



Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Engenharia Automotiva

**USINABILIDADE DO AÇO SAE 4340 EM DIFERENTES
TRATAMENTOS TÉRMICOS**

Autor: Felipe Brito Gonçalves Barbosa

Orientador: Prof. Rhander Viana

Brasília, DF

2018



FELIPE BRITO GONÇALVES BARBOSA

USINABILIDADE DO AÇO SAE 4340 EM DIFERENTES TRATAMENTOS TÉRMICOS

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Automotiva da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Automotiva.

Autor: Felipe Brito Gonçalves Barbosa

Orientador: Prof. Rhander Viana

Brasília, DF

2018

CIP – Catalogação Internacional da Publicação*

BARBOSA, Felipe Brito Gonçalves

USINABILIDADE DO AÇO SAE 4340 EM DIFERENTES
TRATAMENTOS TÉRMICOS / Felipe Brito Gonçalves Barbosa -
Brasília: UnB, 2018. 13 p. : il. ; 29,5 cm.

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília
Faculdade UnB Gama, Brasília, 2018. Orientação: Rhander
Viana.

1. Usinabilidade. 2. Aço SAE 4340. 3. Torneamento. I. VIANA,
Rhander. II. Usinabilidade do aço SAE 4340 em diferentes
tratamentos térmicos.

CDU 00:000:000.0



Felipe Brito Gonçalves Barbosa

USINABILIDADE DO AÇO SAE 4340 EM DIFERENTES TRATAMENTOS TÉRMICOS

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Automotiva da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, em 04 de Julho de 2018, apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

Prof. Rhander Viana

Orientador

Prof. Me. Danilo Oliveira

Membro Convidado

Prof. Me. Henrique Oliveira

Membro Convidado

Brasília, DF
2018

USINABILIDADE DO AÇO SAE 4340 EM DIFERENTES TRATAMENTOS TÉRMICOS

Felipe Brito Gonçalves Barbosa

Universidade de Brasília Faculdade do Gama

e-mail: felipe_brito09@hotmail.com

Rhander Viana

Universidade de Brasília Faculdade do Gama

e-mail: rhanderviana@gmail.com

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo principal estudar a usinabilidade do aço SAE 4340 sob o efeito de diferentes tratamentos térmicos, recozimento, normalização e têmpera, utilizando como medida da usinabilidade do material a potência elétrica ativa adquirida durante o torneamento. Foram realizados ensaios de caracterização das amostras tratadas termicamente, metalografia e durezas Rockwell B e C, e ensaios de potência elétrica ativa no torneamento. Os resultados mostraram que o efeito do tratamento térmico realizado influencia diretamente na usinabilidade do material, sendo que a amostra de aço SAE 4340 recozida foi a que apresentou melhor usinabilidade, e a amostra de aço SAE 4340 temperada a pior usinabilidade, levando a ferramenta de corte a falha catastrófica.

Palavras-chave: Usinabilidade, Aço SAE 4340, Torneamento, Potência Elétrica Ativa.

1. INTRODUÇÃO

Na usinagem é muito comum utilizar um banco de dados contendo informações úteis para o ponto de partida de uma determinada aplicação. Desta maneira é possível identificar quais as condições de corte mais adequadas para uma ferramenta na usinagem de um determinado material.

No entanto, não se pode confiar integralmente nas informações contidas em banco de dados. Em virtude disso, uma maneira seria realizar ensaios de usinabilidade para uma determinada classe de materiais e ferramentas, com os resultados obtidos são geradas informações práticas de muita utilidade para um chão de fábrica.

Segundo Ferraresi (1977) a usinabilidade pode ser definida como uma grandeza tecnológica, que mostra por meio de um valor numérico comparativo (índice ou porcentagem) um conjunto de propriedades de usinagem do material, em relação a outro tido como padrão. As propriedades de usinagem são àquelas que expressam o seu efeito sobre grandezas mensuráveis intrínsecas ao processo de usinagem, tais como vida da ferramenta, força de usinagem, potência de corte, acabamento superficial, temperatura de corte, produtividade e as características do cavaco formado. A usinabilidade não é, ao contrário do que acontece com a resistência à tração, por exemplo, a propriedade de um único material, mas sim a propriedade resultante da combinação de dois materiais; isto é, da combinação ferramenta-peça usinada. Por isso, é uma grandeza que interessa tanto aos fabricantes de materiais de usinagem e ferramentas de corte quanto aos consumidores.

Para Trent (2000) a usinabilidade pode ser considerada uma propriedade do material, mas a medida da usinabilidade depende dos parâmetros considerados. Em outras palavras, a ordem no *ranking* de usinabilidade de um número de materiais pode não ser o mesmo, quando obtidos em condições diferentes. Ele então sugere que a usinabilidade não é uma propriedade, mas o “modo” do material se comportar durante a usinagem. Desta forma, usinabilidade é muito mais uma função do teste e não uma função de uma ou mais propriedades do material. *“Em termos gerais, usinabilidade pode ser definida como sendo uma grandeza que indica a facilidade ou dificuldade de se usinar um material”*.

Na usinagem, o conceito de “boa usinabilidade” geralmente se refere à ação de corte sem problemas e a uma vida apropriada da ferramenta. Os testes de usinabilidade para um material específico são realizados utilizando avaliações práticas, e os resultados são determinados em relação a outro teste em outro tipo de material sob aproximadamente as mesmas condições. Nestes testes, outros fatores, como microestrutura, tendência à abrasão,

máquina-ferramenta, estabilidade do sistema máquina-ferramenta/peça-dispositivo, ruído e vida útil da ferramenta, poderão ser levados em consideração (Machado *et al.*, 2016).

Pelo exposto anteriormente, é de se concordar com Ferraresi (1977) que a usinabilidade não é uma grandeza ou uma propriedade ainda bem definida na usinagem.

Como já mencionado, a condição e as propriedades físicas do material de usinagem têm uma influência direta na usinabilidade. As várias condições e características do material de usinagem, individualmente e em combinações, influenciam diretamente e determinam a usinabilidade.

As características do material de usinagem são determinadas pelos seguintes fatores: microestrutura, tamanho do grão, tratamentos térmicos, composição química, processo de fabricação primário, dureza, limites de resistência ao escoamento e tração.

Em relação aos tratamentos térmicos, eles podem fornecer propriedades desejadas nos materiais de engenharia, sendo por vezes submetidos a uma série de operações de aquecimento e resfriamento quando no estado sólido. Um material pode ser tratado para reduzir a fragilidade, remover as tensões internas causadas por tratamentos térmicos anteriores, para obter maior ductilidade ou aumentar a dureza, para obter uma microestrutura definida, ou para fazer outras alterações que afetam a usinabilidade.

Neste trabalho o objetivo principal é justamente estudar a usinabilidade de um aço SAE 4340 sob o efeito de diferentes tratamentos térmicos, recozimento, normalização e têmpera, utilizando como medida da usinabilidade do material a potência ativa adquirida durante o torneamento.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A execução deste trabalho iniciou primeiramente com diferentes tratamentos térmicos de tarugos cilíndricos de aço SAE 4340, posteriormente os tarugos foram ensaiados no torneamento cilíndrico externo paralelo para obtenção dos sinais de potência ativa, e finalmente, realizou-se a análise metalográfica e obtenção das durezas dos tarugos de aço SAE 4340 por meio de ensaios de dureza Rockwell B e Rockwell C. A seguir o detalhamento da metodologia dos ensaios propostos.

2.1. TRATAMENTOS TÉRMICOS

Para os diferentes tratamentos térmicos do aço SAE 4340, com composição química nominal 0,38%C - 0,15%Si - 0,6%Mn - 0,8%Cr - 1,65%Ni e 0,2%Mo, foram utilizados tarugos cilíndricos com comprimento de 110 mm e diâmetro de 25,4 mm. Foram confeccionados quatro

corpos de prova, sendo um sem tratamento térmico, ou seja, como recebido, e as três amostras restantes sofreram tratamentos térmicos de recozimento, normalização e têmpera. As quatro amostras tratadas foram aquecidas em um forno da marca JUNG a uma temperatura de 900°C por 72 minutos, posteriormente, a amostra temperada foi resfriada em óleo, a normalizada resfriada ao ar e a amostra recozida resfriada lentamente dentro do forno por 12 horas.

2.2. AQUISIÇÃO DO SINAL DE POTÊNCIA ELÉTRICA ATIVA

As três amostras tratadas termicamente e a amostra não tratada foram ensaiadas com o propósito de obter a potência elétrica ativa durante o torneamento cilíndrico externo, a seco, sem aplicação de fluido de corte. A aquisição da potência elétrica ativa foi tomada como uma medida da usinabilidade do aço SAE 4340 sob diferentes condições de tratamentos térmicos. As condições de corte foram mantidas constantes utilizando-se um torno CNC Diplomat 195 VS, sendo a velocidade de corte de 200 m/min, avanço de corte de 0,2 mm/rot, profundidade de corte de 1,0 mm e comprimento de usinagem de 50 mm. As ferramentas utilizadas nos ensaios foram insertos de metal duro da classe P para usinagem de aços, como mostra a Fig. (1). Foram realizados três ensaios para cada condição de tratamento térmico das amostras, sendo utilizada para cada repetição uma aresta de corte nova. Como resultado é mostrado apenas uma curva de aquisição, uma vez que houve sobreposição das curvas.

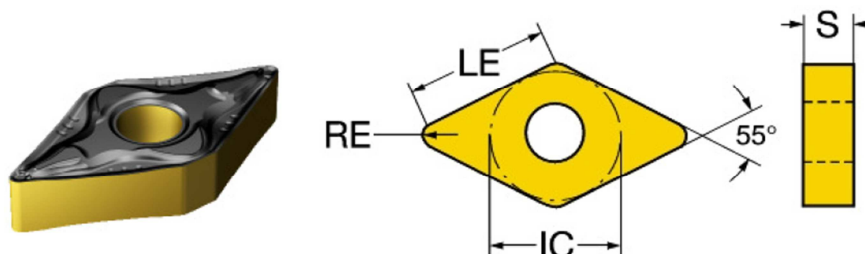


Figura 2.1 - Geometria da ferramenta de corte utilizada (Fonte: Sandvik, 2017).

A potência elétrica ativa foi adquirida por meio de um sistema de aquisição e processamento de dados composto por um sensor de efeito *Hall*, ligado em uma das fases do torno CNC para aquisição da corrente elétrica, e uma plataforma eletrônica de *hardware* livre com placa simples, Arduino®. Geralmente, a aquisição de dados usando o microcontrolador Arduino é realizada na forma serial. Contudo, a maneira mais adequada de efetuar o tratamento de dados, dá-se sempre na forma paralela. Visando a conversão dos dados coletados em série para paralelo, um programa de computação escrito na linguagem de

programação *Python* foi utilizado, tendo como objetivo, além da conversão série-paralela, o armazenamento dessa informação em um arquivo de texto. O arquivo de texto escrito na linguagem *Python* é carregado no *software Matlab* para a apresentação dos dados finais.

2.3. ANÁLISE METALOGRÁFICA E DUREZA

Para visualização da microestrutura e fases presentes nas amostras de aço SAE 4340 foram realizadas análises metalográficas, e para obtenção da resistência mecânica foram realizados ensaios de dureza Rockwell B e Rockwell C. Foram utilizados nestes ensaios corpos de prova retirados dos tarugos ensaiados no torneamento para obtenção da potência elétrica ativa.

Para a análise metalográfica as amostras passaram por embutimento, lixamento com lixas, 220, 400, 600, 800, 1000 e 1200 *mesh*, polimento com alumina de 0,5 microns, ataque químico com Nital a 3% e visualização das microestruturas obtidas por meio de um microscópio metalográfico Olympus.

Os ensaios de dureza foram realizados num durômetro de bancada Rockwell. Para realização dos experimentos foram utilizadas as escalas B e C. A Rockwell B com carga de 100 Kgf e penetrador de esfera de aço e a Rockwell C com carga de 150 Kgf e penetrador de diamante. As medições das durezas Rockwell B e Rockwell C foram realizadas nas duas faces das amostras, no centro, meio entre borda e centro e na borda das peças.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos são discutidos em um item único que engloba os resultados dos ensaios de potência elétrica ativa, as imagens metalográficas das amostradas tratadas termicamente e as medições de dureza Rockwell B e C.

3.1. POTÊNCIA ELÉTRICA ATIVA, ANÁLISE METALOGRÁFICA E DUREZA

A Figura 3.1 mostra os resultados dos ensaios de potência elétrica para as amostras sem tratamento térmico, recozida, normalizada e temperada. É importante ressaltar que a região efetiva de corte equivale ao sinal adquirido no intervalo de 6 a 11 segundos, e os “picos suaves” mostrados no início das curvas, equivalem à partida do motor do torno CNC.

Observa-se ainda nos gráficos adquiridos que o maior sinal da potência elétrica ativa foi no torneamento da amostra temperada, seguida pelas amostras normalizada, sem tratamento térmico, e por fim, recozida.

A maior potência ativa para a amostra temperada pode ser justificada, essencialmente, pela maior resistência ao cisalhamento do aço SAE 4340 temperado, nos planos de cisalhamentos primário e secundário durante o corte.

Essa maior resistência ao cisalhamento do aço SAE 4340 fica evidente nos resultados obtidos das medições de dureza Rockwell C, como mostra a Tab. (3.1).

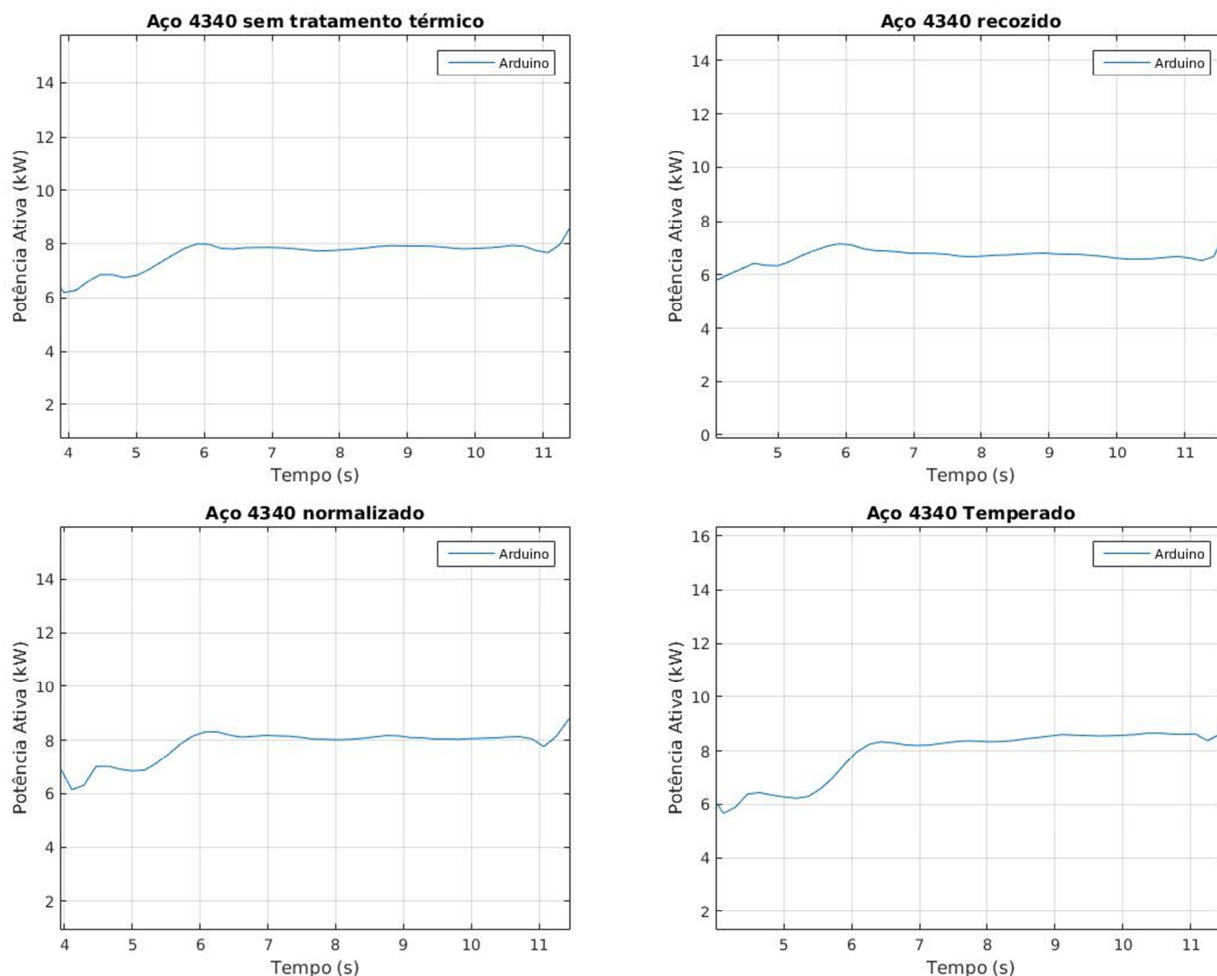


Figura 3.1 - Resultados dos ensaios de potência elétrica ativa para as amostras de aço SAE 4340 sem tratamento térmico, recozida, normalizada e temperada.

Tabela 3.1 - Resultados das medições de dureza Rockwell C e B para as amostras de aço SAE 4340 sem tratamento térmico, recozida, normalizada e temperada.

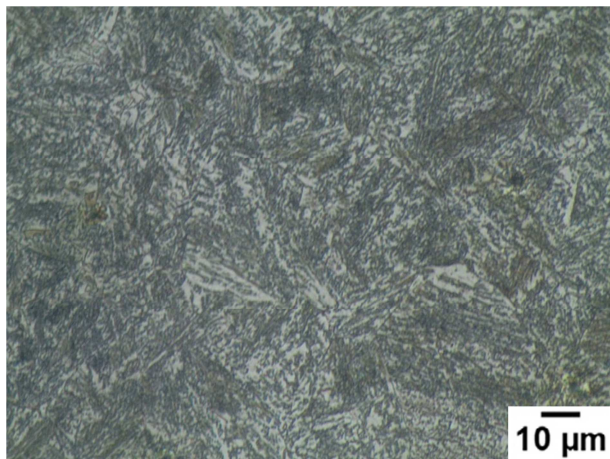
Medidas	Dureza Rockwell C HRC	Dureza Rockwell B HRB		
	Temperada	Sem tratamento	Recozida	Normalizada
1	54	63	74	77
2	55	74	75	78
3	53	66	70	75
4	55	75	73	76
5	54	67	73	76
Média	54,2	69	73	76,4

A maior dureza da amostra temperada fica evidente pela própria escolha da escala de dureza utilizada, Rockwell C.

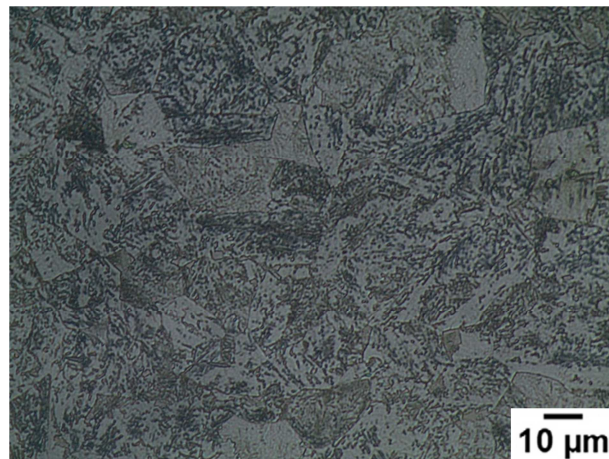
Em termos de usinabilidade, observa-se que a amostra recozida apresenta uma maior facilidade de usinagem, demonstrada pela menor energia necessária para o cisalhamento do material na região de corte, evidentemente, uma menor dureza e uma maior ductilidade, uma vez que a microestrutura obtida mostra a presença de fases distintas e tonalidades diferentes, caracterizadas por perlita e ferrita grossas, como evidencia a Fig. (3.2).

A amostra sem tratamento térmico do SAE 4340 apresenta uma microestrutura com muitas fases presentes, na qual as fases claras podem ser ferrita e austenita, e as escuras perlita, como também constituintes do aço, elementos de liga. Assim como a amostra recozida, a amostra normalizada também apresenta fases bem distintas de fase clara, ferrita, e fase escura, perlita.

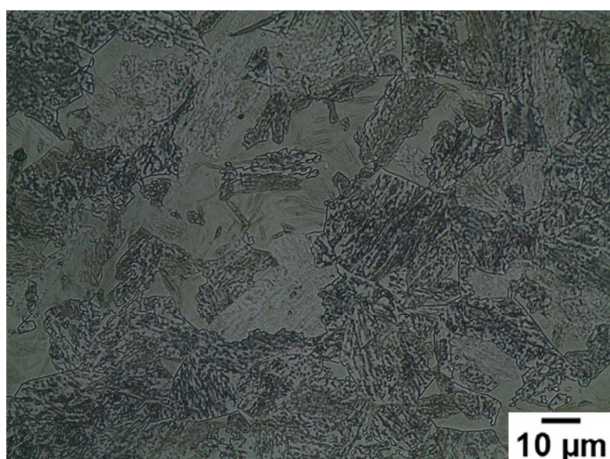
A estrutura resultante é de grãos menores mais definidos de ferrita e perlita fina, assegurando, possivelmente, maior homogeneidade de propriedades. A normalização ao contrário do recozimento, não garante ductilidade, e conseqüentemente, uma usinabilidade homogênea em toda a peça, pois a velocidade de resfriamento não é uniforme como no recozimento.



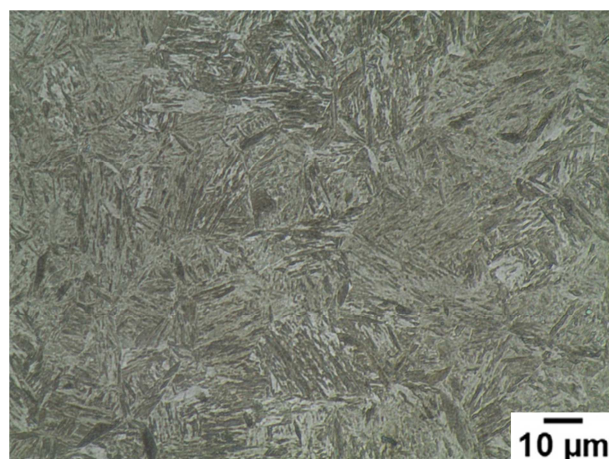
Sem tratamento



Recozida



Normalizada



Temperada

Figura 3.2 - Micrografia das amostras de aço SAE 4340 sem tratamento térmico, recozida, normalizada e temperada.

Já a micrografia da amostra temperada mostra fortemente a presença de uma microestrutura martensítica, formada por agulhas ou placas muito finas, de alta dureza e baixa tenacidade, como fica evidente pela dureza média de 54,2 HRC obtida.

Essa dureza elevada da amostra temperada fica evidente no aumento do sinal de potência ativa em relação às outras amostras, assim como no desgaste da ferramenta. A Figura 3.3 mostra o fim de vida de um inserto após uma passada.

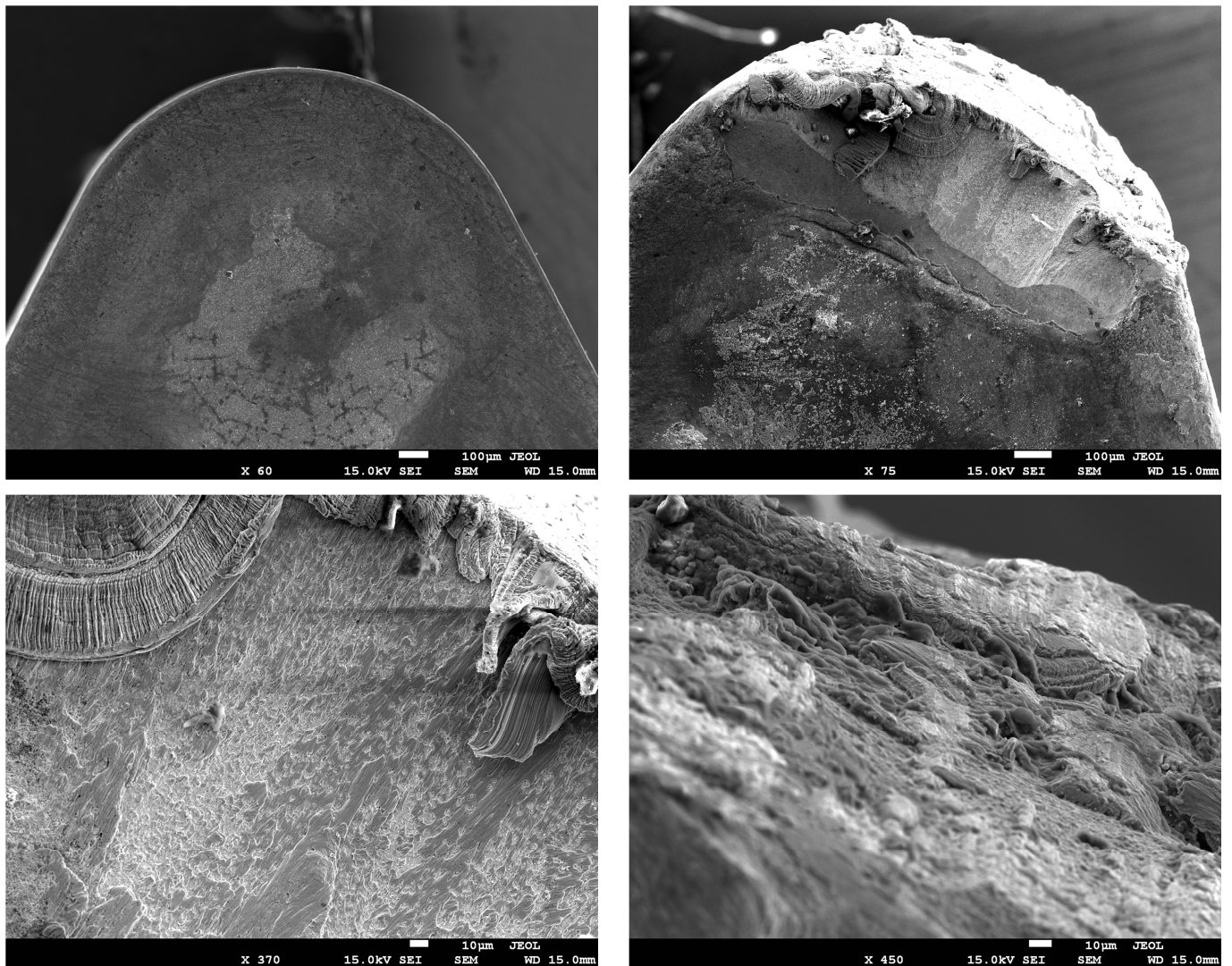


Figura 3.3 - Falha de um inserto após a usinagem da amostra temperada.

A Figura 3.3 mostra que a integridade da ponta da ferramenta é comprometida em virtude da severidade do desgaste na superfície de saída do inserto, evoluindo para uma cratera, que leva a falha catastrófica da ferramenta. As imagens mostram também a presença de material do aço SAE 4340 aderido na ponta da ferramenta. Em virtude dessa evidência, provavelmente, o mecanismo de desgaste atuante foi o *attrition*, caracterizado pela aderência de material da peça e arrastamento de material da ferramenta de corte, deixando a superfície desgastada da ferramenta com uma “aparência áspera” (Trent e Wright, 2000).

4. CONCLUSÕES

Diante dos resultados apresentados e das discussões desenvolvidas, pode-se concluir que os diversos tratamentos térmicos realizados no aço SAE 4340 foram muito bem sucedidos,

uma vez que as microestruturas e durezas obtidas nas amostras estão de acordo com a literatura.

A aquisição do sinal da potência elétrica ativa se mostrou um ótimo indicador da usinabilidade do aço SAE 4340 para diferentes tratamentos térmicos.

A forma de desgaste predominante nos insertos de metal duro da classe P utilizados no torneamento do aço SAE 4340 temperado foi o desgaste de cratera. Provavelmente, essa forma de desgaste foi originada pelo mecanismo de *attrition*.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ferraresi, D., “Fundamentos da Usinagem dos Metais”, Ed. Edgard Blucher, 800 pg., 1977.

Machado, A. R., Abrão, A. M., Coelho, R. T., Silva, M. B., 2011, “Teoria da Usinagem dos Materiais”, Editora Blucher, 2ª Edição Revista, São Paulo-SP, p. 397.

Trent, E. M., Wright, P.K., 2000, “Metal Cutting”, 4th Edition, Butterworth Heinemann.