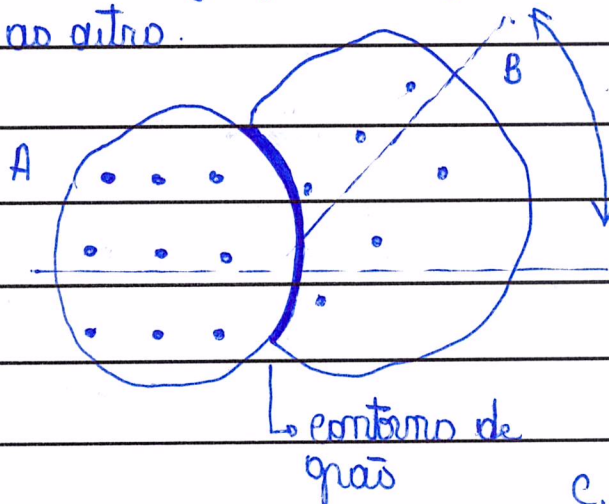
**PROVA ESCRITA**  
**28/11/2022**

**CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO**

OTO8P1

**RESPOSTA QUESTÃO 1**

passagem do defeito de um grão para outro em materiais policristalinos, se é que cada grão possui uma inclinação  $\alpha$  em relação ao outro.



Com a deformação, esmagamento dos planos e acúmulo dos defeitos no contorno entre os grãos A e B, a resistência do material aumenta e por que o c.p. continue deformando e preciso

aumentar  $\sigma$  (B-c). Até c a deformação ocorreu a nível atômico e a partir deste ponto a deformação passa a ocorrer a nível macroscópico, com a estrusão do c.p. (redução da área da seção transversal). Em D tem-se a tensão de fratura e o fim do ensaio.

A tensão de escoamento é a principal propriedade analisada por indicar o momento que o material passa para o regime

**PROVA ESCRITA**  
**28/11/2022**

**CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO**

0708P1

**RESPOSTA QUESTÃO 1**

plástico e mesmo com o relaxamento da carga, permanece uma deformação residual no material. Se a  $\sigma_r$  não for de fácil observação, deve-se utilizar o Método da equivalência que estabelece uma deformação padrão ( $\epsilon_p = 0,002$ ) e uma  $\sigma_r$  arbitrária. Para materiais policristalinos, como o aço, o tamanho do grão é relacionado com o  $\sigma_r$  pela equação de Hall-Petch.

$$\sigma_r = \sigma_0 + \frac{k}{\sqrt{d}}$$

d: diâmetro do grão

Em outros estados de tensão, diferente da tração pura, são utilizados critérios de resistência para determinar o início do regime elástico-plástico. Tem-se o critério de Tresca, que estabelece o início do regime plástico quando o tensor de equilíbrio do estado de tensões é maior que aquele observado na tração pura. Assim:

**PROVA ESCRITA**  
**28/11/2022**

**CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO**

0708P1

**RESPOSTA QUESTÃO 1**

$\sigma_Y = \sigma_1 - \sigma_3$ , onde  $\sigma_1$  e  $\sigma_3$  são tensões nas direções principais (lembrando que em tração pura  $\sigma_2 = \sigma_1$  e  $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$ )

No critério de Mises a energia necessária à deformação no estado de tensões ( $U_0^{D*}$  → desiderata) deve ser igual à energia na tração uniaxial ( $U_0^D$ )

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 - (\sigma_1 - \sigma_3)^2 \leq 2\sigma_Y^2$$

**PROVA ESCRITA**  
**28/11/2022**

**CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO**

OTO 8 P 1

**RESPOSTA QUESTÃO 2**

Os processos de conformação são realizados a partir da tração ou compressão do material sobre uma matriz e podem ser associados a presença ou não de temperatura. Se a temperatura homóloga ( $T_h$ ) for maior que 0,6 o processo é a quente, caso contrário é um processo a frio.

$T_h = T \rightarrow$  temperatura de peça

$T_f \rightarrow$  temperatura de fusão

O atrito na parede da matriz deve ser o menor possível e para isso usam-se lubrificantes durante o processo. Análise dos esforços pode ser feita por métodos empíricos (observação), analíticos e numéricos. Para isso são realizados análises de deformação do material: deformação homogênea (que segue aquela da tração pura), deformação por atrito (onde é considerada a força de atrito do material com a parede do molde) e a deformação redundante (que são aquelas intermediárias que não estabelecem a forma final da peça).

**PROVA ESCRITA**  
**28/11/2022**

**CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO**

0708P1

**RESPOSTA QUESTÃO 2**

A análise de um peça conformada pelo processo de forjamento é dada pela equação na forma diferencial:

$$\frac{d\sigma_{xi}}{dx_j} + \frac{1}{x_i} F(\sigma_{xi}, \sigma_{xj}) = 0$$

onde:  $\sigma_{xi}$ : é a tensão na direção principal de aplicação da carga ( $x_i$ )

F: equação linear que contém a geometria e condições do processo (atrito)

Se igualarmos a energia interna com o trabalho externo tem-se a tensão de trabalho dada ( $\sigma_F$ )

$$\sigma_F = \int_0^{\epsilon_f} \sigma d\epsilon, \text{ se regime plástico: } \sigma_F = K \cdot \frac{\epsilon_f^n}{n+1}$$

↳ eq. de Hollomon



PROVA ESCRITA  
28/11/2022

CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO

0708P1

RESPOSTA QUESTÃO 2

Se material <sup>mão</sup> encrua:  $\bar{\sigma}_Y \ln \frac{A_0}{A_f} = \sigma_F$

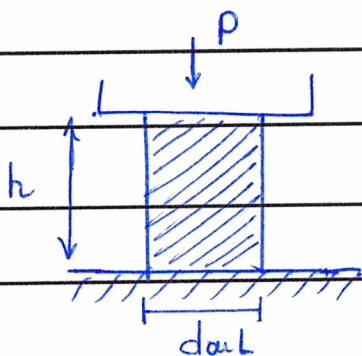
Se ocorre encruamento:  $\int_0^{\epsilon_f} \bar{\sigma}_Y d\epsilon = \sigma_F$

onde:  $A_i$ : área da seção inicial ( $A_0$ ) e final ( $A_f$ )

$\epsilon$ : def. verdadeira

$\bar{\sigma}_Y$ : tensão de escoamento média

De modo simplificado, o forjamento pode ser dado por:



$$\frac{dh}{dh} + \frac{1}{h} f(\sigma, -p)$$

A solução para este e outros processos de fabricação pode ser obtida pelo métodos dos elementos finitos com resultados próximos aos experimentais.

<p><b>PROVA ESCRITA</b> <b>28/11/2022</b></p>	<p><b>CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO</b></p>
	<p>OTO8P1</p>

**RESPOSTA QUESTÃO 3**

As condições de usinagem e os parâmetros de corte são determinantes para a vida do ferramenta. A vida da ferramenta está relacionada com o desgaste, fratura ou deformação plástica do amento de corte. Por melhor que seja a condição de corte e a seleção adequada dos parâmetros (velocidade de corte, avanço da ferramenta, profundidade, fluido de corte lubrificante e arrefecedor e a rigidez da máquina-ferramenta) sempre haverá o desgaste. A função do engenheiro é correlacionar e selecionar condições ótimas para reduzir ao máximo o tempo de desgaste e, assim, aumentar a vida do ferramenta de corte. Este aumento evita a necessidade de troca do ferramenta, para a operação ou substituição e, por consequência, reduz o tempo total necessário para a fabricação de uma peça dentro do lote e reduz seu custo para o consumidor final.

Existem vários fenômenos físico-químico que causam este desgaste que estão correlacionados entre si por serem

**PROVA ESCRITA**  
**28/11/2022**

**CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO**

0708P1

**RESPOSTA QUESTÃO 3**

ativados pela mesma energia de ativação, que é a temperatura. A variação da temperatura no usinagem não é aconselhável por aumentar a chance de deformação plástica do metal de corte principal, apesar desta mesma temperatura, aumenta o amolecimento térmico do aço (peça) e reduz a força de usinagem.

Os fenômenos físicos-químicos principais são os desgastes por: abrasão, adesão, reação química e difusão atômica. A abrasão está relacionada com o perda de massa da superfície de ferramenta quando em contato com o material da peça. Ocorre principalmente na zona de evulhamento secundária, ou seja, no encrocamento do cavos na superfície de ferramenta (saída), mas pode também ocorrer na zona de evulhamento terciária (superfície de folga x superfície usinada) quando a ferramenta se encontra-se com alto desgaste ou quando o ângulo de folga é próximo de zero. Velocidades de corte altas colaboram para o

**PROVA ESCRITA**  
**28/11/2022**

**CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO**

0T08P1

**RESPOSTA QUESTÃO 3**

o aumento da temperatura e, por consequência, tendem a reduzir o diâmetro da peça e o desgaste por abrasão.

O desgaste por abrasão está relacionado com a formação de aresta pontiaguda de corte. Apesar desta aresta pontiaguda "proteger" a ponta verdadeira e a superfície de saída do ferromento (já que o erro não ocorre sobre o pontiagudo), tem-se a instabilidade durante o corte pela variação da geometria de corte e do erro (ou seja, seção transversal). Esta instabilidade do erro do erro pode provocar vibração no ferromento e no feixe de usinagem, contribuindo para a redução da vida útil. A aresta pontiaguda de corte é formada em baixas velocidades de corte, que contribui para a (falta) soldagem do material da peça na aresta e superfície de saída do ferromento. A velocidade de corte não pode, no entanto, ser aumentada demasiadamente devido ao atrito e efeitos térmicos negativos ao processo de usinagem.

A difusão atômica no estado sólido está relacionada com

**PROVA ESCRITA**  
**28/11/2022**

**CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO**

OTO8P1

**RESPOSTA QUESTÃO 3**

o movimento dos átomos na rede cristalina. Este movimento é facilitado pelos defeitos pontuais (lacunas - onde deveria estar ocupado por um átomo) e pelos espaços intersticiais da rede cristalina. As lacunas normalmente são ocupadas por átomos de raio atômico igual ou maior que da rede original (átomos substitucionais) e os interstícios são ocupados por átomos de raios atômicos menor. Para a difusão ocorrer de fato é preciso uma energia de ativação para tirar o sistema do equilíbrio. Esta energia é dada pela temperatura e pelo contato com o ferromento. O átomo mais provável de sofrer difusão é o carbono (pele raio atômico  $\sim 70$  pm) da ferromento para o eixo, fazendo com que o carbeto de tungstênio (WC) ou metal duro (material da ferromento) perca sua propriedade de dureza a quente. Este aumento de temperatura é dado por maiores velocidades de corte.

O controle completo do processo não é suficiente para garantir desgaste zero do ferromento, portanto, além das condições de

**PROVA ESCRITA**  
**28/11/2022**

**CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO**

0T08P1

**RESPOSTA QUESTÃO 3**

Uma das principais características dos materiais de ferramentas de corte é a dureza a quente (manter sua dureza em temperaturas elevadas  $H_{temp} < H_{HS} < H_{WC}$ ); estabilidade química (para evitar difusão atômica); tenacidade à fratura (suportar deformações elásticas e plásticas antes de fraturar).

A falha do material de ferramenta se dá pelos tipos de entalhe ou quebra, causada por altos níveis de deformação plástica e quebra do ponto da ferramenta. Os tipos de desgaste são aqueles encontrados principalmente na superfície de saída (desgaste de cratera) e na superfície de folga (desgaste de flanco). O desgaste de cratera é causado pela oxidação, pelo arrasto partícula de corte (que periodicamente pode ser removido junto com o cavaco e levar marca na superfície de saída da ferramenta) e pela difusão atômica.

O desgaste de flanco pode ocorrer pelos mesmos fenômenos que causam a cratera e se apresenta conforme a ferramenta é usada e a moeda que antes era perfeitamente afiada, passa a apresentar

<p><b>PROVA ESCRITA</b> <b>28/11/2022</b></p>	<p><b>CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO</b></p>
	<p>OTO8P1</p>

**RESPOSTA QUESTÃO 3**

um arredondamento e, por consequência, um contato da superfície de folga com a superfície usinada. O desgaste de flanco é utilizado para determinar o vida útil do ferramenta de corte e seu valor é estabelecido pela empresa/operador (desgaste de flanco crítico). Quanto maior a velocidade de corte (e a temperatura), menor o tempo para a ferramenta alcançar o desgaste de flanco crítico. A velocidade de corte deve ser selecionada adequadamente para garantir o vida da ferramenta, a máxima produção, o mínimo custo e, junto com a profundidade de corte, garantir o usinagem sem vibração excessiva (Chatter).

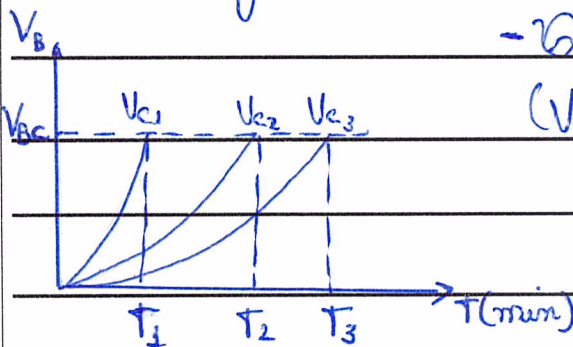
PROVA ESCRITA  
28/11/2022

CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO

OTO 8P1

RESPOSTA QUESTÃO 4

A vida do ferramenta de usinagem é o tempo máximo para a sua operação de troca. Esta vida é estabelecida pelo tempo de uso ou empimento usinado onde o desgaste de flanco crítico é alcançado (medido na superfície de saída folga do ferramenta). Dos parâmetros de usinagem, a velocidade de corte tem grande influência no processo por aumentar a temperatura e facilitar o ocorrência dos fenômenos físicos-químicos causadores do desgaste.



- Quanto maior a velocidade de corte ( $V_{c_i}$ ) menor será o tempo ( $T_i$ ) que a ferramenta vai alcançar a sua vida útil, ou seja, o desgaste de flanco crítico ( $V_{c,c}$ ). Este desgaste

$$V_{c1} > V_{c2} > V_{c3}$$

$$T_1 < T_2 < T_3$$

e fim de vida do ferramenta pode ser monitorado diretamente e indiretamente. Os métodos diretos são principalmente realizados com a



**PROVA ESCRITA**  
**28/11/2022**

**CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO**

0708P1

**RESPOSTA QUESTÃO 4**

Quando do processo de corte e medida de  $V_b$  no formamento. Nos métodos indiretos não existe necessidade de parada do processo para verificar as condições de formamento.

Os processos diretos podem ser realizados principalmente por microscopia (óptica ou eletrônica de varredura - MEV) onde são feitos medidas da largura e comprimento da cratera (superfície de saída) e do desgaste de flancos médios ( $V_b$ ). Se  $V_b > V_{b\text{crítico}}$ , a formamento alcança sua vida útil. As dimensões críticas são pré estabelecidas e as medidas seguem os normas. Outros microscópios evolucionados, como o microscópio de feixe infinito, são capazes de medir o volume de peça analisada, e, portanto, permitem a medida do desgaste de cratera (sua profundidade). Os perfilômetros de contato ou a laser permitem também verificar as medidas do desgaste pelos métodos diretos.

Os processos indiretos fornecem outros dados que estão diretamente relacionados com as condições de formamento. Estes processos

<b>PROVA ESCRITA</b> <b>28/11/2022</b>	<b>CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO</b>
	0T08P1

**RESPOSTA QUESTÃO 4**

usado principalmente os medidos das forças de usinagem com auxílio de dinamômetros e equipamentos auxiliares (complicador de sinal, osciloscópio e computador/software para leitura dos dados experimentais); emissão acústica com auxílio de um acelerômetro; rugosidade do peça com auxílio de um perfilômetro / rugosímetro; Cor do covão pela inspeção visual e ruídos percebidos pelo operador sem auxílio de equipamento.

A força de usinagem pode ser analisada a partir da força máxima resultante e seu comportamento com o tempo de usinagem. Se a força está acima daquela normalmente encontrada na literatura para as mesmas condições de corte pode ser que a vida de contato da peça com o ferramenta tenha aumentado devido ao desgaste excessivo. Os sinais descontínuos de emissão acústica podem fornecer informações do modo de deslocamento da ferramenta e do escoamento do covão. A coloração do covão pode indicar que o aço alcançou elevadas temperaturas durante o corte, associadas ao desgaste da ferramenta.

<b>PROVA ESCRITA</b> <b>28/11/2022</b>	<b>CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO</b>
	OTO 8 P <sub>1</sub>

**RESPOSTA QUESTÃO 4**

A rugosidade do peço também pode ser estabelecida como um método indireto. Apesar da rugosidade média ser diretamente proporcional ao erro e inverso ao raio de ponta do ferramenta, um desgaste do raio de ponta excessivo aumenta o contato/atrato/temperatura do processamento. Adicionalmente, ondulações/rugosidade/riscos na superfície usinada podem induzir o aumento do raio de ponta (entre as superfícies de saída e folga) e o contato da superfície de folga com a superfície usinada.