

## AMPLIANDO AS POSSIBILIDADES DA RETIFICAÇÃO ASSISTIDA POR CRIOGENIA

**Eduardo Seiji Kameyama**

**Ézio Carvalho de Santana**

**Eraldo Jannone da Silva**

Universidade de São Paulo

[eduseiji@usp.br](mailto:eduseiji@usp.br)

### Objetivos

Durante as operações de retificação, os fluidos de corte, denominados *metal working fluids* (MWF), desempenham funções de lubrificação e dissipação de calor na zona de retificação, prevenindo a formação de trincas superficiais, queimaduras e tensões residuais de tração. No entanto, a filtração, reciclagem e descarte desses fluidos geram impactos ambientais e custos adicionais. Para mitigar tais problemas, o estudo da retificação assistida por crioengenia visa validar e avaliar tecnicamente os métodos de pré-resfriamento e resfriamento *in-process* utilizando nitrogênio líquido ( $\text{LN}_2$ ) como fluido refrigerante, especificamente no processo de retificação cilíndrica externa de mergulho para peças em aço SAE 4140 temperadas.

### Métodos e Procedimentos

Inicialmente, foram projetados e usinados corpos de prova cilíndricos em aço SAE 4140 temperado. Para monitorar as temperaturas internas, a potência e a emissão acústica desses corpos de prova durante os testes de retificação, foi utilizada uma unidade telemétrica com um módulo NI USB-6341 e termopares. O primeiro passo foi a calibração do sistema de medição de temperatura, na qual os termopares foram imersos em um fluido de

banho térmico a uma série de temperaturas de referência para garantir a precisão das medições.

Os experimentos de retificação foram então realizados em três condições distintas. Na retificação convencional, as peças foram retificadas com o uso de MWF, servindo como referência para comparar as temperaturas máximas atingidas, a potência de retificação e o acabamento superficial. Em seguida, foi aplicado o resfriamento *in-process*, no qual um jato de fluido criogênico de alta velocidade é direcionado para a zona de retificação. Durante este processo há resfriamento da peça e do rebolo simultaneamente. Por fim, o pré-resfriamento, em que antes da retificação a seco, a peça foi imersa em nitrogênio líquido ( $\text{LN}_2$ ) dentro de uma cuba usinada em alumínio até que sua temperatura interna se estabilizasse com o fluido, aproximadamente -193°C.

Após a realização dos testes, as amostras foram submetidas a uma avaliação detalhada. A uniformidade das superfícies retificadas foi verificada utilizando um medidor de rugosidade Taylor Hobson Surtronic S25 e um medidor de circularidade Taylor Hobson Talyrond 131. Para a análise microestrutural, foi realizado um entalhe nos corpos-de-prova por meio de um processo de eletroerosão a fio, impedindo qualquer alteração microestrutural posterior aos

testes. As superfícies dos entalhes foram, então, polidas e submetidas a um ataque químico com Nital 2%, sendo então registradas por um microscópio óptico BX40M.

## Resultados

A peça submetida ao processo de retificação com pré-resfriamento obteve os melhores resultados para rugosidade aritmética principal ( $R_a$ ) e desvio de circularidade pico-vale ( $RON_t$ ), com valores de 0,2573  $\mu\text{m}$  e 1,98  $\mu\text{m}$ , respectivamente. Em seguida, a técnica de retificação convencional utilizando fluidos de corte (MWF) apresentou valores de  $R_a$  e  $RON_t$  de 0,3256  $\mu\text{m}$  e 3,13  $\mu\text{m}$ , respectivamente. Por último, a retificação *in-process*, que obteve os piores resultados para rugosidade e circularidade, apresentou valores de  $R_a$  e  $RON_t$  de 0,5774  $\mu\text{m}$  e 3,13  $\mu\text{m}$ , respectivamente. Por fim, realizou-se análises microestruturais dos corpos de prova de modo a comparar as alterações sofridas após cada processo de retificação. Em todas as amostras pode-se observar a predominância de microestruturas martensíticas e regiões de austenita retida. Contudo, na figura 1, referente a microestrutura da peça submetida à retificação *in-process*, também foi possível notar o aparecimento de uma zona termicamente afetada juntamente a uma camada branca.

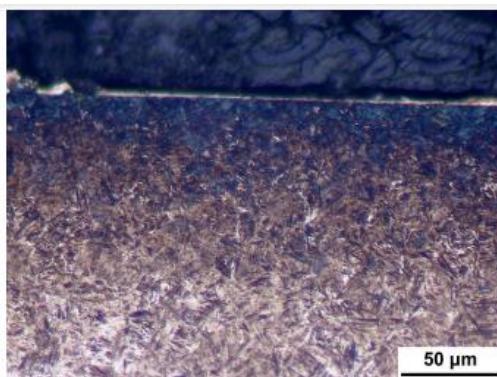


Figura 1: Microestrutura da peça submetida à retificação *in-process*

## Conclusões

No que diz respeito ao acabamento superficial resultante dos diferentes métodos de retificação, as amostras retificadas com pré-resfriamento demonstraram melhores valores de rugosidade e perfis de circularidade. Esses resultados indicam que o método de pré-resfriamento criogênico se mostrou o mais promissor.

Já as peças submetidas ao processo de resfriamento criogênico *in-process* apresentaram o acabamento superficial mais grosso, com elevado valor de rugosidade e circularidade, quando comparado aos demais métodos. Além disso, sua análise microestrutural evidenciou a presença de uma camada branca e zona termicamente afetadas.

## Referências

- ABEDRABBO, F. *et al.* Experimental evaluation and surface integrity analysis of cryogenic coolants approaches in the cylindrical plunge grinding. *Scientific Reports*, v. 11, n. 1, p. 20952, 2021.
- BYRNE, G., SCHOLTA, E. Environmentally clean machining processes—a strategic approach. *CIRP annals*, v. 42, n. 1, p. 471-474, 1993.
- JAWAHIR, I. S. *et al.* Cryogenic manufacturing processes. *CIRP annals*, v. 65, n. 2, p. 713-736, 2016.
- MONDELIN, A. *et al.* Surface integrity prediction in finish turning of 15- 5ph stainless steel. *Procedia Engineering*, v. 19, p. 270–275, 2011. ISSN 1877-7058. 1st CIRP Conference on Surface Integrity (CSI).
- OLIVEIRA, J F G. *et al.* Dry grinding process with workpiece precooling. *CIRP Annals*, v. 64, n. 1, p. 329-332, 2015.
- ROY, R. *et al.* Multi-Response Optimization of Surface Grinding Process Parameters of AISI 4140 Alloy Steel Using Response Surface Methodology and Desirability Function under Dry and Wet Conditions. *Coatings*, v. 12, 2021.