

Artigo

Análise da influência da microdureza sobre o desgaste da ferramenta de usinagem

Samuel de Oliveira Martins ^[1], Ramsés Otto Cunha Lima ^[2]

^[1] Universidade Federal Rural do Semi-Árido, graduando do curso de engenharia mecânica; samuelmartins2802@gmail.com

^[2] Universidade Federal Rural do Semi-Árido; orientador; ramses.cunhalima@ufersa.edu.br

Resumo: O conceito de “boa usinabilidade” geralmente se refere à ação de corte sem problemas e a uma vida apropriada da ferramenta. O setor industrial vem buscando a otimização dos processos de usinagem, pois o desgaste de ferramentas é um dos principais problemas no que se diz respeito a despesas geradas. O desgaste está atrelado a custos de manutenção ou limitações na produção. Essas otimizações estão diretamente ligadas a estudos sobre relações que os materiais têm com processos de usinagem. Este trabalho investiga quais as influências da microdureza na usinabilidade e avalia a influência das fases na vida/desgaste da ferramenta. Sendo assim foram utilizadas amostras de aço ABNT 4340, sendo uma temperada e revenida e outra na condição de como recebido. Essas amostras passaram por ensaios de torneamento, análise de desgaste da ferramenta de corte, análise de rugosidade, ensaios de microdureza e microscopia. Com esses ensaios foi possível concluir que de modo geral a amostra temperada e revenida possui uma pior usinabilidade. Essa amostra possui maior fase de martensita na sua microestrutura, enquanto que na amostra no estado de como recebido possui mais fase ferrítica, contribuindo para um maior valor de microdureza e para um maior desgaste na ferramenta de usinagem.

Palavras-chave: Microdureza; Usinabilidade; Desgaste; Aço ABNT 4340

1. INTRODUÇÃO

No setor industrial nota-se um interesse cada vez maior na otimização econômica dos processos de produção, sendo que a cada dia é dada uma maior atenção a todos os fatores que interferem nos custos e na qualidade final do produto [1]. Dentre os processos de fabricação, a usinagem é um dos processos mais empregados, pois grande parte das peças oriundas de matérias prima não planas são fabricadas por usinagem ou necessitam de algum tipo de usinagem, como por exemplo, furação, corte ou rebarbação. Assim, a escolha adequada do material a ser usinado, dos parâmetros de corte, da ferramenta de corte, dos fluidos de corte e da máquina-ferramenta, garante a otimização do processo e a qualidade do produto a um custo otimizado [2].

A usinagem é utilizada em vários segmentos, como a indústria de mineração, sucroalcooleira e de produção de aços. Nessas indústrias o desgaste é um fenômeno que pode causar danos a seus componentes e equipamentos, pois representa um dos fatores de fontes de despesas com manutenção. O desgaste influi em custos diretos de produção devido a necessidade de reposição ou recuperação de peças, e também nos custos indiretos pelas limitações na produção devido a equipamentos deteriorados além das interrupções imprevistas nas linhas de produção [1]. Vale destacar que o desgaste abrasivo, por exemplo, é o mecanismo mais recorrente nos processos industriais, pois é responsável por aproximadamente 63% dos custos de recuperação de componentes mecânicos [3]. Sendo assim, as empresas devem buscar a melhoria da capacidade de produção, e isso não depende apenas da vida útil da ferramenta de corte, ou seja, do tempo que ela trabalha efetivamente até perder a sua capacidade de corte e ser trocada, mas também da matéria prima empregada. Quando se está trabalhando com grandes lotes de produção, é importante analisar as condições destes materiais, quanto a sua microestrutura e características mecânicas [4]. Como no trabalho [4] que cita que em aços de baixo carbono, quando submetidos a encruamento, o baixo teor de ferrita melhora sua usinabilidade, pois os valores dureza e microdureza foram alterados. Já os aços de médio carbono, possuem boa usinabilidade quando as

microestruturas são ferrita e perlita. Sendo assim, a matéria prima exerce influência sobre a formação do preço de venda. É importante que as empresas, além de comprar a matéria prima pelo menor preço, desenvolva materiais que possam contribuir para diminuição do desgaste ferramenta de corte.

O grau de dificuldade de se usar um determinado material é conhecido como usinabilidade [5]. Ainda não está definida, em termos precisos, a usinabilidade dos materiais metálicos e, por isso, a citação de um único número, para taxa de usinabilidade, é equivocado [6]. Pode-se ter um material com boa usinabilidade quando se leva em conta uma propriedade de usinagem, como por exemplo, a vida da ferramenta e não possuir boa usinabilidade quando se leva em conta outra propriedade, como por exemplo, a rugosidade da peça usinada [5]. Logo para uma melhor avaliação de usinabilidade, não é interessante fazer a análise de apenas uma propriedade, mas analisar várias propriedades que podem estar influenciando essa dificuldade de usar o material.

Existem alguns trabalhos relacionados a usinabilidade, com o intuito de investigar melhor o assunto obtendo mais informações que podem ser úteis no setor industrial [2,7]. Um desses estudos fala sobre os mecanismos de desgaste de ferramentas no torneamento com alta velocidade de corte no aço ABNT 4340, onde se conclui que os desgastes não são provenientes de um único mecanismo, mas a combinação de vários deles com a ocorrência principal da abrasão [7]. O outro estudo investiga a influência da microestrutura na usinabilidade em aços inoxidáveis AISI 630 com e sem adição de cálcio, que concluiu que essas adições influenciam na usinabilidade, favorecendo a formação de inclusões [2].

1.1. Influência dos Parâmetros de usinagem na Usinabilidade

A usinabilidade depende de condições intrínsecas do material da peça e de condições extrínsecas. Dentre as condições intrínsecas pode-se destacar a composição química do material, sua microestrutura e propriedades mecânicas (dureza, resistência a tração). Como condições extrínsecas temos, por exemplo: os parâmetros de corte, tipo de corte, geometria de ferramenta e uso de fluido de corte [5].

Para avaliação da usinabilidade, são, geralmente, usados três critérios: a vida da ferramenta, força de usinagem e qualidade superficial da peça, podendo ser utilizadas isoladamente ou em conjunto [6]. Para avaliar a influência desses três parâmetros na usinabilidade, nos próximos parágrafos serão apresentadas as suas definições e estudos onde comprovaram como essas condições de usinagem e quais parâmetros de corte colaboram para uma boa usinagem.

O conhecimento da grandeza e da orientação da força de usinagem, é a base para o projeto de uma máquina ferramenta. A força de usinagem é um parâmetro que exprime a usinabilidade de um material, sendo que geralmente materiais de baixa usinabilidade apresentam forças de usinagem elevadas [8]. Em um estudo [9] foi avaliado a influência da velocidade de corte (V_c) e profundidade de usinagem (a_p), sobre o torneamento do aço AISI D2 com microdureza de 595 HV. O autor verificou que a profundidade de usinagem tem mais influência na força de corte, seguida pela velocidade de corte. Com o aumento da profundidade, maior será o contato entre a ferramenta e a peça de trabalho, resultando no aumento da força necessária para completar a operação de corte. À medida que o raio de ponta aumentou, a área de contato entre a ferramenta e a peça de trabalho foi ampliada, o que resultou em um maior atrito e aumentou, por conseguinte, a força de corte, fazendo com que a usinabilidade seja mais dificultada.

A vida de uma ferramenta de corte pode ser definida como sendo o tempo em que a mesma trabalha efetivamente, sem perder o corte ou até que se atinja um critério de fim de vida previamente estabelecido, fator mais utilizado para expressar a usinabilidade dos materiais [8]. Um estudo [10] avalia os efeitos da usinagem na vida da ferramenta de corte com diferentes revestimentos ao usar um aço AISI 1045 a alta velocidade, esse estudo foi importante pois comprovou que a vida da ferramenta é uma propriedade que está mais associada aos parâmetros de corte (V_c e a_p) que ao material da ferramenta.

O acabamento de componentes usinados pode, muitas vezes, ser o fator determinante para substituição de ferramentas de corte nas linhas de produção. A qualidade de superfícies geradas por usinagem pode ser um fator mais importante para a determinação dos parâmetros de entrada na usinagem, principalmente as condições de corte, especialmente o avanço. [8]. Em um estudo [11] o aço ABNT 4340 é usinado com diferentes materiais da ferramenta de corte, além de variar a geometria dessa ferramenta, e o parâmetro de avanço da ferramenta, a conclusão foi que a maior influência no acabamento da peça se deu para um maior avanço da ferramenta, pois com o aumento do avanço em cerca de 2,5 vezes levou a um ganho de 5 vezes na rugosidade média da superfície, corroborando com [8] que apontou o avanço com um fator de maior influência. Em outro estudo [12], foi

analisada a rugosidade do aço 1020 no torneamento e conclui que quando a rotação é maior e o avanço menor, o valor da rugosidade é menor, obtendo um acabamento com menor valor de rugosidade fortalecendo as discussões de [8,11].

Visto que a rugosidade do material usinado é um dos parâmetros para avaliação da usinabilidade, se torna necessário analisar também outros fatores atrelados ao material usinado, como a sua dureza e seus microconstituintes.

1.2. Influência da Microestrutura e Dureza na Usinabilidade

A Microestrutura de um material é caracterizada pelo número de fases presentes, por suas proporções e pela maneira pela qual elas estão distribuídas ou arrançadas. Outra propriedade importante é a dureza, uma medida de resistência de um material a uma deformação plástica localizada (por exemplo, uma pequena impressão ou um risco). Os ensaios de dureza mais conhecidos são o Rockwell e Brinell, em ambas um penetrador duro é forçado contra a superfície do metal a ser testado. Outros métodos conhecidos são o Knoop e Vickers, esses dois são adequados para a medição de dureza em regiões pequenas e selecionadas, esses valores são chamados de Microdureza, pois a impressão resultante é observada sob um microscópio [13].

Em função da possibilidade da transformação da microestrutura do aço, sem alteração da composição química, a microestrutura é um importante fator de influência na usinabilidade. Os elementos da microestrutura alteram as características de ductilidade e de fragilidade em função da sua presença, quantidade e forma, promovendo diferentes condições de abrasividade, força e temperatura de corte [4].

Para se usinar com baixas forças de corte, baixas tensões, baixas temperaturas de corte e, portanto, pequenas taxas de desgaste e boa usinabilidade, é desejável que a peça usinada tenha baixa dureza. Infelizmente baixa dureza é geralmente associada a alta ductilidade, que é indesejável, porque promove grandes comprimentos de contatos cavaco ferramentas, grandes forças de usinagem e pobres acabamentos superficiais. Desta forma, tem que existir um equilíbrio entre essas duas propriedades. [8]

Para se elevar a dureza de um material geralmente o tratamento térmico utilizado é o de têmpera, pois através dela é formada a martensita, que é uma fase metastável, que aparece no resfriamento brusco da austenita e influencia no aumento da dureza do material. Outra fase que influencia no aumento de propriedades mecânicas é a bainita, que pode ser formada nos tratamentos de austêmpera e tem como objetivo aumentar ductilidade e resistência ao impacto sem diminuir a dureza [14].

As microestruturas estão relacionadas com a dureza do material e consequentemente na usinabilidade. No estudo [15], no qual o pesquisador usinou três peças do aço AISI 1045 com os mesmos parâmetros, porém uma peça sem tratamento térmico e duas peças com o tratamento de têmpera, chegando à conclusão que o processo de tratamento térmico foi fundamental para aumentar a dureza superficial dos aços. Além de que a dureza do material influenciou diretamente na usinagem, devido que quanto maior for a sua dureza, maior serão os esforços de corte, e consequentemente, o aumento de tensões sobre a ferramenta, podendo vir a danificá-la. A usinabilidade de materiais duros se dá de forma mais crítica, pois a dureza do material fará com que a ferramenta sofra maior esforço, podendo causar assim um aumento de vibrações.

No Aço ABNT 4340 é possível ver a influência da microestrutura na dureza do material, visto que na pesquisa [16] na qual se avalia a têmpera e revenimento na dureza e microestrutura desse aço, foi observado que ao ser submetido à têmpera, tem sua dureza dobrada. Já no revenido foi observado que em baixas temperaturas não promove redução de dureza significativa, já que a 200°C não ocorre a recuperação e recristalização da martensita, sendo que só começa a cair significativamente nos tratamentos com temperatura de encharque superiores a 400°C. Em outro estudo [17] foi realizada a têmpera e revenimento no ABNT 4340, foi concluído que o aço reagiu de forma positiva após a têmpera, com aumento da dureza, o material ficou com cerca de 55 HRC e com 72% de martensita na sua composição.

O Aço ABNT 4340 é considerado um aço duro, logo em alguns casos é necessário fazer um tratamento de recozimento que visa reduzir a dureza do aço, aumentar a usinabilidade, facilitar o trabalho a frio ou atingir a microestrutura desejada [14]. Isso é observado no trabalho [18] no qual o autor além do recozimento fez uma normalização, e concluiu que a dureza medida em questão se comportou conforme o esperado para esse material em média 56 HRC. Conforme o aço foi ganhando tratamento térmico, o valor foi diminuindo, pois quando foi submetido à normalização a dureza foi em média 51 HRC, e quando recozido 46 HRC é verificado o quanto que os tratamentos térmicos que foram realizados nas amostras nos auxiliam na diminuição na dureza do

material. Já nas análises metalográficas das amostras, foi mostrado que antes do tratamento, se apresentam as microestruturas de ferrita e bainita, e elas se alteraram devido foi ganhando tratamento térmico, onde ficou visível além deles, a perlita.

É possível ver também a influência da microestrutura na microdureza do material. Como visto no estudo [19] onde o pesquisador comparou a microestrutura e microdureza no aço ABNT 4340 a diferentes tempos de recozimento, observando que conforme foi aumentando o tempo, menores foram os valores de microdureza das amostras, visto que sem tratamento térmico, era em média 333,1 HV. Ao variar o tempo de recozimento de até 2 horas o valor foi em média 295 HV, já no tempo de 4 horas, foram encontrados valores em torno de 190 HV. Na microscopia foi possível observar que conforme o tempo de recozimento aumentava, maiores eram os grãos ferríticos e menores eram os grãos perlíticos, ocasionando alto decréscimo da microdureza a valores tão baixos quanto 200 HV. Outro estudo [20] no qual o pesquisador fez análise de ensaios de dureza em aços de construção mecânica em diversos estados, o aço ABNT 4340 é observado microscopicamente em três tratamentos térmicos com seus valores de microdureza e assim como no estudo [19] foram encontrados valores baixos no recozimento, cerca de 280 HV, com grãos de ferrita e perlita. Já na Normalização a estrutura ficou mais organizada, com perlita mais fina, aumentando a microdureza para 351,4 HV, no tratamento de têmpera e revenido, foi possível observar a redução do tamanho dos grãos de ferrita e difusão da martensita, assim sua microdureza aumentou para 572 HV.

1.3. Mecanismos de desgaste

Visto que tanto a microestrutura quanto a dureza são critérios para avaliar a usinabilidade e que elas estão diretamente ligadas ao desgaste da ferramenta de corte, é importante analisar quais os tipos de desgaste e mecanismos de desgaste podem ser encontrados na usinabilidade do aço ABNT 4340.

De um modo geral, o desgaste abrasivo acontece quando material é removido ou deslocado da superfície por partículas duras que podem estar soltas, entre duas superfícies com movimento relativo, ou emergindo de uma das superfícies, neste caso pertencente a ela. O desgaste abrasivo pode envolver deformação plástica e fratura frágil, gerando perda ou deslocamento de material, causados por partículas de elevada dureza relativa [8].

No estudo [21] foi usinado o aço ABNT 4340 recuperado com solda, o tipo de desgaste observado foi o de flanco sendo provocado por mecanismos abrasivos, devido ao movimento relativo entre a aresta de corte e a nova superfície da peça. Já no estudo [22] foram estudados os parâmetros para a melhoria da usinabilidade do aço ABNT 4340, e assim como a pesquisa [21], foi encontrado o desgaste de flanco influenciado por diferentes taxas de avanço da ferramenta.

Outro mecanismo de desgaste que pode estar presente é o *attrition*, também conhecido como desgaste por aderência e arrastamento, este mecanismo ocorre quando fragmentos microscópicos são arrancados da superfície da ferramenta e arrastados junto ao fluxo de material adjacente à interface. Ele é considerado um mecanismo de desgaste característico de baixas velocidades de corte. Entretanto, isto pode ser bem relativo. Se o fluxo de material que corre na superfície de saída ou na superfície de folga for irregular, também a altas velocidades, pode favorecer o *attrition* [8].

Na pesquisa [8] que investiga os mecanismos de desgaste de ferramentas no torneamento com alta velocidade de corte no aço ABNT 4340 endurecido foi concluído que os desgastes ocorridos não são provenientes de um único mecanismo, mas de uma combinação de vários deles com a ocorrência principalmente de abrasão, e *attrition*. Reforçando essa análise em outro estudo que analisa o desgaste das ferramentas de metal-duro no torneamento aço ABNT 4340 endurecido [23], foi observado que a cratera no gume das ferramentas foi a principal forma de desgaste, sendo principalmente atribuída ao mecanismo de desgaste da abrasão, essa análise foi observada variando velocidades de corte (100; 130; 160 e 190 m/min). Em todas as condições foi observado material aderido à ferramenta ao final da vida dos experimentos, proveniente do mecanismo de *attrition*.

Nesse contexto, este trabalho propõe investigar, através da usinagem do aço ABNT 4340, como a microdureza influencia na sua usinabilidade. Tem como objetivos fazer tratamentos térmicos de têmpera e revenimento no aço, com a finalidade de se obter um maior valor de microdureza no material, além de obter diferentes fases do material e assim fazer a metalografia seguida de ensaio de e microdureza para o levantamento dos dados necessários para verificar sua influência na usinabilidade, analisando o avanço do desgaste de flanco

da ferramenta de corte durante o torneamento das amostras, o acabamento dessas amostras após a usinagem e o a análise do cavaco gerado durante a usinagem.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção foram caracterizados todos os materiais e equipamentos utilizados durante os experimentos, com o objetivo de detalhar o procedimento. Os processos foram realizados nos Laboratório de Usinagem, Laboratório de Ensaios Mecânicos e Laboratório de Microscopia e Metalografia, todas localizadas no Centro de Engenharias da UFERSA campus Mossoró-RN.

2.1. TRATAMENTOS TÉRMICOS

Os primeiros procedimentos feitos nesse trabalho foram os de tratamento térmico, visando preparar amostras de diferentes microdurezas para os principais experimentos desse trabalho que são os de usinabilidade, que serão detalhados em tópicos posteriores.

O material utilizado para o tratamento térmico foi uma barra do aço ABNT 4340, na qual, com auxílio de uma cortadora metalográfica de bancada foram seccionadas duas amostras, uma delas com comprimento de aproximadamente 120 mm, e outra de aproximadamente 15 mm, ambas com diâmetro de 38 mm. O forno utilizado foi do tipo mufla fabricado pela Zezimaq®, com temperatura máxima de 1200 °C.

Os tratamentos térmicos escolhidos foram os de têmpera e revenimento, para a têmpera as amostras foram aquecidas acima da temperatura de austenitização, que segundo [14] é acima de 800 °C com isso a têmpera foi realizada nas duas amostras a uma temperatura de 850 °C, o tempo de aquecimento está relacionado com o diâmetro das amostras, o tempo recomendado para 38mm é de 90 minutos segundo a literatura [24]. Para o revenimento as amostras foram aquecidas a uma temperatura de 200°C, visando não ter maior perda na microdureza, caso fosse feita a uma temperatura mais alta [14], assim como na têmpera, o tempo de aquecimento está relacionado ao diâmetro da amostra, o tempo utilizado foi de 120 minutos, seguindo recomendação da literatura [24].

2.2. ANÁLISE METALOGRÁFICA E ENSAIOS DE MICRODUREZA

Para a microscopia foi utilizado um Microscópio Metalográfico Óptico Modelo GX51 da Olympus® de ampliação máxima de 1000x. Para o ensaio de microdureza foi utilizado o microdurômetro série HVM fabricada pela Shimadzu®.

Antes das análises e dos ensaios as amostras do aço ABNT 4340 passaram pelo processo metalográfico seguindo as etapas de lixamento, polimento e ataque químico. Para o lixamento foram utilizadas lixas de granulação na seguinte ordem: 100, 220, 320, 400, 600, 1000, 1200, mudando a direção em 90° entre cada lixa, prestando atenção se desapareceram os traços da lixa anterior. O polimento foi realizado na politriz Arotec® utilizando a alumina em suspensão de 0,1 µm como agente polidor, o procedimento é parecido com o de lixamento, é importante observar que a superfície das amostras fique bem espelhada ao final da etapa. Para o ataque químico a solução utilizada foi a de Nital 2%, entrando em contato com a superfície das amostras por 15 segundos, em seguida sendo lavadas com água e álcool isopropílico. Posteriormente foram feitas as análises de microscopia e ensaio de microdureza.

As amostras para a análise metalográfica e ensaios de microdureza estão representadas na Figura 1.



FIGURA 1. Amostras do aço ABNT 4340 temperado e revenido (esquerda) e como recebido (direita).

Na Figura 1 é possível observar que ambas possuem a mesma área para análise microscópica e ensaio de microdureza, tendo um diâmetro de 38 mm. Para as análises microscópicas as fotos foram capturadas com ampliação de 500x e de 1000x para melhor visualização de grãos. Para o ensaio de microdureza, a carga utilizada foi de 0,2 kgf e penetrador de diamante, sendo realizadas 10 medidas em cada amostra

2.3. USINABILIDADE

Para uma boa análise de usinabilidade é necessário realizar experimentos além da usinagem propriamente dita, com isso esse tópico pretende detalhar os procedimentos que irão resultar numa análise mais aprofundada da usinabilidade. Para os experimentos foram utilizados tarugos de ABNT 4340 como mostrado da Figura 2, um deles passou por tratamento térmico de têmpera e revenimento como já detalhado nesse trabalho e o outro na condição de como recebido. Ambas com 120 mm de comprimento e 38 mm de diâmetro.



FIGURA 2. Tarugos do aço ABNT 4340 temperado e revenido (esquerda) e como recebido (direita).

Para os ensaios de usinagem, utilizou-se o torno da marca Nardini® e modelo NODUS 220, com rotação máxima de 2360 rpm e avanço mínimo de 0,042 mm/rot. A ferramenta de corte utilizada foi o inserto de metal duro de marca de referência Iscar® e modelo TNMG 160404 TF IC907 e um suporte de ferramenta fabricada pela Masterfer®, tipo MTJNR 2020 K16. Para monitorar o desgaste e a vida da ferramenta de corte utilizou-se um microscópio óptico com Câmera Digital USB 1000x com resolução máxima de 640x480, fabricada pela Nova Digital®. O equipamento foi conectado ao computador pelo software AmScope®.

De acordo com a literatura [10,21,22], pode-se estabelecer que serão fixados os seguintes parâmetros de usinagem para os dois tarugos a cada passe: Torneamento a seco com percurso de corte (L_f) de 55 mm, profundidade de corte (a_p) de 0,5 mm, avanço (f) de 0,109 mm/rot e uma rotação (n) de 1500 rpm, de forma que existe a necessidade de buscar valores compatíveis com que a máquina que será utilizada dispõe.

Antes do procedimento em si, realizou-se um desbaste prévio de 1 mm, afim de padronizar a superfície do material removendo a camada de óxido e descartando qualquer problema de desbalanceamento que interfira nos dados que serão coletados. Estabeleceu-se um padrão de análise de vida da ferramenta no microscópio a cada 2 passes, até que o percurso total de corte (L_f) chegasse a 660 mm, o equivalente a 12 passes, esse critério foi estabelecido como sendo o necessário para que a aresta utilizada pra usinar o aço tratado chegasse ao fim de vida. A cada análise no microscópio é verificado se a câmera estava calibrada com o auxílio de um paquímetro.

Para as análises de rugosidade as medições foram feitas com um rugosímetro portátil da empresa Insize®, modelo ISR – C300. Para a medição de rugosidade, os tarugos foram previamente limpos com uma flanela, sempre observando para que não ficasse fios de algodão na superfície. A rugosidade foi definida pelos parâmetros de amplitude R_a , R_q e R_t segundo a norma NBR ISO 4287 (2002) [25] e o comprimento de medição *cut-off*, ou comprimento de amostragem utilizado foi de 2,5 mm e comprimento de avaliação de 12,5 mm. A rugosidade foi medida em três posições longitudinais e equidistantes à 15 mm da origem da medição anterior. Posteriormente foram calculados a média aritmética e o desvio padrão dos resultados obtidos.

Além dessas análises, durante o processo de torneamento, foram coletadas amostras de cavaco das duas amostras do aço ABNT 4340 para ampliar a discussão sobre usinabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. ANÁLISE MICROSCÓPICA E DE MICRODUREZA

Na Figura 3, é mostrado os resultados da microscopia ótica, é possível observar as microestruturas do aço ABNT 4340 como recebido em aumentos de 500x e 1000x.

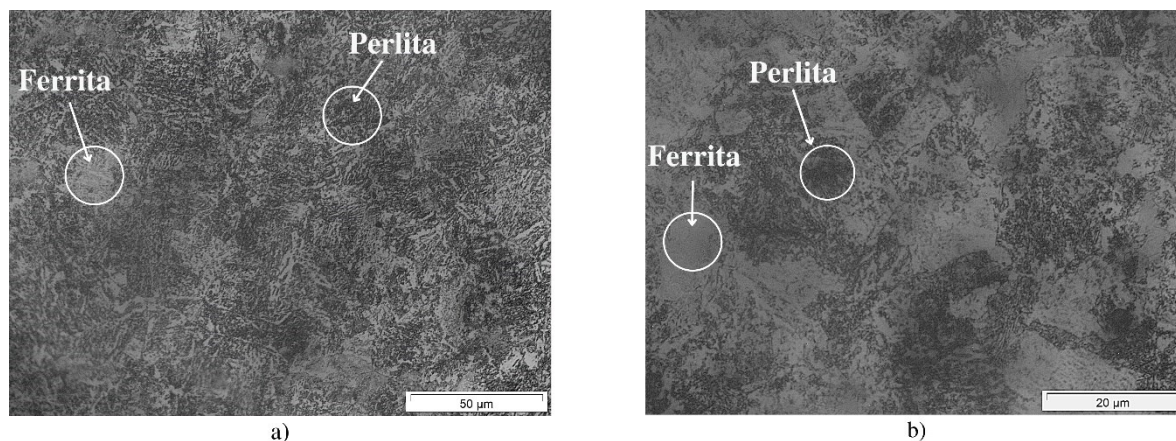


FIGURA 3. Microestrutura do aço ABNT 4340 como recebido com aumentos de: (a) 500x e (b) 1000x.

Na Figura 3, principalmente na ampliação de 1000x é observado grande presença de ferrita (fase mais clara), e uma fase mais escura que segundo estudos pode ser a perlita, sendo assim condizentes com trabalhos na área [16,19].

Na Figura 4 é possível observar as microestruturas do aço ABNT 4340 temperado e revenido em aumentos de 500x e 1000x.

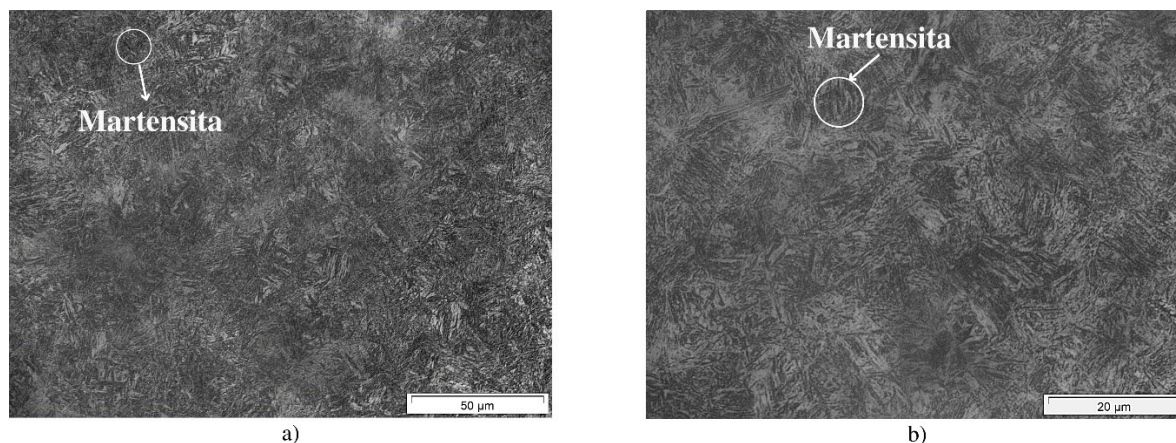


FIGURA 4. Microestrutura do aço ABNT 4340 temperado e revenido com aumentos de: (a) 500x e (b) 1000x.

Na Figura 4 é possível observar a ausência da fase ferrita em sua microestrutura em relação a microestrutura da amostra do aço ABNT 4340 como recebido, isso acontece devido ao aumento da presença da martensita que acontece no processo de têmpera, conforme também encontrado em outros estudos [16,19]. Segundo [26] o ataque químico feito pelo Nital 2% não favorece a perlita pois resulta em áreas escuras, confundindo com outros constituintes, além disso [27] diz que a bainita pode estar presente numa coloração escura com este ataque.

É observado na Tabela 1 que como esperado, a amostra do aço ABNT 4340 com o tratamento de têmpera e revenimento possui um valor de microdureza vickers maior do que a amostra do aço como recebido.

TABELA 1. Valores médios de Microdureza e desvio padrão.

	<i>Como recebido</i>	<i>Temperado e Revenido</i>
Microdureza Média (HV)	333	490
Desvio Padrão	7,38%	6,95%

Como visto nas análises microscópicas, na amostra do aço temperado e revenido houve o surgimento da fase martensita, que implica diretamente no aumento da dureza do material [14], isso é observado quando comparado a outros estudos que realizaram tratamento térmico de têmpera e revenimento e também obtiveram aumento na dureza [16,17,20]. Além disso, é importante ressaltar que a amostra do aço como recebido possui uma predominância da fase ferrita. É possível observar a influência dessa fase na microdureza da amostra, pois estudos comprovaram que com o aumento dessa fase, houve um decréscimo de microdureza, através da realização do tratamento térmico de recozimento [18,19]

3.2. ANÁLISE DE DESGASTE DA FERRAMENTA DE CORTE

Na Figura 5 é possível observar o avanço do desgaste da aresta de corte em 8, 10 e 12 passes após usinado o aço ABNT 4340 temperado e revenido.

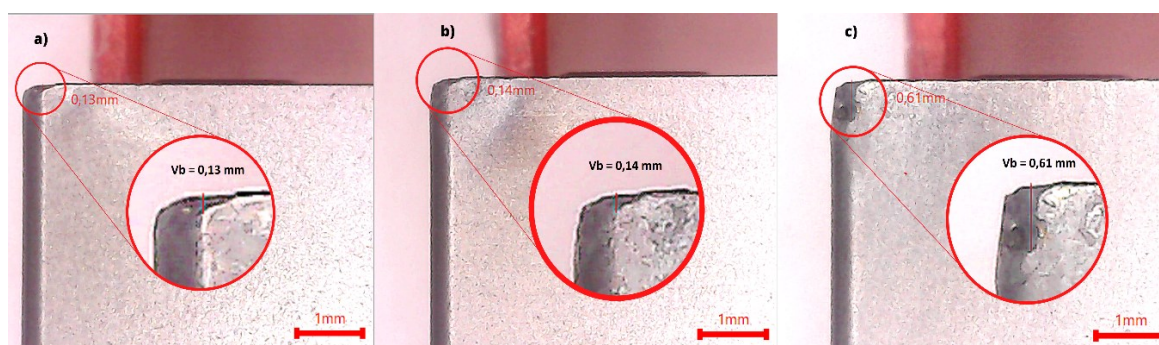


FIGURA 5. Avanço do desgaste da aresta de corte no corte do aço ABNT 4340 temperado e revenido após: (a) 8 passes e (b) 10 passes e (c) 12 passes.

Visto que foi estabelecido que a usinagem fosse até a medição de 0,3 mm do desgaste, é notável que houve um valor bem mais alto, sendo que de uma análise para outra passou 0,14 mm para 0,61 mm. Esse resultado não era esperado, e ao invés de um desgaste de flanco previsto, supõe-se que ocorreu uma avaria, porém para comprovar essa suposição seria necessário por exemplo de análise em um Microscópio Eletrônico de varredura (MEV), pois poderia chegar à conclusão da origem dessa avaria (térmica ou mecânica) além, dos mecanismos de desgaste presentes.

A partir da quantidade total de passes em que se deu o fim de vida da aresta de corte e com o comprimento de cada passe que corresponde a 55 mm, obtém-se um Lf de aproximadamente 660 mm.

Na Figura 6 observa-se imagens da aresta de corte após torneamento do aço ABNT 4340 como recebido nos mesmos comprimentos usinados da amostra anterior, ou seja, com Lf total de 660 mm.

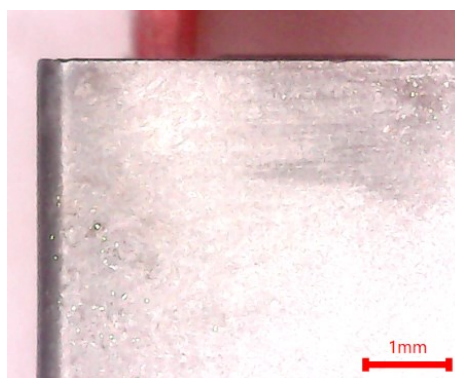


FIGURA 6. Aresta da ferramenta de corte após 12 passes no aço ABNT 4340 como recebido.

É notável a diferença de resultados, visto que na amostragem do aço tratado no passe 8, já se obtinha um desgaste visível e mensurável. Não houve desgaste considerável na aresta de corte utilizada na usinagem do aço como recebido, ou seja, como já pressuposto é demandado um L_f maior para que comece a se perceber um desgaste mensurável da ferramenta.

Na Figura 7 é mostrado o desgaste em milímetros ao longo do tempo em segundos nas duas condições do aço utilizado nesse trabalho.

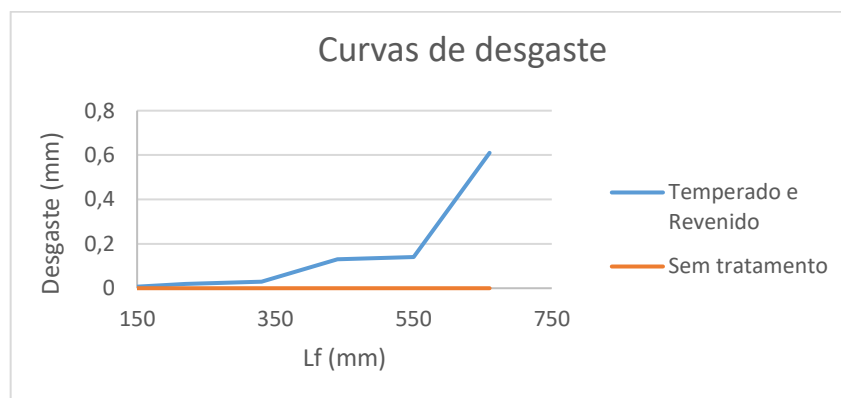


FIGURA 7. Desgaste ao longo do tempo das duas condições de material.

A diferença encontrada nas curvas ocorreu pelo fato de, apesar de serem o mesmo aço, o tratamento térmico que uma das amostras passou, como já foi visto, elevou a microdureza do material, desgastando mais a aresta de corte da ferramenta. O resultado da usinagem da amostra não temperada condiz com o trabalho similar [10] onde o autor usinou usando L_f de 1880 mm do aço ABNT 4340 utilizando metal duro e através do MEV, não foi identificado qualquer desgaste de flanco (V_b) ou avarias.

3.3. ANÁLISE DE RUGOSIDADE

Na Tabela 2 é mostrada os valores médios para R_a , R_q e R_t após a usinagem das amostras e seus respectivos desvios padrão.

TABELA 2. Valores de R_a , R_q e R_t para o tarugo do ABNT 4340 como recebido e temperado e revenido.

	<i>Como recebido</i>	<i>Temperado e revenido</i>
Média de R_a (μm)	5,996	11,740
Desvio Padrão de R_a	13,60%	22,74%
Média de R_q (μm)	7,288	14,817
Desvio Padrão de R_q	12,30%	21,70%
Média de R_t (μm)	39,767	76,291
Desvio Padrão de R_t	5,87%	25,55%

Observa-se na Tabela 2 que apesar das duas amostras estarem submetidas aos mesmos parâmetros de usinagem (rotação, avanço e profundidade de corte) a amostra do aço como recebido possui a menor média de rugosidade para todos os parâmetros, ou seja, possui um melhor acabamento. Isto pode ter acontecido devido a elevação da dureza do aço temperado e revenido, que acarretou numa elevação de temperatura durante o processo de usinagem. A dureza é um fator que influencia no acabamento da amostra e deve ser um problema a ser resolvido com a utilização de uma ferramenta de corte mais resistente ao desgaste ou o uso de lubrificação, pois reduz o desgaste da ferramenta e o atrito entre a ferramenta e a peça, contribuindo para uma melhoria no acabamento [8]. Além disso, à medida que o desgaste da ferramenta evolui a rugosidade apresenta uma tendência maior a aumentar [28].

É interessante observar também a diferença no desvio padrão, pois a amostra do aço como recebido, mesmo que com o acabamento melhor possui uma certa irregularidade dos seus dados, porém essa irregularidade é ainda mais visível na amostra do aço temperado e revenido. É importante salientar que fatores da máquina, como por exemplo, problemas de vibração influenciam tanto no desgaste quanto no acabamento da peça.

3.4. ANÁLISE DE CAVACO

Na Figura 8 é observada amostras do padrão de cavaco retiradas durante o processo de torneamento do aço ABNT 4340 nas condições estudadas nesse trabalho, ou seja, uma temperada e revenida, outra como recebido.

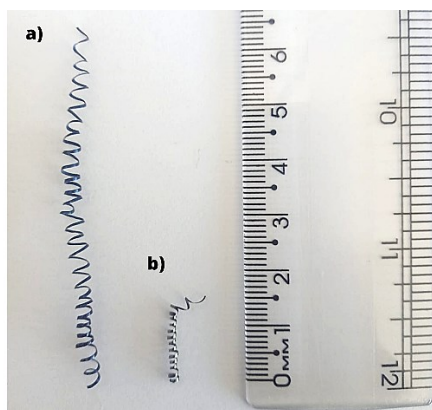


FIGURA 8. Amostras do padrão de cavaco retiradas durante o processo de torneamento do aço ABNT 4340: a) como recebido b) temperado e revenido.

Analisando a imagem existem alguns aspectos que se pode comparar com estudos, como por exemplo a forma do cavaco, sendo em ambos cavacos helicoidais, compatível com estudo no qual o pesquisador usina o ABNT 4340 sem tratamento térmico com ferramenta de metal duro e o formato helicoidal prevalece [10].

Um aspecto que a literatura aborda sobre a que o cavaco influencia na usinabilidade é a sua coloração [8]. Nas amostras de aço como recebido foram obtidos cavacos de coloração azul, enquanto que na amostra temperada e revenida o cavaco possui coloração marrom. A literatura [8] diz que a coloração é um indicativo das temperaturas no cavaco de aços, sendo geralmente marrom ou azul, sendo provocada pela formação de uma fina camada de óxido. Tendo estudo que relaciona com a usinabilidade, concluindo que diminuindo o avanço o cavaco passa de uma coloração marrom para azul [10].

Foi observado durante a usinagem e também é mostrado na Figura 8, que a formação dos cavacos na amostra do aço como recebido foram dadas de forma mais contínua que o cavaco da amostra temperada e revenida, isso pode ser explicado pelo fato que no tratamento térmico de têmpera, ao aumentar a microdureza, há uma diminuição da ductilidade, ou seja, o material se torna mais frágil [7,26].

4. CONCLUSÃO

Por meio das análises microscópicas e de microdureza pode se concluir que tanto a diminuição da fase ferrita na microestrutura do aço, quanto o aumento da fase martensita, estão relacionadas ao aumento da microdureza do material, visto que o valor foi de em média 333 HV para 490 HV.

Ao observar o avanço do desgaste da ferramenta de corte foi concluído que ao se usar o aço temperado e revenido, a ferramenta de corte chega ao fim de vida antes do que a amostra do aço como recebido, sendo que ao se usar 12 passes, foi medido um desgaste de flanco de 0,61 mm na amostra tratada, enquanto que ao se usar a amostra do aço como recebido não houve desgaste significativo, ou seja, é improdutivo usar um material com maior microdureza com mesmos parâmetros de corte do que um material com menor microdureza, pois podem haver várias interrupções durante o processo de usinagem para troca de ferramenta.

Com as análises de rugosidade pode se concluir que o acabamento da amostra do aço como recebido foi melhor, pois foi visto que na amostra com maior microdureza os valores para Ra, Rq e Rt, foram quase duas vezes maiores que a amostra do aço como recebido.

Ao analisar as amostras de cavaco foi visto que o material mais duro, gera cavacos descontínuos, sendo positivo para uma boa usinagem, pois cavacos contínuos é um problema que a indústria encontra.

5. AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, Dr. Ramsés Otto Cunha Lima, por todo conhecimento compartilhado, e a paciência na orientação. Aos laboratórios de ensaios mecânicos e de microscopia e metalografia e de usinagem da Engenharia Mecânica da UFERSA Campus Mossoró, por fazer ser possível todos os experimentos e análises feitos neste trabalho sem sair da universidade.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Leite, R.V.M.; Marques, P.V. Comparative Study of the Wear Resistance of Three Metal Cored Wire Welded Coatings Used in Industry. *Soldagem Insp.* 2019, Vol. 14, 7p.
- [2] Matsumoto, H.; Minatogawa, J.; Gallego, J. Influência da Microestrutura na Usinabilidade dos Aços Inoxidáveis AISI 630 com e sem Adição de Cálcio. *Revista Matéria.* 2005, Vol. 10, 9p.
- [3] Minatto, R.M.; Costa, A.F.; Daleffe, A. Estudo comparativo da resistência ao desgaste abrasivo de baixa tensão de três ligas metálicas aplicadas em revestimento duro sobre aço manganês hadfield. *Braz. J. of Develop.* 2020, Vol. 6, 12p.
- [4] Silva, R.A.; Neto, A.F. Estudo da microestrutura do aço SAE 1045 para a melhoria da usinabilidade. Uma proposta para gestão dos processos de usinagem. Em anais da International Congress on University-Industry Cooperation, 4., 2012, Taubaté – SP.
- [5] Diniz, A.E.; Marcondes, F.C.; Coppini, N.L. *Tecnologia da Usinagem dos Materiais.* 9ª ed.; Editora: Artiber, Brasil, 2014.
- [6] Baptista, A. L. B. Aspectos metalúrgicos na avaliação da usinabilidade de aços. *Rev. Esc. Minas.* 2002, vol. 55, p. 103-109.
- [7] Silva, L. R. et al. Mecanismos de desgaste de ferramentas no torneamento com alta velocidade de corte no aço ABNT 4340 endurecido. Em: Congresso Brasileiro de engenharia e ciência dos materiais, 20., 2012, Joinville – SC.
- [8] MACHADO, Álisson Rocha; ABRÃO, Alexandre Mendes; COELHO, Reginaldo Teixeira; SILVA, Márcio Bacci da. *Teoria da usinagem dos materiais.* 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2012. 397 p.
- [9] Anthony, X.M. Analysis of cutting force and chip morphology during hard turning of AISI D2 steel. *Journal of Engineering Science and Technology*, 2015, vol. 10, p. 282 – 290.
- [10] Hernández-González, L.W. et al. Estudio del desgaste del flanco de carburos recubiertos y cermet durante el torneado de alta velocidad en seco del acero AISI 1045. *Revista de metalurgia*, 2011, vol 47, p. 262-272.
- [11] Reis, B.C.M. et al. Influência do material da ferramenta de corte sobre a usinabilidade do aço ABNT 4340 no torneamento. *Revista Matéria*, 2019, vol 24, 15p.

- [12] Naitzke, D.A.C. et al. Análise da rugosidade superficial do aço SAE 1020 no processo de torneamento. *Revista Engenharia em Ação UniToledo*. 2019, vol 04. p. 81-95.
- [13] Callister, J.W.D. *Ciência e Engenharia dos Materiais - Uma Introdução*. 8ª ed.; Editora: LTC – Livros Técnicos e Científicos S.A, Brasil, 2002.
- [14] Silva, A.L.C.; Mei, P.R. *Aços e Ligas especiais*. 2ª ed.; Editora: Eletrometal S.A. Metais Especiais, Brasil, 1988.
- [15] Fritz, G.O.; Dalcin, L.R.; Dalcin, E.L. A usinagem de aços endurecidos com ferramentas de geometria definida: estudo de caso. 10p. 2017.
- [16] Ladeira, D.G. et al. Avaliação do revenimento na dureza e microestrutura do aço AISI 4340. *Revista Vértices*, 2017, Vol 19, p. 99-105.
- [17] Oliveira, A.R.; Junior, I.C.A.; Silva, G. Influencia da temperatura no revenimento do aço SAE 4340. 4 p. 2009.
- [18] Sevale, L.G. Avaliação das propriedades mecânicas e dos constituintes do aço SAE 4340 mediante tratamentos térmicos. Em anais do Congresso nacional de estudantes de engenharia mecanica, 21., 2014, Rio de Janeiro – RJ.
- [19] Freitas, B.M. et al. Comparativo da Microestrutura e da microdureza no aço 4340 a diferentes tempos de recozimento. Em anais do Congresso técnico científico de engenharia e de agronomia. 2016, Foz do Iguaçu – PR.
- [20] Zarur, G.D. Análise de Ensaios de dureza em aços de Construção Mecânica em diversos estados. 12p. 2018.
- [21] Sachetto, J.P.; Oliveira, D.C. Estudo comparativo de Usinabilidade entre os aços SAE 1045 e 4340 recuperados com solda. *Revista SITEFA*. 2019. Vol 2. p. 84-93.
- [22] Rashid, W.B. et al. Parametric design optimization of hard turning of AISI 4340 steel (69 HRC). *Int. J Adv Manuf Technol.*, 2015, Vol 82. p. 451-462,
- [23] Noll, C. Boing, D. Influência da velocidade de corte na vida e nos mecanismos de desgaste das ferrametnas de metal-duro no torneamento aço AISI 4340 endurecido. *Rev. Unifebe*. 2015, Vol 1, n 16. p. 61-76.
- [24] GGD METALS: Catálogo de aços de construção mecânica da GGD Metals. In: GGD METALS. Catálogo de Aços para construção mecânica, 2020. São Paulo: GGD METALS, 2020. p. 32
- [25] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 4287: Especificações geométricas do produta (GPS) – Rugosidade: Método do perfil – Termos, definições e parâmetros de rugosidade. Rio de Janeiro, p. 18. 2002.
- [26] Colpaert, H. Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns, 4ª. ed.; Editora: Edgard Blucher, Brasil, 2008; 652p.
- [27] Abdalla, A.J. et al. Caracterização macroestrutural de aços multifásicos por microscopia ótica com a utilização de diferentes ataques químicos. Em anais do Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais, 8., 2008 Porto de Galinhas-PE, Brasil.
- [28] Candido, L. O. Análise do desgaste da Pastilha de Metal duro WNMG080408-UG na usinagem do aço 1045: usinagem. 2020. 54 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Guarapuava, 2020.