



INFLUÊNCIA DO ROLETEAMENTO AQUECIDO AUXILIADO POR RADIAÇÃO INFRAVERMELHA NA QUALIDADE SUPERFICIAL DE UMA LIGA AERONÁUTICA INCONEL718

Eduardo Luiz de Godoi

Aluno do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – Unesp – Bauru

Prof. Dr. Luiz Eduardo de Ângelo Sanchez

Orientador – Depto de Engenharia Mecânica – Unesp – Bauru

RESUMO

A operação de roleteamento é realizada para diminuir a rugosidade e melhorar as propriedades mecânicas da peça pela indução de tensões residuais compressivas por meio de deformação plástica das camadas mais superficiais do componente. Conseqüentemente, tem-se a elevação da dureza na superfície, além de uma redução significativa da rugosidade da peça roleteada. O objetivo deste trabalho é comparar e avaliar a influência da pressão de roleteamento, velocidade e do número de passes sobre as características e propriedades mecânicas de uma liga aeronáutica de Inconel 718 roleteada com e sem auxílio de radiação infravermelha. Os resultados demonstraram que a rugosidade (parâmetros Ra e Rt) dos corpos de prova roleteados apresentou uma redução de aproximadamente 90% sem auxílio e 85% com auxílio de radiação infravermelha em relação ao valor observado antes da operação, ao passo que a dureza superficial apresentou elevação de cerca de 25% sem auxílio e 31 % com auxílio de radiação infravermelha em comparação ao componente torneado. A tensão residual registrada na superfície dos corpos de prova aumentou e atingiu camadas subsuperficiais após roleteamento, o desvio de circularidade melhorou em relação ao processo convencional.

PALAVRAS – CHAVE: Roleteamento, tensão residual, acabamento superficial, roleteamento a quente.

1. INTRODUÇÃO

Alguns processos de usinagem, destinados ao acabamento de peças, conferem ambos, melhor acabamento e diminuição dos desvios de forma, como é o caso da retificação. Outros, como o brunimento, é capaz de interferir apenas no acabamento produzindo um padrão superficial específico. No entanto, os processos de usinagem não visam a modificação das propriedades mecânicas das peças, embora dependendo das condições de usinagem possam induzir tensão residual de compressão ou tração. O jateamento convencional e, principalmente, o jateamento a quente são voltados à melhora das propriedades mecânicas de peças metálicas (COBANOGLU & OZTURK, 2014).

O roleteamento é um processo especialmente concebido para fornecer à peça usinada os benefícios advindos da deformação plástica. Durante o roleteamento, a peça é submetida à

intensa deformação plástica, porém sob baixas taxas de deformação, em suas camadas mais superficiais. Como consequência, há inerente elevação de dureza, com aumento da resistência ao desgaste, à corrosão, à fadiga e indução de tensões residuais de compressão, tornando o roleteamento um processo de acabamento e de fortalecimento (SAÏ & LEBRUN, 2003).

Um efeito secundário, porém, bastante desejável, se trata da redução significativa da rugosidade do componente roleteado. Comparado ao seu principal concorrente, o jateamento com granalha, o roleteamento pode ser realizado na própria máquina ferramenta onde a peça foi usinada, sendo necessária apenas a montagem do dispositivo no porta ferramentas, portanto com redução do tempo de fabricação. Como resultado mais relevante, tem-se a indução de tensões residuais em camadas mais profundas do que o jateamento e a redução da rugosidade do componente. Por sua vez, o jateamento permite que peças com geometrias mais complexas e dimensões mais diversificadas sejam processadas (ABRÃO, 2014; SCHULZE, 2006).

Durante a operação de roleteamento, uma ferramenta em forma de esfera ou rolete é pressionada contra a peça, em rotação, durante a aplicação de um número predeterminado de passes para garantir a deformação plástica. A ferramenta é livre para girar e, em geral, os movimentos de rotação e avanço são aplicados simultaneamente. Além disso, um fluido lubrificante deve ser utilizado.

A ferramenta utilizada deve ter uma dureza maior que a da peça e exercer uma pressão suficientemente elevada para exceder a tensão limite de escoamento do material da peça, causando uma deformação plástica superficial na qual os picos microscópicos remanescentes da usinagem são escoados para os vales, diminuindo substancialmente as asperezas (EL-AXIR, 2000; MALLESWARA et al., 2011).

A tensão residual de compressão é o principal aspecto na avaliação da integridade de uma peça roleteada por causa de sua influência direta no desempenho em serviço. Então, controlar o processo por meio do conhecimento da influência das condições de roleteamento é um caminho para produzir tensão residual de compressão nas camadas mais externas e aumentar a vida do componente. A Figura 1 ilustra a indução de tensão e a redução da rugosidade no processo de roleteamento nas camadas da peça.

No torneamento de ligas de difícil usinagem, a minimização das forças e do desgaste da ferramenta de corte pode ser conseguida por meio do aquecimento da peça, a qual tem um abaixamento da tensão limite de escoamento acompanhado de diminuição da pressão específica de corte do material. Para isso, diversas técnicas são encontradas na literatura diferindo uma das outras pela origem da fonte de aquecimento, que pode ser localmente concentrada ou distribuída na superfície da peça. Assim pode-se recorrer ao método por corrente Okoshi & Uyehara (1963), Barrow (1969) e Chen & Lo (1974), Kitagawa et al. (1988), por laser explorado no trabalho de Salem et al. (1995) e por resistência elétrica de quartzo estudado por Sanchez et al. (2014).

As forças normais de roleteamento utilizadas foram de 200, 300 e 500N com as potências de laser empregadas de 200, 350 e 500W, as quais produziram temperaturas superficiais na peça de 80, 120 e 180°C, respectivamente. Como consequência do processo híbrido proposto, pode-se resumidamente destacar que o Roleteamento a laser é capaz de reduzir a razão entre a força de avanço e a força normal (F_f/F_n), levando a um menor desgaste da ferramenta no roleteamento a laser do que no roleteamento convencional, comparado ao seu equivalente convencional, o roleteamento a laser melhora substancialmente o acabamento superficial, particularmente para materiais duros, por causa do amolecimento do material da peça o que permite deformação plástica superficial mais intensa para uma mesma força, quando a temperatura durante o roleteamento a laser alcança valor um pouco mais baixo do que a

temperatura de revenimento do material da peça, o processo pode produzir dureza mais alta na camada superficial da peça, por causa do maior encruamento da peça devido ao amolecimento temporário do material da peça pelo aquecimento localizado do laser, o roleteamento a laser também gera grande tensões residuais de compressão na superfície da peça em comparação com as peças produzidas no roleteamento convencional.

Contudo, apesar dos melhores resultados obtidos a partir da utilização do laser no processo de roleteamento em relação ao método convencional, o laser é um equipamento de alto custo, além de exigir grande espaço físico ao redor da máquina ferramenta, assim como os métodos de aquecimento por plasma, por corrente elétrica e por chama. No caso do torneamento, estes problemas foram minimizados com a utilização de resistências elétricas em quartzo de baixo custo, as quais emitem exclusivamente radiação infravermelha, tendo a importante propriedade de aquecer somente corpos opacos e não a atmosfera transparente, ou mesmo translúcida, ao seu redor Akkurt (2011).

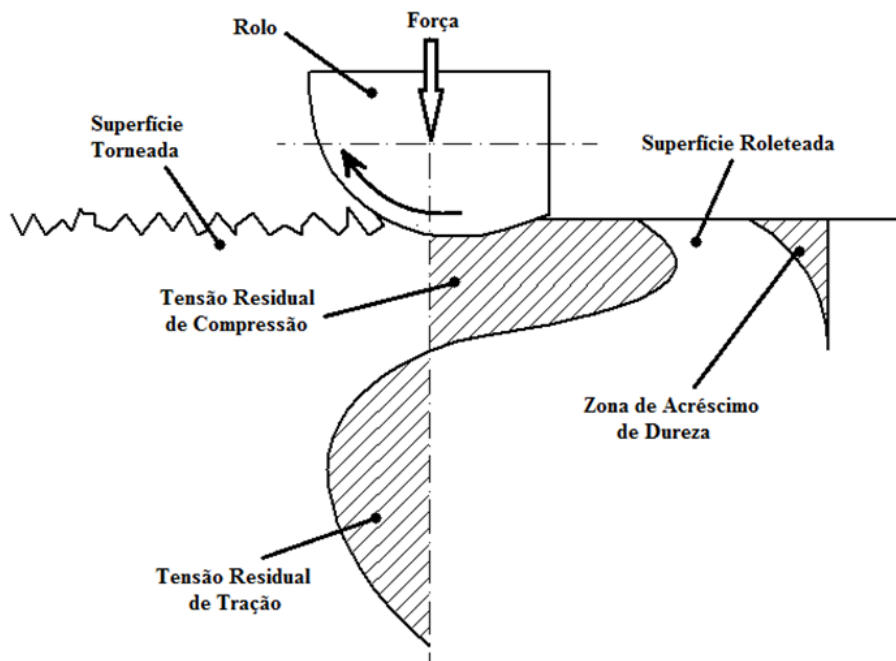


Figura 1 - Modificações na peça com o roleteamento (Adptado de Akkurt, 2011)

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios de roleteamento foram realizados num torno convencional TORMAX 30 equipado com um dinamômetro Kistler, modelo 9257BA, no qual foi fixada a ferramenta de roleteamento. Esta ferramenta foi fabricada para permitir a execução dos ensaios. A opção se dará pela ferramenta de rolamento devido à maior facilidade construtiva e o maior emprego no processo, ao invés da esfera. A Figura 2 ilustra a ferramenta posicionada no dinamômetro.

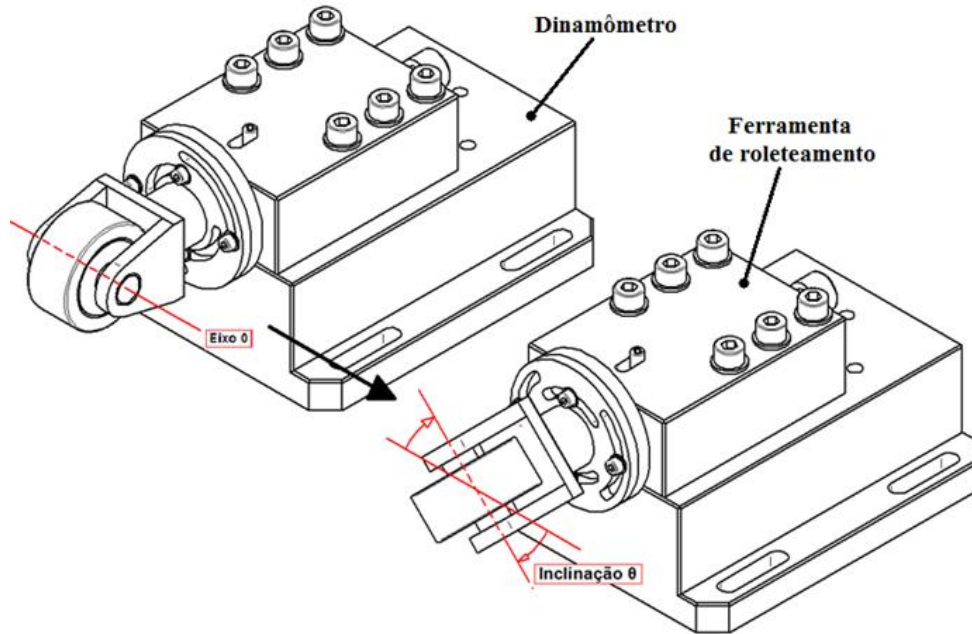


Figura 2 – Ferramenta de roleteamento acoplada a um dinamômetro.

Para aquecimento do corpo de prova, utilizou três resistências de quartzo com 500 Watts de potência cada uma, modelo GC 500/220 da Eletrothermo. Estas resistências as quais emitem radiação infravermelha, montadas ao redor do corpo de prova. O esquema de montagem das resistências em volta da peça é mostrado na Figura 3.

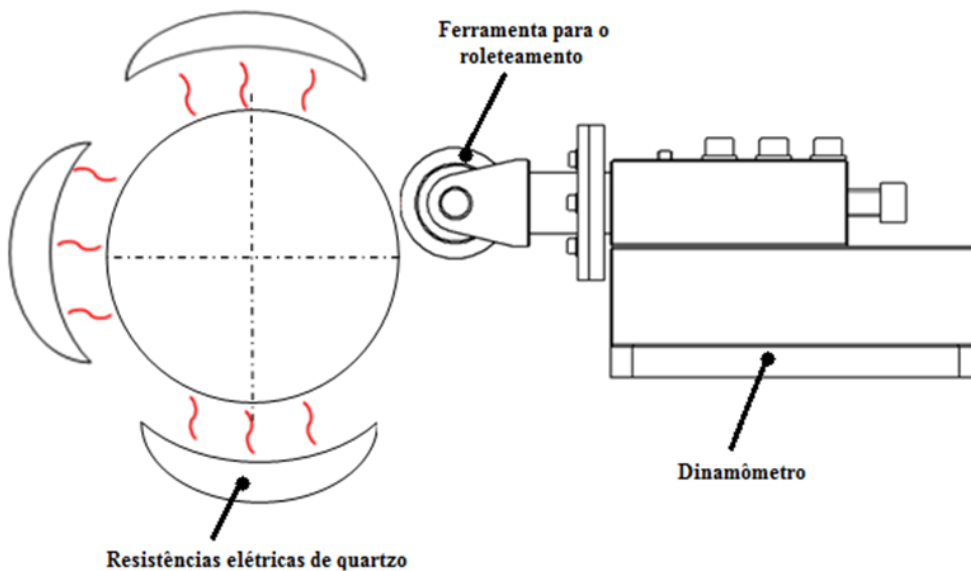


Figura 3 - Esquema da montagem do roleteamento a quente.

2.1 Confeção dos corpos de prova

Os corpos de prova feitos em liga de inonel 718 foram doadas pela Villares Metals, foram confeccionados no Torno Convencional Romi Tormax 30, conforme desenho da Figura 4 para serem adequados tanto para a realização dos ensaios de roleteamento a quente, quanto aos de roleteamento convencional. Através dessa geometria, dividindo a peça em partes, pode-se realizar quatro diferentes condições de roleteamentos em cada corpo de prova.

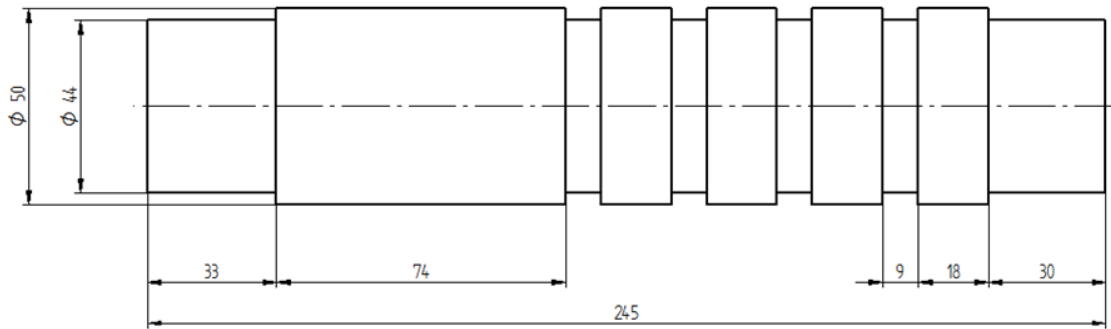


Figura 4 – Geometria dos corpos de provas

Após a confecção de todos os corpos de prova, retirou-se o castelo do torno, fixou-se o adaptador do dinamômetro, o dinamômetro e, sobre este, o porta-ferramenta próprio para dinamômetro, como mostrado na Figura 5. Prendeu-se a peça entre placa e contra ponta e torneou-se os corpos de prova, conforme a Figura 4. Para a realização deste torneamento utilizou-se ferramenta de corte de metal duro doada pela SANDVIK Coromant, modelo CNMG 12 04 08 – PM 4225, alcançando uma média de 1,0 μm de rugosidade Ra inicial.

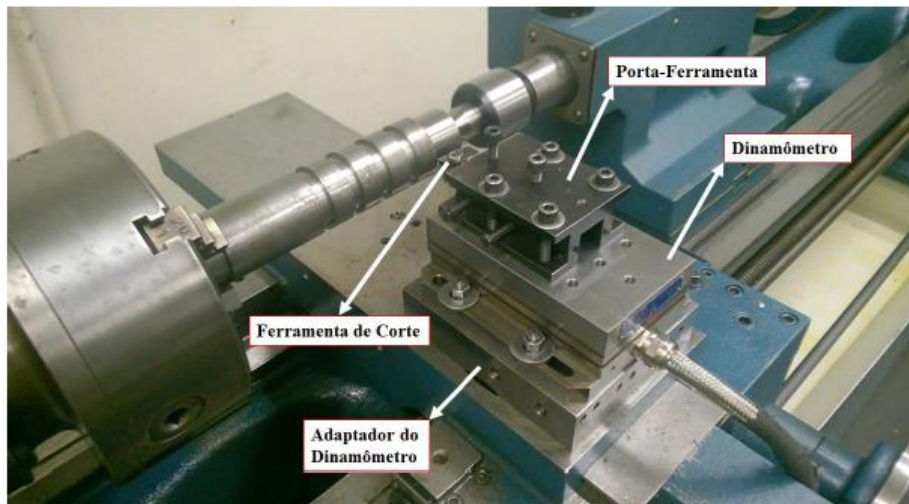


Figura 5 - torneamento antes do processo de roleteamento

Essa operação de torneamento imediatamente anterior ao roleteamento retira qualquer batimento que pode estar presente na peça, deixando as peças submetidas aos ensaios totalmente concêntricas com a placa e a ponta, visto que a peça não será solta até terminarem todos os ensaios de roleteamento determinados sobre ela.

2.2 Preparação exclusiva para ensaios de roleteamento convencional.

Nos ensaios de roleteamento para diminuir o atrito na interface peça-ferramenta, reduzir ruídos e desgastes e auxiliar na melhoria da rugosidade superficial obtida, utilizou-se o fluido de corte convencional de óleo solúvel Rocol Semi-Sintético Ultracut 370. A configuração utilizada para realizar todos os ensaios preliminares é demonstrada na Figura 6. Destaca-se que a rugosidade Ra inicial média de todas as peças (após serem torneadas) é de 1,0 μm e que para todos os ensaios de roleteamento, o avanço e a inclinação da ferramenta de roleteamento foram mantidos em 0,062 mm/rev e 45°, respectivamente.



Figura 6 – Configuração exclusiva para roleteamento convencional.

2.3 Preparação Exclusiva para Ensaios de Roleteamento a quente.

Afim de evitar danos no dinamômetro devido a radiação infravermelha emitida pelas resistências elétricas, superaquecendo-o e prejudicando o funcionamento adequado de aquisição de forças, colocou-se uma proteção de manta asfáltica aluminizada sobre ele.

Essa manta é elaborada à base de asfaltos modificados armados com estruturante de Polietileno de Alta Densidade. Sua cobertura superficial de alumínio gofrado flexível de alta resistência permite uma impermeabilização e assegura a reflexão dos raios UV, tornando um bom isolante térmico, impedindo que o dinamômetro sofra aquecimento. O conjunto instalado para a realização dos ensaios a quente está representado na Figura 7.

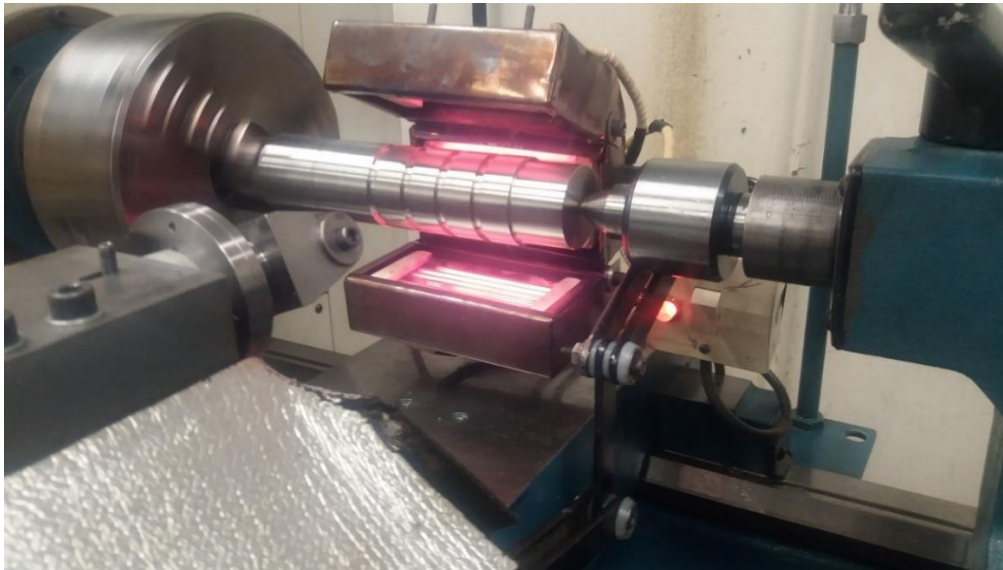


Figura 7 – Configuração exclusiva para roleteamento a quente.

O roleteamento auxiliado por radiação infravermelha também necessita de lubrificação para evitar ruído excessivo e desgaste do rolo-ferramenta e manter a integridade física da superfície da peça roleteada, conseguindo alcançar bons resultados no acabamento superficial. Para isso foram testados óleos, graxas e pasta lubrificante, buscando um que tivesse alto ponto de ignição para não sofrer combustão durante o processo, em que a peça chega a aproximadamente 300°, ou que aderisse adequadamente sobre a peça, não tendo excessivo gotejamento ou respingos sobre as resistências ao ser aquecido ou submetido a testes em que são utilizadas altas rotações. O lubrificante com melhor resultado quanto aos respingos foi a pasta Lubrificante ROYAL COAT 900 – ROYAL GREASE.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados finais obtidos através dos ensaios de roleteamento convencional e roleteamento a quente são descritos a seguir, separados nos tópicos: Rugosidade Superficial; Microdureza; Tensão Residual e circularidade.

3.1 Rugosidade da Peça

Foram executados diversos ensaios preliminares para encontrar as melhores condições de roleteamento, tendo como parâmetro a rugosidade (Ra) obtida na superfície da peça conforme tabela 1. Os resultados dos ensaios preliminares e a definição dos parâmetros finais que serão realizados para os ensaios no roleteamento convencional e a quente.

3.2. Análise Estatística dos Ensaios Preliminares

Os ensaios preliminares foram realizados somente no roleteamento convencional. Foram combinados diferentes parâmetros de entrada, alterando a rotação da peça, número de passes dados e a força aplicada, obtendo como variável de saída a rugosidade superficial (Ra) da peça roleteada. Em seguida, utilizando o método de Análise de Variância (ANOVA), através do programa Minitab 17 - *Statistical Software*, determinou-se os parâmetros de

entrada que mais influenciam na rugosidade final, diminuindo o número de ensaios finais, filtrando os parâmetros de menor relevância. Os parâmetros de entrada no ensaio final do roleteamento a quente serão os mesmos determinados para o roleteamento convencional.

Tabela 1 – Condições de ensaios preliminares de roleteamento.

Material Inconel 718	Avanço (mm/rev)	Força (N)	Rotação (rpm)	Número de passes
	0,062	350	180	1
	0,062	550	560	2
	0,062	850	1400	3
	0,062	850	1400	4

3.3 Rugosidade superficial

Realizou-se ensaios de cada processo de roleteamento, afim de analisar a influência dos parâmetros da rugosidade e número de passes na qualidade superficial da amostra, avaliada de acordo com a sua rugosidade média aritmética (Ra) a força e rotação mantidas em 850 N e 180 rpm respectivamente. Os resultados obtidos para o roleteamento convencional é apresentado na tabela 2 e os resultados para o roleteamento à quente é apresentado na tabela 3.

Tabela 2 – Roleteamento convencional: resultados finais de rugosidade.

Nº Ensaio Final	Rotação (rpm)	Força (N)	Número de Passes	Ra (µm)	Desvio Padrão (µm)
1	180	850	1	0,260	0,006
2	180	850	2	0,242	0,007
3	180	850	3	0,120	0,006
4	180	850	4	0,062	0,006

Tabela 3 - Roleteamento à quente: resultados finais de rugosidade.

Nº Ensaio Final	Rotação (rpm)	Força (N)	Número de Passes	Ra (µm)	Desvio Padrão (µm)
1	180	850	1	0,379	0,011
2	180	850	2	0,262	0,010
3	180	850	3	0,137	0,012
4	180	850	4	0,079	0,006

Pode-se observar que o aumento do número de passes foi benéfico a melhora da rugosidade superficial tanto para o roleteamento convencional, quanto para o à quente. Fato este já esperado, visto que a repetição do processo sobre a mesma peça resulta em um

aumento da homogeneidade na deformação plástica, possibilitando que os picos microscópicos da superfície anteriormente usinada sejam efetivamente escoados para os vales da mesma, diminuindo, assim, cada vez mais a sua rugosidade. Destaca-se também que o maior número de passes utilizados (4 passes) não foi suficiente para causar a deterioração da superfície em razão do excesso de encruamento produzido e a descamação do material. (EL-KHABEERY & EL-AXIR, 2001)

Em relação ao roleteamento à quente, nota-se que o aumento da rotação é bastante prejudicial à melhora de rugosidade obtida, em virtude, principalmente do excesso de vibração, que resulta em instabilidade da ferramenta de roleteamento sobre a superfície da peça de trabalho. Essa vibração é causada, como já explicado, principalmente pela baixa lubrificação durante o processo que, em altas velocidades, torna-se ainda menos eficaz.

Destaca-se que, para roleteamento convencional, pôde-se alcançar uma melhora máxima da rugosidade de 90% e para o roleteamento à quente, a melhora máxima foi de 85%.

3.4 Microdureza

Realizou-se quatro ensaios de cada processo de roleteamento, mantendo a força aplicada em 850N e a velocidade de rotação em 180 RPM, afim de analisar a diferenças entre os métodos de roleteamento e a influência do número de passes na microdureza da camada subsuperficial da amostra, avaliada na escala Vickers (HV), medida da profundidade da camada mais próxima à superfície e em direção ao centro da peça.

Gráficos da progressão de dureza dada em cada passe para cada processo separadamente, demonstrados na figura 8 e 9.

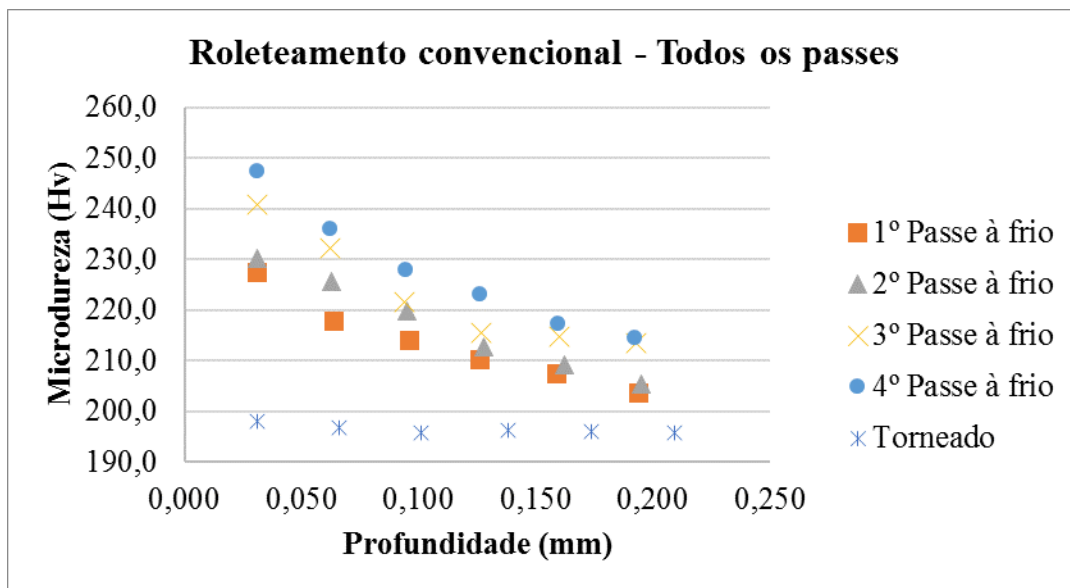


Figura 8 – Roleteamento convencional: microdureza obtidas a cada passe.

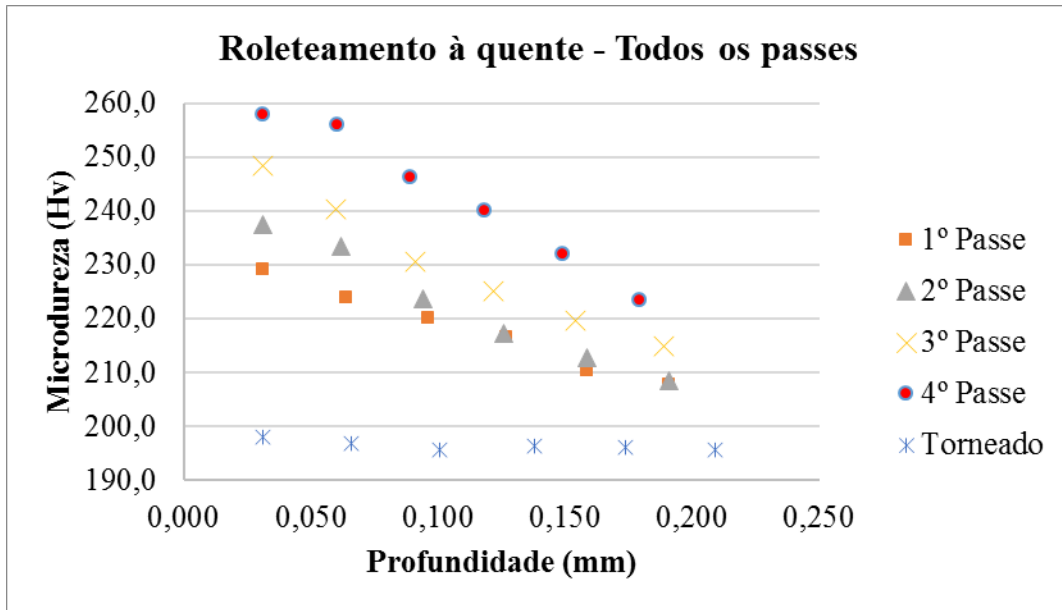


Figura 9 – Roleteamento à quente: microdureza obtida em cada passe.

Pelo gráfico da figura 9 pode-se concluir que, independente dos passes, o roleteamento à quente promove maior aumento da microdureza da camada subsuperficial da peça do que em relação ao roleteamento convencional. Isso ocorre provavelmente porque o aquecimento da peça provoca uma diminuição da tensão limite de escoamento de seu material, amaciando-o, facilitando que a peça seja encruada com a força aplicada e, então, sua microdureza acrescida. Fato este que pode ser comparado com a influência da dureza inicial de uma peça no acréscimo total de dureza fornecido pelo processo de roleteamento que, quando se tem menor dureza inicial, maior o acréscimo promovido. (HASSAN & MAQABLEH, 2000)

Pelos gráficos da figura 8 e 9, pode-se enxergar com mais clareza que a aplicação de um maior número de passes vem a ser vantajoso independente do processo, aumentando tanto a dureza da camada mais superficial, quanto da camada mais profunda. Obteve-se um aumento de 25,9% da dureza a 0,031 mm de profundidade e de 9,3% a 0,193 mm no roleteamento convencional, contra 31,3% de acréscimo a 0,031 mm e 13,8% a 0,179 mm utilizando o roleteamento à quente.

3.5 Tensão Residual

Afim de avaliar e comparar a tensão residual obtida nas peças, realizou-se os ensaios de roleteamento utilizando diferentes número de passes, mantendo a força e a rotação em 850 N e 180 RPM, respectivamente. Os resultados obtidos são apresentados na tabela 4 e esses dados são plotados no gráfico da figura 10. É importante destacar que o difratômetro utilizado possui um software específico que calcula automaticamente as tensões residuais.

Tabela 4 – Resultados de tensão residual.

Processo	Passe	Tensão Residual (MPa)	Desvio-Padrão
Torneamento	-	331	29
Roletamento convencional	1º passe	6	11
	2º passe	-27	13
	3º passe	-110	23
	4º passe	-128	8
Roletamento à quente	1º passe	-20	14
	2º passe	-54	29
	3º passe	-112	13
	4º passe	-226	25

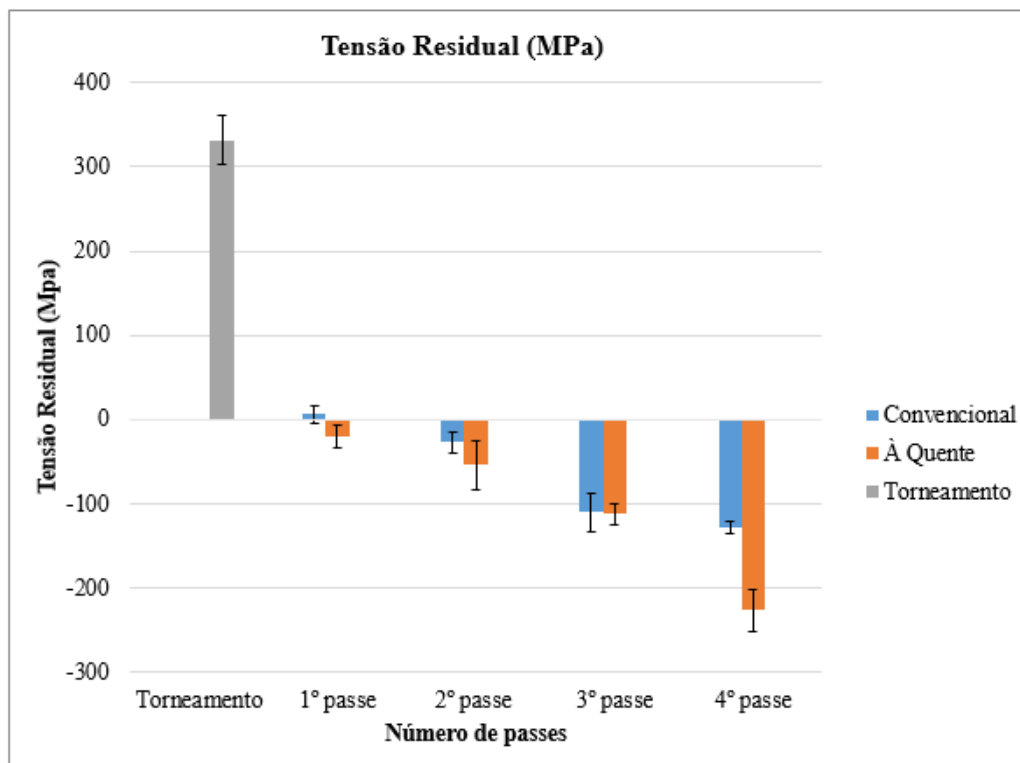


Figura 10 – Resultado de Tensão Residual.

O processo de torneamento gera uma grande tensão residual de tração na superfície da peça, o que é prejudicial principalmente para sua vida em fadiga.

Em relação ao processo de roleteamento convencional, o primeiro passe sobre a superfície torneada não é capaz de transformar a tensão residual de tração presente em tensão de compressão, mas já diminui significativamente o seu valor. A medida que o segundo passe é dado, surge a tensão de compressão na superfície, o que é intensificada ainda mais no terceiro passe. Pode-se notar, que a mudança no terceiro passe para o quarto já não é tão significativa, mostrando que a tensão residual compressiva produzida em função dos passes dados está próxima a máxima alcançada pelo roleteamento convencional.

Em relação ao processo de roleteamento à quente, o primeiro passe já é capaz de transformar a tensão residual de tração proveniente do torneamento em tensão de compressão. A intensidade dessa tensão de compressão só aumenta à medida que os passes são executados.

Como conclusão, é possível notar que o aquecimento da peça gerado pelas resistências elétricas revestidas em cerâmica durante o processo vêm a ser vantajoso também para produzir maior tensão residual de compressão na superfície da peça, tornando-a, conseqüentemente, mais resistente a fadiga.

3.6 Desvio de circularidade da peça

O desvio de circularidade foi realizado na máquina de medição de erros de forma da marca Taylor Hobson, modelo Talyrond 131c (Figura 11). Em cada gomo do corpo de prova realizou-se três medições em diferentes alturas e, então, calculado valor médio do desvio.

O aumento da força promove uma diminuição nos resultados de circularidade, uma vez que maiores forças promovem uma melhor regularização da superfície, devido maior deformação plástica facilitada pelo escoamento mais intenso.

No processo convencional, o desvio de circularidade foi aumentando conforme o aumento do número de passes, no entanto nota-se que não há uma sequência linear de diminuição de circularidade com aumento do número de passes no processo aquecido, temos em ambos roleteamentos (convencional e aquecido) um 1º passe com menores desvios em relação a peça torneada. A partir do 1º passe podemos observar uma melhora no desvio de circularidade no processo aquecido e um maior erro de circularidade no processo convencional. Figura 12.



Figura 11 – Máquina de medir erro de forma

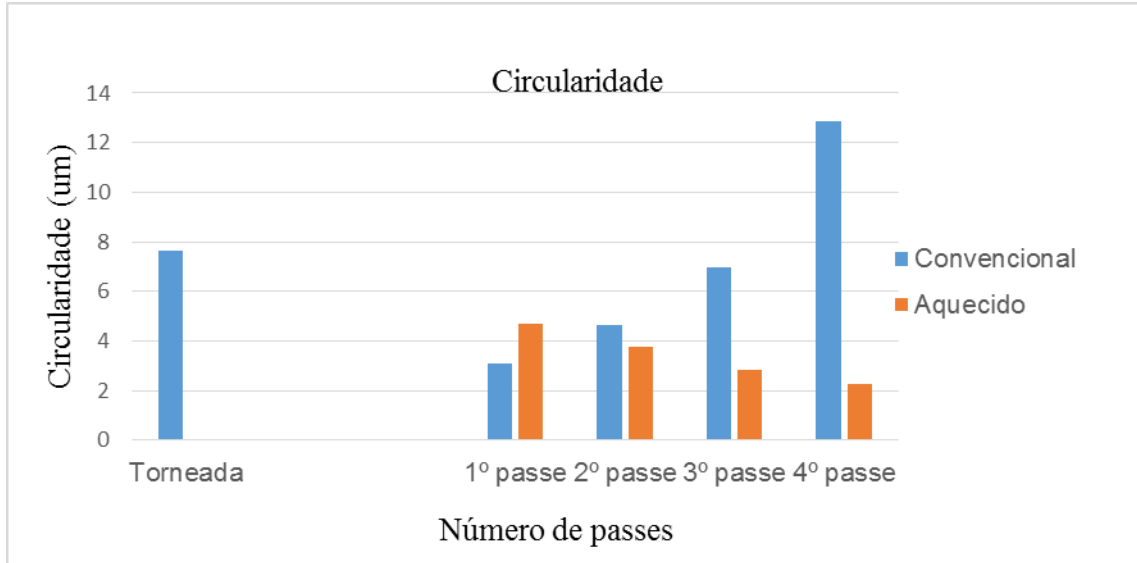


Figura 12 – Comparação erro de circularidade

5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que para o roleteamento convencional, o parâmetro que mais influência na melhora da rugosidade superficial é a força, seguida do número de passes e, por último, a velocidade de rotação. Verifica-se que o aumento de todos esses parâmetros utilizados no trabalho promoveu melhoras no resultado da qualidade superficial. A partir da utilização de 850N, 180 RPM e 4 passes, pode-se alcançar a rugosidade de 0,062 μm , tendo uma redução de 90% em relação a inicial. Em relação ao acréscimo da microdureza e da tensão residual, pode-se alcançar uma microdureza de 247,4 HV na camada mais superficial, promovendo um aumento de 25,9% em relação a microdureza inicial da peça e proporcionando uma tensão residual de compressão de até 128 MPa, uma melhora bastante significativa em relação a peça torneada, que possui uma tensão residual de tração no valor de 331 MPa.

Para o roleteamento à quente, pode-se concluir que o aumento da força e do número de passes é vantajoso para diminuir a rugosidade, entretanto utilizar a mais alta rotação implica numa piora no desempenho do processo, resultando na deterioração da superfície da peça roleteada. Dessa forma, os melhores parâmetros para a rugosidade são 4 passes, 850 N de força e 180 RPM, obtendo uma melhora de 85,0%, alcançando a Ra de 0,079 μm . Em relação a microdureza e tensão residual compressão, alcançou-se o valor máximo de 258,1 HV na camada mais superficial, representando um acréscimo de 31,3% da microdureza inicial, e 226 MPa, resultado 1,78 vezes maior que a melhor tensão residual obtida pelo processo de roleteamento convencional.

A partir do 1º passe podemos observar uma melhora no desvio de circularidade no processo aquecido e um maior erro de circularidade no processo convencional.

No geral, pode-se destacar então que utilizar o roleteamento convencional é mais vantajoso para diminuir a rugosidade superficial, principalmente porque o desempenho do processo de roleteamento à quente nesse quesito é impedido pela grande dificuldade de se obter uma boa lubrificação. Por outro lado, para melhorar a tensão residual e promover maior microdureza, o roleteamento à quente apresenta um maior desempenho, principalmente pelo fato de diminuir a tensão de escoamento do material, facilitando que ele seja encruado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COBANOGLU, T.; OZTURK, S. **Effect of burnishing parameters on the surface quality and hardness.** *Journal of Engineering Manufacture*, 2014. v. 9, p. 1-9.
- SAI, W. B.; LEBRUN, J. L. **Influence of finishing by burnishing on surface characteristics.** *Journal of Materials Engineering and Performance*, 2003.v. 12, n. 1, p. 37-40.
- ABRÃO, A. M.; DENKENA, B.; KOEHLER, J.; BREIDENSTEIN, B.; MÖRKE, T. **Alterações superficiais e subsuperficiais induzidas no aço alto carbono C60 pela operação de roleteamento.** In: VIII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Uberlândia. 2014.
- EL-AXIR, M. **HAAn investigation into roller burnishing.** *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2000. v. 40, n. 11, p. 1603-1617.
- MALLESWARA, R. J. N.; REDDY, A. C. K.; RAO, P. V. R. **The effect of roller burnishing on surface hardness and surface roughness on mild steel specimens.** *International Journal Of Applied Engineering Research, Dindigul*, 2011. v. 1, n. 4, p. 777-785.
- OKOSHI, M.; UYEHARA, K. **Hot machining by electric current.** *Proceedings of the International Production Research Conference*, 1963. p. 264-271.
- BARROW, G. **Use of electric current for hot machining of high strength steels.** *Machinery and Production Engineering*, 1969 v. 114, p. 370-374.
- CHEN, C. H.; SHIOU, F.-J. **Determination of optimal ball-burnishing parameters for plastic injection moulding steel.** *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2003. v. 21, n. 3, p. 177-185.
- KITAGAWA, T.; KATSUHIRO, K; KUBO, A. **Plasma hot machining for high hardness metals.** *Bulletin Japan Society of Precision Engineering*, 1988.v. 22, n. 2, p. 145-151.
- SALEM, B. W.; MELHAOUI, A.; COHEN, P.; AHDAD, F.; LONGUEMARD, J. P. **Laser-assisted machining.** *Mecanique Industrielle et materiaux*, 1995. v. 48, Iss. 1, p 29-30.
- SANCHEZ, L. E. A.; MELLO, H. J.; NETO, R. R. I.; DAVIM, J. P. **Hot turning of a difficult-to-machine steel (saexev-f) aided by infrared radiation.** *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2014.v. 73, n. 5-8, p. 887-898.
- AKKURT, **Comparison of roller burnishing method with other hole surface finishing processes applied on AISI 304 austenitic stainless steel.** *Journal of materials engineering and performance*, 2011.v. 20, n. 6, p. 960-968.
- EL-KHABEERY, M. M.; EL-AXIR, M. H. **Experimental techniques for studying the effects of milling roller-burnishing parameters on surface integrity.** *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2001. v. 41, n. 12, p. 1705-1719.

HASSAN, A. M.; MAQABLEH, A. M. The effects of initial burnishing parameters on non-ferrous components. Journal of Materials Processing Technology, 2000. v. 102, n. 1, p. 115-121.