

## USINABILIDADE DO AÇO DE CORTE FÁCIL BAIXO CARBONO AO CHUMBO ABNT 12L14

Ivanilson Sousa da Costa, Universidade Federal de Uberlândia, ivanilsonsousacosta@hotmail.com  
Henriquí Corraini Zini, Universidade Federal de Uberlândia, hczini@gmail.com  
Márcio Bacci da Silva, Universidade Federal de Uberlândia, mbacci@mecanica.ufu.br

**Resumo.** O objetivo deste trabalho foi avaliar a usinabilidade do aço de corte fácil baixo carbono ao chumbo ABNT 12L14 em termos de força de corte, temperatura de usinagem, rugosidade da superfície usinada, caracterização dos cavacos, análise da interface cavaco-ferramenta e propriedades mecânicas de tração. Para isso, foram realizados ensaios de torneamento cilíndrico externo a seco utilizando ferramentas de corte de metal duro. Para comparação de resultados, o aço de corte fácil resulfurado ABNT 1214 também foi usinado. Os resultados mostram que os dois materiais apresentaram propriedades mecânicas similares. A força de corte e a rugosidade  $R_a$ , na faixa de atuação dos experimentos, foram menores para o aço ABNT 1214. Porém, os resultados indicam que as condições de corte ótimas para os dois materiais são distintas. O aço ABNT 12L14 apresentou menor temperatura na interface cavaco-ferramenta que o aço ABNT 1214. A forma, coloração e grau de recalque dos cavacos indicaram melhor desempenho em usinagem para o aço ABNT 12L14. Foram verificadas camadas de sulfeto de manganês na superfície de saída das ferramentas na usinagem de ambos os materiais e resquícios de chumbo sobre a superfície de saída na usinagem do aço ABNT 12L14. Baseado nos critérios de usinabilidade avaliados neste trabalho, o aço ABNT 12L14 apresentou melhores respostas de usinagem que o aço ABNT 1214.

**Palavras chave:** Aços de Corte Fácil, Usinabilidade, Propriedades Mecânicas.

### 1. INTRODUÇÃO

Os aços de corte fácil são ligas ferro-carbono onde normalmente são adicionados enxofre e chumbo. Constituem uma classe de materiais especiais cujo objetivo é obter máximo desempenho em processos de usinagem. Neste trabalho a usinabilidade do aço de corte fácil ao chumbo ABNT 12L14 foi avaliada através da força de corte, temperatura de usinagem, rugosidade superficial das peças usinadas, caracterização de cavacos e análise da interface cavaco-ferramenta. Para comparação de resultados, o aço de corte fácil resulfurado ABNT 1214 foi igualmente trabalhado.

### 2. METODOLOGIA

A Tabela (1) apresenta a composição química dos aços usinados. Convencionou-se para este trabalho: aço ABNT 1214 como “material I” e aço ABNT 12L14 como “material II”.

Tabela 1. Composição química dos materiais estudados (realizada pela Aços Villares S.A.)

| Material | %C   | %Si  | %Mn  | %P    | %S    | %Cr  | %Ni  | %Cu  | %Mo  | %Al   | %Pb          | %Sn   |
|----------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|-------|--------------|-------|
| I        | 0,10 | 0,02 | 1,12 | 0,071 | 0,315 | 0,15 | 0,11 | 0,17 | 0,02 | 0,002 | <b>0,005</b> | 0,013 |
| II       | 0,08 | 0,02 | 1,21 | 0,053 | 0,295 | 0,11 | 0,05 | 0,17 | 0,01 | 0,003 | <b>0,256</b> | 0,011 |

As propriedades mecânicas dos dois materiais foram avaliadas através de ensaios de tração.

Para medição da força de corte foi utilizado dinamômetro piezelétrico Kistler®. Os ensaios foram realizados em torno mecânico Romi® CNC Multiplic 35D com insertos de metal duro.

A rugosidade das superfícies usinadas foi medida concomitante aos ensaios de força de corte. Foi utilizado rugosímetro Surtronic 3+ da Taylor Hobson® com resolução de 0,01  $\mu\text{m}$ .

A medição da temperatura de usinagem foi realizada pelo método do termopar ferramenta-peça. Os ensaios e a calibração do método foram realizados em torno mecânico Revolution RV-220 da Diplomat®.

A caracterização dos cavacos consistiu do registro da forma, tipo e coloração dos cavacos através de fotografia, além do grau de recalque obtido pela medição da espessura do cavaco. Os cavacos utilizados foram provenientes dos testes de medição da temperatura de usinagem.

A superfície de saída das ferramentas foi analisada através de microscópio eletrônico de varredura (MEV) e espectroscopia de energia dispersiva (EDS). O objetivo destas análises foi avaliar a possível deposição de uma camada

protetora na superfície da ferramenta, como sugerido por diversos autores (Yaguchi, 1988; Trent e Wright, 2000; Troani, 2004; Bellot, 1978 *apud* Evangelista Luiz, 2007).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em termos de propriedades mecânicas, os dois materiais apresentaram comportamento dúctil, Tab. (2). Contudo, o material II apresentou ductilidade ligeiramente inferior ao material I. Para os dois materiais a tensão máxima esteve abaixo de 450 MPa, caracterizando-os como materiais de baixa resistência mecânica.

Tabela 2. Resultados dos ensaios de tração para os dois materiais estudados

| Material | Tensão máxima (MPa) | Deformação na tensão máxima (%) | Tensão de ruptura (MPa) | Tensão de escoamento (MPa) | Módulo de elasticidade (GPa) | Estricção (%) |
|----------|---------------------|---------------------------------|-------------------------|----------------------------|------------------------------|---------------|
| I        | 413,8               | 38,2                            | 301,4                   | 244,0                      | 75,6                         | 55,7          |
| II       | 420,3               | 33,1                            | 293,8                   | 276,4                      | 74,2                         | 53,9          |

A Figura (1) apresenta os valores de temperatura de usinagem em função da velocidade de corte obtidos pelo método do termopar ferramenta-peça para os dois materiais.

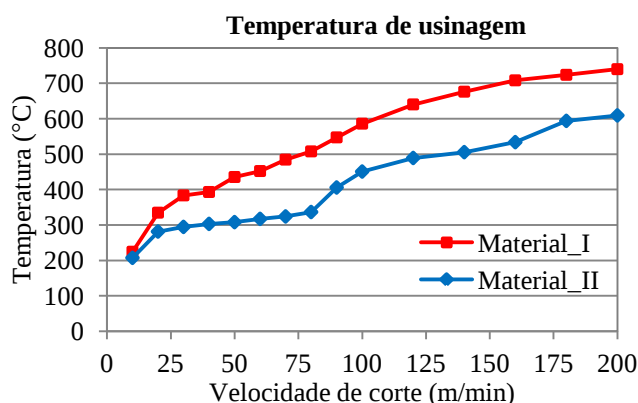


Figura 1. Temperatura de usinagem obtida pelo método do termopar ferramenta-peça para os dois materiais. Condições de corte:  $f = 0,15$  mm/volta e  $a_p = 2,0$  mm

O material I apresentou maiores temperaturas médias na interface cavaco-ferramenta em toda faixa de velocidade de corte. Desconsiderando os erros do sistema, a temperatura máxima alcançada pelo material I foi ligeiramente superior a 700 °C, enquanto que para o material II a temperatura de usinagem máxima foi de 600 °C, ambos à velocidade de corte de 200 m/min.

O comportamento da força de corte foi característico de materiais que apresentam aresta postiça de corte (APC) durante a usinagem. A Figura (2) apresenta a variação da força de corte ( $F_c$ ) para os dois materiais estudados.

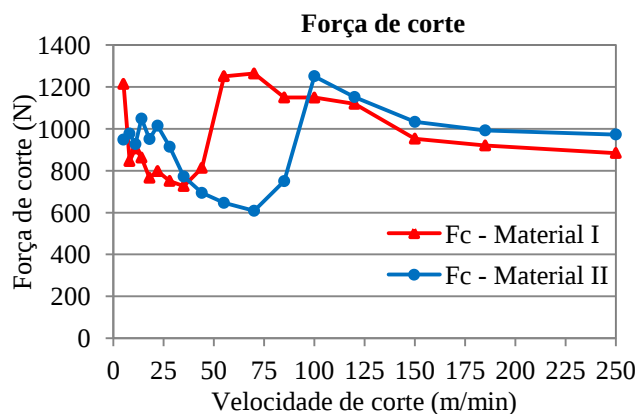


Figura 2. Variação da força de corte pela velocidade de corte para os dois materiais. Condições de corte:  $f = 0,15$  mm/volta e  $a_p = 2,0$  mm

Observa-se que a faixa de atuação da APC ocorreu em velocidades de corte maiores para o material II. Esse comportamento pode ter ocorrido devido às menores temperaturas de usinagem apresentadas pelo material II, veja Fig. (1), uma vez que, o aumento da temperatura é responsável pelo desaparecimento da APC. Para o material I a velocidade de corte crítica foi de aproximadamente 55 m/min e para o material II, de aproximadamente 100 m/min.

Em termos de grandeza da força de corte, o material I apresentou menores forças de corte na faixa de velocidade de corte onde prevalece a zona de fluxo, até 250 m/min. Isto pode ter ocorrido devido ao efeito benéfico do aumento da temperatura de usinagem sobre a resistência ao cisalhamento do material da peça, uma vez que o material I apresentou maior temperatura de usinagem em toda faixa de velocidade de corte usinada, veja Fig. (1).

Vale ressaltar que a força de corte tende a se estabilizar em altas velocidades de corte. Desta forma, medições de força em testes de usinagem com velocidades de corte maiores que 250 m/min seriam necessários para analisar o comportamento de força de usinagem do material II e compará-lo com o material I, uma vez que as condições ótimas para os dois materiais são distintas.

Os parâmetros de rugosidade foram influenciados pelas condições da interface cavaco-ferramenta, Fig. (3). Quando se analisa a rugosidade  $R_t$ , para o material I, a presença de APC na faixa de velocidade de corte de 11 m/min a 55 m/min, foi determinante para os maiores valores de rugosidade. Igualmente, para o material II, na faixa de velocidade de corte de 22 m/min a 100 m/min. Acima das respectivas velocidades de corte críticas, a rugosidade tende a se estabilizar, com alguma variação pontual, sendo influenciada pelo avanço e raio de ponta da ferramenta.

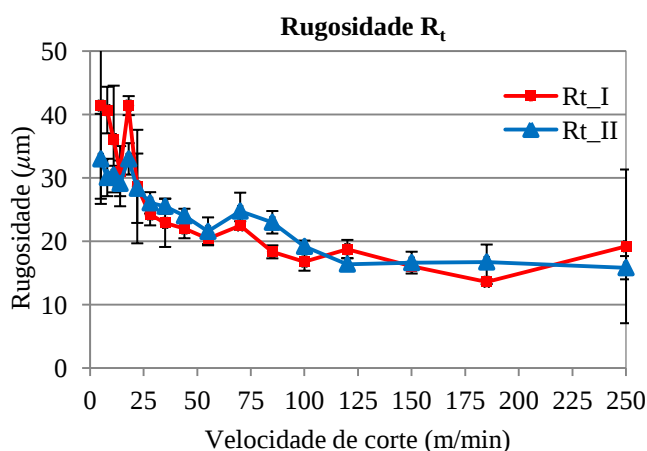


Figura 3. Parâmetro de rugosidade  $R_t$  ( $\mu\text{m}$ ) em função da velocidade de corte para os dois materiais. Condições de corte:  $f = 0,15$  mm/volta e  $a_p = 2,0$  mm

Em termos de cavacos, como se observa na Tab. (4), o material II apresentou cavacos mais interessantes quanto à coloração e grau de recalque. Em termos de tipo (contínuo) e forma do cavaco (arcos e tubos), os materiais tiveram características similares.

Tabela 4. Coloração dos cavacos colhidos. Condições de corte:  $f = 0,15$  mm/volta e  $a_p = 2,0$  mm

|             | 10 m/min a 80 m/min                                                                                | 90 m/min a 100 m/min                                                                                   | 110 m/min a 200 m/min                                                                                    |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Material I  | <br>Acinzentada | <br>Cinza/amarelada | <br>Azulada         |
| Material II | <br>Acinzentada | <br>Acinzentada     | <br>Amarela/azulada |

Para os dois materiais houve presença de enxofre e manganês em regiões próximas à aresta principal de corte, se estendendo para dentro da ferramenta. Para o material II, foram encontradas resquícios de chumbo apenas em situações pontuais. A Figura (4) apresenta análises de duas ferramentas de corte utilizadas na usinagem do material II com velocidade de corte de 50 m/min (a) e 250 m/min (b). As análises de EDS para estas ferramentas estão na Tab. (5).

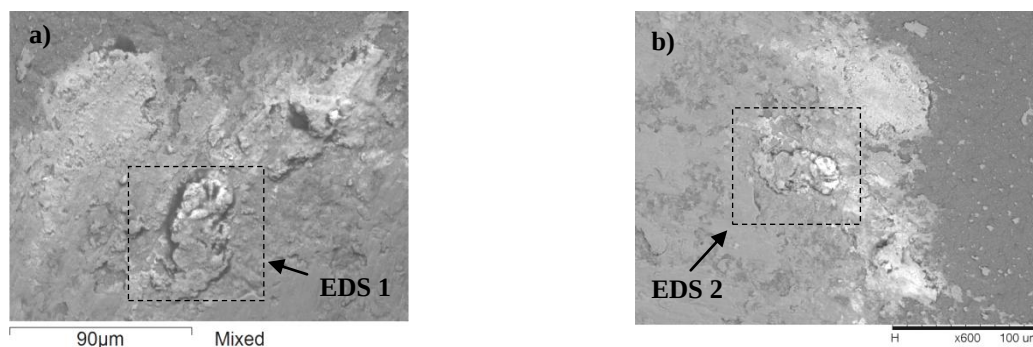


Figura 4. Detalhe na superfície de saída de ferramentas utilizadas no ensaio do material II indicando a presença de chumbo: a) condições de corte:  $V_c = 50$  m/min,  $f = 0,20$  mm/volta e  $a_p = 1,0$  mm; b) condições de corte:  $V_c = 250$  m/min,  $f = 0,20$  mm/volta e  $a_p = 1,0$  mm

Tabela 5. Análises de EDS realizadas na superfície de saída das ferramentas para material II conforme Fig. (4)

| EDS | Carbono | Chumbo | Enxofre | Manganês | Ferro |
|-----|---------|--------|---------|----------|-------|
| 1   | 41,2    | 39,6   | 6,2     | 9,4      | 3,0   |
| 2   | -       | 79,2   | 6,3     | 10,4     | 4,2   |

O chumbo está presente na composição do material II na forma de inclusões e possui temperatura de fusão de 327 °C. As evidências pontuais de chumbo indicam que a atuação do chumbo pode ocorrer na forma líquida devido às temperaturas de corte presentes na interface cavaco-ferramenta. As temperaturas de usinagem obtidas em torno de 600 °C para o material II a velocidade de corte de 200 m/min apóiam este mecanismo de atuação.

Entretanto, a análise da superfície de saída das ferramentas revela que é duvidoso propor a presença de uma camada de chumbo fundida sobre a superfície da ferramenta, lubrificando a interface cavaco-ferramenta. Talvez o chumbo esteja facilitando a usinagem através da fragilização pela formação de microtrincas decorrente do metal líquido e/ou pelo “efeito de entalhe” que aumenta localmente a tensão de cisalhamento aplicada na zona de formação do cavaco devido às diferentes propriedades mecânicas da inclusão de chumbo e da matriz ferrítica do aço.

#### 4. CONCLUSÕES

Diante dos resultados e discussões apresentadas, pode-se concluir que, baseado na força de corte, rugosidade da superfície usinada, temperatura de usinagem, características dos cavacos colhidos e análise da interface cavaco-ferramenta, o aço ABNT 12L14 apresentou melhores respostas de usinagem que o aço ABNT 1214.

#### 5. REFERÊNCIAS

- Bellot, J., “Aciers pour construction mecanique – Problemes de mise em forme par usinage”, CESSID – Centre d’etudes supérieures de la sidérurgie française, maio, 1978.
- Evangelista Luiz, N., “Usinabilidade do Aço de Corte-Fácil Baixo Carbono ao Chumbo ABNT 12L14 com Diferentes Níveis de Elementos Químicos Residuais (Cromo, Níquel e Cobre)”, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, Brasil, 2007.
- Trent, E.M., Wright, P.K., “Metal Cutting”, 4<sup>th</sup> Edition, Butherwords, London, 2000.
- Troiani, F., “O Mundo da Usinagem”, Publicação da Divisão Coromant da Sandvik do Brasil, 2004. Disponível em: < <http://www.omundodausinagem.com.br/pdf/17.pdf> > Acesso em julho de 2013.
- Yaguchi, H., “Effect of soft additives (Pb, Bi) on formation of built-up-edge”, Materials Science and Technology, Vol. 4, 1988.

#### 6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.