

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
TECNOLOGIA EM MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

FRANTHELIO VICTURIANO VERARDO
PABLCIO LINO CAMARGO DE ARAUJO

**ANÁLISE COMPARATIVA DA USINABILIDADE DOS AÇOS SAE 1045
E SAE 8620**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO
2015

FRANTHÉLIO VICTURIANO VERARDO
PABLCIO LINO CAMARGO DE ARAUJO

ANÁLISE COMPARATIVA DA USINABILIDADE DOS AÇOS SAE 1045 E SAE 8620

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação, do curso Superior de Tecnologia em Manutenção Industrial da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: Prof. Me. José Fernandes da Silva Neto

CORNÉLIO PROCÓPIO
2015



FOLHA DE APROVAÇÃO

Franthelio Victuriano Verardo

Pablicio Lino Camargo de Araujo

Análise comparativa da usinabilidade dos aços SAE 1045 e SAE 8620

Trabalho de conclusão de curso apresentado às 20:30 hrs do dia 16/06/2015 como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo em Manutenção Industrial no programa de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.



Prof. Me. José Fernandes da Silva Neto - Presidente (Orientador)



Prof. Me. Jackson Medeiros da Luz - (Membro)



Prof. Esp. Carlos De Nardi - (Membro)

Dedico este trabalho aos meus pais Ailton e Célia Verardo e a todos que ajudaram a concretizar este sonho.

Franthélio Victuriano Verardo

Dedico este trabalho a Deus que nos criou.

Aos meus pais Antônio (*in memoriam*) e Zenilda Araujo e a toda minha
família.

A todos aqueles que estiveram e estão próximos de mim, fazendo a vida
valer cada vez mais a pena.

Pablicio Lino Camargo de Araujo

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao nosso orientador Prof. Me. José Fernandes Silva Neto, pela sabedoria com que nos guiou nesta trajetória.

Aos nossos colegas de sala.

A Secretaria do Curso, pela cooperação.

Gostaríamos de deixar registrado também, o nosso reconhecimento à nossas famílias, pois acreditamos que sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

*“Bem aventurado o homem que acha sabedoria, e o homem
que adquire conhecimento.”*

(PROVÉRBIOS 3:13)

RESUMO

VERARDO, Franthelio Victuriano; ARAUJO, Pablicio Lino Camargo de. **Análise Comparativa da Usinabilidade dos aços SAE 1045 e SAE 8620.** 2015. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Tecnologia em Manutenção Industrial. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2015.

O processo de fabricação por usinagem é estudado através de fenômenos de formação de cavaco, esforços de corte, qualidade superficial do material usinado, mecanismos de desgaste de ferramenta e influência de parâmetros de corte e do tipo de material usado sobre essas variáveis. Neste contexto, o objetivo principal do nosso trabalho é fazer a comparação de rugosidade dos materiais SAE 1045 e SAE 8620, para analisar os parâmetros de rugosidade de cada tipo de material para assim compreender onde são mais bem empregados.

Palavras-chave: Fabricação. Usinabilidade. Materiais. SAE 1045. SAE 8620.

ABSTRACT

VERARDO, Franthelio Victuriano; ARAUJO, Pablicio Lino Camargo de. **Análise Comparativa da Usinabilidade dos aços SAE 1045 e SAE 8620**. 2015. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Tecnologia em Manutenção Industrial. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2015.

The understanding of a machining manufacturing process involves the study of phenomena chip formation, cutting forces, surface quality of the machined material, tool wear mechanisms and influence of cutting parameters and the type of material used on these variables. In this context, the main objective of our work is to compare roughness of materials SAE 1045 and SAE 8620, to analyze the roughness parameters of each type of material so as to understand where they are better used.

Keywords: Manufacture. Machinability. Materials. SAE 1045. SAE 8620.

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – MÉDIA DA RUGOSIDADE PARA 1600 rpm.....	62
GRÁFICO 2 – MÉDIA DA RUGOSIDADE PARA 800 rpm.....	62

LISTA DE TABELAS

TABELA 5.1 – Tabela de ensaio e variáveis utilizadas.....	50
TABELA 5.2 – Composição química do aço SAE 1045.....	57
TABELA 5.3 – Composição química do aço SAE 8620.....	57
TABELA 6.1 – Amostra do cavaco encontrado durante a usinagem.....	58
TABELA 6.2 – Resultados do aço SAE 1045.....	61
TABELA 6.3 – Resultados do aço SAE 8620.....	61

LISTA DE SIGLAS

DIN	Deutsches Institut für Normung – ALE
SAE	Society of Automotive Engineers – EUA
CNC	Comando Numérico Computadorizado
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ISO	Organização Internacional de Normalização

LISTA DE ABREVIATURA

%	Porcentagem
MnS	Sulfeto de manganês
S	Enxofre
Mn	Manganês
Pb	Chumbo
Ca	Cálcio
Se	Selênio
Te	Telúrio
Bi	Bismuto
µm	Mícron
Fu	Força resultante
Fc	Força de corte
Ff	Força de avanço
Fp	Força passiva
Vc	Velocidade de corte
Nc	Potência de corte
Nf	Potência de avanço
Ne	Potência efetiva de corte
C	Carbono
Cr	Cromo
W	Tungstênio
m/min	metros por minuto
Ra	Rugosidade média
Lm	Comprimento medido
Ry	Rugosidade máxima
Rz	Rugosidades parciais
mm	Milímetro
Rpm	Rotações por minuto
Hp	HorsePower
ap	Profundidade de corte
f	Avanço

Vc	Velocidade de corte
Rot.	Rotações
Ac	Cut off
mm/s	Milímetros por segundo
mm/rot	Milímetros por rotação
TiCN	Carbonitreto de titânio
TiN	Nitreto de titânio
HB	Dureza Brinell
HRC	Dureza Rockwell C
Si	Silício
Ni	Níquel
Mo	Molibdênio

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVO	16
2.1 OBJETIVO GERAL	16
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO.....	16
3 JUSTIFICATIVA	17
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
4.1 USINAGEM.....	18
4.1.1 Usinabilidade	19
4.1.2 Principais Tipos de Usinagem na Indústria.....	20
4.2 EFEITO DOS ELEMENTOS DE LIGA NA USINABILIDADE DE AÇOS	27
4.3 O PROCESSO DE TORNEAMENTO	29
4.3.1 Tipos de Equipamentos	32
4.3.2 Movimentos Ativos na Usinagem.....	35
4.3.3 Forças e potências no processo de torneamento	35
4.4 FERRAMENTA DE CORTE	37
4.4.1 Materiais para Ferramentas.....	38
4.4.2 Escolha do Material da Ferramenta	39
4.4.3 Ferramentas para Torneamento	39
4.4.4 Vida, Desgaste e Avaria da Ferramenta	40
4.5 PROCESSO DE FORMAÇÃO DE CAVACO	42
4.5.1 Tipos de Cavaco	42
4.5.2 Formas de Cavaco.....	43
4.6 PARÂMETROS DE RUGOSIDADE	44
5 MATERIAIS E MÉTODOS	47
5.1 PREPARAÇÃO DO CORPO DE PROVA	47
5.2 ENSAIOS DE USINAGEM	49
5.3 METODOLOGIAS DO ENSAIO	50
5.4 EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO.....	51
5.4.1 Rugosímetro	51
5.4.2 Paquímetro	52
5.5 FERRAMENTA DE CORTE	53
5.6 DEFINIÇÕES DOS AÇOS SAE 1045 E SAE 8620.....	56
5.6.1 Aço SAE 1045: Composição e Utilização	56

5.6.2 Aço SAE 8620: Composição e Utilização	57
6 ANÁLISE E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	58
6.1 CAVACO.....	58
6.2 RUGOSIDADE	60
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS....	63
7.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
7.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	64
REFERÊNCIAS.....	65

1 INTRODUÇÃO

Segundo a norma DIN 8580, usinagem são todos os processos de fabricação onde ocorre a remoção de material sob forma de cavaco.

Operações do processo de usinagem possuem grande aplicação, em diversos ramos industriais, mas para compreendermos melhor essas operações, se faz necessário um levantamento sobre uma série de características desse processo.

É difícil citar algum produto que não requeira, direta ou indiretamente, o uso de uma operação de usinagem em algum momento em sua manufatura. A grande utilização dos processos de usinagem se deve principalmente à variedade de geometrias possíveis de ser usinadas, com alto grau de precisão dimensional e acabamento superficial, e ao fato de não haver alteração nas propriedades do material.

Estas características fazem com que, na maioria dos casos, os processos de usinagem não possam ser substituídos por nenhum outro processo de fabricação, sendo muitas vezes usados com o intuito de prover uma melhora do acabamento superficial ou tolerância dimensional do produto manufaturado por outros processos.

Com este trabalho, visamos analisar a usinabilidade do aço SAE 1045 com o aço SAE 8620 sem a utilização de fluido de corte, tendo em vista que ambos são materiais aplicados dentro das indústrias mecânicas e áreas afins.

Esta comparação será realizada através da utilização de um torno convencional universal, onde observaremos o acabamento superficial no âmbito quantitativo observado através do uso de um rugosímetro.

Com esta pesquisa pretendemos demonstrar e especificar a melhor forma de trabalho, estrutura e utilização dos aços, para que no nosso dia a dia, saibamos quais os critérios utilizados para a escolha e aplicação, tendo em vista que na maioria das vezes desconhecemos o porquê da escolha deste tipo de material e onde é aplicado.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

Comparar a usinabilidade e rugosidade dos materiais: SAE 1045 com o SAE 8620 sem uso de lubrificantes.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Executar a operação de usinagem pelo processo de torneamento sem uso de lubrificantes e comparar:

- Rugosidade e acabamento na superfície usinada;
- Tipos e formas de cavacos;
- Possíveis anomalias durante o processo.

Este estudo possuirá os mesmos parâmetros de usinagem. Dessa forma, será utilizada a mesma ferramenta de corte, o mesmo torno convencional e a inexistência de lubrificantes nos dois processos.

3 JUSTIFICATIVA

O aço é um material muito utilizado pelas indústrias e seus segmentos, principalmente pelas usinas e indústrias automotivas. Na análise dos materiais SAE 8620 e SAE 1045, visamos mostrar que o aço SAE 1045 é muito utilizado nas usinas e em outros locais e máquinas que não exigem uma grande força de trabalho por ele ser um aço com maior porcentagem de carbono e ser mais frágil, ou seja, com menor resistência ao choque, ao atrito e a tração.

Já o aço SAE 8620 é um aço muito utilizado em empresas automotivas e em máquinas, por ser um aço com a adição de seis componentes químicos na sua produção e com uma porcentagem menor de carbono que, é o principal componente dos aços. Com isto o material resiste a uma força maior de trabalho por ser mais dúctil e tenaz.

Ainda assim, o aço SAE 1045 é mais usado que o aço SAE 8620. No trabalho procuramos apresentar resultados a fim de demonstrar em quais parâmetros de usinagem o aço SAE 8620 obteve melhores resultados comparado ao SAE 1045 obtendo acabamento superficial, tendo em vista que o aço SAE 8620 tem melhor aplicação para cementação e maior resistência mecânica.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 USINAGEM

Usinagem é um termo que abrange processos de fabricação por geração de superfícies através da retirada de material, conferindo dimensões e formas às peças. Uma definição bastante ampla do termo usinagem foi apresentada por *Ferraresi (1970)*, que diz que “como operações de usinagem entendemos aquelas que, ao conferir a peça, a forma, as dimensões ou acabamento, produzem cavaco”.

Comparando outros processos de fabricação, a usinagem apresenta algumas desvantagens como, por exemplo, gasto maior com matéria-prima, a baixa velocidade de produção. Qualquer aprimoramento no sentido de aumentar a produção de um processo de usinagem representa um ganho significativo. A segunda desvantagem dos processos de usinagem diz respeito aos altos custos envolvidos. Estes custos se devem ao uso de maquinário e ferramental caro e a necessidade de mão de obra altamente especializada, pois o nível de conhecimento requerido na programação e operação das modernas máquinas de comando numérico faz necessário operador com certo grau de especialização.

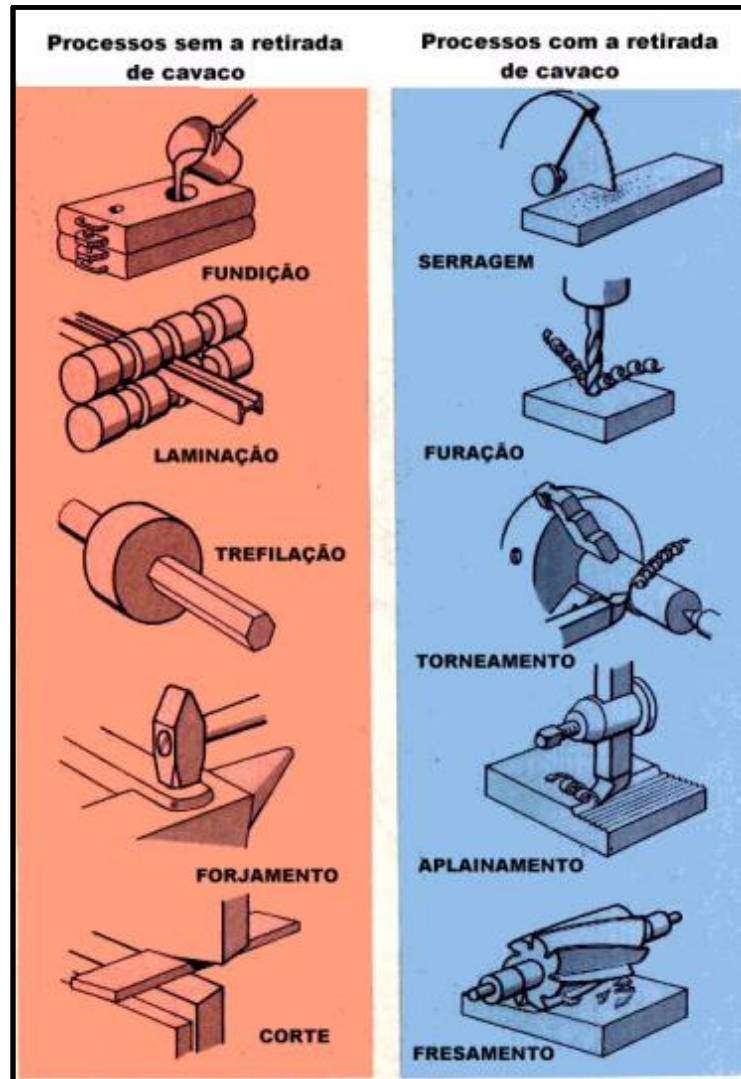


Figura 4.1 – Processos de Fabricação
 Fonte: Conceitos de Usinagem – Prof. Fernando Penteadó

4.1.1 Usinabilidade

Usinabilidade pode ser definida como uma grandeza tecnológica que expressa, por meio de um valor numérico comparativo, um conjunto de propriedades de usinagem, de um material em relação a outro tomado como padrão. Pode-se entender usinabilidade como grau de dificuldade de se usinar um determinado material.

As propriedades de usinagem de um metal expressam seu efeito sobre as grandezas importantes ao processo de usinagem como, por exemplo: vida da

ferramenta; acabamento superficial da peça; esforço de corte; temperatura de corte; produtividade; e características do cavaco.

Usinabilidade está relacionado basicamente do estado metalúrgico da peça, dureza, propriedade mecânica do material, composição química e operações anteriores efetuadas sobre o material. Porém outros fatores devem ser levados em conta, pois não depende somente das condições próprias dos materiais: Condições de usinagem, características da ferramenta, condições de refrigeração, fixação da peça/ferramenta e os tipos de trabalhos executados (operação empregada, condições de entrada e saída da ferramenta, corte contínuo ou intermitente). Um material pode ter um valor de usinabilidade baixo em certas condições de usinagem e um valor maior em outras condições de usinagem.

4.1.2 Principais Tipos de Usinagem na Indústria

Torneamento é um processo de usinagem onde se utiliza uma ferramenta cortante para se obter determinadas superfícies. A peça gira em torno do eixo principal de rotação da máquina e a ferramenta se desloca simultaneamente. A trajetória da ferramenta pode ser retilínea ou curvilínea.

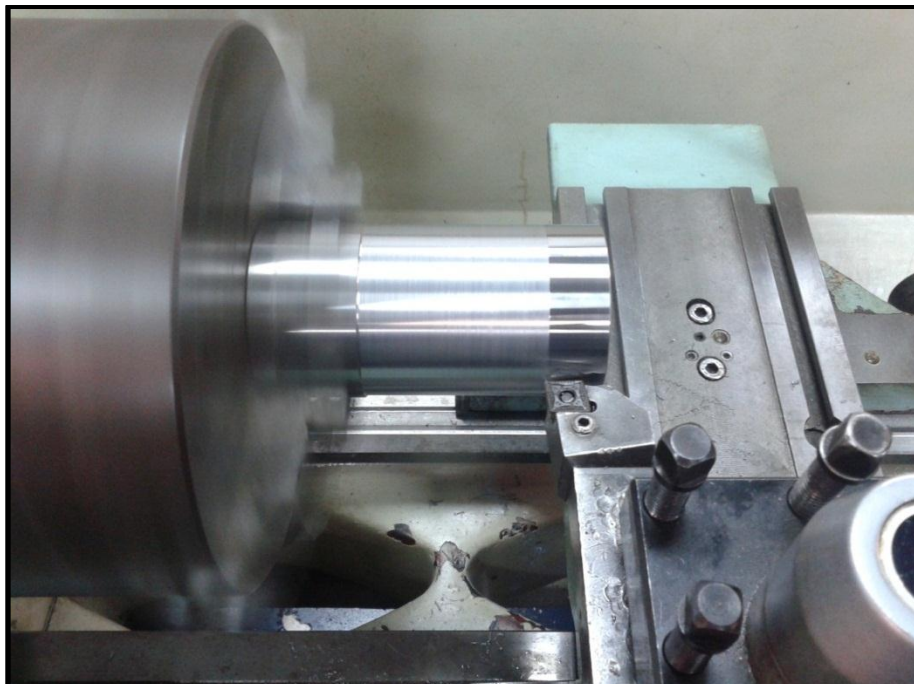


Figura 4.2 – Operação de Torneamento
Fonte: Autoria Própria.

Fresamento consiste numa operação de usinagem em que o metal é removido por uma ferramenta giratória, denominada fresa, de múltiplos gumes cortantes. Cada gume remove uma pequena quantidade de metal em cada revolução do eixo onde a ferramenta é fixada. A máquina ferramenta que realiza a operação é denominada fresadora. A operação propicia a usinagem de superfícies apresentando qualquer orientação, porque tanto a peça quanto a ferramenta podem se movimentar em mais de uma direção, ao mesmo tempo.



Figura 4.3 – Operação de Fresamento
Fonte: Autoria Própria.

Furação tem por objetivo a geração de furo, através do movimento relativo de rotação entre a peça e a ferramenta monocortante, denominada broca. A retirada de material é garantida pelo movimento relativo de avanço entre a peça e a ferramenta, que ocorre segundo uma trajetória coincidente ou paralela ao eixo longitudinal da ferramenta.



Figura 4.4 – Processo de Furação
Fonte: Usinagem Brasil (2015)

Retificação é um processo de usinagem mecânica onde a remoção de cavaco do material é estabelecida pelo contato entre a peça e uma ferramenta abrasiva (rebolo), que gira em alta rotação, enquanto que a peça tem uma velocidade menor. A retificação é também um método versátil de remoção mecânica de material que confere à peça alta precisão geométrica e dimensional. A retificação é o principal processo industrial dos últimos tempos, e corresponde entre 20% a 25% das despesas totais em operações realizadas por máquinas ferramentas nos países industrializados.



Figura 4.5 – Processo de Retífica
Fonte: Autoria Própria

Mandrilamento é um processo mecânico de fabricação, auxiliado por uma ou mais ferramentas em que consiste na usinagem de superfícies de revolução. Em função da operação a ser realizada, a ferramenta de corte é fixada a uma barra de mandrilar em certo um ângulo. O processo de trabalho é feito com ferramentas fixadas na barra de mandrilar chamada mandrilamento, mandrilagem, ou ainda, broqueamento. Dependendo do trabalho em operação a mandrilagem pode ser: cilíndrica, cônica, radial ou esférica.



Figura 4.6 – Processo de Mandrilamento
Fonte: Sandvik Coromant 2015

Brunimento é um processo mecânico de usinagem empregado no acabamento de peças para corrigir as tolerâncias dimensionais e melhorar a precisão das superfícies internas. Este processo é realizado com uma ferramenta de retificação (brunidor) com baixas velocidades onde a ferramenta gira e se desloca axialmente descrevendo uma trajetória helicoidal. Este movimento formam sulcos, retendo óleo, diminuindo o atrito e melhorando o deslizamento das peças.

A grande vantagem do brunimento é a redução do consumo de óleo lubrificante e a remoção de ovalização, mas seu maior custo está relacionado com a mão de obra.

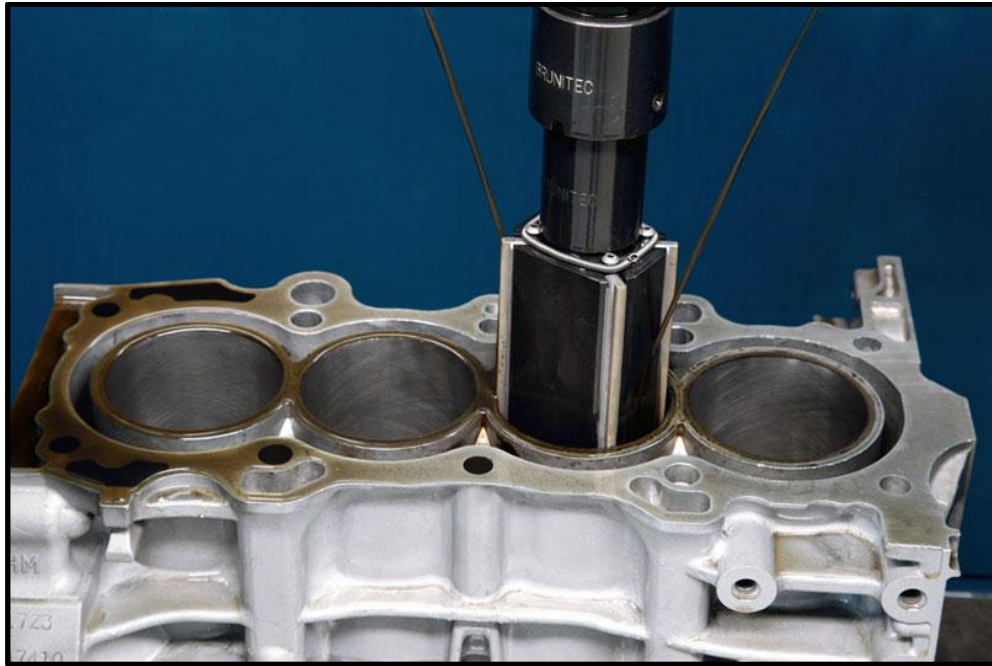


Figura 4.7 – Processo de Brunimento
Fonte: Brunitec 2015

Serramento ou corte serra é um processo mecânico de usinagem que consiste em seccionar o material com o auxílio de uma ferramenta multicortante de espessura pequena. Este processo por ser retilíneo ou circular onde a ferramenta executa o movimento e a peça se desloca ou vice-versa.



Figura 4.8 – Serra Fita
Fonte: Autoria Própria

Roscamento é um processo destinado à obtenção de filetes, por meio da abertura de um ou vários sulcos helicoidais de passo uniforme, em superfícies cilíndricas ou cônicas de revolução. Para tanto, a peça ou a ferramenta gira e uma delas se desloca simultaneamente segundo uma trajetória retilínea paralela ou inclinada ao eixo de rotação.



Figura 4.9 – Rosqueadeira
Fonte: RWO locações 2015

Aplainamento é um processo destinado à obtenção de superfícies regradas, geradas por um movimento retilíneo alternativo da peça ou da ferramenta. O aplainamento pode ser horizontal ou vertical. Quanto à finalidade, as operações de aplainamento podem ser classificadas ainda em aplainamento de desbaste e aplainamento de acabamento.



Figura 4.10 – Plaina de Mesa
Fonte: HK Máquinas 2015

Alargamento é um processo destinado ao acabamento de furos cilíndricos ou cônicos, com auxílio de ferramenta geralmente multicortante. Para tanto, a ferramenta ou peça giram e a ferramenta ou a peça se deslocam segundo uma trajetória retilínea, coincidente ou paralela ao eixo de rotação da ferramenta.

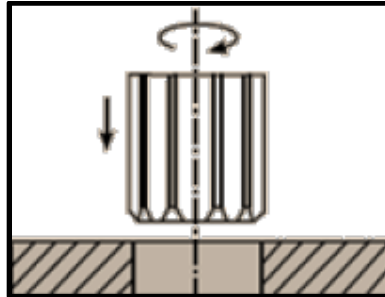


Figura 4.11 – Alargamento

Fonte: Chasqueweb apostila de usinagem 2015

Rebaixamento é um processo destinado à obtenção de uma forma qualquer na extremidade de um furo. Para tanto ferramenta ou a peça giram e a ferramenta ou peça se deslocam segundo uma trajetória retilínea, coincidente ou paralela ao eixo de rotação da ferramenta.

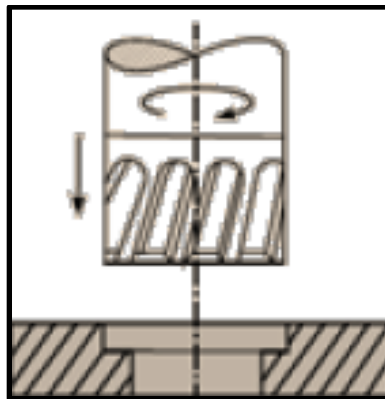


Figura 4.12 – Rebaixamento

Fonte: Chasqueweb apostila de usinagem 2015

4.2 EFEITO DOS ELEMENTOS DE LIGA NA USINABILIDADE DE AÇOS

De modo geral, os elementos de liga permitem certo controle sobre as propriedades do material, por vezes condicionado a outras variáveis como tratamentos térmicos e mecânicos. Os efeitos decorrentes da adição de alguns desses elementos nas propriedades dos aços são mais estudados e divulgados,

devido especialmente a seu uso frequente em projetos. No caso do efeito de adição de elementos de liga na usinabilidade dos aços, alguns elementos possuem pouca documentação, especialmente devido ao “segredo industrial” envolvido na maioria dos estudos.

Alguns elementos adicionados aos metais, e seus efeitos na usinabilidade são:

Enxofre: adicionado ao aço em teores que costumam variar entre 0,08% e 0,13% em massa, podendo chegar, em algumas classes de aço, a 0,35%. O enxofre interage com o manganês, resultando na formação de precipitados de sulfeto de manganês (MnS). O MnS causa o aumento da usinabilidade dos materiais devido aos seguintes fatores:

- Ocorrência de uma camada de MnS, que adere à superfície de saída da ferramenta, reduzindo as forças de corte através da redução do atrito entre cavaco e ferramenta;
- Aumento na vida da ferramenta, através da proteção oferecida à aresta de corte e à superfície de saída pela camada de MnS, que diminui o desgaste abrasivo e difusivo; Redução das forças de corte através da diminuição da resistência ao cisalhamento do material.

De todos os aditivos usados para gerar aumento na usinabilidade, o enxofre é o mais barato e um dos mais amplamente usados. Seu uso, porém acarretam certos efeitos nocivos, como a deterioração das propriedades mecânicas, plasticidade a quente e resistência à corrosão do material usinado. Logo sua aplicabilidade se condiciona principalmente a uma análise detalhada de custos de usinagem.

Chumbo: adicionado em teores que variam de 0,1% a 0,35% em massa, o chumbo melhora a usinabilidade dos aços devido à formação de inclusões que facilitam a quebra do cavaco, ao efeito lubrificante que gera na superfície de saída da ferramenta e a uma proteção física das superfícies de ferramenta potencialmente desgastadas.

Quanto às propriedades do material, a adição de chumbo causa alterações mínimas nas tensões de escoamento e ruptura, bem como na ductilidade e resistência à fadiga.

Apesar de excelente no que diz respeito ao aumento da usinabilidade com um mínimo dano as demais propriedades, o uso de chumbo como aditivo nos metais tem diminuído gradativamente, pois, devido a sua elevada toxicidade, cada vez mais novas leis ambientais restringem a produção destes aços:

Manganês: Quando adicionado em combinação com enxofre, forma o sulfeto de manganês (MnS), cujo resultado foi descrito anteriormente. Porém, na ausência de enxofre, causa diminuição na usinabilidade devido ao aumento causado na dureza do material.

Cálcio: a desoxidação do aço com cálcio durante a fundição é uma técnica recente que leva a uma melhora na usinabilidade, e apresenta uma vantagem indiscutível em relação ao uso de outros aditivos: a de não causar nenhuma alteração nas propriedades do material, motivo pelo qual seu uso se dá principalmente em ações estruturais.

Selênio e Telúrio: a adição de selênio e telúrio, cujas proporções típicas são de 0,04% a 0,05% em massa para cada elemento, é geralmente feita em combinação com enxofre e chumbo. Estes elementos induzem a formação de inclusões esféricas de sulfetos, eliminando os efeitos negativos causados por estes nas propriedades mecânicas. Aços contendo estes elementos não são facilmente encontrados devido ao custo elevado.

Bismuto: muitas vezes utilizado como substituto do chumbo (possui densidade e peso molecular semelhante) forma inclusões metálicas, insolúveis no estado sólido, que beneficiam a usinabilidade, com a vantagem de não ser tóxico.

4.3 O PROCESSO DE TORNEAMENTO

Torneamento é um processo de usinagem onde se utiliza uma ferramenta cortante para obterem determinadas superfícies. A peça gira em torno do eixo principal de rotação da máquina e a ferramenta se desloca simultaneamente. A trajetória da ferramenta pode ser retilínea ou curvilínea.

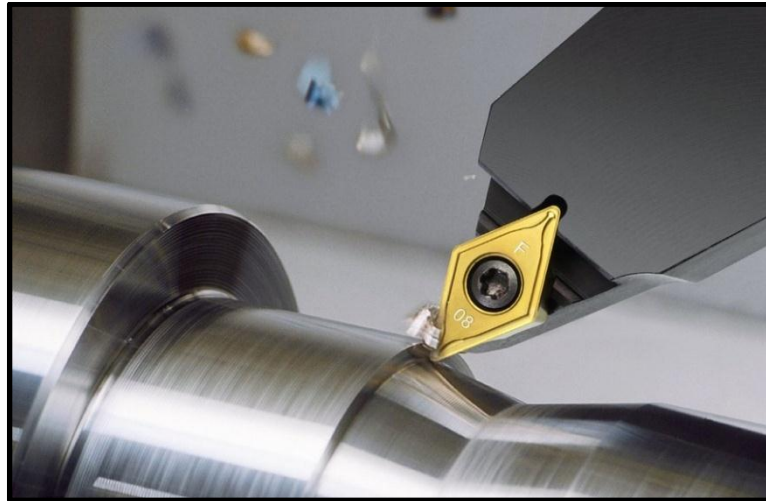


Figura 4.13 – Processo de torneamento
Fonte: Sant Marie Automotive 2015

Este processo é utilizado na fabricação de diversos componentes com o objetivo de atender a demanda de diversos setores da indústria metal mecânica. Sendo assim, a exigência por peças cada vez mais complexas, com tolerâncias dimensionais menores e boa qualidade superficial, tem tornado este processo cada vez mais preciso.

O torneamento é a combinação de dois movimentos: rotação da peça e movimento de avanço da ferramenta e em algumas aplicações, a peça pode ser estacionária, com ferramenta girando ao seu redor para remoção de material.

O torneamento tradicional é usado para a fabricação de peças cilíndricas de corte contínuo ou interrompido em diferentes tipos de materiais. O corte se dá por meio da rotação da peça em seu próprio eixo fixada na máquina, o qual, em contato com a ferramenta, lhe dá forma e dimensão desejada e como se sabe os parâmetros de corte é responsável pelos movimentos ativos que, ao ocorrerem promovem a remoção do material. (Diniz, 2008).

Torneamento cilíndrico é o processo de torneamento em que a ferramenta se desloca segundo a trajetória paralela ao eixo principal da máquina. Esse processo pode ocorrer interno ou externo a peça (figura 4.14).

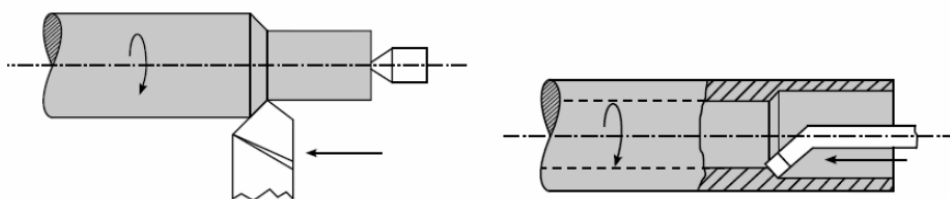


Figura 4.14 - Torneamento cilíndrico externo e interno
Fonte: Processos de usinagem I 2015

Quando se deseja obter um entalhe perpendicular à rotação do eixo denomina-se sangramento axial e quando se deseja abrir um canal radialmente ao sentido de rotação da máquina denomina-se sangramento radial (figura 4.15).

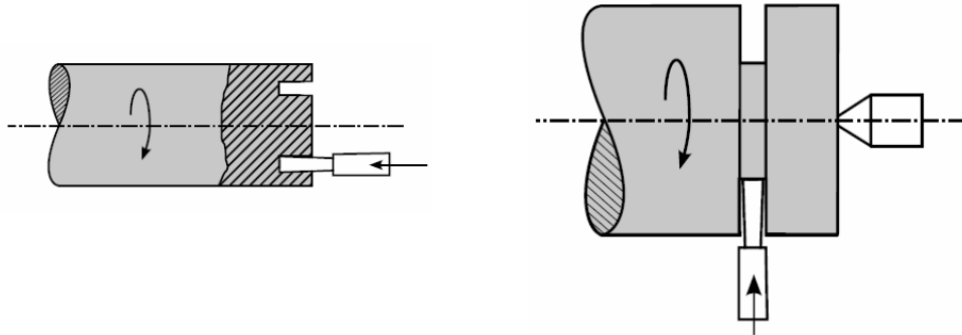


Figura 4.15 – Sangramento axial e radial respectivamente.
Fonte: Processos de usinagem I 2015

Torneamento Cônico é o processo em que a ferramenta percorre sua trajetória inclinada em relação ao eixo principal, podendo ser interna ou externa (figura 4.16).

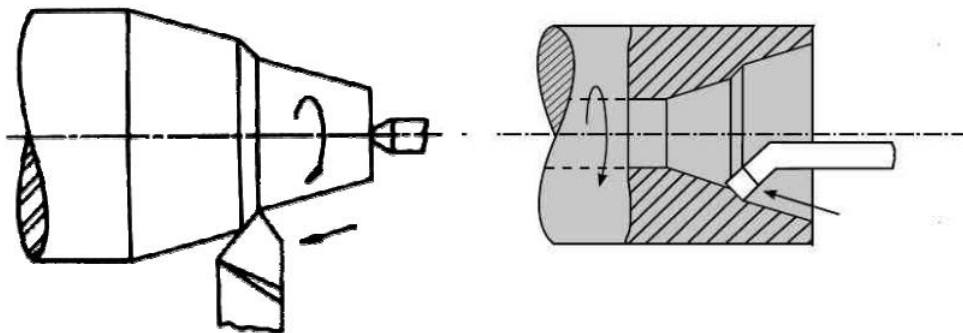


Figura 4.16 – Torneamento cônico externo e interno respectivamente
Fonte: Processos de usinagem I 2015

Faceamento é o processo em que a ferramenta se desloca segundo a trajetória perpendicular ao eixo de rotação da máquina visando obter uma superfície plana.

Perfilhamento é o processo executado para a obtenção de uma forma definida, determinada pelo perfil da ferramenta.

4.3.1 Tipos de Equipamentos

A usinagem começou em tempos remotos com processos totalmente manuais e hoje em dia evoluiu muito com o uso de máquinas de alta precisão, por exemplo, as chamadas CNC (Comando Numérico Computadorizado), que são controladas por computadores, a precisão dessas máquinas chegam a ser tão pequena quanto a um micrão (1 μ m).

Os tipos de torno mais conhecidos são:

- Torno Mecânico Horizontal;
- Torno Mecânico Vertical;
- Torno Platô;
- Torno CNC;
- Torno Automático;
- Torno Revolver;
- Torno Copiador.



Figura 4.17 – Torno Mecânico Horizontal
Fonte: Nardini 2015



Figura 4.18 – Torno Mecânico Vertical
Fonte: Galeão SP 2015



Figura 4.19 – Torno Platô
Fonte: Cimm 2015



Figura 4.20 – Torno CNC
Fonte: Mil Mecânica 2015



Figura 4.21 – Torno Automático
Fonte: Solo Stocks 2015



Figura 4.22 – Torno Revolver
Fonte: RB Usinagem 2015



Figura 4.23 – Torno Copiador
Fonte: Sepeoli 2015

4.3.2 Movimentos Ativos na Usinagem

Segundo Diniz (2008, p. 14) movimentos ativos é aqueles que promovem a remoção de material. São eles:

Movimento de corte: é aquele entre a peça e a ferramenta que força o material da peça a escoar sobre a face da ferramenta, proporcionando a formação de cavaco, e sem que aja a ocorrência concomitante do movimento de avanço, provoca remoção de cavaco durante uma única rotação.

Movimento de avanço: é o movimento relativo entre a peça e a ferramenta o qual, combinado ao movimento de corte, proporciona uma remoção contínua do cavaco e conseqüentemente formação de uma superfície usinada.

Movimento efetivo de corte: é o movimento resultante dos movimentos de corte e de avanço. Quando o movimento de avanço é contínuo, o efetivo é o resultante da composição dos movimentos de corte e de avanço. Quando é intermitente, o movimento efetivo é o próprio movimento de corte.

4.3.3 Forças e potências no processo de torneamento

Segundo Santos (2007), a força de usinagem é responsável pelo colapso da ferramenta de corte, por deformação plástica da aresta de corte, e também influência no desenvolvimento de outros mecanismos e processos de desgaste. A figura 4.24 exhibe os principais componentes da força de usinagem no torneamento.

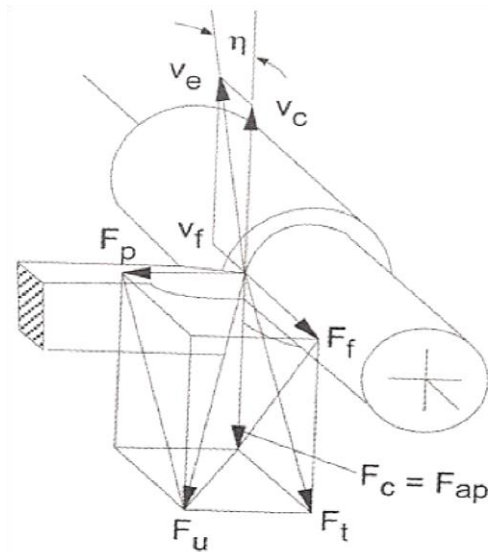


Figura 4.24 – Componente de força de usinagem por torneamento
Fonte: Santos (2007).

As componentes são representadas pela seguinte equação vetorial.

$$\vec{F}_u = \vec{F}_c + \vec{F}_f + \vec{F}_p$$

Ainda segundo Santos (2007), os fatores que contribuem para o aumento ou diminuição da força de usinagem são:

- Material da peça
- Material da ferramenta
- Velocidade de corte
- Avanço e profundidade de corte
- Geometria da ferramenta
- Estado de afiação da ferramenta
- Uso de fluido de corte

As potências de usinagem resultam dos produtos das componentes de força e de velocidade, sendo assim podemos estabelecer as seguintes relações (Santos 2007):

Potência de corte é dada pela equação:

$$N_c = F_c * V_c$$

Potência de avanço é representada pela equação:

$$N_f = F_f * V_C$$

Potência efetiva de corte é indicada pela equação:

$$N_e = N_C + N_f$$

- **F_u**: Força resultante;
- **F_f**: Força de Avanço;
- **F_p**: Força Passiva;
- **F_c**: Força de corte;
- **N_c**: Potência de Corte;
- **N_f**: Potencia de Avanço;
- **N_e**: Potência efetiva de corte;
- **V_c**: Velocidade de corte.

A potência consumida na operação é medida exatamente no motor elétrico da máquina operatriz. Através da corrente elétrica consumida, calcula-se a potência efetiva (Santos, 2007).

4.4 FERRAMENTA DE CORTE

A ferramenta de corte foi um dos primeiros instrumentos a ser utilizado pelo homem, desde eras pré-históricas. Com o tempo, foi aperfeiçoando a qualidade dos materiais utilizados na fabricação desses instrumentos, desde a madeira e pedras mais rígidas e afiadas, até atingir a idade dos metais onde instintivamente aprendeu a tornar o cobre mais duro pelo martelamento a frio.

Durante a idade média obteve-se um ferro carboneto pelo seu aquecimento em contato com o carvão vegetal que era endurecido por resfriamento em água. Em 1868 Robert Mushet, admitiu pela primeira vez que a adição de certos elementos de liga poderia tornar o aço mais duro (Ferraresi, 1977).

Outra importante contribuição no setor de materiais para ferramenta ocorreu em 1898 quando Fred W. Taylor visando aumentar o rendimento de fabricação chegou ao desenvolvimento de um tipo de aço ferramenta contendo 1,85%C, 3,8%Cr e 8%W. e em 1903 elaborou um protótipo dos modernos aços rápidos (Ferraresi, 1977).

Em 1941 Haynes introduzia uma liga fundida, baseada em tungstênio, cromo e cobalto, de baixa usinabilidade e dureza muito alta que proporcionava excelentes propriedades de corte, possibilitando uma velocidade de corte maior que as admitidas pelos aços rápidos. Na mesma época começou a ser empregada a metalurgia do pó, originavam-se assim os carbonetos de tungstênio sinterizados, ou metais duros. A primeira produção industrial de metal duro iniciou-se em 1926, com a marca Widia (Ferraresi, 1977)

Durante a Segunda Guerra Mundial, os ingleses utilizavam um novo material baseado em óxidos cerâmicos, onde permitiu velocidades de corte que ultrapassaram aquelas possibilitadas pelo metal duro (Ferraresi, 1977).

4.4.1 Materiais para Ferramentas

Segundo Diniz (2008) e Ferraresi (1977), não existem uma classificação geral de materiais para ferramentas, no entanto com base na ordem cronológica e em suas características químicas, eles podem ser agrupados da seguinte forma:

- Aços-carbono com baixos teores de liga;
- Aços rápidos;
- Aços rápidos com cobertura;
- Metal duro;
- Metal duro com cobertura;
- Material cerâmico;
- Nitreto de boro cúbico;
- Diamante.

4.4.2 Escolha do Material da Ferramenta

Maior dureza e resistência ao desgaste são requisitos iniciais para que um material seja utilizado na fabricação de uma ferramenta de corte (Santos, 2007, p. 99). Para seleção do material da ferramenta vários fatores devem ser analisados. Dentre os quais podemos citar os seguintes (Diniz, 2008, p. 75):

- Material a ser usinado;
- Processo de usinagem;
- Condições da máquina operatriz;
- Forma e dimensões da ferramenta;
- Custo do material da ferramenta;
- Condições de usinagem;
- Condições da operação.

Para Santos (2010, p. 101), a existência de uma ampla variedade de materiais explica a dificuldade de se juntar em apenas uma, todas as propriedades que uma ferramenta de corte ideal requer:

- Elevada dureza;
- Tenacidade;
- Resistência ao desgaste, compressão e cisalhamento;
- Boa condutividade térmica;
- Baixo coeficiente de expansão volumétrica;
- Elevada inércia química.

4.4.3 Ferramentas para Torneamento

As ferramentas para torneamento são preparadas de acordo com a operação a realizar e o tipo de material a ser usinado. As ferramentas mais utilizadas são: ferramentas de facear, desbaste, cortar, sangrar, rosquear, torneiar internamente e externamente, etc.

4.4.4 Vida, Desgaste e Avaria da Ferramenta

Segundo Ferraresi (1977), denomina-se vida de uma ferramenta o tempo que a mesma trabalha efetivamente, até perder a sua capacidade de corte, dentro de um critério previamente definido. Atingido esse tempo, a ferramenta deverá ser afiada novamente ou substituída. Portanto a vida da ferramenta é justamente o tempo entre duas afiações consecutivas, no qual a ferramenta trabalha efetivamente.

Conforme Diniz (2008), os tipos de desgaste e avarias que acontecem em uma ferramenta de usinagem são diversos. Antes de defini-los é importante primeiramente diferenciá-los. Desgaste é a perda contínua e microscópica de partículas da ferramenta devido à ação do corte.

Uma característica peculiar do desgaste em relação às avarias é que ele ocorre tanto no corte contínuo como no corte interrompido em qualquer parâmetro de usinagem utilizado. As demais ocorrências são denominadas de avarias. As avarias geralmente ocorrem em processos de usinagem com corte interrompido, como no fresamento, devido aos choques térmicos e mecânicos envolvidos nestes processos, e podem ocorrer também nos processos de corte contínuo quando as condições de corte excedam as recomendadas. A seguir serão abordados os principais tipos de avarias e desgaste da ferramenta:

- Trincas de origem mecânicas: As trincas mecânicas são provenientes principalmente por choques mecânicos (impactos) ocasionados na entrada e saída da ferramenta da peça. Quando as trincas tem origem mecânica são paralelas à aresta;
- Lascamento: É uma deterioração acidental e prematura que pode ocorrer quando a ferramenta é pouco resistente (ângulo de quina muito pequeno; pastilha muito dura e pouco tenaz) ou quando acontecem sobre solicitações mecânica (impactos ferramenta-peça, peças com inclusões duras e vibrações) ou térmica (mudança brusca de temperatura), a

profundidade de corte ou avanço muito alto e martelamento de cavacos também podem ser causadoras do lascamento;

- Sulcos distribuídos em forma de pente: Os sulcos distribuídos em forma de pente aparecem no corte interrompido, na usinagem com avanço variável e no acesso irregular do refrigerante de corte;
- Deformação plástica: é a alteração da geometria de corte. A deformação plástica é comum em situações em que a ponta da ferramenta fica sujeita a pressões e temperaturas elevadas simultaneamente. O crescimento da deformação gera deficiência no controle de cavaco, piora o acabamento e pode levar à quebra da ferramenta;
- Quebra: a quebra pode ser o resultado do aumento excessivo de desgaste ou principalmente de uma das outras avarias descritas anteriormente. Portanto também é comum que a quebra ocorra inesperadamente por causa de outros fatores como: ferramenta muito dura, carga excessiva sobre a ferramenta, raio de ponta, ângulo de ponta ou ângulo de cunha pequena, corte interrompido, parada instantânea do movimento de corte e entupimento dos canais de expulsão de cavacos ou dos bolsões de armazenamento dos cavacos;
- Desgaste frontal (ou de flanco): este tipo de desgaste ocorre na superfície de folga da ferramenta devido ao contato físico contínuo da peça com a ferramenta. Os mecanismos causadores desse tipo de desgaste são o atrito e a abrasão e é incentivado pelo aumento da velocidade de corte;
- Desgaste de cratera: ocorre na superfície de saída da ferramenta na zona de deslizamento do cavaco devido ao contato físico contínuo entre a ferramenta e o cavaco. Os mecanismos causadores desse tipo de desgaste são a abrasão, oxidação, adesão, difusão, associados a altas velocidades;
- Desgaste de entalhe: ocorre na aresta de corte e superfície de folga da ferramenta, podendo ser ocasionado por oxidação devido a altas temperaturas e exposição ao ar ou ao fluido de corte.

4.5 PROCESSO DE FORMAÇÃO DE CAVACO

O subproduto final presente na usinagem é o cavaco, sendo um fator comum nesse processo de fabricação de materiais. Para cada operação de usinagem, o cavaco pode variar (tipo, forma, extensão), ou mesmo em uma única operação, como por exemplo, o torneamento. O resultado final (forma e espessura do cavaco) pode ser alterado em função de praticamente todas as variáveis envolvidas no processo.

4.5.1 Tipos de Cavaco

Apesar de ser um subproduto da usinagem, o cavaco gerado pode ser ao mesmo tempo evidência e causa de problemas no processo de usinagem. Ou seja, ao mesmo tempo em que determinado tipo de cavaco pode causar algum problema, dando danos à superfície da peça ou estar ocupando volume excessivo, a sua forma e tamanho podem ser indicativos de problemas, relativos tanto a qualidade do material usinado, quanto às condições da ferramenta de corte utilizada.

Segundo Ferraresi (1924), existem três tipos de cavacos, subdivididos em:

a) **Cavaco Contínuo:** caracteriza-se pelo grande comprimento. Forma-se na usinagem de materiais dúcteis, onde o ângulo de saída deve assumir valores elevados. Antes de seu rompimento, o material é recalcado da peça deslizando pela saída da ferramenta.

b) **Cavaco de Ruptura:** ocorre na usinagem de materiais frágeis e de estrutura heterogênea (ferro fundido ou latão, por exemplo). Há uma ruptura completa do material e é constituído de fragmentos arrancados do metal usinado.

c) **Cavaco de Cisalhamento:** este tipo de cavaco se forma quando se utiliza grandes avanços, velocidades de corte inferiores a 100 m/min e ângulo de saída pequeno. O resultado desse tipo de cavaco costuma ser nem ininterrupto e nem uniforme, nem fragmentado como o cavaco de ruptura, constituindo um meio termo entre os outros dois tipos (contínuo e ruptura).

Dependendo das condições de usinagem (avanço, velocidade de corte, ângulo de saída) pode-se passar do cavaco contínuo para o de ruptura ou vice-versa (Ferraresi, 1924).

4.5.2 Formas de Cavaco

No processo de usinagem dos metais é possível diferenciar o cavaco quanto a sua forma. Dependendo do formato do cavaco, a operação de usinagem pode ser dificultada, pois poderá prejudicar o acabamento superficial e maior desgaste da ferramenta (Ferraresi, 1924).

Não é possível classificar os cavacos do tipo de ruptura quanto a suas formas, pois é muito pequeno e geralmente em forma de pó. Mas o cavaco contínuo e cisalhado podem ser identificados como:

- a) Cavaco em fita;
- b) Cavaco helicoidal;
- c) Cavaco espiral;
- d) Cavaco em lascas ou pedaços.

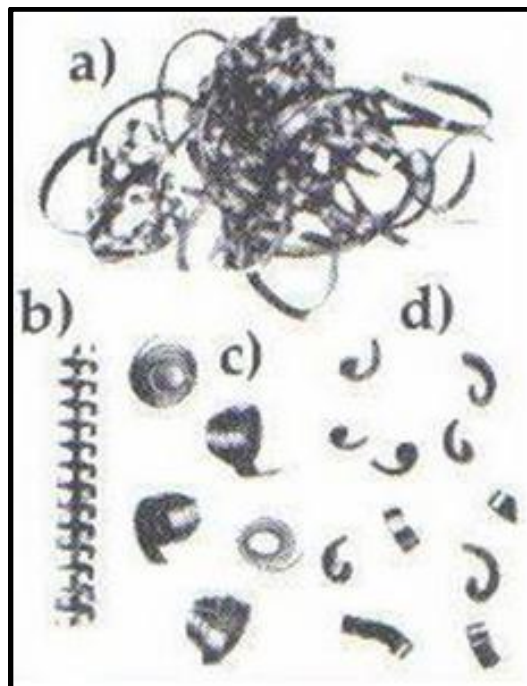


Figura 4.25 – Formas de Cavaco
Fonte: SENAI-MG 2015

4.6 PARÂMETROS DE RUGOSIDADE

A rugosidade é definida como o conjunto de desvios micro geométricos, caracterizado pelas pequenas saliências e reentrâncias presentes em uma superfície (RUGOSIDADE SUPERFICIAL). Os parâmetros de rugosidade existentes são valores numéricos resultantes de integrações ou de operações matemáticas simples de perfis amostrais de superfícies.

A rugosidade média, denominada R_a , é possivelmente o mais antigo conceito de rugosidade ainda em uso. Sua disseminação pode ser atribuída à facilidade de cálculo. Sua definição pode ser expressa como o desvio médio de um perfil de sua linha média. Outra boa definição seria a distância média de um perfil desde sua linha média, sobre um comprimento medido (l_m). A Figura 4.26 demonstra um exemplo gráfico desta definição.

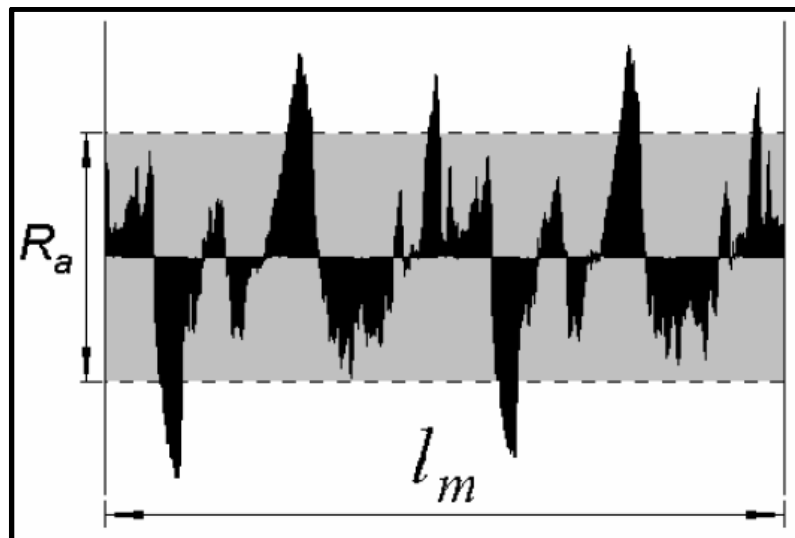


Figura 4.26 – Exemplo gráfico de R_a .
Fonte: FACCIO (2003)

Este parâmetro de rugosidade tem a desvantagem de não distinguir picos de vales medidos, a presença de um pico ou vale atípico oriundo do processo não é identificado e pode ocultar um defeito, seu valor também não define a forma das irregularidades e pode ser associado a diferentes processos. Em contrapartida é aplicável à maioria dos processos de fabricação, e quase todos os equipamentos de

medição apresentam esse parâmetro, também seus riscos inerentes ao processo alteram pouco seu valor.

O parâmetro R_y é definido como sendo a distância entre o pico mais alto e o vale mais baixo, dentro de um comprimento medido de um perfil de rugosidade. A figura 4.27 ilustra um exemplo deste parâmetro.

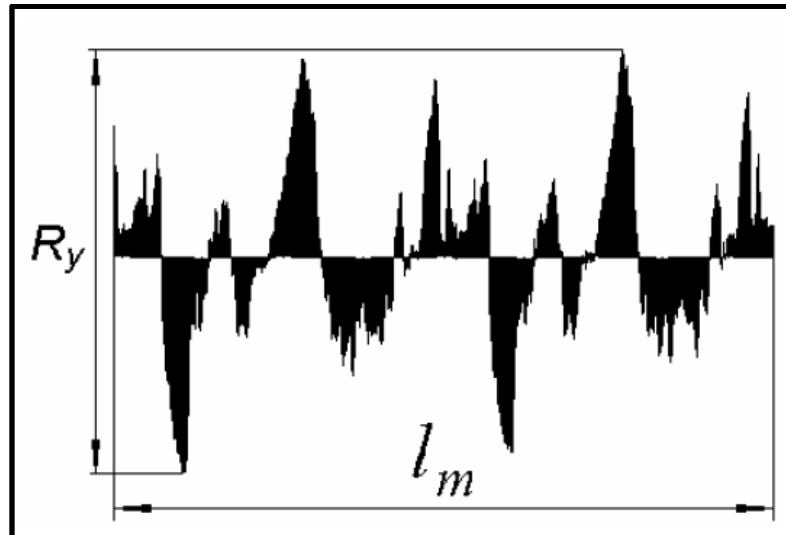


Figura 4.27 – Exemplo do parâmetro R_y .
Fonte: FACCIO, 2003

O parâmetro R_y possui a vantagem de ser um verdadeiro indicador da distância máxima dos limites de picos e vales de um comprimento medido. No entanto, o pico mais alto pode estar no começo do perfil analisado, enquanto o vale mais profundo pode estar no final da medição. Assim, estas duas ocorrências estão muito pouco correlacionadas, e o parâmetro R_y registrado pode transmitir uma informação incorreta sobre a superfície. Para evitar tais condições, elaborou-se o parâmetro R_z , que se assemelha ao R_y . De acordo com a norma ISO 4287, o parâmetro R_z é a distância média entre os cinco picos mais altos e os cinco vales mais profundos, dentro de um comprimento medido (l_m) (Figura 4.28).

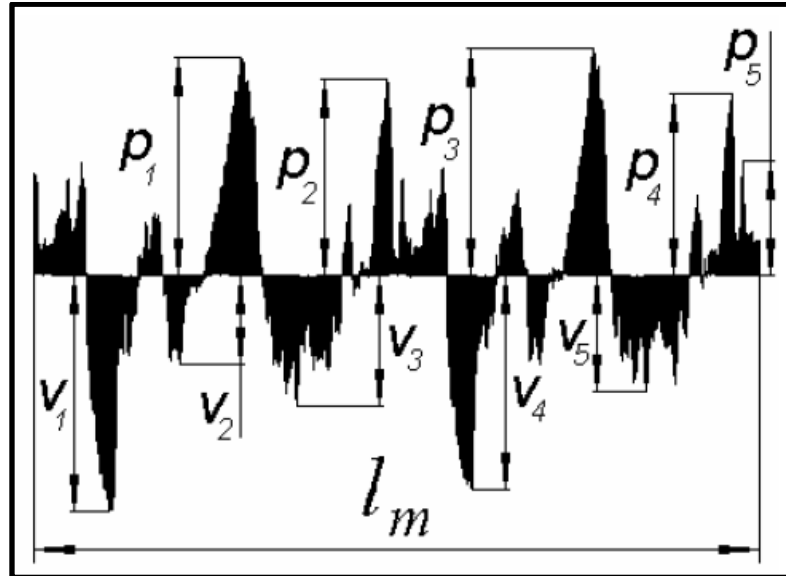


Figura 4.28 – Ilustração parâmetro Rz.
Fonte: FACCIO, 2003

Juntos, os parâmetros Ry e Rz fornecem uma ideia mais clara para a monitoração da variação do acabamento superficial em um processo de fabricação. Valores similares de Ry e Rz indicam um acabamento superficial consistente de um processo de fabricação, enquanto que diferenças significativas destes dois indicam irregularidades superficiais quando se deseja uma superfície consistente.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 PREPARAÇÃO DO CORPO DE PROVA

Os materiais (Aço SAE 1045 e SAE 8620) foram recebidos em perfil redondo. O acabamento superficial era de boa qualidade (Trefilado) Figura 5.1.



Figura 5.1 – Tarugos de Aço SAE 1045 (esquerda) e SAE 8620 (direita) utilizados.
Fonte: Autoria Própria

Para que os dois materiais tivessem as mesmas especificações do padrão do corpo para os ensaios, foram efetuados vários processos de torneamento, dentre os quais se destacam faceamento, furo de centro, sangramento, etc. A Figura 5.2 mostra as dimensões do corpo de prova.

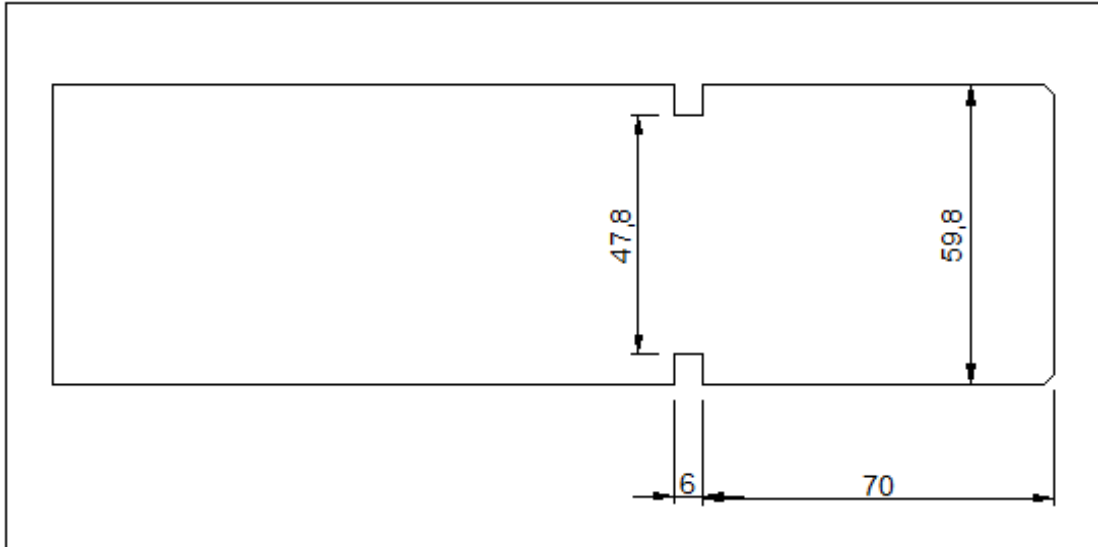


Figura 5.2 – Desenho esquemático do corpo de prova.
Fonte: Autoria Própria

Nos ensaios, necessitou apenas da utilização de um corpo de prova para cada material a ser estudado (Figura 5.3).



Figura 5.3 – Corpo de prova finalizado para início dos ensaios
Fonte: Autoria Própria

5.2 ENSAIOS DE USINAGEM

Os ensaios foram realizados em um Torno Universal Nardini Mascote MS-205, desenvolvido e fabricado pela indústria NARDINI (Figura 5.4), da oficina mecânica da UTFPR – Câmpus Cornélio Procópio.



Figura 5.4 – Torno Nardini Mascote MS – 205
Fonte: Autoria Própria

Este torno oferece Cinemastismo com elevado diapasão e constante progressão geométrica. Suas engrenagens são construídas em aço especial, temperadas e retificadas. Sua árvore é construída em aço especial, temperado e retificado e apoiada em rolamentos de precisão. Possui amplo número de roscas e avanços. Sua construção segue as normas ABNT 9436.

- Altura de Pontas: 205 mm
- Distância entre pontas: 1000 mm
- Rotação: 18 velocidades de 31,5 a 2500rpm
- Diâmetro do furo da árvore: 46 mm

- Número de roscas: 192
- Potência do motor principal: 6, 3/4 HP.

5.3 METODOLOGIAS DO ENSAIO

Os ensaios deste trabalho consistem em alterar as seguintes variáveis: Profundidade de corte (**a_p**); Avanço (**f**) e; Velocidade de Corte (**V_c**). Isto será necessário para analisar em que condições de corte, cada material se comportam melhor. Nos ensaios de usinagem foi utilizado um corpo de prova para cada material estudado. Os corpos de prova sofreram oito ensaios, cumprindo a seguinte sequência (Tabela 5.1):

ENSAIO	Variáveis		
	a_p	f	$R_{ot.}$
1 ^o	0,5	0,053	800
2 ^o	0,5	0,053	1600
3 ^o	1	0,053	800
4 ^o	1	0,053	1600
5 ^o	0,5	0,116	800
6 ^o	0,5	0,116	1600
7 ^o	1	0,116	800
8 ^o	1	0,116	1600

Tabela 5.1 – Tabela de ensaio e variáveis utilizadas.
Fonte: Autoria Própria

Os parâmetros anteriores mostrados foram aplicados continuamente aos dois materiais. As velocidades de corte foram calculadas tendo em conta o diâmetro anterior ao ensaio. Após cada ensaio eram feitas as medições de rugosidade, para isso, eram obtidos valores de três pontos distintos, calculando-se a média. O cavaco dos ensaios era coletado para análises posteriores.

Os oito ensaios de cada material eram usinados com apenas uma aresta de corte da ferramenta utilizada no processo.

5.4 EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO

5.4.1 Rugosímetro

A rugosidade média R_a , foi analisada em nossas medições. Pode ser expressa como o desvio médio de um perfil de sua linha média. Um exemplo gráfico é ilustrado na figura 5.5.

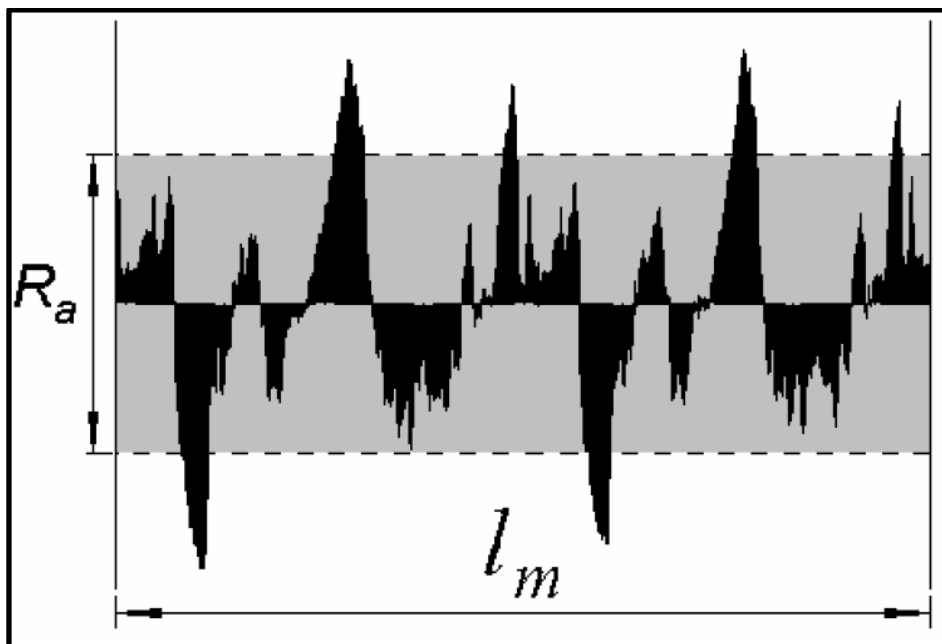


Figura 5.5 – Ilustração do parâmetro de rugosidade R_a .
Fonte: FACCIO, 2003

Este parâmetro de rugosidade tem a desvantagem de não esclarecer ou caracterizar a variabilidade dos diferentes valores locais da rugosidade sobre o perfil analisado.

O equipamento utilizado para verificar a rugosidade foi o rugosímetro Mitutoyo SJ-210 (figura 5.6).



Figura 5.6 – Rugosímetro Mitutoyo SJ-210.
Fonte: Soluções Industriais 2015

As configurações de medida do rugosímetro são a seguinte:

- Cut off (λ_c): 0.8 mm
- Numero de comprimento da avaliação: x8
- Velocidade de medição: 0.5 mm/s

5.4.2 Paquímetro

O paquímetro foi o instrumento utilizado para coletar os dados referentes ao diâmetro dos corpos de prova. O paquímetro centesimal com resolução de 0,01mm com comutador para polegada mitutoyo absolute mod. CD-6" CSX-B, foi o designado para esta função, por ser um paquímetro digital, moderno e de alta confiabilidade (Figura 5.7).



Figura 5.7 – Paquímetro Mitutoyo absolute CD-6" CSX-B
Fonte: Tecno Ferramentas 2015

5.5 FERRAMENTA DE CORTE

Para a usinagem dos materiais SAE 8620 e SAE 1045, foram utilizadas duas pastilhas de metal duro do fabricante de ferramentas Iscar de tecnologia 3P Sumo Tec. A ferramenta pertence à classe **P**, **M** e **K** sendo indicada para aços em geral, aço inoxidável e ferro fundido conforme a Norma ISO 513:2013 (catálogo de ferramentas ISCAR).



Figura 5.8 – Pastilha CNMG 120408-GN
Fonte: Iscar do Brasil 2015

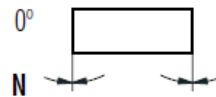
O fabricante recomenda a usinagem sob os seguintes parâmetros: Velocidade de Corte (**Vc**): 150 a 350 m/min; Avanço (**f**): 0.16 a 0.45 mm/rot; profundidade de corte (**ap**) 1.00 a 4.50 mm.

Essa pastilha possui geometria robusta para desbaste em aços por pertencer à categoria GN e o código ISO destas pastilhas estão de acordo com as especificações a seguir:

- 1) Formato da ferramenta:



- 2) Ângulo de Folga:



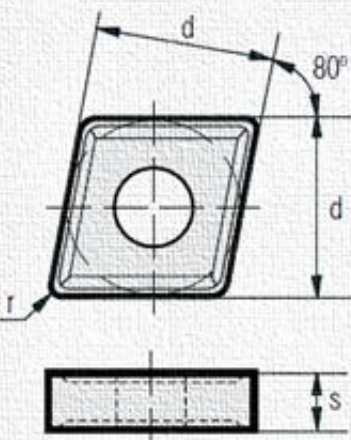
- 3) Tolerâncias **M**:

Tipo	s	d
G		± 0,025
M	± 0,13	± 0,05 - ± 0,15 ¹⁾
U		± 0,08 - ± 0,25 ¹⁾

Diagramas de uma pastilha quadrada e retangular com dimensões d e s.

- 4) Tipo da Quebra do Cavaco:





ISO	ANSI	d mm in	s mm in	r mm in
CNMG 120404	CNMG 431			0,4 .015
CNMG 120408	CNMG 432	12,700 .500	4,760 .187	0,8 .031
CNMG 120412	CNMG 433			1,2 .046
CNMG 120416	CNMG 434			1,6 .062
CNMG 160608	CNMG 542	15,875 .625	6,350 .250	0,8 .031
CNMG 190608	CNMG 642			0,8 .031
CNMG 190612	CNMG 643	19,050 .750	6,350 .250	1,2 .046
CNMG 190616	CNMG 644			1,6 .062
CNMG 120404.46	CNMG 431.46	12,700 .500	4,760 .187	0,4 .015
CNMG 120408.46	CNMG 432.46			0,8 .031
CNMG 120408.BM	CNMG 432.BM	12,700 .500	4,760 .187	0,8 .031

Figura 5.6 – Catálogo de Pastilhas para torneamento conforme Norma ISO 513:2013
Fonte: Ferramentas para Torneamento (2015)

Segundo o site Iscar Brasil (2015) são usadas especialmente para usinagem de aço (Materiais ISO P) irão manter sua cor dourada existente para fácil identificação.

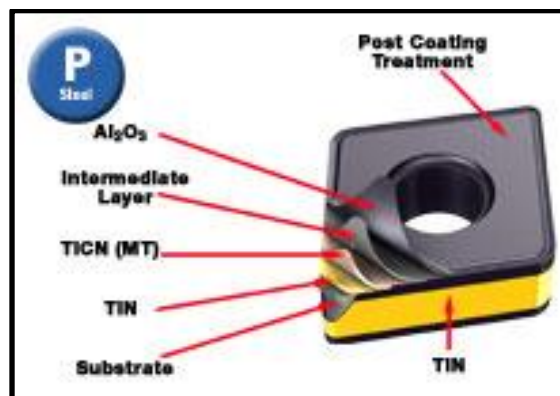


Figura 5.9 – Pós-Tratamento Sumo Tec com Cobertura CVD
Fonte: Iscar do Brasil (2015)

- **CVD:** Deposição por Vapor químico

Características:

- Melhor tenacidade;

- Melhor resistência ao lascamento;
- Melhor resistência a fissuras;
- Alta resistência a desgaste do flanco na camada intermediária;
- Melhor resistência da cobertura a descascamento TiCN – Carbonitreto de Titânio;
- Resistência ao desgaste de flanco melhorada TiN – Nitreto de Titânio;
- Melhor aderência ao substrato;
- Tenacidade elevada.

5.6 DEFINIÇÕES DOS AÇOS SAE 1045 E SAE 8620

A norma SAE (Society of Automotive Engineers – EUA) é a mais utilizada no mundo para aços-carbono e aços de baixa liga. A classificação SAE é baseada na composição química do aço. Cada composição normalizada pela SAE corresponde geralmente a uma numeração com quatro dígitos. Os dois últimos números representam os centésimos da quantidade de carbono, e em porcentagem, que há no material em questão. O primeiro dígito indica o tipo de aço e o segundo as suas variações.

5.6.1 Aço SAE 1045: Composição e Utilização

O aço SAE 1045 é um aço para beneficiamento com temperabilidade baixa, ou seja, baixa penetração de dureza na seção transversal, não recomendando seu uso para seções superiores a 60 mm. Possui uma boa relação entre resistência mecânica e resistência à fratura. É utilizado em geral com durezas de 180 a 300 HB. Para grandes seções utilizar o tratamento térmico de normalização.

Composição do aço SAE 1045	Carbono (C)	Manganês (Mn)	Silício (Si)	Níquel (Ni)	Cromo (Cr)	Molibdênio (Mo)
	0,43 – 0,50	0,60 – 0,90	-	-	-	-

Tabela 5.2 – Composição Química do Aço SAE 1045
Fonte: ABNT NM 87 – Designação e Composição Química

O aço SAE 1045 é utilizado na fabricação de componentes de uso geral onde seja necessária uma resistência mecânica superior a dos aços de baixo carbono convencionais. Aplicado principalmente em eixos em geral, pinos, cilindros, parafusos, grampos, abraçadeiras, pinças, pregos, colunas, entre outros.

5.6.2 Aço SAE 8620: Composição e Utilização

O aço SAE 8620 é um aço para cementação e posterior beneficiamento ligado ao níquel, cromo e molibdênio o que lhe confere melhor temperabilidade. A cementação é utilizada para aumentar a resistência ao desgaste em um núcleo de boa resistência mecânica e à fratura. Após cementação a dureza superficial pode atingir 62 HRC.

Composição do aço SAE 8620	Carbono (C)	Manganês (Mn)	Silício (Si)	Níquel (Ni)	Cromo (Cr)	Molibdênio (Mo)
	0,18 – 0,23	0,70 – 0,90	0,15 – 0,35	0,40 – 0,70	0,40 – 0,60	0,15 – 0,25







Tabela 5.3 – Composição Química do Aço SAE 8620
Fonte: ABNT NM 87 – Designação e Composição Química

O aço SAE 8620 é utilizado em componentes mecânicos de uso como; anéis de engrenagem, colunas, cruzetas, catracas, capas, eixos, coroas, virabrequins, comando, pinos, guia, pinhões, engrenagens em geral.

6 ANÁLISE E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

6.1 CAVACO

Na usinagem dos materiais SAE 1045 e SAE 8620, foram encontrados cavacos do tipo contínuo e de duas formas: fita e helicoidal. Não houve dificuldades para identifica-los, pois é bem clara essa diferenciação. A seguir estão os cavacos na ordem de seus ensaios:

Ensaio	SAE 1045	SAE 8620
1º		
2º		
3º		



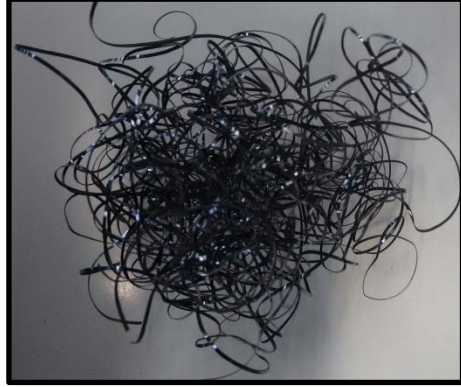


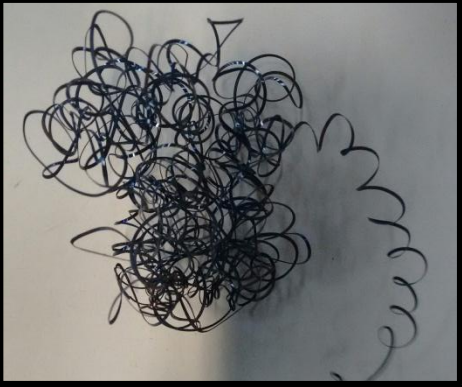


4°		
5°		
6°		
7°		



Tabela 6.1 – Amostra do cavaco encontrado durante a usinagem

Fonte: Aatoria Própria

Apesar da maioria dos ensaios o cavaco obtido foi de formato em fita, não houve inconvenientes durante a usinagem. Cavacos em fitas são mais propícios a enrolarem e danificarem a superfície da peça usinada. Quando a remoção de cavaco é elevada, preferem-se cavacos helicoidais, pois o armazenamento destes é mais facilitado, não gerando o risco de enrolarem em locais indesejados.

Apenas no primeiro ensaio, tanto SAE 1045 e SAE 8620, foi possível obter cavaco helicoidal. Este fato pode ser explicado a seguir:

Segundo Diniz (2008, p. 52)

Fenômenos transientes no início do corte: antes do corte, a superfície da ferramenta está coberta com lubrificantes ou camadas de oxigênio e outros materiais. Com o progresso do corte, esses são removidos e o coeficiente de atrito, a espessura do cavaco, o raio da curvatura do cavaco e a temperatura de corte aumentam gradualmente, o que causa mudança da forma do cavaco.

6.2 RUGOSIDADE

Logos após serem executadas as operações de usinagem, mediu-se sua rugosidade em três pontos diferentes sobre seu perfil obtendo os seguintes resultados para o SAE 1045 e SAE 8620 respectivamente (tabelas 6.2 e 6.3).

ENSAIO	SAE 1045				Rugosidade (μm)		
	Variáveis				1°	2°	3°
	a_p	F	R _{rot.}	v_c			
1 ₁ °	0,5	0,053	800	150,29	1,76	1,88	1,71
2 ₁ °	0,5	0,053	1600	298,07	0,53	0,48	0,49
3 ₁ °	1	0,053	800	147,78	1,64	1,69	1,72
4 ₁ °	1	0,053	1600	290,53	0,49	0,52	0,53
5 ₂ °	0,5	0,116	800	142,75	1,52	1,45	1,36
6 ₂ °	0,5	0,116	1600	282,99	0,54	0,52	0,55
7 ₂ °	1	0,116	800	137,72	1,21	1,18	1,12
8 ₂ °	1	0,116	1600	270,43	0,53	0,53	0,54

Tabela: 6.2 – Resultados do aço SAE 1045
Fonte: Autoria Própria

ENSAIO	SAE 8620				Rugosidade (μm)		
	Variáveis				1°	2°	3°
	a_p	f	R _{rot.}	v_c			
1 ₁ °	0,5	0,053	800	150,29	0,77	0,72	0,74
2 ₁ °	0,5	0,053	1600	298,07	1,38	1,30	1,34
3 ₁ °	1	0,053	800	147,78	1,05	1,04	0,98
4 ₁ °	1	0,053	1600	290,53	1,00	0,92	1,06
5 ₂ °	0,5	0,116	800	142,75	1,28	1,21	1,29
6 ₂ °	0,5	0,116	1600	282,99	0,67	0,70	0,72
7 ₂ °	1	0,116	800	137,72	0,96	0,93	0,94
8 ₂ °	1	0,116	1600	270,43	0,72	0,72	0,70

Tabela: 6.3 – Resultados do aço SAE 8620
Fonte: Autoria Própria

- **a_p** : Profundidade de Corte;
- **f**: Avanço;
- **Rot.**: Rotação;
- **v_c** : Velocidade de Corte;

Os resultados foram analisados e colocados em gráficos para sua melhor compreensão.

Os gráficos foram construídos na mesma sequência dos ensaios, de forma que sua velocidade de corte seja decrescente e sua rotação constante. O

gráfico 1 apresenta a média das três medições da rugosidade para os resultados obtidos à 1600 rotações por minuto (rpm).

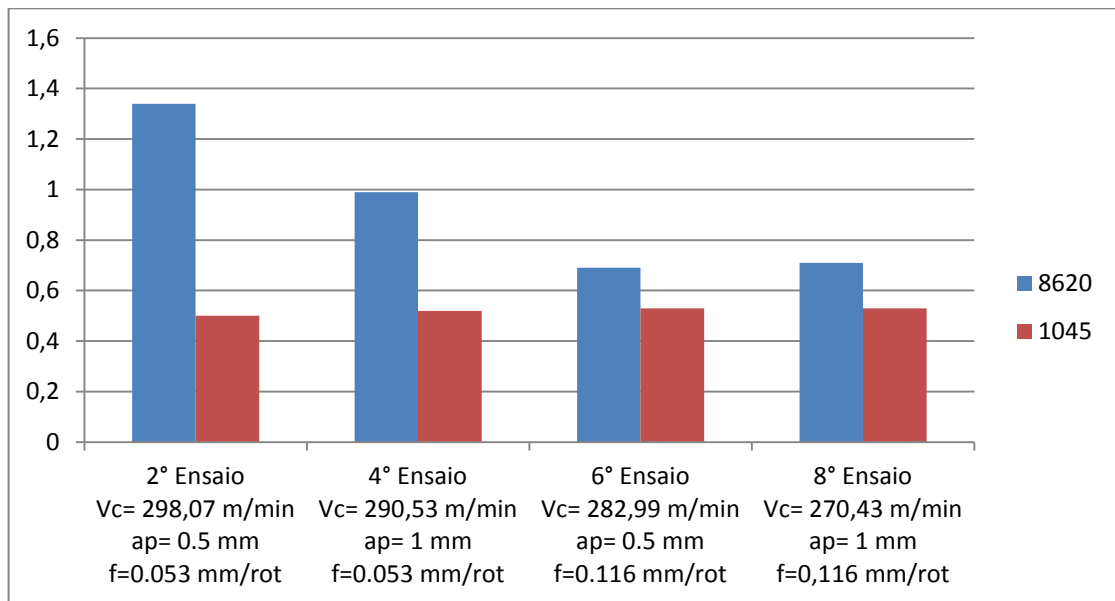


Gráfico 1 – Média da rugosidade para 1600 rpm.
Fonte: Autoria Própria

O gráfico 2 apresenta a média das três medições da rugosidade para os resultados obtidos à 800 rpm.

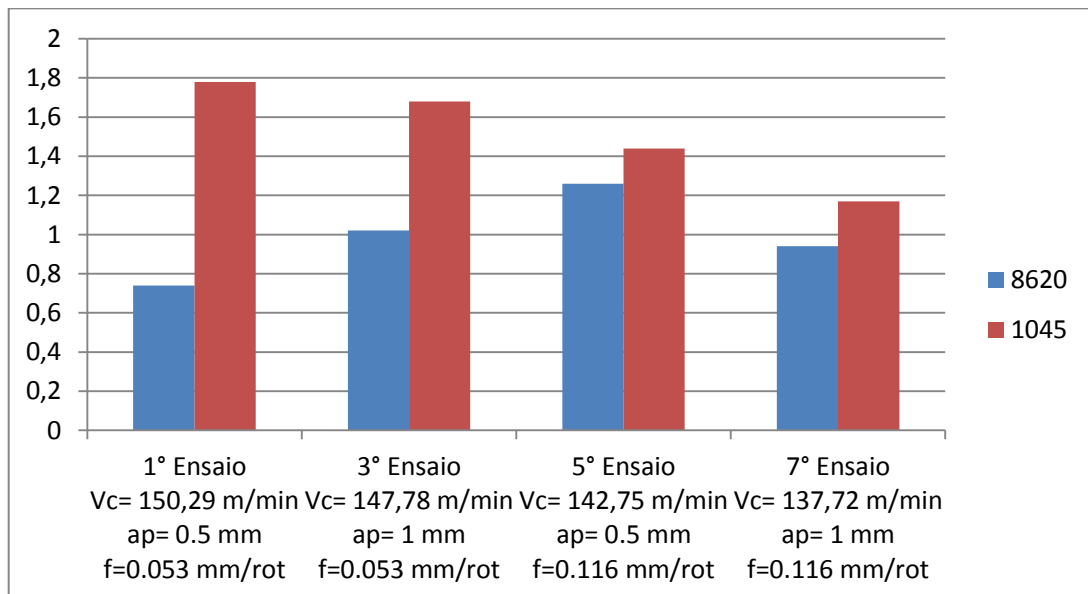


Gráfico 2 – Média da rugosidade para 800 rpm.
Fonte: Autoria Própria

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

7.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através dessa pesquisa chegamos a um resultado satisfatório de rugosidade para os dois materiais.

Notamos que o SAE 1045 em todos os ensaios que foram utilizados maior Velocidade de corte “rotação de 1600 rpm” como apresentado no gráfico 1, independentemente dos outros fatores de usinagem, obteve-se valores de rugosidades menores que o SAE 8620. Em compensação o SAE 8620 em todos os ensaios que foram utilizados menor velocidade de corte “rotação de 800 rpm” como apresentado no gráfico 2, independentemente dos outros fatores de usinagem, obteve-se valores de rugosidades menores que o SAE 1045.

Existiu uma diminuição progressiva na rugosidade a cada ensaio do SAE 8620 na usinagem com rotação de 1600 rpm, provavelmente causado pela diminuição da velocidade de corte, devido a diminuição do diâmetro do corpo de prova, nas mesmas condições houve uma estabilidade nos valores da rugosidade para o SAE 1045.

Verificou-se também uma diminuição progressiva na rugosidade do SAE 1045, a cada ensaio executado na usinagem com rotação de 800 rpm, esta situação também pode estar relacionada com a diminuição da velocidade de corte, devido a diminuição do diâmetro do corpo de prova.

Portanto, através da análise dos resultados e ensaios, o que contribuiu especificamente para a oscilação da rugosidade nos os dois materiais, foi na velocidade de corte. Os valores de avanço (f) e a profundidade de corte (ap), adotados nos ensaios , não geraram influência sobre a rugosidade superficial dos materiais.

7.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com os resultados obtidos na realização deste trabalho, assim como o conhecimento adquirido no desenvolvimento do estudo, podem-se sugerir os seguintes trabalhos a serem desenvolvidos:

- Montar vários corpos de prova para manter uma velocidade de corte constante alterando somente uma variável, podendo ser o avanço ou a profundidade de corte, para analisar qual sua real interferência nos resultados;
- Refazer os mesmos experimentos utilizando duas ferramentas de corte distintas;
- Refazer os mesmos experimentos utilizando algum tipo de fluido de corte.

REFERÊNCIAS

DINIZ, Anselmo Eduardo; MARCONDES, Francisco Carlos Coppini; LEMOS, Nivaldo. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. 6. ed. São Paulo, SP: Artliber, 2008. 262 p.

FERRARESI, Dino, 1924. **Usinagem dos Metais**: Fundamentos da usinagem dos metais. São Paulo, SP: USP, 1970. 751 p.

SANTOS, Sandro Cardoso; SALES, Wisley Falco. **Aspectos Tribológicos da Usinagem dos Materiais**. São Paulo: Artliber Editora, 2007.

FACCIO, Ian. **Investigações sobre o acabamento superficial de usinagens com altíssima velocidade de corte**. 2003. 126 p. Dissertação (Mestrado na área de projetos e fabricação) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.

NASCIMENTO, C. H. (2011). **Estudo da Distribuição da Temperatura na Região de Formação de Cavacos usando Método dos Elementos Finitos**. *Dissertação de Mestrado – Programa de Pós Graduação e Engenharia de Produção e Área de Concentração em Processos de Manufatura Avançada*, p. São Carlos.

CHIAVERINI, Vicente, 1914. **Aços e Ferros Fundidos**: Características gerais, tratamentos térmicos, principais tipos. 7 ed. São Paulo, SP: ABM, 1996. 599 p.

SILVA, André Luiz da Costa; MEI, Paulo Roberto, 1953. **Aços e Ligas Especiais**. 2 ed. São Paulo, SP: Edgard Blucher, 2006. 646 p.

FRANCISCO, Wilson A. **Estudo do Comportamento do Óleo Vegetal na Usinagem do Aço 52100 (Aço Rolamento)**. 2006. 117 p. TCC (Tecnologia em Manutenção Mecânica Industrial) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Cornélio Procópio, Cornélio Procópio, 2006.

ISCAR DO BRASIL. Apostila: **Torneamento com Tecnologia Iscar**. Vinhedo, SP: 2007

ABNT NBR ISO 513, Classificação e aplicação de metais duros para usinagem com arestas definidas – Designação dos grupos Principais e grupos de aplicação. ABNT, 2013.

ABNT NBR ISO 4287, Especificações geométricas do produto (GPS) – Rugosidade: método do perfil – Termos, definições e parâmetros de rugosidade. ABNT, 2002

ABNT NBR NM 97, Aço Carbono e ligados para construção mecânica – Designação e composição química. ABNT, 2000.

BESKOW, Artur B. Aula 2: **Processos de Usinagem I**. Disponível em: <http://plant3d.files.wordpress.com/2011/04/processos_de_usinagem_i_-_aula_02_-_processos_convencionais_de_usinagem.pdf>. acesso em: 10 de Setembro de 2014.

ISCAR DO BRASIL. Pastilhas: **COBERTURA CDV**. Disponível em: <<http://www.iscardobrasil.com.br/Products.aspx/CountryId/4/ProductId/73>>. Acesso em: 29 de março de 2015.

A Piratelli Filho. **RUGOSIDADE SUPERFICIAL**: Metrologia. Disponível em: <http://www.posgrad.mecanica.ufu.br/metrologia/arquivos/palestra_ufu_17_05_2011.pdf>. Acesso em: 30 de março de 2015.

REIS, Josiane; SOUZA, Maria Helena; GAIA, Sicleia. **PROCESSOS DE FABRICAÇÃO**. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/212184405/Trabalho-de-Usinagem-Para-Imrpimir#scribd>>. Acesso em: 10 de Setembro de 2014.

Sant Marie Automotive. **O PROCESSO DE TORNEAMENTO**. Disponível em: <<http://www.saintmarieautomotive.com.br/>>. Acesso em: 10 de Setembro de 2014.