

## A USINAGEM DE AÇOS ENDURECIDOS COM FERRAMENTAS DE GEOMETRIA DEFINIDA: ESTUDO DE CASO

FRITZ, Giovani Ozéias<sup>1\*</sup>, DALCIN, Leandro Régis<sup>2</sup>, DALCIN, Rafael Luciano<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> FAHOR, Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade Horizontina, Campus Arnaldo Schneider, Avenida dos Ipês, 565, Horizontina, RS, Brasil.

\*Autor Correspondente: gf002367@fahor.com.br

### RESUMO

Usinagem é um processo de fabricação, que tem como principal característica a remoção de material com o auxílio de uma ferramenta de corte, através da formação de cavaco. O processo de usinagem de aços endurecidos, feito através de ferramentas de geometria definida, oferece inúmeras vantagens, pois em muitos casos, se elimina outros processos que viriam posteriormente, como por exemplo, a retificação. O objetivo deste estudo é avaliar o nível de rugosidade de diferentes peças de aço SAE 1045 usinadas, com o intuito de eliminar o processo de retificação. Portanto, nesse experimento, três peças foram usinadas com os mesmos parâmetros, porém, a primeira peça foi usinada sem tratamento térmico, a segunda foi temperada em óleo e posteriormente usinada, e a terceira foi temperada em água e usinada. Através dos resultados obtidos, verificou-se melhor acabamento nas peças com menor dureza.

**Palavras-chave:** Usinagem com ferramentas de geometria definida. Aços endurecidos. Acabamento superficial.

### HARDENED STEELS MACHINING WITH DEFINED GEOMETRY TOOLS: CASE STUDY

#### ABSTRACT

Machining is a manufacturing process whose main characteristic is the removal of material with the aid of a cutting tool, through chip formation. The process of machining hardened steels made with defined geometry tools offers numerous advantages, because in many cases other processes that would come later, such as rectification are eliminated. The objective of this study is to evaluate the level of roughness of different SAE 1045 steel parts machined with the intention of eliminating the rectification process. Therefore, in this experiment, three parts were machined with the same parameters, but the first part was machined without heat treatment, the second was tempered in oil and later machined, and the third was tempered in water and than machined. Through the obtained results, it was verified better finishing in the parts with less hardness.

**Keywords:** Machining with defined geometry tools. Hardened steels. Surface finish.

## INTRODUÇÃO

Os processos de fabricação têm como principal característica a transformação da matéria-prima em produtos acabados, passando por um ou vários processos. As técnicas de fabricação surgiram a milhares de anos, pelos homens que para sobreviver faziam suas próprias ferramentas, claro que a qualidade, dessas ferramentas, não era muito apurada (FALCONI, 2014). O processo de usinagem com geometria definida caracteriza-se pela remoção de material, através do contato da ferramenta com a matéria prima. Neste processo, a ferramenta deve possuir uma dureza maior que o material a ser usinado, pois a formação de cavaco ocorrerá quando a ferramenta ultrapassar a tensão de cisalhamento máxima do material (KIMINAMI; CASTRO, OLIVEIRA, 2013).

A importância do acabamento superficial aumenta com a demanda, e cresce a precisão decorrente do ajuste entorno das peças a serem acopladas. Dessa forma, trata-se diretamente com o acabamento superficial. A rugosidade é um conjunto de informações, conhecidas como irregularidades (ALVES, 2011).

No decorrer deste trabalho será feito um estudo específico, sobre a usinagem de aços endurecidos com ferramentas de geometria definida. O propósito deste trabalho é analisar o acabamento superficial, na usinagem de aços sem tratamento térmico e de aços endurecidos, através do resfriamento em água e óleo.

## 2 DESENVOLVIMENTO E DEMONSTRAÇÃO DOS RESULTADOS

### 2.1 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 2.1.1 Generalidades do Processo de Usinagem

O processo de torneamento caracteriza-se pela formação de cavaco, oriundo do contato da ferramenta com a matéria-prima (FERRARESI, 1970). O processo de usinagem é um dos métodos mais utilizados na fabricação de peças para as mais diversas finalidades, dentre elas a indústria agrícola e automobilística entre outras, devido ao seu rendimento na remoção de material (SCHROETER; WEINGAERTNER, 2002).

Para que ocorra a usinagem, devem-se haver movimentos, pois é através deles que formará cavaco. Estes movimentos são relativos entre a peça e a aresta cortante da ferramenta. Os movimentos basicamente são divididos, em movimentos que causam diretamente a saída de cavaco e, movimentos que não possuem influência na formação de cavaco. A saída de

cavaco se dá através do movimento de corte, neste caso, só irá ocorrer a remoção de material durante uma volta ou curso da ferramenta. Quando unido este movimento com o de avanço, será possível se obter um levantamento contínuo de cavaco (FERRARESI, 1970).

O processo de usinagem em muitos casos torna-se mais viável, visto que no processo de um produto tudo se inicia com os custos dos mesmos, e a usinagem pode ser uma ótima solução para isso. Como já dito, este processo ocorre pela retirada de material em forma de cavaco. O cavaco pode ser considerado como uma perda de material na usinagem, porém pode retornar à indústria e novamente ser reprocessado gerando assim, um novo perfil de material (KIMINAMI CASTRO; OLIVEIRA, 2013).

Aços com elevados níveis de dureza também são regularmente usinados, pois há casos em que as peças precisam apresentar melhores propriedades (LIMA, 2011). Geralmente, as velocidades de corte das ferramentas podem ser encontradas em tabelas ou nas próprias ferramentas, as ferramentas de cerâmica podem suportar altíssimas velocidades de trabalho se comparadas com outras ferramentas. Através da Equação 1, é possível determinar o rpm usado para usinar o material (FERRARESI, 1970).

$$n = \frac{Vc*1000}{\pi*d} \quad (1)$$

A velocidade instantânea do ponto de referência da aresta cortante da ferramenta, segundo a rotação, a direção e o sentido de corte no processo de usinagem possui influência direta na qualidade superficial das peças e, também na integralidade das ferramentas. Sendo que, uma velocidade abaixo ou acima do recomendado acarretará problemas aos mesmos (MACHADO, 2009).

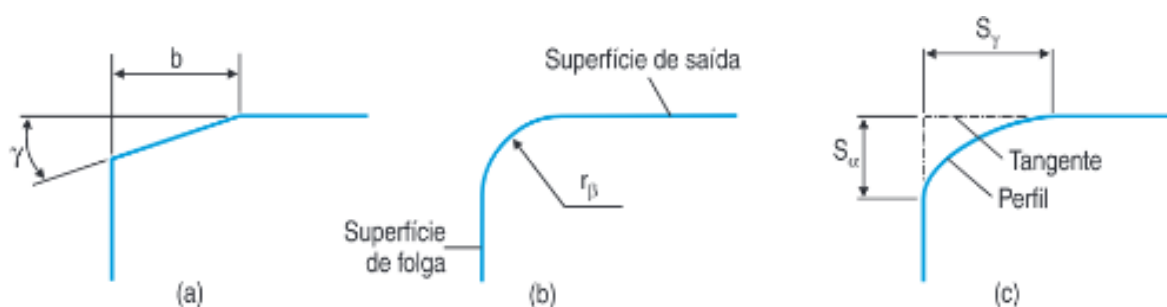
### **2.1.2 Características das Ferramentas de Corte**

As ferramentas utilizadas para a usinagem destes materiais, geralmente, são de nitreto de boro cúbico cristalino (CBN) ou de cerâmicas mistas, pois são consideradas ferramentas super duras. Estas ferramentas caracterizam-se por sua elevada dureza, e geralmente são empregadas em situações onde é necessário maior esforço de corte à quente, e altas velocidades de corte, além da possibilidade de trabalhar sem fluido de corte (SILVA, 2016). O desgaste das ferramentas cerâmicas, durante a usinagem de aço endurecido, é causado a partir de altas tensões na região de corte e se caracteriza, principalmente, pela formação de

sulcos irregulares, deformados plasticamente, nas superfícies de saída e de folga (VENTURA; DENKENA, 2016).

Para melhor aproveitamento do inserto, comumente, são mudados os ângulos das ferramentas de corte, com o intuito de diminuir a área de contato entre o inserto e a peça, e minimizar as possíveis vibrações (MACHADO, 2009). A Figura 1 apresenta diferentes ângulos de ferramentas de corte.

Figura 1: Caracterização da geometria de aresta: (a) Chanfro; (b) Arredondamento simétrico; (c) Arredondamento assimétrico.



Fonte: Ventura; Denkena (2016).

O arredondamento simétrico dará maior durabilidade no inserto, e isso se obtém apenas por diminuir a área tangente. Com a diminuição da área tangente o cavaco é cortado mais suavemente e, em menor área, o que resulta em melhor acabamento (VENTURA; DENKENA, 2016; KUMAR; DURAI; SORNAKUMAR, 2003).

A característica fundamental do material cerâmico é sua resistência ao amolecimento pelo calor às altas temperaturas, além da elevada dureza e resistência à temperatura ambiente, alta resistência à formação de cratera e baixa condutividade térmica (FERRARESI, 1970). A velocidade de corte recomendada, para as ferramentas de corte, é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1: Velocidade de corte de ferramentas.

| Material          | Custo relativo da ferramenta (US\$) | Velocidades de corte (m/min) | Custo de usinagem (US\$/pol <sup>3</sup> ) |
|-------------------|-------------------------------------|------------------------------|--|
| Aço-carbono       | 0,10                                | 12,2                         | 0,25                                       |
| Aço-rápido        | 0,50                                | 27,5                         | 0,13                                       |
| Liga fundida      | 2,00                                | 45,8                         | 0,06                                       |
| Metal duro        | 5,25                                | 152,5                        | 0,04                                       |
| Material cerâmico | 12,00                               | 244,0                        | 0,02                                       |

Fonte: Adaptado de Ferraresi (1970).

Porém, o emprego destas ferramentas ainda representa um número muito inferior se comparado às demais. Esse resultado deve-se basicamente devido ao valor que as mesmas apresentam, além de exigir máquinas que suportam altas velocidades de trabalho sem vibrações (RIBEIRO; MALÉRE; RIBEIRO, 2017).

### 2.1.3 Características dos Aços Endurecidos

Durante os processos de fabricação, muitos aços passam por um tratamento térmico, a fim de alterar a dureza superficial dos materiais. Melhorando suas propriedades físicas e químicas, com o desenvolvimento de conceitos de temperabilidade, observou-se que a dureza da martensita aumenta de uma forma relativamente linear com o teor de carbono. Em função disso, deve-se ter cuidados maiores com a usinagem destes materiais, pois as ferramentas devem ser de um material que apresente propriedades melhores, para se evitar possíveis trincas e quebras nas ferramentas (HUALLPA, 2011).

A obtenção de aços endurecidos dá-se, geralmente, por um tratamento térmico, sendo ele térmico ou superficial. Um dos processos mais utilizados no tratamento térmico de aços é a têmpera. O processo de têmpera consiste, basicamente, em aquecer o aço até aproximadamente 830°C (temperatura acima da zona crítica), para organizar os cristais do metal na fase de austenitização. Após o aquecimento, o aço é submetido a um resfriamento brusco para assim, fazer com que os grãos permaneçam organizados, e com maior dureza (CHIAVERINI, 1977). Os dados de têmpera do aço SAE 1045 podem ser encontrados na Tabela 2.

Tabela 2: Temperatura de têmpera do aço SAE 1045.

| Material        | Temp. de pré-aquecimento | Temp. de têmpera | Cor do material da têmpera | Resfriamento |
|-----------------|--------------------------|------------------|----------------------------|--------------|
| Aço 1040 a 1050 | 500 °C                   | 830 °C           | Vermelho                   | Água         |

Fonte: SENAI/CST (1997).

Alguns cuidados devem ser tomados, principalmente no momento do resfriamento do aço. O procedimento da têmpera deve ser realizado em um ambiente controlado (temperatura de 20°C). Caso isso não for respeitado, a água e o óleo podem alterar a taxa de resfriamento do aço. Quando o aço é colocado no meio refrigerante, devido ao choque brusco podem ocorrer a formação de trincas. A temperatura de aquecimento para o processo não pode ultrapassar a do ponto de fusão do material. Um material que sofreu têmpera para ser

considerado duro, deve possuir uma dureza maior que 50 HRC. Esta medição pode ser feita com o auxílio de um durômetro (CHIAVERINI, 1977).

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho trata-se de uma pesquisa quantitativa, que através de um experimento prático pode-se verificar a qualidade superficial dos materiais usinados.

### 2.2.1 Metal base

Peças extraídas de uma barra redonda (trefilada) de aço SAE 1045, com dimensões 25,4 mm x 165 mm, foram utilizadas como metal base (MB). O percentual de elementos químicos e propriedades mecânicas do aço SAE 1045 são mostrados na Tabela 3 e Tabela 4, respectivamente.

Tabela 3: Composição química do metal base.

| Elemento Químico (% em massa) |           |       |       |           |
|-------------------------------|-----------|-------|-------|-----------|
| C                             | Mn        | Pmáx. | Smáx. | Si        |
| 0,43-0,50                     | 0,60-0,90 | 0,040 | 0,050 | 0,10-0,60 |

Fonte: Azevedo (2002).

Tabela 4: Propriedades mecânica do metal base (valores médios).

| Módulo de Elasticidade | Tensão de Escoamento | Tensão de Ruptura |
|------------------------|----------------------|-------------------|
| 205 GPa                | 530 MPa              | 625 MPa           |

Fonte: Sá; Ferreira (2017).

### 2.2.2 Procedimentos adotados no endurecimento superficial

Três amostras de aço SAE 1045, foram utilizadas para os experimentos, porém apenas duas foram endurecidas. Inicialmente, duas peças foram inseridas no forno (modelo Grefortec) com temperatura média de 830 °C, por um tempo de 45 minutos. Em seguida, as peças foram retiradas do forno para o resfriamento. Uma das peças foi resfriada na água e a outra em óleo.

Após, finalizado o processo de têmpera, foi realizado as medições de dureza das três peças (sem tratamento térmico; com resfriamento em água; com resfriamento em óleo) através do durômetro, existente na FAHOR.

### 2.2.3 Procedimentos de usinagem

As três peças (sem tratamento térmico; com resfriamento em água; com resfriamento em óleo) foram usinadas por um torno da marca ROMI e um inserto de cerâmica mista intercambiável. A velocidade de corte usada na usinagem foi calculada com base na Tabela 1, e o rpm da máquina foi encontrado através da Equação 1. Como o torno possui limitações decorrente a sua idade, nesse trabalho será utilizado avanço de 80 mm/s e rotação de 1000 rpm.

Durante o procedimento de usinagem, foi removido 1 mm do material nos primeiros passes, e para finalizar o último passe, optou-se em retirar 0,2 mm da peça, com objetivo de melhorar o acabamento superficial da peça.

#### **2.2.4 Caracterização das amostras**

A rugosidade é caracterizada pela presença de sulcos, formados pela ferramenta durante o corte (BEZERRA; MACHADO, 2008). Após a usinagem, foi executado a medição da rugosidade com o auxílio de um equipamento chamado rugosímetro. A peça foi deitada sobre um calço, e com o relógio apalpador acoplado ao rugosímetro, foi medida a amplitude dos desníveis da superfície.

Este equipamento possui um relógio apalpador, que percorre a superfície da peça medindo os picos e os vales sobre a superfície. Através disso, é feito um cálculo médio pelo equipamento de todos esses desníveis que a peça apresenta, fornecendo o resultado geralmente em Ra, que é a unidade de medida mais usada.

### **2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

O processo de tratamento térmico, tem influência direta na dureza do produto final. Através dos experimentos, pode-se notar que, quanto mais brusco for o resfriamento da peça maior a dureza. Isso se deve, pois com o aquecimento, se tem um melhor arranjo dos cristais. Nesse estudo específico, o resfriamento em água foi mais eficiente que o material resfriado em óleo. A dureza do material possui influência direta na usinagem, devido que quanto maior for a sua dureza, maior serão os esforços de corte, e conseqüentemente, o aumento de tensões sobre a ferramenta, podendo vir a danificá-la. A Tabela 5 mostra os resultados referente a rugosidade e dureza dos experimentos realizados.

Tabela 5: Resultado dos experimentos realizados.

| Material | Temp. de aquecimento | Resfriamento | Dureza (HRC) | Rugosidade ( $\mu\text{m}$ ) |
|----------|----------------------|--------------|--------------|------------------------------|
| Aço 1045 | 850 °C               | Água         | 58           | 2,0653                       |
|          |                      | Óleo         | 37,5         | 2,172                        |
|          | -                    | -            | 27           | 1,3473                       |

A peça que não sofreu o processo de têmpera teve um acabamento superficial melhor, visto que a ferramenta usada no processo era de alta qualidade. As peças que sofreram têmpera apresentaram uma maior rugosidade, sendo que, a ferramenta de corte apresenta maior dificuldade para remover material, devido a sua dureza. Assim, a velocidade de corte precisa ser menor e, conseqüentemente, haverá um maior tempo de contato entre a peça e a ferramenta, o que resultará na formação de sulcos sobre a superfície, e são eles que determinarão a qualidade superficial das peças.

### CONCLUSÃO

Através dos resultados, apresentados nesse trabalho, as seguintes conclusões podem ser retiradas:

Comparando os resultados das peças usinadas, verificou-se que o tratamento térmico das peças pré-aquecidas a 850°C e resfriadas em água e óleo não foi viável economicamente. Pois, as peças temperadas apresentaram maior rugosidade do que a peça sem tratamento térmico.

Neste experimento, constatou-se que o processo de tratamento térmico foi fundamental, para aumentar a dureza superficial dos aços. As peças temperadas em água apresentaram tendência a apresentar dureza maior, do que as peças temperadas em óleo e, do que as peças sem tratamento térmico, respectivamente. Isso se explica, pois quanto mais rápido for a taxa de resfriamento maior é a dureza do aço.

A rugosidade de aços comuns com insertos de cerâmica pode ser melhor, porém devido ao seu elevado custo, torna-se inviável economicamente. Em aços endurecidos, os insertos de cerâmica, podem sim, trazer benefícios ao processo, pois melhora a qualidade superficial das peças usinadas. A usinabilidade de materiais duros se dá de forma mais crítica, pois a dureza do material fará com que a ferramenta sofre maior esforço, podendo causar assim um aumento de vibrações.



## REFERÊNCIAS

- ALVES, M. L. **Reconhecimento da Rugosidade em Imagens Manocromáticas por meio de Análise de Textura**, 2011.
- AZEVEDO, A. G. L. **Aplicação da Técnica da Dupla Camada na Soldagem do Aço ABNT 1045**. Ceará, 2002.
- BEZERRA, D. C.; MACHADO, I. F. **Avaliação da Usinabilidade em torneamento de aço ABNT 1045 para diferentes velocidades de corte e ferramentas**. Disponível em: <[http://sites.poli.usp.br/d/pme2600/2008/Artigos/Art\\_TCC\\_018\\_2008.pdf](http://sites.poli.usp.br/d/pme2600/2008/Artigos/Art_TCC_018_2008.pdf)>. Acesso em: 09 de maio de 2017.
- CHIAVERINI, V. **Tecnologia Mecânica**. 2 ed. Vol. 2 São Paulo, 1977.
- FALCONI, V. C. **TCQ Controle da Qualidade Total no estilo Japonês**. 9 ed. São Paulo, 2014.
- FERRARESI, D. **Fundamentos da Usinagem dos Materiais**. São Paulo, 1970.
- HUALLPA, E. A. **Caracterização da Transformação Martensita em Temperatura Criogênicas**. São Paulo, 2011.
- KIMINAMI, C. S.; CASTRO, W. B.; OLIVEIRA, M. F. **Introdução aos Processos de Fabricação de Produtos Metálicos**. 1 ed. São Paulo, 2013.
- KUMAR, A. S.; DURAI, A. R.; SORNAKUMAR, T. **Machinability of hardened steel using alumina based ceramic cutting tools**. India, 2003.
- LIMA, G. R. **Influência dos elementos de ligas no encruamento proveniente do processo de aplainamento nos aços hadfield**. Bauru, 2011.
- MACHADO, A. R.; ABRÃO, A. M.; COELHO, R. T.; SILVA, M. B. **Teoria da usinagem dos materiais**. 1 ed. São Paulo, 2009.
- RIBEIRO, M. V.; MALÉRE, E. P.; RIBEIRO, J. C. **Aplicação de ferramentas cerâmicas no torneamento de cilindros laminadores**. Disponível em: <<http://www.abcm.org.br/anais/cobef/2007/files/011074218.pdf>>. Acesso em: 13 de maio de 2017.
- SÁ, M. V.; FERREIRA, J. L. **Análise Experimental de Vida á Fadiga em Componentes Entalhados**. Disponível em: <<http://www.abcm.org.br/anais/creem/2005/pdf/dm02.pdf>>. Acesso em: 11 de maio de 2017.
- SCHROETER, R. B.; WEINGAERTNER, W. L. **Tecnologia da usinagem com ferramentas de geometria definida**. Parte 1. Florianópolis, 2002.
- SENAI/CST. **Tratamentos térmicos-mecânica**. Disponível em: <<http://www.protolab.com.br/TratamentosTermicos.pdf>>. Acesso em: 13 de maio de 2017 Espírito Santo, 1997.
- SILVA, O. S. **Avaliação da Usinabilidade da Liga Ti-6Al-4V no torneamento com Alta Velocidade de Corte com Diferentes Métodos de Lubri-Refrigeração**. Belo Horizonte, 2016.
- VENTURA, C. E. H.; DENKENA, B. **Preparação de arestas de ferramentas de cerâmica mista por retificação sua aplicação no torneamento de aço endurecido**. 52.ed. Aranda Editora: MM Máquinas e materiais, 2016.