

ANÁLISE DA VIABILIDADE DA DUREZA DE UMA FERRAMENTA DE CORTE FABRICADA A PARTIR DE UM FEIXE DE MOLA

Natanael da Silva Juvêncio¹, Manoel Quirino da Silva Júnior²

¹ Graduando do curso Bacharelado em Ciência e Tecnologia, UFRSA, Mossoró – Rio Grande do Norte. E-mail: 100Natanael@gmail.com

² Professor Doutor, RN – UFRSA, Mossoró – Rio Grande do Norte. E-mail: manoel.quirino@ufrsa.edu.br

Resumo:

Feixes de mola são um dos principais componentes mecânicos que compõem o sistema de suspensão de um veículo. Em virtude do desgaste ao qual tais elementos são normalmente submetidos, ou mesmo por uso inadequado, costumam falhar, tornando-os inapropriados para o propósito para o qual foram desenvolvidos, sendo descartados e, consequentemente, gerando grandes quantidades de sucata desse material. Normalmente os feixes de mola são produzidos a partir do aço SAE 5160. O presente trabalho tem por objetivo analisar a possibilidade de reaproveitamento de um feixe de mola, submetendo o mesmo a diferentes tipos de tratamentos térmicos, com o propósito de obter níveis de dureza elevado, para fabricar uma ferramenta de corte para usinagem. Os tratamentos térmicos realizados foram têmpera e revenimento, em diferentes meios de resfriamento, sendo eles óleo e água. As ferramentas de corte foram empregadas na usinagem de um tarugo de aço SAE 1020. Foi empregada uma câmera termográfica para observar o aumento de temperatura da ferramenta de corte na usinagem. Após a usinagem foram cortadas amostras das ferramentas, em seguida preparadas para metalografia com lixas de diferentes granulometrias e polida com pasta diamantada. Um microscópio óptico foi usado para analisar a microestrutura. Em seguida foram realizados ensaios de dureza nas três amostras. Foi possível alcançar níveis de dureza próximos aos de ferramentas de corte comumente comercializadas. A microestrutura resultante dos tratamentos térmicos foi a martensita. A água demonstrou ser um meio de resfriamento inadequado, pois permitiu a formação de trincas na ferramenta de corte submetida a este fluido.

Palavras-chave: feixes de mola; tratamento térmico; ferramenta de corte;

1. INTRODUÇÃO

Os feixes de molas são componentes mecânicos constituídos de barras, denominadas lâminas, que são unidas por intermédio de parafusos, tendo o papel de suportar impactos causados por imperfeições comumente observadas em pistas e estradas, além de suportarem as cargas às quais o veículo é submetido, como também suportar a carga derivada do próprio peso. Em muitos casos, o feixe de mola chega a falhar, devido ao desgaste ou até mesmo por se empregar uma carga para a qual o componente mecânico não foi projetado para suportar, tendo por consequência, ao ser registrada tal falha, a necessidade de substituir a lâmina que foi comprometida, o que acaba, em virtude do não reaproveitamento da mesma, gerando grandes quantidades de sucatas desse material.

Os feixes de mola são produzidos com aços especiais, temperado e revenido [1]. O aço SAE 5160 é comumente utilizado para fabricação de feixes de mola, devido ao seu ótimo custo benefício, alcançando boas propriedades mediante tratamentos térmicos [2]. Além de serem materiais facilmente encontrados em sucatas, são materiais que apresentam, geralmente, um médio teor de carbono, em torno de 0,6%C, dentre outros elementos de liga, como manganês (Mn), cromo (Cr), silício (Si), que influenciam em algumas propriedades mecânicas, proporcionando ao material uma maior temperabilidade. Ferramentas de corte são comumente produzidas a partir de materiais mais duros e resistentes do que a peça na qual tem-se interesse de realizar o processo de usinagem. A dureza elevada é a principal propriedade desejada nas ferramentas de corte. A depender do tratamento térmico empregado na peça e o meio de resfriamento é possível alcançar níveis de dureza elevado.

Visto isso, este estudo se propõe a analisar a possibilidade de reaproveitamento de um feixe de mola, submetendo ele a diferentes tipos de tratamentos térmicos, com o propósito de obter níveis de dureza elevado, para fabricação de uma ferramenta de corte para usinagem. Na qual os tratamentos térmicos realizados têm o propósito de obter a dureza desejada na referida aplicação. A ferramenta será testada na usinagem de um tarugo de aço SAE 1020. As ferramentas de corte terão padronizado a geometria da aresta de corte, folga e quebra cavaco, bem como a velocidade de rotação do torno, velocidade de corte, avanço e profundidade de corte de acordo com a potência da máquina e material utilizado no processo de usinagem.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Fundamentação teórica

2.1.1 Aços-ferramenta e aços para feixes de mola

As ferramentas de corte são empregadas em operações de usinagem, desde o ramo da indústria com tecnologias avançadas até oficinas de baixo porte, sendo aplicadas em operações de desbaste e acabamento de materiais metálicos e não metálicos, para tanto, devem possuir algumas características importantes, sendo uma delas elevada dureza. Essa capacidade de corte está intimamente relacionada à dureza do aço, quer a temperatura ambiente, quer a altas temperaturas (dureza a quente) [3]. Outro fator importante que se deve levar em consideração na confecção de ferramentas de corte é a composição química do material, pois a mesma influencia consideravelmente nas principais propriedades desejáveis, tais como alta dureza. Está apresentada na Figura 1 alguns tipos de aços-ferramenta, bem como os principais elementos de liga presente na composição química.

Número AISI	Número UNS	Composição (%p) ^a						Aplicações Típicas
		C	Cr	Ni	Mo	W	V	
M1	T11301	0,85	3,75	0,30 máx.	8,70	1,75	1,20	Brocas, serras; ferramentas de torno e plaina
A2	T30102	1,0	5,15	0,30 máx.	1,15	–	0,35	Punções, matrizes para gravação em relevo
D2	T30402	1,50	12	0,30 máx.	0,95	–	1,10 máx.	Cutelaria, matrizes de trefilação
O1	T31501	0,95	0,50	0,30 máx.	–	0,50	0,30 máx.	Lâminas de tesouras, ferramentas de corte
S1	T41901	0,50	1,40	0,30 máx.	0,50 máx.	2,25	0,25	Corta-tubos, brocas para concreto
W1	T72301	1,10	0,15 máx.	0,20 máx.	0,10 máx.	0,15 máx.	0,10 máx.	Ferramentas de ferreiro, ferramentas de marcenaria

Figura 1. Especificações, composições e aplicações para seis aços-ferramenta. [4]

Na atualidade, o aço SAE 5160 é comumente empregado para fabricar feixes de mola. Nos EUA, quase todas as lâminas de molas são produzidas a partir de aços ao cromo, como 5160, 51B60 e seus equivalentes “H” [5]. O requisito básico para um aço de lâmina de molas é que apresente uma temperabilidade suficiente para espessura da lâmina, para que forneça uma estrutura totalmente martensítica [5]. No aço 5160, a composição química é especificada como uma variável independente (dureza é uma variável dependente da composição química) [5]. Na Figura 2 é apresentada a composição química do aço 5160.

Teste	% Fe	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo	%Ni	%Al	%Ta
1	97,1	0,59	0,24	0,87	0,017	0,027	0,85	0,015	0,046	0,027	0,1
2	97,1	0,6	0,23	0,87	0,018	0,031	0,85	0,015	0,045	0,027	0,11
Média	97,1	0,6	0,24	0,87	0,018	0,029	0,85	0,015	0,046	0,027	0,1

Figura 2. Análise da composição química do aço AISI 5160. [2]

É apresentado na Figura 3 as principais séries de aços baixa liga em que o aço SAE 5160 se encontra:

Especificação AISI/SAE ^a	Especificação UNS	Faixas de Composição (%p dos Elementos de Liga em Adição ao C) ^b			
		Ni	Cr	Mo	Outros
10xx, Aço-carbono comum	G10xx0				
11xx, Fácil usinagem	G11xx0				0,08–0,33S
12xx, Fácil usinagem	G12xx0				0,10–0,35S 0,04–0,12P
13xx	G13xx0				1,60–1,90Mn
40xx	G40xx0			0,20–0,30	
41xx	G41xx0		0,80–1,10	0,15–0,25	
43xx	G43xx0	1,65–2,00	0,40–0,90	0,20–0,30	
46xx	G46xx0	0,70–2,00		0,15–0,30	
48xx	G48xx0	3,25–3,75		0,20–0,30	
51xx	G51xx0		0,70–1,10		
61xx	G61xx0		0,50–1,10		0,10–0,15V
86xx	G86xx0	0,40–0,70	0,40–0,60	0,15–0,25	
92xx	G92xx0				1,80–2,20Si

Figura 3. Sistema de especificação AISI/SAE e UNS e faixa de composições para aços-comuns e vários aços de baixa liga. [4]

Conforme apresentado na Figura 1 o aço AISI S1 da série “S” é o único aço, dentre os outros aços ferramenta, que possui um médio percentual de teor de carbono em torno 0,5 %C. A série “S” assemelha-se a série 51xx, frequentemente empregada na produção de feixes de mola, pois os seus elementos de liga são semelhantes, bem como não se apresentam em altas concentrações. É possível verificar que o aço SAE 5160 possui alguns elementos de liga em sua composição química iguais aos empregados em aços-ferramenta, com percentuais de tais elementos próximos e, em alguns casos, até mais elevado. Dessa forma, a depender do tratamento térmico utilizado no processo de fabricação, pode-se alcançar ou se aproximar das principais propriedades desejáveis e que são necessárias em uma ferramenta de corte.

2.1.2 Tratamentos térmicos de aços para feixes de mola

Tratamento térmico é um conjunto de operações de aquecimento e resfriamento a que são submetidos os aços, sob condições controladas de temperatura, tempo, atmosfera e velocidade de esfriamento, com o objetivo de alterar as suas propriedades ou conferir-lhe características determinados [3]. Os tratamentos térmicos possuem uma relação direta com a estrutura dos aços, pois eles têm o papel de alterar a estrutura do mesmo com o objetivo de alcançar as propriedades desejadas no material, visto que estas possuem uma certa dependência com o tipo de estrutura que o material se encontra. Tratamentos dessa natureza permitem que os materiais, de modo geral, alcancem elevados níveis de dureza e resistência mecânica, comprometendo sua ductilidade e tenacidade, bem como o oposto, a depender do(s) tratamento(s) térmico(s) realizado(s).

Como já foi mencionado anteriormente, os feixes de mola são produzidos com aços especiais, temperado e revenido [1]. A têmpera consiste em resfriar o aço, após austenitização, a uma velocidade suficientemente rápida para evitar as transformações perlíticas e bainíticas na peça em questão. Deste modo, obtém-se estrutura metaestável martensítica [6]. O tratamento térmico de têmpera está intimamente ligado com algumas propriedades mecânicas do material, como dureza e limite de resistência a tração, possuindo a capacidade de aumentar significativamente as mesmas. Como na têmpera o constituinte final desejado é a martensítica, o objetivo dessa operação, sob o ponto de vista de propriedades mecânicas, é o aumento do limite de resistência a tração do aço e também da sua dureza [3];

A martensita é uma estrutura monofásica fora de equilíbrio, que resulta de uma transformação adifusional da austenita [4]. A transformação martensítica ocorre quando a taxa de resfriamento brusco é rápida o suficiente para prevenir a difusão do carbono. Qualquer difusão que por ventura ocorra resultará nas fases ferrita e cementita [4]. Ao promover um resfriamento brusco em uma peça na temperatura de austenitização, na qual essa temperatura depende da composição química do material, terá como consequência a estrutura metaestável martensita. Uma fotomicrografia que apresenta a microestrutura martensítica está apresentada na Figura 4.



Figura 4. Fotomicrografia mostrando a microestrutura martensítica. [4]

A martensita apresenta-se na forma de ripas (*lath*) em aços de baixo carbono e na forma de agulhas (*thin plates*) em aços com alto carbono [6]. É possível observar que os grãos da martensita têm o aspecto de placas ou de agulhas, sendo a fase branca a austenita, proveniente da não transformação no processo de resfriamento

rápido.

Uma das principais propriedades mecânicas que a estrutura martensítica concede ao material é uma dureza elevada, na qual a mesma pode ser modificada de acordo com a velocidade de resfriamento. Quando se aumenta a velocidade de resfriamento da austenita, pode-se chegar a uma velocidade tão alta que não permite a expulsão do carbono da solução sólida para formar o Fe_3C , verificando-se somente passagem da forma alotrópica do ferro de gama a alfa. Tem-se, então, uma solução sólida supersaturada de carbono em ferro alfa, constituindo a martensita, cuja extrema dureza deve ser atribuída à distorção do retículo cúbico centrado causada pela supersaturação [3].

A temperatura é um fator importante que afeta a estrutura martensita, pois quando aquecida em torno de 300°C , dá-se início ao processo de difusão do carbono na ferrita, resultando em redução da dureza do material. Outro fator importante no tratamento térmico de têmpera é a escolha adequada do meio de extração de calor pois, dependendo da velocidade de resfriamento se alcançar a estrutura desejada, como também a severidade do resfriamento pode ocasionar tensões de têmpera, como deformação plástica (empeno da peça) e ruptura (trincas de têmpera).

O revenido é o tratamento térmico que normalmente sempre acompanha a têmpera, pois elimina a maioria dos inconvenientes produzidos por esta; além de aliviar ou remover tensões internas, corrige a excessiva dureza e fragilidade do material, aumentando sua ductilidade e resistência ao choque [3]. O aquecimento da martensita permite a reversão do reticulado instável ao reticulado estável cúbico centrado, produz reajustamentos internos que aliviam as tensões e, além disso, uma precipitação de partículas de carbonetos que crescem e se aglomeram, de acordo com a temperatura e o tempo [3]. A têmpera promove o surgimento da estrutura martensítica, isso resulta em uma peça com uma dureza elevada, porém muito frágil, tornando em muitos casos o emprego prático da mesma inviável, devido à baixa tenacidade. O revenimento é um tratamento térmico comumente utilizado nos aços após a têmpera, com o objetivo de fazer um balanço entre dureza e tenacidade. Tal processo atua reduzindo uma parcela pequena da dureza, porém aumenta a tenacidade, assim tornando o aço viável para ser empregado em aplicações desejadas.

Normalmente, utiliza-se uma temperatura de revenimento de 300°C nas lâminas empregadas em feixes de mola [5]. As faixas de temperatura de revenimento podem variar entre 300°C a 480°C , a depender da dureza desejada no final do processo de revenimento. Nos aços-ferramentas, de acordo com a série de aço utilizada, essa faixa de temperatura de revenimento pode ser menor em relação à empregada nos feixes de mola, como, por exemplo, a série S1, devido ser um aço com médio teor de carbono, principalmente se a propriedade mecânica desejada no final do processo for um elevado nível de dureza. No presente trabalho, a faixa de temperatura de revenimento usada foi 200°C , visto a necessidade de favorecer a ferramenta de corte elevado nível de dureza, com o objetivo de alívio de tensões, tensões essas resultantes do processo de têmpera.

2.1.3 Ensaio de dureza

O ensaio de dureza é um dos ensaios mais praticados dentre os ensaios mecânicos. Dentre os ensaios de dureza, frequentemente se utilizar a técnica de medição de dureza por penetração. Uma das técnicas comumente praticada é a dureza Rockwell. A dureza Rockwell, simbolizada por *HR*, elimina o tempo necessário para a medição de qualquer dimensão da impressão causada, pois o resultado é lido direta e automaticamente na máquina de ensaio, sendo, portanto, um ensaio mais rápido e livre de erros pessoais. Além disso, utilizando penetradores pequenos, a impressão pode muitas vezes não prejudicar a peça ensaiada e pode ser usada também para indicar diferenças pequenas de dureza numa mesma região de uma peça [7].

A dureza Rockwell é estimada na profundidade da penetração que o penetrador atinge, quanto maior a penetração menor a dureza do material, menor penetração representa maior dureza do material. Os penetradores utilizados na dureza Rockwell são do tipo esférico (esfera de aço temperado) ou cônico (cone de diamante, também chamado penetrador-Brale, tendo 120° de conicidade) [7].

Muitas escalas, identificadas por letras, são utilizadas na técnica de medição de dureza Rockwell. O penetrador e carga utilizados no ensaio de dureza Rockwell, depende do material que está sendo ensaiado. Antes que ocorra o ensaio, é necessário algum preparo no corpo de prova. A superfície da amostra deve ser lixada para eliminar alguma irregularidade que possa ocasionar erros [7].

No presente trabalho, o tipo de dureza adotado foi a Rockwell, na qual a escala usada foi a C, devido às características que o material possui e ser frequentemente utilizada nas áreas de engenharia e pesquisa científica. Para realizar o ensaio, foi empregado um penetrador cônico de diamante, uma pré-carga de 10 kgf e a carga maior de 150 kgf.

2.1.4 Fatores que influenciam na vida da ferramenta de corte

Ao serem empregadas ferramentas de corte em operações de usinagem, é necessário considerar alguns fatores que influenciam na vida útil da mesma. Tais fatores são a velocidade de corte, o avanço e a profundidade de corte, sendo eles determinados de acordo com o material a ser usinado, dureza do mesmo, geometria da peça e capacidade da máquina. A vida da ferramenta está intimamente relacionada com a velocidade de corte, pois

quando se aumenta a velocidade de corte, tem-se um aumento na temperatura de usinagem, logo aquecendo a aresta de corte da ferramenta, diminuindo a vida da mesma. Esse aumento de temperatura afeta bastante ferramentas de corte produzidas a partir de aços-carbonos e aços ligados. A maior limitação dos aços com estrutura martensítica é que eles perdem dureza quando aquecidos a temperaturas na faixa de revenido (300 °C a 600 °C) [8]. O avanço possui uma relação direta com a velocidade de corte, pois, dependendo do avanço empregado na operação de usinagem, influência no desgaste da ferramenta. A profundidade de corte é estabelecida levando em consideração o material a ser usinado, geometria da peça usinada, rigidez da ferramenta, como também potência e rigidez da máquina.

2.2. Materiais e Métodos

Para confeccionar os três bits foi utilizada uma lâmina de um feixe de mola de aço SAE 5160, com espessura de 17 mm, largura de 70 mm e comprimento de 500 mm, na qual foi desenhada a geometria do bit, sendo sua dimensão 5/8" x 4", a qual em seguida foi fixada em uma morsa e cortada com uma esmerilhadeira Bosch 22-180.

Logo após isso, um bit por vez foi aquecido em uma forja de fabricação caseira, projetada para funcionar com carvão natural, na qual o bit foi aquecido acima da temperatura de austenitização, que varia em torno de 802-843 °C, de tal forma que, ao realizar a transferência do bit para o meio de extração de calor (água ou óleo), não ocorresse perda de calor para o ambiente suficiente para afetar mudança na microestrutura, permitindo que o bit permanecesse acima da temperatura de austenitização quando resfriado no meio de extração de calor.

O recipiente na qual foi realizado o processo de têmpera possui volume de 10 litros, capacidade suficiente para que ocorresse a extração de calor de forma eficaz, não permitindo que o processo de troca de calor entre a peça e o fluido alterasse a viscosidade do mesmo, assim não afetando a capacidade do fluido de extrair calor. Dois bits foram submetidos ao processo de têmpera em óleo e um em água. Um bit, tratado termicamente e resfriado em óleo, passou pelo processo de revenimento, em uma temperatura de 200 °C durante um intervalo de tempo de 1 hora, sendo empregado um termômetro digital Minipa tipo vareta para medição e controle da temperatura que estava ocorrendo o processo de revenimento, sendo utilizado um forno de um fogão de cozinha convencional para a realização do mesmo. Após as etapas de tratamento térmico, foi efetuado um acabamento superficial com uma esmerilhadeira Bosch 22-180 usando um disco flap 120 e aplicada uma camada de verniz.

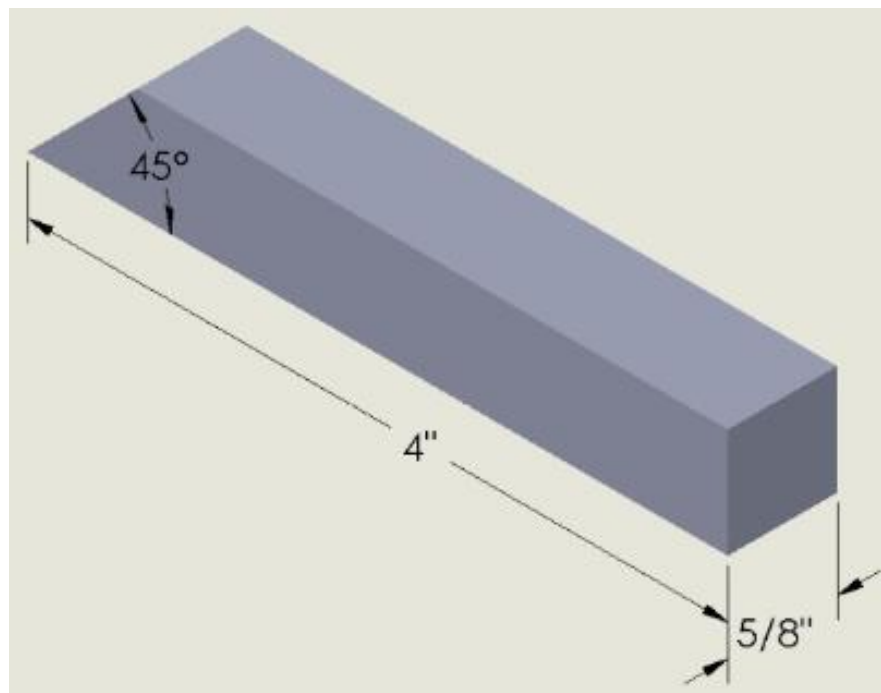


Figura 5. Representação esquemática da ferramenta de corte (autoria própria).

Após confeccionados os bits, por meio do esmeril IEB foi realizada uma afiação nas ferramentas de corte, através do qual foi padronizada a geometria da aresta de corte com 90°, folga com 8° e quebra cavaco com 12°. Em seguida os bits foram testados na usinagem de um tarugo de aço SAE 1020 com 1" x 8" utilizando um torno Nardini® NODUS 220 GOLD, na qual aplicou-se uma velocidade de rotação de 300 rpm, velocidade de corte 24 m/min, avanço 0,1 mm/rev e profundidade de corte 1mm de acordo com a potência da máquina e material utilizado no processo de usinagem. O torno foi operado com baixa rotação, com o objetivo de não favorecer ao aumento da temperatura de usinagem, resultando em um desgaste maior da ferramenta de corte. Foi empregado uma câmera termográfica no momento do processo de usinagem, à qual os três bits foram submetidos, com o

propósito de investigar a distribuição de temperatura na ferramenta e o nível de temperatura alcançado pela aresta de corte da ferramenta, para verificar a possibilidade de redução da dureza quando do bit aquecido a determinadas faixas de temperaturas, comportamento característico da estrutura martensítica.

Logo após os bits serem testados, por meio de um policorte Arotec AROCOR 60, as amostras da ferramenta foram seccionadas, em seguida lixadas de forma manual com a finalidade de se obter um melhor acabamento superficial, sendo posteriormente polidas. No processo de preparação das amostras para a metalografia foram utilizadas lixas d'água com granulação 180, 220, 320, 400, 600, 800, 1000 e 1200. O polimento foi realizado com pasta diamantada, através de uma politriz Arotec AROPOL 2V.

Para a execução da metalografia foi empregado um microscópio óptico Olympus®, GX51, onde foi utilizada uma ampliação de 500 e 1000 ×.

Com as amostras preparadas metalograficamente, depois de realizado o processo de metalografia, foram efetuados os ensaios de dureza, conforme a norma ASTM E 18-19 orienta. O equipamento utilizado nos ensaios foi o durômetro Mitutoyo®HR-300, sendo realizadas trinta medições em cada amostra.

2.3. Resultados e Discussões

2.3.1 Dureza

A partir dos tratamentos térmicos realizados foi possível obter os valores observados na Figura 6.

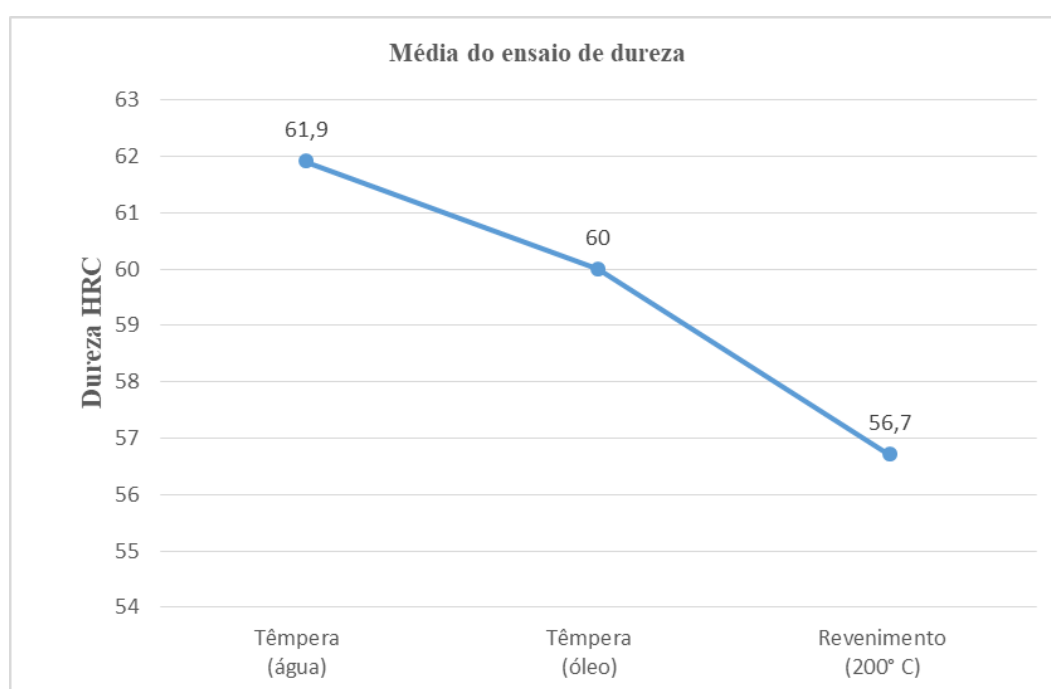


Figura 6. Dureza das amostras após realizado o tratamento térmico. (Autoria própria)

Ao empregar o tratamento térmico de têmpera nas ferramentas de corte, utilizando água e óleo como meio de resfriamento, foi possível alcançar valores de dureza próximos a valores de algumas ferramentas de corte empregadas em operações de usinagem. A dureza dessas ferramentas costuma variar entre 63 a 67 HRC [9]. O processo de têmpera favoreceu esse aumento de dureza nas ferramentas de corte, pois permitiu, como resultado de um resfriamento brusco, a formação de martensita que, por sua vez, confere elevada dureza ao material.

Após o término do processo de revenimento a 200°C durante um intervalo de tempo de 1 hora, foi possível observar a redução da dureza do material, porém seu valor se manteve próximo à dureza encontrada na amostra da ferramenta de corte tratada termicamente no óleo.

O aumento de dureza na têmpera é decorrente principalmente dos mecanismos de endurecimento da martensita e da diminuição, após o revenimento, da dissolução desta fase metaestável, sobretudo em ferrita e carbonetos [2].

2.3.2 Análises microestruturais

As fotomicrografias apresentadas a seguir foram obtidas das amostras seccionadas das ferramentas de corte. Na Figura 7 é possível observar a fotomicrografia obtida da amostra, na qual foi realizado o tratamento térmico de têmpera, utilizando como meio de resfriamento a água, a imagem à esquerda possui ampliação de 500×, a imagem à direita possui ampliação de 1000×.

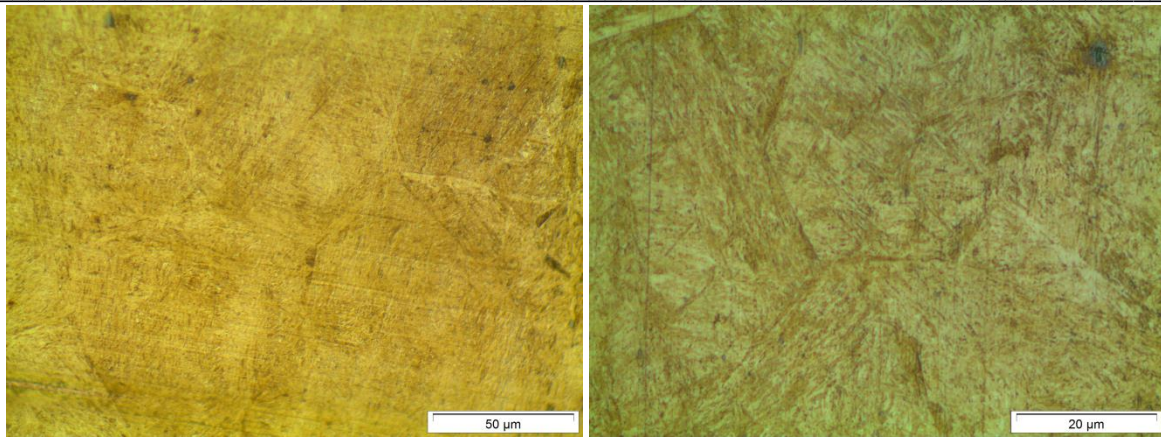


Figura 7. Microestrutura da amostra tratada termicamente na água.

Na Figura 8 está apresentada a fotomicrografia obtida da amostra, na qual foi realizado o tratamento térmico de têmpera, sendo o meio de resfriamento óleo, a imagem à esquerda possui ampliação de 500×, a imagem a direita possui ampliação de 1000×.

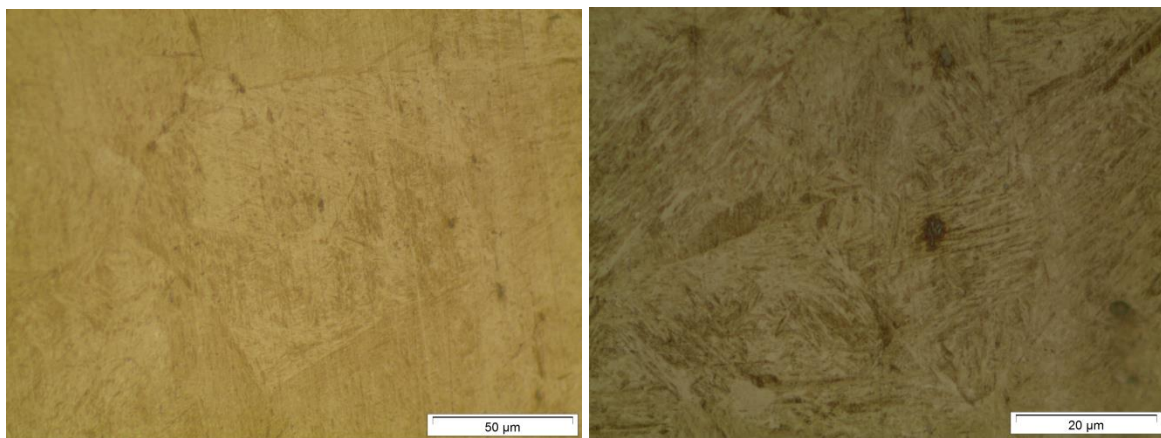


Figura 8. Microestrutura da amostra tratada termicamente no óleo.

Na Figura 9 está apresentada a fotomicrografia obtida da amostra, na qual foi temperada em óleo e realizado um processo de revenimento a 200°C, a imagem a esquerda possui ampliação de 500×, a imagem a direita possui ampliação de 1000×.

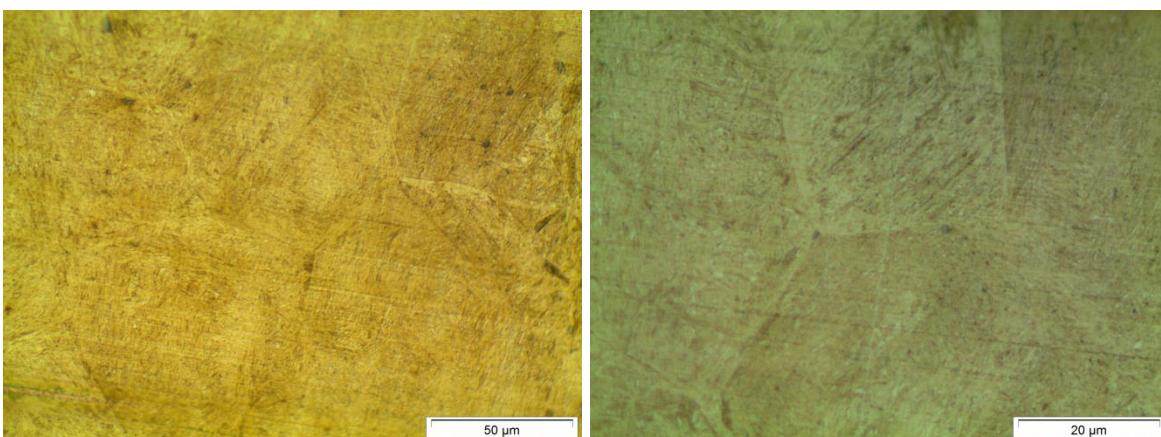


Figura 9. Microestrutura da amostra tratada termicamente no óleo, com revenimento 200°C.

A microestrutura alcançada nas amostras temperadas foi a martensita, resultado corroborado pela alta dureza e, de acordo com as imagens das microestruturas, que as mesmas possuem aparência no formato de agulhas [4]. Após o processo de têmpera nas amostras, foi possível notar um aumento expressivo da dureza, quando comparado a dureza estabelecida em projetos de feixes de mola, que varia entre 43 – 48,5 HRC [1]. Tais aspectos são característicos da microestrutura martensita.

O tratamento térmico à 200°C proporcionou uma leve diminuição nos tamanhos dos grãos martensíticos,

provavelmente devido à precipitação de carbonetos e da decomposição da austenita retida, formando ferrita e cementita [10].

2.3.3 Análise termográfica

As imagens da Figura 10 foram obtidas a partir de uma câmera termográfica, empregada no momento do processo de usinagem ao qual as ferramentas de corte foram submetidas e nas condições de usinagem mencionada anteriormente.



Figura 10. Temperatura de usinagem.

Foi possível observar a partir das imagens que a temperatura de usinagem não promoveu à ferramenta de corte a perda de dureza, pois não atingiu temperaturas na faixa de 300°C. Visto que a estrutura martensita quando aquecida em torno de 300°C, dá-se início ao processo de difusão do carbono na ferrita, resultando em redução da dureza do material.

2.3.4 Análise dos meios de resfriamentos

A utilização de óleo como meio de extração de calor se mostrou eficiente no processo de têmpera para o aço SAE 5160, pois foi possível ter como resultado no resfriamento a microestrutura desejada que é a martensita, além de proporcionar níveis de dureza próximos a ferramentas de corte encontradas comercialmente.

A água demonstrou ser um meio de extração de calor não adequado para o aço SAE 5160 no processo de têmpera, pois apesar de ter como resultado a microestrutura martensita e ter alcançado níveis de dureza superior as amostras temperadas no óleo, a severidade da velocidade do resfriamento resultou em tensões de têmpera do tipo ruptura (trincas de têmpera), conforme mostrado na Figura 11.



Figura 11. Imagem macroscópica e microscópica da trinca com ampliação de 500×.

O surgimento da trinca é resultado do gradiente de temperatura bastante acentuado entre a superfície da peça e o núcleo, pois em um determinado instante do resfriamento ocorre a expansão da superfície da peça devido a transformação martensítica, enquanto o núcleo da peça permanece contraído devido o resfriamento, gerando assim um estado plano de tensão normal completamente trativo. A partir do momento em que essas tensões ultrapassam o limite de resistência do material, tem-se o surgimento de trincas. Enquanto no recozimento não se encontram gradientes de temperatura sensíveis nas peças durante o resfriamento, a severidade com que este ocorre na têmpera faz surgir gradientes bastante acentuados entre o centro e a superfície [6].

3. CONCLUSÕES

Em virtude do que foi apresentado, com o presente trabalho, é possível realizar tratamentos térmicos de têmpera, em meios de resfriamento adequado, em ferramentas de corte produzidas a partir de feixes de mola e alcançar níveis de dureza próximo a ferramentas de corte disponíveis no mercado.

O revenimento empregado a 200°C resultou em uma redução da dureza quando comparado com a amostra temperada no óleo. No entanto seu valor se manteve próximo da dureza encontrada na amostra tratada em óleo.

A água demonstrou ser um meio de resfriamento não adequado para resfriar o aço SAE 5160 em tratamentos térmicos de têmpera, pois o resfriamento brusco gerou tensões de têmpera do tipo ruptura (trincas de têmpera), comprometendo a ferramenta de corte.

Foi possível verificar que, utilizando as ferramentas de corte nas condições operação empregadas no presente trabalho, no que diz respeito a velocidade de rotação e corte, avanço e profundidade, a temperatura de usinagem não promoveu, na ferramenta de corte, a perda de dureza, pois não atingiu temperaturas de 300°C que tendem a diminuir a dureza do material.

Recomenda-se a trabalhos futuros avaliar o desgaste da ferramenta de corte quando utilizada em operações de usinagem por um período de tempo mais longo. Como também, avaliar a tenacidade do aço SAE 5160 dentro das condições de tratamento térmico utilizadas no presente trabalho, pois elevada dureza pode resultar em baixa tenacidade, sendo que é importante que as ferramentas de corte possuam tenacidade suficiente para resistir a choques e impactos em operações de corte interrompido.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CASTRO, Danilo Borges Villarino de. Influência da temperatura de austenitização para têmpera e de revenimento na tenacidade e na vida em fadiga do aço SAE 5160 para diferentes teores de fósforo. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
- [2] DIAS, Leonardo Viana e *et al.* EFEITOS DA TEMPERATURA DE REVENIMENTO NA DUREZA E RESISTÊNCIA DO AÇO AISI 5160, p. 2125-2136. In: *73º Congresso Anual da ABM*, São Paulo, 2018.
- [3] CHIAVERINI, Vicente. Aços e Ferros Fundidos. - 6ª edição. São Paulo: Associação Brasileira de Metais (ABM), 1988.
- [4] CALLISTER, W. D. Jr. Ciência e Engenharia dos materiais: Uma introdução. 8 ed. Tradução Sérgio Murilo Stamile Soares, M. Sc.; Revisão Técnica José Roberto Moraes d'Almeida, D. Sc.-[Reimpr.]-Rio de Janeiro:LTC,2013.
- [5] PORTO, João Paulo Sarmento. Desenvolvimento e determinação das propriedades físicas de barras chatas de aço SAE 5160 para lâminas de mola. Trabalho de diplomação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Porto Alegre, dezembro 1993.
- [6] SILVA, André Luiz da Costa e; MEI, Paulo Roberto. Aços e ligas especiais. – 2.ª ed. Sumaré, SP: Eletrometal S.A. Metais Especiais, 1988.
- [7] SOUZA, Sérgio Augusto de. Ensaio mecânicos de materiais metálicos – Fundamentos teóricos e práticos. – São Paulo: Blucher, 1982.
- [8] MACHADO, Álisson Rocha...[et al]. Teoria da usinagem dos materiais. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2011.
- [9] BITS E BEDAMES. Ades Ferramentas. São Leopoldo, RS. Disponível em: <<http://adesferramentas.com.br/bits-e-bedames/>>. Acesso em: 26 de jan. de 2020.
- [10] OLIVEIRA, A.T e *et at.* INFLUÊNCIA DO REVENIMENTO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E MICROESTRUTURAIS DE LÂMINAS FORJADAS EM AÇO SAE 5160, p.05-15. In: *Anais do curso de Engenharia mecânica da UniEVANGÉLICA. V.01. N. 01 Anápolis: Centro Universitário, 2017.*



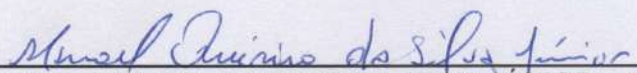
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA
Centro de Ciências Exatas e Naturais – CCEN

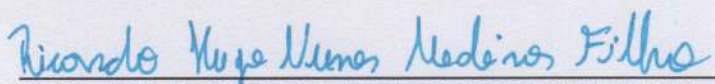
ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

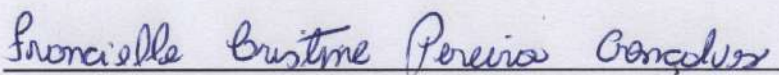
Às quatorze horas do dia sete de fevereiro de dois mil e vinte, no Laboratório de Ensaios Mecânicos, no andar térreo do Centro de Engenharias da UFERSA – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, reuniu-se a Banca Examinadora de defesa de trabalho de conclusão de curso de autoria do aluno **NATANAEL DA SILVA JUVÊNCIO**, aluno do curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia desta universidade, N° de matrícula **2016020749**, com o título **“ANÁLISE DA VIABILIDADE DA DUREZA DE UMA FERRAMENTA DE CORTE FABRICADA A PARTIR DE UM FEIXE DE MOLA”**. A Banca Examinadora ficou assim constituída por três membros: Prof. Dr. MANOEL QUIRINO DA SILVA JÚNIOR, presidente da banca e orientador do Trabalho de Conclusão de Curso; Prof. Me. RICARDO HUGO NUNES MEDEIROS FILHO e a Engenheira FRANCIELLE CRISTINE PEREIRA GONÇALVES, mestranda do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, como membros. Concluída a defesa, procedeu-se o julgamento pelos membros da banca examinadora, tendo o aluno obtido as seguintes notas: **10,0; 10,0; 10,0**. Apuradas as notas verificou-se que o aluno foi aprovado com média geral **10,0**. E para constar, eu, Prof. Dr. MANOEL QUIRINO DA SILVA JÚNIOR, lavrei a presente ata que, após lida e aprovada pelos membros da banca examinadora, será assinada por todos.

Mossoró, 07 de fevereiro de 2020.

Assinatura dos membros da Banca Examinadora.


Prof. Dr. MANOEL QUIRINO DA SILVA JÚNIOR – UFERSA
Presidente e orientador


Prof. Me. RICARDO HUGO NUNES MEDEIROS FILHO – UFERSA
Primeiro Membro


Enga. FRANCIELLE CRISTINE PEREIRA GONÇALVES – UFERSA
Segundo Membro