

ANÁLISE DA QUALIDADE SUPERFICIAL EM UM PROCESSO DE CORTE DA LIGA DE INCONEL 718 UTILIZANDO JATO DE ÁGUA ABRASIVO

Weber Sebastião da Silva, FPU, (weber_silva23@hotmail.com)

Roberto Reis, UFG, (rr3d@hotmail.com)

Lucas Barbosa Queiroz, UFU (lucasbqueiroz@ufu.br)

Resumo: Este trabalho se propõe analisar a qualidade superficial em um processo de corte com jato d'água abrasivo de peças de Inconel 718. O corte por jato d'água abrasivo usa alta pressão d'água combinando com elevada dureza dos abrasivos adicionados ao jato. Cortes com jato abrasivo são considerados processos lentos, porém são mais eficientes que os cortes a plasma e cortes mecânicos. Nesse estudo foram analisados os efeitos dos cortes realizados na máquina Water Jet Flow, modelo Mach 2. O abrasivo utilizado foi o Garnet 80, este tipo de abrasivo combina: SiO_2 , Al_2O_3 , FeO . As amostras cortadas foram analisadas por microscopia óptica, para se avaliar a qualidade superficial deixada pelo processo de corte. Foram realizadas também análises de microscopia eletrônica de varredura, nestas investigações procurou-se detectar abrasivos que poderiam estar incrustados na microestrutura da liga de níquel.

Palavras-chave: Qualidade Superficial, Inconel 718, Garnet 80, Jato abrasivo.

1. INTRODUÇÃO

O processo com corte a jato de água vem crescendo nos últimos anos, este fato ocorre, pois o processo permite cortes mais precisos, onde a peça não precisa passar pelo processo de acabamento final (OCH, 2008).

No processo de corte com jato, a água tem o papel de pressurização por uma bomba que tem pressão de até 60.000 psi. O processo de corte por jato de água é feito por erosão do material a ser cortado (SENAI, 2009).

No corte com jato de água, a densidade da força de corte está relacionada à quantidade de energia que pode ser colocada em determinado tamanho de área (OCH, 2008). Este processo de usinagem é mais lento que os processos a quente, porém, 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 (OLSEN, 1999).

As superfícies dos componentes mecânicos devem ser adequadas ao tipo de função e solicitação mecânica que exercem, para assim resultar em um melhor o pior resultado na qualidade superficial do produto, podendo ser avaliada e quantificada pela "rugosidade". A rugosidade é interpretada com um conjunto de pequenas saliências (picos e vales) que formam a superfície de uma peça (OLIVEIRA, 2012).

A qualidade do corte com jato d'água abrasivo é determinada pelo diâmetro de saída e inclinação do jato (OLSEN, 1999).

O avanço, as velocidades de corte também estão relacionados à quantidade de marca, a redução na velocidade pode aumentar o nível de acabamento. Para um avanço alto, tem-se um aspecto de estriado na superfície da peça (OLSEN, 1999).

O acabamento superficial pode ter influencia diretamente a resistência oferecida pela superfície, 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). Sendo assim, o trabalho propõe o estudo da análise da qualidade superficial da peça em um processo de corte com jato de água, utilizando abrasivo e tendo como material teste, uma superliga de aço Inconel 718.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Superliga Inconel 718

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).

Essa superliga possui propriedades interessantes, como boa resposta a serviços em temperaturas elevadas na faixa de 250- 649°C, alta resistência mecânica e endurecível, pois forma soluções sólidas com diversos elementos de liga (ULUTAN, D. OZEL, T., 2010 apud OLIVEIRA, 2011).

Neste sentido, Oliveira (2011) afirma que cada elemento químico adicionado a esta liga desempenha uma função, descrita a seguir.

- 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;
- Ferro: ajuda na formação da matriz, auxilia no processo de endurecimento por solução sólida, sendo fundamental para a precipitação de compostos endurecedores na matriz;
- Cromo: Junto ao níquel e ferro, forma a matriz e auxilia no processo de endurecimento por solução sólida, garantindo a estabilidade superficial.
- Molibdênio: Auxilia no processo de endurecimento por solução sólida.
- Nióbio e Titânio: Causam um pouco de endurecimento por solução sólida. Formam os compostos intermetálicos Ni_3Nb e Ni_3Ti ;
- Alumínio: Juntamente com o cromo, auxilia na resistência à oxidação e forma compostos endurecedores intermetálicos Ni_3Al .

Quanto ao endurecimento superficial, existem as ligas de Inconel 718 com tratamento envelhecido e o solubilizado. Na liga solubilizada a dureza é menor e conseqüentemente sua resistência também. Já a envelhecida, possui dureza maior, limite resistência e o limite de escoamento também maiores.

Estas duas ligas existem para facilitar o processo de usinagem, onde a liga solubilizada tem a concentração menor na fase gama, que facilita o processo de usinagem porque a dureza dela é na faixa 350 Vickers. Já na liga envelhecida é de 550 Vickers.

Um exemplo prático é a turbina de avião, que usa a liga de Inconel 718 envelhecido por ser de dureza maior e resistência maior, porém para facilitar o processo de usinagem o fabricante da liga a fornece na condição de solubilizada pois no processo de usinagem o desgaste é muito menor das ferramentas e aumenta a vida útil das mesmas, assim o custo é baixo. Porém, após a usinagem ele precisa passar pelo processo de envelhecimento e assim ele vai trabalhar na característica de envelhecida onde a liga vai estar numa dureza maior, limite de escoamento maior e limite de resistência maior.

2.2O jato d'água abrasivo

De acordo com Lorincz (2009), o jato d'água abrasivo possui a vantagem de promover o corte dos materiais a frio, não danifica termicamente os materiais. O autor ainda complementa afirmando que os cortes com jato d'água também são capazes de produzir exatidão em geometrias mais complexas, alcançando qualidade e contornos que outros processos não são capazes.

Apesar do jato d'água ser versátil, este método não substitui métodos convencionais como estampagem, laser ou corte a plasma. O corte com jato d'água usa a velocidade da água em um jato "coerente" contendo abrasivos (OLSEN, 1997). A água é forçada a passar por um orifício de ruby, safira ou diamante. O jato passa imediatamente no centro de um tubo de mistura.

Já a velocidade da água chega a cerca de 950 m/s e gera um venturi, que é responsável pela aspiração do abrasivo (OLSEN, 1997).

A Fig (1) cita os benefícios do corte com jato d'água abrasivo.

Sem zona térmica afetada
Baixa força de contato
Sem distorção
Sem borra de corte
Corta qualquer material e espessura
Possibilidade de eliminar processos secundários
Pode atingir precisão de até 0,1 mm.
Flexibilidade
Diâmetro pequeno do jato possibilita maior uso do material

Figura 1 - Benefícios do corte com jato d'água abrasivo (Fonte: SENAI, 2009)

Para Och (2008), a mistura do abrasivo com a água, ocorre através do tubo, onde se mistura a água, abrasivo e ar, com um diâmetro de tubo que varia de 0,05 cm a 0,15 cm. A velocidade do abrasivo e a configuração do jato determinam o diâmetro de saída e a capacidade de corte (OCH, 2008).

O autor ainda complementa afirmando que o jato carrega aproximadamente de 0,50 kg/min de abrasivo e que os abrasivos mais utilizados são:

- sílica (SiO₂);
- óxido de alumínio (Al₂O₃);
- nitrato de silício (Si₃N₄);
- metal duro granulado;
- carbetto de boro.
- granada;
- garnet;

Nos processos de corte de metais com jato d'água, a granada e o Garnet são os abrasivos mais utilizados. A granada pode possuir em sua estrutura elementos como: cálcio, magnésio, alumínio, ferro²⁺, ferro³⁺, cromo, manganês e titânio. Já o Garnet é um abrasivo ambientalmente limpo, livre de sílica e combina excelente habilidade de bom acabamento com bom desempenho de consumíveis (OLSEN, 1999).

2.3 Rugosidade

Existem grandezas que podem avaliar o grau de irregularidade de uma superfície, entre outras, pode-se citar os parâmetros topográficos:

- (S.a. ou R.a);
- (S.q. ou R.q.),
- (S.t. ou R.t.) e
- (S.z. ou R.z.).

Estes parâmetros possuem a capacidade de descrever matematicamente uma superfície (OLIVEIRA, 2012). Desta forma, são calculados utilizando fórmulas e filtros matemáticos e estatísticos, preestabelecidas em normas técnicas (ABNT NBR ISO 4287, 2002):

- Rugosidade média aritmética (R_a para um Perfil de rugosidade – S_a para uma superfície): É a média aritmética dos valores absolutos das ordenadas $Z(x)$ no interior de um comprimento de base.
- Rugosidade média quadrática (R_q - S_q) É um parâmetro correspondente ao R_a . É o desvio médio quadrático Médio, é denominado RMS (Root Mean Square) em países de língua inglesa. R_q pode ser definido pela equação.
- Rugosidade média real (R_z - S_z): É a média aritmética das alturas máximas do perfil Z_i medidas em cinco comprimentos de base consecutivos. A maior das alturas máximas de perfil Z_i , verificada no interior do comprimento de avaliação l_m , designa-se por R_{max} .
- Rugosidade máxima parcial (R_t - S_t): É a soma da maior das alturas de pico do perfil, Z_p , com a maior das profundidades de vale do perfil, Z_v , no interior do comprimento de avaliação.

Segundo Oliveira (2011), é possível analisar uma superfície através de um perfil bidimensional (2D) por duas técnicas de topografia. Pode-se realizar uma varredura da amostra por contato, utilizando um apalpador mecânico ou por varredura óptica sem contato, utilizando feixe de luz.

Segundo Oliveira (2010), técnicas de medição óptica possuem uma vantagem com relação aos métodos de avaliação de superfícies com apalpadores mecânicos: elas evitam o contato entre mensurando e mensurado e conseqüentemente não caracterizam o ensaio como destrutivo.

A conseqüência deste contato pode acarretar numa alteração da superfície medida, a ponta do apalpador pode riscar a superfície da amostra e também sofrer desgaste provocado por este contato, que por sua vez induz erros de medições sistemáticos.

A varredura óptica é realizada por sensores em linha que fornece resolução seis vezes maior em comparação com a área de sensores comuns.

3. METODOLOGIA

O trabalho de análise da qualidade superficial através do processo de corte por jato d'água abrasivo em peças de Inconel 718, foi realizado no equipamento Water Jet FLOW MACH 2. Este trabalho utilizou como abrasivo, o Garnet com granulometria 80, cujo tamanho médio do abrasivo é de 0,177 mm.

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.

O Inconel cortado neste presente trabalho foi fabricado pela Villares Metals S.A, e a composição química da liga segue na Fig (2), fornecido pela própria empresa

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

Figura 2 - Composição química da superliga Inconel 718 (Fonte: Villares Metals 2020)

As propriedades mecânicas também foram fornecidas pela própria Villares e são informadas na Fig (3).

Material	Limite de escoamento (0,2%) (MPa)	Tensão de Ruptura (MPa)	Dureza (média) HRc
Inconel	1070	1262	40

Figura 3 - Propriedades mecânicas superliga Inconel 718 (Fonte: Villares Metals 2020)

Para os cortes da liga de Inconel 718, foi utilizado o tempo para perfuração da peça em 67 segundos, deslocamento do jato de 0,55 mm/s, pressão da água de 50.000 psi, taxa de escoamento de abrasivo de 0,45 gr/m, resultado em um tempo total de 33 minutos para finalizar o corte de cada peça.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

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 Fig (4) e Fig (5) mostram os resultados de rugosidade superficial (R.a., R.q., R.t. e R.z.) das peças cortadas (Inconel 718 Envelhecida e Solubilizada)

Inconel 718 (Envelhecido - Hv = 600Hv) [um]	1ª Medida	2ª Medida	3ª Medida	Média	DP
Ra	1,47	1,46	1,51	1,48	0,03
Rz	8,63	7,82	7,87	8,11	0,45
Rq	1,90	1,83	1,87	1,87	0,04
Rt	14,81	11,45	10,82	12,36	2,15

Figura 4 - Resultados de rugosidade superficial das peças cortadas com jato d'água abrasivo das Inconel 718 (Envelhecido - Hv = 600Hv) (Fonte: Autores, 2020)

Inconel 718 (Solubilizado - Hv = 350Hv) [um]	1ª Medida	2ª Medida	3ª Medida	Média	DP
Ra	2,32	2,45	2,03	2,27	0,22
Rz	11,29	9,98	11,04	10,77	0,70
Rq	2,82	2,83	2,51	2,72	0,18
Rt	16,47	12,59	14,67	14,58	1,94

Figura 5 - Resultados de rugosidade superficial das peças cortadas com jato d'água abrasivo (Solubilizado - Hv = 350Hv). (Fonte: Autores, 2020)

A Fig (6) faz uma comparação entre os resultados médios para os parâmetros de rugosidade das peças cortadas com jato d'água abrasivo.

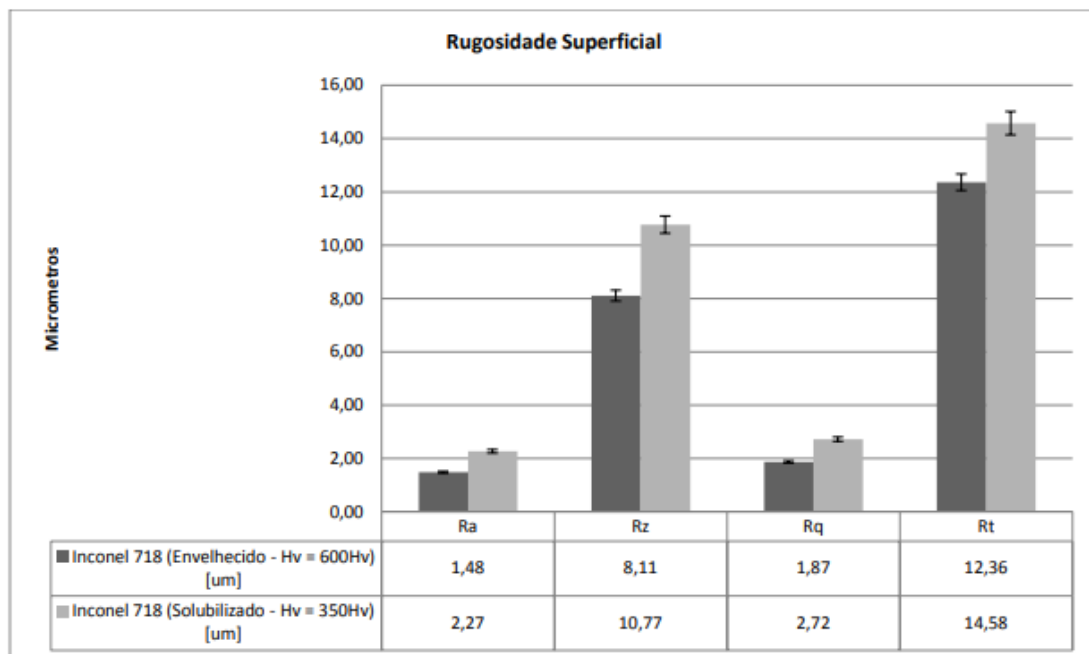


Figura 6 - Resultados de topografia das peças cortadas com jato d'água abrasivo. Inconel 718 (Envelhecido e Solubilizado) (Fonte: Autores, 2020)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

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 por não afetar consideravelmente a microestrutura do material como nos cortes mecânicos (guilhotina).

Quanto a análise da qualidade superficial do material após o corte, conclui-se que a Liga de Inconel 718 envelhecida possui topografia 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 ele é pela erosão/abrasão do jato de corte. Logo, entende-se que quanto maior a dureza desta liga, menos afetada será a superfície do material.

6. REFERÊNCIAS

- ABNT NBR ISO 4287 – Especificações geométricas do produto (GPS) - Rugosidade: Método do perfil - Termos, definições e parâmetros da rugosidade, 2002.
- SENAI - SP, Corte com jato de água, Apostila, 2009.
- LORINCZ, Jim. Waterjets: Evolving from Macro to Micro, Manufacturing Engineering, Society of Manufacturing Engineers, November, 2009
- MACHADO, A.R.; ABRÃO, A.M.; COELHO, R.T. & DA SILVA, M.B. “Teoria da usinagem dos materiais”. Editora Edgard Blucher, 3a Edição, São Paulo, 2015. 407p.
- OCH, S. H.; Oleinik, C.A.; BONDEAN, E.; BONDEAN, L.; Avaliação do Impacto de Jato D’água em Superfícies Sólidas; 2008.
- OLIVEIRA, A. R. F., Desenvolvimento de um microscópio confocal de varredura laser para caracterização topográfica de superfícies. 2012. 69 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.
- OLIVEIRA E. M., “Comportamento Microestrutural da Liga Inconel 718 em Aplicações por Soldagem TIG”. 2011. 77 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica e Tecnologia de Materiais- Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, Rio de Janeiro, 2011.
- OLSEN, John H., Motion Control for Quality in Jet Cutting, filed May 14, 1997, and issued April 6, 1999.
- ULUTAN. D.; OZEL.T.; “Machining induced surface integrity in titanium and nickel alloys: A review”, International Journal of Machine Tools & Manufacture 5, p. 250- 280, 201

7. DIREITOS AUTORAIS

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