

## INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO TÉRMICO DE TÊMPERA NAS ALTERAÇÕES MICROESTRUTURAIS DA RETIFICAÇÃO PLANA DO AÇO ABNT 1045

**Lucas Benini**

**Bruna Machado**

**Frederico Aldecoa Ferreira**

**Giovane Wallace Rosa**

Universidade Federal Fluminense, UFF – Escola de Engenharia, Rua Passo da Pátria, 156, Bloco D, Sala 302, CEP 24210-240, São Domingos, Niterói – RJ

lucasbenini@id.uff.br, machadobruna@id.uff.br, fredericoaldecoa@id.uff.br, grosa@id.uff.br

**Resumo.** O processo de retificação apresenta grande importância na indústria, pois se trata de um processo de usinagem destinado a conferir acabamento e garantir qualidade superficial a uma variedade de componentes. Com o aumento da demanda por peças com funções cada vez mais tecnológicas e com tolerâncias mais apertadas, o interesse por estudos envolvendo processos de acabamento é crescente. Neste contexto, o aço ABNT 1045 é um importante material na indústria automotiva e de energia, com ampla aplicação principalmente no setor de óleo e gás, que pode ter suas propriedades mecânicas melhoradas por meio de tratamentos térmicos. Este trabalho tem por objetivo analisar a influência do tratamento térmico de têmpera sobre as alterações microestruturais obtidas na retificação plana do aço ABNT 1045. As amostras de aço ABNT 1045 foram submetidas aos tratamentos térmicos de recozimento pleno e de têmpera, e posteriormente usinadas pelo processo de retificação plana, variando-se a penetração de trabalho. Foram avaliados nestas amostras o ruído magnético Barkhausen (RMB) e a dureza Vickers. Os resultados mostram que o tratamento térmico de têmpera gerou nas amostras os menores valores de RMB, que foram inversamente proporcionais aos valores de dureza Vickers em comparação as amostras recozidas.

**Palavras chave:** Aço ABNT 1045. Retificação plana. Ruído magnético Barkhausen. Têmpera. Dureza Vickers.

### 1. INTRODUÇÃO

O cenário mundial moderno, com uma disputa cada vez maior no mercado para obtenção de produtos com a mais avançada tecnologia, faz surgir uma tendência se produzir peças cada vez mais sofisticadas, com tolerâncias mais apertadas e com acabamento superficial de alta qualidade (Groover, 2017). Diante dessa realidade, a retificação ocupa posição de destaque. A retificação, que já foi considerada somente como uma operação secundária de acabamento, evoluiu para ser empregada em várias etapas de fabricação (Marinescu *et al.*, 2007; Lima, 2016), e pode ser empregada para usinagem em todos os tipos de materiais, variando dos metais macios até os aços endurecidos e materiais não metálicos, como as cerâmicas (Groover, 2017).

No contexto dos materiais ferrosos, o aço ABNT 1045 é empregado em diversos componentes da indústria do petróleo, tais como eixos de ventiladores e de bombas das torres de destilação. Devido a severas condições de serviço, ocorre com frequência a quebra ou desgaste destes eixos. Para se adequar aços a uma necessidade específica de aplicação é comum submetê-los a tratamentos térmicos, os quais são definidos com uma operação, ou conjunto de operações, que envolvem o aquecimento e o resfriamento controlado de um metal em estado sólido com o propósito de obter propriedades específicas (Houghton, 2009). Dentre os principais tratamentos térmicos existentes, a têmpera do aço merece atenção especial. Este processo consiste no aquecimento do aço até sua temperatura de austenitização seguido de rápido resfriamento (Chiaverini, 2005).

A verificação dos danos térmicos ou alterações microestruturais causadas pelo processo de retificação geralmente é efetuada por métodos indiretos, como a determinação da dureza, as tensões residuais e o ataque metalográfico. Uma possibilidade que vem sendo empregada com frequência é o ruído magnético Barkhausen (RMB). Essa técnica é baseada no fenômeno físico que ocorre em materiais ferromagnéticos durante a magnetização (Garstka, 2008). De maneira simplificada, um sistema de medição para RMB possui uma sonda composta por um yoke (jugo) eletromagnético (que produz um campo magnético alternado sobre a amostra) e uma bobina (que detecta o sinal de RMB). A voltagem efetiva (valor RMS) do sinal gerado é uma forte função da microestrutura e do estado de tensão residual do material. Por este motivo, a técnica do RMB é ideal para detectar queima de retifica, uma vez que o dano térmico implicará na diminuição da dureza e mais tensões residuais, e ambos resultarão em um aumento RMB (Wotjas *et al.*, 2011; Benini, 2017).

Há vários trabalhos que abordaram a usinagem do aço ABNT 1045. Magnani (2013) avaliou o comportamento de diferentes classes de rebolo, à base de óxido de alumínio convencional e de alumina sinterizada (também denominados

Sol-gel) na retificação cilíndrica externa do aço carbono ABNT 1045 temperado e revenido; o rebolo de óxido de alumínio Sol-gel apresentou desempenho superior em termos de consumo de corrente elétrica, rugosidade e desvio diametral. Fritz *et al.* (2017) realizaram um estudo da rugosidade de peças de aço SAE 1045 torneadas após serem submetidas à diferentes tratamentos térmicos. As amostras foram usinadas com os mesmos parâmetros de corte, variando o tratamento térmico em cada amostra: sem tratamento térmico, temperada em óleo e posteriormente usinada e temperada em água e usinada; verificou-se melhor acabamento nas peças com menor dureza. Alexandre *et al.* (2018) analisaram sinais de emissão acústica e estatística *counts* da alteração microestrutural na retificação de aço 1045, a fim de detectar alterações nos sinais e relacioná-los com danos ocorridos na peça retificada. Os autores concluíram que a seleção de uma faixa de frequência específica do sinal de emissão acústica aplicada a estatística *counts* pode contribuir para o monitoramento da ocorrência da queima na retificação ao do aço ABNT 1045 com rebolo de óxido de alumínio. Os resultados mostraram que não foi possível validar a existência de uma temperatura ótima de corte, pois as temperaturas foram crescentes com o aumento do avanço. Pereira *et al.* (2020) compararam os resultados obtidos experimentalmente através de ensaios de retificação em amostras do aço ABNT 1045, com um modelo teórico de predição de rugosidade. A partir da análise dos resultados verificou-se que em condições severas de retificação ( $a_e = 40 \mu\text{m}$ ) o modelo teórico adotado mostrou-se eficiente na predição da rugosidade média da superfície.

Da mesma forma, há estudos que abordaram o RMB no processo de retificação. Benini (2011) usou o RMB para avaliar danos térmicos após processo de retificação cilíndrica externa do aço 100Cr6 variando-se porcentagens de óxido de alumínio tipo Sol-gel na composição de rebolos convencionais; verificou-se que o aumento da porcentagem de abrasivos do tipo de Sol-gel nos rebolos não influenciou significativamente os resultados do RMB nas amostras de aço 100Cr6; Thanedar (2017) usou o RMB para investigar a integridade superficial e a rugosidade na retificação cilíndrica externa de um virabrequim de aço microligado (38MnVs6); foi empregado um rebolo de CBN com ligante vitrificado; concluiu-se que o RMB permite identificar os danos térmicos (queimas de retificação), os quais são influenciados principalmente pela velocidade de corte. Sridharan (2017) efetuou um estudo sobre a previsão de danos térmicos de aços de rolamentos endurecidos, correlacionado os resultados do RMB com o a um modelo matemático de temperatura do processo de retificação proposto por Malkin. Foi verificado que os resultados de ambas as metodologias, do RMB e do modelo matemático, permitem detectar danos térmicos de retificação sem a necessidade de ensaios destrutivos. Machado (2018) fez um estudo comparativo das tensões residuais pelas técnicas de difração de raios-X e RMB em amostras de aço API 5L X65, percebendo que os sinais do RMB aumentam em áreas contendo tensões residuais de tração, e diminuem em áreas com tensões residuais compressivas, sendo possível então qualificar tensões residuais com esta técnica magnética.

Apesar destes estudos já realizados, é notória a necessidade de mais estudos serem realizados envolvendo o processo de retificação plana do aço ABNT 1045, analisando a influência dos tratamentos térmicos sobre o resultado de trabalho de usinagem. Isto para se prover um entendimento completo sobre as propriedades mecânicas, metalúrgicas e estruturais deste material. O presente trabalho tem por objetivo avaliar a influência do tratamento térmico de têmpera nas alterações microestruturais da retificação plana do aço ABNT 1045.

## 2. METODOLOGIA

O material utilizado para o presente trabalho foi o aço ABNT 1045. A Tab. 1 apresenta a composição química do material.

Tabela 1. Composição química do aço ABNT 1045 com % em massa (NBR NM 87/2000)

| C           | Mn          | P <sub>máx.</sub> | S <sub>máx</sub> | Si          |
|-------------|-------------|-------------------|------------------|-------------|
| 0,43 – 0,50 | 0,06 – 0,90 | 0,040             | 0,050            | 0,10 – 0,60 |

Foram preparadas oito amostras (Fig. 1), as quais foram tratadas termicamente, antes de serem submetidas ao processo de retificação plana. Quatro amostras (1 a 4) passaram por um tratamento térmico de recozimento pleno, com aquecimento à 850 °C por cerca de 50 min e resfriamento lento dentro do forno, por cerca de 24 h, até que fosse atingida a temperatura ambiente. As demais amostras (5 a 8) passaram pelo tratamento térmico de têmpera. A têmpera foi realizada em duas etapas: aquecimento no forno seguido de resfriamento rápido, tendo como temperatura do forno 850 °C e as amostras foram aquecidas por cerca de 40 min com resfriamento rápido em água realizado subsequentemente. Durante a retificação das oito amostras utilizou-se a velocidade de corte constante de  $v_c = 30 \text{ m/min}$ , a velocidade superficial da peça de  $v_w = 16 \text{ m/min}$  e a penetração de trabalho ( $a_e$ ) foram de 0,05 e 0,10 mm, conforme Tab. 2.

A retificação foi efetuada na retificadora tangencial Benner modelo RVK-4515 (Fig. 1). A ferramenta de corte foi um rebolo de óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), com granulometria 46, dureza K, com ligante vitrificado, com 205 mm de diâmetro externo, furo interno de 31,8 mm e largura de 13,5 mm. Além disso, durante a operação, aplicou-se o jorro do fluido de corte óleo solúvel biodegradável HYDRIA-EP. A dressagem do rebolo foi efetuada com dressador de ponta única de diamante (Fig. 1) - realizada antes da retificação das amostras recozidas e antes da retificação das amostras temperadas -

empregando a largura de atuação do dressador ( $b_d$ ) de 0,8 mm, avanço ( $f_{ad}$ ) de 0,15 mm/rev e profundidade de dressagem ( $a_d$ ) de 0,05 mm.



Figura 1. Amostras em aço ABNT 1045, retificadora Benner RVK-4515, rebolo de  $Al_2O_3$  e dressador

Tabela 2. Tratamento térmico e penetração de trabalho em cada amostra de aço ABNT 1045

| Tratamento Térmico | Amostras | Penetração de trabalho $a_e$ (mm) |
|--------------------|----------|-----------------------------------|
| Recozimento Pleno  | 1        | 0,1                               |
|                    | 2        |                                   |
|                    | 3        | 0,05                              |
|                    | 4        |                                   |
| Têmpera            | 5        | 0,1                               |
|                    | 6        |                                   |
|                    | 7        | 0,05                              |
|                    | 8        |                                   |

As medições de sinais RMB foram efetuadas utilizando um equipamento desenvolvido pela Universidade de São Paulo (USP) que não se encontra disponível para uso comercial. Este equipamento é responsável pela geração e controle da corrente de excitação, pela aquisição e filtragem dos sinais de voltagens gerados pelo sensor de RMB, que são adquiridos e amplificados com determinados valores de ganho. Todas estas funções são controladas pelo computador. A Fig. 2 mostra o equipamento utilizado para medições de RMB com a sonda orientada na direção longitudinal da amostra.

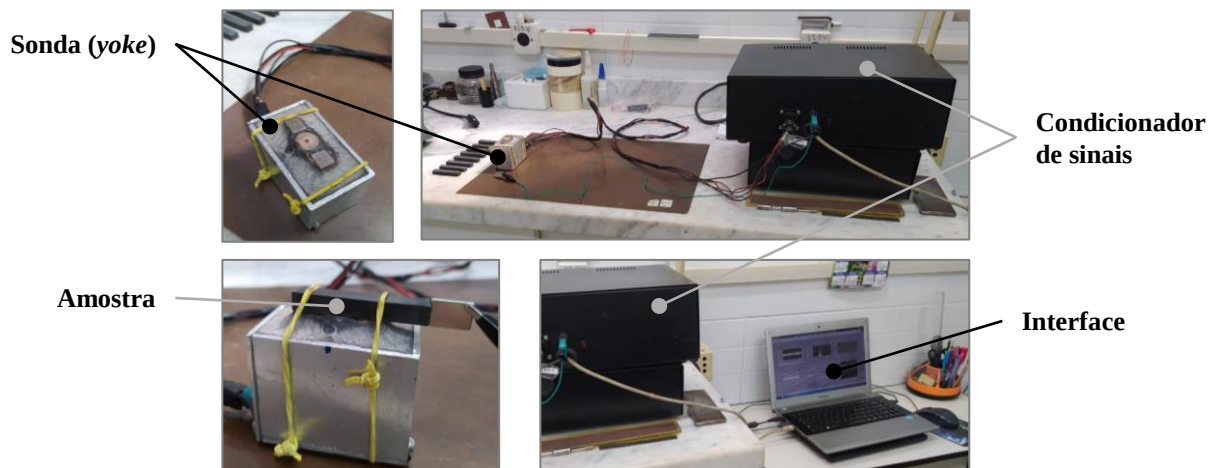


Figura 2. Equipamento de medição de RMB

Considerando as formas prismáticas das amostras, foram efetuadas duas medições em cada amostra avaliada, variando-se as frequências de excitação magnéticas ( $f_{ex}$ ) de 10 Hz e de 50 Hz. As medições foram efetuadas através da sonda do equipamento, a qual foi alinhada ao primeiro ponto, localizado à esquerda do centro, de modo que foram tomadas 21 medições do RMB em cada ponto. Posteriormente, após serem tratadas em um algoritmo desenvolvido juntamente com o equipamento, estas 21 medições transformam-se em um único valor do RMS (*root mean square*) do RMB. A Figura 3 apresenta a sonda de medição do RMB e esquematiza os pontos de medição nas amostras.

Os ensaios de dureza Vickers empregaram o Durômetro Brinell Vickers Heckert, modelo HPO-250, do fabricante WMP, com aplicação de carga de 30 kgf (HV 30), por 25 s para cada indentação, seguindo as recomendações da norma ASTM E384-16. A avaliação da microestrutura dos componentes retificados foi efetuada em amostras cortadas transversalmente à superfície retificada, lixadas e polidas e posteriormente atacadas com Nital (2%), por 2 s. As amostras foram preparadas em uma politriz metalográfica com lixas 80, 100, 220, 320, 400, 500, 600 e 1200, seguido de polimento com pasta de diamante de 3 e 1  $\mu\text{m}$ .

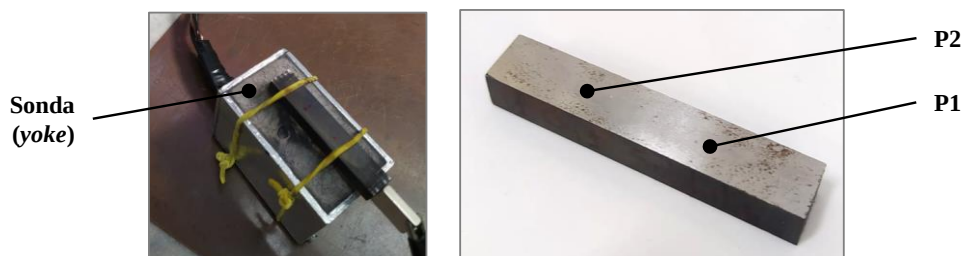


Figura 3. Pontos onde foram efetuadas as medições de RMB nas amostras

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Análise do ruído magnético Barkhausen (RMB)

Os resultados do RMB foram analisados após a retificação plana de amostras recozidas e amostras temperadas, considerando as frequências de excitação magnética de 10 Hz e 50 Hz. A Tab. 3 apresenta os valores do RMB obtidos nas medições efetuadas.

Tabela 3. Resultados das medições do RMB nas amostras de aço ABNT 1045 retificadas

| Amostras   |   | $f_{ex}$ 10 Hz |             | $f_{ex}$ 50 Hz |             |
|------------|---|----------------|-------------|----------------|-------------|
|            |   | RMB (mV) P1    | RMB (mV) P2 | RMB (mV) P1    | RMB (mV) P2 |
| Recozidas  | 1 | 242,06         | 243,39      | 763,04         | 787,20      |
|            | 2 | 233,36         | 274,23      | 783,26         | 800,24      |
|            | 3 | 348,55         | 389,22      | 854,08         | 900,10      |
|            | 4 | 358,00         | 298,26      | 782,03         | 762,26      |
| Temperadas | 5 | 44,21          | 32,26       | 90,07          | 72,89       |
|            | 6 | 38,19          | 32,08       | 100,68         | 66,66       |
|            | 7 | 98,06          | 79,55       | 247,56         | 208,44      |
|            | 8 | 26,28          | 60,37       | 60,37          | 55,06       |

A representação gráfica dos valores medidos do RMB, considerando-se a  $f_{ex} = 10$  Hz, nas amostras de aço ABNT 1045 retificadas é mostrada na Fig. 4. Observa-se nesta figura que os valores do RMB tanto nas amostras de recozidas (amostras 1 a 4) quanto nas amostras temperadas (amostras 5 a 8) não apresentam diferenças significativas entre os pontos 1 e 2. Isto revela que o RMB não teve variações significativas nos valores mensurados numa mesma amostra. As amostras 5 e 6 se tratam de uma maior penetração de trabalho ( $a_e = 0,1$  mm) em comparação com as amostras 7 e 8 com menor penetração de trabalho ( $a_e = 0,05$  mm).

Se observa que entre as amostras (Fig. 4), independente do tratamento térmico sofrido, aquelas de menor penetração de trabalho (3, 4, 7 e 8) obtiveram maiores valores de RMB. Para este resultado, pode ser esperado que a região analisada nesta frequência coincida com a presença de martensita, visto que esta é mais profunda. De acordo com Moorthy (2005), o aumento da amplitude do RMB pôde ser verificado com a condição super-revenida da martensita, devido à sua mais fácil magnetização que causa movimentos rápidos dos domínios e resulta em um ruído concentrado em uma faixa estreita de valores da força magnetizadora (H).

Estes resultados podem ser atrelados ao fato de que uma menor profundidade de corte não removeu as eventuais barreiras microestruturais próximas a superfície em comparação com a maior profundidade de corte. E, por este motivo, os valores do RMB mensurados nas amostras retificadas com a menor profundidade de corte foram maiores, corroborando com os estudos de Yu Deng *et al.* (2018). Conforme Astudillo *et al.* (2014), o aumento da densidade de defeitos na rede cristalina complica a movimentação dos domínios magnéticos, e, além disso, o sinal é influenciado pelo aumento da concentração de martensita ferromagnética  $\alpha'$  em uma matriz paramagnética.

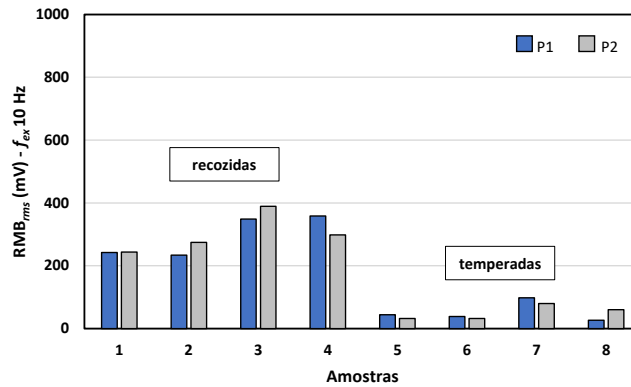


Figura 4. Resultados do RMB para a frequência de 10 Hz das amostras retificadas

A Fig. 5 apresenta os resultados do RMB, avaliados sob a  $f_{ex} = 50$  Hz, nas amostras de aço ABNT 1045 retificadas. Nesta figura é possível observar que os resultados do RMB, tiveram menores valores nas amostras temperadas e retificadas em comparação as amostras recozidas e retificadas. Estes resultados podem ser explicados pelo fato de que a maior quantidade de defeitos na microestrutura martensítica derrubam a capacidade de magnetização do material; a martensita, em meio a uma matriz ferrítica, pode funcionar como relevante ponto de ancoragem para as paredes de domínio. O aumento do RMB estaria em acordo com o fenômeno da magnetoestricção, visto que esta favorece a movimentação dos domínios magnéticos na presença de tensões de tração. De acordo com os estudos de Balart (2004), a superfície de quatro aços temperados que foram submetidos a superaquecimento com laser e com processos de retificação, respectivamente, apresentaram uma correlação entre o RMB e a presença de tensões residuais trativas, confirmadas com medidas de difração de raios-x.

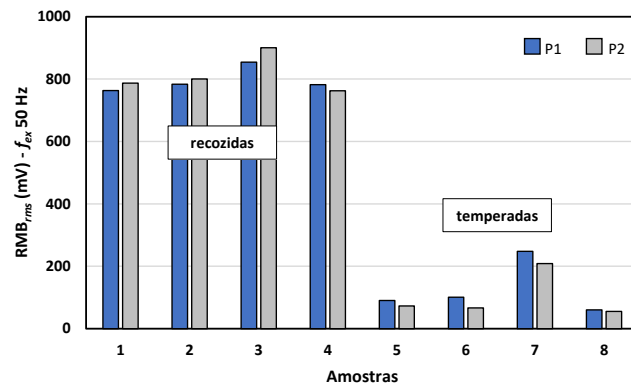


Figura 5. Resultados do RMB para a frequência de 50 Hz das amostras retificadas

Comparando-se a Fig. 4 e a Fig. 5, verifica-se que os resultados do RMB foram maiores ao empregar a  $f_{ex} = 50$  Hz. Isto pode ser explicado pelo fato de que o número de paredes de domínio e saltos por unidade de tempo aumenta com o aumento da frequência de excitação. Também há o aumento da amplitude do sinal com o aumento da frequência de magnetização. Estes resultados são coerentes com os estudos de Chen *et al.* (2018), sendo efetuada uma análise por meio de filtro passa-banda com intervalo de 5 kHz para melhor compreender o comportamento de cada faixa de frequência no sinal de RMB.

Assim, pode-se afirmar que os altos valores do RMB mensurados com a  $f_{ex} = 50$  Hz indicam a forte possibilidade de que as tensões residuais geradas pelo processo de retificação estejam mais próximas à superfície das amostras. Isto porque altas frequências de excitação magnética são adequadas para a medição das propriedades magnéticas próximas à superfície.

### 3.2. Análise metalográfica

As Fig. 6 e 7 mostram as análises metalográficas da amostra 2 submetida a recozimento e da amostra 6 temperada, respectivamente, em duas diferentes ampliações: uma de 20x e a outra de 40x. Identifica-se na Fig. 6 a matriz ferrítica ( $\alpha$ ) de contorno de grãos (parte clara), e os grãos de perlita (parte escura); verifica-se ainda que a quantidade do teor de carbono é compatível com a especificação do material. Pela análise da Fig. 6, com ampliação de 20x, é observa-se uma certa homogeneização entre as fases ao longo de toda a região. Quando se analisa a ampliação de 40x, reconhece-se uma



diminuição dos grãos de perlita, deixando-a parcialmente esferoizada (Bramfit, 1998) e consequentemente um aumento nos grãos da ferrita ( $\alpha$ ).

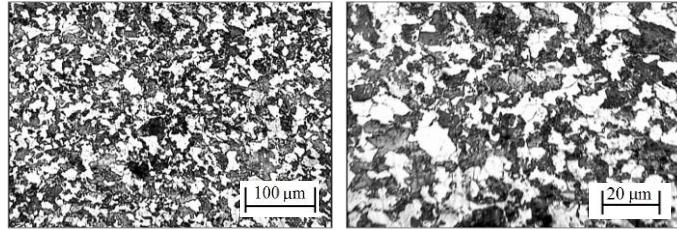


Figura 6. Análise metalográfica da amostra 2 recozida - ampliação em 20x e 40x

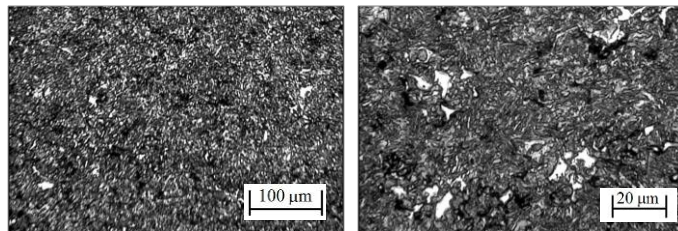


Figura 7. Análise metalográfica da amostra 6 temperada - ampliação em 20x e 40x

Analisando a Fig. 7, para ambas as ampliações, observa-se a microestrutura de ferrita com morfologia acicular e primária, a qual possui uma microdureza elevada. A microestrutura martensítica com grãos mais alongados, isto é, semelhantes a agulhas, são evidenciadas devido o meio de resfriamento que foram submetidas.

### 3.3. Análise da Dureza Vickers

Os resultados das análises de dureza Vickers (HV) são apresentados na Fig. 8. De acordo com esta figura, não são observadas variações significativas entre as durezas das amostras 1 a 4 (amostras recozidas) e entre as amostras 5 e 8 (amostras temperadas), considerando que no processo de retificação das amostras foi utilizada uma velocidade de corte uniforme de  $v_c = 30$  m/min, uma penetração de trabalho  $a_e = 0,1$  mm para as amostras 1, 2, 5 e 6 e uma penetração de trabalho  $a_e = 0,05$  mm para as amostras 3, 4, 7 e 8.

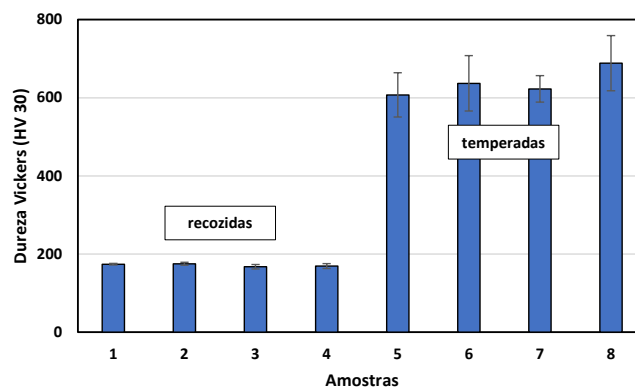


Figura 8. Dureza Vickers das amostras de aço ABNT 1045 retificadas

Contudo, se observa diferenças significativas nos valores de dureza Vickers entre o conjunto de amostras recozidas e o conjunto de amostras temperadas (Fig. 8), representando um aumento em mais de 300% nos valores de dureza Vickers – as amostras 1 a 4 apresentam uma dureza média de aproximadamente 175 HV, enquanto as amostras 5 a 8 apresentam uma dureza média muito superior de aproximadamente 640 HV. Se observou também uma importante correlação entre os sinais medidos de RMB (Fig. 4 e Fig. 5) e os níveis de dureza Vickers (Fig. 8) das amostras. À medida que os valores dos resultados de dureza Vickers crescem, os resultados do RMB decrescem. Nota-se que para as amostras que foram temperadas, e consequentemente, tiveram seus valores de dureza substancialmente aumentadas, foram registrados menores sinais de RMB.

#### 4. CONCLUSÕES

O presente trabalho analisou a influência do tratamento térmico de tempera na alteração microestrutural obtida na retificação plana do aço ABNT 1045. Foram avaliados o RMB, a dureza Vickers e as metalografias após retificação das amostras. Com os resultados alcançados neste trabalho, conclui-se:

- A avaliação por RMB e por dureza Vickers identificou diferenças microestruturais nas amostras tratadas termicamente e retificadas. O tratamento térmico de tempera provocou uma maior dureza nas amostras, além destas apresentarem menor atividade do RMB devido a maior presença de defeitos microestruturais;
- O tratamento térmico de tempera exerceu uma maior influência nos resultados de dureza Vickers em relação as penetrações de trabalho na retificação plana do aço ABNT 1045 empregadas neste trabalho. Quanto maior for a velocidade de resfriamento do tratamento térmico, maior também será a dureza obtida no material;
- A frequência de excitação magnética exerce influência nos resultados do RMB. Neste trabalho os resultados obtidos utilizando a frequência de excitação magnética de 50 Hz indicou que há mais alterações microestruturais próximas das superfícies das amostras tratadas termicamente e retificadas em comparação com os resultados obtidos com a frequência de 10 Hz, que indicou menores alterações microestruturais em profundidades maiores nas mesmas amostras;
- A análise metalográfica identificou a formação de microestrutura ferrítica e martensítica decorrentes dos processos de recozimento pleno de tempera respectivamente.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Este estudo foi financiado, em parte, pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código Financeiro 001. Os autores também gostariam de agradecer às agências de pesquisa CNPq e FAPERJ, pelo apoio financeiro, que permitiu a realização deste trabalho.

#### 6. REFERÊNCIAS

- Alexandre, F. A. *et al.* 2018. “Análise de Sinais de Emissão Acústica e Estatística Counts na Detecção da Alteração Microestrutural na Retificação de Aço 1045”. *KnE Engineering*, Vol.1, p. 414-423.
- Astudillo, M.R.N.; Nicolás, M.N.; Ruzzante, J.; Gómez, M.P.; Ferrari, G.C.; Padovese, L.R.; Pumarega, M.I.L. “Correlation between martensitic phase transformation and magnetic Barkhausen noise of AISI 304 steel”, *Procedia Materials Science*, vol. 9, pp. 435-443, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2015.05.014>
- Benini, L., 2011. *Características das grandezas de processo e resultado de trabalho de retificação como função da composição de rebolos de  $Al_2O_3$* . 2011. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Benini, L., 2017. *Influência do teor de grãos microcristalinos de  $Al_2O_3$  em rebolos convencionais na retificação de ADI*. 2017. Tese de doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Bramfitt, B. L., 1998. “Structure/Property Relationships in Irons and Steels”. *Metals Handbook Desk Edition*, 2st edition, p. 153-173.
- Chen, X.; Zhou, C.; Zheng, J.; Zhang, L. “Effects of  $\alpha'$  martensite and deformation twin on hydrogen-assisted fatigue crack growth in cold/ warm-rolled type 304 stainless steel”, *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 43, n. 6, pp. 3342-3352, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.12.173>
- Chiaverini, V., 2005. *Tecnologia mecânica*. McGraw Hill.
- Fonseca, G. S., 2018. *Influência da temperatura de corte na vida útil da ferramenta de corte para aços 1045 e 1020*. Trabalho de conclusão de curso. Faculdade Pitágoras, São Luís.
- Fritz, G. O.; Dalcin, L. R., 2017. A usinagem de aços endurecidos com ferramentas de geometria definida: estudo de caso. 2017. In *anais da 7ª Semana Internacional das Engenharias e Economia FAHORA – SIEF*, Horizontina, Brasil.
- Garstka, T., 2008. “The influence of product thickness on the measurements by Barkhausen Noise method”. *Journal of Achievements in materials and Manufacturing Engineering*, Vol. 27, n. 1, p. 47- 50.
- Grijalba, F. A. F., 2010. *Desenvolvimento de ensaio não destrutivo baseado no ruído de Barkhausen para caracterização de tensões elásticas e deformações plásticas em aços*. Tese de doutorado. Escola Politécnica de São Paulo. São Paulo.
- Groover, M. P., 2017. *Fundamentos da Moderna Manufatura*, GEN:LTC, 5ª edição, v. 2.
- Guedes, M. V. V. R., 2019. *Análise da influência dos parâmetros de corte na rugosidade de superfície no torneamento cilíndrico do aço ABNT 1045 através do método estatístico Taguchi*. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora.
- Houghton, 2009. “Fundamentals of quenching” 12 Nov. 2020 <<http://www.houghtonintl.com/images/Houghton%20on%20quenching.pdf>>.
- Lima, M. L. S. 2016. *Retificação plana tangencial dos ferros fundidos nodular, vermicular e cinzento em várias condições de corte*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

- Machado, B. *et al.* 2018. “Residual stresses analysis in X65 steel by X-ray diffraction tensiometry and magnetic Barkhausen noise technique”. In *Proceedings of the 23st Brazilian congress on engineering and material science - CBECiMat*; Foz do Iguaçu, Brazil.
- Magnani, E. G., 2013. *Retificação Cilíndrica Externa do Aço ABNT 1045 Temperado e Revenido Utilizando Diferentes Rebolos e Condições Operacionais*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Marinescu, I. D.; Hitchiner, M.; Uhlmann, E.; Rowe, W.B.; Inasaki, I., 2007. *Handbook of Machining with Grinding Wheels*. CRC Press. New York.
- Moorthy, V., Shaw, B.A., Mountford, P., Hopkins, P. Magnetic Barkhausen emission technique for evaluation of residual stress alteration by grinding in case-carburised En36 steel. *Acta Materialia*, Volume 53, Issue 19, Pages 4997-5006. 2005.
- Pereira, M. F.; Abrão, B. S.; Da Silva, R. B., 2020. “Avaliação da aplicabilidade de equação teórica na predição de rugosidade do aço ABNT 1045 submetido ao processo de retificação”. *A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Mecânica*, Vol. 2, p. 388-416.
- Sridharan, U.; Bedekar, V.; Kolarits, F. M., 2017. “A functional approach to integrating grinding temperature modeling and Barkhausen noise analysis for prediction of surface integrity in bearing steels”. *CIRP Annals*, Vol. 66, n. 1, p. 333-336, 2017.
- Thanedar, A. *et al.*, 2017. “Surface integrity investigation including grinding burns using barkhausen noise (BNA)”. *Journal of Manufacturing Processes*, Vol. 30, p. 226-240.
- Wojtas, A. S.; Suominen, L.; Shaw, B. A.; Evans, J. T., 1998. “Detection of Thermal Damage IN Steel Components After Grinding using the Magnetic Barkhausen Noise Method”. *NDT.net*, Vol. 3, n. 9.
- Yu Deng, Zhe Li, Juan Chen, Xin Qi, “The effects of the structure characteristics on Magnetic Barkhausen noise in commercial steels”, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, v. 451, PP. 276-282, 2018.

## 7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

# QUENCHING TREATMENT INFLUENCE'S ON THE MICROSTRUCTURAL CHANGES OBTAINED IN THE STEEL 1045 FLAT SURFACE GRINDING PROCESS

Lucas Benini  
Bruna Machado  
Frederico Aldecoa  
Giovane Rosa

Universidade Federal Fluminense, UFF – Escola de Engenharia, Rua Passo da Pátria, 156, Bloco D, Sala 302, CEP 24210-240, São Domingos, Niterói – RJ

lucasbenini@id.uff.br, machadobruna@id.uff.br, fredericoaldecoa@id.uff.br, grosa@id.uff.br

**Abstract.** The grinding process presents great importance in the industry for the fact of being a machining process destined to give finishing and ensuring superficial quality to a variety of components. With the increase demand for parts with ever more technological functions and tighter tolerances, the interest in studies concerning finishing processes has been on the rise. The 1045 steel is an important material in the energy and automotive industries, being widely applicable mainly in the oil and gas sectors. In this context, ABNT 1045 steel is an important material in the automotive and energy sectors, with wide application mainly in the oil and gas sector, and its mechanical properties can be improved through heat treatments. The present study aims at analyzing the influence of quenching over the 1045 steel's flat surface grinding process. The 1045 steel samples were subjected to annealing and quenching, and then machined via plane grinding with varying cutting depths. Upon the set of samples magnetic Barkhausen noise and Vickers hardness were evaluated. The results show that quenching the material lowers the magnetic Barkhausen noise and increases Vickers hardness values, inversely proportional in comparison to the annealed samples.

**Keywords:** 1045 steel. Plane grinding. Magnetic Barkhausen noise. Quenching. Vickers hardness.

## RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.