

ANÁLISE DE CORTE POR JATO D'ÁGUA ABRASIVO

André Rezende de Figueiredo Oliveira, andre.rezende@una.br¹

Ronaldo da Cruz, ronaldocruz1327@gmail.com¹

Weber Sebastião da Silva, weber_silva23@hotmail.com¹

1 Centro Universitário UNA, Faculdade UNA Uberlândia, Al. Paulina Margonari, 59 - B. Karaíba, Uberlândia, MG, 38411-206, Brasil.

Resumo: Este trabalho se propõe analisar o corte com jato d'água abrasivo do aço ABNT 4140 e da liga de níquel Inconel 718. O corte por hidrodemolição usa extrema pressão do jato d'água combinando com a elevada dureza dos abrasivos adicionados à mesma. Cortes com jato abrasivo são mais lentos que os processos a quente, porém não promovem alterações microestruturais significativas por efeito térmico. Nesse estudo foram analisados os efeitos dos cortes realizados na máquina de corte por jato d'água abrasivo. O abrasivo utilizado foi o Garnet 80, este tipo de abrasivo combina: SiO_2 , Al_2O_3 , FeO entre outros; esta combinação promove equilíbrio entre a velocidade de corte e precisão da borda. Os ensaios foram realizados em configurações diferentes, que por sua vez, promoveram acabamentos superficiais diferenciados. As amostras cortadas foram analisadas por microscopia óptica, para se avaliar a qualidade da topografia deixada pelo processo de corte. Foram realizadas também análises de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e de Espectroscopia por Dispersão de Energia (EDS), nestas investigações procurou-se detectar quais elementos químicos poderiam estar incrustados na superfície das ligas.

Palavras-chave: Corte com jato abrasivo; Aço ABNT 4140; Inconel 718; Garnet 80

1. INTRODUÇÃO

O corte a jato d'água é um processo onde ocorre a erosão ou desgaste do material a ser cortado, quanto maior a velocidade da saída do jato de corte maior o desgaste do material. Neste processo, o fluxo de água passa por um orifício a altíssima velocidade, o orifício de saída do jato abrasivo, geralmente, é feito em rubi, safira ou diamante (RICE, 1962).

Segundo Lorincz (2009), o corte com jato d'água abrasivo ganha em popularidade e se apresenta como uma forma de cortar vários tipos de materiais. De fácil utilização, o jato d'água possibilita cortar quase todos os materiais em variadas espessuras.

O jato d'água abrasivo possui a grande vantagem de promover o corte dos materiais a frio não danifica termicamente os materiais. Cortes com jato d'água também são capazes de produzir cortes com geometrias mais complexas.

O corte com jato d'água usa a velocidade da água em um jato "coerente" contendo abrasivos. A água sai do sistema de pressurização à, aproximadamente, 60.000 psi. O jato passa imediatamente no centro de um tubo de mistura. A velocidade da água chega a cerca de três vezes a velocidade do som, este processo gera um Venturi que é responsável pela aspiração do abrasivo (OLSEN, 1997).

A mistura através do tubo se faz entre: água, abrasivo e ar. O diâmetro do furo de saída varia entre 0,05 e 0,15 cm. O jato carrega de 0,40 a 0,68 kg/minuto de abrasivo. A configuração do jato é definida pelo material a ser cortado.

Nos processos de corte com jato d'água, em geral, os abrasivos mais utilizados são: sílica (SiO_2); óxido de alumínio (Al_2O_3); nitrato de silício (Si_3N_4), metal duro granulado (OCH, 2008).

Para usinar superligas metálicas ou materiais cerâmicos muito duros podem ser usados abrasivos à base de carbetto de boro. Nos processos de corte de metais com jato d'água, a Granada e o Garnet são os abrasivos mais utilizados.

O Garnet é o abrasivo mais usado atualmente. Este abrasivo é ambientalmente limpo e combina excelente habilidade de bom corte com bom desempenho de consumíveis (OLSEN, 1999).

Sua composição química possui, aproximadamente 31% de sílica (SiO_2), 21% de alumina (Al_2O_3), 37% de óxido de ferro (FeO), 7,4% de óxido de magnésio (MgO), 0,55% de óxido de titânio (TiO_2), 0,53% de óxido de manganês (MnO), 1,84% de óxido de cálcio (CaO), e 0,05% de óxido de cromo (Cr_2O_3).

O abrasivo Garnet é comercializado em cinco granulometrias diferentes (#40, #50, #60, #70 e #80), este trabalho utilizou abrasivo Garnet com granulometria 80, cujo tamanho médio do abrasivo é de 0,177 mm, densidade de 2,34 g/cm³, dureza Moh's de (7,5 – 8,0), ponto de fusão de 1250 °C, condutividade abaixo de 15 m.S/m, concentração de cloretos inferior à 20ppm e Ph 7.

O corte com jato d'água abrasivo possui alguns benefícios, tais como: não forma zona térmica afetada, baixa força de contato, não gera distorção no corte, possibilita eliminar processos secundários, pode atingir precisão de até 0,1 mm.

Materiais comumente cortados com jato d'água abrasivo são aqueles refletivos, condutivos, resistentes à temperatura e os sensíveis a temperatura. Com o aumento da espessura do material o corte com jato d'água se torna a técnica de corte ideal (LORINCZ, 2009)

Em chapas ou peças com espessura acima de seis milímetros, a qualidade do corte é superior aos dos processos de corte a quente. Materiais refletivos e polidos não são danificados pelo corte ou perfuração por jato d'água abrasivo.

A precisão e a qualidade de corte a jato d'água são similares ao laser para chapas finas e superior a todos os outros processos de corte de chapas, o processo de corte com jato d'água abrasivo só deixa a desejar se comparado ao processo de descarga elétrica, em materiais espessos (OLSEN, 1999).

O corte com jato abrasivo é mais lento que os processos a quente para materiais não condutivo e similar para materiais condutivos como alumínio.

O jato abrasivo tem um limite de 300 mm de espessura em sua capacidade de corte, para o corte a plasma o limite é de 50 mm e para o corte laser o limite é de aproximadamente 15 mm. (SENAI, 2009).

A qualidade do corte é determinada pelo diâmetro de saída e inclinação do jato. O avanço, as velocidades de corte também estão relacionados à qualidade de acabamento.

O avanço do cabeçote influencia na curvatura do corte. Uma redução na velocidade pode aumentar o nível de acabamento. Um avanço muito alto promove aspecto de estrias na zona de corte. A Tabela 1 mostra uma escala de qualidade de corte definida de 1 a 5. (OLSEN, 1999).

Tabela 1. Qualidade de corte com jato d'água definida de 1 a 5 (SENAI, 2009)

<i>Escala</i>	<i>Qualidade do corte</i>
5	Excelente, sem estrias, melhor geometria
4	Muito bom, pequenas marcas de estrias
3	Bom com marcas de estrias do centro ao fundo
2	Áspero, marcas de estrias mais presentes
1	Extra áspero, pobre e raramente usado

Em metais e materiais duros, 90% do corte são realizados pelo abrasivo e não pela água, o abrasivo produz uma ação de cisalhamento que permite cortar materiais de grande dureza até a espessura de 152,4 mm. Desta forma o corte com jato d'água é eficaz tanto para materiais duros, como para peças que passaram por endurecimentos superficiais.

A água fornecida ao intensificador é um fator crucial no corte do jato d'água de precisão por causa do seu efeito direto na vida dos componentes do equipamento. O filtro interno da bomba é suficiente para a remoção de sólidos na água. Total dos sólidos dissolvidos (PPM) na água de entrada terá um efeito adverso em válvulas de retenção, selos, orifícios, e em outros materiais de consumo. A maioria dos sistemas deve tratar a água antes que entre na bomba.

O trocador de calor usa refrigeração de água como líquido refrigerante. A temperatura do óleo hidráulico deve ser mantida abaixo de 55°C. Para tanto, o sistema requer um fluxo consistente de água de 10 l/min, em uma temperatura da entrada que não exceda 21°C, todos estes fatores influenciam no resultado final do corte (SENAI, 2009).

1.1. Acabamento Superficial

As superfícies dos componentes mecânicos devem ser adequadas ao tipo de função e solicitação mecânica que exercem. A rugosidade pode ser interpretada com um conjunto de pequenas saliências (picos e vales) que formam a superfície de uma peça (OLIVEIRA, 2012).

A rugosidade final da peça pode influenciar na qualidade de deslizamento de uma superfície sobre a outra, e consequentemente influenciar a resistência ao desgaste de uma peça. O acabamento superficial tem influência diretamente a resistência oferecida pela superfície ao escoamento de fluidos e lubrificantes, sobre a qualidade de aderência que a estrutura oferece às camadas protetoras, sobre a capacidade de vedação entre duas superfícies e também sobre a estética (aparência) de uma peça (OLIVEIRA, 2012).

Este trabalho fará uma comparação entre as topografias deixadas pelo corte abrasivo em três configurações, para isto utilizará parâmetros de rugosidades para quantificar tais irregularidades superficiais.

Existem grandezas que podem avaliar o grau de irregularidade de uma superfície, entre outras, pode-se citar os parâmetros topográficos: Sa, Sq, St, Sz, Ra, Rq, Rt e Rz, estes possuem a capacidade de descrever uma superfície através de valores numéricos (OLIVEIRA, 2012).

Estes parâmetros são calculados utilizando fórmulas e filtros matemáticos e estatísticos, preestabelecidas em normas técnicas. (ABNT NBR ISO 4287, 2002).

Por convenção, todos os parâmetros de rugosidade bidimensionais (2D) são representados pela letra R seguido por caracteres adicionais ao índice, enquanto que para os parâmetros tridimensionais usa-se o prefixo S. O índice identifica o parâmetro, por exemplo: Ra é a média aritmética do perfil de rugosidade e Sa é a média aritmética da rugosidade tridimensional (3D) (OLIVEIRA, 2012).

O parâmetro S.a. (R.a.), representa a rugosidade aritmética média, teste parâmetro é determinado em função do plano (perfil) médio da superfície da peça. O parâmetro S.q. (R.q.), representa a rugosidade quadrática média, descreve o quanto os valores se afastam da média. O parâmetro topográfico R.t. é a maior valor das rugosidades parciais (Zi) que se apresenta no percurso de medição definido pela amostragem. (cut-off). O parâmetro R.z. corresponde à distância vertical entre o pico mais alto e o vale mais profundo no comprimento de avaliação.

O objetivo deste trabalho é estudar o acabamento superficial das amostras de aço ABNT 4140 cortadas com jato d'água abrasivo em diferentes configurações. Como objetivos específicos, este trabalho avalia a rugosidade superficial das peças de aço ABNT 4140 e possíveis interferências na microestrutura do material cortado.

Tabela 2. Composição química do Aço ABNT 4140 (GERDAU, 2015).

ABNT	C	Mn	P máx.	S máx.	Si	Cr	Mo
4140	0,38 - 0,43	0,75 - 1,00	0,030	0,040	0,15 - 0,35	0,8 - 1,10	0,15 - 0,25

Em uma segunda etapa, este trabalho propõe o estudo do corte com jato de água com abrasivo da liga de aço inonel 718. Para este material, o objetivo deste trabalho é estudar o acabamento superficial das amostras de Inconel 718 cortadas com jato d'água abrasivo.

O Inconel 718 é classificado como uma superliga, trata-se de uma liga de níquel, com ampla aplicabilidade no campo da engenharia que vão desde componentes estruturais de motores aeronáuticos, estruturas nucleares, componentes rotativos e estáticos de motores de alta resistência até ferramentas de corte e extrusão por cisalhamento a altas temperaturas e veículos espaciais (MACHADO, 2015).

O Inconel cortado neste trabalho é fabricado pela Villares Metals S.A, e a composição química da liga segue na Tab. 3.1, fornecido pela própria empresa.

Tabela 3 - Composição química da superliga Inconel 718.

Material	Ni	Cr	Fe	Nb	Mo	Ti	Al	C	Co
Inconel	52,90	18,48	18,88	5,11	2,94	0,98	0,54	0,032	0,04

Essa liga possui propriedades interessantes, como boas respostas a serviços em temperaturas elevadas (entre 250-649°C), alta resistência mecânica e endurecível, pois forma soluções sólidas com diversos elementos de liga (ULUTAN, D. OZEL, T., 2010).

A liga de Inconel 718 possui em sua composição, aproximadamente 53%p. de Níquel, 19%p. de Cromo e 19%p. de Ferro, além de Nióbio, Molibdênio, Titânio, Alumínio, Carbono e Cobalto em concentrações menores.

Cada elemento químico adicionado à liga desempenha uma função específica: O Níquel: tem como principal função formar a matriz austenística, permitindo a presença de outros elementos químicos, e acomodar precipitados coerentes na matriz em solução sólida; O Ferro: ajuda na formação da matriz, auxilia no processo de endurecimento por solução sólida, sendo fundamental para a precipitação de compostos endurecedores na matriz; O Cromo: Junto ao níquel e ferro, forma a matriz e auxilia no processo de endurecimento por solução sólida, garantindo a estabilidade superficial. O Molibdênio: Auxilia no processo de endurecimento por solução sólida; O Nióbio e o Titânio: Causam um pouco de endurecimento por solução sólida. Formam os compostos intermetálicos Ni_3Nb e Ni_3Ti ; O Alumínio: Juntamente com o Cromo, auxilia na resistência à oxidação e forma compostos endurecedores intermetálicos Ni_3Al .

O equipamento utilizado nesse trabalho foi o Water Jet Prime modelo 1830. Esta possui sistema de corte Hypertherm de até 60.000 psi e 50 HP de potencia máxima; mesa de corte padrão 1800 mm X 3000 mm (área útil de corte); movimentação CNC programável, por fuso esférico nos eixos X, Y e Z; servo drivers e motores Yaskawa; sistema de remoção de partículas, descarte seco e embalado; sistema de tratamento da água (pré-filtragem), abrandamento, armazenamento; reservatório de abrasivo de 300 litros; e definição de até 5 acabamentos de corte em qualquer parte da geometria da peça.

Neste equipamento a água precisa ser filtrada, para ficar livre de impurezas que poderiam ocasionar entupimento dos bicos de corte. Essas impurezas podem afetar o desempenho e a manutenção do sistema de alta pressão. As bombas elevam a pressão da água a aproximadamente 4000 bar, ou seja, cerca de 4000 vezes a pressão atmosférica ao nível do mar. A água pressurizada é armazenada em um acumulador, que regulariza o fluxo de saída do fluido. Depois é levada por tubulações até um bocal feito de safira, que é um material com elevada resistência ao desgaste.

No acoplado do bocal, existe um reservatório contendo material abrasivo em pó. Assim, a água, ao passar pelo bocal, arrasta o material abrasivo, o que faz o jato, agora formado por uma mistura de água e abrasivo, ter uma potência de corte maior.

O jato com alta pressão é expelido pelo bocal (através de um orifício de focalização, com diâmetro entre 0,1 mm e 0,6 mm) em direção ao material. O corte ocorre quando a força do jato supera a resistência à compressão do material. A mistura água-abrasivo sai do bico a aproximadamente 1400 km/h. Após atravessar o material, o jato de água é amortecido num tanque, contendo água e esferas de aço ou pedras britadas, que fica sob a mesa do equipamento (Figura 1).

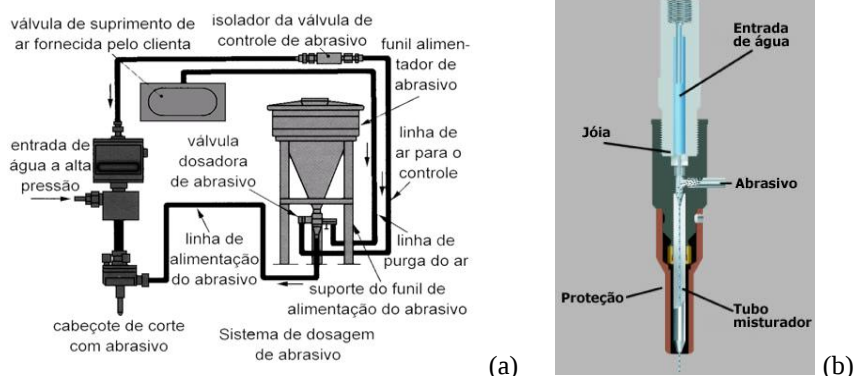


Figura 1. Sistema de Funcionamento do equipamento (a) e sistema de dosagem de abrasivo (b). (Manual Water Jet Prime modelo 1830, 2014).

2. METODOLOGIA

As amostras de aço ABNT 4140 foram cortadas em cubos de 50 mm x 50 mm x 50 mm por três configurações de jato abrasivo, a Figura 2.a mostra a excussão do corte das peças 1 e 2, a Figura 2.b mostra de duas superfícies das peças de aço ABNT 4140 cortadas com jato d'água abrasivo.

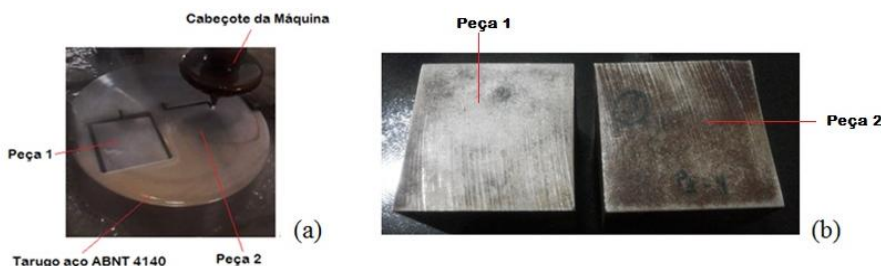


Figura 2: Amostras de aço ABNT 4140 em corte em cubos (a) Peças de aço ABNT 4140 cortadas com jato d'água abrasivo (b).

O avanço da máquina influencia na curvatura do corte, uma redução na velocidade pode aumentar o nível de acabamento e avanço alto promove aspecto de estrias na zona de corte. Neste trabalho foram utilizadas três configurações diferentes para o corte do aço ABNT 1045, obtendo-se assim três qualidades superficiais, definida como:

- Configuração Q1: Aspecto áspero;
- Configuração Q3: Com marcas de estrias;
- Configuração Q5: Sem estrias, melhor geometria.

Para o corte do aço ABNT 4140 utilizou-se as configurações Q1, Q3 e Q5 utilizaram uma carga de 600 g de abrasivo por minuto e uma pressão de 35000 psi. Nestas configurações as misturas água/abrasivo possuem uma velocidade de saída da ordem de 1400 km/h. Para a configuração Q1 a velocidade de avanço foi de 0,05m/min., para Q3 a velocidade foi de 0,03 m/min. e para Q5 a velocidade foi de 0,01m/min. Para o corte das amostras de Inconel 718 envelhecida e solubilizada, a configuração Q1.

Após as etapas de corte, as peças foram escaneada no microscópio óptico linear. E as imagens foram tratadas utilizando-se o software Digital Surf MountainsMap Universal®, versão 3.0.

Para se identificar possíveis alterações nas superfícies dos materiais utilizou-se microscopia eletrônica de varredura e análise espectral de energia dispersiva.

Para medição de dureza das amostras, foi utilizado ensaio Vickers com carga de 30 kgf e tempo de aplicação de carga de 30 segundos.

Para corroborar com um dos objetivos deste trabalho, que é estudar o acabamento superficial das amostras de aço ABNT 4140 e Inconel 718 cortadas com jato d'água abrasivo em diferentes configurações, além da análise de rugosidade superficial das peças, também foi avaliada possíveis interferências na integridade superficial do material cortado.

Para se identificar possíveis alterações superficiais, foi utilizada microscopia eletrônica de varredura e análise espectral de energia dispersiva. Para tanto, utilizou-se um Microscópio eletrônico de Varredura (MEV), marca HITACHI, Modelo TM-3000.

As imagens e análises de espectroscopia de energia dispersiva (EDS) foram feitas com uma potencia do feixe de elétrons de 15 kV. Nas análises de composição química via EDS, utilizou-se um tempo de aquisição de 30 segundos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O corte com jato abrasivo promove um tipo de corte que não deixa bordas, pois se trata de um processo erosivo a frio, porém deixa algumas marcas de estrias. Este trabalho avaliou as topografias das superfícies das peças de aço ABNT 4140 cortadas com jato d'água em três configurações diferentes, ou seja, três qualidades superficiais.

A Figura 3 mostra resultados de topografia das peças cortadas com jato d'água abrasivo nas três configurações Q1, Q3 e Q5. Observa-se pela amplitude das topografias (eixo Z) que a qualidade Q1 é a mais irregular, a Q5 é a mais refinada e Q3 trata-se de uma topografia intermediária. Observa-se que a escala Z para o acabamento Q1 (Corte rápido) é da ordem de 280 μm , para acabamento Q3 (Corte Intermediário) é a escala Z é da ordem de 90 μm e para Q5 (Corte lento) da ordem de 45 μm .

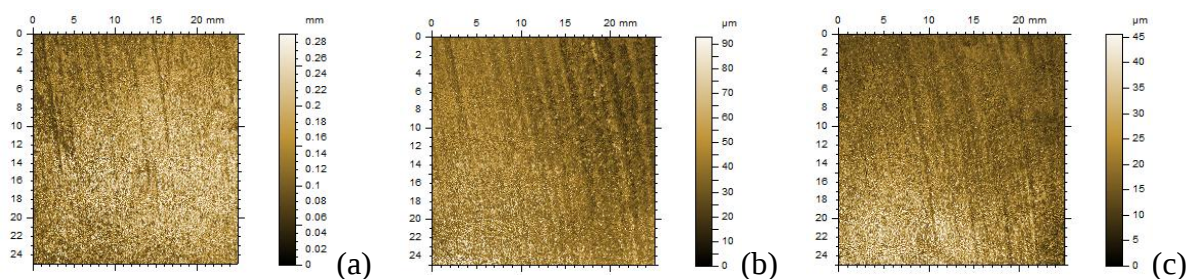


Figura 3. Imagem digitalizada das topografias de superfícies gerados nos cortes Q1 – Corte Rápido (a), Q3 – Corte Intermediário (b) e Q5 – Corte Lento (c).

A Figura 4 faz uma comparação entre os resultados médios para os parâmetros de rugosidade (S.a., S.q., S.t. e S.z.) para as peças cortadas com jato d'água abrasivo nas três configurações Q1, Q3 e Q5.

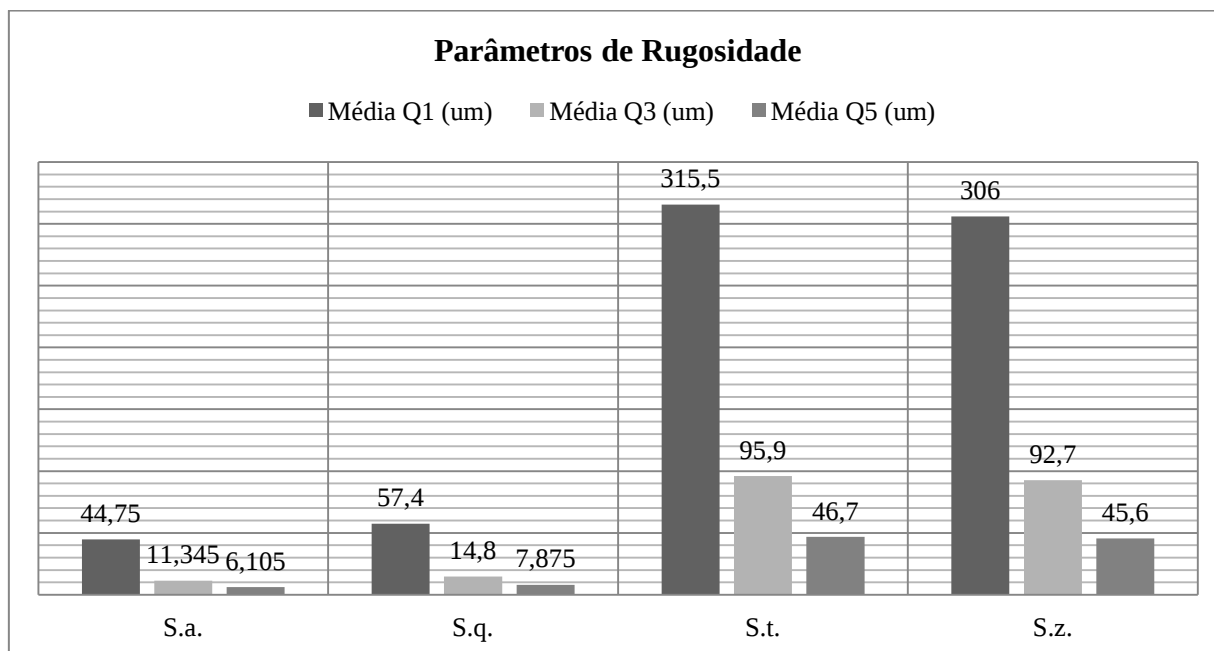


Figura 4. Resultados de topografia das peças cortadas com jato d'água abrasivo nas três configurações.

A Figura 5.a mostra a imagem MEV da superfície cortada com jato d'água, esta demonstra presença de óxidos superficiais em meio às marcas de desgaste abrasivos na superfície da peça. O espectro da Figura 5.b mostra os elementos químicos presentes em um ponto específico da Figura 6.a. Nesse caso foram detectados presenças de Ferro (Fe), Carbono (C) e Silício (Si).

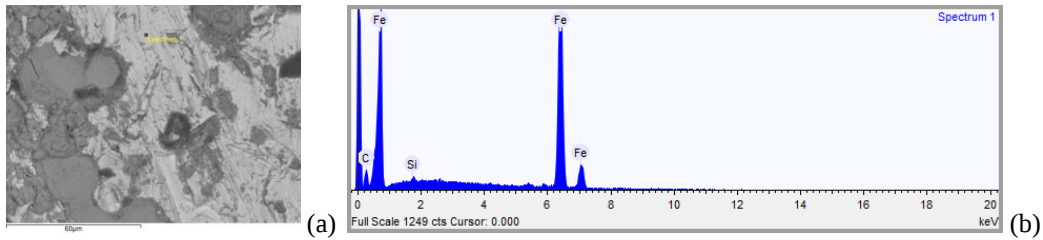


Figura 5. Imagem MEV da superfície da peça cortada com jato d'água abrasivo (a) e espectro de energia dispersiva da superfície da peça (b).

O Fe tem como origem a matriz, o Si proveniente do abrasivo e o C pode ser tanto da matriz, quanto do abrasivo.

A Figura 6.a, mostra imagem da superfície cortada com jato d'água. O espectro da Figura 6.b mostra os elementos químicos presentes em um ponto específico, foram detectadas presenças de: Ferro (Fe), Manganês (Mn), Cromo (Cr), Carbono (C) e Oxigênio (O).

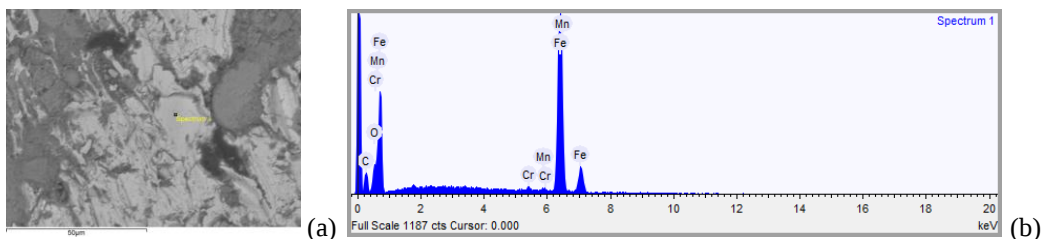


Figura 6. Imagem MEV da superfície da peça cortada com jato d'água abrasivo (a) e o espectro de energia dispersiva da superfície da peça cortada com jato d'água abrasivo (b).

O Fe e o Cr têm como origem a matriz, o C e o Mn podem ser tanto da matriz, quanto do abrasivo.

A Figura 7 mostra pontos mais escuros nas imagens das superfícies cortadas. Para se verificar se estes pontos, de baixo número atômico, trata-se de óxidos ou de abrasivos incrustados nas amostras. O espectro da Figura 7.b mostra os elementos químicos presentes em um ponto específico da Figura 7.a, onde foram detectados: Ferro (Fe), Sódio (Na), Oxigênio (O), Alumínio (Al), Silício (Si), Enxofre (S), Cloro (Cl), Potássio (K) e Cálcio (Ca).

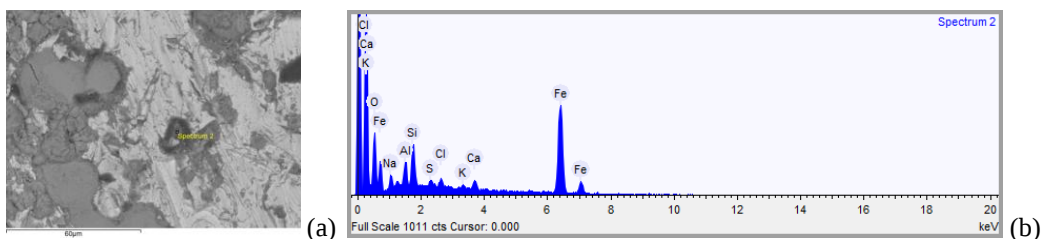


Figura 7. Imagem MEV da superfície da peça cortada com jato d'água abrasivo (a) e espectro de energia dispersiva da superfície da peça cortada com jato d'água abrasivo (b).

O Fe tem como origem a matriz, o C, Si, Al e Ca têm como origem o abrasivo, Os demais elementos (Na, S, K, Cl) têm origem na água que alimenta a o equipamento.

As imagens e análises mostram que as partes escuras nas imagens são ricas em elementos diferentes dos elementos constituintes da matriz, nestes pontos existem altas concentrações de resíduos que têm como origem a água que alimenta a máquina e também elementos que têm como origem os abrasivos que constituem o Garnet 80.

A Figura 8 mostra pontos acinzentados nas imagens das superfícies, verifica-se que estes pontos possuem médio número atômico (com relação à matriz), tratando-se de óxidos que se formaram na superfície após o corte.

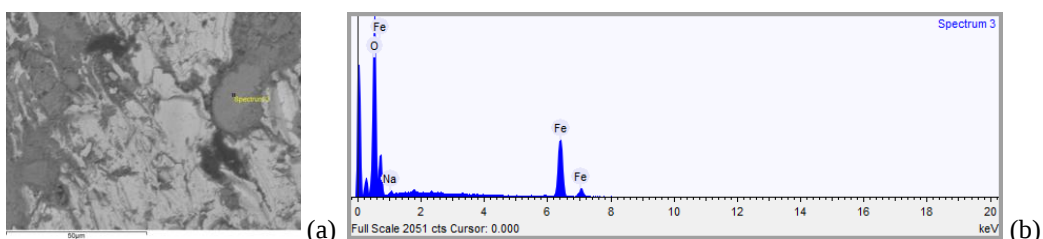


Figura 8. Imagem MEV da superfície da peça cortada com jato d'água abrasivo (a) e espectro de energia dispersiva da superfície da peça cortada com jato d'água abrasivo (b).

O espectro da Figura 8 mostra que os elementos Fe e O apresentam em grande quantidade, provavelmente na forma molecular: FeO e/ou Fe₂O₃.

Estes óxidos de ferro se formaram após o corte, graças à atmosfera rica em oxigênio do ar e da água utilizada no processo. A Figura 9.a e o espectro da Figura 9.b aponta também a presença de sódio, porém em pequena quantidade, elemento este, também proveniente da água que alimenta a máquina.

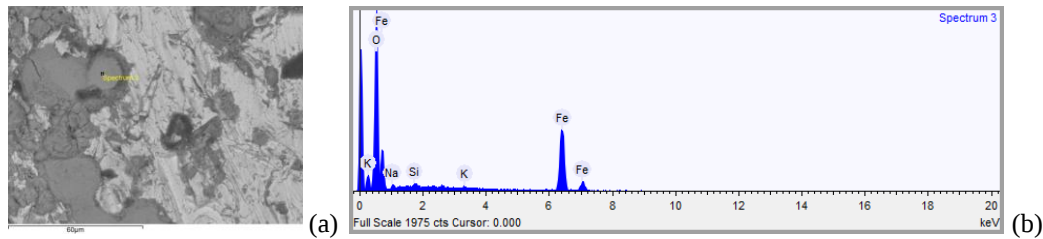


Figura 9. Imagem MEV da superfície da peça cortada com jato d'água abrasivo (a) e espectro de energia dispersiva da superfície da peça cortada com jato d'água abrasivo (b).

O espectro da Figura 9.b mostra que os elementos Fe e O apresentam-se em grande quantidade, formação de óxidos. O espectro apresenta também a presença de Na e K proveniente da água e Si proveniente do abrasivo.

Ao final das análises MEV e EDS, observa-se que há incrustações de abrasivos na superfície das peças cortados com jato d'água abrasivo, e elevado nível de oxidação sobre a superfície da mesma. Pode-se afirmar com relativa precisão que os resultados são conclusivos, pois se observam elementos químicos presentes nas superfícies cortadas que não estão presentes na matriz do aço ABNT 4140.

Estes eventos não são significativos com relação às propriedades mecânicas do material. Fato que atribui vantagens ao processo estudado, uma vez, que outros processos térmicos (corte Laser e Corte à Plasma) provocam modificações microestruturais que interferem nas propriedades mecânicas das regiões onde a peça foi cortada.

A Figura 10 mostra duas peças de Inconel 718 cortadas com jato d'água abrasivo. Uma das peças é envelhecida e a segunda solubilizada.



Figura 10. Imagem das peças cortadas com jato d'água abrasivo. Inconel 718 (Envelhecido e Solubilizado)

Em metais e materiais duros, 90% do corte é realizado pelo abrasivo e não pela água, o abrasivo produz uma ação de cisalhamento que permite cortar materiais de grande dureza até a espessura de 152,4 mm. Desta forma o corte com jato d'água é eficaz tanto para materiais duros, como para peças que passaram por endurecimento superficiais.

Este trabalho avaliou as topografias das superfícies das peças, para a medição da rugosidade foi utilizado um rugosímetro, regulado para o comprimento de amostragem de 0,8 mm e medição dos parâmetros Ra, Rq, Rt e Rz.

A Figura 11 faz uma comparação entre os resultados médios para os parâmetros de rugosidade das peças cortadas com jato d'água abrasivo (Inconel 718 Envelhecida e Solubilizada).

Observa-se que liga de Inconel 718 Envelhecida (HV = 600 kgf/mm²) possui topografia menos irregular com relação à liga de Inconel 718 Solubilizada (HV = 350 kgf/mm²) uma vez que esta última apresenta dureza superficial inferior, este fato se justifica, pois quanto mais dúctil o material mais afetado ele é pela erosão/abrasão do jato de corte. Neste trabalho foram utilizadas somente avaliações de microdurezas superficiais, pois se constatou que as mesmas possuem diferenças consideráveis (diferença da ordem de 250 kgf/mm²); desta forma não houve a necessidade de se realizar avaliações de microdurezas no sentido transversal da peça.

Para corroborar com o objetivo geral deste trabalho, que é estudar o acabamento superficial das amostras de Inconel 718 cortadas com jato d'água abrasivo, para se identificar possíveis alterações superficiais, foi utilizada microscopia eletrônica de varredura.

A Figura 11 mostra a imagem MEV da superfície cortada com jato d'água, estas demonstram presença de óxidos superficiais em meio às marcas de desgaste abrasivas na superfície da peça, ampliações de 2500 vezes.

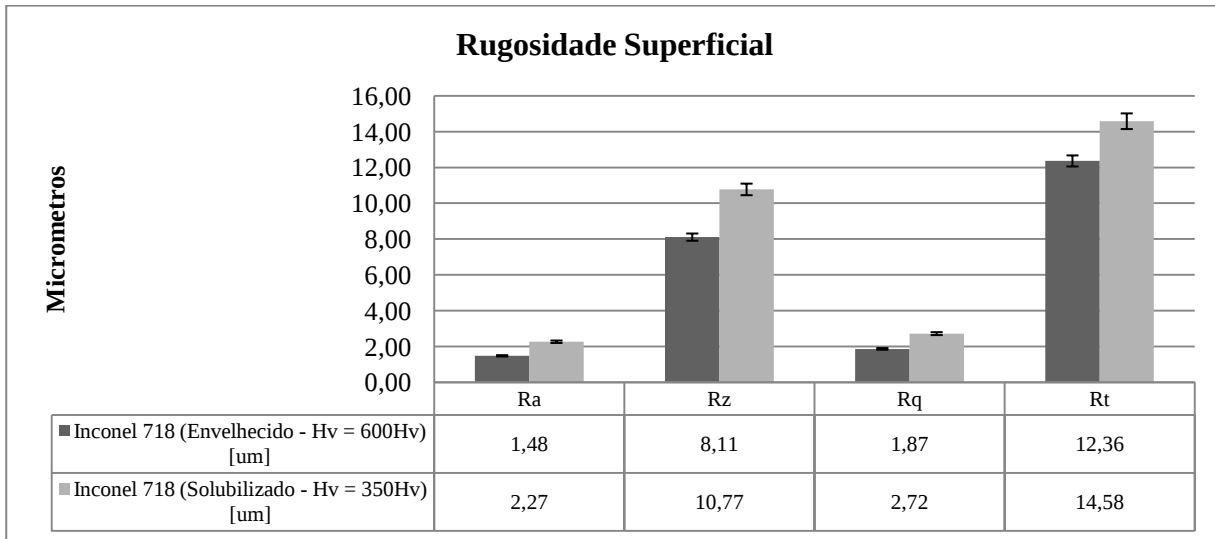


Figura 10. Resultados de topografia das peças cortadas com jato d'água abrasivo. Inconel 718 (Envelhecido e Solubilizado)

As Figuras 11.a e 11.b mostram pontos mais escuros nas imagens das superfícies cortadas. Estes pontos, de baixo número atômico, são abrasivos incrustados nas amostras. As imagens e análises mostram que as partes escuras nas imagens são ricas em elementos diferentes dos elementos constituintes da matriz (estes pontos possuem baixo número atômico com relação à matriz), nestes pontos existem altas concentrações de elementos que têm como origem nos abrasivos que constituem o Garnet 80. Ainda na Figura 11, logo após os pontos acinzentados, verificam-se marcas de erosão dos abrasivos.

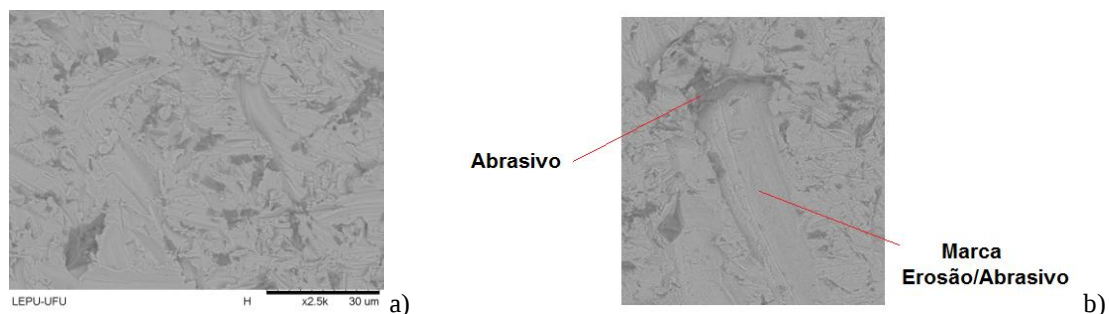


Figura 11. (a) Imagem MEV da superfície da peça (2500x). (b) Imagem MEV da superfície da peça cortada com jato d'água abrasivo.

A avaliação de topográfica das amostras de *Inconel 718* se limitou aos parâmetros bidimensionais, pois, nesta parte do trabalho não teve como objetivo a comparação dos aspectos do equipamento de corte abrasivo. Os resultados para as amostras de *Inconel 718* (envelhecida e solubilizada) mostram aspectos de acabamento superficial com relação à microdureza da liga perante os mecanismos microestruturais.

4. CONCLUSÕES

Conclui-se que o corte a com jato abrasivo é vantajoso em relação outras formas de corte por não afetar termicamente o material (como ocorre nos cortes a laser e a plasma), e também não afeta consideravelmente a microestrutura do material como nos cortes mecânicos (guilhotina).

Conclui-se por este trabalho que, com o aumento da velocidade de avanço de corte há aumento da rugosidade superficial das peças. Este trabalho mostra que a configuração Q1 é a mais irregular das três testadas, a Q5 é a mais refinada e Q3 promove uma topografia intermediária. Sendo que para configuração Q1 a velocidade de avanço é de 0,05 m/min, para Q3 a velocidade é de 0,03 m/min e para Q5 a velocidade é de 0,01m/min.

Pelas análises MEV e EDS, foi detectado que na microestrutura superficial do material há resíduos do abrasivo utilizado no corte. Este fato, não afeta as propriedades mecânicas das peças. Por estas técnicas, também foram identificados óxidos na superfície das peças cortada, fato promovido pela abundancia de oxigênio no ambiente de corte (ar e água).

O corte com jato d'água abrasivo é ecologicamente correto, sem danos a natureza, devido ao reaproveitamento do fluido da máquina e filtragem das partículas residuais do processo de corte.

O corte com jato abrasivo é vantajoso em relação outras formas de corte por não afetar termicamente o material (como ocorre nos cortes a laser e a plasma), e também não afeta consideravelmente a microestrutura do material como nos cortes mecânicos (guilhotina).

Ao final das análises MEV, observa-se que há incrustações de abrasivos na superfície das peças cortados com jato d'água abrasivo. Estes eventos não são significativos com relação as propriedades mecânicas dos materiais.

Conclui-se que a Liga de Inconel 718 Envelhecida possui topografia mais refinada (menos irregular) com relação à liga de Inconel 718 Solubilizada uma vez que esta última apresenta dureza inferior, este fato se justifica, pois quanto mais dúctil o material mais afetado será sua superfície pelo processo erosão/abrasão do jato de corte.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Grupo Ânima pelo apoio financeiro, à Faculdade Politécnica pela disponibilização dos recursos didáticos e ao Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem (LEPU) da Universidade Federal de Uberlândia pela disponibilização do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV).

6. REFERÊNCIAS

- ABNT NBR ISO 4287, 2002, Especificações geométricas do produto (GPS) - Rugosidade: Método do perfil - Termos, definições e parâmetros da rugosidade.
- Apostila SENAI – SP, 2009, Corte com jato de água.
- GERDAU; Aços especiais ao Carbono. Catálogo de Produto, 2015.
- Jianhong, H.; Tang .X.Y.; 1995, Fukuyama .S.; “Boundary in y” Precipitates in Inconel 718 Nickel- Base Superalloy”, Acta Metall. Mater. Vol 43 n- 12, p. 4403- 4409.
- Lorincz, J., 2009, Waterjets: Evolving from Macro to Micro, Manufacturing Engineering, Society of Manufacturing Engineers.
- Machado, A.R.; Abrão, A.M.; Coelho, R.T. & Da Silva, M.B. 2015, “Teoria da usinagem dos materiais”. Editora Edgard Blucher, 3a Edição, São Paulo. 407p.
- Och, S. H.; Oleinik, C.A.; Bodean, E.; Bodean, L.; 2008, Avaliação do Impacto de Jato D'água em Superfícies Sólidas.
- Oliveira, A. R. F., 2012, Desenvolvimento de um microscópio confocal de varredura laser para caracterização topográfica de superfícies. 2012. 69 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- Olsen, J. H., 1999, Motion Control for Quality in Jet Cutting.
- Rice, P. K., 1962, Process for Cutting and Working Solid Materials.
- Ulutan. D.; Ozel .T.; 2010, “ Machining induced surface integrity in titanium and nickel alloys: A review”, International Journal of Machine Tools & Manufacture 5, p. 250- 280.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluídos no seu trabalho.

ANALYSIS OF ABRASIVE WATERJET CUTTING.

André Rezende de Figueiredo Oliveira, andre.rezende@una.br¹

Ronaldo da Cruz, ronaldocruz1327@gmail.com¹

Weber Sebastião da Silva, weber_silva23@hotmail.com¹

¹ University Center UNA, Faculty UNA Uberlândia, Al. Paulina Margonari, 59 - B. Karaíba, Uberlândia, MG, 38411-206, Brazil.

Abstract: This work analyzes the abrasive waterjet cutting of ABNT 4140 steel and Inconel 718 nickel alloy. The hydrodemolition cutting uses extreme water jet pressure combining with the high hardness of the abrasives added thereto. Cuts with abrasive blast are slower than hot processes, but do not promote significant microstructural changes due to thermal effect. This paper analyzes the effects of the cuts made on the abrasive waterjet cutting machine. The abrasive used was Garnet 80. The tests were carried out with different configurations, that is, different surface cabins. The cut samples were analyzed by optical microscopy to evaluate the quality of the topography left by the cutting process. Scanning electron microscopy (SEM) and Energy Dispersion Spectroscopy (EDS) analyzes were also performed. We sought to detect the chemical elements on the surface of the alloys.

Keywords: Water jet cutting; Steel ABNT 4140; Inconel 718; Garnet 80.