

AVALIAÇÃO DA RUGOSIDADE DE INCONEL 718 APÓS A RETIFICAÇÃO COM O REBOLO PREPARADO COM DIFERENTES DRESSADORES

Pedro Henrique Cardoso Siqueira

Lazaro Henrique Alves Vieira

Rodrigo de Souza Ruzzi

Rosemar Batista da Silva

Universidade Federal de Uberlândia (UFU) - Av. João Naves de Ávila, 2121 - Santa Mônica, Uberlândia - MG, 38408-100
pedro.siqueira@ufu.br, lazinho@ufu.br, rodrigo.ruzzi@ufu.br, rosemar.silva@ufu.br

Resumo. O Inconel 718 é uma das superligas à base de níquel mais relevantes e seu crescente emprego é motivado pela sua elevada resistência mecânica e à corrosão, que são mantidas mesmo quando submetido a altas temperaturas. Consequentemente, trata-se de um material de difícil usinabilidade, em especial de difícil retificação. A operação de dressagem do rebolo, por outro lado, é a principal responsável pela garantia da eficiência da superfície de corte do rebolo e, consequentemente, por gerar componentes livres de danos térmicos, como também com menores valores de rugosidade. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é avaliar a rugosidade de peças de Inconel 718 que foram retificadas com rebolo previamente preparados com dois tipos de dressadores estáticos (ponta única e o fliese), mas com os mesmos parâmetros de dressagem. Foram testadas diferentes condições de corte e medidas as rugosidades (R_a e R_t). Os resultados mostraram que os valores de rugosidade praticamente não sofreram influência da condição de dressagem do rebolo. Contudo, ao empregar o dressador tipo fliese, o tempo de dressagem foi reduzido em aproximadamente 70%. Além disso, o aumento da penetração de trabalho deteriorou o acabamento.

Palavras chave: Retificação. Inconel 718. Dressagem. Rugosidade. Tempo de dressagem.

1. INTRODUÇÃO

Grande parte dos componentes da indústria metal-mecânica, ao serem submetidos aos processos de usinagem convencionais que empregam ferramentas de geometria definida, podem ainda necessitar de um processo posterior para acabamento, com destaque para a retificação. Assim, este processo é, na maior parte dos casos, um dos últimos na cadeia produtiva, por ser capaz de desempenhar ações de correção acerca das irregularidades e distorções nas superfícies das peças, além de proporcionar dimensões mais próximas da nominal em um projeto e qualidade de trabalho IT mais estreitas (Rowe, 2013). Machado et al. (2015) relatam que a retificação propicia às peças tolerâncias dimensionais apertadas (qualidades de trabalho IT6-IT3) e rugosidades R_a inferiores a $1,6 \mu m$.

E um parâmetro muito importante do processo de retificação é a operação de dressagem do rebolo. O aspecto topográfico do rebolo é responsável por grande parte das características finais da peça usinada, como a rugosidade, por exemplo. No entanto, vários fatores podem alterar a forma do rebolo durante o processo de retificação, devido, principalmente, ao desgaste que ele está submetido. Por este motivo, após um determinado período de uso, é importante realizar um processo de afiação e perfilamento na superfície de corte do rebolo que visa remover as partículas abrasivas desgastadas, expondo novas arestas como também reconstituindo a forma original (cilíndrica, cônica, perfilada) do rebolo, e este processo recebe o nome de dressagem (Marinescu et al., 2007).

O perfil formado na superfície do rebolo pela operação de dressagem é determinado pelo movimento relativo entre o dressador e o rebolo, sendo o material e as características geométricas do dressador os principais influenciadores no resultado final do processo. A penetração de dressagem (a_d), que associada à largura efetiva do dressador (b_d), determina a porção de material removida a cada volta. Desta maneira, o passo de dressagem (S_d) pode ser calculado conforme a Eq. (1).

$$S_d = \frac{V_{fd}}{n_s} \quad (1)$$

Onde V_{fd} representa a velocidade de deslocamento axial do dressador (mm/min) e n_s a rotação do rebolo (rpm).

Por fim, há o grau de recobrimento do rebolo (U_d), um dos parâmetros que mais influenciam na eficiência da operação de dressagem e, por conseguinte, na eficiência do processo de retificação. De acordo com Hassui e Diniz (2003), o U_d pode ser determinado pela relação da largura efetiva do dressador e do passo de dressagem, conforme a Eq.

(2). Ou seja, quanto maior for esta largura, maior será o grau de recobrimento e mais fina será a topografia resultante do rebolo, que, por fim, influenciará na qualidade da superfície da peça.

$$U_d = \frac{b_d}{S_d} \quad (2)$$

Dentre os vários tipos de dressadores, o dressador do tipo ponta única é o mais empregado por ser versátil e universal para conferir mais diversos perfis em diferentes rebolos, sendo o baixo custo e a possibilidade de variação dos diamantes aplicados umas de suas vantagens. Embora a dressagem com este dressador seja a mais empregada atualmente, a largura efetiva do dressador do tipo ponta única aumenta com o desgaste da ponta de diamante (Harimkar et al., 2006). Por consequência, não é uma boa opção quando se deseja obter resultados relativamente constantes de dressagem. Já o dressador do tipo fliese é outro tipo de ferramenta para a operação de dressagem fixa, popularmente conhecido por sua versatilidade e pela melhor relação em termos de benefício/custo. Quando comparado ao dressador do tipo ponta única, o tipo fliese se diferencia devido à sua alta largura efetiva, apresentando uma pequena variação de b_d o que lhe configura uma eficiência semelhante ou até mesmo maior (Odebrecht, 2003). Outras vantagens do fliese relacionam-se com a menor frequência de visitas ao microscópio óptico para verificação do desgaste e por não precisar ser rotacionado, como ocorre com o diamante de ponta única.

Além do rebolo, condições de corte e de dressagem, o material da peça a ser usinado é também um fator que interfere na eficiência do processo de retificação. Embora os aços sejam os principais materiais retificados, tem sido relatado na literatura o grande aumento de peças em materiais não ferrosos que necessitam do processo de retificação. E dentre eles, destacam-se o carro chefe das ligas de níquel, o Inconel 718, que tem sido empregado nas indústrias aeronáutica, automobilística, petroquímica, dentre outras, principalmente pela ótima combinação entre resistência mecânica e à corrosão que são mantidas mesmo quando submetidas a elevadas temperaturas (ASM International, 2000; Thakur e Gangopadhyay, 2016). Exemplos de suas aplicações são pás e outros componentes de motores aeronáuticos, bielas de motores de combustão interna, como também de partes reatores nucleares. Contudo, se por um lado estas ótimas propriedades fazem do Inconel 718 um material muito importante para várias indústrias, por outro elas tornam-se desafios para os usuários de usinagem. A manutenção destas propriedades em temperaturas elevadas, além da baixa condutividade térmica do Inconel 718, contribui com o aumento da temperatura e concentração de calor na interface cavaco-ferramenta, tornando o processo de usinagem do Inconel 718 mais complexo em relação a outros materiais (Ezugwu et al., 2003, 1999). E o desafio ainda é maior quando se trata do processo de retificação com rebolos abrasivos convencionais que também possuem baixa condutividade térmica, além das pequenas seções dos cavacos que gerados que dificultam a dissipação do calor gerado na zona de corte.

Atualmente, esse tema ainda é carente de literatura formal em termos de estudos sobre a operação de dressagem, principalmente em processos de retificação que empregam rebolos abrasivos convencionais para a retificação de superligas, como o Inconel 718. Vale ressaltar que a seleção correta de um dressador para o processo de retificação do Inconel 718 pode representar uma melhor relação benefício/custo, seja pelo tempo e frequência de dressagem ou ainda pela manutenção do corte do rebolo que implica na qualidade da peça. Partindo deste contexto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a influência da rugosidade de peças de Inconel 718 que foram retificadas em diferentes condições de corte (penetração de trabalho e velocidade da peça) com rebolo previamente preparados por dois tipos de dressadores diferentes (ponta única e fliese), porém com o mesmo grau de recobrimento (U_d).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização dos experimentos, foi utilizada uma retificadora plana tangencial semiautomática, modelo P36, do fabricante Mello S.A. Máquinas e Equipamentos, com resolução de 5 μm no anel graduado do nônio de deslocamento radial do rebolo (eixo Z), rotação constante igual a 2400 rpm, potência nominal do motor de 2,25 kW. Como ferramenta de corte utilizou-se o rebolo do tipo reto, de carbeto de silício com granulometria mesh 60 e ligante vitrificado, com dimensões de 305 mm por 25,4 mm por 76 mm (diâmetro externo x espessura x diâmetro interno) fornecido pelo fabricante Norton – Grupo Saint-Gobain do Brasil Produtos Industriais e para Construção Ltda. O material da peça são amostras de Inconel 718 com 40 mm de comprimento, 7 mm de largura e 17 mm de altura, sendo a superfície com 40 mm X 7 mm aquela selecionada para a retificação.

Foi designado um grau de recobrimento do rebolo, U_d , igual a 4 para a dressagem do rebolo, valor referente à uma operação de semi-acabamento, e com penetração de dressagem, a_d , igual a 20 μm . O mesmo grau de recobrimento foi utilizado para os dois tipos de dressadores, ponta única e fliese, sendo que a largura de cada dressador, b_d , foi medida em um estêreo-microscópio da marca Olympus, modelo SZ 61, e os resultados estão dispostos na Fig. 1. A partir da Figura 1, pode-se observar que os valores de b_d são iguais a 0,29 mm e 1,045 mm para o dressador do tipo ponta única (Fig. 1a) e do tipo Fliese (Fig. 1b), respectivamente. Desta forma, a velocidade de dressagem e, como consequência, o tempo de dressagem foram ajustados, segundo as eq. (1) e (2), para garantir o mesmo U_d . Para as condições utilizadas, o tempo de dressagem utilizado para os dressadores de ponta única e fliese foram, respectivamente, 8,76 s e 2,43 s.

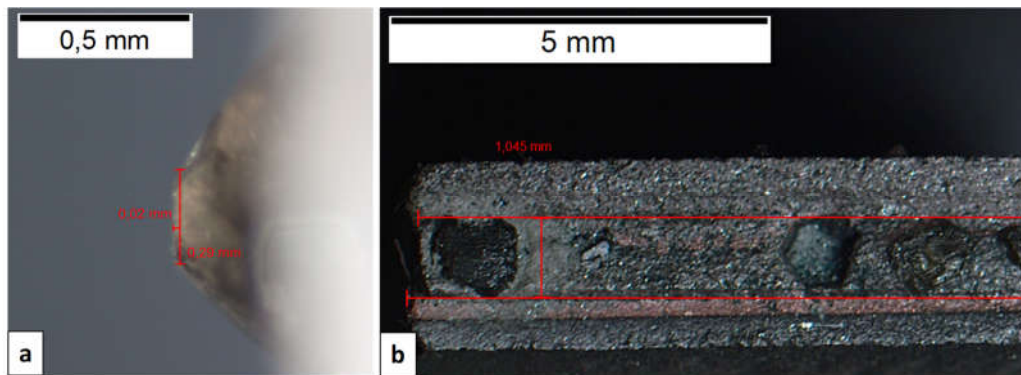


Figura 1. Medida do b_d para os dressadores: a) ponta única e b) fliese

Antes de cada ensaio o rebolo foi devidamente dressado. A cada peça retificada, o rebolo foi dressado para evitar a influência do desgaste do mesmo. Foram testadas 4 condições de corte distintas, variando-se a penetração de trabalho (a_e) em 0,015 mm e 0,030 mm e a velocidade da peça (v_w) em 5000 mm/min e 10000 mm/min. Como foram utilizados 2 dressadores, foram realizados 8 testes, sendo que cada teste sofreu uma réplica, totalizando 16 testes. Tanto durante a dressagem, como também durante os ensaios de retificação, foi utilizada a técnica convencional de lubri-refrigeração (abundância). Foi utilizado o fluido semissintético de base vegetal Vasco 7000, do fabricante Blazer Swisslube, que foi diluído em água na proporção de 1:19 e aplicado com uma vazão de 9 L/min.

Para avaliar as superfícies das peças após os testes de retificação, foram realizadas 3 medições de rugosidades em regiões distintas das superfícies, utilizando um rugosímetro portátil da marca MITUTOYO, modelo SJ-201 P/M. As medições foram realizadas perpendicularmente ao sentido de retificação, utilizando um comprimento de medição de 4 mm (5 vezes o cut-off de 0,8 mm). Foram avaliados os parâmetros de rugosidades R_a (desvio aritmético médio do perfil) e R_t (altura total do perfil) e calculadas a média aritmética e desvio padrão das medições realizadas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados encontrados de rugosidade, parâmetro R_a , estão apresentados na Fig. 2. A partir desta figura, pode-se observar que os resultados de R_a obtidos após a retificação com o rebolo preparado pelos diferentes dressadores foram similares, não apresentando grandes diferenças (abaixo do desvio padrão das medidas) quanto ao tipo de dressador. Esse resultado era esperado de acordo com a teoria de retificação, uma vez que o grau de recobrimento utilizado foi o mesmo para os dois tipos de dressadores (Marinescu et al., 2007). Ainda da Fig. 2, pode ser observado que os valores de R_a apresentaram uma tendência de aumentar com a penetração de trabalho (a_e), assim como com a velocidade da peça (v_w), o que era esperado uma vez que ao aumentar estes parâmetros, ocorre um aumento na taxa de remoção de material e, consequentemente, na severidade do processo (Malkin e Guo, 2008). Da Silva (2017), ao retificar amostras de Inconel 718 com algumas condições de corte semelhantes aquelas empregadas, também constatou o aumento dos parâmetros de rugosidade com o a velocidade da peça.

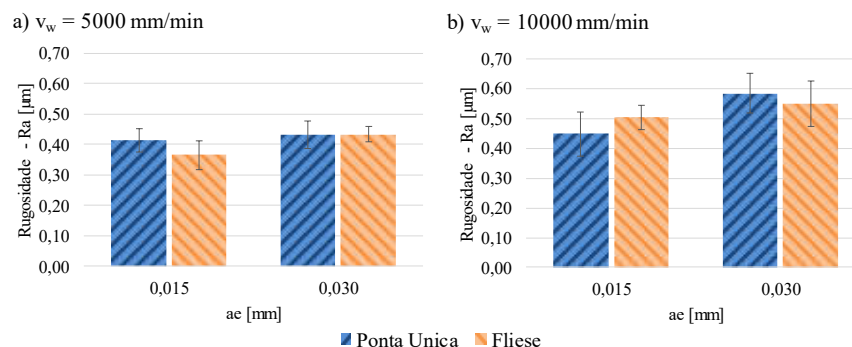


Figura 2. Rugosidade R_a para as superfícies de Inconel 718 após retificação em diferentes condições de corte e rebolo preparado por dois tipos de dressadores (Ponta única e Fliese): a) $v_w = 5000$ mm/min e b) $v_w = 10000$ mm/min

Os valores encontrados de rugosidade (parâmetro R_a) estão próximos daqueles que foram relatados no trabalho realizado por da Silva et al. (2016), quem também realizaram ensaios retificação do Inconel 718, porém, com rebolo de

óxido de alumínio (AA60K6V) e dressador de ponta única com a_d igual a 10 μm e em condições de corte muito semelhantes às empregadas neste trabalho.

Na Figura 3 são apresentados os resultados do parâmetro de rugosidade R_t das superfícies de Inconel 718 após a retificação em diferentes condições de corte. A partir desta figura, pode ser observado que, de forma semelhante aos resultados obtidos para o parâmetro R_a (Fig. 2), em todas as condições de corte, os resultados obtidos após a dressagem com o dressador do tipo fliese foram bastante similares aqueles obtidos após a dressagem com o dressador de ponta única.

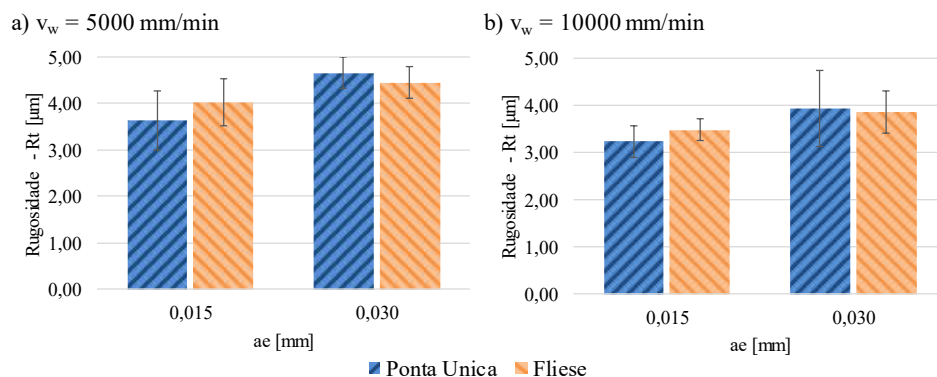


Figura 3. Rugosidade R_t para as superfícies de Inconel 718 após retificação em diferentes condições de corte e rebolo preparado por dois tipos de dressadores (Ponta única e Fliese), sendo: a) $v_w = 5000 \text{ mm/min}$ e b) $v_w = 10000 \text{ mm/min}$

Ao analisar as Figuras 2 e 3, pode-se observar que os parâmetros R_a e R_t apresentaram comportamentos semelhantes em função das condições testadas. Em geral, independente do tipo de dressador utilizado, houve uma tendência de acréscimo da rugosidade (R_a e R_t) com a penetração de trabalho. O aumento de a_e implica no aumento da espessura de corte equivalente (maior seção do cavaco), o que resulta em uma deformação plástica do material na região próxima à superfície do rebolo, ocasionando no aumento da rugosidade superficial das amostras (Malkin e Guo, 2008). A rugosidade R_t , diferentemente da R_a , apresentou uma leve tendência a diminuir com o aumento da velocidade da peça, o que não era esperado. Contudo, tal tendência não foi acentuada.

Embora os resultados de rugosidade tenham sido similares após a retificação com o rebolo preparado com ambos os dressadores, é importante atentar-se para o tempo de dressagem, sendo que cada passe de dressagem com o dressador de ponta única levou 8,76 segundos, enquanto com o dressador fliese levou apenas 2,43 segundos (tempo aproximadamente 70% menor), apresentando assim uma vantagem para o dressador do tipo fliese quanto ao tempo de operação, sem prejuízo de qualidade.

4. CONCLUSÕES

Após a realização dos testes de retificação de Inconel 718 com rebolo preparado com diferentes dressadores, as seguintes conclusões puderam ser tiradas:

- Os parâmetros R_a e R_t analisados praticamente não sofreram influência do tipo de dressador.
- O aumento da penetração de trabalho apresentou maior influência no parâmetro de rugosidade R_a , sendo que o aumento no a_e de 0,015 para 0,030 mm acarretou um aumento de aproximadamente 20% no valor do R_a , quando utilizada a velocidade da peça de 10000 mm/min, independentemente do tipo do dressador utilizado.
- O dressador do tipo fliese, para o mesmo grau de recobrimento, apresentou um tempo de dressagem aproximadamente 70% menor do que o apresentado pelo dressador de ponta única, se mostrando uma alternativa, principalmente em linhas de produção onde o tempo de processo é crucial.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem primeiramente a Faculdade de Engenharia Mecânica (FEMEC) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) e ao Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem (LEPU) que possibilitaram esta pesquisa, como também aos órgãos de fomento CAPES, FAPEMIG e ao CNPq pelo apoio e incentivo às pesquisas. Agradecem ainda a Norton (grupo Saint-Gobain Abrasivos da América do Sul) e Blaser Swissslube pela doação do rebolo e do fluido de corte, respectivamente. O autor Rodrigo de Souza Ruzzi agradece ao CNPq pela bolsa de doutorado (processo n. 141472/2017-0). Rosemar Silva agradece em especial ao CNPq, via processos n. 426018/2018-4, Chamada MCTIC/CNPq N° 28/2018 - Universal – e n. 311337/2016-3 - Chamada CNPq N° 12/2016 - Bolsas de Produtividade em Pesquisa – PQ, pelo apoio financeiro que permitiu o desenvolvimento deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- ASM International, 2000. ASM HANDBOOK, Volume 2: Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials, ASM Handbook. ASM International.
- da Silva, L.S.V., 2017. Influência da Espessura de Corte Equivalente e Técnica de Aplicação de Fluido de Corte na Integridade da Superfície do Inconel 718. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia - MG, Brasil.
- Ezugwu, E.O., Bonney, J., Yamane, Y., 2003. An overview of the machinability of aeroengine alloys. J. Mater. Process. Technol. 134, 233–253. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(02\)01042-7](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(02)01042-7)
- Ezugwu, E.O., Wang, Z.M., Machado, A.R., 1999. The machinability of nickel-based alloys: a review. J. Mater. Process. Technol. 86, 1–16. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(98\)00314-8](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(98)00314-8)
- Harimkar, S.P., Samant, A.N., Khangar, A.A., Dahotre, N.B., 2006. Prediction of solidification microstructures during laser dressing of alumina-based grinding wheel material. J. Phys. D. Appl. Phys. 39, 1642–1649. <https://doi.org/10.1088/0022-3727/39/8/025>
- Hassui, A., Diniz, A.E., 2003. Correlating surface roughness and vibration on plunge cylindrical grinding of steel. Int. J. Mach. Tools Manuf. 43, 855–862. [https://doi.org/10.1016/S0890-6955\(03\)00049-X](https://doi.org/10.1016/S0890-6955(03)00049-X)
- Machado, Á.R., Abrão, A.M., Coelho, R.T., Silva, M.B. da, 2015. Teoria da Usinagem dos Materiais, 3º ed. Blucher, São Paulo.
- Malkin, S., Guo, C., 2008. Grinding Technology: Theory and Application of Machining with Abrasives, Second Edition. Industrial Press, New York, NY.
- Marinescu, I.D., Hitchiner, M., Uhlmann, E., Rowe, W.B., Inasaki, I., 2007. Handbook of Machining with Grinding Wheels. CRC Press.
- Odebrecht, O., 2003. Dressamento de Rebolos de Óxido De Alumínio Microcristalino com Dressadores Fixos. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.
- Rowe, W.B., 2013. Principles of modern grinding technology, 2 Edition. ed. William Andrew.
- Thakur, A., Gangopadhyay, S., 2016. State-of-the-art in surface integrity in machining of nickel-based super alloys. Int. J. Mach. Tools Manuf. 100, 25–54. <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2015.10.001>

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

EVALUATION OF SURFACE ROUGHNESS OF INCONEL 718 ALLOY WITH GRINDING WHEEL PREPARED BY DIFFERENT DRESSERS

Pedro Henrique Cardoso Siqueira

Lazaro Henrique Alves Vieira

Rodrigo de Souza Ruzzi

Rosemar Batista da Silva

Federal University of Uberlandia (UFU), School of Mechanical, Uberlandia, Brazil
pedro.siqueira@ufu.br, lazinho@ufu.br, rodrigo.ruzzi@ufu.br, rosemar.silva@ufu.br

Abstract. Inconel 718 is one of the most relevant nickel-based superalloys and its growing demand is motivated by its high mechanical strength and corrosion, which are maintained even under high temperatures. As a consequence, this alloy is usually referred as a difficult-to-cut material, even when subjected to grinding operation. The dressing operation of the grinding wheel, on the other hand, is mainly responsible for guaranteeing the efficiency of the cutting surface of the grinding wheel and, consequently, for generating components free of thermal damages, as well as with lower roughness values. In this context, the objective of this work is to evaluate the surface finish of Inconel 718 samples after grinding with previous preparation of grinding wheel by two different types of static dressers (single diamond tip and fliese). Different cutting conditions were tested and the roughness parameters (R_a and R_t) were measured. The results showed that surface roughness values were not practically affected by dresser type. However, when the fliese dresser was employed, the dressing time was reduced by about 70%. Also, increase in the depth of cut lead to surface finish deterioration.

Keywords: Grinding. Inconel 718. Dressing. Surface Roughness. Dressing time.

RESPONSIBILITY NOTICE

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