

# ESTUDO SOBRE O SERRAMENTO CIRCULAR DO AÇO INOXIDÁVEL SUPERMARTENSÍTICO 13Cr<sup>1</sup>

Maria Cristina Moreira<sup>2</sup>  
Alexandre Mendes Abrão<sup>3</sup>  
Juan Carlos Campos Rubio<sup>3</sup>  
Paulo Eustáquio Faria<sup>4</sup>

## Resumo

O aço inoxidável supermartensítico é um material desenvolvido para garantir um melhor desempenho quanto à resistência à corrosão aliado a melhora das propriedades mecânicas se comparado aos aços inoxidáveis martensíticos convencionais. Este aço é utilizado para fabricação de tubos para extração de petróleo e gás. Entretanto, este material também é caracterizado por apresentar difícil usinabilidade. O presente trabalho tem como objetivo principal avaliar a influência dos parâmetros operacionais (velocidade de corte e avanço por dente) sobre o desempenho da operação de serramento do aço inoxidável supermartensítico 13Cr utilizando serra circular com insertos de carboneto de tungstênio. Serão avaliados a corrente elétrica consumida pelo motor principal, o sinal de emissão acústica e o desgaste dos insertos. A avaliação da corrente consumida pelo motor principal e do sinal de emissão acústica será feita com base no método estatístico de análise de variância. O desgaste será avaliado de maneira qualitativa. Os resultados mostraram que, no que se refere à corrente elétrica consumida pelo motor principal, seu valor diminui com o aumento da velocidade de corte, porém aumenta com a elevação do avanço, de forma que menor consumo foi atingido empregando-se a maior velocidade de corte e o menor avanço. Com relação ao sinal de emissão acústica, o maior valor foi obtido com os parâmetros de corte intermediários. Finalmente, o desgaste dos insertos se caracteriza principalmente pelos desgastes de cratera e de flanco.

**Palavras-chave:** Serramento circular; Carboneto de tungstênio; Aço inoxidável supermartensítico 13Cr.

## STUDY ON CIRCULAR SAWING OF 13Cr STAINLESS SUPERMARTENSITIC STEEL

### Abstract

Supermartensitic stainless steel is a material developed to ensure better performance as corrosion resistance combined with improved mechanical properties compared to conventional martensitic stainless steel. This steel is used for the manufacture of tubes for oil and natural gas. However, this material is also characterized by presenting poor machinability. This study aims to evaluate the influence of the operating parameters (cutting speed and feed per tooth) when sawing 13Cr supermartensitic stainless steel using circular saw with tungsten carbide inserts. The analysis of variance was employed to investigate the influence of the cutting parameters on the electric current consumed by the main motor and on the acoustic emission signal. Tool wear was analyzed only qualitatively. The results indicate that the electric current diminishes as cutting speed increases, but increases with feed rate. With regard to the acoustic emission signal, highest value was obtained with intermediaries cutting parameters. Finally, the wear of the inserts was characterized by crater and flank wear.

**Key words:** Circular sawing; Tungsten carbide; 13Cr supermartensitic stainless steel.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 68<sup>o</sup> Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.

<sup>2</sup> Doutoranda em Engenharia de Produção da EE, UFMG, Engenheira Industrial Eletricista, Kampmann do Brasil Ltda., MG, Brasil.

<sup>3</sup> Doutor em Engenharia Mecânica, Professor, Depto. de Eng. Mecânica, EE, UFMG, MG, Brasil.

<sup>4</sup> Doutor em Engenharia Mecânica, Professor, Depto. de Eng. de Produção, EE, UFMG, MG, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

Os aços inoxidáveis martensíticos são muito utilizados para a fabricação de tubos petrolíferos e para extração de gás natural. De acordo com Klueh,<sup>(1)</sup> os aços inoxidáveis martensíticos são uma alternativa interessante, pois possuem propriedades mecânicas vantajosas como elevado coeficiente de expansão térmica e baixa condutividade térmica. Com isto, os aços inoxidáveis martensíticos são uma ótima alternativa quando a aplicação requer elevada resistência à tração, à fluência e à fadiga, combinada com a resistência a corrosão e utilização à elevadas temperaturas (600 – 620°C).

Com a necessidade de se extrair petróleo de águas cada vez mais profundas, é necessário o desenvolvimento de ligas capazes de resistir a condições cada vez mais adversas. De acordo com Rodrigues et al.<sup>(2)</sup> embora os aços inoxidáveis martensíticos convencionais apresentem boa resistência mecânica e a corrosão por CO<sub>2</sub>, estes aços são susceptíveis a corrosão por H<sub>2</sub>S. No intuito de melhorar a resistência à corrosão em ambientes de alta agressividade combinada à boa resistência mecânica, foram desenvolvidos os aços inoxidáveis supermartensíticos. Estes aços são caracterizados com base no sistema Fe-Cr-Ni-Mo e possuem baixos teores de C, N, P e S.

Rovere, Ribeiro e Kuri<sup>(3)</sup> afirmam que o aço inoxidável supermartensítico é utilizado na indústria de petróleo e gás para a construção de tubulações como uma alternativa prática e econômica para substituição de aço carbono com inibidores de corrosão e parte dos aços inoxidáveis duplex. De acordo com Callister e Rethwisch<sup>(4)</sup> e Klocke,<sup>(5)</sup> a martensita é formada quando um aço com teor de carbono >0,2% (no caso dos aços inoxidáveis supermartensíticos o teor de carbono pode variar de 0,01 a 0,1%) é rapidamente resfriado a partir da temperatura de formação da austenita para a temperatura de formação da martensita. Devido ao resfriamento rápido, o carbono é dissolvido no cristal misto. A martensita é muito dura e quebradiça, dificultando assim a operação de usinagem. As ferramentas de corte estão sujeitas a um maior desgaste por abrasão, além de elevadas tensões mecânicas e térmicas. Segundo ASM Metal Handbook,<sup>(6)</sup> existem outras características que influenciam a usinabilidade do aço inoxidável martensítico: por exemplo, o aumento no teor de carbono proporciona o aumento da dureza, ao passo que a elevação do teor de níquel causa o aumento de dureza quando o material é recozido. Finalmente, o equilíbrio de fases (a porcentagem de δ-ferrita ou ferrita na matriz martensítica) propicia uma melhora na usinabilidade do material, prolonga a vida da ferramenta e melhora o acabamento superficial da peça produzida.

O serramento é uma operação de usinagem onde a ferramenta, com várias arestas de corte é, normalmente, responsável pelos movimentos de corte e avanço. Segundo Koether e Rau,<sup>(7)</sup> a operação de corte com lâmina de serra circular é caracterizada por ser um processo contínuo, rápido e que fornece uma superfície de corte com pouca ou nenhuma rebarba, o que contribui para reduzir o número de operações subsequentes. Com isto, é utilizada em empresas siderúrgicas e metal mecânicas para separação de peças e semiacabamento, além do corte de sulcos e ranhuras.

Durante os testes de usinagem, é comum o monitoramento do consumo de corrente elétrica do motor responsável pelo acionamento do eixo principal (também conhecido como eixo árvore) no intuito de se verificar a influência dos parâmetros de corte sobre esta grandeza. Como a corrente elétrica é uma das variáveis utilizadas na determinação da potência da máquina, seu valor aumenta juntamente com o

avanço. Entretanto com o aumento da velocidade de corte, menor será o valor da corrente. De acordo com Byrne et al.,<sup>(8)</sup> os sensores para a medição de corrente elétrica e potência efetiva dos acionamentos ou fuso principal representam a mais simples alternativa do ponto de vista técnico e podem ser também facilmente modernizados.

O monitoramento do sinal de emissão acústica é muito utilizado em operações de usinagem. Conforme descrevem Hanchi e Klamecki,<sup>(9)</sup> a emissão acústica consiste na propagação de uma onda de tensão em alta frequência, através da rede cristalina de alguns materiais, como metais, devido ao rearranjo de suas estruturas internas. Esse rearranjo libera energia de deformação que gera ondas de tensão elástica, detectado por um sensor piezolétrico. De acordo com Uehara e Kanda,<sup>(10)</sup> o sinal do sensor montado na ferramenta mede o escoamento do cavaco sobre a ferramenta e o movimento relativo entre ferramenta e peça. Já o sinal do sensor montado na peça mede a deformação plástica e a ruptura acontecidos no plano de cisalhamento e também o deslizamento da ferramenta em relação à peça. Blum e Inasaki<sup>(11)</sup> estudaram a relação entre as variáveis de entrada (velocidade de corte, taxa de avanço, entre outras) e diversas variáveis de saída sendo uma delas a emissão acústica. Foi observado que com o aumento da velocidade de corte, houve o aumento do sinal de emissão acústica, entretanto, com o aumento do avanço, notou-se uma redução da intensidade do sinal de emissão acústica.

Segundo Soares,<sup>(12)</sup> durante os ensaios podem ocorrer vibrações provocada pela ação de forças geradas pelo próprio corte do material e são divididas em dois grupos: as forçadas pela passagem dos dentes (possuem amplitude proporcional à espessura do cavaco) e as vibrações regenerativas (resultam de um mecanismo de auto-excitação na geração da espessura do cavaco). Estas vibrações impactam principalmente na redução do tempo de vida da ferramenta e comprometem a qualidade da peça. Weingaertner et al.<sup>(13)</sup> estudaram a influência dos parâmetros de corte sobre estabilidade do processo de fresamento de topo esférico do aço ABNT P20 utilizando ferramenta inteiriça de carboneto de tungstênio. Notou-se que os cortes instáveis estão associados às elevadas amplitudes das vibrações, que fazem com que os dentes em determinados instantes não removam material devido à perda de contato com a peça e em outros instantes haja uma remoção excessiva.

Apesar da serra circular possuir maior dureza e resistência ao desgaste se comparada ao material da peça, durante o serramento a ferramenta está sujeita a um processo de desgaste e consequente substituição. Segundo Sawar et al.,<sup>(14)</sup> as principais formas de desgaste que ocorre no dente da serra de fita de aço rápido durante o corte de aço são: desgaste de cratera, desgaste de flanco e lascamento. Esta situação também é válida quando se trata de lâmina de serra circular. O desgaste de cratera ocorre na superfície de saída da ferramenta, na interface entre ferramenta e cavaco. O seu surgimento se deve à combinação dos mecanismos de desgaste denominados difusão e adesão. A difusão acontece sob altas temperaturas e consiste na transferência de átomos entre o material da peça e da ferramenta. Segundo Callister e Rethwisch<sup>(4)</sup> de uma perspectiva atômica, difusão é justo a migração em etapas de átomos de um sítio de rede para outro sítio da rede. Para que os átomos se movam duas condições têm que ser satisfeitas, deve existir um sítio adjacente vazio e o átomo deve ter suficiente energia para quebrar as ligações com seus átomos vizinhos e assim causar distorção da rede durante o deslocamento. A adesão ocorre quando duas superfícies metálicas são colocadas em contato sob carga moderada e baixas velocidades de corte, formando assim um extrato metálico entre elas. Já o desgaste de flanco acontece na superfície de folga

da ferramenta, causado pelo contato entre ferramenta e peça. Este desgaste altera a aresta de corte, tendo como consequência a deterioração do acabamento superficial e dimensões da peça. Finalmente, o lascamento é um tipo de avaria da ferramenta. Representa uma falha acidental e prematura devido a solicitações térmicas ou mecânicas excessivas em sua cunha de corte e normalmente ocorre quando a ferramenta entra bruscamente em contato com a peça.

Testes de serramento de tubos de aço S235JR com serras circulares com inserto de carboneto de tungstênio realizados por Tillmann<sup>(15)</sup> indicaram que ao elevar a velocidade de corte de 300 m/min para 1500 m/min (para um avanço por dente de 0,03 mm/rev) ocorreu o lascamento da superfície de folga principal. Além disso, o autor observou o desgaste dos insertos da serra no corte do aço DIN X2CrNi12. Os parâmetros de corte foram velocidade de corte de 510 e 960 m/min e avanço por dente 0,021 e 0,03 mm/rev. Foi observado desgaste por adesão, impossibilitando seu emprego sob estas condições.

Lewis, Bradbury e Sawar<sup>(16)</sup> investigaram os mecanismos de desgaste da lâmina de serra circular com segmentos de aço rápido durante o corte de ligas a base de níquel (Cupro 107, Inconel 1600L 1 e Nimonic PK3I). Os autores relataram que quando a dureza do material da peça é moderada predominam os mecanismos de desgaste por abrasão e adesão. Entretanto, quando o material da peça tem dureza mais elevada, a temperatura na zona de corte é mais alta e os mecanismos de desgaste predominantes são a difusão e a deformação plástica da ferramenta.

## 2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar a influência da velocidade de corte, avanço por dente e a combinação destes parâmetros de corte sobre o consumo de corrente elétrica do motor principal e sinal de emissão acústica durante o serramento do aço inoxidável supermartensítico utilizando serra circular com insertos de carboneto de tungstênio. Também foi avaliado de maneira qualitativa o desgaste dos insertos de carboneto de tungstênio após os experimentos.

## 3 MATERIAL E MÉTODOS

O material do corpo de prova é o aço inoxidável supermartensítico 13Cr, cuja composição química básica está mostrada na Tabela 1.

**Tabela 1.** Composição química básica do aço inoxidável supermartensítico 13Cr<sup>(17)</sup>

Carbono	Cromo	Níquel	Molibdênio
0,02%	13%	5%	2%

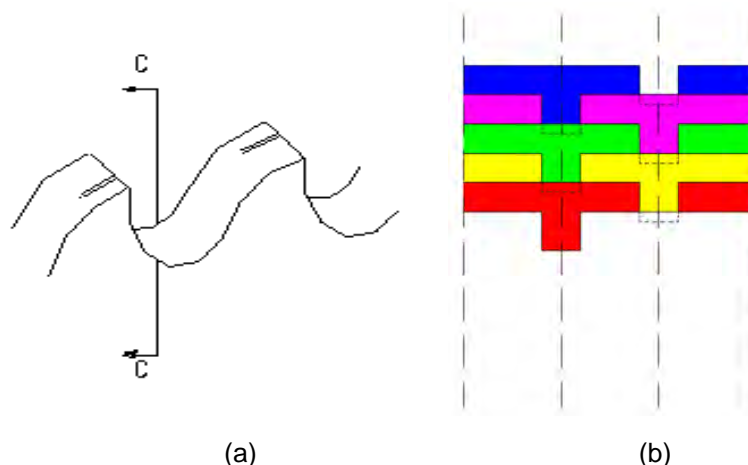
Os dados da ferramenta utilizada neste experimento são:

- Tipo: serra circular com insertos de carboneto de tungstênio;
- Geometria dos insertos: sulco alternado;
- Ângulo de ataque (ou ângulo de suporte): -10°;
- Número de dentes: 12;
- Diâmetro externo: 200 mm;
- Largura do disco: 1,7 mm;
- Largura do inserto: 2,0 mm;
- Diâmetro do furo central: 25,4 mm;
- Número de furos de arraste: 4;

- Diâmetro dos furos de arraste: 11,0 mm; e
- Diâmetro primitivo (para posicionamento dos furos de arraste): 40 mm.

Durante os testes foi aplicada lubrificação por mínima quantidade de fluido (MQF). O fluido utilizado foi emulsão de fluido semissintético a uma concentração de 5%.

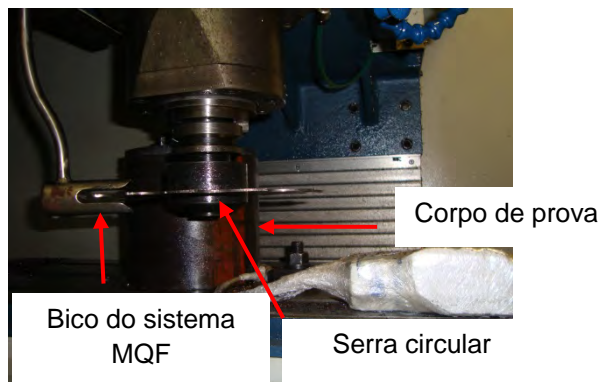
Para que o corte com serras circulares ocorra de forma adequada, é fundamental, ao quebrar os cavacos, que estes fiquem mais estreitos do que a largura do corte e não se acumulem na bolsa entre os dentes. Este efeito é produzido pela geometria do inserto. Na geometria com sulcos alternados, todos os dentes tem o mesmo formato e altura, o que muda é a posição dos sulcos abertos na aresta de corte (Figura 1a). Esta configuração propicia a divisão do cavaco em dois, também anulando os efeitos da dilatação térmica. Com isto, são formados dois cavacos, um estreito e outro largo. O esquema de remoção de cavacos que ilustra como seria o processo de remoção de cavacos considerando mais de um dente atuando durante a operação de corte é mostrado na Figura 1b.



**Figura 1.** Serra com sulcos alternados:(a) geometria do dente e (b) esquema de remoção de cavacos.

Os testes foram executados em um centro de usinagem Romi, modelo Discovery 560, com potência de 9,0 kW e rotação máxima de 7500 rpm, equipado com comando numérico Siemens 810D. Foi instalado um reservatório na parte superior do centro de usinagem e um bico de refrigeração próximo à lâmina de serra circular, ilustrado na Figura 2. O reservatório foi conectado ao bico por um tubo de aço. Neste tubo também foi conectada a mangueira com ar comprimido. No bico de refrigeração ocorre a mistura do ar comprimido com a emulsão para formar a névoa. A pressão do ar comprimido foi mantida constante em 262,5 Pa e controlada por meio de uma válvula reguladora de pressão Parker modelo DTGB7. A vazão do fluido também foi mantida constante em 6 mL/min.





**Figura 2.** Montagem do experimento.

Durante os ensaios, a aquisição dos dados da corrente elétrica consumida pelo motor principal do centro de usinagem foi realizada por meio do *software* Simatic Manager. Para aquisição dos sinais de emissão acústica, foi utilizado o sensor fabricado pela empresa McWade Monitoring Systems. O sensor e o pré amplificador trabalham na faixa de 150 KHz. Estes componentes serão ligados ao filtro e este ao osciloscópio.

Após os testes os insertos foram fotografados em um microscópio Olympus SZ 61 com auxílio de uma câmera CCD. As imagens foram analisadas no computador por meio do *software* Image-Pro Express.

O planejamento experimental foi fatorial completo com dois fatores (velocidade de corte e avanço por dente) em três níveis, logo o número de experimentos foi nove, conforme Tabela 2. O valor de penetração de trabalho foi mantido constante em 10 mm. Os testes foram realizados em ordem aleatória para garantir que fatores não controláveis interferissem nos resultados. Foram realizadas duas réplicas para cada teste, resultando em um total de 18 testes.

**Tabela 2.** Testes do planejamento experimental

Teste	Velocidade de Corte (m/min)	Avanço por Dente (mm/rev)
1	130	0,04
2	130	0,07
3	130	0,10
4	150	0,04
5	150	0,07
6	150	0,10
7	170	0,04
8	170	0,07
9	170	0,10

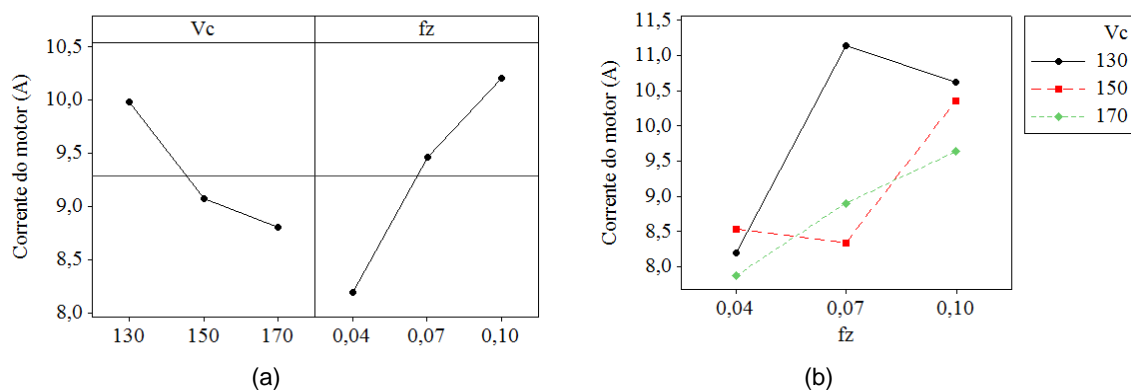
Para os valores de corrente, a partir do banco de dados obtido durante o teste, foram selecionados os nove maiores valores de corrente do motor e feito a média aritmética destes. Os valores de emissão acústica foram obtidos por meio da média aritmética de três sinais de tensão. Para a análise dos resultados de corrente do motor e emissão acústica, foi empregada a análise de variância (Anova) e posteriormente foram construídos os gráficos de efeito principal e interação dos parâmetros de corte. O desgaste dos insertos da serra circular foram analisados de maneira qualitativa.

## 4 RESULTADOS

Inicialmente serão apresentados os resultados relativos ao consumo de corrente do motor principal, seguidos dos resultados da emissão acústica e, finalmente, da análise do mecanismo de desgaste predominantes.

### 4.1 Corrente Elétrica Consumida pelo Motor Principal

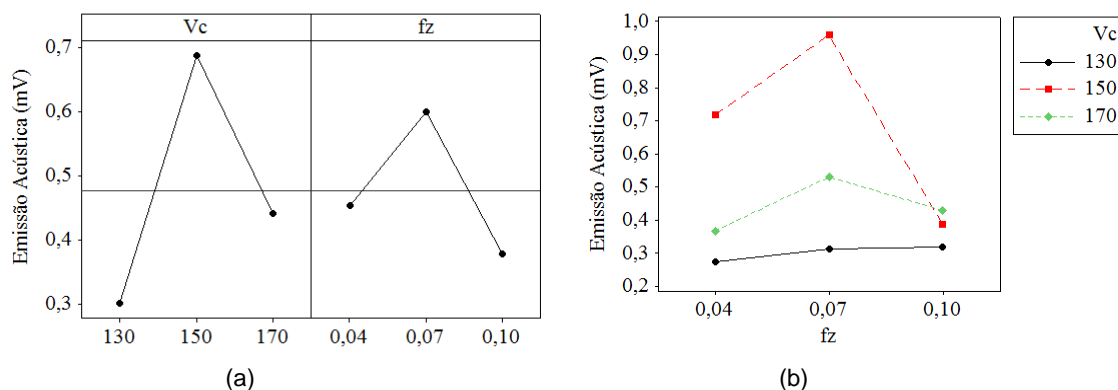
A Figura 3a mostra o gráfico de efeitos principais da variação dos parâmetros de corte (velocidade de corte e avanço por dente) sobre a corrente elétrica. Observa-se que o aumento da velocidade de corte provoca a redução do valor da corrente requerida durante a operação. Por outro lado, a corrente elétrica consumida aumenta com o aumento do avanço por dente. Já a Figura 3b ilustra o gráfico de interação entre os parâmetros de corte. Verifica-se que o menor valor de corrente é obtido com a maior velocidade de corte associada ao menor avanço por dente.



**Figura 3.** Gráficos de corrente consumida pelo motor (a) efeitos principais e (b) interação dos parâmetros de corte.

### 4.2 Emissão Acústica

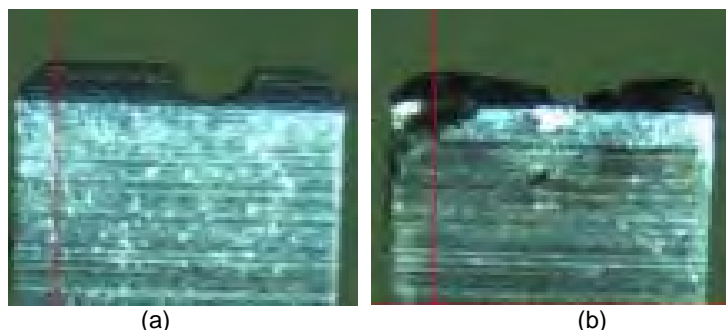
Os gráficos de efeitos principais e interação dos parâmetros de corte para emissão acústica são apresentados na Figura 4. Nota-se que o maior valor de emissão acústica foi obtido com os valores intermediários dos parâmetros de corte (Figura 4a). A Figura 4b mostra a interação dos parâmetros de corte, o menor valor do sinal de emissão acústica foi obtido com os menores parâmetros de corte.



**Figura 4.** Gráficos do sinal de emissão acústica (a) efeitos principais e (b) interação dos parâmetros de corte.

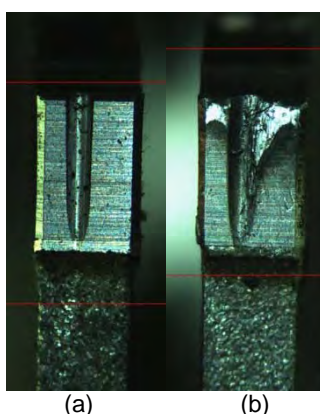
### 4.3 Desgaste da Serra

A Figura 5 mostra a vista do plano de referência antes (a) e após (b) realização dos testes. Observa-se na Figura 5b a ocorrência da modificação na geometria da aresta de corte próximo ao sulco.



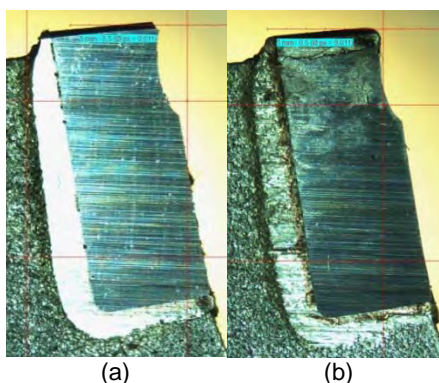
**Figura 5.** Vista do plano de referência (a) antes e (b) depois dos ensaios.

Já a Figura 6 ilustra a vista do plano de corte antes (a) e após (b) realização dos ensaios. Nota-se que na superfície de folga principal com a presença de material da peça aderido (Figura 6b).



**Figura 6.** Vista do plano de corte (a) antes e (b) depois dos ensaios.

Finalmente a Figura 7 apresenta a vista do plano ortogonal antes (a) e após (b) realização dos testes. A vista do plano ortogonal ilustra a superfície de folga secundária, que no caso específico de serras circulares é chamada de superfície de flanco do inserto. Observa-se na Figura 7b a alteração na geometria da aresta de corte.



**Figura 7.** Vista do plano ortogonal (a) antes e (b) depois dos ensaios.



## 5 DISCUSSÃO

No que se refere ao consumo de corrente elétrica do motor principal, sua redução é provocada pelo aumento da velocidade de corte. Este fenômeno é justificado pela elevação da temperatura na região do corte e consequente redução da resistência ao cisalhamento do material da peça. Entretanto, o consumo de energia elétrica aumenta com o aumento do avanço devido à elevação do volume de cavaco removido. Com isto, para obter o menor consumo de energia elétrica é necessário à combinação de elevada velocidade de corte e redução do avanço.

Com relação à emissão acústica, nota-se que o maior valor ocorreu nos parâmetros de corte intermediários. Esperava-se o aumento da emissão acústica com a elevação da velocidade de corte e redução do avanço. Também era esperado que os parâmetros de corte intermediários apresentassem valores intermediários das grandezas mensuradas. Analisando o gráfico da interação dos parâmetros de corte para sinal de emissão acústica, observa-se para velocidade de corte de 150 m/min, quando foram aplicados os avanços por dente de 0,04 e 0,07 mm/rev, esta apresentou os maiores valores de emissão acústica. Entretanto, quando foi aplicado o maior avanço, o valor da emissão acústica a 150 m/min foi intermediário. Observando o gráfico de interação dos parâmetros de corte para a corrente elétrica, verifica-se um comportamento conforme esperado, na velocidade de corte de 150 m/min, apenas quando o avanço foi de 0,1 mm/rev. Uma hipótese para a ocorrência deste fenômeno é uma provável instabilidade por velocidade que foi estabilizada com o aumento do avanço. Esta instabilidade pode estar associada ao próprio sistema máquina-ferramenta ou pelo desalinhamento do disco (causando desalinhamento na aresta de corte). A instabilidade pode acarretar que, em alguns instantes, os dentes da serra removam uma quantidade excessiva de material e em outros não removam material devido à perda de contato com a peça.

Referente ao desgaste da serra, observou-se uma modificação na aresta de corte indicando a ocorrência do desgaste de cratera que surge devido à combinação dos mecanismos de desgaste por difusão e adesão. A difusão ocorre sob altas temperaturas e consiste na transferência de átomos entre o material da peça e da ferramenta. A adesão ocorre quando duas superfícies metálicas são colocadas em contato sob carga moderada e baixas velocidades de corte, formando assim um extrato metálico entre elas. Próximo à aresta de corte nota-se a presença de material da peça aderido na superfície de folga principal caracterizando a ocorrência do desgaste de flanco que nada mais é do que o desgaste da superfície de folga causado pelo contato da ferramenta e peça.

## 6 CONCLUSÃO

Após a realização de ensaios de serramento do aço inoxidável supermartensítico utilizando serra circular com insertos de carbeto de tungstênio conclui-se que:

- o consumo de corrente do motor diminui com o aumento da velocidade de corte, porém aumenta com a elevação do avanço. A menor corrente do motor foi obtida com a maior velocidade de corte e menor avanço por dente;
- o maior valor para o sinal de emissão acústica foi obtido com os parâmetros de corte intermediários e o menor com os menores valores dos parâmetros de corte; e
- os insertos da serra apresentaram os desgastes de cratera e de flanco.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – Fapemig, pela infraestrutura laboratorial que permitiu a realização deste projeto, ao Sr. Pedro Lúcio Moreira da Kampmann do Brasil Ltda. pelo apoio ao projeto e pelo fornecimento de insumos, aos Dr. Ricardo Nolasco de Carvalho, Dra. Marília Mendonça de Lima e Sr. Igor Alves de Oliveira da V&M Tubes pelo fornecimento do material do corpo de prova, ao Sr. Tertuliano Alves de Oliveira da Aço Liver pela preparação dos corpos de prova e ao aluno de iniciação científica (EE. UFMG) Gabriel Moreno Britto pelo auxílio durante a realização dos testes.

## REFERÊNCIAS

- 1 KLUEH, R. L., HASHIMOTO, N., MAZIASZ, P. J. Development of new nano-particle-strengthened martensitic steels. *Scripta Materialia*, v.53, n.3, p. 275-280, 2005.
- 2 RODRIGUES, C. A. D., DI LORENZO, P. L., SOKOLOWSKI, A., BARBOSA B. C. A., ROLLO, C. J. M. D. A. Desenvolvimento do Aço Supermartensítico Microlgado ao Titânio. CONGRESSO ANUAL DA ABM, 60, 2005, Belo Horizonte,
- 3 ROVERE, C. A. D., RIBEIRO, C. R., KURI, S. E. Suscetibilidade à corrosão intergranular de juntas soldadas de aço inoxidável Super 13Cr. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 17, 2006, Foz do Iguaçu.
- 4 CALLISTER, W. D.; RETHWISH, D. G. *Fundamentals of materials science and engineering: An Integrated Approach*. 4 ed. USA: John Wiley & Sons Inc, 2011.
- 5 KLOCKE, F. *Manufacturing Processes 1: Cutting*, 1 ed. Aachen: Springer, 2011.
- 6 ASM METAL HANDBOOK, Machining, v. 16, ASM International, 1989.
- 7 KOETHER, R.; RAU W. *Fertigungstechnik für Wirtschaftsingenieure*. 3 ed. Munique: Carl Hanser Verlag, 2008.
- 8 BYRNE, G.; DORNFELD, D.; INASAKI, I.; KETTELER, G.; KÖNIG, W.; TETI R. Tool condition monitoring (TCM): The status of research and industrial applications. In: CIRP, 44, 1995. Anais... CIRP, 1995. p. 541-567.
- 9 HANCHI, J.; KLAMECKI, B. E. Acoustic emission monitoring of the wear process. *Wear*, v. 145, p. 1-27, 1995.
- 10 UEHARA K.; KANDA Y. Identification of chip formation mechanism through acoustic emission measurements. In: CIRP, 33, 1984. Anais... CIRP, 1984. p. 71-74.
- 11 BLUM, T.; INASAKI, I. A study on acoustic emission from the orthogonal cutting process. *Journal Engineering for Industry*, v. 112, p. 203-204, 1990.
- 12 SOARES, L. O. Desenvolvimento de rotina computacional para controle de vibrações em usinagem. In: Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA, 14, 2008, São José dos Campos. Anais... São Paulo: ITA, 2008, 7 p.
- 13 WEINGAERTNER, W. L.; SCHROETER, R.B.; POLLI, M. L.; GOMES, J. O. Influência dos parâmetros de corte sobre a estabilidade dinâmica no fresamento de topo esférico à altas velocidades. São José dos Campos: ITA, Sem Ano, 10 p.
- 14 SAWAR, M.; HAIDER, J.; PERSSON, M.; HELLBERG, H. Material behavior at the extreme cutting edge in bandsawing. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF AVANCES IN MATERIALS AND PROCESSING TECHNOLOGIES, Paris, 2010, p. 1059-1064.
- 15 TILLMANN, M. Schlussbericht: Schnellsttrennen von Stahl mit hochharten Schneidstoffen. Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF), Remscheid, 15958 N, 2011, 73 p.

- 16 LEWIS, D. B.; BRADBURY, S. R.; SAWAR M. Analysis of wear and failure mechanisms that develop in high speed circular saw blade when machining nickel based alloys. *Wear*, v. 197, p. 74 – 81, 1996.
- 17 V&M Tubes. 13%Cr & Super 13%Cr steel grades for sweet CO<sub>2</sub> corrosion service V&M Tubes, Catálogo, Sem ano, 8 p.