

ANÁLISE DA RUGOSIDADE E DAS ALTERAÇÕES MICROESTRUTURAIS NO TORNEAMENTO DE AÇOS ENDURECIDOS COM FERRAMENTA DE PCBN

Clarianne Natali de Campos

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Reitor João David Ferreira Lima, Florianópolis-SC
clarianne.campos@gmail.com

Denis Boing

Sandvik Coromant R&D, Lerkrogsvägen 19, SE-126 80, Estocolmo, Suécia
denis.boing@gmail.com

Rolf Bertrand Schroeter

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Reitor João David Ferreira Lima, Florianópolis-SC
rolf.schroeter@ufsc.br

Resumo. Atualmente no torneamento de materiais endurecidos, no que diz respeito a rugosidade, é possível se atingir valores em torno de 1 μm no parâmetro Rt e tolerância padrão ISO equivalente a IT3. Já em relação as alterações microestruturais, por se tratar de um processo termomecânico, deformação plástica, formação de camada branca e linhas de fluxo são as alterações mais observadas. Entretanto, essas condições podem ser alteradas principalmente quando se trabalha com materiais com diferentes condições microestruturais. Assim, o objetivo principal deste trabalho é analisar a rugosidade e as alterações microestruturais provenientes do torneamento de três diferentes aços endurecidos com ferramenta de PCBN. Para isso foram selecionados os aços AISI 4340, AISI 52100 e AISI D2, em seis níveis de durezas, entre 35 HRC e 60 HRC. Em relação a rugosidade, verificou-se que a dureza influencia valores obtidos, visto que com o seu aumento há uma tendência de redução gradativa da rugosidade, exceto para o aço AISI D2, a partir de 50 HRC, dada as características microestruturais e comportamento mecânico do mesmo. Já em relação às alterações microestruturais, as camadas alteradas se apresentaram pouco extensas em todas as condições e a dureza não foi uma variável determinante nas modificações geradas.

Palavras chave: Rugosidade. Alterações microestruturais. Torneamento de aços endurecidos. PCBN.

1. INTRODUÇÃO

Aços endurecidos têm sido usados na fabricação de engrenagens, rolamentos, matrizes e outros componentes críticos de engenharia, que requerem alta resistência ao desgaste. Um dos critérios para avaliar o estado da superfície usinada é o processo de remoção do material (Field e Kahles, 1971). No caso específico dos materiais endurecidos, em operações de acabamento, o torneamento vem se tornando uma alternativa à retificação, reduzindo consideravelmente os tempos e custos de fabricação. As vantagens da aplicabilidade do processo de torneamento de aços endurecidos na indústria referem-se principalmente ao alto índice de produção, a alta flexibilidade do processo e a possibilidade de usinagem sem lubrificação, impactando positivamente tanto no setor financeiro quanto no ambiental (Klocke e Brinksmeier, 2005). Além disso, com o desenvolvimento de ferramentas de corte produzidas com materiais ultra-duros aliado ao desenvolvimento de máquinas-ferramenta com elevadas rigidez e estabilidade dinâmica, o torneamento se tornou um processo capaz de atingir níveis de tolerância comparáveis ao processo de retificação (Byrne, *et al.*, 2003).

Atualmente o torneamento de materiais endurecidos de alta precisão é capaz de atingir rugosidades em torno de 1 μm no parâmetro Rt e tolerância padrão ISO equivalente a IT3, mas a tendência indica níveis de acabamento e tolerâncias ainda menores. Para isso, são necessárias melhorias em geometrias específicas dos gumes das ferramentas (incluindo métodos de caracterização), juntamente com controle de desgaste (Boing, *et al.*, 2018). Assim, será possível melhorar a qualidade da superfície da peça usinada mesmo em escala industrial (Byrne, *et al.*, 2003; Danzl, *et al.*, 2009). Além dos requisitos dimensionais e de acabamento dos componentes, o torneamento de materiais endurecidos deve evitar danos à integridade das camadas abaixo da superfície, como alterações microestruturais e no comportamento tensões residuais. As mudanças microestruturais são geradas porque o material ultrapassa a zona de transformação do Fe α - γ (ferrita-austenita) das camadas abaixo da superfície, que é rapidamente resfriada pelo volume do material da peça ou pela atmosfera da máquina-ferramenta. A partir desse fenômeno, ocorre uma têmpera na superfície do material, deixando-o com o aspecto branco na análise à microscopia óptica - chamada de camada branca (Fang-yuan, *et al.*, 2018; Alok e Das, 2019).

Griffiths (1985) atribui a formação de camada branca a um ou mais mecanismos possíveis: (i) aquecimento e têmpera rápidos, que resultam em transformação de fase, (ii) deformação plástica severa, que produz uma estrutura homogênea

ou com muitos grãos finos, e (iii) reação da superfície com o meio ambiente. Grzesik (2008) descreve que, durante o torneamento de materiais endurecidos, a temperatura de austenitização da superfície do material usinado pode ser atingida num tempo extremamente curto, aproximadamente 0,1 ms, sendo suficiente para causar uma mudança de fase na camada abaixo da superfície usinada devido ao volume de material austenitizado, o qual é resfriado rapidamente pela ação do ar ou pelo gradiente de temperatura do volume do material usinado. Assim, ocorre o processo de tratamento térmico de têmpera na superfície usinada, porém, este não é seguido pelo revenimento, formando uma microestrutura martensítica não selada. É importante frisar que, mesmo em condições de corte severas, a camada afetada dificilmente ultrapassa os 80 μm de espessura.

Assim, é possível identificar que diversas são as naturezas dos fenômenos que influenciam a integridade da superfície, sendo que a escolha do processo de usinagem e seus parâmetros são determinantes para a condição final obtida. No caso do torneamento de materiais endurecidos, por ser um processo termomecânico, deformação plástica, formação de camada branca e linhas de fluxo são as alterações mais observadas. Entretanto, essas condições podem ser alteradas principalmente quando se trabalha com materiais com diferentes condições microestruturais (Boing, *et al.*, 2018). Assim, o objetivo principal deste trabalho é analisar a rugosidade e as alterações microestruturais provenientes do torneamento de três diferentes aços endurecidos com ferramenta de PCBN.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos ocorreram em um centro de torneamento horizontal do fabricante Heyligenstaedt, modelo Heynumat 10U, com 75 kW de potência no motor do fuso, uma faixa de rotação de velocidade de 4 a 4500 rpm e uma placa com fechamento hidráulico de três castanhas com pressão máxima de 45 bar (Fig. 1), onde foi realizada a operação de faceamento dos corpos de prova com a manutenção dos parâmetros de corte constantes ao longo dos ensaios.

As peças foram projetadas para promover um corte contínuo, e a geometria adotada nesta pesquisa foi baseada no trabalho de Diniz e Oliveira (2008). Conforme a Fig.1, para minimizar os choques e evitar lascamentos na entrada e na saída da ferramenta, foram realizados chanfros ao longo dos diâmetros externo e interno da peça (0,5 mm $\times$ 45°). As ferramentas foram montadas em um porta-ferramenta (código PSKLN-2020K-12) e fixadas com uma combinação de grampo superior e pino central com o objetivo de promover alta rigidez do inserto e, conseqüentemente, evitar lascamentos durante a usinagem.

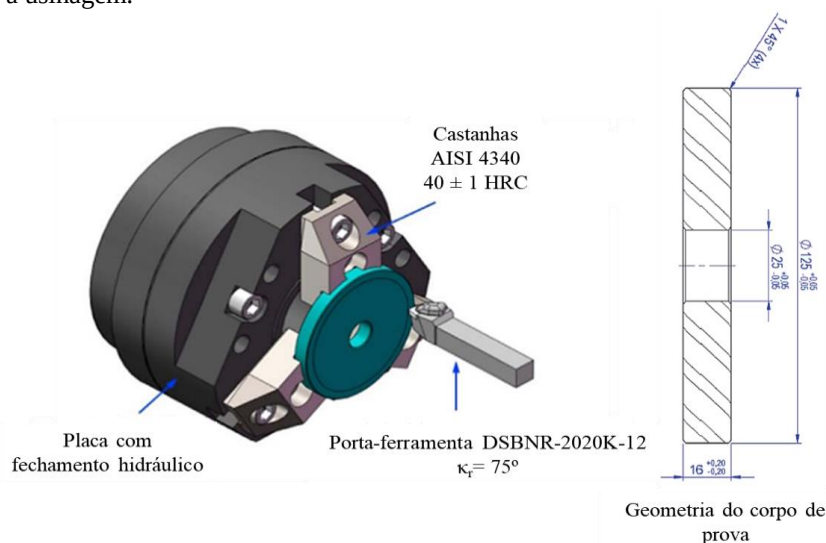


Figura 1. Sistema de fixação e geometria do corpo de prova empregados nos ensaios.

Foram utilizados três tipos de aços endurecidos para elaboração dos corpos de prova: AISI 4340, AISI 52100 e AISI D2 em seis diferentes níveis de dureza, 35, 40, 45, 50, 55 e 60 HRC. Os aços endurecidos foram caracterizados (Tab. 1) por meio da determinação da composição química, pela obtenção das curvas de tensão-deformação (Fig. 2) e pela análise da microestrutura dos materiais (Fig. 3).

Tabela 1. Composição química.

Aço	C	Mn	P	Si	Ni	Cr	Mo	V
AISI 4340	0,4	0,6	0,02	0,2	1,7	0,76	0,2	-
AISI 52100	1	0,3	0,01	0,2	-	1,46	-	-
AISI D2	1,5	0,3	0,02	0,3	0,2	11,6	0,7	0,8

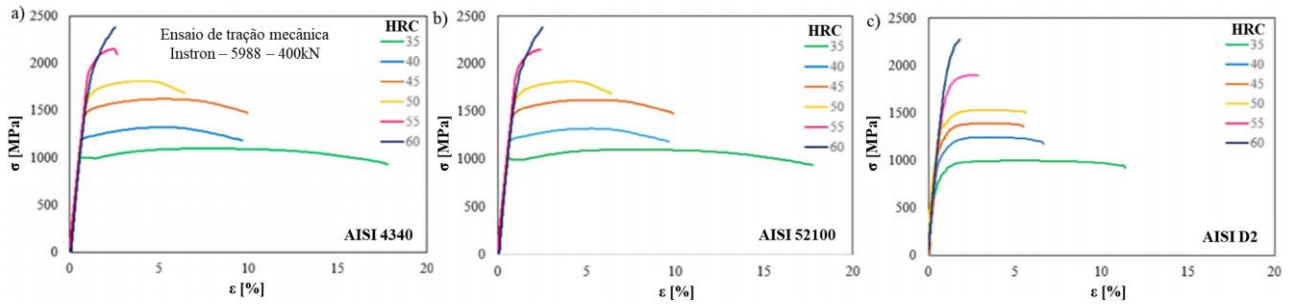


Figura 2. Curvas de tensão-deformação dos aços AISI 4340, AISI 52100 e AISI D2.

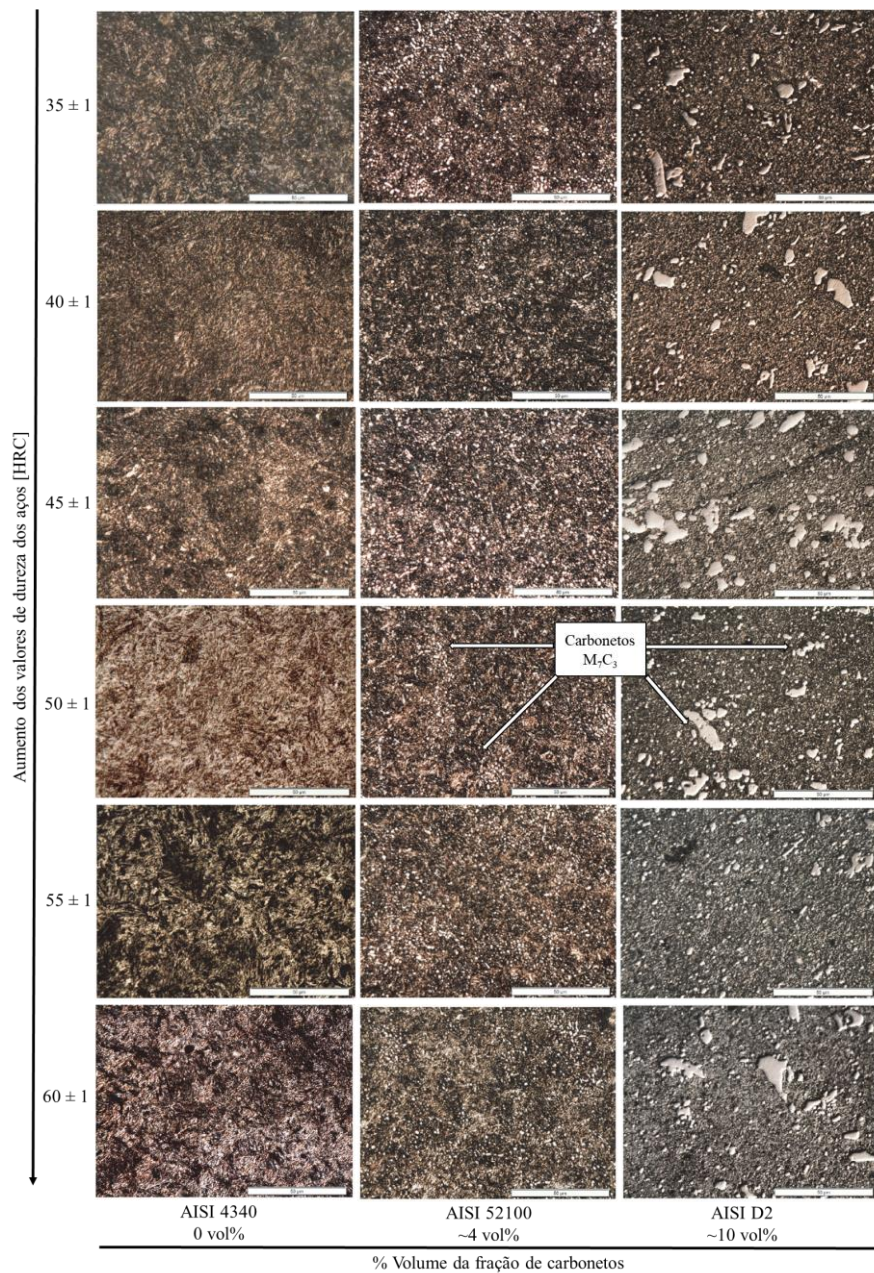


Figura 3. Micrografias dos aços AISI 4340, AISI 52100 e AISI D2 em seis níveis de dureza.

Analisando a microestrutura do aço AISI 4340, verifica-se uma transição de matriz composta por bainita e martensita, para uma matriz predominantemente martensítica, na faixa de dureza de 35 a 60 HRC. O aço AISI 52100 possui pequenos carbonetos eutéticos (1-2 μm), tipo M_7C_3 , homogeneamente distribuídos na matriz. Nas durezas de 35 e 40 HRC, as

amostras apresentaram microestrutura formada por martensita recozida, com precipitação de carbonetos em função da alta temperatura de revenimento. Para as durezas de 45, 50, 55 e 60 HRC, é verificada a presença de uma matriz formada por martensita refinada. Por fim, a microestrutura do aço AISI D2 é basicamente formada por carbonetos primários ($\approx 15 \mu\text{m}$) do tipo M_7C_3 , que apresentam forma e distribuição irregulares. Além de carbonetos secundários ($1\text{-}3 \mu\text{m}$) também do tipo M_7C_3 , porém, em perfil esférico. A 60 HRC, a matriz do aço AISI D2 é formada por martensita, com presença de austenita retida em pequena quantidade. Em amostras com dureza entre 35 e 55 HRC, as mesmas fases estão presentes, mas a presença de austenita retida não é evidente.

Os experimentos foram realizados com ferramentas de PCBN (SandvikCoromant® classe 7025 ou ISO H20, código SNGA 120408 S01030A). As ferramentas possuem baixo teor de CBN (60%) com distribuição de grãos bimodal (1 e 3 μm) em ligante cerâmico Ti (C, N) e Al. Além disso, apresentam alta resistência de gume devido à inibição da formação de boretos, como o TiB_2 , junto com o processo de sinterização do PCBN. Essas propriedades ajudam a evitar lascamento e fratura do gume, promovendo uma situação benéfica para a usinagem de materiais com alta fração de carbonetos na microestrutura (Sandvik, 2012).

Após a fixação da peça na máquina-ferramenta, a superfície a ser usinada foi preparada com um passe com ferramenta específica. O objetivo deste procedimento foi criar uma superfície de referência para minimizar o batimento axial da peça de trabalho após a fixação. As ferramentas foram então substituídas pelos gumes para o teste final. Os testes de faceamento foram realizados sem o uso de fluido refrigerante e os parâmetros de usinagem foram mantidos constantes ao longo dos experimentos. As condições de corte utilizadas foram: velocidade de corte (v_c) = 150 m/min, avanço (f) = 0,08 mm/rev e profundidade de corte (ap) = 0,20 mm.

Para a avaliação da rugosidade, foi utilizado o rugosímetro da fabricante Mitutoyo®, modelo SJ-310. A medição da rugosidade foi realizada em três regiões diferentes de cada réplica, percorrendo um caminho do diâmetro maior para o menor, utilizando o comprimento de amostragem de $\lambda_c = 0,25 \text{ mm}$ (comprimento total de avaliação de 1,25 mm) (Campos, *et al.*, 2017b). A definição para realizar medições em três regiões diferentes de cada conjunto, percorrendo do diâmetro maior para o menor, teve por finalidade abarcar de forma mais ampla os efeitos da usinagem do corpo de prova sobre a condição da superfície.

Para avaliação das alterações microestruturais, os corpos de prova foram cortados utilizando usinagem por jato de água. Posteriormente, para eliminar possíveis arredondamentos de borda, as seções obtidas foram submetidas à máquina de corte com disco abrasivo. Além dos cortes para eliminar os arredondamentos, a amostra foi novamente seccionada para facilitar os procedimentos de embutimento. Para esta análise, foi selecionada a amostra da região próxima ao diâmetro interno.

Para evitar o arredondamento da borda que pode vir a ocorrer durante os processos de lixamento e polimento, a amostra, inicialmente, foi recoberta com uma folha de alumínio e embutida com resina epóxi termoendurecedora, material indicado para esse fim (Campos, *et al.*, 2017a). Com as amostras já preparadas, essas foram atacadas com Nital 2% por, aproximadamente, 15 segundos. A avaliação das alterações microestruturais foi realizada com auxílio do Microscópio Eletrônico de Varredura da marca Hitachi® Hightech, modelo TM3030 Tabletop Microscope.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Análise da Rugosidade

Inicialmente foi realizado o levantamento dos valores dos parâmetros de rugosidade 2D, conforme a norma ISO 4287/2002. Para um intervalo de confiança de 95%, dos valores obtidos, foram extraídas a média do conjunto e sua respectiva incerteza. A Fig. 4 apresenta os valores dos parâmetros de rugosidade R_a e R_z dos três aços nos seis níveis de dureza.

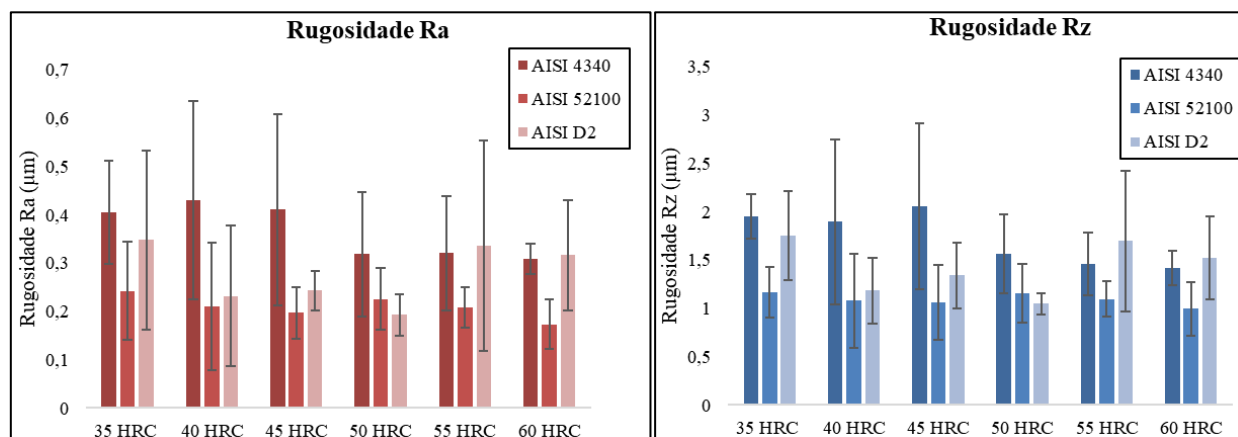


Figura 4. Valores dos parâmetros de rugosidade R_a e R_z para os três aços nos seis níveis de dureza.

Ao avaliar os resultados de rugosidade, tanto para o parâmetro R_a quanto R_z , verifica-se que a dureza gera um influência sobre os valores obtidos, visto que com o seu aumento há uma tendência de redução gradativa da rugosidade. No entanto, este comportamento não é válido para todos os aços usinados. No caso específico do aço AISI D2, essa tendência limita-se à dureza de 50 HRC, acima desse nível os valores de rugosidade aumentam. Esse comportamento era esperado e está relacionado às propriedades dos materiais: os três aços, a 35 HRC, têm um regime plástico muito bem definido, enquanto a 60 HRC o limite de ruptura do material está próximo ao limite de fluxo, conforme Fig. 2. Nesse contexto, após o acionamento da ferramenta, os segmentos de material deformado da peça (principalmente nas regiões periféricas do corte), que não foram retirados com o cavaco, permanecem presos à superfície. Para valores de dureza maiores, considerando a mesma região deformada, o retorno elástico é muito mais pronunciado, reduzindo o impacto na rugosidade. Além disso, como o aço AISI D2 apresenta carbonetos eutéticos dispersos em sua matriz, esse fenômeno ganha uma maior dimensão, sendo refletido, inclusive, no aumento dos valores de rugosidade.

Comparando o desempenho dos materiais, observa-se que o aço AISI 52100, entre os três, foi o que apresentou os menores valores para ambos os parâmetros de rugosidade. Segundo Wadsworth e Sherby (1978), o aço AISI 52100 apresenta alta estabilidade dimensional e térmica, características que podem ter contribuído para tal comportamento nesta análise.

Outra característica dos resultados obtidos é a incerteza elevada de alguns valores de rugosidade, o que pode sinalizar a existência de alterações ao longo do processo. Uma possível explicação para este comportamento é a alteração das condições do processo ao longo do diâmetro usinado, como o desgaste das ferramentas, alterações em termos de microestrutura, dificuldade de escoamento do cavaco ou o aumento das componentes da força de usinagem, por exemplo.

Diante desse cenário, embora os dados apresentados na Fig. 4 sejam relevantes, eles mostram-se insuficientes para se ter uma percepção mais apurada do comportamento do acabamento da superfície. Além disso, importante ressaltar que, quando se trata de torneamento de aços endurecidos, cada condição específica precisa ser analisada. Este fato torna-se especialmente importante quando é necessário concluir sobre os efeitos do processo de usinagem nas camadas abaixo da superfície, uma vez que pequenas alterações nas propriedades dos materiais podem induzir diferentes respostas das superfícies.

3.2. Avaliação das alterações microestruturais

Os resultados obtidos pelas análises da rugosidade levantam aspectos e informações importantes sobre o acabamento da superfície, entretanto estes dados não conseguem abarcar os fenômenos presentes nas camadas abaixo dela. Assim, posteriormente foi realizada a análise das alterações microestruturais nos três aços usinados. Entretanto, nesta etapa, apenas as condições de dureza de 45 HRC e 60 HRC para os aços AISI 4340 e AISI 52100 e 40 HRC e 60 HRC para o aço AISI D2 foram avaliadas.

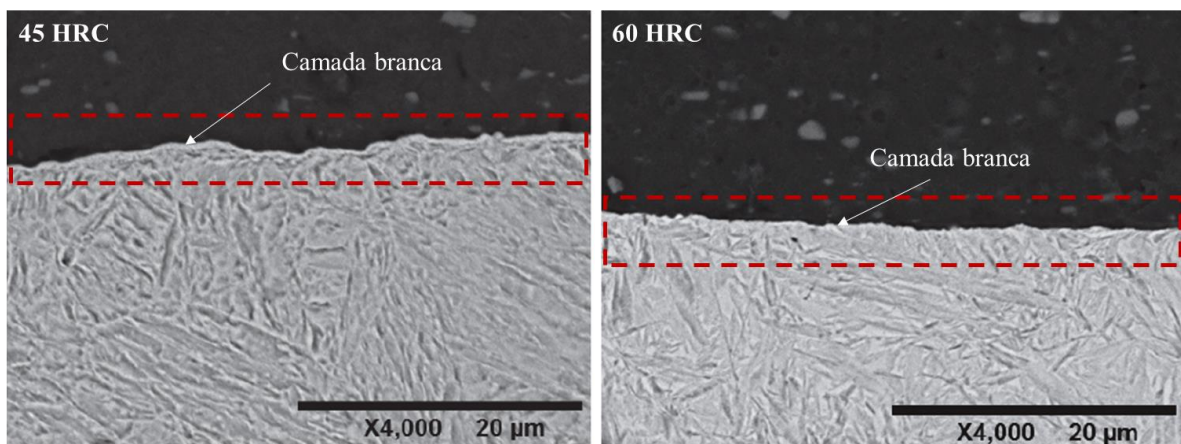


Figura 5. Micrografias das alterações microestruturais do aço AISI 4340 com 45 e 60 HRC.

A Fig. 5 apresenta as micrografias das camadas abaixo da superfície do aço AISI 4340. As alterações apresentadas ocorreram nas duas condições analisadas, porém ambas de forma muito sensível, limitando-se a espessuras não maiores que $2\mu\text{m}$. Como foi observado por Tönshoff, *et al.* (1997), devido as condições geométricas e cinemáticas, o tempo de contato entre a ferramenta e a superfície da peça é significativamente menor no processo de torneamento do que na retificação, por exemplo, resultando em baixos valores de energia específica de corte. Isto explica as menores extensões de camada branca presentes nos ensaios realizados. Ou seja, os parâmetros de corte aplicados e as geometrias das ferramentas de corte contribuíram para a obtenção de superfícies com elevado desempenho.

A camada branca formada é predominantemente um resultado do processo de rápido aquecimento e resfriamento, com a ocorrência de transformação de fase. Entretanto, a influência da deformação plástica sobre a formação desta região não pode ser descartada, já que ela promove o refinamento e distorção dos grãos.

Avaliando os efeitos da dureza na alteração microestrutural, verifica-se que este parâmetro não foi determinante na espessura da camada afetada, sendo que nos dois casos apresentado, essa não é superior a $2\mu\text{m}$.

O aço AISI 52100 (Fig. 6), por possuir microestrutura diferenciada, com a presença de carbonetos eutéticos em sua composição, as alterações ocorridas tendem a ser um pouco diferentes das que foram observadas para o aço anteriormente analisado. Verifica-se a presença de uma fina camada que sofreu alteração, sendo essa menor que $1\mu\text{m}$ para a dureza de 45 HRC. No que se refere à dureza de 60 HRC, a região com a presença de camada branca é um pouco maior, fenômeno esse que pode estar relacionado ao aumento da dureza do material e da temperatura na interface cavaco-ferramenta.

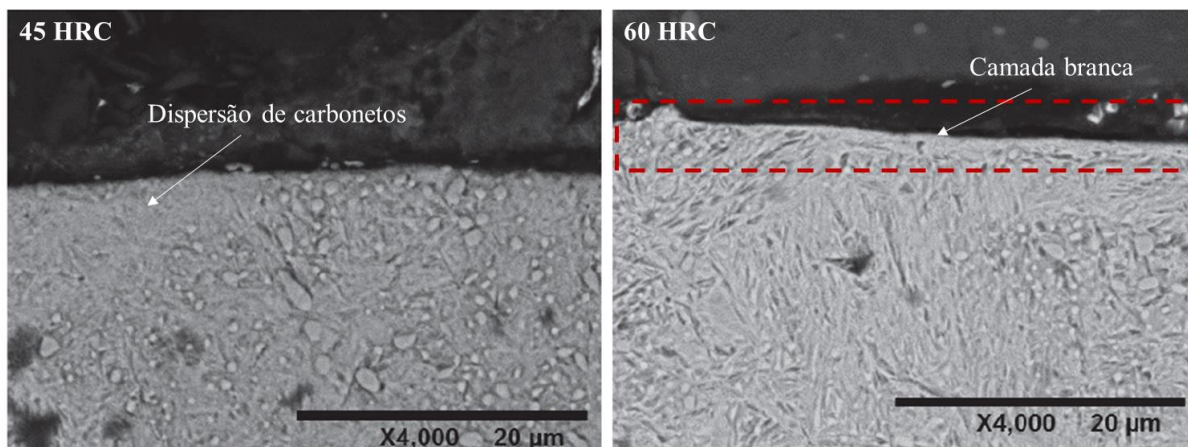


Figura 6. Alterações microestruturais do aço AISI 52100 com 45 e 60 HRC.

Apesar da maior dificuldade na usinagem deste tipo de material, não foi observada a fragmentação ou cisalhamento dos carbonetos em nenhum dos casos estudados. Como o tamanho do carboneto presente neste aço é de apenas $1\mu\text{m}$ e o avanço, a profundidade de corte e o raio do gume são muito maiores, é improvável que tais alterações venham a ocorrer.

A presença de carbonetos eutéticos do tipo M_7C_3 no aço AISI D2, em maior número e com dimensões maiores daqueles presentes no aço AISI 52100, é um dos fatores que podem implicar diretamente na qualidade do acabamento da superfície e no desempenho funcional da peça obtida com este tipo de material. Assim, foram feitas micrografias das amostras do aço AISI D2 usinadas com ferramenta de PCBN, conforme Fig. 7.

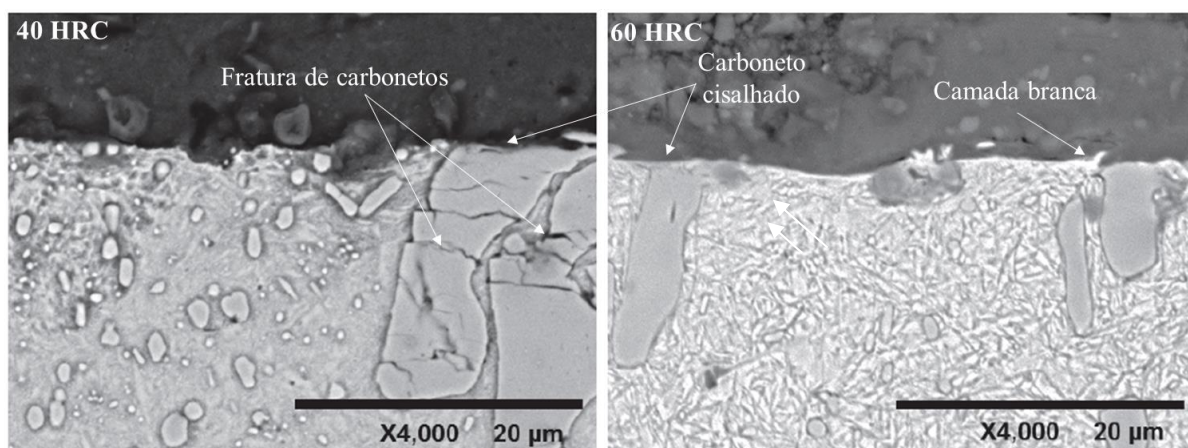


Figura 7. Alterações microestruturais do aço AISI D2 com 45 e 60 HRC.

A partir da Fig. 7 é possível verificar que as alterações na camada abaixo da superfície são pequenas. Entretanto, o comportamento dos carbonetos apresenta-se de forma mais pronunciada no caso do aço AISI D2. Para a condição de 40 HRC, ocorreram cisalhamento e fraturas paralelas à superfície torneada no carboneto ancorado na matriz da microestrutura do presente aço. O ângulo efetivo extremamente negativo da ferramenta de PCBN pode ter contribuído para esse resultado. Esse tipo de fenômeno, pensando em condições reais de aplicação, ao promover o cisalhamento dos carbonetos primários, bem como o desprendimento dos carbonetos secundários da matriz podem impactar de forma

negativa o acabamento da superfície do componente. Entretanto, falhas na preparação do corpo de prova não podem ser desconsideradas, contudo, tampouco a hipótese supracitada pode ser descartada. Com o incremento na dureza da matriz, o desprendimento de carbonetos secundários torna-se menos pronunciado, bem como, os carbonetos primários possuem melhor ancoragem na matriz, efeito esse que pode promover uma melhora no acabamento da superfície, ao reduzir possíveis irregularidades na mesma.

Assim, é possível perceber que, apesar das condições do processo e dos níveis de dureza dos materiais utilizados se manterem iguais ao longo dos ensaios, as suas características microestruturais acabaram resultando em diferentes respostas, o que demonstra a importância, no torneamento de materiais endurecidos, da análise dos fenômenos que ocorrem nas camadas abaixo da superfície para se poder ter respostas mais completas sobre os fenômenos que ocorrem ao longo do processo e suas possíveis correlações.

4. CONCLUSÕES

No presente trabalho foram analisadas a rugosidade e as alterações microestruturais provenientes do torneamento de materiais endurecidos com ferramentas de PCBN. A fim de verificar os diferentes comportamentos das superfícies obtidas com este processo, foram utilizados três materiais com distintas características microestruturais - a saber – os aços AISI 4340, AISI 52100 e AISI D2, em seis valores de dureza, variando entre 35 e 60 HRC.

Inicialmente foi avaliada a rugosidade, utilizando-se para isso dois parâmetros: Ra e Rz. Em relação a influência da dureza na qualidade da superfície obtida, verifica-se que com o aumento desta variável, e a consequente elevação da resistência mecânica dos materiais, houve uma tendência de redução dos valores de rugosidade. Entretanto, em relação ao aço AISI D2, a partir de 50 HRC, maiores valores de rugosidade foram constatados. Tal comportamento está relacionado à presença de carbonetos eutéticos em sua matriz, os quais podem ficar aderidos à superfície, dificultando o processo de usinagem e, consequentemente, resultando em baixa qualidade de acabamento. Já no que diz respeito ao desempenho dos materiais empregados, o aço AISI 52100 apresentou menores valores de rugosidade em todos os níveis de dureza, devido a sua maior resistência e estabilidade quando submetido a condições severas de aplicação. Entretanto, devido as elevadas incertezas para algumas condições analisadas, observou-se que alterações ao longo do processo podem ter ocorrido, limitando a possibilidade de se ter uma percepção mais apurada do comportamento do acabamento da superfície.

Concluída essa etapa, foram avaliadas as alterações microestruturais provenientes do processo de torneamento e, observou-se que as camadas alteradas se apresentaram pouco extensas. Uma possível explicação para este resultado está relacionada aos parâmetros de corte utilizados e à geometria da ferramenta de corte empregada, fatores esses que permitiram a obtenção de superfícies com elevado desempenho. Além disso, verificou-se que a dureza não foi uma variável determinante no grau de alteração gerado.

Para os três aços foi observada a presença de camada branca, sendo esta resultante do processo de rápido aquecimento e resfriamento, com a ocorrência de transformação de fase. E, devido a presença de carbonetos de maiores dimensões, a alteração mais comum no aço AISI D2 foi o cisalhamento dos carbonetos primários bem como o desprendimento dos carbonetos secundários da matriz do material.

Assim, é possível verificar que a análise unicamente dos parâmetros de rugosidade não permite fazer conclusões totais sobre o comportamento do material em processo, já que este parâmetro se limita a conclusões mais amplas sobre o estado da superfície, cabendo, assim, avaliar o estado das regiões abaixo da superfície usinada, de modo que se possa melhor compreender os efeitos do processo de usinagem sobre o componente e de que modo isso pode vir a afetar o seu desempenho e aplicabilidade.

No que diz respeito as variáveis empregadas nas análises, apesar dos parâmetros de corte e a ferramenta serem fatores relevantes para o resultado final obtido, as características dos materiais, como sua microestrutura, propriedades mecânicas e dureza não podem ser desconsiderados, haja vista que, apesar do emprego das mesmas condições de processo para os três aços, as respostas obtidas foram distintas em todos os casos avaliados.

5. AGRADECIMENTOS

Este trabalho contou com o financiamento e apoio da FAPESC (Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina), Sandvik e CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico).

6. REFERÊNCIAS

- Alok, A., Das, M., 2019. “White layer analysis of hard turned AISI 52100 steel with the fresh tip of newly developed HSN² coated insert”. *Journal of Manufacturing Process*, Vol. 46, p. 16-25.
- Boing, D., Schroeter, R. B., Oliveira, A. J. de., 2018. “Three-dimensional wear parameters and wear mechanisms in turning hardened steels with PCBN tools”. *Wear*, Vols. 398-399, p. 69-78.
- Byrne, G., Dornfeld, D. e Denkena, B. “Advancing cutting technology”. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, p. 483-507.

- Campos, C. N. de., Sirtuli, L. J., Boing, D., Schroeter, R. B., 2017a. "Avaliação dos métodos de preparação de amostras para estudo de alterações microestruturais geradas no processo de torneamento de materiais endurecidos". In *Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação – COBEF2017*. Joinville, Brasil.
- Campos, C. N. de., Boing, D., Schroeter, R. B., 2017b. "Discussões sobre a determinação do comprimento de amostragem (λ_c) para avaliação da rugosidade no torneamento de materiais endurecidos". In *Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação – COBEF2017*. Joinville, Brasil.
- Danzl, R., Helml, F. e Scherer, S., 2010. "Focus variation – a new technology for high resolution optical 3D surface metrology". *Proceedings of the 10th International Conference of the Slovenian Society for Non-Destructive Testing*. Ljubljana, Slovenia.
- Diniz, A. E. e Oliveira, A. J. de., 2008. "Hard turning of interrupted surfaces using CBN tools". *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 195, p. 275-281.
- Fang-yuan, Z., Chun-zheng, D., Min-jie, W., Wei, S., 2018. "White and dark layer formation mechanism in hard cutting of AISI52100 steel". *Journal of Manufacturing Process*, Vol. 32, p. 878-887.
- Field, M. e Kahles, J. F., 1971. "Review of surface integrity of machine componentes". *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, p. 153-163.
- Griffiths, B. J., 1985. "White layer formations at machined surfaces and their relationship to white layer formations at worn surfaces". *Journal of Tribology*, p. 165-171.
- Grzesik, W. 2008a. *Advanced machining processes of metallic materials - theory, modelling and applications*. Elsevier, Londres.
- Klocke, F. e Brinksmeier, E. W. K., 2005. "Capability profile of hard cutting and grinding processes". *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Vol. 54, p. 22-45.
- SANDVIK COROMANT, 2012. "Torneamento de peças duras com CBN". Disponível em: 19 Jan. 2021 <<http://www.sandvik.coromant.com/sitecollectiondocuments/downloads/global/catalogues/pt-pt/c-2940-137.pdf>>.
- Tönshoff, H., Karpuschewski, B. e Borbe, C., 1997. "Comparison of basic mechanisms in cutting and grinding of hardened steel". *Production Engineering*, p. 5-8.
- Wadsworth, J. e Sherby, O. D., 1978. "Influence of chromium on superplasticity in ultra-high carbon steels". *Journal of Materials Science*, Vol. 13, p. 2645-2649.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

O(s) autor(es) é (são) o(s) único(s) responsável(is) pelas informações incluídas neste trabalho.

ANALYSIS OF ROUGHNESS AND MICROSTRUCTURAL CHANGES IN HARD TURNING WITH PCBN TOOL

Clarianne Natali de Campos

Federal University of Santa Catarina, Campus Reitor João David Ferreira Lima, Florianópolis-SC
clarianne.campos@gmail.com

Denis Boing

Sandvik Coromant R&D, Lerkrogsvägen 19, SE-126 80, Stockholm, Sweden
denis.boing@gmail.com

Rolf Bertrand Schroeter

Federal University of Santa Catarina, Campus Reitor João David Ferreira Lima, Florianópolis-SC
rolf.schroeter@ufsc.br

Abstract. Currently in turning hardened materials, with regard to roughness, it is possible to achieve roughness around $1\ \mu\text{m}$ in the parameter R_t and ISO standard tolerance equivalent to IT3. In relation to microstructural changes, since it is a thermomechanical process, plastic deformation, white layer formation and flow lines are the most observed changes. However, these conditions can be changed mainly when working with materials with different microstructural conditions. Thus, the main objective of this work is to analyze the roughness and microstructural changes resulting from the turning of three different hardened steels with PCBN tool. For this, three steels were selected - AISI 4340, AISI 52100 and AISI D2, in six hardness levels, between 35 HRC and 60 HRC. Regarding roughness, it was found that hardness influences the values obtained, since with its increase there is a gradual reduction trend in roughness, except for AISI D2 steel, from 50 HRC, given the microstructural characteristics and mechanical behavior. Regarding microstructural changes, the altered layers were not very extensive in all conditions and hardness was not a determining variable in the degree of change generated.

Keywords: Roughness. Microstructural changes. Hard turning. PCBN.

RESPONSIBILITY NOTICE

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