

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS GERAIS UNIS
ENGENHARIA MECÂNICA
JOSÉ AGUINALDO LOPES

N. CLASS.	M 671.35
GUTTER	1864
ANO/EDIÇÃO	2013

**ENSAIO DE USINAGEM DO AÇO 1045: critérios para determinar melhores condições
de usinagem**

Varginha
2013

FEPESMIG

JOSÉ AGUINALDO LOPES

**ENSAIO DE USINAGEM DO AÇO 1045: critérios para determinar melhores condições
de usinagem**

Trabalho apresentado ao curso de engenharia mecânica
do Centro Universitário do Sul de Minas Gerais –
UNIS/MG como pré-requisito para obtenção do grau de
bacharel, sob a orientação do Prof. Esp. Valter Barbosa.

Varginha

2013

JOSÉ AGUINALDO LOPES

**ENSAIO DE USINAGEM DO AÇO 1045: critérios para determinar melhores condições
de usinagem**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia
Mecânica, como pré-requisito para obtenção do grau de
(bacharel) pela Banca Examinadora composta pelos
membros:

Aprovado em / /

Prof. (Luis Carlos Vieira Guedes)

Prof. (

Prof. (

OBS.:

Dedico este trabalho primeiramente a Deus,
aos meus amados pais, Hortência minha
madrinha e Milene minha esposa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus colegas, professores, a minha família e em especial ao meu orientador pela colaboração na construção deste trabalho.

Grupo Educacional UNIS

RESUMO

Este trabalho visa apresentar a melhor condição de usinagem do processo de torneamento CNC, com o objetivo de determinar o menor tempo e reduzir o custo do processo de usinagem de um eixo excêntrico. Para isto, foi verificada as condições de operação da máquina e certificou-se que a ferramenta estava trabalhando com um parâmetro fora do limite de tolerância especificado pelo fabricante. Para quantificar os tipos de desgastes que a ferramenta estava sofrendo, separou-se as 10 últimas pastilhas que foram utilizadas, para análise, através de uma lupa. Constatou que a maioria estava sofrendo fratura, porque estavam trabalhando fora da tolerância máxima permitida e também pelo processo ser de corte interrompido, em seguida iniciou-se o experimento prático, foram separados, três lotes de 150 peças, cada lote variando entre o avanço mínimo, médio e máximo 0.14, 0.22 e 0.3 mm/rev e mesma velocidade de corte 150 m/min. para todos os lotes. Após o ensaio pode-se observar a melhor condição através do perfil de cavaco apresentado e através dos cálculos, constatou redução dos desgastes críticos da ferramenta, redução de tempo, custo e rotação no processo.

Palavras-chave: Ensaio. Usinagem. Aço 1045

ABSTRACT

This project aimed to determine the best condition for machining CNC turning process, with the aim of determining the shortest time and reduce the cost of the machining process of an eccentric shaft. To this was verified the operating conditions of the machine and made sure that the tool was working with a parameter outside the tolerance limit specified by the manufacturer, to quantify the types of wear that the tool was suffering, separated the last 10 tablets which were used for analysis through a magnifying glass and found that most were suffering fractures, because they were working outside the tolerance allowed and also the process be interrupted cutting, then began the practice experiment were separated, three batches 150 pieces, each batch ranging from the advance minimum, average and maximum 0:14, 0:22 and 0.3 mm/rev and the same cutting speed 150 m/min. for all batches. After the test can be observed the profile of the best condition through chip and presented through calculations found critical reduction of wear of the tool, reducing time, cost and speed the process.

Keyword: Test. Machining. 1045 steel.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Operação de torneamento.....	10
Figura 2 - Diferentes formas e tipos de cavacos.....	13
Figura 3 - Deformação plástica.....	15
Figura 4 - Trinca.....	16
Figura 5 - Desgaste da cratera da aresta de corte.....	16
Figura 6 - Lascamento da aresta de corte.....	17
Figura 7 - Fratura da aresta de corte.....	18
Figura 8 - Centro de torneamento Centur 30D – ROMI.....	19
Figura 9 - Eixo excêntrico aço SAE 1045.....	21
Figura 10 - Pastilha de desbaste.....	21
Figura 11 - Diagrama de Pareto análise das falhas.....	23
Figura 12 - Formação do cavaco para velocidade (V_c) de 150m/min.....	25

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 AÇO SAE 1045	10
2.1 Torneamento	10
2.2 Características das máquinas CNC	11
2.3 Parâmetros de Usinagem	11
2.4 Formações do Cavaco	12
2.5 Ferramentas de Corte	13
2.5.1 Classificação das Ferramentas de Metal Duro	14
2.6 Fluidos de Corte	14
2.7 Desgaste e Avarias da Ferramenta de Corte	14
2.7.1 Deformação Plástica da Aresta de Corte	15
2.7.2 Trincas	15
2.7.3 Desgaste da cratera	16
2.7.4 Lascamento	17
2.7.5 Fratura da Aresta de Corte	17
3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	19
3.1 Máquina-ferramenta	19
3.2 Análises da Situação Atual das Condições de Operação da Máquina-ferramenta	20
3.3 Ensaio Aplicado na Ferramenta	21
3.4 Análises das Falhas	22
3.4.2 Estudo do Cavaco	23
4 RESULTADOS	24
4.1 Vida da Ferramenta na Condição atual de Operação	24
4.2 Análises dos Parâmetros Aplicado na Ferramenta	25
4.3 Análises do Cavaco	26
4.4 Considerações Econômicas	26
5 CONCLUSÃO	30
REFERÊNCIAS	31

1 INTRODUÇÃO

Um dos processos de fabricação mais importante dos últimos tempos é a usinagem, empregando milhões de pessoas em todo o mundo e o crescimento de indústrias metal mecânica no Brasil tem levado muitas indústrias a reverem seus processos de fabricação, pois a concorrência está aumentando e os valores do serviço dentem a cair, as indústrias que não investirem em novas tecnologias e aperfeiçoarem seus processos, não conseguirá manter-se de pé por muito tempo.

Quando se determina as condições ideais de torneamento, para um determinado tipo de material, consegue-se obter a melhor condição de usinagem, como qualidade, menor custo e tempo. Quando o processo de usinagem exige uma alta complexibilidade e ou qualidade, é realizado através de máquinas automatizadas, através do Comando Numérico Computadorizado (CNC), este tipo de máquina diminuiu muito a intervenção do operador, mais trouxe um aumento extraordinário a respeito da produtividade e qualidade das peças, entretanto estas vantagens podem ser comprometidas se os parâmetros estiverem incorretos.

Este projeto visou determinar a melhor condição de usinagem do processo de torneamento CNC, para determinar o menor tempo e reduzir o custo do processo de usinagem de um eixo excêntrico, para tal feito foi realizado um ensaio na Empresa Ferramentaria Palmeira, em Varginha, resultando em um processo padronizado, com menor tempo e custo.

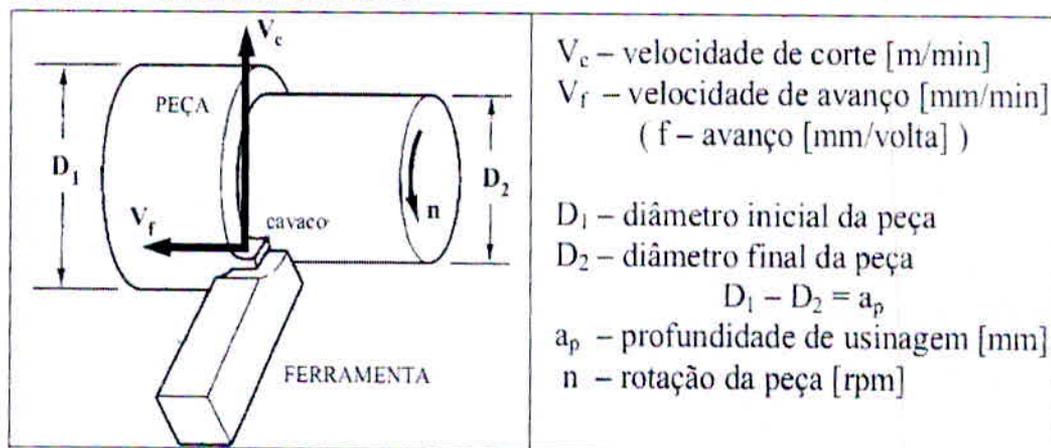
2 AÇO SAE 1045

Aços de médio carbono possuem de 0,3% a 0,6 % de carbono é utilizado principalmente em eixo, bielas, virabrequim, engrenagens, dentre outros componentes mecânicos, em relação à fabricação mecânica, possui boas propriedades mecânicas e tenacidade, quando temperados e revenidos atingem boa resistência e tenacidade, como no caso dos aços temperados que podem dificultar a sua usinabilidade, mas uma dureza muito baixa também dificulta a usinabilidade, porque se este for dúctil, também será plástico, no arrancamento de partículas o material tendê a aderir ao invés de ser arrancado. O aço SAE 1045 é classificado como aço de médio teor de carbono, contendo em sua composição 0,45% de carbono (CHIAVERINI, 2005).

2.1 Torneamento

Segundo Ferraresi (1969), torneamento é um processo mecânico de usinagem destinado à obtenção de superfícies de revolução com auxílio de uma ou mais ferramentas monocortantes.

Figura 01 – Operação de torneamento



Fonte: (DINIZ, 2000)

Pode se dizer que o processo de torneamento é executado com combinações de dois movimentos: avanço da ferramenta e a rotação da peça, o avanço da ferramenta pode ser ao longo do eixo da peça, neste sentido resulta na redução do seu comprimento, ou no sentido do

centro da peça, que resulta na diminuição do seu diâmetro, quando se utiliza da combinação dessas duas direções, obtém superfícies cônicas.

Segundo Ferraresi (1986), o torneamento pode ser classificado, quanto à finalidade, como:

Torneamento de desbaste: Operação de usinagem destinada a obter na peça a forma e dimensões próximas das finais, a condição de desbaste deve ser tão severa quanto permitirem a espessura do cavaco, a vida da ferramenta, a potência do motor e a própria peça.

Torneamento de acabamento: Operação de usinagem destinada a obter na peça as dimensões finais, acabamento superficial especificado, ou ambos, as condições de acabamento são leves, com profundidades reduzidas e avanços pequenos.

Para se obter faixas de tolerância dimensionais estreitas e bons acabamentos superficiais é necessário realizar um ou mais passos na condição de acabamento e em alguns casos, uma ferramenta especial de acabamento é usada, mas geralmente a mesma ferramenta é usada para os dois tipos de torneamento.

2.2 Características das máquinas CNC

O Controle Numérico Computadorizado (CNC) é um computador dedicado ao controle de movimentos dos eixos de uma máquina operatriz (CAPELLI, 2009).

O controle CNC influencia vários parâmetros tecnológicos tais como o acionamento da árvore, execução dos avanços, atuação dos equipamentos de mudança de ferramenta, suprimento de fluido de corte, entre outros, além do ajuste automático dos valores geométricos e tecnológicos, as máquinas CNC podem conter várias funções automáticas.

2.3 Parâmetros de Usinagem

Os parâmetros de velocidade de corte (V_c), avanço (f) e profundidade de corte (a_p), afetam a taxa de material removido e a vida da ferramenta no torneamento, pois um aumento de qualquer um desses parâmetros aumenta a taxa de remoção, mas diminui a vida da ferramenta, mas uma mudança em qualquer desses parâmetros tem um efeito igual na taxa de remoção, mas um efeito diferente sobre a vida da ferramenta. Para processos com movimento de rotação, a velocidade de corte é calculada pela equação abaixo.

$$V_c = \frac{\pi \times D \times n}{1000} \text{ [m/min]}$$

Tem se que:

D = Diâmetro inicial da peça [mm]

n = Número de rotação por minuto [rpm].

A velocidade de corte usada em torneamento tem um efeito à vida da ferramenta maior do que o avanço e a profundidade de corte, por isso sua seleção é mais crítica (TEDESCO, 2007). Velocidades altas também podem criar problemas relacionados à vibração, vida dos componentes da máquina, assim como a produção e segurança.

A profundidade de corte (ap) é limitada pela quantidade de material a ser removida, potência disponível na máquina, rigidez do sistema, capacidade da ferramenta, qualidade superficial e precisão requerida, devido a estas limitações a vida da ferramenta é menos afetada por variações, por outro lado, variação no avanço (f) tem efeito sobre a vida da ferramenta. Além disso, uma redução no avanço melhora a qualidade da superfície (TEDESCO, 2007).

Apesar das informações fornecidas pelos fabricantes de ferramentas, o mapeamento experimental é mais indicado para a determinação dos parâmetros ótimos de usinagem, cada operação possui uma combinação ótima de velocidade de corte (V_c) e avanço (f) que fornecem a maior produtividade para a qualidade requerida, quanto menor forem estes dois parâmetros, menor será o tempo efetivo de corte, mas maior será o desgaste das ferramentas (aumentando o tempo gasto com troca de ferramentas e ajuste), a determinação correta desses parâmetros viabiliza o processo.

2.4 Formações do Cavaco

A formação do cavaco influencia diversos fatores ligados à usinagem, tais como o calor gerado na usinagem, a penetração do fluido de corte, desgaste da ferramenta, o calor gerado, dentre outros, dentre os principais parâmetros de usinagem que influenciam na formação do cavaco estão a velocidade de corte (V_c), avanço (f) e profundidade de corte (ap). O cavaco absorve aproximadamente 75% do calor gerado, a ferramenta 18% e 7% vão para o material (peça) (TEDESCO, 2007).

Geralmente os cavacos são classificados por tipos e formas conforme ilustrado abaixo:

Figura 02 – Diferentes formas e tipos de cavacos

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FITA		HÉLICE					OUTROS		
FITA	EMAR- NHADO	HÉLICE PLANA	HÉLICE OBLIQUA	HÉLICE LONGA	HÉLICE CURTA	HÉLICE ESPIRAL	ESPIRAL	VÍRGULA	ARRANCA DOS
desfavorável			médio		favorável		médio		

Fonte: SUPERUSINAGEM, 2013.

2.5 Ferramentas de Corte

Para selecionar o material da ferramenta de corte deve-se considerar uma série de fatores, tais como o material a ser usinado, processo de usinagem, condição da máquina, forma e dimensões da ferramenta, custo do material da ferramenta, condição de usinagem e condição de operação. Atualmente as ferramentas mais utilizadas são feitas de metal duro ou aços-rápidos, estes materiais garantem a ferramenta boa tenacidade, elevada resistência ao desgaste e dureza a quente.

O aço rápido é um aço ferramenta de alta liga de tungstênio, molibdênio, cromo, vanádio, cobalto e nióbio (DINIZ, 2000). É um material tenaz, de elevada resistência ao desgaste e elevada dureza a quente podendo suportar temperaturas de corte de até 600°C, sua estrutura metalográfica no estado temperado é martensítica básica com carbonetos incrustado.

O metal duro este é o mais importante material para ferramentas utilizado na indústria moderna (FERRARESI, 1969). Este metal possui dureza a quente, resistência ao desgaste e tenacidade, é um produto da metalurgia do pó, também designado como carboneto de tungstênio sintetizado.

2.5.1 Classificação das Ferramentas de Metal Duro

A norma ISO 513/2004 classifica os metais duros em 6 grupos, que são representados pelas letras P, M, K, N, S e H, também classificadas por código de cores azul, amarelo, vermelho, verde, laranja e cinza, por exemplo, a classe P (azul) compreende as ferramentas para usinagem de aços e ferros-fundidos, geralmente é a base de Co e possui ampla combinação de carbonetos, qualquer que seja o tipo de classificação é feita de acordo com a aplicação do metal duro e dentro de cada tipo de classificação há também números que iniciam de 1 até 40 ou 50, o número 1, por exemplo, representa que é para acabamento com alta velocidade de corte, baixo avanço e pequena profundidade de corte e 50, por exemplo, representa desbaste sem acabamento, com baixas velocidades de corte, grandes profundidades de corte e altas cargas de cavacos (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION ISO 513, 2013).

2.6 Fluidos de Corte

As principais finalidades de se usar fluido no processo de usinagem são reduzir o atrito entre a ferramenta e o cavaco, expulsar o cavaco da região de corte, refrigerar a ferramenta e peça que está sendo usinada e melhorar o acabamento superficial da peça, atualmente estas vantagens que o fluido de corte traz para o processo de usinagem estão sendo questionada, devido aos efeitos negativos que ele traz para o meio ambiente e a saúde humana, inclusive algumas empresas já estão estudando outras alternativas para substituir o fluido de corte, em algumas empresas já está sendo aplicado o corte a seco.

Dentre os fluidos utilizados nos processos de usinagem o que mais se destaca é o óleo emulsionáveis (óleo solúvel), que tem como propriedades o alto calor específico, alta condutividade térmica e alto calor de evaporação, tem se então a excelente propriedade de refrigeração da água com propriedades lubrificantes e antioxidantes dos aditivos presentes no fluido de corte, tendo como resultado uma emulsão estável, chamada óleo solúvel ou óleo emulsionável (DINIZ, 2000).

2.7 Desgaste e Avarias da Ferramenta de Corte

É diverso o tipo de desgaste e avarias que ocorrem na ferramenta, durante o processo de usinagem ocorrem esforços mecânicos, vibrações e atrito, são avarias que levam a

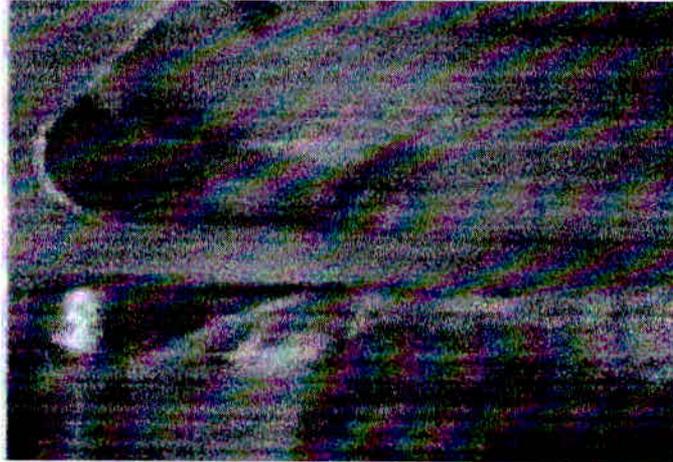
ferramenta de corte ao fim de sua vida, podendo ocorrer à quebra ou lascamento da aresta de corte e o desgaste progressivo (DINIZ, 2000).

Dentre os principais fenômenos de desgaste e avarias da ferramenta estão:

2.7.1 Deformação Plástica da Aresta de Corte

É o tipo de avaria da ferramenta, muitas vezes, a pressão aplicada à ponta da ferramenta somada à alta temperatura gera deformação plástica da aresta de corte. (DINIZ, 2000). Este tipo de avaria provoca deterioração do acabamento superficial e prejudica o controle do cavaco, se houver continuação no aumento desta deformação gera a quebra da aresta de corte. Este tipo de deformação pode ser evitado pelo emprego de uma ferramenta com maior dureza a quente e maior resistência à deformação plástica.

Figura 03 - Deformação plástica



Fonte: (TUNGALOY, 2008)

2.7.2 Trincas

As trincas são causadas pela variação dos esforços mecânicos ou pela variação brusca de temperatura, o calor que gera no processo de corte é em parte dissipado pela ferramenta, os principais fatores que geram variação dos esforços mecânicos ou variação de temperatura são: variação da espessura de corte, mau posicionamento da direção de acesso do fluido de corte e corte interrompido. Quando a interface pastilha-porta ferramenta atinge temperatura alta que tenta dilatar os dois corpos, o aço se dilata mais que o metal duro, gerando tensões na

interface que levam a trinca do material mais frágil, o metal duro (Diniz, 2000). Para evitar trincas na ferramenta é recomendável escolher uma ferramenta mais tenaz.

Figura 04 – Trinca

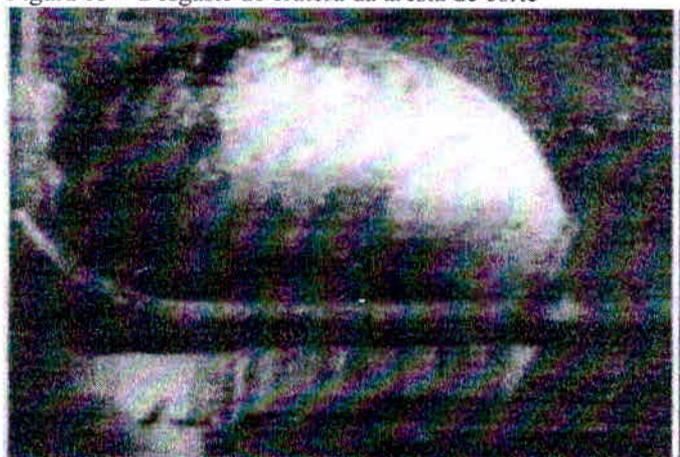


Fonte: (TUNGALLOY, 2008)

2.7.3 Desgaste da cratera

Este tipo de desgaste ocorre na superfície de saída da ferramenta é causado pelo atrito entre a ferramenta e cavaco, a medição da largura da cratera pode ser feita por um microscópico de oficina, mas normalmente é feita com uma lupa graduada, para medir a profundidade da cratera é feita geralmente por perfilômetros registradores especiais, quando se utiliza ferramenta de metal duro recoberta, pode não ocorrer o desgaste da cratera devido a sua eficiência contra a craterização.

Figura 05 – Desgaste de cratera da aresta de corte

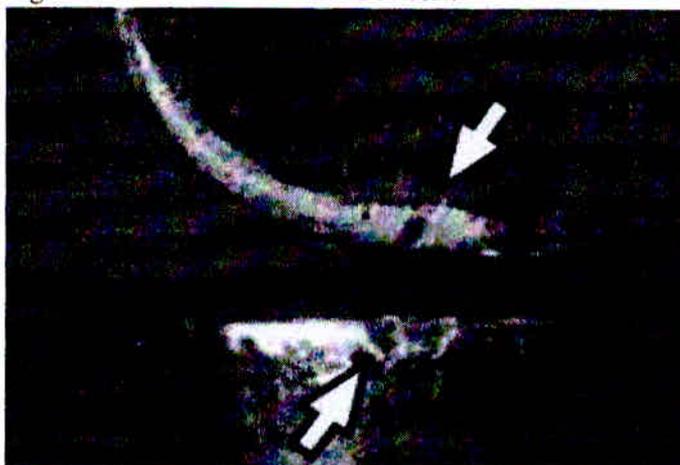


Fonte: (TUNGALLOY, 2008)

2.7.4 Lascamento

No lascamento a ferramenta pode perder partículas relativamente grandes, normalmente acontece quando o material da ferramenta é frágil ou quando a aresta de corte está pouco reforçada, o lascamento é mais comum no processo de torneamento com corte interrompido.

Figura 06 – Lascamento da aresta de corte

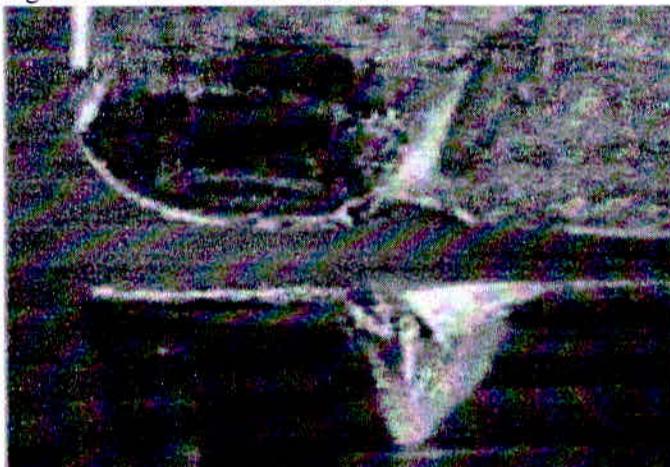


Fonte: (TUNGALOY, 2008)

2.7.5 Fratura da Aresta de Corte

É quando há uma ruptura da aresta cortante ou ponta da ferramenta, como foi visto anteriormente os desgastes e avarias da ferramenta, ao crescerem podem gerar a quebra da ferramenta, também tem outros fatores responsáveis por esta fratura como: carga excessiva sobre a ferramenta, ferramenta com alta dureza, proporcionando alta fragilidade ao choque mecânico, corte interrompido, velocidade e avanço inadequados, dentre outros, quando há quebra da ferramenta a torre pode sair da posição ocasionando danos ao porta ferramenta e ou perda da peça a que está sendo usinada, todos estes fatores ocasionam perda de tempo da máquina e operador, fatores estes que podem elevar o custo de fabricação reduzindo a margem de lucro da peça.

Figura 07 – Fratura da aresta de corte



Fonte: (TUNGALLOY, 2008)

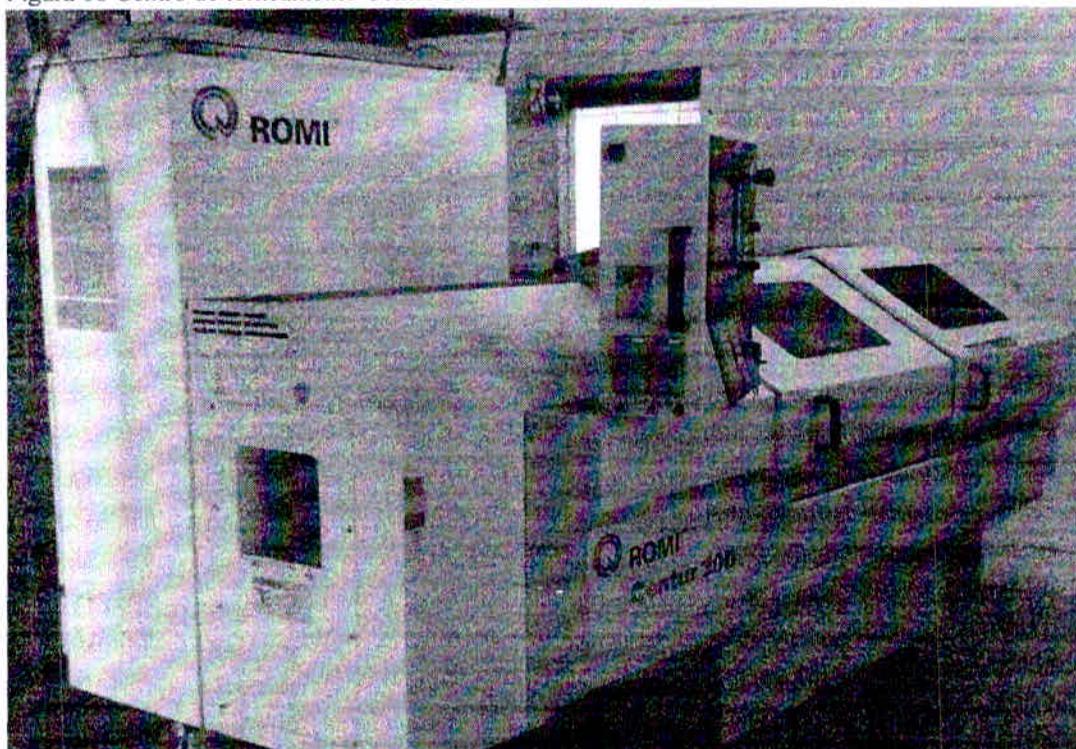
3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Primeiramente foram coletados os dados da máquina, em seguida foi feita uma análise da situação em que a máquina estava operando, após esta análise iniciou-se a aplicação do ensaio da ferramenta com modificações dos parâmetros e também foi feita a análise das falhas apresentadas e covaco que apresentou melhor formato com relação aos parâmetros e finalmente as considerações econômicas.

3.1 Máquina-ferramenta

Os ensaios foram realizados na empresa Ferramentaria Palmeira situada na cidade de Varginha, foi utilizado um centro de torneamento Centur 30D, dotado de um comando numérico Siemens, a máquina possui uma potência de 11,5 KW, rotação máxima de 3300 rpm na placa e rotação máxima de 4000 rpm no eixo árvore, com sistema de refrigeração de corte com motobomba de 5600 l/h, torre de 8 posições com travamento hidráulico e pré-set (zeramento da ferramenta) é feito pelo operador.

Figura 08 Centro de torneamento Centur 30D –ROMI



Fonte: O autor

3.2 Análises da Situação Atual das Condições de Operação da Máquina-ferramenta

Para o entendimento da origem das falhas, verificaram-se os parâmetros de operação atual da máquina e constatou que a pastilha estava operando fora do intervalo permitido pelo fabricante conforme a tabela 01.

Tabela 01 - Comparações entre parâmetros

Parâmetros indicados pelo fabricante	Parâmetros atuais de operação
$V_c = (50 - 150) \text{ m/min.}$	$V_c = 250 \text{ m/min.}$
$f = (0.14 - 0.30) \text{ mm/ver.}$	$f = 0.20 \text{ mm/ver.}$
$a_p = (1.00 - 4.00) \text{ mm}$	$a_p = 3.00 \text{ mm}$

Fonte: O autor

Pode-se perceber que apenas o avanço e profundidade de corte estavam dentro da faixa de tolerância especificado pelo fabricante, para a identificação das falhas foram selecionadas 10 últimas pastilhas utilizadas de o fabricante Iscar modelo WNMG 080408 – PP IC907 (Figura 10), que são utilizadas no processo de desbaste e acabamento de um eixo excêntrico, cujo material é o aço SAE 1045, cada pastilha possui 6 arestas de corte totalizando 60 arestas, foram observados os tipos de desgaste presentes nestas arestas de corte, tabela 02, a inspeção foi feita visualmente com um auxílio de uma lupa.

Tabela 02 - Quantificação de falha dos parâmetros atuais

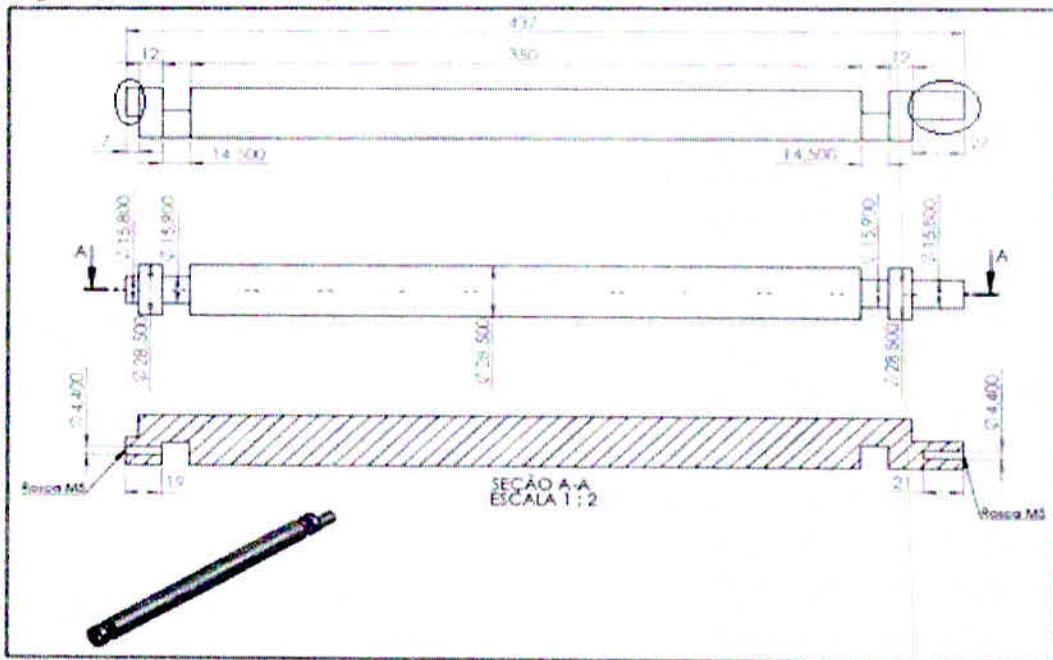
Qtd (%)	Falha apresentada
13.33	Deformação Plástica
8.33	Desgaste da Cratera
46.67	Fratura da Aresta de Corte
23.33	Lascamento
8.33	Trincas

Fonte: O autor

3.3 Ensaio Aplicado na Ferramenta

Foi realizado um teste comparativo em relação ao desempenho da ferramenta, para-se determinar a melhor condição de usinagem, as ferramentas foram utilizadas para o processo de desbaste e acabamento de um eixo excêntrico de aço SAE 1045 (Figura 09), estes eixos chegam cortados com 5mm de sobremetal no comprimento, primeiramente é usinado o canal, em seguida inicia o desbaste da ponta que é o processo em estudo, por ser excêntrico é necessário fixar o eixo em um gabarito de forma que as castanhas do torno CNC fixem o gabarito.

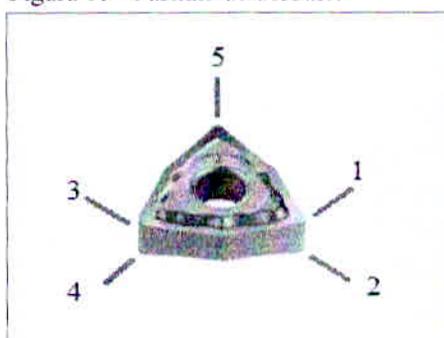
Figura 09 - Eixo excêntrico aço SAE 1045



Fonte: O autor

Para aplicar o ensaio foi utilizada uma aresta de corte para cada lote de peça, para identificar-se as arestas, foi seguida uma determinada numeração conforme a figura 10.

Figura 10 - Pastilha de desbaste



Fonte: O autor

O ensaio foi aplicado na segunda etapa de usinagem, ou seja, redução do diâmetro da ponta, até a medida solicitada. O ensaio foi feito com lotes de 150 peças, totalizando o ensaio com 450 peças, para uma velocidade de corte e vários avanços (Tabela 03), variando entre o parâmetro mínimo, médio e máximo especificado pelo fabricante da ferramenta, foi utilizado uma nova aresta de corte da mesma ferramenta, esta ferramenta foi selecionado devido a sua disponibilidade no estoque da empresa e também devido as especificações do fabricante que atende as necessidades do processo.

Tabela 03 - Divisão dos parâmetros para o ensaio

Pastilha 1		
Lote 1 (Aresta 1)	Lote 2 (Aresta 2)	Lote 3 (Aresta 3)
$f = 0.14$	$f = 0.22$	$f = 0.30$
$V_c = 150 \text{ m/min}$		
$A_p = 4\text{mm}$		

Fonte: O autor

3.4 Análises das Falhas

Para as análises das falhas nos insertos que foram submetidos ao ensaio foi utilizado uma lupa fornecida pelo fabricante da ferramenta, estas análises foram feito no interior da empresa, com o auxílio de profissionais experientes.

3.4.2 Estudo do Cavaco

Ao analisar o cavaco visualmente, consegue-se perceber pelo perfil e cor do cavaco se a ferramenta está no fim de sua vida útil e também da qualidade da usinagem, porque o cavaco apresenta muitas características, do processo de usinagem, com estas características consegue-se analisar os parâmetros que apresenta melhor desempenho.

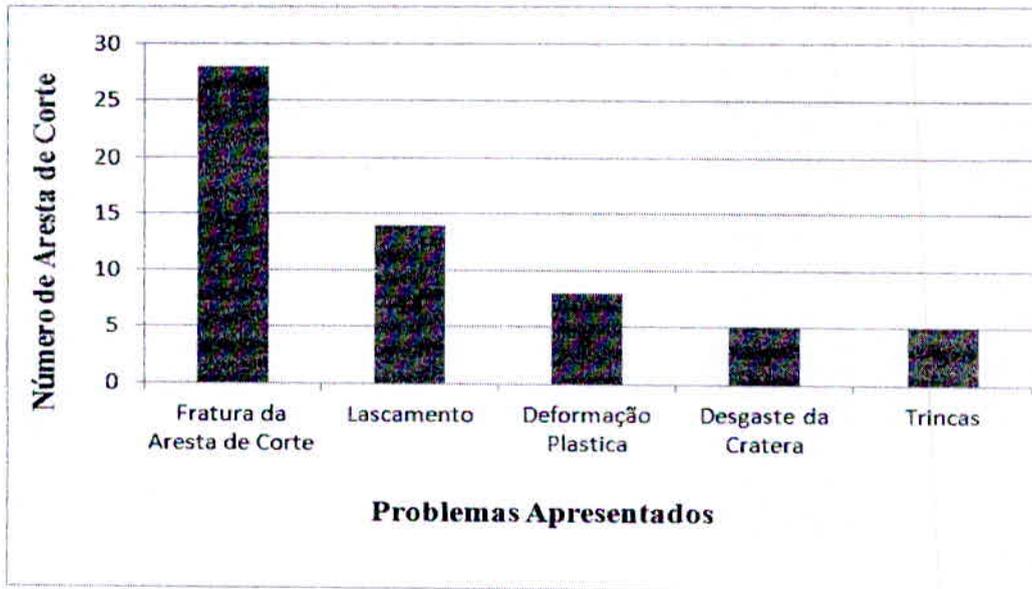
4 RESULTADOS

Após análise dos parâmetros atuais e da comparação com as especificações do fabricante, quantificou-se as falhas dos parâmetros que estavam sendo utilizados na máquina em seguida iniciou-se o experimento prático, abaixo estão descrito, todos os resultados obtidos e comparações com os parâmetros que estavam sendo utilizado.

4.1 Vida da Ferramenta na Condição atual de Operação

Depois de feito a análise da situação atual das condições de operação da máquina, pode-se quantificar as falhas presentes nas arestas de corte dos insertos, para melhor visualização destas falhas, foi elaborado um diagrama de pareto das falhas apresentadas conforme a figura 11.

Figura 11 - Diagrama de Pareto Análise das Falhas



Fonte: O autor

Observa-se que aproximadamente 46,67% das arestas de corte dos insertos estavam sofrendo falhas por fratura e 23,33% com lascamento da aresta de corte, totalizando que 70% das falhas foram por avarias não desejadas, isto significa que apenas 30% das arestas de corte estavam sofrendo o desgaste natural da ferramenta, o que é esperado para o processo.

A fratura da ferramenta ocorre com mais frequência devido à usinagem ser de corte interrompido e também devido a velocidade de corte (V_c) estar fora do parâmetro máximo estabelecido pelo fabricante da ferramenta, observa-se que a utilização de forma incorreta dos

parâmetros resultou em excessivas fraturas e avarias indesejadas da aresta de corte da ferramenta, gerando custos excessivos, uma vez que uma aresta sofre uma fratura, ocorre a inutilização parcial ou total das demais arestas e também demandando mais tempo para a produção das peças.

4.2 Análises dos Parâmetros Aplicado na Ferramenta

Nesta pastilha foram observados vários tipos de falhas, desde desgaste até o lascamento, como mostrado na tabela 04 que apresenta os resultados dos testes, o parâmetro mais crítico foi o avanço (f), enquanto que a velocidade foi um parâmetro secundário.

Pode-se observar que nas condições máximas testadas houve desgastes normais da ferramenta ou lascamento, como era esperado devido o processo de desbaste ser interrompido, por causa da excentricidade do eixo.

Tabela 04 - Parâmetros utilizados e falhas apresentadas

Vc (m/min)	Ap (mm)	f (mm/rev)	Falha apresentada
150	4	0.14	Desgaste
150	4	0.22	Desgaste
150	4	0.30	Lascamento

Fonte: O autor

Para baixos avanços de corte (f) de (0,14 e 0,22) ocorreu normalmente desgastes, para avanço (f) de 0,3 ocorreram normalmente desgaste ou lascamento, mesmo ocorrendo lascamento com a utilização dos parâmetros máximos, pode-se dizer que o processo se tornou eficiente uma vez que não houve quebra da aresta prejudicando as demais e redução do tempo de troca da ferramenta.

Para não ocorrer o lascamento deveria:

1. Reduzir o avanço
2. Aumentar o fluido de corte
3. Selecionar uma ferramenta com geometria mais robusta

4.3 Análises do Cavaco

Pode-se notar que com avanço (f) de 0.14 mm/rev, o cavaco não atingiu um formato ideal, formando cavacos em formato de filete, espiral contínuo e cônico, já com o avanço (f) de 0.22 e 0.30 mm/rev, o perfil do cavaco apresentado foi em forma de lascas e com formato mais quebradiço, formato ideal para o processo (Figura 12).

Figura 12 – Formato do cavaco para velocidade (V_c) de 150 m/min.

Avanço de 0.14 mm/rev. Avanço de 0.22 mm/rev. Avanço de 0.3 mm/rev.



Fonte: O autor

Pode-se observar que os melhores parâmetros para a melhor qualidade da usinagem foram de 0.30 mm/ver, esse perfil de cavaco em forma de vírgula ou lascas como é chamado é o mais desejado em todos os processos de torneamento que buscam como resultado o melhor parâmetro para o processo.

4.4 Considerações Econômicas

Para-se determinar os custos da ferramenta e da produção, deve-se determinar o tempo de corte da ferramenta e para isso é preciso determinar a rotação, que está diretamente relacionada à velocidade de corte e diâmetro da peça.

$$n = \frac{V_c \times 1000}{D \times \pi} \text{ [rpm]}$$

V_c = Velocidade de corte [m/min]

D = Diâmetro da peça [mm]

n = rotação [rpm].

Para a velocidade de corte de 150 m/min. temos:

$$n = \frac{150 \times 1000}{28.5 \times \pi} = 1675.31 \text{ rpm}$$

Para a velocidade de corte de 250 m/min. temos:

$$n = \frac{250 \times 1000}{28.5 \times \pi} = 2792.19 \text{ rpm}$$

Depois de obtido a rotação, pode-se calcular o tempo de corte para a ferramenta utilizada, como na equação abaixo.

$$tc = \frac{l}{f \times n} \times \frac{(df - d_o)}{2 \times a_p} \text{ [min]}$$

tc = Tempo de corte [min]

l = Comprimento da peça [mm]

f = Avanço [mm/rev.]

df = Diâmetro final da peça [mm]

d_o = Diâmetro inicial da peça [mm]

a_p = Profundidade de corte [mm].

Para o comprimento de 34 mm, avanço de 0.3 mm/rev., rotação de 1675.31 rpm, diâmetro final da peça de 15.8 mm, diâmetro inicial da peça de 28.5 mm e profundidade de 4 mm, temos:

$$tc = \frac{34}{0.3 \times 1675.31} \times \frac{(28.5 - 15.8)}{2 \times 4} = 0.1 \text{ min.} = 6 \text{ seg.}$$

Para o comprimento de 34 mm, avanço de 0.2 mm/rev., rotação de 2792.19 rpm, diâmetro final da peça de 15.8 mm, diâmetro inicial da peça de 28.5 mm e profundidade de 3 mm, temos:

$$tc = \frac{34}{0.2 \times 2792.19} \times \frac{(28.5 - 15.8)}{2 \times 3} = 0.12887 \text{ min.} = 7.732 \text{ seg.}$$

O custo de um processo de usinagem (K_p) é aquele incorrido diretamente no processo. Segundo (DINIZ, 2000), o custo é obtido da soma dos custos das constantes. Como descrito na equação abaixo.

$$K_p = C1 + \frac{tc}{60} \times C2 + \frac{tc}{T} \times C3 \text{ [R\$/peça]}$$

$C1$ = Constante independente da velocidade de corte em R\$/peça

$C2$ = Soma das despesas com mão de obra e com a máquina em R\$/hora

$C3$ = Constante de custo relativo à ferramenta

$T = K \times Vc^{-x}$, onde K e x são constantes do material para determinadas condições de usinagem.

Para um lote de 150 peças, temos um custo de matéria prima de R\$ 210,00, despesas de mão de obra e máquina temos R\$ 170,00 e custo relativo à ferramenta R\$ 24.96,00 com tempo de corte de 0.1 min., então para a fabricação da segunda etapa do processo no torneamento da ponta temos um custo de:

$$K_p = [210 + \frac{0.1}{60} \times 170 + \frac{0.1}{1} \times 24.96] / 150 = 1,41 \text{ R\$/peça}$$

Para um lote de 150 peças, temos um custo de matéria prima de R\$ 210,00, despesas de mão de obra e máquina temos R\$ 210,00 e custo relativo à ferramenta R\$ 74.88,00 com tempo de corte de 0.12887 min., então para a fabricação da segunda etapa do processo no torneamento da ponta temos um custo de:

$$K_p = [210 + \frac{0.12887}{60} \times 210 + \frac{0.12887}{1} \times 74.88] / 150 = 1,467 \text{ R\$/peça}$$

Tabela 05 – Comparativo de tempo, custo e rotação

Para um lote de 150 peças		
	Parâmetros anteriores	Parâmetros atuais
Tempo de corte (min)	19.33	15
Custo (R\$)	220,1	211,5
Rotação (rpm)	2792.19	1675.31

Fonte: O autor

Pode-se observar que para um lote de 150 peças, após a troca dos parâmetros alcançou um resultado de 28.88% de redução do tempo, 4% economia e 66.66% de redução da rotação, redução de 2 aresta de corte e padronização do processo.

5 CONCLUSÃO

Baseado no ensaio realizado, concluiu-se que o parâmetro crítico para as avarias indesejadas, causadas pelo processo, era a velocidade acima do máximo permitido pelo fabricante. Após os ensaios conseguiu-se determinar a melhor condição de usinagem, visto que a pastilha de metal duro por ter boa resistência ao desgaste e trabalhando com parâmetros corretos, durou três vezes mais. Pode-se observar que somente através do perfil do cavaco, considerado ideal para o processo de usinagem, pode confirmar os parâmetros ideais de usinagem do aço 1045. Após a realização dos cálculos, ficou explícito que houve 28.88% de redução do tempo, 4% de economia e 66.66% de redução da rotação.

Com a redução do tempo pode-se ganhar hora de máquina e operador, já com a economia do custo, a empresa pode investir em outras áreas ou até mesmo nos funcionários e com a redução da rotação houve a diminuição do ruído, causando melhor bem estar para os funcionários e também o aumento da vida útil da máquina.

Com este trabalho pode-se contribuir de forma ambientalmente correta para o planeta, pois uma vez que houve a diminuição da quantidade gasta de pastilha por peça, conseguiu-se reduzir a quantidade de energia elétrica gasta para a fabricação de uma pastilha que é alta, devido aos fornos e máquinas de elevada potência para sua fabricação.

REFERÊNCIAS

CAPELLI, Alexandre. **Automação industrial: controle do movimento e processos contínuos**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2009.

CHIAVERNI, Vicente. **Aços e Ferros Fundidos**. 7 ed. São Paulo: ABM, 2005.

DINIZ, Anselmo Eduardo; MARCONDES, Francisco Carlos; COPPINI, Nivaldo Lemos. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. São Paulo: Artliber, 2000.

FERRARESI, Dino. **Fundamentos da usinagem dos metais**. São Carlos, SP: Edgard Blucher, 1969.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, **Classificação e aplicação de metais duros para a usinagem com arestas de corte definidas - Denominação dos grupos principais e grupos de aplicação**. Norma ISO 513, 2013.

SUPERUSINAGEM. 2013. Disponível em:
<<http://superusinagem.blogspot.com.br/2011/03/cavacos.html>> Acesso em: 11 set. 2013.

TEDESCO, Marcelo Evandro. **Variação Dimensional e Microestrutural do Aço AISI 4140 em peças Usinadas por Torneamento**. (Dissertação de Mestrado). Universidade de Caxias do Sul, 2007.

TUNGALOY. **Catálogo Técnico**, 2008.