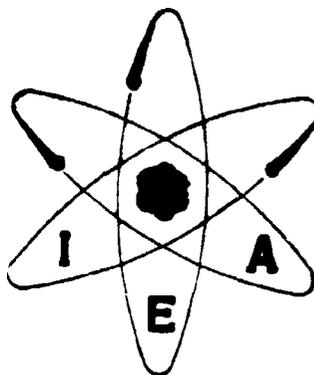


BR4000136



**TÉCNICA RADIOISOTÓPICA APLICADA AO ESTUDO DO
DESGASTE DE FERRAMENTAS DE CORTE A BASE
DE CARBETO DE TUNGSTÊNIO**

MOHAMED EL THAWIL e WLADIMYR SANCHEZ

PUBLICAÇÃO IEA N.º 345
Junho — 1974

INSTITUTO DE ENERGIA ATÔMICA
Caixa Postal 11049 (Pinheiros)
CIDADE UNIVERSITÁRIA "ARMANDO DE SALLES OLIVEIRA"
SAO PAULO — BRASIL

**TÉCNICA RADIOISOTÓPICA APLICADA AO ESTUDO DO
DESGASTE DE FERRAMENTAS DE CORTE A BASE
DE CARBETO DE TUNGSTÊNIO.**

Mohamed El Thawil e Wladimir Sanchez

**Coordenadoria de Aplicação de Radioisótopos
na Engenharia e na Indústria
Instituto de Energia Atômica
São Paulo - Brasil**

**Publicação IEA Nº 345
Junho de 1974**

Instituto de Energia Atômica

Conselho Superior

Eng^o Roberto N. Jafet -- Presidente
Prof.Dr.Emilio Mattar -- Vice-Presidente
Prof.Dr.José Augusto Martins
Dr.Affonso Celso Pastore
Prof.Dr.Milton Campos
Eng^o Heício Modesto da Costa

Superintendente

Rômulo Ribeiro Pieroni

TÉCNICA RADIOISOTÓPICA APLICADA AO ESTUDO DO DESGASTE DE FERRAMENTAS DE CORTE A BASE DE CARBETO DE TUNGSTÊNIO

N. El Thswil e W. Sanchez

RESUMO

A vida útil de uma ferramenta de corte, caracterizada pelo intervalo de tempo em que ela pode trabalhar aceitavelmente peças metálicas é um dos fatores que determinam o custo das operações de usinagem. Utilizando-se a radioatividade do ^{187}W comparou-se a taxa de desgaste de três (3) diferentes tipos de ferramentas de corte Brassinter, de carbeto de tungstênio, TXL(P-25), NTA(P-30) e T-108. A sequência de operação durante os ensaios foi a seguinte: removia-se em cada corte aproximadamente 50 gramas de material do corpo da prova, com uma ferramenta de corte irradiada previamente no reator IEAR-1. Em cada corte dividiam-se os cavacos removidos em 10 lotes de amostras, cada qual pesando $4,52 \pm 0,03$ gramas, e mediam-se as atividades. Tomava-se o valor médio das 10 amostras como representativo do desgaste, para aquela condição de corte. Determinaram-se as taxas de desgaste de cada ferramenta comparando-se as atividades das amostras de cavaco com a atividade de uma amostra padrão. Variou-se o tempo de corte de acordo com as diferentes condições dos ensaios: regime de rotação, avanço, profundidade de corte, fluido para corte e ângulo de saída dos cavacos. Todos os corpos de prova trabalhados eram de aço, com geometria cilíndrica (tarugos com 200 mm de altura e 240 mm de diâmetro) mas de composição diferente, a saber: aços SAE-1020, SAE-1030, SAE-1040 e SAE-1050. Os resultados experimentais mostraram que as ferramentas de carbeto de tungstênio, TX(P-25) devem ser utilizadas para trabalhar peças de aço SAE-1050 enquanto as ferramentas NTA(P-30) e T-108 devem ser utilizadas para usinar peças de aço SAE-1020 e SAE-1030.

I - CONSIDERAÇÕES INICIAIS:

A vida útil de uma ferramenta de corte, caracterizada pelo intervalo de tempo em que ela pode trabalhar aceitavelmente peças metálicas é um dos fatores que determinam o custo das operações de usinagem. A qualidade das peças trabalhadas ou usinadas e a sua taxa de produção são diretamente afetadas pelo ritmo de variação do desgaste da ferramenta de corte, daí a importância do estudo desse fenômeno na engenharia de processos de manufatura.

Geralmente mede-se o desgaste de uma ferramenta de corte pelas variações dimensionais da borda cortante. Estas medidas são realizadas em laboratórios de ensaios e exigem muitas horas de trabalho. Sendo muito pequena a taxa de desgaste da ferramenta, da ordem de frações de microgramas por grama de material removido da peça usinada, torna-se necessário trabalhar com grandes quantidades de material e de tempo, para que os resultados possam ser considerados representativos.

Na maioria dos países desenvolvidos tem-se empregado, com grande sucesso, técnicas radioisotópicas, para medir o desgaste das ferramentas de corte. O princípio desta técnica e sua potencialidade foram apresentados por Merchant e Krabacher, em 1954⁽¹⁾. Em 1970, a General Motors Research Laboratories apresentou um relatório técnico⁽²⁾ mostrando as vantagens de se utilizar as técnicas radioisotópicas no estudo do desgaste de ferramentas de corte. Baseando-se nos resultados experimentais de alguns milhares de ensaios, os pesquisadores da General Motors estabeleceram uma correlação entre a taxa de desgaste da ferramenta de corte e a longa vida dessa ferramenta. Concluíram que a taxa de desgaste pode ser utilizada para determinar a vida útil da ferramenta, nas mais variadas condições de operação.

II - IRRADIAÇÃO DAS FERRAMENTAS E DETECÇÃO DA RADIOATIVIDADE:

Utilizando-se a radiação gama emitida pelos isótopos ^{60}Co , e ^{187}W , contada por meio de um detector de cintilação, com cristal de NaI(Tl) de $2'' \phi \times 2'' \text{H}$, associado a um analisador multicanal TMC(400 canais) estudou-se o comportamento de tres (3) diferentes tipos de ferramentas de corte BRASSINTER.

Estas ferramentas, codificadas por TXL(P-25), NTA(P-30) e T-108, produzidas com assistência técnica da "Firth Sterling Inc. Pittsburg" foram irradiadas no reator IEAR-1, com um fluxo de $1,2 \cdot 10^{13} \text{n/cm}^2 \cdot \text{s}$, durante 2 horas. Os principais isótopos formados foram ^{60}Co , ^{51}Ti , ^{185}W , ^{187}W e ^{182}Ta . As ferramentas de corte, de carbeto de tungstênio, sinterizadas tem as características especificadas na tabela I.

TABELA I

Características das Ferramentas de Corte Utilizadas nos Ensaio de Desgaste.

Ferramenta de Corte Brassinter.	Composição Química - Percentagem					Densidade g/cm^3
	W	Ta	Ti	Co	C	
TXL(P-25)	68,5	8,5	8,0	8,0	6,9	11,0
NTA(P-30)	77,0	2,9	4,0	10,0	6,2	13,0
T-108	71,4	4,7	7,2	10,0	6,7	12,5

Escolheu-se o radioisótopo mais adequado para o ensaio levando-se em conta os seguintes fatores:

- 1 - o radioisótopo deve ser produzido em quantidade suficiente, com pequeno tempo de irradiação no reator;
- 2 - o radioisótopo deve ser emissor de radiação gama para ser mais facilmente detectado;
- 3 - o radioisótopo deve ter meia vida compatível com a duração dos ensaios;
- 4 - a atividade do radioisótopo deve ser pequena, para não apresentar problemas de segurança radiológica mas suficientemente adequada para proporcionar boa sensibilidade de detecção.

Os isótopos do tungstênio preenchem os requisitos acima daí serem adequados para o ensaio. Os dados nucleares dos isótopos formados são apresentados na tabela II.

A meia vida curta (24,1 horas) do ^{187}W e a energia de 0,7 MeV da radiação gama emitida,

TABELA II

Dados Nucleares dos Isótopos Formados

Isótopo	Meia Vida	Energia β MeV	Energia γ MeV
^{185}W	76 dias	0,68 – 0,48	—
^{187}W	24,1 horas	1,3(30%) – 0,6(70%)	0,7

aliadas a alta atividade específica definem bem as vantagens de se escolher esse isótopo como o mais adequado, para ensaios de pequena duração.

Detectou-se a radiação gama emitida pelo ^{187}W por meio de um contador de cintilação, com cristal de poço, associado a um analisador TMC de 400 canais.

III - VARIÁVEIS QUE INFLUEM NO FENÔMENO DE DESGASTE DE FERRAMENTAS DE CORTE.

O desgaste que sofre uma ferramenta de corte é função de muitas variáveis, sendo as principais apresentadas na tabela III.

TABELA III

Principais Variáveis que Influem no Fenômeno de Desgaste de Ferramentas de Corte.

<p>PEÇA USINADA</p> <p>Forma Composição Tratamento Térmico Método de Fabricação</p>	<p>CONDIÇÕES DE USINAGEM</p> <p>Velocidade de Corte Avanço Ângulo de Saída do Cavaco Fluído Utilizado Durante o Corte</p>
<p>FERRAMENTA DE CORTE</p> <p>Geometria Composição</p>	<p>NATUREZA DO CORTE</p> <p>Contínuo Descontínuo Brusco</p>

A influência de cada variável na determinação da taxa de desgaste da ferramenta de corte não pode, muitas vezes, ser analisada separadamente, pelo aspecto de interdependência que existe entre elas. Por exemplo, quando se usinam peças de aço, com velocidade de corte muito baixa, deve-se utilizar ferramentas de aço liga, ao passo que nas condições de altas velocidades de corte a preferência recai sobre ferramentas a base de carbeto de tungstênio. Assim, deve-se considerar sempre a interrelação entre velocidade de corte, material usinado e a ferramenta de corte.

IV - TÉCNICA RADIOISOTÓPICA

A técnica radioisotópica consiste em usinar peças metálicas com uma ferramenta de corte que se tornou radioativa e medir a atividade que se encontra no cavaco, proveniente do material removido da ferramenta, durante o processo de corte.

Antes de irradiar-se a ferramenta de corte em um reator atômico remove-se de uma delaS pequeno fragmento que é pesado com precisão. Este fragmento e uma ferramenta inteira, ambos de mesma composição química devem ser irradiados nas mesmas condições.

O fragmento radioativo é dissolvido quimicamente, colocando-se uma fração conhecida da solução em pequeno frasco, para ser utilizada como padrão de contagem da radioatividade. Existindo proporcionalidade entre massa irradiada e atividade detectada pode medir-se por comparação o desgaste da ferramenta de corte. Assim, sendo A cpm (contagem por minuto) a taxa de contagem da radiação gama emitida pelos átomos de ^{187}W contidos na massa $M(\mu\text{g})$ de padrão e B cpm, a taxa de contagem desta mesma radiação, contida nas amostras de cavaco, tem-se:

$$\begin{aligned} M(\mu\text{g}) &\longrightarrow A \text{ cpm} \\ x(\mu\text{g}) &\longrightarrow B \text{ cpm} \\ x &= \frac{B}{A} \cdot M(\mu\text{g}) \end{aligned}$$

A comparação entre atividade das amostras e padrão elimina a influência do decaimento radioativo nas medições, fenômeno comum a todos os radioisótopos.

A figura 1 mostra, esquematicamente, um arranjo típico da ferramenta de corte e peça metálica trabalhada, no caso da aplicação da técnica radioisotópica. A peça metálica gira com determinada velocidade média expressa em revoluções por minuto (rpm) e a ferramenta de corte movimenta-se em direção a peça em ritmo de avanço radial, expresso em polegadas ou milímetros por revolução. Nos ensaios utilizou-se um tórno IMOR-MKD, especialmente projetado para a oficina mecânica do IEA, (figura 2) com as seguintes especificações:

distância entre os centros	=	2 600 mm
altura do barramento	=	400 mm
altura da cava	=	600 mm
passagem da árvore	=	210 mm
placa de 4 castanhas		
revoluções por minuto (rpm)	=	12,5 - 16 - 20 - 25 - 31,5 - 40 - 50 - 63 80 - 100 - 125 - 160 - 200 - 250 - 315 - 400.

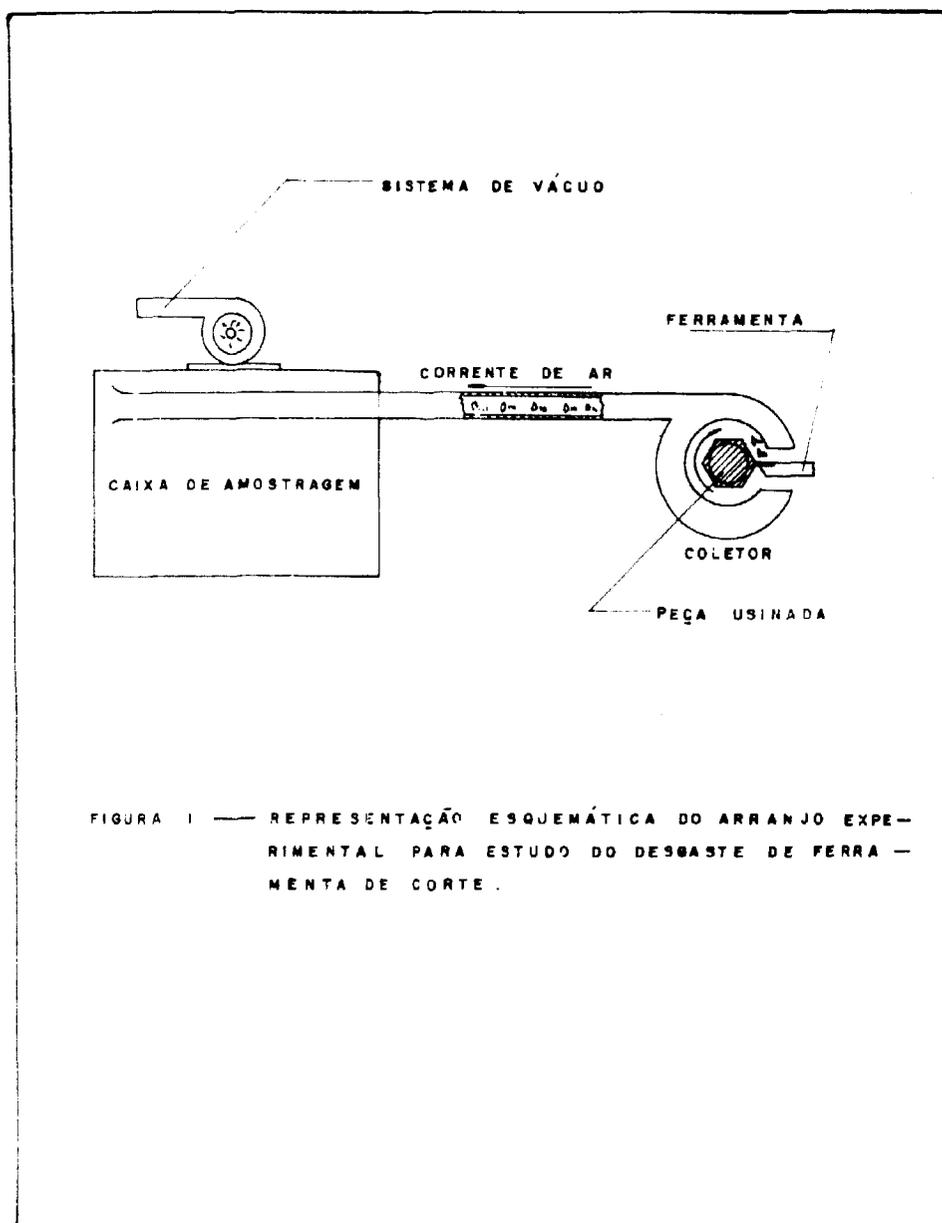


FIGURA 1 — REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO ARRANJO EXPERIMENTAL PARA ESTUDO DO DESGASTE DE FERRAMENTA DE CORTE.

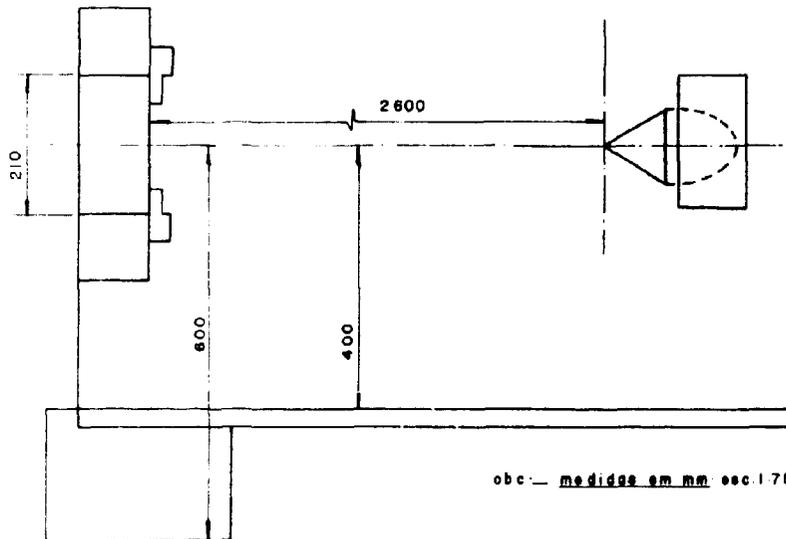


FIGURA 2 — REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO TORNO INOR-
MKD UTILIZADO NOS ENSAIOS DE DESGASTE DAS
FERRAMENTAS DE CORTE.

Todos os corpos de prova trabalhados eram de geometria cilíndrica (tarugos), com 200 mm de altura e 240 mm de diâmetro. No decorrer dos ensaios usinaram-se 6 corpos de prova de aço SAE-1020, 9 corpos de prova de aço SAE-1030, 6 corpos de prova de aço SAE-1040 e 6 de aço SAE-1050.

Em uma série de ensaios utilizou-se fluido para corte, MOBIL OIL DTE, com base oleosa (misturado com água na proporção óleo/água 1:20). As funções básicas desse fluido, durante a usinagem de uma peça metálica são:

- a) refrigerar a ferramenta de corte e a peça usinada;
- b) reduzir o atrito na interface entre a ferramenta e o cavaco, atenuando as tensões e o calor gerado;
- c) remover o cavaco da área de corte.

Um fluido que cumpre satisfatoriamente essas funções contribui para prolongar a vida útil da ferramenta. A eficiência do fluido de corte é difícil de ser analisada com precisão, por meio das técnicas convencionais.

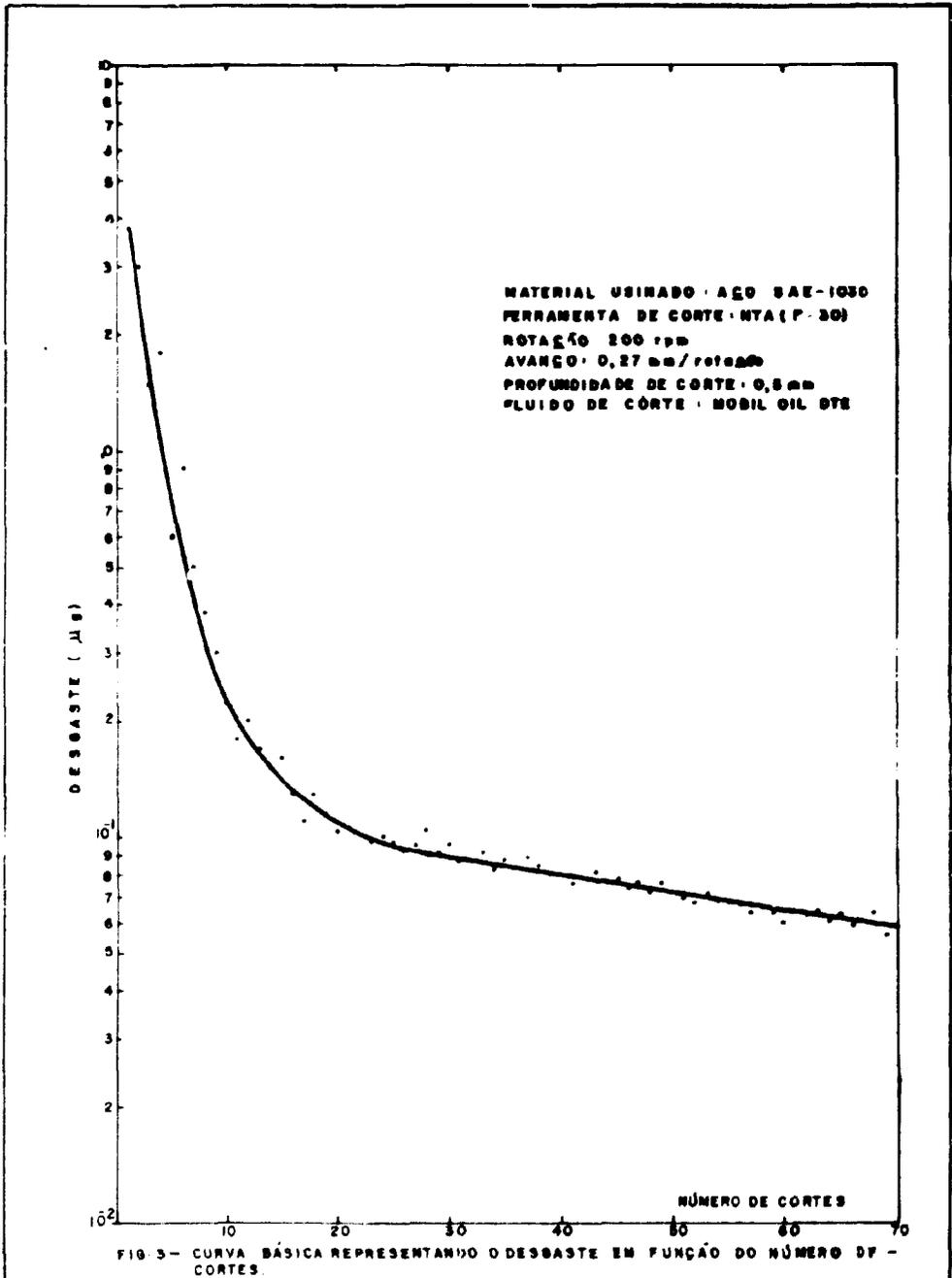
Durante o corte, os cavacos são arrastados por uma corrente de ar para a caixa de amostragem, de acordo com o arranjo experimental, mostrado esquematicamente na figura 1. No lado externo do coletor existe uma abertura para permitir o manuseio do porta ferramenta e substituição das peças usinadas. Esta abertura foi dimensionada para assegurar suficiente entrada de ar no coletor e permitir o transporte dos cavacos até a caixa de amostragem.

V - PROCESSAMENTO DOS DADOS

No estudo do fenômeno de desgaste, sendo muitas as variáveis dependentes, torna-se necessário correlacionar um ensaio com outros subsequentes, por meio de uma curva básica, de referência. A figura 3 mostra os resultados obtidos a partir das análises de 700 amostras, em um ensaio de usinagem de corpo de prova, de aço SAE-1030, com ferramentas de corte NTA(P-30). Realizaram-se 70 cortes do corpo de prova, em condições idênticas de avanço (0,27 mm/rotação), rotação (200 rpm) e profundidade de corte (0,5 mm) sendo que em cada corte coletaram-se 10 amostras, cada qual com $4,52 \pm 0,03$ gramas. Considerou-se o valor médio das amostras como representativo de cada corte e representou-se este valor, em gráfico semilogarítmico que tem por ordenadas os valores do desgaste em microgramas e por abscissas os números de corte realizados. Traçou-se uma curva base aplicando-se o método dos mínimos quadrados aos pontos experimentais.

Ensaio posteriores mostraram que a forma da curva base é bem reproduzível. Assim, foi possível estabelecer uma equação para representar esta curva e programar uma computadora H.P. modelo 9810-A para produzir qualquer parte da curva, desde que se conheça a tendência do desgaste, estabelecido durante os 30 primeiros cortes do corpo de prova. Observa-se, a partir da curva da figura 3, que o desgaste inicial é grande, mantendo-se a partir do trigésimo corte uma taxa constante. Construindo-se a curva base e levando-se em conta uma operação de corte específica pode-se avaliar o desgaste, para diferentes materiais de ferramenta de corte, parâmetros de usinagem e fluidos para corte.

Em cada diferente ensaio os 30 primeiros cortes devem ser provenientes de peças usinadas



nas mesmas condições em que se construiu a curva base. A seguir, pode-se variar determinado parâmetro e realizar cerca de dez (10) cortes, variar novo parâmetro e executar o mesmo número de cortes e assim sucessivamente. Os resultados de um ensaio típico são mostrados na figura 4, onde se observa a variação do desgaste da ferramenta NTA(P-30) em função das características do material usinado. Observa-se ainda, da figura 4, que a condição de referência é repetida no final do ensaio, para verificar se a extrapolação da curva base (linha pontilhada) foi realizada corretamente.

Depois de cada ensaio analisam-se as várias condições utilizadas, comparando-se a taxa média de desgaste da ferramenta, medida em diferentes condições, com as condições da curva base, isto é,

$$\text{Desgaste relativo} = \frac{b}{a} \begin{matrix} \text{(condições experimentais)} \\ \text{(condições da curva base)} \end{matrix}$$

a - desgaste médio da ferramenta correspondente a curva base;

b - desgaste médio da ferramenta correspondente a determinada condição experimental.

Alguns pontos mostraram-se muito dispersos em relação a curva traçada pelo método dos mínimos quadrados. O grau de dispersão, provavelmente está relacionado com a estabilidade da condição de corte e é importante na avaliação dos resultados experimentais.

Pode-se definir um número de estabilidade representado pela relação,

$$S = \frac{\sigma}{M}$$

$$\sigma \text{ - (desvio padrão)} = \frac{\sum(N - M)^2}{n}$$

N - desgaste da ferramenta, associado a cada ponto;

M - valor que corresponde a média de todos os pontos;

n - número de pontos

Quanto mais estável for a condição de corte do material ensaiado menor será o número de estabilidade

VI - DESGASTE DOS MATERIAIS ENSAIADOS

O desgaste relativo de diferentes materiais usinados e as ferramentas de corte utilizadas nos ensaios são apresentados, resumidamente, nas tabelas IV, V e VI.

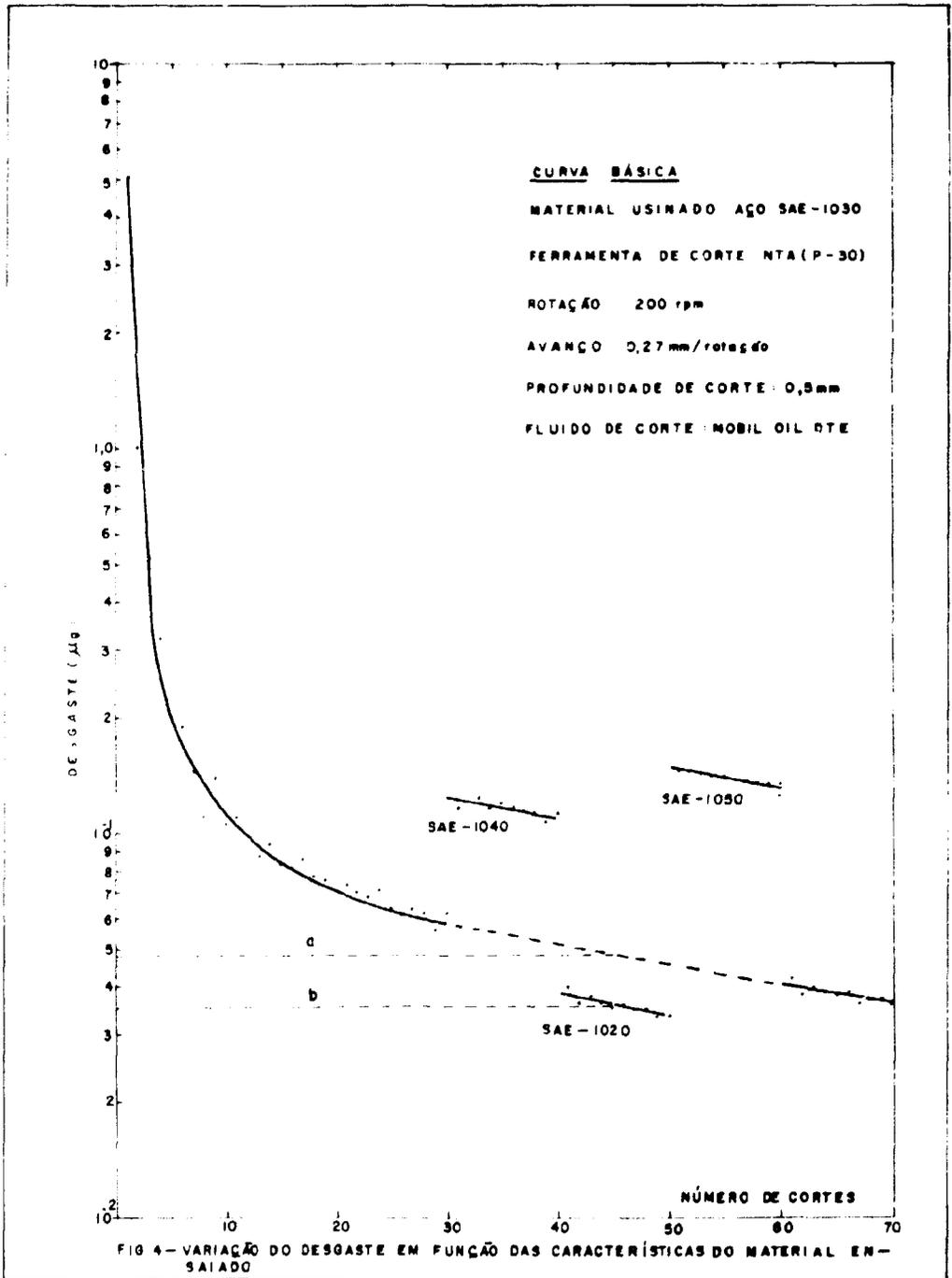


TABELA IV

Desgaste Relativo de Diferentes Corpos de Prova Usinados Com Ferramenta
NTA(P-30) - Fluido Para Corte: MOBIL OIL DTE.

MATERIAL USINADO	COMPOSIÇÃO APROXIMADA				DESGASTE RELATIVO	NÚMERO DE ESTABILIDADE
	C	Mn	P	S		
AÇO SAE-1020	0,21	0,45	0,040	0,050	0,80	0,14
AÇO SAE-1040	0,52	0,45	0,040	0,050	1,40	0,35
AÇO SAE-1050	0,52	0,45	0,040	0,050	1,90	0,58

TABELA V

Desgaste Relativo de Diferentes Corpos de Prova Usinados Com Ferramenta
T-108 - Fluido Para Corte: MOBIL OIL DTE.

MATERIAL USINADO	COMPOSIÇÃO APROXIMADA				DESGASTE RELATIVO	NÚMERO DE ESTABILIDADE
	C	Mn	P	S		
AÇO SAE-1020	0,21	0,70	0,040	0,050	0,84	0,21
AÇO SAE-1030	0,31	0,45	0,040	0,050	1,00	0,13
AÇO SAE-1040	0,40	0,45	0,040	0,050	1,47	0,42
AÇO SAE-1050	0,52	0,45	0,040	0,050	2,12	0,78

TABELA VI

Desgaste Relativo de Diferentes Corpos de Prova Usinados Com Ferramenta
TXL-(P-25) - Fluido Para Corte: MOBIL OIL DTE.

MATERIAL USINADO	COMPOSIÇÃO APROXIMADA				DESGASTE RELATIVO	NÚMERO DE ESTABILIDADE
	C	Mn	P	S		
AÇO SAE-1020	0,21	0,70	0,040	0,050	0,63	0,11
AÇO SAE-1030	0,31	0,45	0,040	0,050	1,00	0,10
AÇO SAE-1040	0,40	0,45	0,040	0,050	1,52	0,33
AÇO SAE-1050	0,52	0,45	0,040	0,050	1,37	0,44

Tomando-se corpos de prova de aço SAE-1020, para serem usinados com ferramenta de corte T-108, estudou-se o comportamento do desgaste em função da velocidade de corte, ritmo de avanço e ângulo de saída do cavaco. Os resultados são apresentados das figuras 5, 6 e 7.

A figura 8 mostra curvas de desgaste obtidas a partir de ensaios realizados com duas ferramentas diferentes, T-108 e NTA(P-30), para verificar a influência do ângulo de saída do cavaco. Os resultados de desgaste das duas ferramentas são semelhantes, mas a dispersão dos pontos obtidos é consideravelmente menor para a ferramenta NTA(P-30) que contém menor percentagem de Ti e Ta em sua composição.

VII - CONCLUSÕES:

As técnicas radioisotópicas de desgaste de ferramentas são especialmente úteis quando aplicadas em estudos comparativos de desgaste por apresentarem resultados confiáveis em curto tempo. Neste estudo, em particular, as principais conclusões são:

- 1 - Os parâmetros de usinagem, tais como velocidade de corte, avanço e ângulo de saída do cavaco podem ser otimizados, em laboratório, para as operações de manufatura;
- 2 - Em regime de 200 rpm o desgaste das ferramentas NTA e T-108 tende a aumentar quando a percentagem de carbono no aço usinado aumenta;
- 3 - Em regime de 200 rpm, a ferramenta TXL(P-25) apresenta-se como mais adequada para usinar materiais de aço SAE-1050 e menos adequada para usinar materiais de aço SAE-1020 e SAE-1030;
- 4 - As ferramentas que contém maior concentração de carbetos de titânio e carbetos de tântalo apresentam maior taxa de desgaste, durante a usinagem de materiais de aço carbono.

ABSTRACT

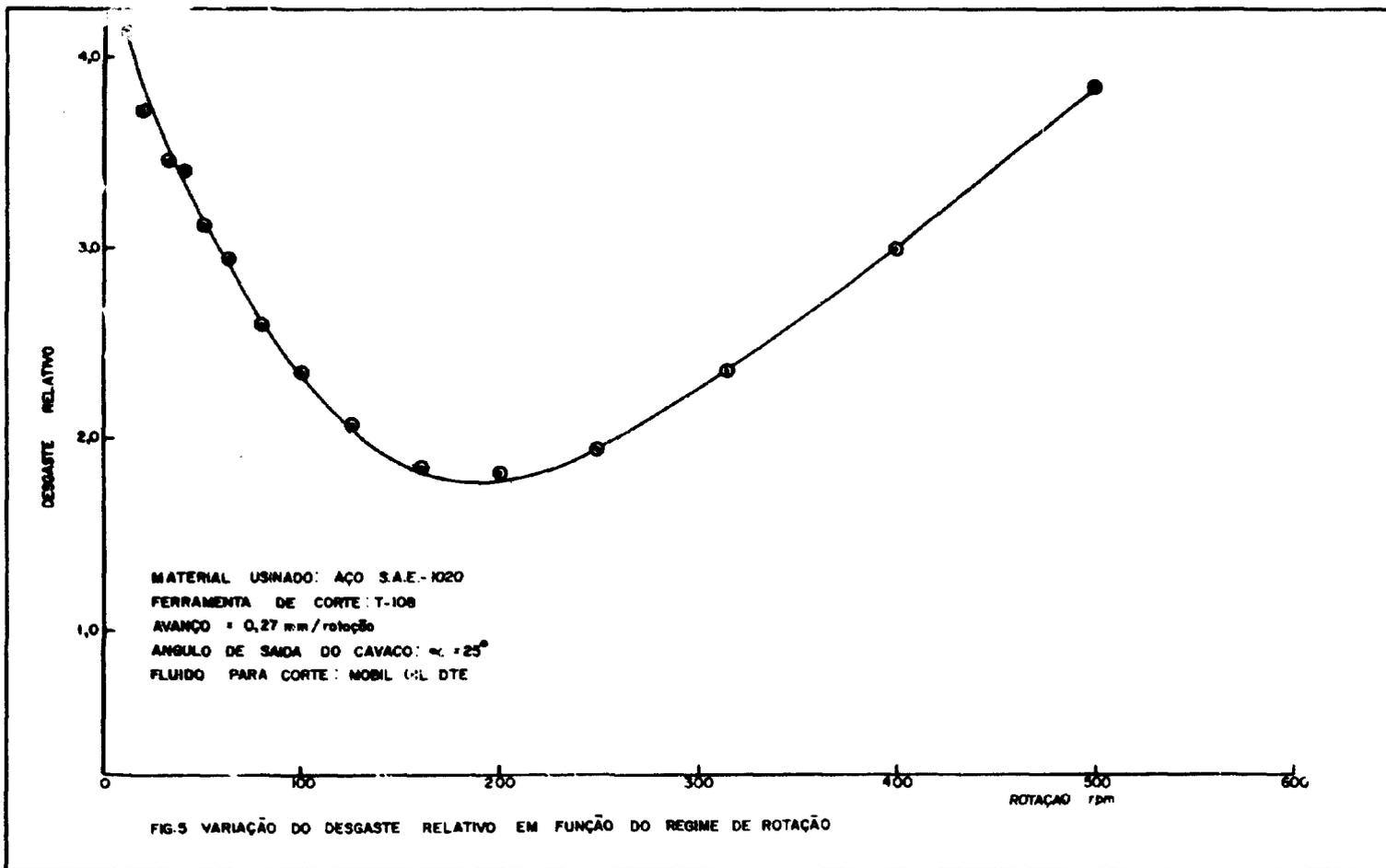


FIG.5 VARIAÇÃO DO DESGASTE RELATIVO EM FUNÇÃO DO REGIME DE ROTAÇÃO

ÂNGULO DE SAÍDA DO CAVADO $\alpha = 25^\circ$
 ROTAÇÃO 200 r.p.m.
 FLUIDO PARA CORTE MOBIL OL. DE
 MATERIAL USINADO AÇO S.A.E-1020

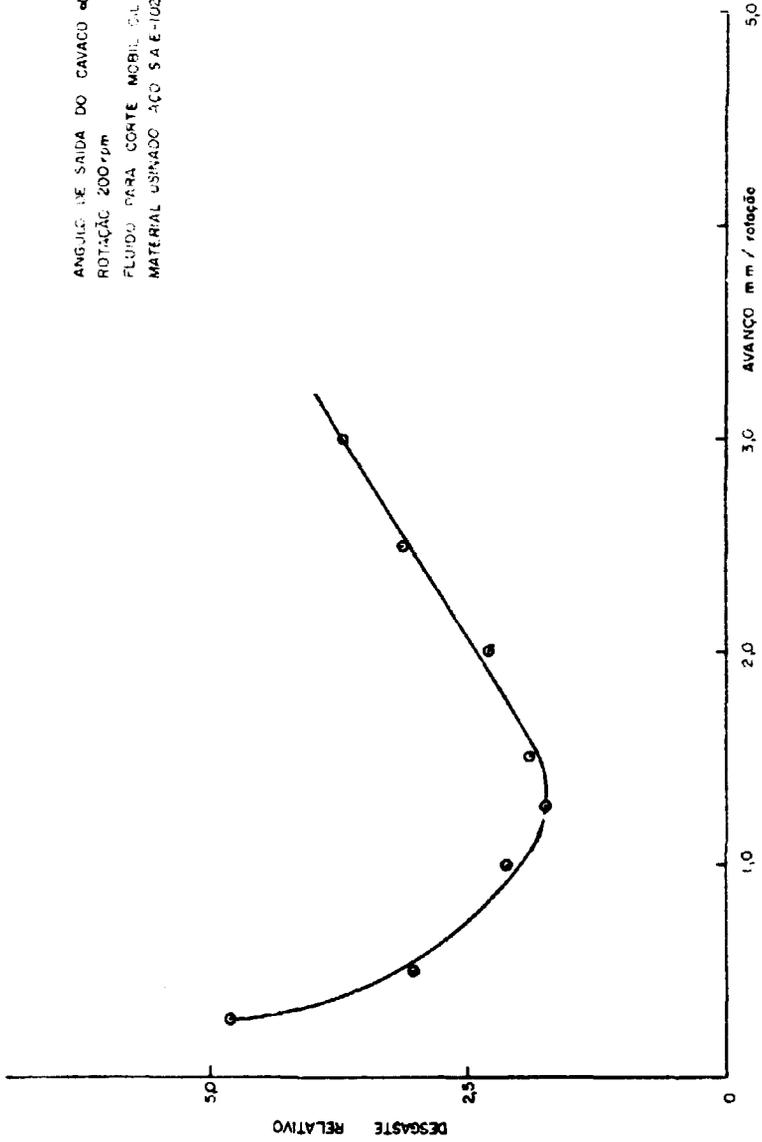


FIG. 6 - VARIAÇÃO DO DESGASTE RELATIVO EM FUNÇÃO DO AVANÇO

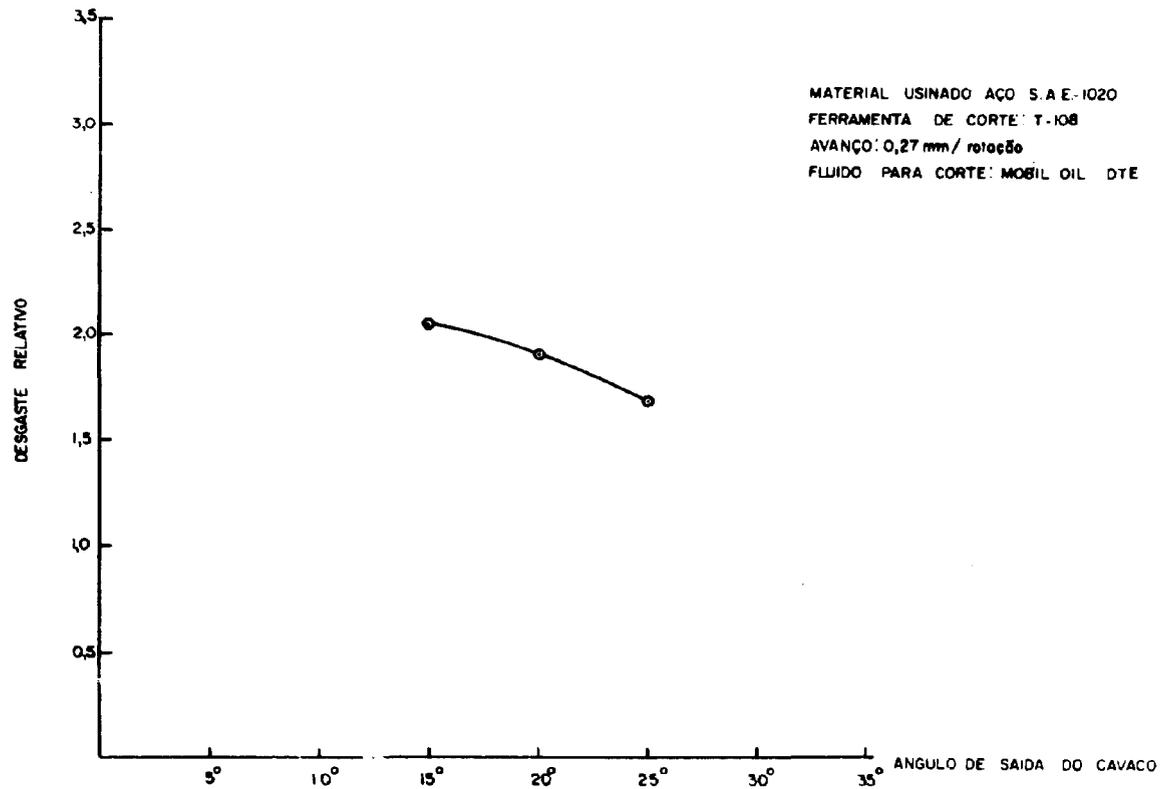
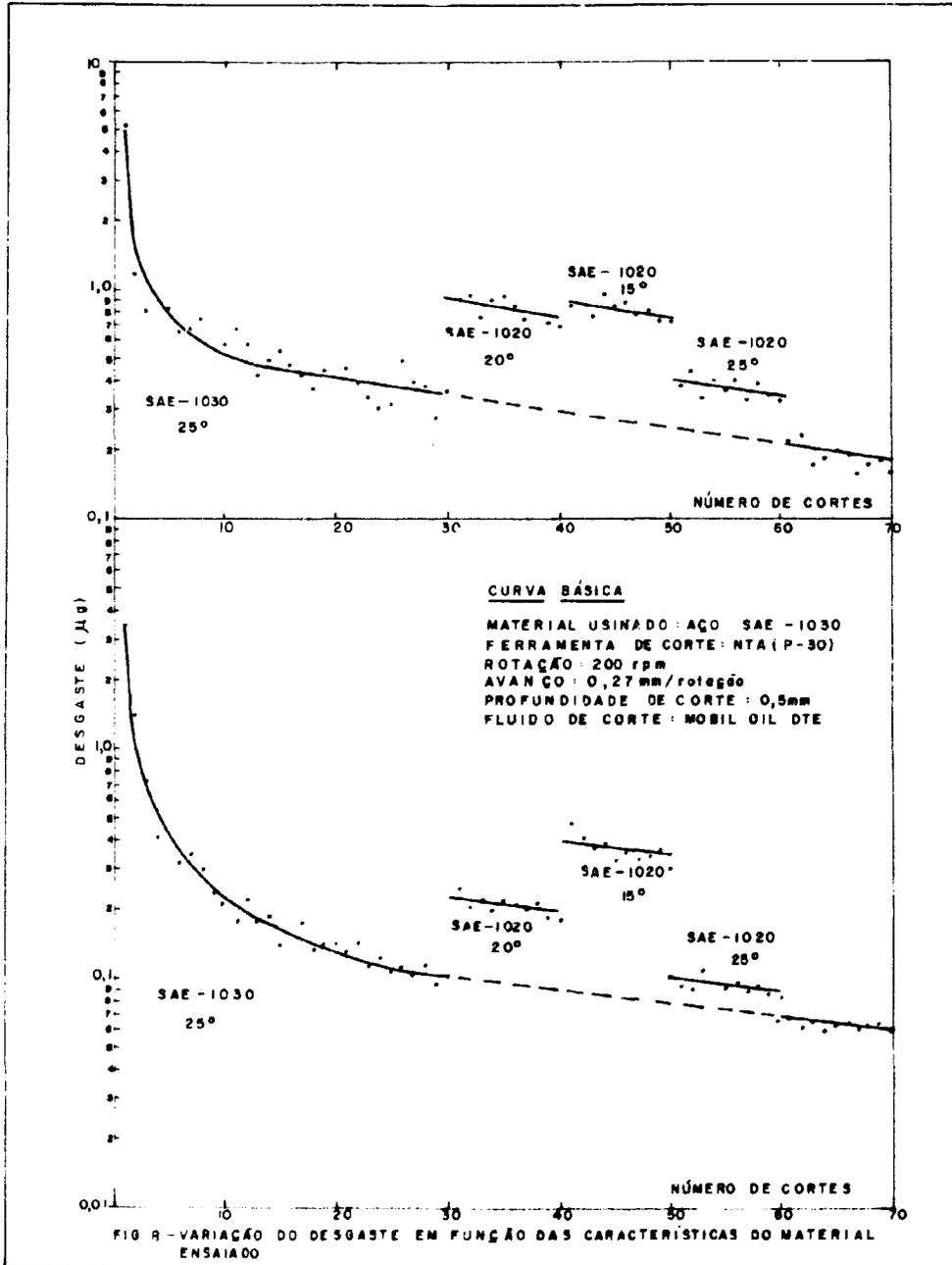


FIG.7 - VARIAÇÃO DO DESGASTE RELATIVO EM FUNÇÃO DO ANGULO DE SAIDA DO CAVACO



The cutting of metals by tungsten carbide tools is one of the most important forms of metal processing, therefore the tool life the wear rate of three (3) different sintered tungsten carbide tools: TX(P-25), NTA(P-30) and T-108, produced by Brassinter S.A. The sequence of operations during the testes was as follows: approximately fifty grams of chip were removed from the workpiece by a cutting tool previously irradiated in the IEAR-1 reactor. In each cut the chip was collected, separated in 10 samples, weighing $4,52 \pm 0,03$ grams each, and then their radioactivity was counted. The mean value of the 10 sample is representative of the tool wear in the specific cutting condition. The tools wear rate has been determined comparing the activity of the chip samples with that of a standard one. The cutting time was varied according to the tests conditions: velocity, cutting depth, feed, cutting fluids and rake angle. The workpieces material used was steel, with cylindrical geometry ($\phi = 240$ mm and $H = 200$ mm) and the following grades were machined: SAE-1020, SAE-1030, SAE-1040 and SAE-1050. The experimental results shows that the tool TX(P-25) must be used in the machining of SAE-1050 steel parts and the tools NTA(P-30) and T-108 in the processing of SAE-1020 and SAE-1030 steel parts.

BIBLIOGRAFIA

1. MERCHANT, M.E, and KRABACHER, E.J. "Radioactive Tracers for a Rapid Measurement of Cutting Tool - Life", J. Appl. Phys. 12, (1951).
2. HILL, R.F, and SKUNDA, M. "Radiometric Tool Wear Tests on Cold Formed Spark Plug Shells: Evaluation of Machinability and Machining Parameters" General Motors Corporation, Research Publication - GMR-1013, (1970).

