

EFEITOS DA VARIAÇÃO DE PARÂMETROS DE CORTE NA MICROESTRUTURA DE UM AÇO DO TIPO AISI 4340 RETIFICADO

L. B. V. Silva, leoblunk@hotmail.com

M. C. Mendes, matheus.mendes@cefet-rj.br

T. C. Chuvas, tatiane.chuvas@cefet-rj.br¹

Departamento de Engenharia Mecânica/DEMEC, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca – CEFET-RJ, Rio de Janeiro, Brasil

Resumo: A busca incessante pelo aumento da produtividade nas linhas de produção vem impulsionando o desenvolvimento de novas tecnologias que visam a melhoria nos processos produtivos. A retificação é um processo de usinagem por abrasão utilizado em sua maioria como etapa de acabamento por ter elevada precisão. Associada a grande área de contato entre a ferramenta e a peça e por se tratar de um processo de alta velocidade, durante a retificação podem-se atingir elevadas temperaturas na superfície da peça. Apesar de gerar possíveis falhas, o controle dos parâmetros pode canalizar essa energia para a redução de etapas de fabricação por meio do aproveitamento da elevação da temperatura para gerar uma têmpera superficial. Este trabalho visa analisar como os parâmetros de corte influenciam nessa temperatura superficial e por consequência na alteração da sua microestrutura. Para isso foram utilizadas amostras de um aço AISI 4340 que foram submetidas à processos de retificação com diferentes condições de corte. O efeito da temperatura atingida sobre a microestrutura foi avaliado através de caracterização microestrutural e ensaios mecânicos de microdureza. Os resultados mostraram que a variação da profundidade de corte pode gerar alteração microestrutural assim como endurecimento superficial.

Palavras-chave: retificação, têmpera, AISI4340, caracterização microestrutural

1. INTRODUÇÃO

A importância da retificação dentro das indústrias tem origem no fato de representar um processo de finalização de peças, onde se torna possível atingir excelentes níveis de precisão geométrica e tolerância dimensional, além de baixos níveis de rugosidade [1]. A busca por processos enxutos e ágeis vêm motivando a busca por alternativas de produção que atendam a tais requisitos. A alteração dos parâmetros de corte, tornando-os mais agressivos, é um dos artifícios que vem sendo utilizado. Porém, essas alterações podem causar danos à peça, e no caso da retificação alterar a microestrutura em sua superfície.

Diferentemente de outros tipos de operações, o processo de retificação, consiste na usinagem por meio de abrasão, onde a peça a ser usinada entra em contato com a ferramenta de corte, denominada de rebolo. Apesar de se tratar de um processo com uma taxa de remoção de cavaco, a grande área de contato entre a peça e a ferramenta de corte aliada à altas velocidades do processo fazem com que a temperatura na superfície usinada tenha um demasiado aumento de temperatura [2, 3].

Ao compreender a relação entre os parâmetros de corte e a microestrutura superficial resultante da peça usinada, torna-se possível o desenvolvimento de modelos de usinagem de forma a maximizar os ganhos, atingindo a têmpera superficial na peça, que consiste na obtenção de martensita e consequentemente um endurecimento na superfície usinada por meio do controle dos parâmetros de corte [2]. Porém, a seleção dos parâmetros deve ser feita de forma a evitar a formação de defeitos que prejudiquem a integridade superficial da peça, que estão ligados às altas taxas de aporte térmico [4].

A têmpera superficial é importante devido à capacidade que tem de atribuir a uma mesma peça duas propriedades completamente distintas, onde o núcleo possui uma característica, que geralmente é uma maior tenacidade e a superfície outra, que nesse caso é mais dura e consequentemente resistente ao desgaste. Um exemplo de aplicação deste mecanismo são os eixos [5]. Alguns estudos [6-14] mostram que é possível a obtenção desta têmpera a partir da retificação. Eles relacionaram alguns parâmetros de corte e verificaram a possibilidade de obtenção de martensita por usinagem.

Este trabalho tem como objetivo analisar a existência de uma relação entre os parâmetros de corte utilizados na retificação tangencial plana e seus efeitos na microestrutura superficial de um aço AISI 4340. O foco será dado na análise

da formação de martensita na superfície usinada, assim como a profundidade de alcance de sua formação baseado nos valores de dureza, e relacionada aos parâmetros de corte.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O material utilizado no trabalho foi o aço AISI 4340 devido a sua alta temperabilidade. As amostras foram confeccionadas a partir de barras de aproximadamente 1 metro de comprimento e uma polegada de diâmetro. Foram feitas 6 amostras com 7 mm de altura (Fig. 1). Após o corte, as mesmas foram submetidas ao tratamento térmico de recozimento, com o intuito de homogeneizar sua microestrutura.

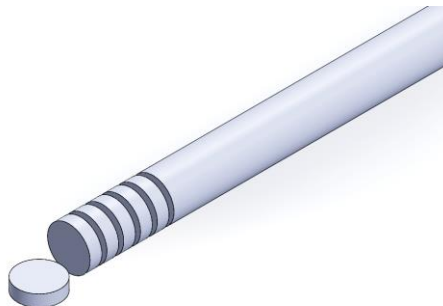


Figura 1 – Esquema das amostras e da barra

A retificação das amostras foi feita utilizando uma retificadora plana tangencial Veker do modelo RVK-6030. Em um primeiro momento, foram selecionadas algumas amostras para verificar qual parâmetro de corte que, quando variado, geraria maior efeito sobre a microestrutura. Estes testes não foram realizados para efeito de comparação direta, mas sim para determinar o melhor parâmetro a ser variado.

A literatura reporta que o aumento da temperatura gerado durante o processamento pode ser suficiente a ponto de promover transformações microestruturais nos materiais [3-5]. Neste contexto foram estudados dois parâmetros de corte: profundidade de corte e a velocidade da peça (ou avanço da peça), além da utilização ou não do fluido de corte, conforme mostra a Tab. 1. A velocidade de corte (velocidade de rotação do rebolo) foi mantida constante em 31 m/s.

Tabela 1 – Condições de corte das amostras

Amostra	Velocidade da peça (m/min)	Profundidade de avanço (mm)	Fluido de corte
1	5,00	0,025	Sim
2	0,10	0,060	Sim
3	0,04	0,040	Não
4	0,04	0,060	Não
5	0,04	0,080	Não
6	0,04	0,100	Não

O rebolo utilizado no processo foi um rebolo de especificação é WA46I11V e corresponde às seguintes características: tamanho de grão médio, rebolo de dureza média para macia, estrutura levemente aberta e aglomerante vitrificado.

As amostras foram cortadas transversalmente com o intuito de analisar o comportamento ao longo de toda a peça assim como a profundidade atingida pelo tratamento térmico por retificação. Em seguida, a meia lua cortada do disco foi embutida em baquelite e polida até o pano de 1 micron. Após isso, duas amostras foram atacadas com Nital 2% e as demais com LePera.

Depois de atacadas, as amostras foram analisadas no microscópio ótico com o intuito de verificar a ocorrência ou não da alteração microestrutural devido à elevação de temperatura oriunda do processo. E para validar comprovar o endurecimento superficial devido a formação de martensita, foi realizado o ensaio de microdureza, por meio da confecção de um perfil de microdureza, onde foi utilizada uma carga de 500g, identador de diamante e tempo de 15 segundos. O espaçamento entre cada um dos pontos foi de 0,2 mm, para um total de 10 pontos de verificação da dureza, partindo da superfície usinada.

3. RESULTADO E DISCUSSÃO

A microestrutura de partida em todas as amostras consiste em uma matriz típica dos aços comuns ao carbono que passaram por processos de conformação mecânica, apresentando bandas intercaladas de ferrita e perlita (Fig. 2). As amostras 1 e 2 não apresentaram nenhuma alteração microestrutural em relação a peça como um todo, mantendo a estrutura de bandas intercaladas de ferrita e perlita, assim como na microestrutura de partida.

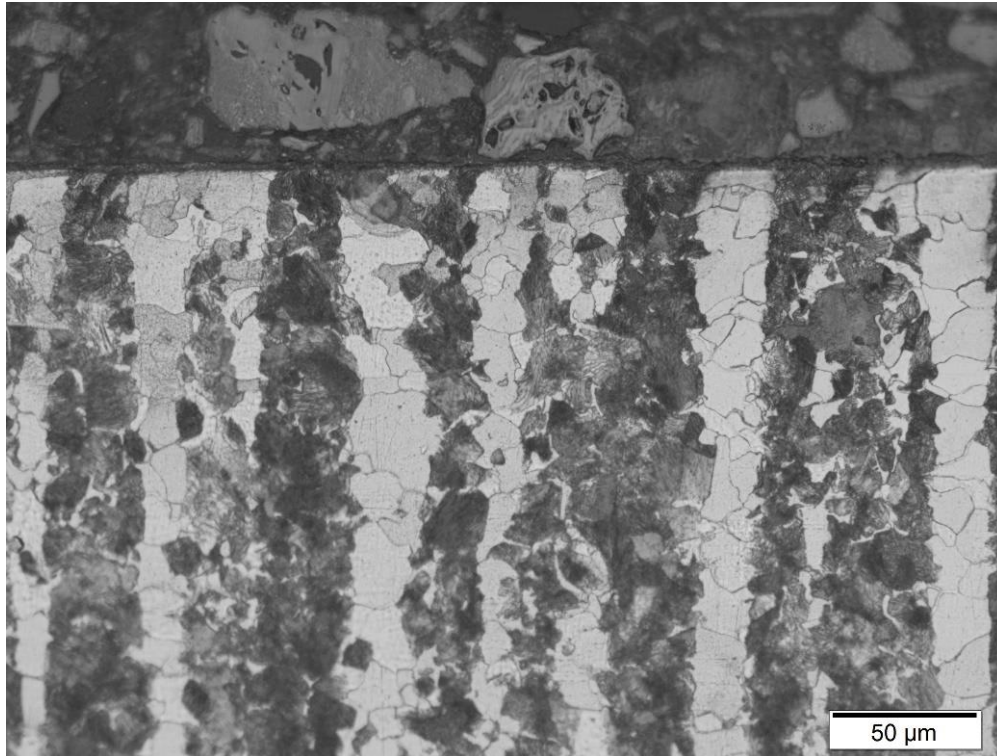
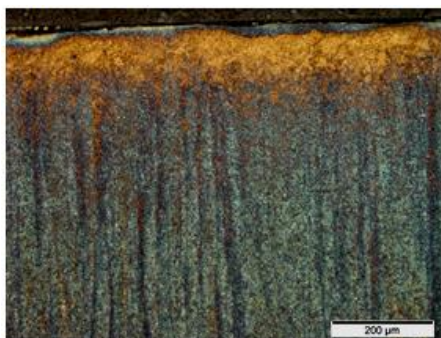


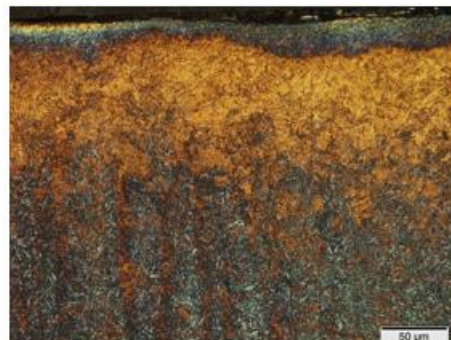
Figura 2 – Microestrutura do material como recebido: ferrita nas regiões claras e perlita das regiões escuras, em 500X.

Na usinagem da amostra 3, a velocidade da peça foi mais uma vez reduzida, com o mesmo objetivo, porém reduziu-se um pouco a profundidade de corte e não foi utilizado fluido de corte. Como mostrado na Fig. 3, a partir da utilização destes parâmetros, foi possível observar alteração microestrutural. As micrografias permitem observar a formação de uma camada predominantemente martensítica na superfície (de cor marrom) e em seguida uma região azulada, composta predominantemente por bainita, que também teve sua microestrutura modificada. Tal fato está relacionado com a alteração dos parâmetros de corte, principalmente da não utilização de fluido de corte, possibilitando assim que a superfície da peça atingisse temperatura suficiente para a ocorrência de transformações microestruturais.

A profundidade da camada afetada pelo calor, composta pelas regiões martensítica, bainítica e misturada (composta por uma mistura de bainita, ferrita e perlita) não foi uniforme, variando consideravelmente ao longo do comprimento da amostra, atingindo uma profundidade máxima de 1 mm em algumas regiões, tal fato pode ser associado ao movimento de avanço da peça e às regiões de entrada e saída do rebolo.



(a)



(b)

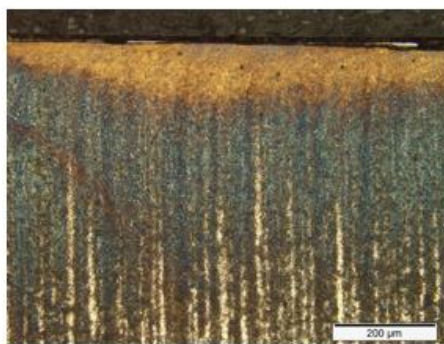


(c)

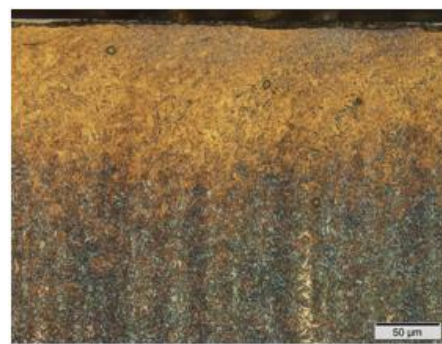
Figura 3 - Micrografias obtidas por microscopia ótica apresentando a microestrutura da amostra 3, martensita nas regiões de cor marrom e bainita das regiões azuladas, em (a) 200X, em (b) 500X e em (c) 1000X.

Apesar da literatura [8, 10] relacionar o aumento da dureza de materiais retificados a formação de martensita, pôde-se observar que, além disso, é possível obter uma região bainítica após o processamento das mesmas, fruto do gradiente de temperatura obtido. Ao analisar as primeiras três amostras, foi possível observar que o melhor parâmetro a ser variado seria a profundidade de avanço devido a facilidade de controle e precisão do mesmo. Mas também pôde ser visto que a não utilização de fluido de corte (usinagem a seco) foi fundamental, nesse primeiro momento, para a alteração microestrutural, conforme resultados apresentados por Brockhoff, T, 1999 [7], mesmo que essa condição tenda a apresentar um desgaste excessivo do rebolo.

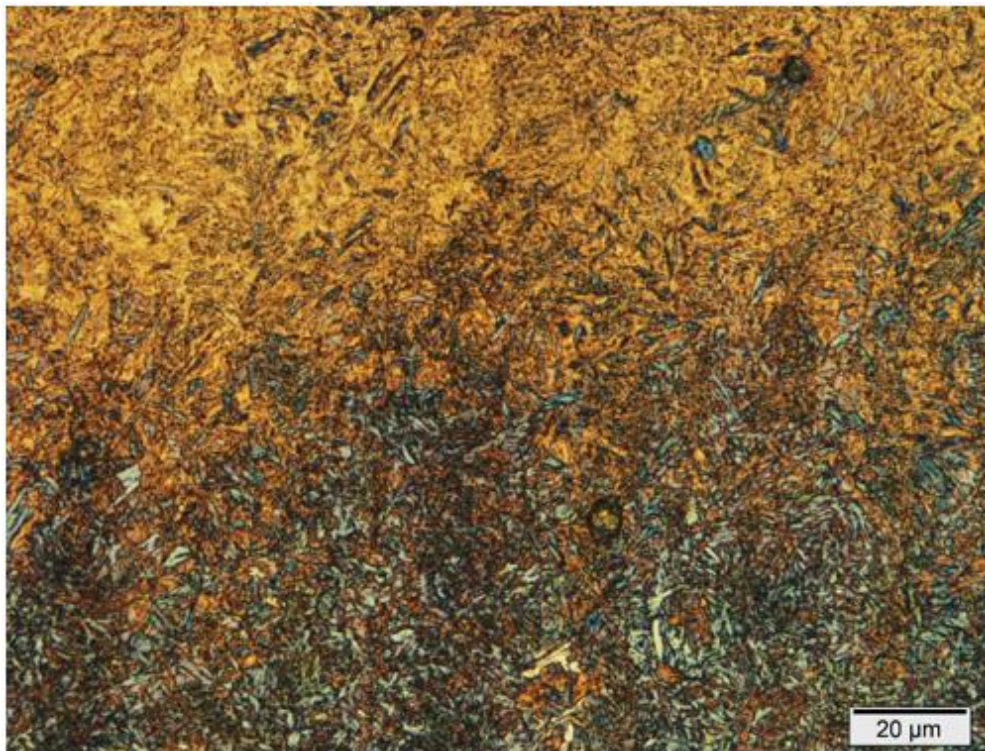
A amostra 4 foi usinada com a mesma velocidade da mesa e a profundidade teve um acréscimo, com o objetivo de aumentar a energia envolvida. Novamente não foi utilizado fluido de corte. Na Figura 4 pode-se observar uma estrutura semelhante à da amostra anterior, porém com um pequeno aumento da região martensítica (de cor marrom).



(a)



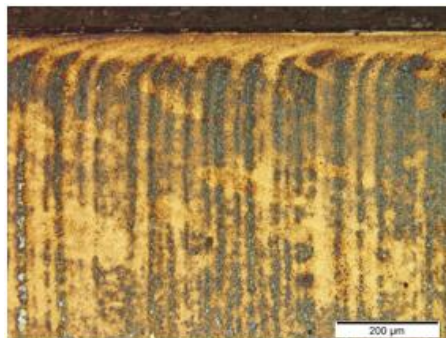
(b)



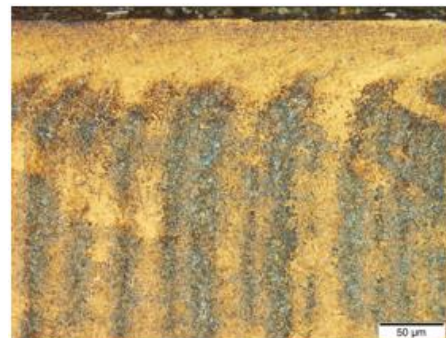
(c)

Figura 4 - Microestrutura da amostra 4: martensita nas regiões de cor marrom e bainita das regiões azuladas, em (a) 200X, em (b) 500X e em (c) 1000X.

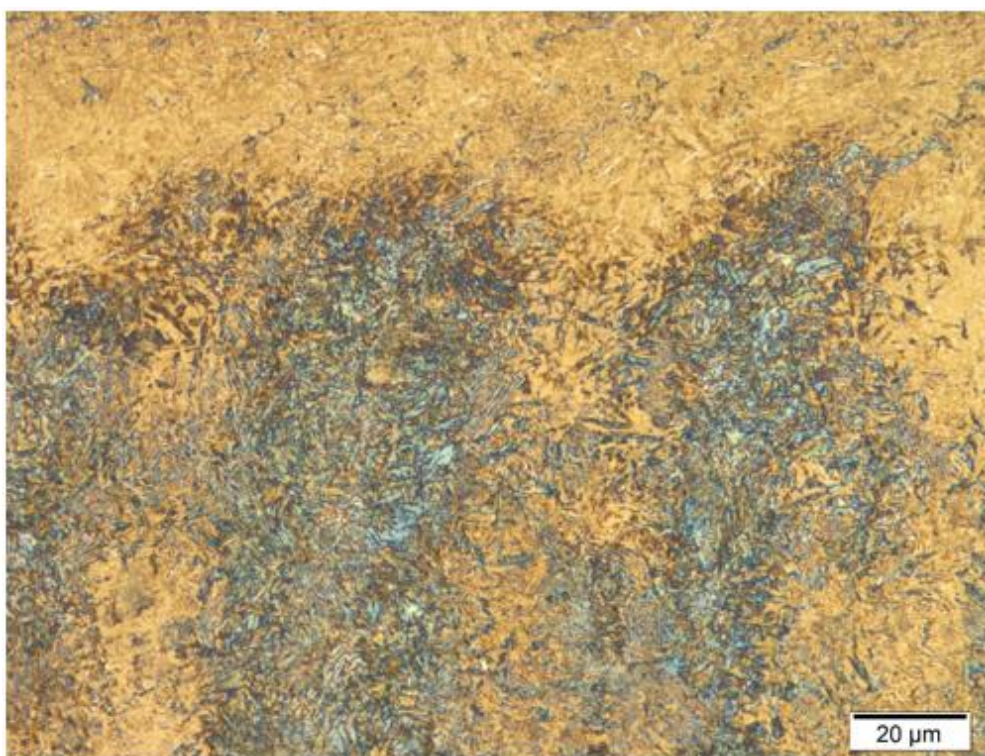
Na usinagem da amostra 5, condição com profundidade de corte de 0,80mm pode ser observado o aumento da região de cor marrom (Fig. 5), que representa a transformação martensítica, como já era esperado devido ao aumento na profundidade de corte. Além disso, observa-se a formação de bandas, lado a lado, predominantemente bainíticas (azuladas) e predominantemente martensíticas (de cor marrom). As bandas de bainita se formaram oriundas das regiões de ferrita, enquanto as de martensita se formaram a partir das regiões perlíticas, que possuem, como citado anteriormente, maior segregação de elementos de liga, e consequentemente maior temperabilidade.



(a)



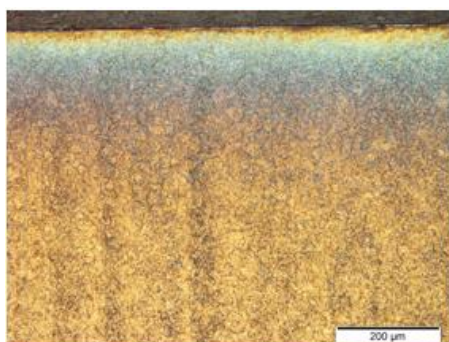
(b)



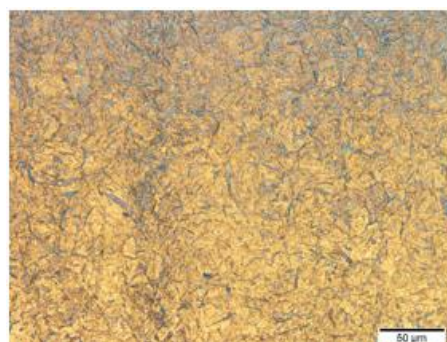
(c)

Figura 5 - Microestrutura da amostra 5: martensita nas regiões de cor marrom e bainita das regiões azuladas, em (a) 200X, em (b) 500X e em (c) 1000X.

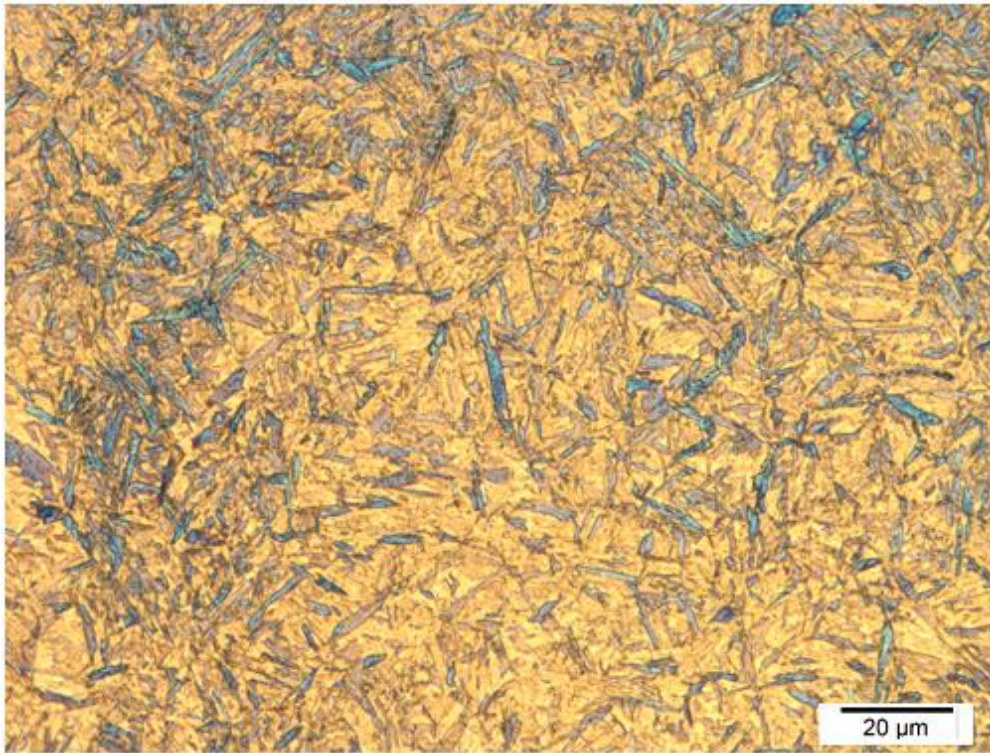
A amostra 6 foi usinada com a mesma velocidade da mesa, porém esta amostra apresenta a condição mais severa em termos de profundidade de corte: 0,100 mm. A usinagem foi também realizada sem fluido de corte. Mais vez pode-se observar alteração da microestrutura, obtendo-se martensita (Fig. 6). Para estas condições é possível observar, que em termos microestruturais, obteve-se uma estrutura mais homogênea quando compara às demais, além de uma maior formação de martensita, com a presença de pequenas agulhas de bainita, sobretudo quando se observam em aumentos maiores.



(a)



(b)



(c)

Figura 6 - Microestrutura da amostra 6: martensita nas regiões de cor marrom e bainita das regiões azuladas, em (a) 200X, em (b) 500X e em (c) 1000X.

A fim de caracterizar mecanicamente a formação de martensita na superfície das amostras, tão bem como a profundidade atingida pela mesma, foram realizados ensaios de microdureza. Foi avaliada a dureza na superfície usinada e um perfil de microdureza na seção transversal da peça, como representado na Fig. 7.

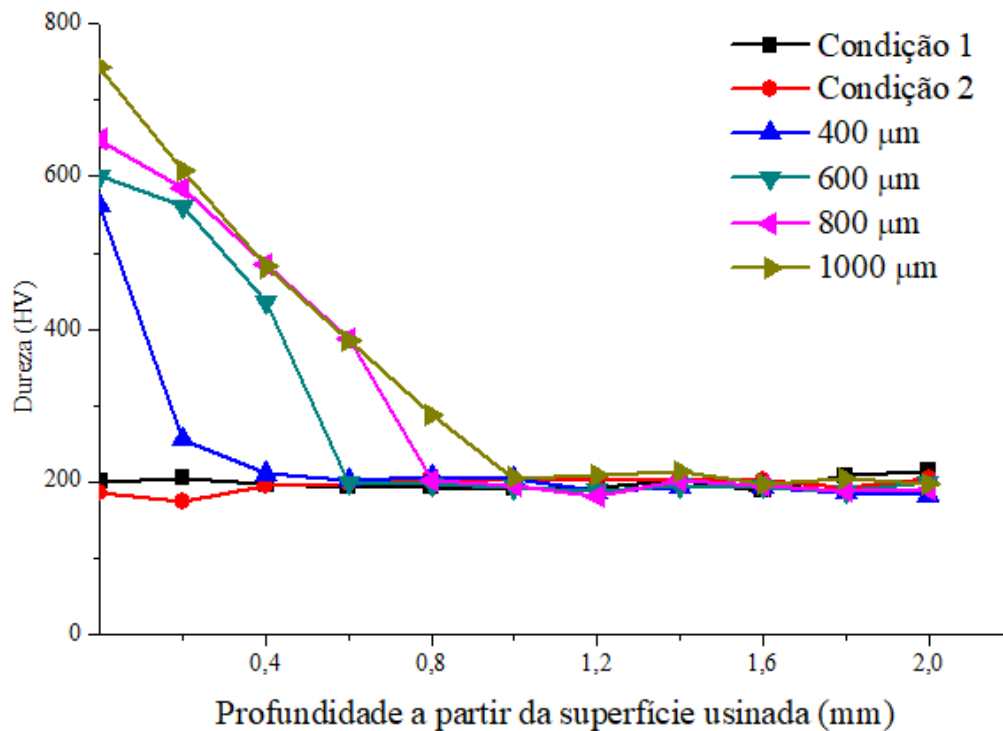


Figura 7 – Gráfico do ensaio de microdureza

Ao analisar o resultado das durezas fica evidente a influência da usinagem a seco no processo de endurecimento da peça, pois obteve-se uma elevação de patamar de dureza que, utilizando fluido de corte estava um pouco acima de 250 HV

e sem fluido de corte foi para o patamar de 600 HV em média. Além disso observa-se que o aumento da profundidade de corte resulta em um aumento da profundidade atingida, pois os valores de dureza permanecem altos até 0,8mm em condição com maiores profundidades de corte. Contudo, pôde-se observar a formação da “camada branca” em algumas amostras, que representam um defeito oriundo do processo em condições severas. A solução para essa ocorrência pode ser a utilização de uma passada com profundidade de corte reduzida para retirada dessa camada prejudicial, preservando a tratada termicamente. É importante destacar que as condições mais severas, com profundidade de corte maiores e usinagem a seco permitem a alteração da microestrutura, contudo prejudicam a vida útil do rebolo, fazendo que o mesmo se deteriore de forma mais rápida.

4. CONCLUSÃO

Este trabalho, que teve como objetivo analisar a formação de martensita na superfície usinada de uma peça de aço AISI 4340, assim como a profundidade de alcance de sua formação relacionada aos parâmetros de corte, admite as seguintes conclusões:

1. Velocidades mais altas de avanço não permitiram o aumento significativo da temperatura, não promovendo desta forma, alterações na microestrutura.
2. A usinagem a seco foi crucial para o atingimento de temperaturas mais elevadas, permitindo desta forma a formação martensítica.
3. Velocidades de avanço mais baixas permitem o aumento da temperatura, contribuindo para alteração microestrutural.
4. A profundidade de corte foi o parâmetro de corte que mais influenciou na profundidade atingida pelo endurecimento. Contudo, esse parâmetro é fortemente interativo com a condição de usinagem: úmida ou a seco.

5. REFERÊNCIAS

- [1] Klocke, F.; Brinksmeier, E.; Evans, C.; Howes, T.; Inasaki, I.; Minke, E.; Tonshoff, H.K.; Webster, J.A.; Stiff, D.: “High-Speed Grinding - Fundamentals and State of the Art in Europe, Japan, and the USA”, *Annals of the CIRP*, v. 46, n. 2, pp. 715-724, 1997
- [2] Gâmbaro, L. S., “Proposta de otimização de processo de fabricação de peças cilíndricas por meio da têmpera por retificação”, Dissertação de pós graduação, UNIMEP, Santa Barbara d’Oeste, São Paulo, Brasil, 2006.
- [3] Damasceno, R. F., “Análise da influência da profundidade de corte e de diferentes métodos de lubri-refrigeração na retificação plana do aço ABNT 4340”, Dissertação de Mestre, UNESP, Bauru, São Paulo, Brasil, 2010
- [4] Cardoso, A. S. M., “Caracterização mecânica e microestrutural dos aços SAE 4340 e 300M após soldagem a laser e tratamento superficial de nitretação a plasma”, USP, Lorena, São Paulo, Brasil, 2011
- [5] Lee, W.; Su, T.: “Mechanical properties and microstructural features of AISI 4340 high-strength alloy steel under quenched and tempered”, *Journal of Materials Processing Technology*, v. 87, pp. 198–206, 1999.
- [6] Judong, L.; Wei, Y.; Songwei, H.; Zhilong, X.: “Experimental Study on Grinding-hardening of 1060 Steel”, *Energy Procedia*, v.16, pp. 103 – 108, 2012
- [7] Brockhoff, T.; Brinksmeier, E.: “Grind-Hardening: A Comprehensive View”, *Annals of CIRP*, v. 48, n. 1, pp. 255 – 260, 1999
- [8] Brinksmeier, E.; Brockhoff, T.: “Utilization of Grinding Heat as a New Heat Treatment Process”, *Annals of CIRP*, v. 45, n. 1, pp. 283 – 286, 1996
- [9] Zarudi, I.; Zhang, L. C.: “Mechanical property improvement of quenched steel by grinding”, *Journal of materials Science*, v. 37, pp. 3935 – 3943, 2002
- [10] Nguyen, T.; Zhang, L. C.: “Grinding-hardening using dry air and liquid nitrogen: Prediction and verification of temperature fields and hardened layer thickness”, *International Journal of Machine Tool & Manufacture*, v. 50, pp. 901 – 910, 2010
- [11] Zhang, J.; Ge, P.; Jen, T.; Zhang, L.: “Experimental and numerical studies of AISI1020 steel in grind-hardening”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, v. 52, pp. 787 – 795, 2009
- [12] Han, Z.; Zhang, N.; Gao, D.; Yang, G.: “Research into Grinding Hardening of microalloyed Non-quenched and tempered steel”, *Journal of China University of Mining & Technology*, v. 17, pp. 239 – 241, 2007
- [13] Chrystosolarius, G.; Tsiribas, K.; Salonitis, K.: “An analytical, Numerical and Experimental Approach to Grind Hardening”, *Journal of Manufacturing Processes*, v. 7, 2005
- [14] Lin, B.; Zhou, K.; Guo, J.; Liu, Q.Y.; Wang, W.J.: “Influence of grinding parameters on surface temperature and burn behaviors of grinding rail”, *Tribology International*, v. 122, pp. 151-162, 2018

6. RESPONSABILIDADE AUTURAL

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

EFFECTS OF GRINDING PARAMETERS CHANGES ON THE MICROSTRUCTURE OF AISI 4340

L. B. V. Silva, leoblunk@hotmail.com

M. C. Mendes, matheus.mendes@cefet-rj.br

T. C. Chuvas, tatiane.chuvas@cefet-rj.br

Departamento de Engenharia Mecânica/DEMEC, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca – CEFET-RJ, Rio de Janeiro, Brasil

Abstract. *The endless search to increase the productivity is boosting the development of new technologies, which aim at improving processes. The grinding is a machining process that uses abrasives tools, mostly used as finishing process for having high precision. The tool used is a non-defined geometry, and it turn the process control harder. Associated with large contact area between the parts, and to be a high velocity process, during the grinding, high temperatures can be reached on the surfaces. Even if this high temperature can cause failures, the correct setup of the parameters can guide this energy to reduce steps on the process, using this to make a quenching. This work aims to analyze how the grinding parameters can change the temperature, and with this change the microstructure. For this, AISI 4340 samples were submitted to grinding process with different conditions. The effect of the reached temperature on the microstructure was analyzed by the microstructural characterization and microhardness mechanical tests. The results showed that variation of depth of cut could change the microstructure of the material and increase its hardness.*

Keywords: *grinding, quenching, AISI4340, microstructural characterization*