



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**USINAGEM A QUENTE DE AÇOS TEMPERADOS**

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA,  
PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA.

**WALTER LINDOLFO WEINGAERTNER**



0.248.372-1

UFSC-BU

FLORIANÓPOLIS, 04 DE DEZEMBRO DE 1.978

**USINAGEM A QUENTE DE AÇOS TEMPERADOS**

**WALTER LINDOLFO WEINGAERTNER**

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE

**MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA**

ESPECIALIDADE: ENGENHARIA MECÂNICA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO FABRICAÇÃO E, APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

*Dieter Pfauf*

DIETER HELMUT PFAUF, Dr. Ing.  
ORIENTADOR

*Arno Blass*

ARNO BLASS, PhD.  
COORDENADOR DO CURSO

BANCA EXAMINADORA:

*Dieter Pfauf*

DIETER HELMUT PFAUF, DR. Ing.

*Arno Blass*

ARNO BLASS, PhD.

*Aureo Campos Ferreira*

ÁUREO CAMPOS FERREIRA, PhD.

*José Carlos Ribeiro da Silva*

JOSÉ CARLOS RIBEIRO DA SILVA, MSc.

aos meus pais  
à minha esposa  
aos meus filhos

### Agradecimentos

Agradeço a todos, que de uma forma ou de outra, empenharam-se para o bom andamento deste trabalho e, em especial, à Eletro Aço Altona S.A., pela matéria prima que possibilitou a pesquisa.

Agradeço ao Convênio FINEP 394/CT, que através de seus recursos, permitiu a aquisição das ferramentas, utilizadas na parte experimental deste trabalho.

## Índice

1. Introdução.....	1
1.1. Generalidades sobre a usinagem de aços muito duros.....	1
1.2. Métodos empregados no aquecimento das peças para a usinagem a quente.....	2
1.2.1. Generalidades.....	2
1.2.2. Aquecimento em forno.....	3
1.2.3. Aquecimento por chama.....	3
1.2.4. Aquecimento por indução.....	3
1.2.5. Aquecimento por efeito de resistência elétrica.....	4
1.2.6. Aquecimento por resistência elé- trica a alta frequência.....	4
1.2.7. Aquecimento com plasma.....	4
1.2.8. Aquecimento com arco elétrico.....	5
1.2.9. Conclusões sobre o tipo de aquecimento.....	5
1.3. Objetivo do trabalho.....	7
2. Comportamento da ferramenta de corte na usinagem.....	8
2.1. Generalidades.....	8

2.2. Tipos de desgastes mais usuais.....	8
2.2.1. Desgaste de flanco.....	9
2.2.2. Desgaste de cratera.....	10
2.2.3. Demais formas de desgaste.....	11
2.3. Comportamento e causa do desgaste de flanco.....	12
2.4. Geração de calor na usinagem.....	13
2.4.1. Calor suplementar para o aquecimento da peça.....	15
2.4.2. Temperaturas alcançadas no aquecimento com arco elétrico.....	16
3. Montagem dos equipamentos.....	19
3.1. Generalidades.....	19
3.1.1. Máquina ferramenta.....	19
3.1.2. Aquecimento.....	21
3.1.2.1. Fonte elétrica.....	21
3.1.2.2. Pistola elétrica.....	22
3.1.2.3. Dispositivo de fixação da pistola no torno.....	22
3.1.2.4. Escova para passagem de corrente elétrica para a peça.....	23
3.1.3. Ferramenta de corte.....	24
3.1.4. Refrigeração da ferramenta e proteção térmica da plataforma piezoelétrica....	25
3.2. Equipamentos de medida.....	27

3.2.1. Medida da velocidade de corte.....	27
3.2.2. Equipamento para medida da tensão e corrente de saída da fonte ARGONARC.....	28
3.2.3. Medida das forças de corte.....	28
3.2.4. Medida do desgaste de flancos.....	28
3.2.5. Determinação da temperatura da peça.....	30
3.3. Material empregado.....	32
3.3.1. Análise química.....	32
3.3.2. Propriedades físicas e mecânicas.....	33
3.3.3. Análise metalográfica.....	34
4. Execução dos ensaios.....	38
4.1. Corpos de prova.....	38
4.1.1. Preparação dos corpos de prova.....	38
4.1.2. Controle dos corpos de prova.....	39
4.2. Execução dos corpos de prova.....	39
4.2.1. Usinagem da carepa de fundição a frio.....	39
4.2.2. Usinagem da carepa de fundição a quente.....	40
4.3. Sequência dos ensaios.....	40
4.3.1. Critério de escalonamento das variáveis.....	40
4.3.2. Usinagem a frio.....	40
4.3.3. Usinagem a quente.....	41
4.3.3.1. Preparação para a usinagem a quente.....	41

4.3.2.2. Execução do corte, medida de força e desgaste.....	42
4.4. Número de ensaios.....	43
4.5. Interpretação dos resultados.....	44
5. Apresentação e discussão dos resultados.....	45
5.1. Usinagem da carepa de fundição.....	45
5.1.1. Usinagem da carepa de fundição a frio.....	45
5.1.2. Usinagem da carepa de fundição a quente.....	46
5.2. Usinagem do núcleo dos corpos de prova.....	47
5.2.1. Usinagem a frio.....	47
5.2.1.1. Influência da velocidade de corte.....	47
5.2.1.2. Influência do avanço.....	49
5.2.1.3. Influência da profundida- de de corte.....	49
5.2.2. Usinagem a quente.....	49
5.2.2.1. Influência da velocidade de corte.....	53
5.2.2.2. Influência do avanço.....	58
5.2.2.3. Influência da profundidade de corte.....	59
5.2.2.4. Influência do aquecimento na usinagem a quente.....	62
5.2.2.5. Influência do ângulo de saída.....	65



5.2.2.6. Influência do ângulo de posição.....	66
5.2.2.7. Influência da posição tangen <u>cial</u> e axial do eletrodo.....	67
5.2.2.8. Influência do aquecimento na usinagem a quente, sobre a du <u>reza</u> e a estrutura cristalolo <u>gráfica</u> do material.....	69

6. Conclusão.....	73
-------------------	----

Anexo	77
-------	----

## Glossário

a - Profundidade de corte	(mm)
b - Largura real do corte	(mm)
e - Afastamento da linha média do corte, à pistola elétrica	(mm)
h - Espessura real de corte	(mm)
$K_{s11}$ - Pressão específica de corte	(kN/mm <sup>2</sup> )
s - Avanço	(mm/rot)
t - Temperatura	(°K)
$t_0$ - Temperatura inicial	(°K)
v - Velocidade da fonte	(cm/s)
v - Velocidade de corte	(m/min)
AB - Arco entre a ferramenta de corte e pistola elétrica	(mm)
C - Calor específico do material de base	(cal/g.°K)
$F_r$ - Força de recuo	(kN/mm <sup>2</sup> )
$F_s$ - Força principal de corte	(kN/mm <sup>2</sup> )
$F_v$ - Força de avanço	(kN/mm <sup>2</sup> )

KM	- Afastamento médio da cratera, à aresta de corte original	(mm)
KT	- Profundidade máxima da cratera	(mm)
Q	- Aquecimento suplementar	(kw)
$Q_{ef}$	- Entrada efetiva de energia	(kcal)
T	- Tempo de aquecimento	(s)
T	- Tempo de corte	(min)
$\rho$	- Densidade	(kg/m <sup>3</sup> )
$\chi$	- Ângulo de posição	(graus)
$\phi$	- Diâmetro da peça	(mm)
R	- $(x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}$ . Distância do ponto em questão até a fonte, sen- do x, y e z, as coordenadas de po- sição.	(cm)

## Pesumo

Materiais, como aços fundidos de alta liga, quando temperados, não se deixam usinar com facilidade. Há casos, porém, em que se é obrigado a usiná-los, mesmo às custas de um grande consumo de ferramentas.

Houve tentativas, por diversos meios, de melhorar a usinabilidade desses materiais, entre as quais, pode-se citar a usinagem a quente.

A usinagem a quente, compreende todos os processos de conformação, com remoção de cavaco, nos quais a peça é aquecida por uma fonte de calor suplementar. Através desse aquecimento, consegue-se um amolecimento do material, que se reflete numa diminuição das forças de corte. Entre os vários processos de aquecimento, pode-se distinguir aqueles em que se procede a um aquecimento total e, aqueles que apresentam um aquecimento parcial da peça. O primeiro, apresenta menor rendimento térmico e, se efetua, também, um recozimento do material.

Neste trabalho, procura-se determinar a melhoria que se consegue, através da usinagem a quente, na usinabilidade de um aço de alta liga (25% de cromo), no estado temperado. Para conseguir um aquecimento concentrado e elevado, utiliza-se uma instalação de soldagem TIC (Tungsten Inert Gas). A pesquisa, é desenvolvida para o torneamento com corte contínuo.

Procura-se estudar a influência da velocidade de corte, do avanço, da profundidade de corte, do ângulo de posição, da quantidade de calor suplementar e, da posição axial e tangencial do arco elétrico. Isto é feito, através da determinação das forças de corte, das pressões específicas de corte, do desgaste de flanco das ferramentas, da dureza e, da temperatura do material, após a usinagem, para diferentes combinações, daqueles parâmetros.

Resulta, para a usinagem a quente, um aumento da

vida da ferramenta, de até 15 vezes, em relação à usinagem a frio, do mesmo material, sendo os demais parâmetros de corte, mantidos constantes. Este aumento, é definido, principalmente, à redução das pressões específicas de corte, que atinge valores de até 38%. A temperatura da superfície da peça, foi estimada a penas pela coloração rubro amarela, na região do corte. A peça, porém, não apresenta temperaturas superiores a  $530^{\circ}\text{K}$ , após a usinagem. Isto mostra que, como se deseja, grande parte do calor suplementar, é retirado pelo cavaco. A dureza do material, apresenta uma grande dispersão, entre 48 e 65 RC. Não foi observado uma diferença relevante na dureza, em decorrência do aquecimento.

Pode-se mostrar, com segurança, que o torneamento a quente, com corte contínuo, de um material temperado, é possível e, que este, em decorrência do processo, apresenta uma usinabilidade sensivelmente melhorada.

## ABSTRACT

Materials like high alloy cast steel when quenched are hard to be machined. Despite of this hardness, some times, it is necessary to machine them, spending a great deal of cutting tools.

The machinability improvement of this materials was tried by many ways. One of them is known as "hot machining".

It is called "hot machining" any machining process using an additional heating source. A cutting force decreasing is obtained when the material is soften by heating. There are basically two ways of heating the part to be machined: a) A total heating of the piece; b) A partial heating of the piece. The first softens parts of the material that should remain hard, spending more heat than necessary.

The objective of this work is to determine the machinability improvement for a quenched steel having 25 % chrome. To obtain high concentration of heat and high temperatures a TIG (Tungsten Inert Gas) welding equipment was used. In this research a continuous lathe cutting process was used.

To achive the main objective of this work the effect of the variation of many elements like: cutting speed, feed rate, depth of cut, side cutting-edge angle, additional amount of heat, axial and tangential electric arc position over the cutting forces, specific cutting pressure, tool wearing, material hardness and temperature were studied.

The result was a large increase in the tool life, up to 15 times greater than the conventional (without additional heating) machining, remaining all other parameters constant. This large increase in the tool life is due a severe reduction in the specific cutting pressure some times reaching up to 38%. The part surface temperature was only guessed by the red-yellow color in the cutting region. The material did not present temperatures higher than 530 °K after machining. This shows that, a large amount of the additional heating is removed with the chips.

The hardness value of the material is largely scattered between 48 and 65 RC. No considerable difference was observed in the material hardness due to heating.

The results of this research have shown the feasibility of a "hot machining" continuous cut of a quenched steel in a lathe as well as an amazing improvement in the material machinability.

## ZUSAMMENFASSUNG

Werkstoffe, wie gehärteter Stahlguss, lassen sich nur schwierig zerspanen. Es giebt jedoch Faelle, bei denen man solche Zerspanung selbst mit grossem Aufwand durchfuehren muss.

Es wurde versucht, die Zerspanbarkeit dieser Werkstoffe durch verschiedene Methoden, zum Beispiel durch Warmzerspanen, zu verbessern.

Die Warmzerspanung umfasst alle spanabhebende Fertigungsverfahren, bei denen der Werkstoff durch eine zusaetzliche Waermequelle erhitzt wird. Durch diese Erwaermung erreicht man eine Erweichung des Werkstoffes, welche zu einer Minderung der Schnittkraefte fuehrt. Bei der Erwaermung des Werkstoffes unterscheidet man grundsetzlich zwei Verfahren. Einmal die vollstaendige Erwaermung des Werkstueckes, welches der Normalisierung des Werkstueckes gleichkommt, und eine anschliessende erneute Haertung noetig macht. Zum Anderen die oertliche Erwaermung moeglichst nahe an der Zerspanstelle. Die Waermezufuhr muss so dosiert werden, dass das Werkstueck seine Haerte nicht verliert.

In dieser Arbeit, versucht man festzustellen, in wie fern die Zerspanbarkeit eines gehärteten Gussstahls mit 5% Cr durch Warmzerspanung erleichtert wird. Um eine lokalisierte hohe Erwaermung zu erreichen, benoetigt man eine TIG-Schweissanlage. Die Untersuchungen werden beim Drehen mit nicht unterbrochenen Schnitt durchgefuehrt.

Es sollte festgestellt werden, welchen Einfluss Schnittgeschwindigkeit, Vorschub, Schnitttiefe, Einstellwinkel, Waermezufuehrung und axiale sowie tangentielle Position des Brenners auf die Zerspanung haben. Dieses erreicht man indem man Schnittkraefte, spezifische Schnittkraefte und Verschleiss waehrend des Versuches, sowie Haerte und Temperatur am Werkstoff vor und nach der Zerspanung bestimmt.

Im Vergleich mit der Kaltzerspanung wurde beim



Warmzerspanen bis zu 15 fach hoehere Standzeiten, bei sonst gleichen Versuchsbedingungen, erzielt. Diese Erhoehung ist hauptsaechlich auf die Minderung der spezifischen Schnittkraefte um 38% zurueckzufuehren. Eine Temperaturbestimmung waehrend des Versuches war nicht moeglich, weil die noetige Messeinrichtung hierfuehr fehlte. Die Temperatur des Werkstueckes im Bereich zwischen Brenner und Schneide betrug jedoch etwa  $1000^{\circ}\text{K}$ . Temperaturmessungen direkt nach dem Versuch am Werkstueck ergaben in keinem Fall hoehere Temperaturen als  $530^{\circ}\text{K}$ . Das zeigt, dass der groesste Teil der zugefuhrten Waerme durch den Span abgefuehrt wird. Die Haerte des unbearbeiteten Werkstueckes zeigte eine grosse Streuung und lag zwischen 48 und 65 RC. Nach der Warmzerspanung konnte keine Haerteaenderung festgestellt werden.

Damit konnte gezeigt werden, dass die Warmzerspannung beim Drehen bei nicht unterbrochenen Schnitt von gehaerteten Gussstaehlen moeglich ist, wobei die Zerspanbarkeit wesentlich verbessert wird.

## 1. Introdução

### 1.1. Generalidades sobre a usinagem de aços muito duros

Mais e mais a indústria mecânica enfrenta o problema da usinagem de materiais muito duros, quer sejam estes aços-liga temperados, fundidos coquilhados ou carbonetos. A usinagem destes materiais é possível na maneira clássica, mas em geral, esta apresenta os inconvenientes do consumo elevado de ferramentas e grande tempo de produção.

Muitas vezes a solução adotada para a usinagem de aços extremamente duros, é o seu processamento no estado recozido. Efetua-se então a têmpera e, se exigido, o aprimoramento dimensional em uma retífica. Quando isso for uma solução impraticável, pode-se recorrer à retífica de toda a superfície usinada.

Muito cedo, na história da indústria mecânica, surgiram relatos da usinagem a quente. As primeiras informações datam de uma patente obtida por Tilghman <sup>(1)</sup>, nos Estados Unidos, em 1889, que propunha o uso do efeito da resistência elétrica para o aquecimento da peça. Resultados do êxito prático desta patente, porém, não são conhecidos.

Após a Segunda Guerra Mundial, pesquisas foram iniciadas em todo o mundo, principalmente nos Estados Unidos, Inglaterra, Alemanha, Japão e Rússia, envolvendo a usinagem a quente.

Por usinagem a quente, entende-se todos os processos de fabricação nos quais ocorre um aquecimento do material, causado por uma fonte externa, nos quais haja remoção de

material por retirada de cavaco. O aquecimento tem como fim, reduzir a resistência do material na região de deformação do cavaco e, com isso, melhorar a usinabilidade.

Devido às altas temperaturas que surgem na região do corte, há necessidade de contornar os problemas provenientes da dificuldade de se encontrar ferramentas que resistam à estas solicitações térmicas. Aços rápidos não entram em cogitação e, pastilhas de metal duro são, também, afetadas consideravelmente. Mas, segundo Clausen <sup>(2)</sup>, o aquecimento do material causa uma diminuição do atrito de escorregamento na ferramenta, conseqüentemente, aumenta a sua vida útil, embora haja uma diminuição na resistência ao desgaste.

## 1.2. Métodos empregados no aquecimento das peças para a usinagem a quente

### 1.2.1. Generalidades

Uma instalação ideal para a usinagem a quente, é aquela que fornece um aquecimento localizado apenas nas zonas de deformação do cavaco, região em que se tem deformação plástica na formação do cavaco. Aquecimentos das demais regiões do material diminui o rendimento térmico e, podem causar danos irreparáveis à estrutura do material remanescente. Para conseguir este aquecimento ideal, é preciso usar uma elevada densidade de energia, de forma a alcançar de maneira tão rápida quanto possível, a temperatura desejada do material.

As descrições a seguir, tem como objetivo, esclarecer ao leitor, sobre as vantagens e desvantagens de cada um dos métodos analisados e, mostrar que eles preenchem, parcialmente, os pré-requisitos de uma instalação ideal, como a mencionada anteriormente.

### 1.2.2. Aquecimento em forno

A peça é aquecida completamente em forno elétrico ou a gás, sendo a seguir, usinada ao rubro. Deve-se contar com imprecisão dimensional, forte oxidação superficial e difícil manipulação. O processo só é economicamente utilizável, quando parte do calor introduzido na peça para a usinagem, puder ser utilizado em uma têmpera subsequente.

### 1.2.3. Aquecimento por chama

Na sua forma mais simples, é obtido de um maçarico anteposto à ferramenta de corte. Uma solução mais sofisticada, faz uso de um queimador múltiplo, que permite maior concentração de energia e maior tempo de contato da chama com a região a ser aquecida. A instalação, embora mais barata que o forno, requer proteção adequada da máquina-ferramenta; não é possível controlar adequadamente a temperatura da peça. Grande parte do calor passa para a peça, o que, também neste processo, resulta em um baixo rendimento térmico.

### 1.2.4. Aquecimento por indução

Uma bobina, em forma de anel, em torno da peça, é a concepção ideal para o aquecimento indutivo no torneamento. A vantagem do aquecimento indutivo, está no alto rendimento térmico, no curto tempo de aquecimento até o ponto Curie (ferromagnético → paramagnético) e, na localização da região altamente aquecida logo abaixo da superfície, o que é obtido com a escolha adequada da frequência.

A regulagem da temperatura é simples, e facilmente se obtém repetibilidade. Como desvantagem, pode-se citar a impossibilidade de concentração da energia, devido ao próprio tamanho físico da bobina e, a necessidade de troca da bobina para o torneamento em um diâmetro diferente.

#### 1.2.5. Aquecimento por efeito de resistência elétrica

Neste processo, faz-se passar uma corrente elétrica pela peça, sofrendo a mesma, um aquecimento total. A ajustagem da temperatura da peça, se torna bastante simples, regulando-se a corrente e a tensão. O aquecimento da peça é total e, o rendimento térmico, baixo. O processo é mais adequado para a furação.

#### 1.2.6. Aquecimento por resistência elétrica a alta frequência

Neste sistema de aquecimento, aproveita-se o fenômeno da concentração de corrente na periferia da peça sob correntes de alta frequência. Com isto, não se consegue apenas elevada concentração de energia térmica na superfície da peça, mas, também, sua localização numa banda estreita, como exigido na usinagem. O processo tem sido empregado com êxito, no torneamento e na fresagem a quente.

#### 1.2.7. Aquecimento com plasma

Um jato, proveniente de uma mistura de gases, é

aquecido por um arco elétrico, de até 50 kw, que arde entre dois eletrodos de tungstênio, em uma câmara, até temperaturas máximas da ordem de  $25.000^{\circ}\text{K}$ , no núcleo, e é dirigido sobre a região a ser usinada. Pela escolha adequada de tubeiras, é possível concentrar o jato, o que permite uma alta densidade de energia, aquecimentos muito localizados e rápidos, de grandes quantidades de material, velocidades de corte elevadas. A intensa irradiação ultravioleta requer proteção especial da máquina e do operador.

#### 1.2.8. Aquecimento com arco elétrico

Um arco elétrico arde em atmosfera de argônio, entre a peça e um eletrodo de tungstênio, um pouco antes da região do corte. Uma corrente de alta frequência, sobreposta à corrente básica, facilita a ignição do arco e mantém sua estabilidade. Obtém-se um alto rendimento térmico e, consegue-se uma boa localização da energia. O processo tem sido aplicado para o torneamento e a fresagem a quente. Deve-se proteger o operador e a máquina da intensa radiação ultravioleta.

#### 1.2.9. Conclusões sobre o tipo de aquecimento

As primeiras pesquisas em usinagem a quente, propunham utilizar o processo para a usinagem de todos os materiais, procurando mostrar que, através da melhoria da usinabilidade, compensava-se o maior custo de instalação. Essa linha de pesquisa tem sido abandonada, por ter sido demonstrado que, na maioria dos casos, as vantagens do processo, não pagariam suas dificuldades.

Muitas vezes, a indústria mecânica é obrigada a

cimento com arco elétrico e aquecimento por resistência a alta frequência. Nestes três processos, tem-se a possibilidade de aquecer apenas a região que antecede o corte, possibilitando a retirada de grande parte do calor fornecido pelo cavaco, permitindo, assim, que o material remanescente da peça, não tenha suas propriedades alteradas.

### 1.3. Objetivo do trabalho

Neste trabalho, propõe-se estudar a possibilidade do uso de uma instalação de soldagem TIG (Tungster Inert Gas Welding), para o aquecimento de uma peça de aço de alta liga temperada, no torneamento a quente.

Através da variação dos parâmetros de corte, da variação do posicionamento e da geometria da ferramenta, verifica-se até que ponto os diversos níveis de aquecimento e as diversas posições do arco elétrico, implicam em uma melhoria da usinabilidade deste material. A avaliação dos resultados, torna-se possível, por meio da medição das forças de corte e do desgaste dos flancos das ferramentas. A influência do aquecimento sobre a estrutura do material, é verificada pela medição da dureza do corpo de prova em diversos diâmetros, tanto no torneamento a frio, como no torneamento a quente, bem como, pela análise cristalográfica.

na figura 2, denominada desgaste de flancos (3). Para a usina-

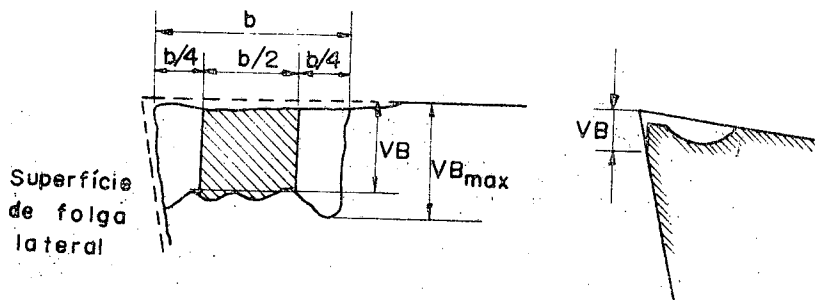


FIG. 2 - Esquema do desgaste de flancos, em ferramenta de corte, mostrando como se deve proceder para determinar sua dimensão (3).

gem, com velocidades de corte elevadas, aparece muitas vezes, o desgaste da cratera, como ilustra a figura 3. De menor importância, é o desgaste provocado por deformação plástica, representado na figura 4 e, o desgaste por oxidação, na superfície de incidência lateral.

### 2.2.1. Desgaste de flanco

O desgaste de flanco, aparece nas superfícies de incidência, das ferramentas de corte e, é caracterizado pela marca de desgaste VB, como podemos ver no esquema da figura 2. Ele influencia o diâmetro de trabalho da peça e o acabamento superficial. Conforme indicado na figura 2, o desgaste de flancos é medido a partir da aresta de corte original. O desgaste de flancos não é sempre paralelo à aresta de corte, mas, pode variar bastante nas regiões do raio de arredondamento do canto da



O desgaste de cratera, é distinto para a usinagem a grandes velocidades de corte. É caracterizado por sua forma de bacia imediatamente atrás da aresta de corte, na superfície de saída, conforme indicado na figura 3.



FIG. 4 - Esquema mostrando a deformação plástica da ferramenta (3).

A profundidade de cratera  $KT$  e, o afastamento médio da cratera  $KM$ , são medidos no plano perpendicular à aresta de corte que passa pelo ponto médio da largura de corte  $b$ . Deve-se ter o cuidado de estar medindo a profundidade de cratera, ortogonalmente ao plano de saída. A medida do desgaste é feita com um apalpador de superfície ou com equipamento fotoelétrico equivalente.

A determinação da dimensão do desgaste de cratera é onerosa e difícil e, portanto, só deve ser efetuada quando o processo de usinagem em questão, utilizar este critério de fim de vida da ferramenta.

### 2.2.3. Demais formas de desgaste

O desgaste por oxidação na aresta lateral de corte e, a formação de rachaduras por solicitações térmicas ou mecânicas, só assumem importância quando, no decorrer da experiên

lo arredondamento da aresta de corte, decorrente das elevadas forças sobre uma área muito pequena para suportá-la. A região II é considerada como o local onde maior quantidade de partículas da ferramenta adquire estabilidade. Na região III, considerada a mais importante, pelo fato de a estrutura do metal duro sofrer uma desintegração, devido à influência da temperatura e do tempo, por difusão e por ação direta da temperatura, que leva a um crescimento progressivo da marca de desgaste.

Mesmo com as divergências de alguns autores, nas conclusões de como ocorre o mecanismo de desgaste, as causas do desgaste de flancos, podem ser resumidas em:

- desgaste mecânico
- cisalhamento de partículas soldadas
- conformação da aresta de corte
- difusão
- oxidação da ferramenta

#### 2.4. Ceração de calor na usinagem

O conhecimento da distribuição de temperaturas, na ferramenta de corte, é de suma importância, para permitir a compreensão dos mecanismos de desgaste. Estudos teóricos e práticos, têm permitido estabelecer a distribuição das isothermas para o torneamento convencional.

Devido ao processo de conformação do material e, aos diversos mecanismos de atrito entre ferramenta e peça, a maior parte do trabalho aplicado na retirada do cavaco, é transformada em calor. As zonas principais de geração de calor são, como mostra a figura 6, o plano de cisalhamento, a região de ruptura antes da aresta de corte, como também, as zonas de atrito entre o plano de saída e cavaco e, entre o plano de incidência e peça, respectivamente. As quantidades de calor geradas nas respectivas fontes, são transmitidas por condução de calor, irradiação e convecção, para o meio ambiente. Devido a este transporte de calor, entre fonte e meio ambiente,

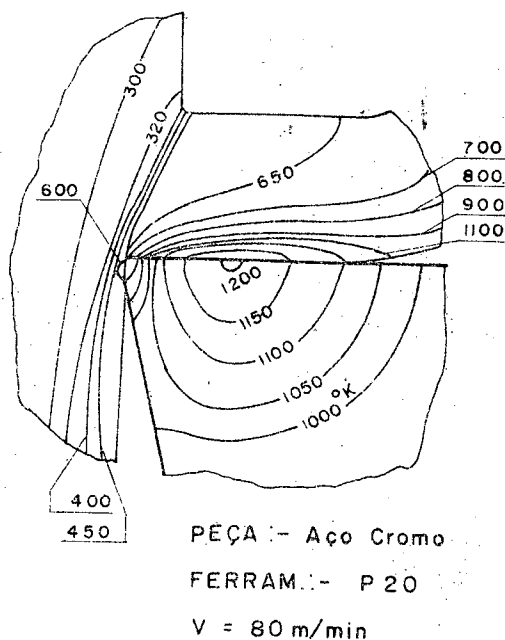


FIG. 7 - Campo de temperaturas, para o corte ortogonal, obtido por Rezinkow (6).

#### 2.4.1. Calor suplementar para o aquecimento da peça

No torneamento a quente, deve-se ter em mente que o corte se processa a uma temperatura inicial elevada. No estudo, com a peça em movimento, surgem dificuldades na aplicação de termopares, para a determinação da temperatura da peça em análise, imediatamente antes do corte. Pode-se, então, estipular a ordem de grandeza da temperatura, com auxílio de um modelo matemático.

A ocorrência de aquecimento, em uma peça metálica, por um arco elétrico, é conhecido da técnica de soldagem. A transformação de energia elétrica em térmica, entre eletrodo e peça, resulta da aceleração de elétrons e ions de um gás superaquecido por um campo elétrico e, seu impacto sobre a peça e eletrodo, respectivamente. Como os elétrons atingem maiores velocidades, causam acúmulo maior de energia cinética, e os impactos sobre a peça, liberam mais calor que os impactos dos ions pesados sobre o eletrodo. Quando se consegue o aquecimento sem

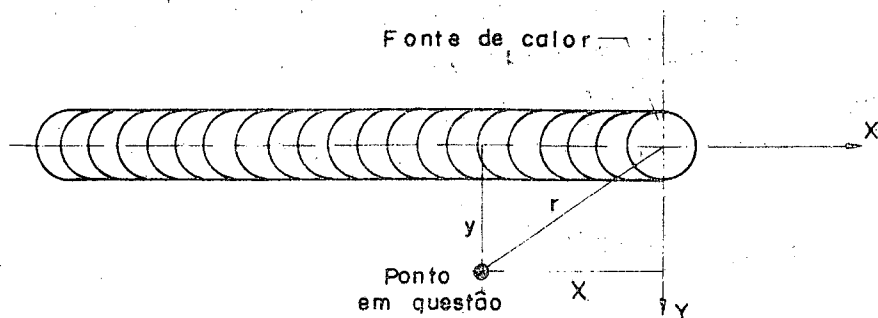


FIG. 8 - Coordenadas do ponto aquecido, das equações 1 e 2.

$$(t - t_0)(R, T) = \frac{\Omega_{ef}}{2\pi K \nu T} \cdot \exp\left(-\frac{R^2 \rho C}{4KT}\right) \quad (2)$$

Ambas as expressões, porém, só se aplicam à vizinhança do ponto de aquecimento e, a intervalos de tempo muito pequenos, uma vez que se supõe ter a fonte, uma temperatura infinita, concentrada a uma região puntual, que resulte numa queda brusca da temperatura na vizinhança e, também, supondo que as propriedades do material, permaneçam constantes. As figuras 9 e 10, descrevem o resultado de um ensaio prático, obtidos por Morich, em experimentos realizados no aquecimento de peças finitas, com arco elétrico.

Este modelo de aquecimento de uma peça, por um arco elétrico, aplica-se à passagem do arco por um determinado ponto em um corpo semi-infinito. No torneamento, contudo, trabalha-se com um cilindro finito em rotação. Sendo o diâmetro do arco, na realidade, maior do que o seu avanço por rotação do cilindro, este, passa diversas vezes sobre o ponto, antes deste ser retirado pela ferramenta, sofrendo, pois, um aquecimento por etapas.

Foram feitas diversas aplicações das equações 1 e 2. Dos resultados obtidos, pode-se concluir que, as equações têm aplicações somente para deslocamentos do eletrodo, à velocidade e intervalos de tempo muito pequenos.

### 3. Montagem dos equipamentos

#### 3.1. Generalidades

A usinagem a quente, não requer em si, uma máquina ferramenta especial para se aplicar o processo, principalmente quando se trata de um aquecimento com plasma, ou com arco elétrico.

Para a pesquisa, dispunha-se de um torno paralelo, no qual se instalou, adequadamente, uma pistola de soldagem TIG, de forma que o arco elétrico, aquecesse a peça exatamente na região a ser retirada pelo subsequente torneamento.

A figura 11, mostra como é realizada a montagem do equipamento de aquecimento das peças, com auxílio de um arco elétrico. Na montagem representada, foi instalada uma pistola de solda OERLIKON, com potência de 6 kw que, para um arco de 3 mm de diâmetro, fornece uma densidade de energia de aproximadamente  $20 \text{ kw/cm}^2$ . A fonte de energia, acompanhada de reservatório pressurizado de argônio, medidor de vazão de gás e potenciômetro, foi disposta lateralmente ao torno, ao alcance do operador. O contactor de partida do arco, está disposto na própria pistola.

#### 3.1.1. Máquina ferramenta

Nos ensaios, foi utilizado um torno paralelo IMOR, tipo PB 400, com altura de pontos de 250 mm. Este torno, é equipado com um motor de corrente contínua de 10 kw e, admite uma a

ra em forma de arco, tendo a finalidade de servir como suporte da pistola elétrica.



FIG. 12 - Vista do torno utilizado para a pesquisa.

### 3.1.2. Aquecimento

#### 3.1.2.1. Fonte elétrica

Como fonte para a pistola elétrica, foi utilizada uma instalação ARGONARC-OERLIKON, tipo AD 360, que permite regulagem contínua da corrente, em três faixas: 20 - 100, 30 - 150 e 85 - 300 ampères. À corrente principal, soma-se uma corrente de alta frequência, para facilitar a ignição e manter a estabilidade do arco elétrico (figura 13).

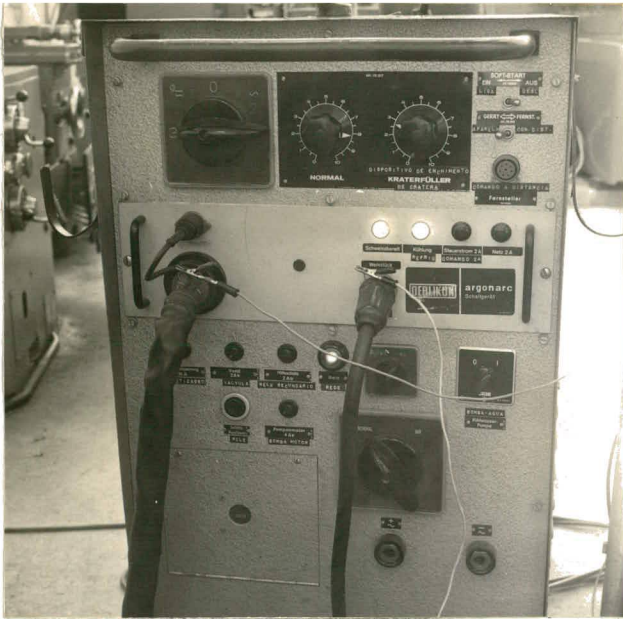


FIG. 13 - Fonte elétrica OERLIKON

### 3.1.2.2. Pistola elétrica

Como queimador, foi utilizada uma pistola refrigerada a água, OERLIKON-ARGONARC, tipo B 50. Esta pistola pode ser equipada com eletrodos de 1,6 a 6,4 mm e, tubearas de gás de 7 a 14 mm, e é dimensionada para trabalhar até 500 A. Como gás protetor, foi utilizado o argônio puro.

### 3.1.2.3. Dispositivo de fixação da pistola no torno

Projetou-se um dispositivo que permite a regulação fácil e rápida da posição da pistola, em relação à peça (figuras 14a e 14b).

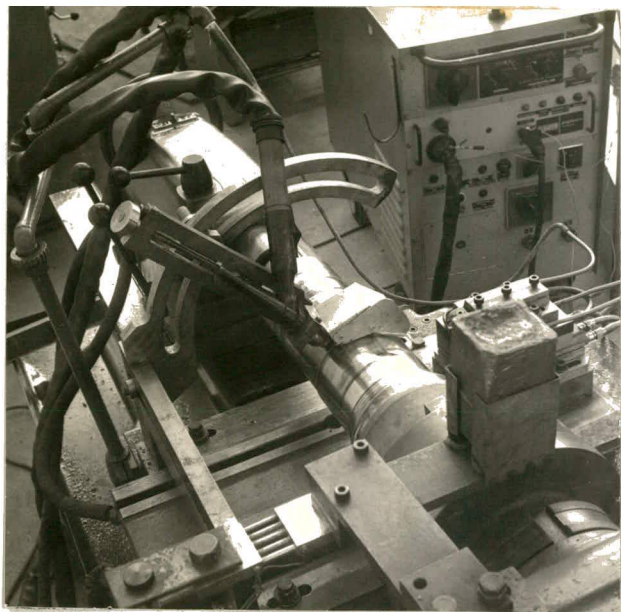


FIG. 14a

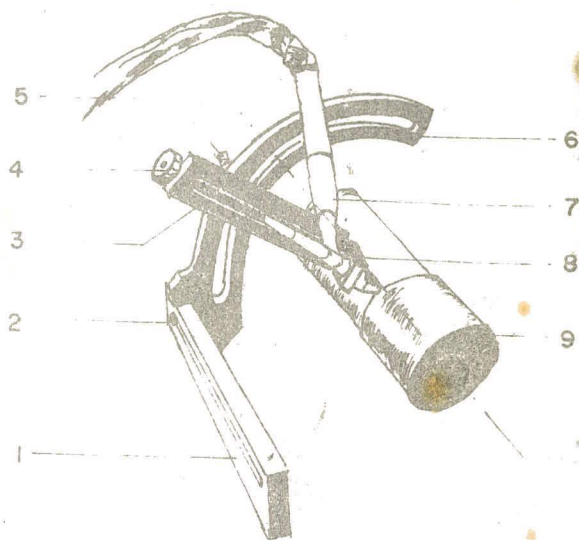


FIG. 14b

FIG. 14 - Estrutura de fixação da pistola elétrica.

- 1 - Guia horizontal montada paralela ao eixo do torno, sobre o carro longitudinal
- 2 - Parafuso de fixação da guia circunferencial
- 3 - Guia radial
- 4 - Parafuso milimétrico, para deslocamentos radiais da pistola
- 5 - Parafuso milimétrico, para deslocamentos axiais da pistola e, para fixação da posição circunferencial
- 6 - Guia circunferencial
- 7 - Pistola elétrica
- 8 - Grampo de fixação da pistola, duplamente articulado, para permitir a modificação do ângulo de posição da pistola
- 9 - Peça

3.1.2.4. Esta é a passagem da corrente elétrica para a peça

O aquecimento por arco elétrico, requer que, entre o eletrodo e a peça, haja uma diferença de potencial. Isto só é possível, se a peça e o eletrodo forem energizados. O pro-



problema que se enfrenta, é energizar a peça, sem que haja passagem de corrente pelos mancais de rolamento da árvore. O problema foi contornado, adaptando-se uma escova de grafite na flange da placa de três castanhas. O suporte da escova, foi fixado com rigor, na carcaça do torno, porém, isolado eletricamente da mesma. Um peso de chumbo, adaptado sobre as escovas de grafite, garante uma pressão constante das pastilhas sobre a flange. Um parafuso de fixação é previsto no suporte, para ligação do cabo da fonte elétrica (figura 14).

### 3.1.3. Ferramenta de corte

Como suporte para as pastilhas de metal duro, foram utilizadas suportes COROMANT 174.1 2525, com ângulo de saída de  $-6^\circ$  e, 172.2 2525, com ângulo de saída de  $+6^\circ$ , fabricados pela Sandvik do Brasil SA. Para a usinagem, foram utilizadas as pastilhas reversíveis SNUN 120412/H<sub>1</sub>P - K<sub>10</sub> 7263 e /H<sub>20</sub>-K<sub>20</sub> 7333 para o suporte com ângulo de saída negativo e, SPUN 120312/H<sub>1</sub>P - K<sub>10</sub> - 602, para o suporte com ângulo de saída positivo, também, da Sandvik do Brasil SA.

Para usinar com ângulo de posição diferente dos  $75^\circ$ , próprios do suporte das pastilhas, o suporte foi posicionado em diversas posições calibradas sobre a plataforma KISTLER (figura 15).

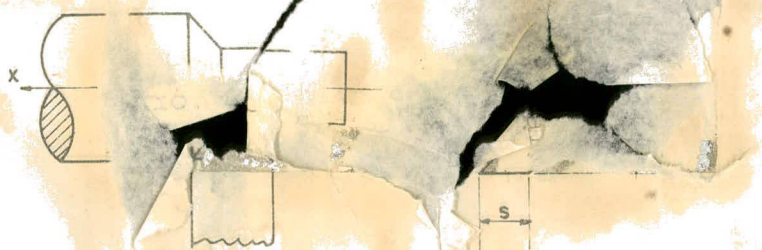


FIG. 15 - Esquema da posição da ferramenta e geometria do corte.

#### 3.1.4. Refrigeração da ferramenta e proteção térmica da plataforma piezoelétrica

Uma distribuição de temperatura desigual e variável da temperatura na plataforma piezoelétrica, tem como resultado, o surgimento de tensões internas no transdutor, que serão acusadas pelo indicador analógico do equipamento de medida de força. Para evitar o surgimento destas tensões, durante o tempo de usinagem, sobre o qual se deseja determinar o comportamento das forças de corte, torna-se obrigatório, um arrefecimento da ferramenta, de forma que a parte do calor produzida pela usinagem, não atinja a plataforma. Para melhorar este efeito de "isolamento", projetou-se, conjuntamente com Boehs<sup>(10)</sup>, uma câmara arrefecida muito rígida, que é montada entre a ferramenta e a plataforma piezoelétrica (figura 16).

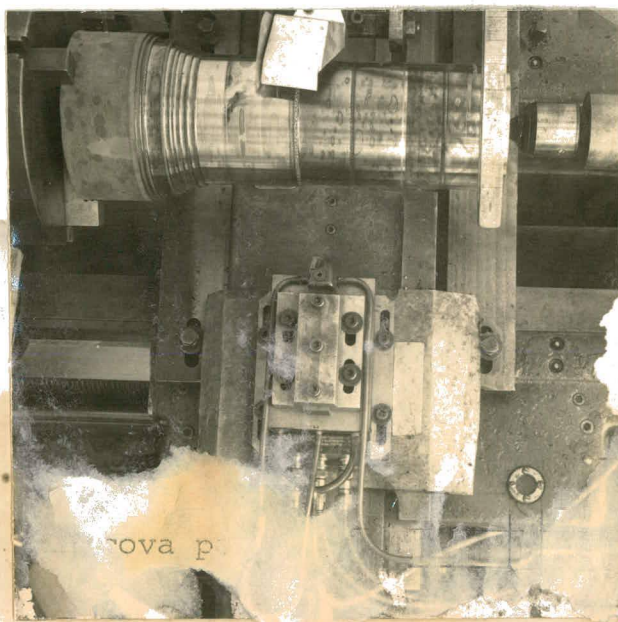


FIG. 16 - Vista superior do suporte de ferramenta, mostrando os tubos de circulação de água para refrigeração.

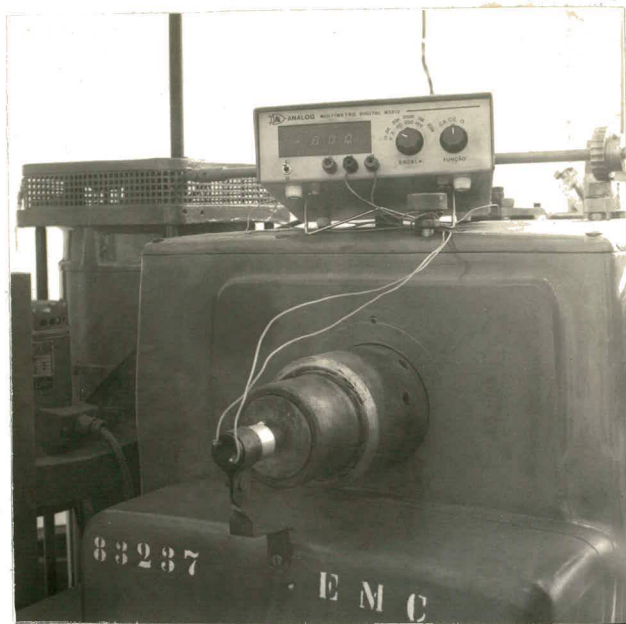


FIG. 17 - Detalhe da montagem do tacodínamo BECKMAN, na árvore do torno IMOR.

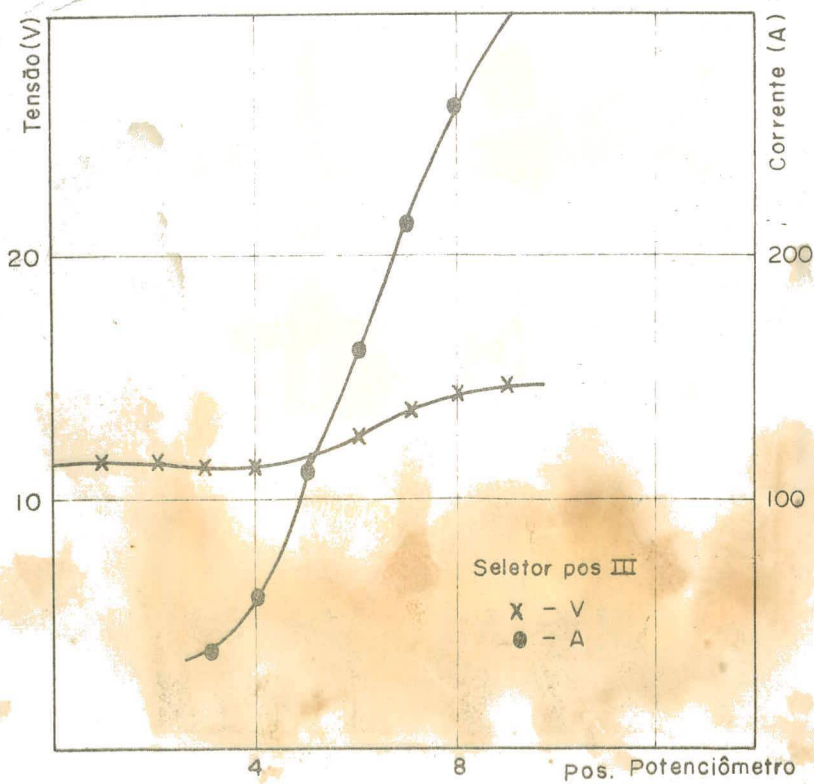


FIG. 18 - Características estáticas da fonte OERLIKON-ARGONARC.

### 3.2. Equipamentos de medida

Para que se tenha a possibilidade de avaliar a u sinabilidade de um material, é preciso determinar a influência que os diversos parâmetros de corte exercem sobre o corte propriamente dito e, a ferramenta. É necessário, para tanto, que se conheça exatamente, as condições em que se está trabalhando. Deve-se determinar os parâmetros de corte; velocidade de corte,  $v$ , seção de cavaco, e geometria de trabalho da ferramenta. As duas últimas, dependem de um posicionamento mecânico da máquina e, da ferramenta no suporte, respectivamente. Mas, a velocidade de corte sofre influência dos esforços de corte e, deve ser determinado depois do início do corte. Na usinagem a quente, a v ariável aquecimento  $\Omega$ , é de suma importância, pois, é ela que vai determinar o grau de amolecimento do material.

Como resultado da variação dos parâmetros acima, surgem variações nas forças principal de corte,  $F_s$ , de avanço,  $F_v$  e, de recuo,  $F_r$ , no desgaste da ferramenta,  $VB$  e, na temperatura  $t$  da peça, após a usinagem. Para estudar a influência da temperatura final da peça sobre a estrutura do material, fazem-se e n saios de dureza superficial RC e análise metalográfica.

#### 3.2.1. Medida da velocidade de corte

A velocidade de corte v é estabelecida, medindo-se o diâmetro do corpo de prova e a velocidade angular da árvore do torno. Para a medida do diâmetro, foi utilizado um paquímetro de ferramentaria MITUTOYO. Para a determinação da velocidade angular, usou-se um tacodínamo BECKMAN, aferido por contagem de pulsos, com um contador universal RACAL, até 800 rd/s. A t ên são de saída, é medida com um voltímetro digital ANALOG, tipo M 3513 (figura 17).

### 3.2.2. Equipamento para medida da tensão e corrente de saída da fonte ARGONARC

A tensão da fonte, era medida diretamente entre os bornes de saída da mesma, com um multímetro digital ANALOG, tipo M 3513. A amperagem, era medida nos bornes de um shunt intercalado no circuito. As características do shunt, eram: 100 mV/100 A. A tensão entre os bornes do shunt, era medida com um multímetro digital FLUKE, tipo 8000 A.

### 3.2.3. Medida das forças de corte

As forças de corte, foram medidas durante todo o período de corte, em intervalos de tempo normalizados, em três componentes ortogonais. A força principal de corte,  $F_s$ , foi medida no plano vertical, paralelo ao eixo do torno, que passa pelo centro do cavaco, sobre a ferramenta. As forças de avanço,  $F_v$  e, de recuo, ou passiva,  $F_r$ , foram medidas, paralela e normalmente ao eixo do torno, respectivamente, passando pelo mesmo ponto de aplicação da primeira.

Como transdutor para a medida das forças, foi utilizado uma plataforma piezoelétrica, de três componentes KISTLER, tipo 9257 A, com um indicador analógico. Este sistema, foi aferido em uma escala decimal, de 0 a 5000 N, com pesos conhecidos (figuras 19, 20 e 21).

### 3.2.4. Medida do desgaste de flancos

Para a medida do desgaste de flancos, teve-se ne

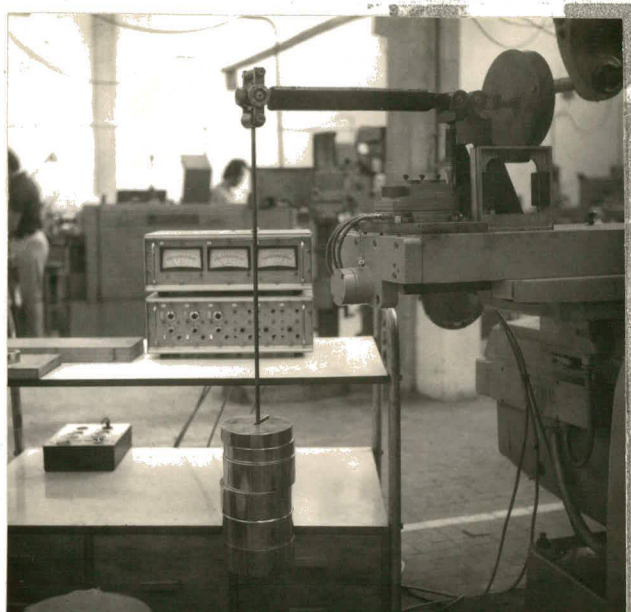


FIG. 19 - Aferição da plataforma piezoelétrica, para a componente  $F_s$ , mostrando a balança decimal, os pesos, o amplificador e o indicador analógico.



FIG. 20 - Aferição da plataforma piezoelétrica, para a componente  $F_v$ .

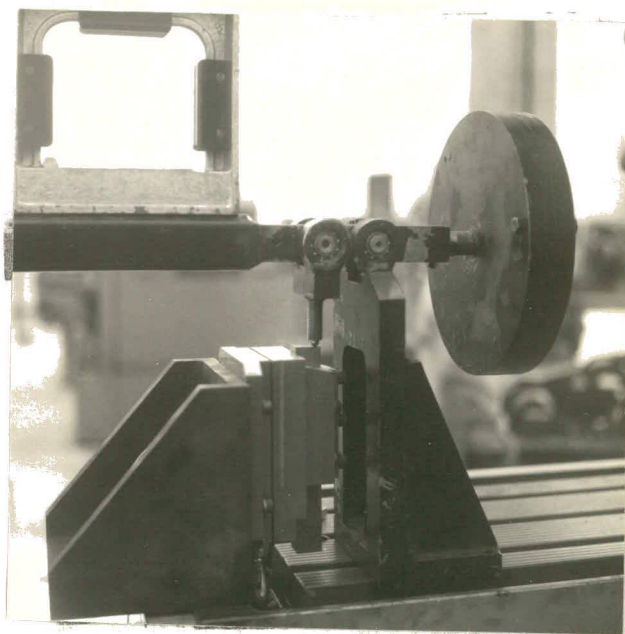


FIG. 21 - Aferição da plataforma piezoelétrica, para a componente Fr.

cessidade de retirar a pastilha de corte do suporte. Após intervalos de tempo normalizados, interrompeu-se o corte, retirou-se a ferramenta e, efetuou-se a medida do desgaste de flancos, médio e máximo, em um microscópio de ferramentaria NIKON, com ampliação de 50 vezes, e resolução de 0,01 mm (figura 22). O desgaste de cratera, bem como as demais formas de desgaste, que, mesmo aparecendo, não eram determinantes para verificação da vida das ferramentas.

### 3.2.5. Determinação da temperatura da peça

A determinação da temperatura da peça, após a usinagem, foi efetuada com o auxílio de bastões THERMOCHROM, da A. W. FABER. Com estes bastões, não foi possível determinar a

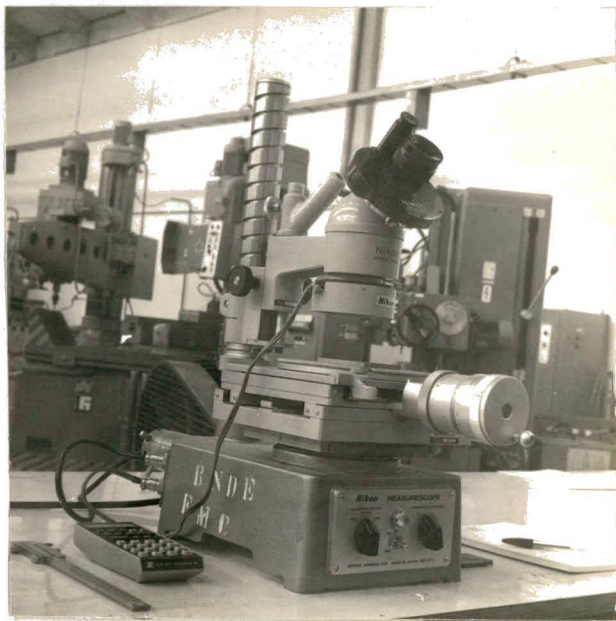


FIG. 22 - Microscópio de ferramentaria, utilizado para a determinação do desgaste de flancos.

temperatura exata. O Procedimento para a determinação da temperatura, foi, conforme indicado nas instruções, o seguinte: funde-se pequena quantidade do material do bastão, na superfície, previamente aquecida. Se o material derretido apresentar uma mudança de cor, dentro de dois segundos ou menos, a temperatura indicada para aquele bastão, já foi alcançada. Usou-se, então, o bastão para o intervalo seguinte de temperatura e, procedeu-se da mesma maneira. Se a temperatura indicada, não seja atingida, não haverá mudança de cor do material aplicado. Sabe-se, então, que a temperatura da peça, estava entre a faixa medida. Disponha-se da seguinte série de bastões: Nº 2815/65, /75, /100, /120, /150, /200, /260, /300, onde os números indicados, após as barras, eram as temperaturas em  $^{\circ}\text{C}$ , para as quais ocorria a mudança de cor do respectivo bastão.



### 3.3. Material empregado

#### 3.3.1. Análise química

O material fornecido para os ensaios, é denominado, segundo a ASTM, por A 532 - 67, tipo III e, segundo o fabricante, Electro Aço Altona SA, por A - 18 e EA - 102. Os corpos de prova, com dimensões de 120 e 150 mm de diâmetro e, 600 e 500 mm de comprimento, respectivamente, foram recebidos no estado bruto de fusão, temperados, acompanhados de um certificado, do valor teórico da composição química, dado na tabela 1.

C	Mn	Si	Cr	P	S	Fe
2,63	0,73	1,10	25	0,026	0,026	resto

TAB. 1 - Composição química percentual, em peso, do material de ensaio, fornecido pelo fabricante (valor teórico).

Para a confirmação destes valores, foram confeccionados dois corpos de prova, para análise química por espectrometria. O resultado destes ensaios, pode ser lido na tabela 2. Os dois corpos de prova, foram confeccionados do material fornecido nos primeiros dois lotes.

C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	P	S	Fe
2,650	0,670	0,820	25,65	0,210	0,058	0,049	0,025	0,008	resto

TAB. 2 - Composição química percentual, em peso, do material de ensaio, obtida por espectrometria (valor real).

## 3.3.2. Propriedades físicas e mecânicas

Nem todas as propriedades físicas e mecânicas puderam ser determinadas, experimentalmente, nos laboratórios da Universidade Federal de Santa Catarina. Embora houvesse disposição de equipamentos para a determinação da maioria delas, foram encontradas, em geral, dificuldades para execução dos corpos de prova, necessários para esta determinação. Alguns valores foram encontrados em manuais <sup>(11)</sup>. Não houve maiores dificuldades, na determinação da dureza RC, microdureza HV, densidade e, calor específico, à temperatura ambiente. Como o calor específico varia de acordo com a temperatura, são lançados, também, os valores da literatura.

Resistência à tração (kN/mm <sup>2</sup> )	.....	não conhecido
Limite de elasticidade (kN/mm <sup>2</sup> )	.....	não conhecido
Dureza RC, carga de 1500 N	.....	46 a 64
Microdureza HV, carga de 0,5 N (N/mm <sup>2</sup> )		
- nos carbonetos	.....	15.640 (valor medido)
- na matriz ferrítica	.....	6.250 (valor medido)
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	.....	7,3 (valor medido)
Condutividade térmica (cal/cm.s.°K)		
- a 400°K	.....	0,043 (valor medido)
- a 300°K	.....	0,055 (literatura)
- a 1000°K	.....	0,075 (literatura)
Calor específico (cal/g.°K)		
- a temperatura ambiente	.....	0,12 (valor medido)
- a 300°K	.....	0,11 (literatura)
- a 1000°K	.....	0,17 (literatura)
Resistência elétrica (ohm.cm.10 <sup>6</sup> )		
- a 300°K	.....	50 (literatura)
- a 1000°K	.....	120 (literatura)
Coefficiente de dilatação (%)		
- a 300°K	.....	0,00 (literatura)
- a 650°K	.....	0,45 (literatura)
- a 1000°K	.....	0,90 (literatura)
- a 870°K	.....	0,72 (valor medido)

TAB. 3 - Propriedades físicas e mecânicas.

### 3.3.3. Análise metalográfica

Foram efetuadas várias análises metalográficas, que permitiram identificar, com mais clareza, o material empregado nos ensaios.

Num corpo de prova, no estado temperado, bruto de fusão, observou-se nitidamente a solidificação dendrítica do material. A estrutura era bastante heterogênea (figura 23).

Na figura 24, obtida do mesmo corpo de prova, com maior ampliação, pôde-se distinguir duas fases, sendo que, a fase clara, compreendia aos carbonetos de cromo e, a fase escura, carbonetos de cromo, dispersos em uma matriz ferrítica. Os carbonetos, apresentavam forma quase regular.



FIG. 23 - Material temperado. Ampliação: 2,5x10.

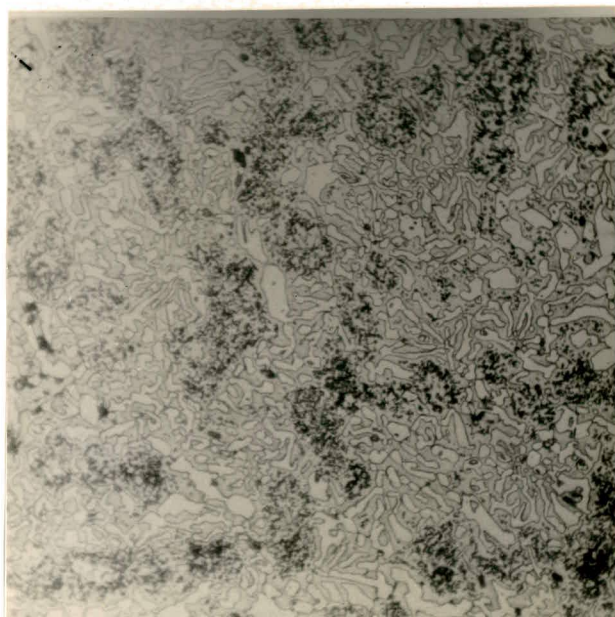


FIG. 24 - Material temperado. Ampliação: 50x8.

Para que se tivesse noção do efeito de altas temperaturas, sobre a estrutura do material, recozeu-se os corpos de prova, num forno de alto vácuo, a  $1420^{\circ}\text{K}$ , por 4 horas. Na micrografia, observou-se que a estrutura dendrítica, desaparece quase que por completo, mas, os carbonetos não perderam a sua forma geométrica. Após o recozimento, os carbonetos apresentaram um direcionamento

dureza destes corpos de prova, ficou em 35 RC. Não se sabia de antemão a temperatura do corpo de prova não de ultrapassar a casa dos  $600^{\circ}\text{K}$ , foram aquecidos varios corpos de prova, à temperaturas de 520, 570, 620 e  $670^{\circ}\text{K}$  e, mantidos nestes níveis, por 30 minutos, respectivamente. Comparou-se a dureza destes corpos de prova, antes e após o aquecimento e, observou-se que a diminuição máxima da dureza, ocorria nos corpos de prova aquecidos a  $670^{\circ}\text{K}$ , numa proporção de 3%. Para os corpos de prova aquecidos

## 4. Execução dos ensaios

### 4.1. Corpos de prova

Para a execução dos ensaios de usinabilidade e de vida das ferramentas, foram usados corpos de prova cilíndricos, com dimensões aproximadas de 600 mm de comprimento, por 120 mm de diâmetro, fixados entre a placa e ponto no torno.

#### 4.1.1. Preparação dos corpos de prova

Tendo os tarugos sido fornecidos no estado bruto de fundição, houve a necessidade de um pré-torneamento dos corpos de prova, visando a eliminação da carepa, inclusões de areia e, outros defeitos superficiais.

A fixação da peça entre a placa e ponto no torno, necessitava da furação de centro, para a colocação do ponto rotativo. A execução desta furação, demonstrou ser extremamente difícil, por não se encontrar brocas de furar e escarear, com resistência suficiente para a usinagem do material. Recorreu-se, então, ao uso de brocas de concreto, com um inserto de metal duro na extremidade cortante. O puncionamento do corpo de prova, para a centragem da furação, igualmente, só foi possível, utilizando-se uma punção com ponta de metal duro. A furação foi executada em duas etapas: executou-se um pré-furo de 8 mm de diâmetro e 20 mm de profundidade; posteriormente, com uma broca de 20 mm de diâmetro e, ângulo de ponta de  $60^{\circ}$ , executou-se o chanfro do furo, conforme DIN 332 A.

Não tivemos corpos de prova em número suficiente

para experimentar a furação dos centros a quente.

#### 4.1.2. Controle dos corpos de prova

Os lotes de corpos de prova, constavam de 2 ou 3 exemplares. Com este número reduzido e, a quase impossibilidade de execução de corpos de prova, para ensaios destrutivos, a partir do material fornecido, impunha a condição de se efetuar um severo controle visual da superfície e, a realização de ensaios não destrutivos, como a medição da dureza superficial. Esta última, não pôde ser executada sobre a carepa de fundição e, exigiu a sua eliminação, por esmerilhamento. A dureza, obtida com o auxílio de um durômetro, com cone de diamante e carregamento de 150 kg, sendo a impressão, lida na escala Rockwell C.

#### 4.2. Execução dos corpos de prova

Um problema de relevada importância na usinagem dos fundidos em geral, é a retirada da carepa de fundição. Este problema se torna mais agravante, quando se trata de ligas fundidas e temperadas.

##### 4.2.1. Usinagem da carepa de fundição a frio

Na usinagem da carepa de fundição a frio, foi utilizada a pastilha de metal duro K<sub>20</sub>, pela sua resistência a impactos. A velocidade de corte empregada, foi de 10 m/min e, avanços de 0,1 a 0,2 mm/rot.

Série R <sub>10</sub>	Intervalo de tempo (min)		Avanços (mm/rot)	Profundidade de corte (mm)	Velocidade de corte (m/min)	Aquecimento suplementar (kW)
1,00	-	-	0,10	-	10	(0,0)
1,25	-	12,5	-	-	-	(1,25)
1,60	-	16,0	-	-	16	(1,6)
2,00	2,0	20,0	0,20	2,0	20	2,0
2,50	-	25,0	0,25	2,5	25	2,5
3,15	-	31,5	0,315	3,15	31,5	3,15
4,00	4,0	40,0	0,40	4,0	(40)	4,0
5,00	-	50,0	(0,50)	(5,0)	-	(5,0)
6,30	-	(63,0)	(0,63)	(6,0)	-	-
8,00	8,0	-	-	(8,0)	-	-

TAB. 4 - Quadro das séries adotadas para as variações dos parâmetros e dos tempos de medida de forças e desgaste.

de a frio, foi possível estabelecer um critério de avaliação para a usinagem a quente. Foi estudada a influência da velocidade de corte, avanços e profundidade de corte, dentro do limite de forças, permitido pela plataforma piezoelétrica.

#### 4.3.3. Usinagem a quente

##### 4.3.3.1. Preparação para a usinagem a quente

Para a execução da usinagem a quente com arco elétrico, conforme foi mencionado anteriormente, houve a necessidade de proteção adequada ao operador, com avental e mangas, e, eventualmente, luvas de couro e máscara de soldagem, bem como a proteção da máquina ferramenta, para evitar eventuais respingos de material fundido sobre as guias do barramento.

co elétrico, acionando-se a botoeira própria na pistola e, cortava-se o avanço. O carro transversal foi recuado, retirando-se, em seguida, a pastilha de metal duro do suporte e, efetuava-se a medida do desgaste de flancos, VB e VB<sub>max</sub>, no microscópio.

Com um jato de ar comprimido, eram retirados eventuais cavacos que tivessem permanecido no suporte da ferramenta e, recolocava-se a pastilha em seu alojamento, tendo o cuidado, no aperto, de não permitir folgas entre a pastilha e seus encostos. O carro transversal retornava à posição de corte, procedendo-se, então, como no caso anterior.

A refrigeração da ferramenta e da pistola, era automaticamente ligada, quando a chave geral do torno e da fonte, eram ligadas, respectivamente.

#### 4.4. Número de ensaios

Para que fosse possível uma análise estatística dos resultados da usinagem, tanto a quente como a frio, deveria se executar um lote de ensaios grandes, para cada tipo de ensaio. Este procedimento seria dispendioso em material e tempo. Não se estabeleceu, pois, o número mínimo de ensaios necessários para termos uma informação estatística própria. Optou-se pela realização de quatro ensaios, para cada variação de um parâmetro, por duas razões. Em primeiro lugar, por se ter trabalhado com pastilhas com quatro arestas e, em segundo lugar, por se ter conseguido boa repetibilidade dos ensaios. Quando um ensaio apresentava resultados muito diferentes dos demais, numa mesma série, procurava-se determinar a causa da variação. Esta, em quase todos os casos, ocorria quando se notava a quebra da aresta de corte, causada por alguma inclusão e, era então, eliminada. Se os três ensaios restantes apresentassem uma variação máxima de mais ou menos 10% da média de seus valores, o quarto ensaio não era repetido. Se, no entanto, a variação em torno da média, ultrapassassem os 10%, então se aumentava o número de ensaios, em alguns casos, até seis, para a análise da influência



## 5. Apresentação e discussão dos resultados

### 5.1. Usinagem da carepa de fundição

#### 5.1.1. Usinagem da carepa de fundição a frio

Na usinagem da carepa de fundição a frio, não foi possível definir valores determinantes de vida de ferramenta, para uma determinada velocidade de corte. Os fatores que forçavam a interrupção do corte eram, em geral, inclusões de material mais duro e vazios, causando impactos sobre a ferramenta e, provocando a quebra prematura da aresta de corte. A existência de vazios na carepa, prejudicava a continuidade do avanço do carro longitudinal, mesmo que este deslocamento estivesse ligado ao fuso da máquina. Os esforços de avanço,  $F_v$  e, de recuo,  $F_r$ , eram exagerados, provocando uma deformação sensível da estrutura de suporte da ferramenta. O salto da ferramenta, ao encontrar um vazio, no sentido do avanço, provocava um aumento instantâneo da espessura real de corte, provocando sobrecargas bruscas sobre a ferramenta, da ordem de duas a três vezes, dos valores médios das forças de corte, causando a quebra da aresta de corte.

A dispersão aleatória das inclusões e dos vazios na carepa, não permitia, sequer, estimar valores para a vida das ferramentas. O tempo total para o pré-torneamento a frio de um corpo de prova, ficava em 6 horas, para um consumo de 50 arestas de corte, na velocidade de corte de 16 m/min e área de corte de  $0,2 \times 2 \text{ mm}^2$ .

Os tempos a que se refere a figura 27, compreendem: o tempo de usinagem propriamente dito, acrescido dos tempos de troca de ferramenta e eletrodos e, os tempos de parada da máquina e aproximação da ferramenta.

A velocidade de corte, tinha de ser mantida em valores inferiores a 20 m/min. Para velocidades maiores, o aquecimento, para um dado volume retirado, tornava-se tão pequeno que, o efeito das inclusões e vazios, produzia efeitos semelhantes aos da usinagem a frio.

## 5.2. Usinagem do núcleo dos corpos de prova

### 5.2.1. Usinagem a frio

Em uma série de ensaios preliminares, foi verificado que a força específica de corte, era elevadíssima. O trabalho, em decorrência disto, teria de ser limitado a seções de cavaco, das quais resultassem forças de corte compatíveis com a plataforma piezoelétrica utilizada. Como as forças de avanço e de recuo, dependiam fortemente do tempo de corte, ou seja, do desgaste de flancos, foi preciso prever este aumento de esforços, no dimensionamento da área de corte. Áreas muito grandes, produziam um carregamento excessivo da plataforma piezoelétrica, podendo provocar dano à mesma.

#### 5.2.1.1. Influência da velocidade de corte

Nos ensaios para a determinação da influência da velocidade de corte, foi limitado o avanço a 0,1 mm/rot e, a profundidade de corte, a 2 mm. Os ensaios foram executados a ve

sua influência sobre o carregamento ou descarregamento elétrico dos cristais piezoelétricos, sem a aplicação de forças.

Na figura 29, o desgaste é representado em escala bilogarítmica e, o comportamento continuamente crescente do desgaste, visto na figura 28, pode ser representado por retas, o que vem sugerir que o desgaste obedeça a uma relação exponencial com o tempo.

#### 5.2.1.2. Influência do avanço

A verificação da influência do avanço, na usinagem a frio, só foi possível, em ensaios de curta duração, uma vez que, para avanços maiores, as forças de corte, tornam-se demasiadamente grandes, aumentando rápida e abruptamente com o tempo de usinagem. Segundo Kienzle <sup>(12)</sup>, anotam-se os valores iniciais das forças de corte, determinando-se desta forma,  $K_{s11}$ . Este valor, é a força específica de corte, obtida para a usinagem de uma área de corte de  $1 \times 1 \text{ mm}^2$  (figura 30).

#### 5.2.1.3. Influência da profundidade de corte

Da literatura, sabia-se que o aumento da profundidade de corte, não produziria variações sobre a força específica de corte  $K_{s11}$ . Este fato, somado ao que, com 2 mm de profundidade de corte, já se estava trabalhando no limite superior das forças permitidas na plataforma piezoelétrica e, que com profundidades menores que 2 mm, a forma do cavaco seria por demais alterada, por se trabalhar apenas na região arredondada da aresta de corte, nos levou que não se analisasse esta variável com maior cuidado.

#### 5.2.2. Usinagem a quente

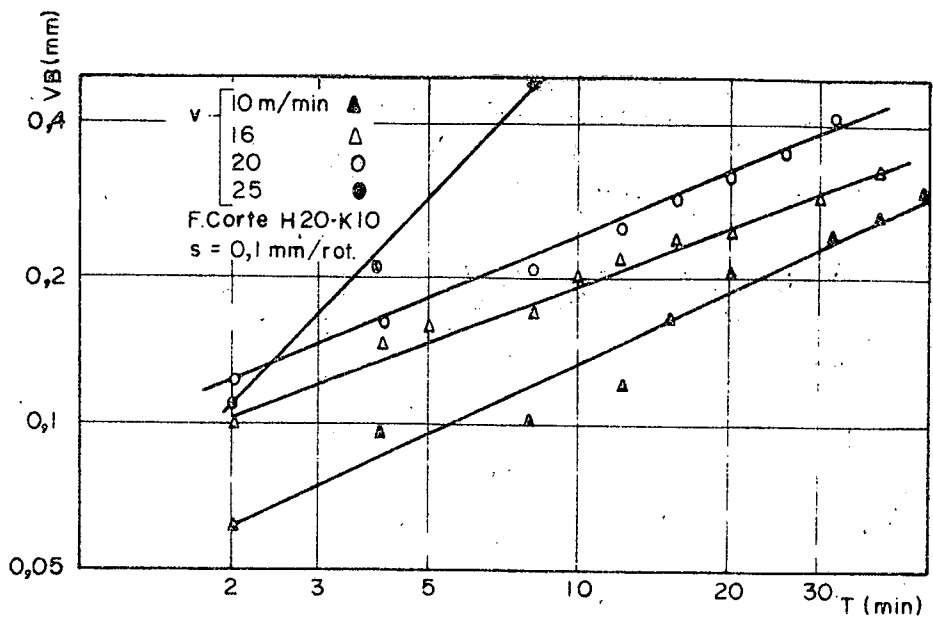


FIG. 29 - Curvas de desgaste médio de flancos, ao longo do tempo de usinagem, para a usinagem a frio e diversas velocidades de corte.

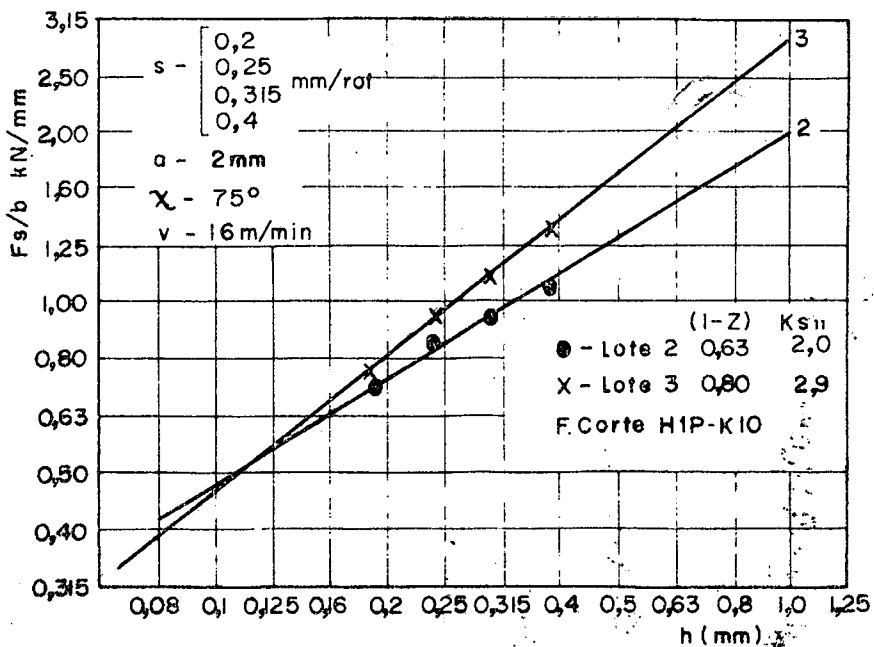


FIG 30 - Determinação de  $K_{s11}$ , segundo Kienzle, para a usinagem a frio, a uma velocidade de 16 m/min.

permitido pela fonte. Nestes ensaios, foi verificado, com surpresa, um excessivo aquecimento da peça, o que imediatamente, sugere-nos utilizar um refrigerante, na região já cortada. Ao analisar a superfície, após o corte, foi verificada a existência de algumas fissuras, seguramente decorrentes do resfriamento de sigual da peça, pois elas não ocorriam sem o uso do refrigerante. Ficava, assim, descartada a possibilidade do uso de refrigerante, para a retirada do calor remanescente na peça, após a usinagem.

Para não permitir este aquecimento excessivo da peça, duas alternativas poderiam ser adotadas: a primeira, aumentando o volume de material aquecido, retirado na unidade de tempo, aumentando a velocidade de corte, o avanço ou, a profundidade de corte, isolada ou conjuntamente; a segunda, diminuindo a potência do arco elétrico, transferindo assim, menor quantidade de calor à peça.

Em outros ensaios preliminares, verifica-se que a posição tangencial do eletrodo, tem pouca influência sobre o resultado do corte, ao passo que o posicionamento axial do eletrodo, é de suma importância.

A seguir, são apresentados os resultados do estudo da influência da velocidade, avanço, profundidade de corte, ângulo de saída e de posição e, da posição tangencial e axial do eletrodo.

O ângulo de incidência foi mantido constante, em todos os ensaios, em  $6^{\circ}$ . O ângulo de saída usado, foi de  $-6^{\circ}$ , a não ser que haja uma nota, evidenciando outro valor. O afastamento axial do eletrodo, da circunferência de corte, foi sempre de 2 mm e, sua posição tangencial, 200 mm antes do corte normal à superfície da peça. O afastamento do eletrodo à superfície, foi sempre de 2 mm.

#### 5.2.2.1. Influência da velocidade de corte

Na usinagem a frio, pode-se verificar que, a ve-

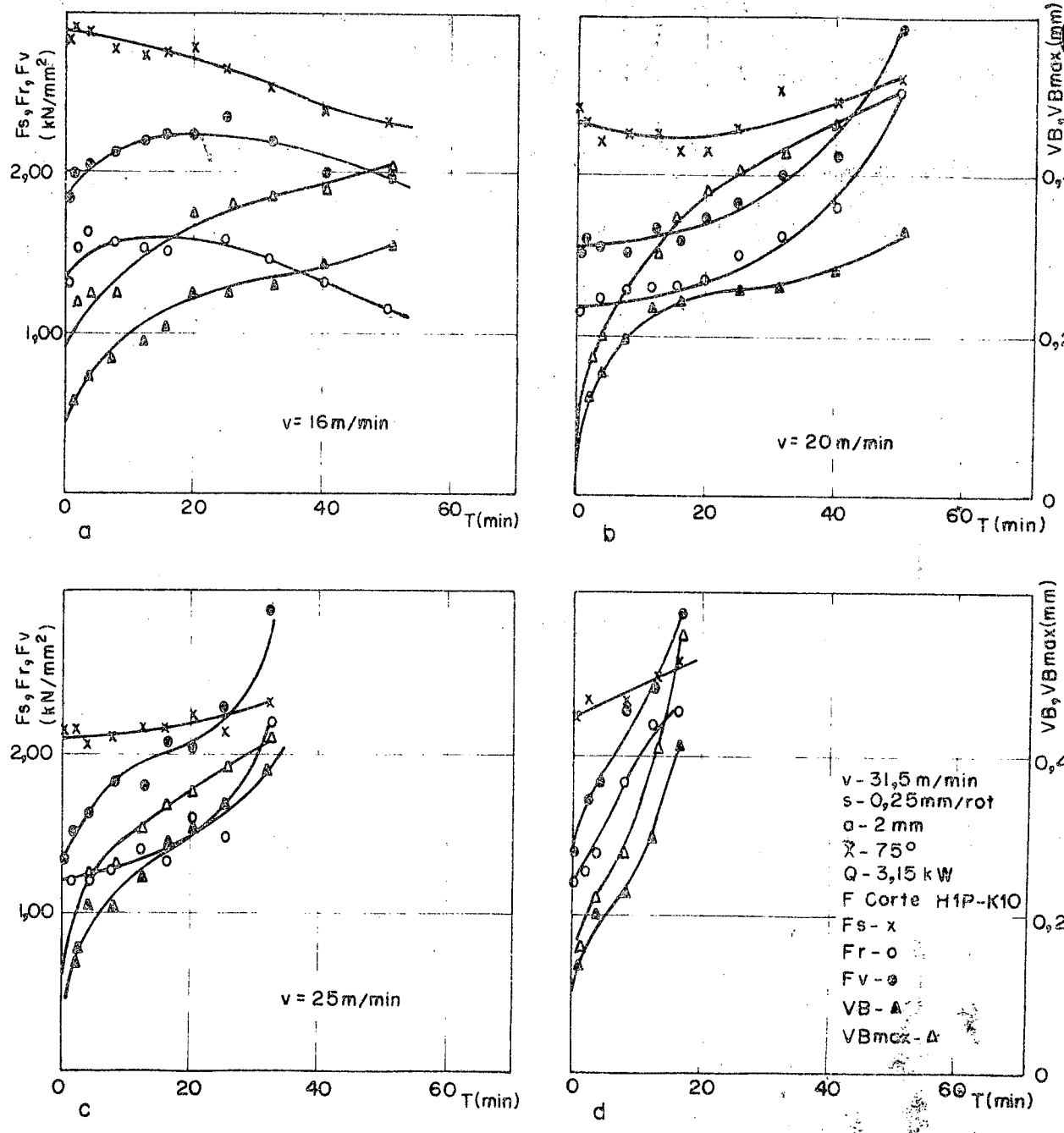


FIG. 31 - Influência da velocidade de corte, sobre o comportamento das forças de corte e do desgaste de flancos médio e máximo, na usinagem a quente, com 3,15 kw de aquecimento.

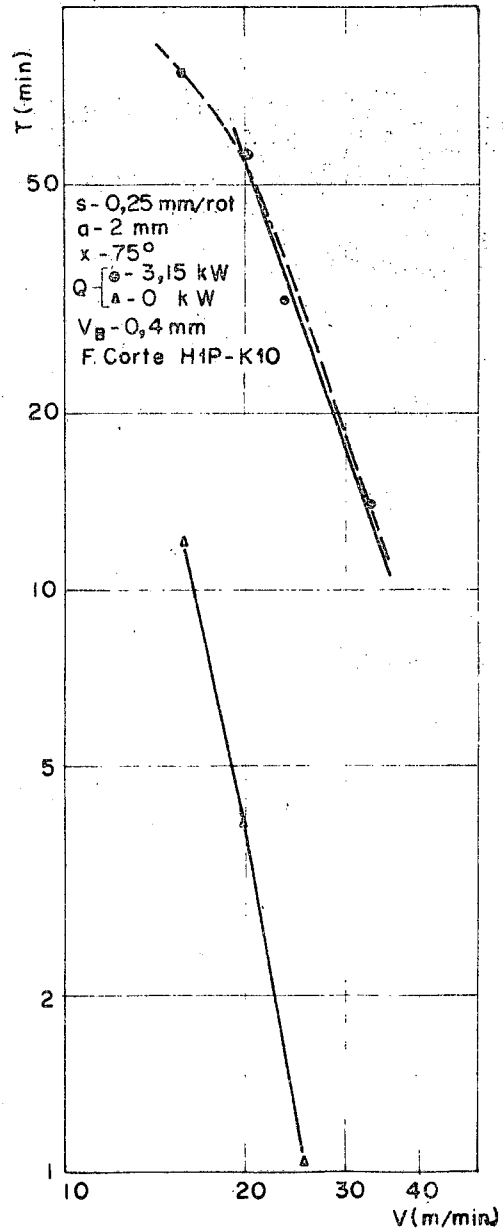


FIG. 34 — Curvas de vida das ferramentas, para a usinagem a quente, com 3,15 kw de aquecimento e, também, para a usinagem a frio.

Também, na usinagem a quente, tem-se esta influência, atuando preponderantemente, sobre o comportamento da força específica de corte, diminuindo-a.

As relações iniciais das forças de corte,  $F_s/F_v$  e  $F_s/F_r$ , mantêm-se, respectivamente, em 10/6 e 10/5. O desgaste tem uma forte influência sobre as forças de avanço e de recuo, fazendo-as crescer, proporcionalmente ao seu crescimento, donde resulta que, ao fim da vida das ferramentas, a relação das forças, estejam completamente alteradas, assumindo, inclusive, valores menores do que a unidade (figura 35).

O crescimento do desgaste, é exponencial e, verificando-se que, para um aumento do avanço, ocorre um aumento do coeficiente linear, porém, praticamente nenhuma variação da taxa de crescimento, do aumento do avanço (figura 36).

Um fato que afetou sensivelmente a obtenção de dados para a execução do trabalho, foi a heterogeneidade dos lotes de corpos de prova. O lote 3, apresenta um  $K_{s11}$ , 35% maior que o mesmo valor para o lote 2 (figura 37).

#### 5.2.2.3. Influência da profundidade de corte

Com a variação da profundidade de corte, pode-se alcançar maior volume de material retirado na unidade de tempo. Assim, também aqui, há uma diminuição da temperatura média, na seção de corte. Dos resultados obtidos nos ensaios (figura 38), nota-se, porém, que o aumento da profundidade, pouco afeta as forças específicas de corte, exercendo, entretanto, maior influência sobre o desgaste máximo de flancos. Para maiores profundidades de corte, a ponta da ferramenta trabalha em regiões mais frias, mais frias e, devido a isso, sofre maior desgaste.

Para o início do corte, nas diversas profundidades experimentadas, as relações das forças  $F_s/F_r$  e  $F_s/F_v$ , valem, respectivamente, 10/5 e 10/6. Com o aumento do desgaste, as forças de avanço e de recuo, crescem. A força de avanço se equili-



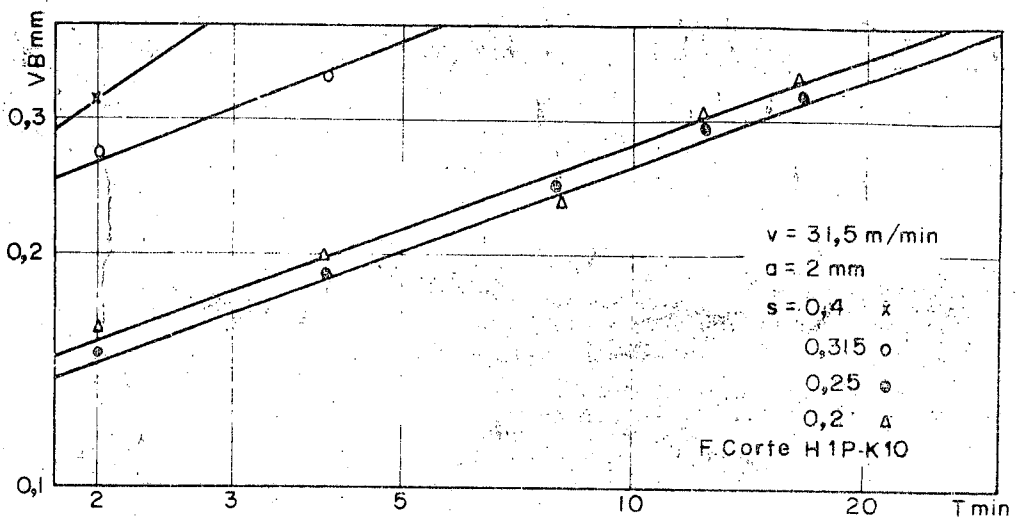


FIG. 36 - Curvas de desgaste médio dos falncos, ao longo do tempo de corte, para a usinagem a quente, com 3,15 kw de aquecimento e, para velocidade de corte igual a 31,5 m/min.

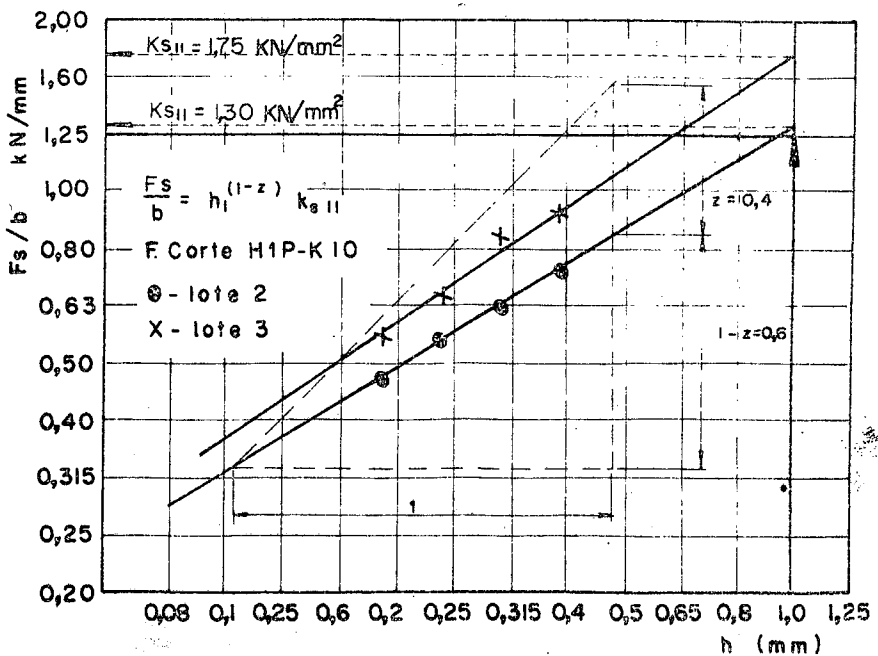


Fig. 37 - Determinação de  $K_{s11}$  e  $(1-z)$ , segundo Kienzle, para a usinagem a quente, com 3,15 kw de aquecimento e, para uma velocidade de corte de 31,5 m/min.

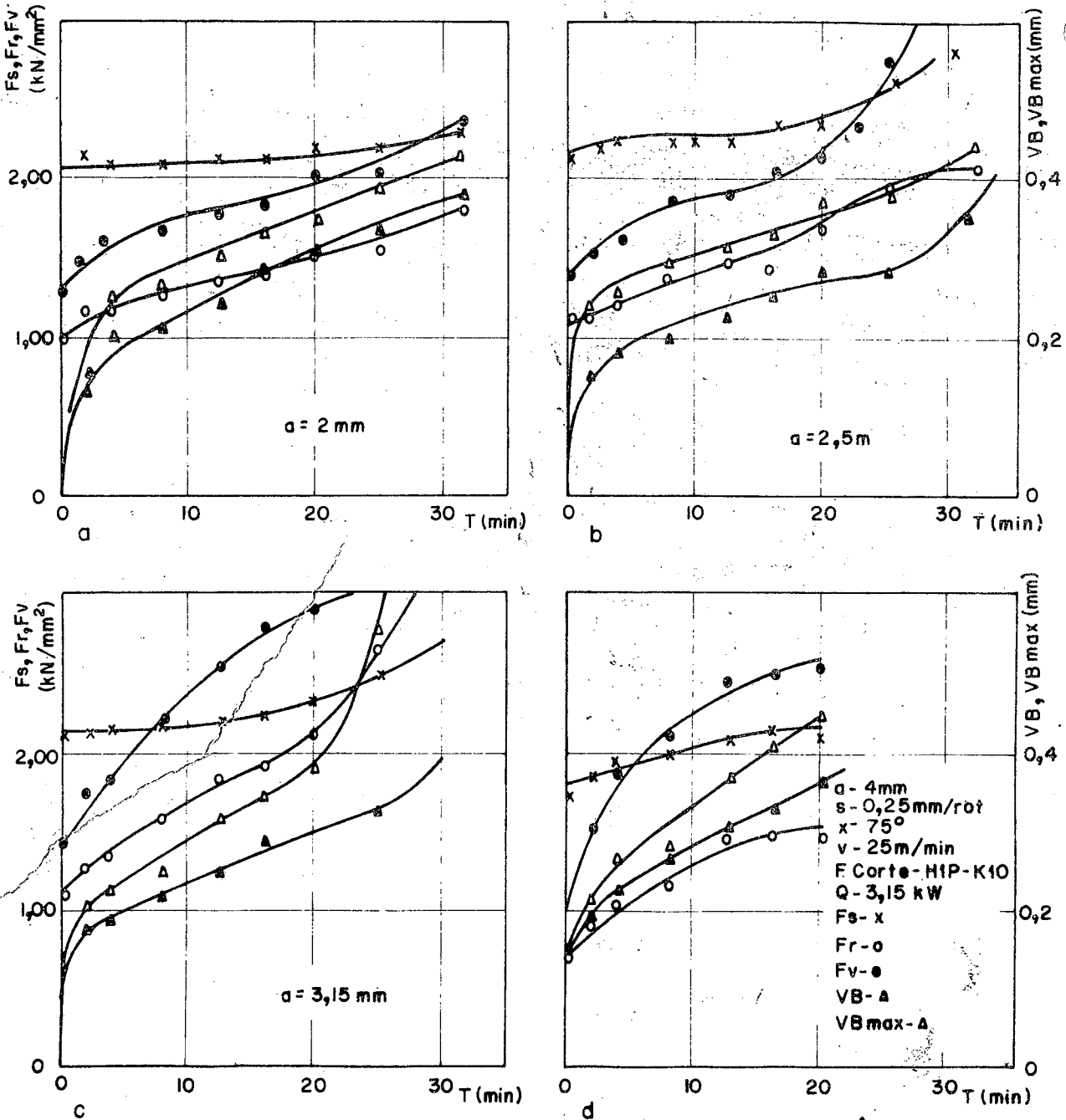


FIG. 38 - Influência da profundidade de corte sobre o comportamento das forças de corte e, do desgaste médio e máximo dos flancos, na usinagem a quente, com 3,15 kw de aquecimento.

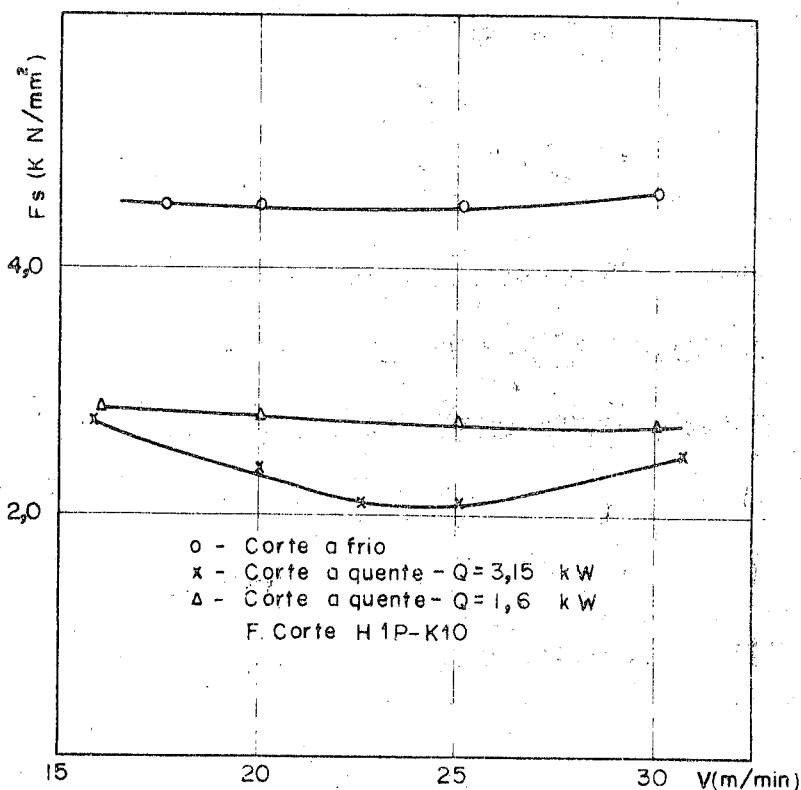


FIG. 41 - Influência de diversos aquecimentos sobre a força principal de corte, a diversas velocidades de corte.

#### 5.2.2.5. Influência do ângulo de saída

É comum o uso de ferramentas de corte, com ângulo de saída negativo, quando se trabalha com pastilhas reversíveis de metal duro. A configuração geométrica da pastilha, com ângulo de saída negativo, é sempre a de um tronco de prisma cortado perpendicularmente ao seu eixo. Isto permite, que a pastilha, seja usada, em todas as suas arestas, o que não ocorre, para pastilhas com ângulo de saída positivo, que são troncos de pirâmides, permitindo apenas o uso das arestas de uma face.

Na figura 42, vê-se que o ângulo de saída positivo de  $6^\circ$ , proporciona um  $K_{s11}$ , 25% menor que o obtido com ângu-

h. Desta forma, consegue-se a distribuição das forças de corte, ao longo de uma parcela maior da aresta de corte. A deflexão do arco elétrico, para o ângulo de posição de  $45^\circ$ , mostrada na figura 43, leva a uma distribuição melhor da temperatura, na maior parte da seção de corte. Obtém-se uma pequena diminuição das forças de corte (figura 44), para a diminuição do ângulo de posição. Esta diminuição das forças principais de corte, levam a um menor desgaste médio dos flancos. Contudo, diminuindo o ângulo de posição, ocorre um aumento grande do crescimento do desgaste máximo dos flancos, situado na região do raio da ponta da ferramenta, que então, torna-se fator limitante na vida da ferramenta, devido ao aumento demasiado da força de recuo e, também, a de avanço.

O maior desgaste da ponta da ferramenta, para menores ângulos de posição, resulta no aumento de distância entre o aquecimento e a usinagem, que permite uma maior difusão do calor na peça, produzindo usinagem numa região mais fria.

O critério de fim de vida adotado, foi o do desgaste máximo dos flancos, limitado em 0,6 mm, o que é alcançado, na ponta da ferramenta, para uma velocidade de corte de 25 m/min e seção de cavaco, correspondente a um avanço de 0,25 mm/rot e 2 mm de profundidade de corte, em 15, 35 e mais de 50 minutos de usinagem, para ângulo de posição de  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  e  $75^\circ$ , respectivamente. O desgaste médio dos flancos, para os mesmos tempos e, ângulos de posição, foi de 0,2, 0,32 e 0,4 mm. Conclue-se disto que, para um ângulo de posição menor, o aproveitamento da aresta de corte, passa a ser menor.

#### 5.2.2.7. Influência da posição tangencial e axial do eletrodo

O dispositivo de fixação da pistola elétrica, visto na figura 14, permite uma movimentação ampla da pistola, ao longo de toda a peça. Para avaliar a influência da posição tan-

gencial, varia-se o comprimento do arco AB (figura 45), formado entre a pistola e a ferramenta de corte.

Pode-se observar na figura 45, uma tendência à diminuição das forças principais de corte e, de avanço, para o aumento do arco AB, de 100 a 200 mm. A temperatura final da peça, não varia para as diversas posições tangenciais do arco, estabilizando em torno de  $470^{\circ}\text{K}$ .

Quando se varia a posição axial do eletrodo, em relação à peça (figura 46), tem-se, para afastamento nulo da circunferência de aquecimento, em relação à circunferência média de corte, uma deflexão do arco elétrico sobre a parte já usinada da peça, resultando num aquecimento sensível do núcleo da peça, diretamente motivada pela chama.

Aumentando-se o afastamento axial e (figura 46), até aproximadamente o valor da profundidade de corte, ocorre uma diminuição da temperatura final da peça e da força principal de corte, indicando que, a maior parte do calor, é retirado pelo cavaco. Para um aumento do afastamento axial a duas vezes da profundidade de corte, temos um aumento da força principal de corte e, da temperatura final da peça. Isto ocorre, pelo aumento do tempo entre o aquecimento e a usinagem, o que permite uma maior propagação de calor e, usinagem a uma temperatura mais baixa.

As forças de recuo e de avanço, sofrem pouca alteração no início do corte, porém, o afastamento axial de 0 e 4 mm, influencia no aumento da taxa de crescimento do desgaste, em relação à posição axial de 2 mm.

#### 5.2.2.8. Influência do aquecimento na usinagem a quente, sobre a dureza e a estrutura cristalográfica do material

A avaliação da influência do aquecimento, sobre as propriedades do material, foi executada ao longo de todos os ensaios, medindo-se a dureza, para os diversos diâmetros dos cor

pos de prova. Na figura 47, observa-se que a dureza diminui com a diminuição do diâmetro. Verifica-se, que tanto na usinagem a frio, como na usinagem a quente, tem-se a mesma variação das durezas máxima e mínima. Pode-se concluir, que esta variação é decorrente da temperabilidade do material e, não do processo de usinagem a quente. Como o núcleo do material tem um resfriamento mais lento, sua dureza é menor.

Para avaliar a influência que a temperatura final da peça, tem sobre a usinagem a quente, foi preparado uma série de corpos de prova, que foram levados ao forno, em intervalos de 10, 20 e 30 minutos, a temperaturas situadas entre 520 e 670 °K. A análise anterior e posterior da dureza destes corpos de prova, mostrou, que esta, diminui de 1 a 2%. Porém, a dispersão da dureza, que antes do aquecimento, situava-se numa faixa de mais ou menos 2%, passa a ser, depois do aquecimento, de apenas mais ou menos 1%. Conclue-se, então, que o aquecimento até esta ordem de grandeza, não tem influência sobre a dureza do material, sendo até desejável que o aquecimento ocorra, por propiciar maior homogeneidade ao material.

O corte transversal de um corpo de prova usinado a quente, efetuado sem o recozimento do material, mostra, na análise micrográfica, conforme a figura 48, que a estrutura cristalina dendrítica, característica da têmpera do material, permanece totalmente inalterada, até a periferia da peça efetada pela usinagem a quente.

Microfissuras, que porventura surgissem na periferia da peça, durante a usinagem a quente, não foram constatadas no microscópio, mesmo quando se efetuou o corte transversal do corpo de prova e, observou-se novamente ao microscópio, com um aumento de até 500 vezes.

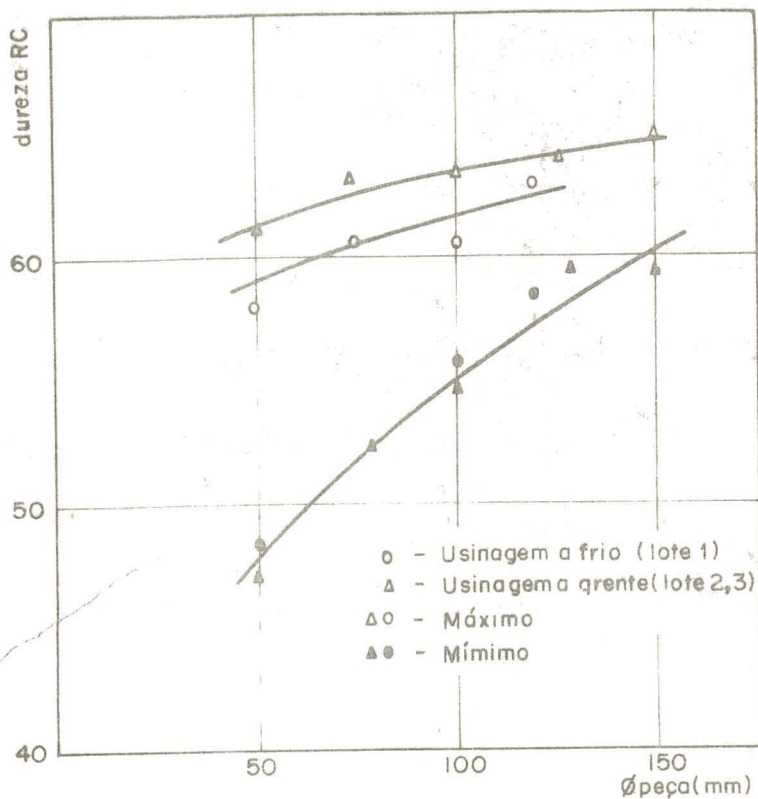


FIG. 47 - Influência do aquecimento sobre a dureza superficial do material, para diversos diâmetros dos corpos de prova.

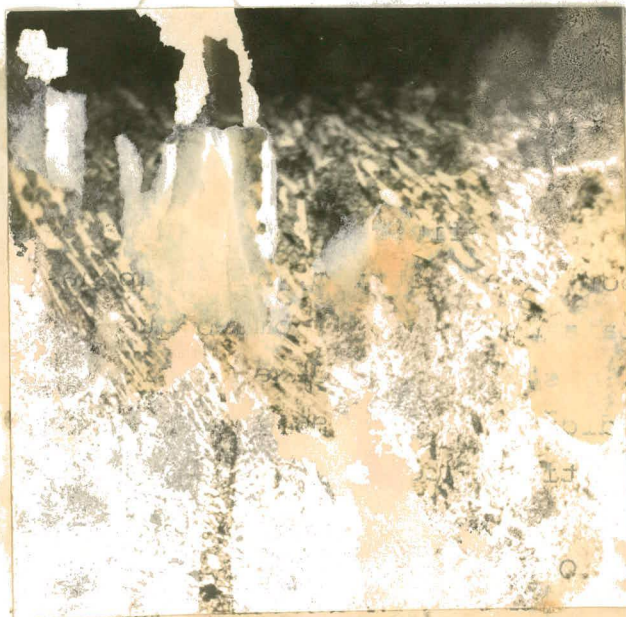


FIG. 48 - Corte transversal, da periferia de um corpo de prova, usinado a quente, evidenciando duas fases. A fase clara, compreende carbonetos de cromo e, a escura, carbonetos de cromo, dispersos em uma matriz ferrítica. Nota-se o alongamento direcional dos carbonetos de cromo.

## 6. Conclusão

A necessidade de usinar materiais de difícil usinabilidade, como o EA 102 da Electro Aço Altona S.A., levará, no futuro, a se aplicar mais e mais a usinagem a quente. O processo de aquecimento com arco elétrico proporciona, para esta usinagem, um aquecimento localizado e intenso, permitindo a retirada de maior parte do calor introduzido na peça pelo cavaco. O aumento da temperatura do material, na região do corte, leva a pressões específicas menores e, em decorrência, à vidas mais longas das ferramentas. Assim, tem-se a possibilidade de confeccionar peças de materiais temperados com boa precisão. A temperatura da peça, após a usinagem, mantém-se, no máximo, em  $530^{\circ}\text{K}$ , o que não chega a afetar a estrutura do material.

Comparando-se a vida da ferramenta de corte, entre a usinagem a quente e a frio, vemos que, a uma velocidade de corte de 25 m/min, são alcançados 25 minutos, para um aquecimento de 3,15 kw, numa área de corte de  $1,25 \times 2 \text{ mm}^2$ , ao passo que, para a usinagem a frio, se consegue uma vida de apenas um minuto.

O benefício obtido com a usinagem a quente, com aquecimento por arco elétrico, é de grande relevância na usinagem de materiais homogêneos e cujos defeitos se têm no núcleo de peças fundidas, e também é de excepcional valor na usinagem da carepa de fundição, na qual se encontram vazios e inclusões de areia e, que praticamente não pode ser eliminada pelo processo convencional.

O presente trabalho, portanto, realizado para lausrear a usinagem a quente de aços temperados, com aquecimento localizado, com o título de marco histórico, em uma nova era na usinagem. Foi verificado, que realmente, ela traz uma série de benefícios, como a redução dos tempos e custos de produção. Mas



B I B L I O G R A F I A

- 1 TILGHMAN, B. C. "Cutting by Electricity". US-Patent Nº 416873, de 10 de dezembro de 1889.
- 2 CLAUSEN, R. "Untersuchungen zur Bearbeitung metallischer Werkstoffe durch Warmzerspanen und Plasma-abtragen". Tese de Doutorado da Universidade Técnica de Berlim, pgs. 15 - 19, 1969.
- 3 PFAU, D. H. et al "Informationszentrum fuer Schnittwerte". Industrie-Anzeiger Nº 105, Ausgabe: Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik, Editora W. Girardet, Essen, Alemanha, Dezembro de 1971.
- 4 EHMÉR, H. J. "Beitrag zur Ermittlung der Gesaetzmaessigkeiten und Ursachen des Freiflaechenverschleisses an Hartmetallwerkzeugen". Tese de Doutorado da Universidade Tecnica de Aachen, pgs. 10 - 11 e 74, 1971.
- 5 VIEREGGE, G. "Zerspanung der Eisenwerkstoffe". Editora Stahleisen, Duesseldorf, Alemanha, 1959.
- 6 REZINKOV, A. N. "Waermephysikalische Berechnung und Experimente beim zerspanen von Eisen und Kunststoffen". Vestnik masinosroenija, 43, pgs 29 - 34, 1963.
- 7 NIELS & JACKSON "Weld Thermal Efficiency of the GTAW Process". Welding Research Supplement, pgs. 25 - 32, janeiro de 1975.
- 8 ROSENAL, D. "Thermal Study of Arc Welding". Welding Journal, 6, maio de 1941.
- 9 MORICH, F.W. "Beitrag zur Waermefuehrung beim Schweißen mit mechanisierten Lichtbogenverfahren". Tese de Doutorado da Universidade

## ANEXO

Otimização dos parâmetros de corte para o torneamento a quente.

=====				
I	SCHNITTWERTERMITTLUNG DREHEN			I
=====				
I	A	SCHNITTIEFE.....	MM	I
I	B	OPTIMALE SPANLEITSTUFENBREITE	MM	I
I	CAPA	EINSTELLWINKEL.....	GRAD	I
I	DA	AUSSENDURCHMESSER.....	MM	I
I	DI	INNENDURCHMESSER.....	MM	I
I	L	SEGMENT-LAENGE.....	MM	I
I	N	DREHZAHL.....	U/MIN	I
I	RT	MAXIMALE RAUHTIEFE.....	MIKRO M	I
I	S	VORSCHUB.....	MM/U	I
I	T	OPTIMALE STANDZEIT.....	MIN	I
I	TH	HAUPTZEIT.....	MIN	I
I	TZUL	NEBENZEIT (WERKZEUGRUECKLAUF)	MIN	I
I	V	ANSCHNITTSGESCHWINDIGKEIT....	M/MIN	I
I	VK	MAX. VERSCHLEISSKRITERIUM.....	MM	I
=====				
I	MASCHINENDATEN			I
I				I
I	NAME	IMOR	PB 400	I
I	NUMMER		3.0001	I
I	SPINDELLEISTUNG		8.0 KW	I
I	MAX. DREHMOMENT		80.0 MKP	I
I	DREHZAHL MIN.		50.0 U/MIN	I
I	DREHZAHL MAX.		2000.0 U/MIN	I
I	DREHZAHL-STUFENSPRUNG		0.0 -	I
I	VORSCHUB-MIN. (LAENGS)		0.0630 MM/U	I
I	VORSCHUB-MAX. (LAENGS)		1.1120 MM/U	I
I	VORSCHUB-STUFENSPRUNG (LAENGS)		1.0600 -	I
I	VORSCHUB-MIN (PLAN)		0.0420 MM/U	I
I	VORSCHUB-MAX (PLAN)		0.7380 MM/U	I
I	VORSCHUBSTUFENSPRUNG (PLAN)		1.0800 -	I
I	ARBEITSPLATZKOSTEN (MASCH.+LOHN)		35.0 DM/H	I
I	WERKZEUG-WECHSELZEIT		3.0 MIN	I
I	EILGANG-GESCHWINDIGKEIT		1.0 M/MIN	I
-----				
I	WERKSTOFF-SCHNEIDSTOFF-DATEN			I
I	WERKSTOFF-NAME	EA-102		I
I	WERKSTOFF-NUMMER		1.0001	I
I	SCHNEIDSTOFF-NAME	H1P-K10		I
I	SCHNEIDSTOFF-NUMMER		2.0001	I
I	SPEZIFISCHE SCHNITTKRAFT		175.0 KP/QMM	I
I	ANSTEIGS-FAKTOR		0.60 -	I
I	TAYLOR-CONSTANTE		170.0 -	I

J	<u>OPERATION</u>	LAENGS SCHRUPPEN, OHNE SPANLE				I
I						I
I	T= 20.0	VK= 0.400				I
I	<u>SEGMENT</u>	HOTSEG				I
I						I
I	DA= 150.0	DI= 146.0	L= 1000.0	CAPA= 75.0		I
I	ANZAHL DER	SCHNITTE	1			I
I	A= 2.0	S= 0.341	V= 23.0	N= 49.0		I
I	TH= 60.00	TZUL= 0.0				I
I	EFFEKTIVE	STANDZEIT=	20.00			I
-----						
I	<u>OPERATION</u>	LAENGS SCHRUPPEN, OHNE SPANLE				I
I						I
I	T= 30.0	VK= 0.400				I
I	<u>SEGMENT</u>	HOTSEG				I
I						I
I	DA= 150.0	DI= 146.0	L= 1000.0	CAPA= 75.0		I
I	ANZAHL DER	SCHNITTE	1			I
I	A= 2.0	S= 0.341	V= 18.2	N= 39.0		I
I	TH= 75.91	TZUL= 0.0				I
I	EFFEKTIVE	STANDZEIT=	30.00			I
-----						
I	<u>OPERATION</u>	LAENGS SCHRUPPEN, OHNE SPANLE				I
I						I
I	T= 60.0	VK= 0.400				I
I	<u>SEGMENT</u>	HOTSEG				I
I						I
I	DA= 150.0	DI= 146.0	L= 1000.0	CAPA= 75.0		I
I	ANZAHL DER	SCHNITTE	1			I
I	A= 2.0	S= 0.214	V= 16.6	N= 35.0		I
I	TH= ****	TZUL= 0.0				I
I	EFFEKTIVE	STANDZEIT=	60.00			I
=====						

TAB. 4 Otimização dos parâmetros de corte na qual foi utilizado o programa de otimização TURN disponível Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina<sup>(13)</sup>.