

ANÁLISES DOS CAVACOS GERADOS NO PROCESSO DE FRESAMENTO DO AÇO INOXIDÁVEL DÚPLEX UNS S31803 (SAF 2205), COMO RECEBIDO

Emerson Augusto Raymundo, emersonaugustoray@gmail.com.br

Erica Weruth Ambrozin, erica.ambrozin@mpsa.com

Rosinei Batista Ribeiro, rosinei1971@gmail.com

José Veríssimo Ribeiro de Toledo, verissimo.toledo@hotmail.com

José Vitor Candido de Souza, candido@feg.unesp.br

¹Centro Universitário Salesiano de Lorena UNISAL, Rua Dom Bosco, 284 - Centro - Lorena/SP - 12600-100

¹FATEC de Pindamonhangaba, Rodovia Vereador Abel Fabrício Dias, 4010, Pindamonhangaba – SP,

²Centro Universitário de Volta Redonda, UniFoa, Av. Paulo Erlei Alves Abrantes, 1325, Três Poços Volta Redonda

³FATEA Faculdades Integradas Tereza D'Ávila, Avenida Doutor Peixoto de Castro, 539

⁴Universidade Federal de Itajubá, UNIFEI, Av. BPS, 1303, Bairro Pinheirinho, Itajubá, MG

⁵UNESP/FEG, Av. Ariberto Pereira da Cunha, 333. Bairro: Pedregulho

Resumo: O estudo experimental da usinagem é de essencial importância, pois teorias como da plasticidade não permite explicar satisfatoriamente os fenômenos observados. As análises de usinagem são diferentes ao estudo das propriedades da conformação mecânica, ela envolve forças ou ações ativas e não ativas que podem elevar a complexidade dos fenômenos resultantes. A meta deste trabalho foi de analisar a microestrutura dos cavacos do aço inoxidável duplex UNS S31803 (SAF 2205) gerados do processo de usinagem em fresamento CNC, com a finalidade de analisar o comportamento do mesmo em meio a um processo mecânico. Para tanto, foi analisada as formas e tipos dos cavacos e a estereologia desses grãos, as regiões de bandas de deslizamento, zona de aderência foram identificadas e analisadas. Para as análises de contorno de grão foi utilizado um software de processamento digital de imagens de domínio público. Por meio dos resultados das análises dos cavacos, pode concluir a relação de valores de avanços combinado com as velocidades de corte alteraram de maneira geral o tipo de cavaco e que os contornos de grão ficaram deformado e orientado nas regiões conforme o mecanismo de sua própria formação e que nas regiões interiores dos cavaco quase não se alteravam.

Palavras-chave: Usinagem, aço Inox duplex, cavaco e processamento de imagem

ANALYSIS OF CHIP GENERATED BY MILLING PROCESS OF STAINLESS STEEL DUPLEX UNS S31803 (SAF 2205), AS RECEIVED

Abstract: The experimental study of machining is of essential importance, because as theories of plasticity allows not satisfactorily explain the observed phenomena. Analyses machining does not equate to the study of physical properties of metal forming, it involves forces or active and non-active actions that may raise the complexity of the phenomena arising. The goal of this study was to analyze the microstructure of the chips of the duplex stainless steel UNS S31803 (SAF 2205) generated in the machining CNC milling process, in order to analyze the behavior of even amidst a mechanical process. To this end, we analyzed the forms and types of the chips and stereology of these grains, the regions of bands slip grip zone were identified and analyzed. It was identified that the advancement and speed characterized the morphology of chip. For the analysis of grain boundary software digital image processing in the public domain was used. Through the results of analysis chip, can complete the list of values combined with advances cutting speeds generally alter the type of chip and that the grain boundaries were deformed and oriented in the regions as the mechanism of its own training and that the inner regions of the chip almost did not change.

Keyword: Machining, duplex stainless steel, chip and image processing

1. INTRODUÇÃO

Os aços inoxidáveis se dividem basicamente em cinco grupos principais: austeníticos, ferríticos, martensíticos, duplex e endurecíveis por precipitação. De acordo com a estrutura metalúrgica do aço, existem vantagens e desvantagens apresentadas distintamente por cada um dos grupos. Surgiu, então, a necessidade da obtenção de um aço inoxidável que alie as qualidades dos aços ferríticos e austeníticos, especialmente com relação à resistência mecânica, tenacidade e resistência à corrosão. Como resposta a essa necessidade surgiram os aços inoxidáveis duplex.

Em processos de usinagem o cavaco é considerado o descarte sem interesse para análises e tão pouco se observa sua morfologia o tipo e formas. O mecanismo de construção não é tão óbvio e fácil de explicar, pois a interação entre peça e ferramenta não é um simples fato de se cortar e onde o mais duro corta ou risca o mais mole. A junção de parâmetros, condições e variáveis faz da usinagem um meio especulativo. Tais ações refletem diretamente no desgaste das ferramentas, no acabamento e integridade estrutural.

Este trabalho caracteriza-se por analisar alguns efeitos causados na usinagem do aço inoxidável duplex UNS S31803 (SAF 2205), por meio da operação de fresamento, estabelecendo correlações entre os parâmetros de corte e suas consequências no mecanismo de formação dos cavacos utilizando um software de processamento de imagens de domínio público.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo Tan et. al. (2011), os aços inoxidáveis duplex são amplamente utilizados como alternativas para aços inoxidáveis e ligas à base de níquel recentemente. Eles representam uma classe importante e em expansão de aços com uma excelente combinação de resistência mecânica e resistência à corrosão. A sua boa propriedade depende da microestrutura dupla, que consiste em quantidades aproximadamente equivalentes de austenita e de ferrita quase sem precipitados indesejáveis.

Por causa de sua excelente combinação de propriedades mecânicas, alta resistência à corrosão e custo/benefício são materiais de grande interesse para a indústria, para ciência e para o comércio, em particular para mercados críticos como indústrias químicas e petroquímicas. Em geral, os requisitos essenciais exigidos para uma liga metálica relacionadas à indústria petroquímica são: resistência mecânica e resistência à corrosão.

Segundo Nunes et. al. (2011), uma grande parcela das aplicações industriais dos aços inoxidáveis duplex (AID) aplica-se ainda nas indústrias de papel e celulose, processos de soldagem para em vasos (tratadores eletrostáticos), tubulações de água produzida e injetada, tubos permutadores, evaporadores de água, *hard pipes*, no abastecimento em tubulações, trocadores de calor. No Brasil, a utilização destes materiais cresceu a partir da década de 90.

Esses aços são materiais baseados no sistema Fe-Cr-Ni. Sua composição química e o processamento termomecânico conferem-lhes uma microestrutura bifásica com proporções aproximadamente iguais de ferrita e austenita. Estes aços são tipicamente ligas Fe - Cr (de 20 a 30%) - Ni (de 5 a 10%), (Noble, 1993), com teores muito baixos de carbono (menores de 0,03%) podem ainda ter adições de nitrogênio, molibdênio, tungstênio e cobre. (Solomon, 1983).

Segundo Ramos (2004), a dificuldade de usinagem aumenta com o teor de elementos de liga, desgastando de forma intensa as ferramentas e reduzindo a qualidade de acabamento superficial. Carbonetos abrasivos presentes nos aços inoxidáveis altamente ligados causam rápido desgaste nas ferramentas. A quebra do cavaco também é dificultada, aumentando a deformação na zona de cisalhamento primária com consequente redução da velocidade de corte.

Os aços inoxidáveis em geral apresentam comportamentos diferentes na usinagem, quando comparado com outros aços. Ele é principalmente caracterizada por: altas taxas de encruamento, que induzem modificações mecânicas e comportamento heterogêneo nas superfícies geradas, e que levam à instável formação de cavacos e vibrações (Saoubi et al., 1999); e por sua baixa condutibilidade térmica (Korkut et al., 2004). A condução de calor corresponde a aproximadamente $\frac{1}{4}$ do valor encontrado na usinagem de um aço comum (Neves et al., 2003). Desta forma o calor se propaga menos para o material de trabalho.

A combinação de parâmetros, situações de usinagem e variáveis podem fazer da usinagem um meio especulativo. Tais ações podem refletir diretamente nos desgastes de ferramentas, no acabamento e integridade estrutural dos materiais. Em processos de usinagem o cavaco muitas vezes não é analisado e sem interesse e tão pouco observado sua morfologia. O cavaco é material removido pela ação de uma ferramenta de corte, os mecanismos de construção não são tão óbvios e fácil de explicar, pois a interação entre peça e ferramenta não é um simples fato de corte onde o mais duro corta ou risca o mais mole.

Para acompanhar os efeitos de tratamentos térmicos e processos de conformação, por exemplo, são feitos análises de contornos de grãos tais procedimentos são muito utilizados em meio acadêmico e metalúrgico. Quando se observa os contornos e tamanho de grãos alguns parâmetros e propriedades podem ser comparados, tal como forças, velocidade de deformação e respectivamente dureza e ainda resistência à deformação e a propagação de trincas. Em operação de usinagem o mecanismo de formação de cavacos sofre os mesmos processos da conformação e dependendo do caso até tratamento térmico, as diferenças estariam no dinamismo do processo. Contudo, analisar cavacos pode ser um caminho interessante de se determinar qual parâmetro seria ideal para melhoria da usinabilidade.

Análises estereológicas são utilizadas para medir tamanho de grão, tais análises podem se realizadas por meio de ferramentas ou rotinas de programas de processamento e análises de imagens. Um mecanismo para medidas de tamanho de grãos dentro desses programa por exemplo, são as linhas de intercepto que resulta na razão entre superfície e volume do grão ou fração volumétrica. Com objetivo de se auxiliar as análises das imagens o processamento de digital é ferramenta imprescindível desses programas, utilizando de uma das ferramenta desses processamento os chamados filtros podem estar no domínio do espaço e da frequência.

O processamento de imagens, no domínio do espaço ou filtros espaciais, pode transformar as intensidades de brilho para cada ponto ou pixels. Por outro lado, o processamento no domínio da frequência, as transformações são baseadas em operadores de frequência espaciais, como Hough, Walsh, Hadamard, Harr, Slant e principalmente Fourier (Spring and Inoué, 1997).

Os programas de processamentos envolvem simples operações com pixels, em que alteração em um determinado pixel depende dos pixels vizinhos. Um potencial de variedades de métodos de processamento de imagens utiliza operações de multipixels, em que cada pixel final é alterado por contribuições de um número de pixels adjuntos de entrada. O termo usual para essa semelhante operação é convolução ou convolução espacial.

Convoluções envolvem multiplicações de um conjunto de pixels selecionados na entrada da imagem com uma variedade de pixels correspondentes que são fornecidos em uma máscara de convolução ou convolução kernel. As convoluções Kernels podem ser designadas à suavização de ruídos em imagens no espaço (média espacial). Para realçar contornos das imagens, podem ser usados filtros gradiente, e Laplaciano passa-alta. Para ajuste de contraste local pode usar filtros máximos, mínimos ou medianos, Para transformação da imagem espacial no domínio da frequência utiliza-se da transformada de Fourier ou Hartley (Spring e Inoué, 1997).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho caracteriza-se por analisar alguns efeitos mecânicos causados na usinagem por meio da operação de fresamento, estabelecendo correlações entre os parâmetros de corte e suas consequências no mecanismo de formação dos cavacos utilizando, para tanto, foi utilizado um software de processamento de imagens de domínio público.

O material utilizado para o desenvolvimento deste trabalho foi o aço inoxidável dúplex UNS S31803 (SAF 2205) no estado como recebido (laminado). De uma maneira geral os procedimentos experimentais empregados neste trabalho tiveram como objetivos desenvolver e estabelecer uma metodologia para analisar a microestrutura do aço inoxidável dúplex com os parâmetros de usinagem. Para tanto, chegou-se a uma análise do material via metalografia, onde foco do foi a avaliação automática dos contornos de grãos dos cavacos gerados e do material da peça.

Os parâmetros de usinagem para o processo de fresamento foram baseados nas instruções do catálogo do fabricante da ferramenta de corte, tais como: avanço, velocidade de corte e rotação da máquina. O trabalho de usinagem foi realizado na empresa Tornearia Ano Bom, localizada em Barra Mansa/RJ.

A operação de usinagem foi realizada utilizando uma fresa de topo. As amostras de cavaco foram recolhidas para cada passe correspondente ao parâmetro de usinagem. O aço inoxidável foi fornecido em forma de chapa com as seguintes dimensões: 150x80x20mm (comprimento x largura x espessura, respectivamente), conforme fig. (2) a seguir.

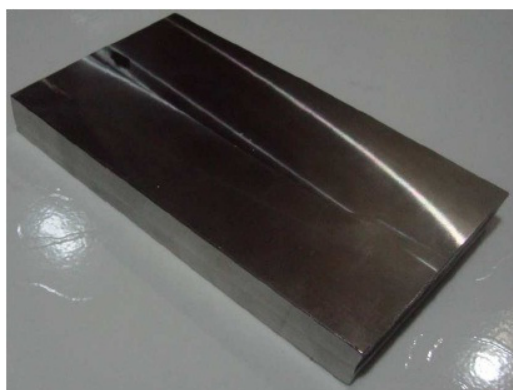


Figura 2. Amostra como Recebido: Aço inoxidável Duplex

As ferramentas utilizadas no trabalho foram pastilhas de metal duro da empresa Sandvik Coromant. As características de são: cobertura PVD, raio 2 mm, fixação por parafuso, nº de dentes 6, diâmetro 80 mm. A máquina ferramenta utilizada para o processo de fresagem foi uma fresadora CNC, Fagor modelo TR-2. Os parâmetros de corte utilizados neste trabalho estão descritos na Tab. (1).

Tabela 1. Parâmetros de usinagem utilizado no processo de Fresamento.

Passo	Velocidade corte (m/min)	Avanço p/ Dente (Acabamento) (mm/dente)	Profundidade de corte (mm)
Passo 1	200	0,1	2
Passo 2	160	0,08	1
Passo 3	160	0,1	1
Passo 4	160	0,15	1
Passo 5	170	0,08	1
Passo 6	170	0,1	1
Passo 7	180	0,08	1
Passo 8	180	0,1	1

Assim, foram realizados oito passes para coleta de cavacos, com parâmetros de usinagem conforme tabela acima. Todos os passes foram realizados com a utilização do fluido de corte.

As etapas do processo metalográfico foram realizadas no Laboratório de metalografia do Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA. O ataque químico realizado teve como objetivo a revelação microestrutural, como contornos dos grãos. Foram realizados testes com dois tipos de reagentes distintos. Os reagentes foram aplicados na amostra com tratamento térmico (Flick) e na amostra como recebida (Flick e Kalling), utilizando algodão embebido sobre a superfície polida deixando reagir durante 10 segundos. As imagens da microestrutura foram feitas via microscopia ótica, utilizando o microscópio metalúrgico Olympus modelo CX21.

Com objetivo de melhoras as análises morfológicas dos cavacos, as imagens dos cavacos foram também obtidas por microscopia eletrônica de varredura realizadas no Laboratório de Microscopia Eletrônica no Departamento de Engenharia de Materiais – LME-DEMAR-EEL/USP - Microscópio Eletrônico de Varredura tipo VP 1450, fabricado pela LEO.

O programa utilizado para o processamento e análises de imagens dos contornos de grãos foi *Image J* 1.4s de domínio público. A rotina criada passou pelo processamento, calibragem e análise. As imagens adquiridas foram transformadas em imagens binárias de 8 bits, essas imagens foram separadas em *background* da baquelite no processador, em seguida utilizou-se o filtro passa-banda para atenuar frequências baixas e altas. As linhas mais finas foram beneficiadas e delineadas utilizando uma outra ferramenta *outline* do programa.

As imagens foram então, calibradas para valores micrométricos, logo as regiões foram selecionadas para o desenvolvimento do trabalho. Com as análises estereológicas das partículas e das regiões gerou-se relatórios, tais como medidas de perímetros e valores estatísticos. Esse sistema pode ser considerado como um modo automáticos de medidas de grãos, pois existe na norma ABNT de medidas de tamanho de grão em que se utiliza de meios matemáticos para as análises considerando a como medida manual.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para as efetivas comparações foi obtido imagens do material como recebido Esse resultado do ensaio metalográfico pode ser visualizado por meio da fig. (3) a seguir, onde utilizou-se o ataque químico reagente Flick.

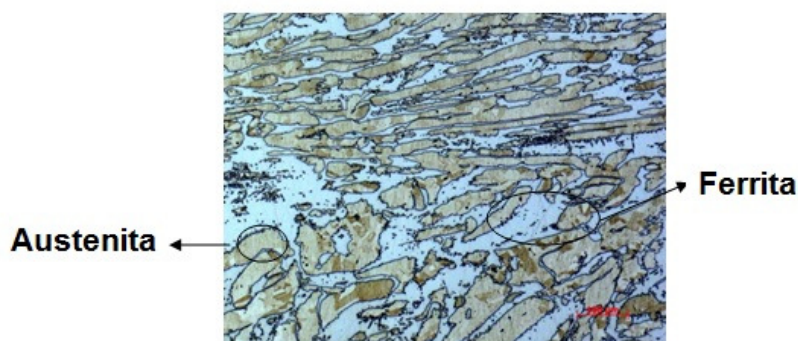


Figura 3. Microestrutura do Aço Inoxidável Duplex UNS S31803 (SAF 2205) como recebido, com ampliação 100x – Ataque com o reagente Flick.

Segundo Senatore et al (2007), afirma que utiliza-se o tratamento termomecânico dentro da faixa de 1000 a 1250°C para obtenção da microestrutura duplex e que nesta faixa o material aço inoxidável duplex apresenta um comportamento muito próximo do equilíbrio estável e metaestável. Baseado nesta afirmação acima se observa na Fig.

(3) uma estrutura lamelar com grãos alongados na direção da laminação e composta por uma matriz que se deduz ser ferrítica com ilhas austeníticas. Estas características são típicas do comportamento estável que o aço inoxidável dúplex apresenta após a sua obtenção. Como o formato dos grãos e a composição austenítica/ferrítica encontrada na amostra como recebida é compatível com a da literatura, foi comprovado que realmente tratava-se do aço inoxidável dúplex.

Como parte desse trabalho a seguir na Fig. (4), pode ser observada imagens da microestrutura do cavaco obtida após a usinagem desse aço inoxidável dúplex, resultado do ataque com o reagente Flick. A morfologia apresentada revela um desencadeamento da formação original dos grãos, de modo que na formação do cavaco se processa entre suas etapas mecânicas de formação regiões de alta deformação revelado nos segmentos dos cavacos e nas bordas, ou seja, próximas da zona de fluxo. Para tanto, na parte lisa do cavaco concentra os grãos deformados e nas regiões próximas a ruptura parcial e total dos segmentos.

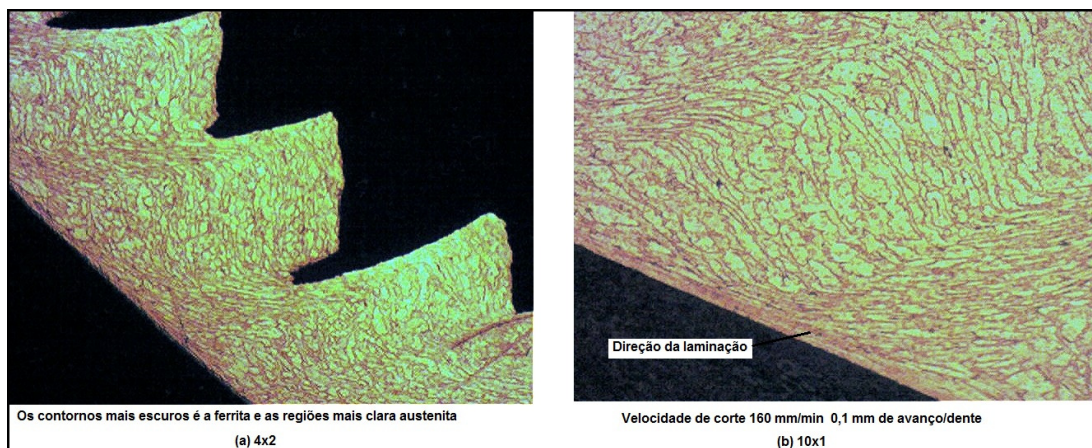


Figura 4. Microestrutura do cavaco obtido após usinagem do Aço Inoxidável Dúplex UNSS 31603 (SAF 2205), com ampliação 400x – Ataque com o reagente Flick.

Os cavacos das imagens da Fig. (5) adiante mostram de forma mais abrangente as camadas sobrepostas do mecanismo de formação e também as linhas de deformação que podem estar ligadas ao processo de conformação mecânica e que neste caso elas são mais visíveis, ou acentuadas. Essas linhas se acumulam encruando mais o material ajudando no processo de segmentação e quebra do cavaco, já que o objetivo dos processos de usinagem é sempre cavacos mais curtos. Isso se deve por umas das etapas do próprio mecanismo de formação, ou seja, pela pressão exercida no recalque somado a passagem pela superfície de saída ou zona de aderência da ferramenta de corte. Esses mecanismos e a geometria da ferramenta pode ter auxiliado na pressão exercida no material removido fazendo com ele se encurvasse e deformasse dessa maneira até formar-se essa geometria serrilhada semelhante a das imagens da fig. (5).

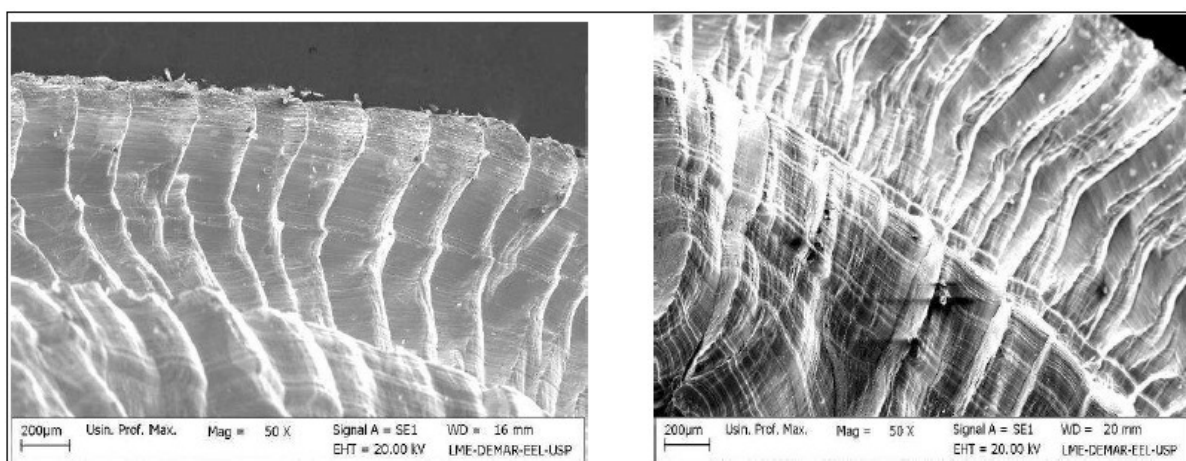


Figura 5 - Camadas sobrepostas do mecanismo de formação e também as linhas de deformação - Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Para melhor entender o processo resultante dos parâmetros escolhidos, pode-se observar através das imagens da fig. (6) a seguir a morfologia dos cavacos em função da variação dos parâmetros de usinagem propostos no trabalho. A imagem (a), apresenta cavacos do tipo helicoidal e as imagens (b), (c), apresentam o tipo lasca. Neste caso o avanço definiu o tipo de cavaco, ou seja, a medida que aumentou modificou a geometria e o tamanho.



(a) $V_c = 160$ m/min. + $e = 0,08$ mm/dente (b) $V_c = 160$ m/min. + $e = 0,1$ mm/dente (c) $V_c = 160$ m/min. + $e = 0,15$ mm/dente

Figura 6. Tipos de cavacos obtidos em função parâmetros de usinagem (20x de ampliação).

Como proposto pela metodologia os contornos de grão foram analisado no programa descrito. Para efeito de comparação então as imagens das figuras a seguirem mostram as aplicações da metodologia desenvolvida. Assim foram analisados os contornos de grãos do material recebido e cavacos do processo de fresamento da liga. A fig. (7) representa o resultado da rotina aplicada para o Dúplex como recebido, ou seja, o amostra sem deformações.

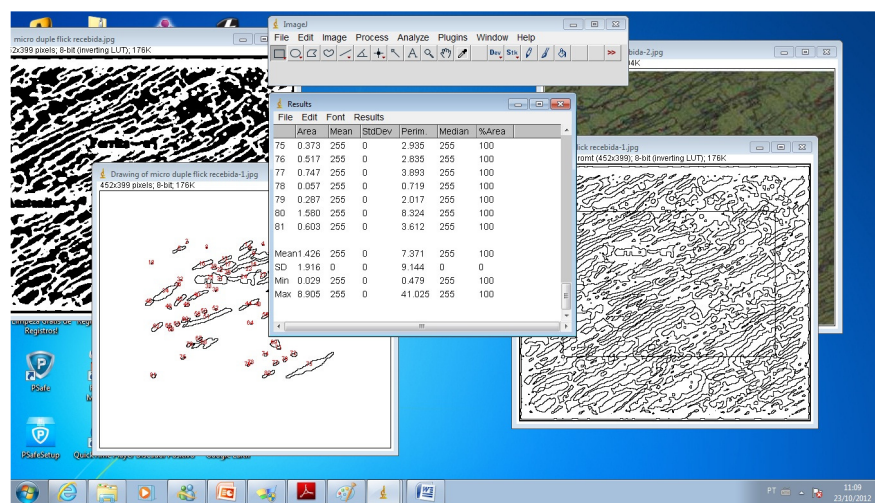


Figura 7. Imagem geral do processamento e análise do material como recebido

Como pode ser observado na figura anterior os contornos das fases do material recebido depois de processado automaticamente mediante ao processamento, calibragem e análise geométrica da morfologia. Com a utilização do filtro e as operações de processamento dos contorno ficaram mais nítidas, podendo obter dados mais confiáveis e acurados das análises comparativas estereomorfológicas e estatísticas.

Por meio da fig. (8) adiante pode ser visualizada a aplicação dessa metodologia para os contornos de fases dos cavacos. Foram selecionadas várias regiões, pois as regiões próximas ao segmento de formação ou recalque visualmente variavam na sua morfologia perante ao resto do segmento formado. Logo as regiões próximas aos picos das seções segmentas ficaram quase sem definição na revelação metalográfica, causada pela deformação instantânea criada na hora do corte. Assim o processamento passou a ter importância para as análises. A aplicação do filtro passa-banda auxiliou na diminuição dos componentes de alta e baixa frequências, tornado mais visíveis os contornos das fases.

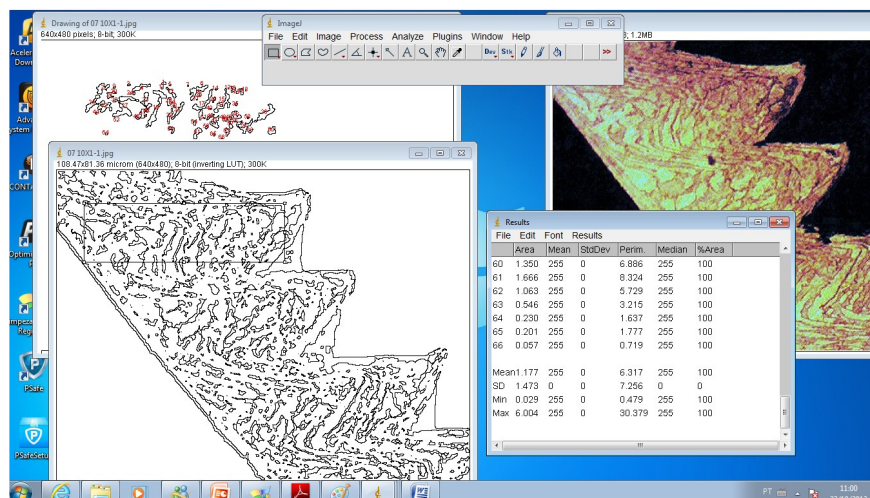


Figura 8. Imagem geral da rotina do processamento e análise do material do cavaco.

Os cavacos dos respectivos parâmetros conforme a tabela (1) foram separados, isto é, aqueles que poderiam passar por todo processo. Suas regiões foram selecionadas e analisadas conforme se tinha uma busca mais abrangente e mais clara de espaço, para cada imagem gerada foram analisada em média três regiões retangulares como pode ser observado na fig. (8) anterior. O resultado para cada região pode ser observado nas tabelas das fig. (7) e (8), o programa fornece também um sumário de todas áreas analisadas, onde chegou-se a relatórios de medidas estatísticas.

A tabela (2) a seguir mostra os resultados das análises automáticas dos grãos do aço inox Dúplex UNS S31803 (SAF 2205) como recebido e dos cavacos gerados de todos os passes do processo de fresamento.

Tabela 2. Resultados da metodologia proposta

Análise automática dos cavacos

	Área	Perímetro
Média	1.177	6.317
SD	1.473	7.256
Min	0.029	0.479
Max	6.004	30.379

Análise automática do material recebido

	Área	Perímetro
Média	1.426	7.371
DP	1.916	9.144
Min	0.029	0.479
Max	8.905	41.025

Os resultados das análises mostraram que as regiões em geral dos cavacos ficaram inferiores, mostrando que a deformação dos cavacos levam a diminuição da suas áreas, porém o mínimo tamanho se manteve constante, a explicação que pode ser dada é que o tamanho de grãos muito pequenos não se alteraram e nem se misturaram suas fases, com a deformação extrema e os grãos maiores se juntaram e se alinhavam na hora do processo podendo formar outros grãos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aço Inoxidável Dúplex UNS S31803 (SAF 2205) se apresentou como esperava, ou seja, de difícil usinagem, para cada passe e parâmetros uma forma de cavaco aparecia diferente, porém de forma geral os cavacos se revelaram do tipo cisalhamento. A deformação nos contornos de grãos seguiram o mecanismo de formação do cavaco e as fases dependendo das regiões se confundiam pela alta deformação de recalque. A aplicação do filtro passa-banda no processamento auxiliou nas medidas. A deformação dos cavacos foi comprovada com a análise automática de contorno de grãos. Para trabalhos futuros com as medidas será possível avaliar as melhores condições de usinagem para cada situação. Assim poderá se ter em função da geometria e orientação da saída dos cavacos uma situação melhor da orientação para usinar materiais como o deste trabalho, pois as técnicas vigentes são na maioria análise de rugosidade e

desgaste de ferramentas. Essa metodologia pode ser uma rotina de análise de determinação de índice de usinabilidade. Outras técnicas podem auxiliar e comprovar a variação dos contornos de grãos e fases tal como a utilização de elementos finitos como já vem sendo feita.

3. AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos técnicos Dirceu e Charles do Laboratório de metalografia do UniFOA e ao mestre Jorge Rosa do DEMAR/EEL/USP.

4. REFERÊNCIAS

- Hua Tan, Zhiyu Wang, Yiming Jiang, Yanze Yang, Bo Deng, Hongmei Song, Jin Li, Influence of Welding Thermal Cycles on Microstructure and Pitting Corrosion Resistance of 2304 Duplex Stainless Steels, *Corrosion Science*, 55, 2012, 368-377p.
- Nunes, E. B., Motta, M., Gomes de Abreu, H. F., Farias, J. P., De Miranda, C. H., Junior, F. N. A.; Abr/Jun 2011, Soldag. Insp. São Paulo, Vol.16, No. 2, p.156-164,
- Budgifvars, S.,1986, Duplex Stainless Steels – Material Properties and Recommendations for Welding. A welding Review Published by ESAB.
- Korkurt, I, Kasap, M., Ciftci, I, Seker, U., 2004, "Determination of Optimum Cutting Parameters During Machining of AISI 304 Austenitic Stainless steel", *Materials & Design*, v.25, p.303-305.
- Neves, D., Camargo, R., Deonísio, C. C. C.; Novaski, 2003, " Evaluation of the Machinability of Stainless Steel ABNT 304 and Stainless Steel Villares 304 UF with hss Tin Coated Twisted Drills", *Proceedings of International Congress of Mechanical Engineering (COBEM)*.
- Nilsson, J. O. Super Duplex Stainless Steels “overview”. *Materials Science and Technology*. London,. v. 8, n. 8, p. 685 - 700.
- Noble, D. L., 1993, "Selection of Wrought Duplex Stainless Steels", In: *Welding, Brazing and Soldering. ASM Handbook*, 10^a Ed., v. 6, ASM International, USA, p. 471-481.
- Ramos, C. A. D., 2004, "Usinabilidade de Aços Inoxidáveis para Matrizes ABNT 420 e VP 80 no Fresamento de Topo Usando Superfícies de Resposta". Uberlândia,. 229 f, Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Uberlândia.
- Saoubi, R. M., Outeiro, J. C., Changeux, B., Lebrun, J. L., Dias, A. M., 1999, "Residual Stress Snalysis in Orthogonal Machining of Standard and Recessed AISI 316L Steels" *Journal of Materials Processing Technology*, v.96, p.225-233.
- Senatore, M., Finzetto, L., Perea, 2007, “Estudo Comparativo entre os Aços Inoxidáveis dúplex e os Inoxidáveis, AISI 304L/316L. 1992”, Ouro Preto,. Rem: *Revista Escola de Minas* vol. 60, no. 1.
- Spring, K., Inoué, S. 1997, *Video microscopy the fundamentals*. 2nd. ed. New York: Plenum Press.
- Solomom, H. D., Devine, 1983, T. M. A Tale of two Phases. In: *Conference Duplex Stainless Steels’82*, St. LouisUSA, 1982. *Proceedings*. Ohio, American Society of Metals, p. 693-756.

5. RESPONSIBILITY NOTICE

The author(s) is (are) the only responsible for the printed material included in this paper.