

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO AÇO DAMASCO SAE 5160 COM SAE 1020 PARA FABRICAÇÃO DE FACAS ARTESANAIS

João Henrique Martins¹, Alexandre Milanez², Fabio Peruch³.

joaohm28@gmail.com¹, alexandre.milanez@satc.edu.br², fabio.peruch@satc.edu.br³.

^{1,2,3} Faculdade SATC, Engenharia Mecânica - Rua Pascoal Meller, 73 - CEP 88.805-380 -
CP 362 - Criciúma - SC - Brasil.

Resumo

O presente trabalho teve como objetivo verificar as características mecânicas do aço damasco, obtido com os aços SAE 5160 e SAE 1020, para utilização em facas artesanais feitas com o método de soldagem por caldeamento (*pattern welding*). O aço damasco, por ser um item de uso em facas colecionáveis em face de sua beleza, acaba tendo valor elevado, em comparação com aços inoxidáveis comuns. A principal causa é do método artesanal e demorado que o mesmo é fabricado, necessitando que ao menos apresente uma resistência similar aos aços tradicionais, podendo ser um substituto viável e seguro. O método é suscetível a falhas, causadas por inclusão de partículas e oxido entre os aços. Para avaliar o processo de fabricação, uma série de testes foram realizados em corpos de provas. O procedimento utilizado, produziu um aço com mínimos defeitos, boas características mecânicas e aspecto visual compatível com este material.

Palavras-chave: Aço damasco; Facas artesanais; Microestrutura; Caldeamento.

1. Introdução

Em facas artesanais fabricadas em aço damasco por *pattern welding* existe a possibilidade de ocorrerem trincas e outras falhas na lâmina, devido a inclusão de partículas e/ou oxidos, durante o processo de soldagem por caldeamento, pelo uso indevido do fluxo de solda e/ou má manipulação dos aços antes da união de suas camadas. Essas trincas podem ou não serem aparentes

e levar a diminuição da integridade física, ou seja, à fissura da lâmina, tornando-a incapaz de desempenhar sua tarefa.

Na maioria dos casos, a oxidação ocorre logo após a saída do aço da forja, ocasionada pela alta temperatura de soldagem. A oxidação irá aumentar os riscos de uma eventual falha entre as camadas dos metais, criando pontos de tensão crítica ocasionados pela inclusão de partículas de óxidos causando eventuais trincas e/ou quebra durante o uso do produto final.

Como a fabricação do aço damasco possui custos elevados, devido ao processo demorado e feito na maioria das vezes artesanalmente, procura-se minimizar os defeitos que possam causar a falha do mesmo, ou até possíveis acidentes com quem for utilizá-lo, na eventual quebra da lâmina. Portanto deve-se ter cuidado com os materiais base e uso correto do fluxo de solda, para garantir uma peça com resistência e livre de falhas críticas.

Com o objetivo de analisar o processo de *pattern welding* e seus possíveis defeitos, este trabalho englobou todo o processo de fabricação de um *billet* de aço damasco e utilizou ensaios de impacto e análise microestrutural para analisar falhas em sua confecção.

2. Revisão Bibliográfica

Este tópico abordará um pouco da história do aço damasco, tipos de facas artesanais, o método de soldagem por caldeamento que descreve o moderno processo de produção do referido aço e ainda os principais procedimentos utilizados para os ensaios.

2.1 Aço damasco

O aço damasco é uma peça de características visuais e funcionais únicas, devido sua fabricação ter a mistura de um aço com alto teor de carbono e um aço com baixo teor de carbono. Ele é capaz de ser resistente a tração e maleável, porém mantendo uma dureza ideal para itens de cutelaria como facas e lâminas em geral. Seu uso, no lugar de aços mais comuns e de fácil fabricação, é devido as exclusivas marcas superficiais que ficam na lâmina do mesmo. O processo de caldeamento no aço damasco, faz com que os aços utilizados fiquem em camadas, podendo estas camadas serem manipuladas, afim de formarem desenhos na superfície, após os mesmos

serem revelados com uso de um ácido, como mostra uma pequena faca de bolso artesanal com desenhos aparentes na fig. 1.



Figura 1 – Faca de bolso em aço Damasco (MAB Custom Knives, 2018).

2.2 História

Aço Damasco tem sua origem ligada a antiga cidade de Damasco, atualmente capital da Síria, que deu origem ao seu nome. Segundo as lendas, quando cavaleiros templários tentaram invadir a região, se depararam com guerreiros que utilizavam espadas de tamanha qualidade que conseguiam cortar as espadas de seus inimigos com um golpe e mantinham os fios de suas lâminas (Davidson, 2016).

Algumas outras histórias contam que uma espada de damasco poderia ser dobrada, encostando sua ponta na traseira do cabo e, após ser liberada, mantinha sua forma original, sem quebrar ou deformar.

Até hoje, os segredos antigos dos grandes ferreiros Sírios da cidade de Damasco, na idade média, não foram revelados. Atualmente se tem apenas tentativas de recriar o lendário aço damasco, com resultados positivos, chamado de aço damasco moderno, mas que na verdade não é exatamente o da lenda (Davidson, 2016).

Após chegar na Ásia e Índia, o ‘*Damascus Steel*’ ou aço damasco ficou também conhecido como aço ‘*Wootz*’, dentre outros nomes menos comuns. Os Ingleses após terem

contato com o aço damasco, utilizaram lingotes vindos da cidade de Damasco para produção de mosquetes, demonstrado na fig. 2. Tendo alta flexibilidade, no eventual acidente da arma com explosão, o mosquete apenas iria deformar e não estilhaçar o cano ao seu redor, evitando ferimentos em seus soldados (Figiel, 1991).

Com a evolução da metalurgia, os aços obtidos por métodos industriais convencionais ficaram mais confiáveis e a técnica do aço damasco se perdeu com o passar dos anos.



Figura 2 – Mosquete feito em aço Damasco (Figiel, 1998).

2.3 Facas Artesanais

As facas artesanais em aço damasco são muito valorizadas no mercado. Além de serem um item de beleza única, são extremamente duráveis e afiadas. O Preço de uma faca artesanal feita a mão no Brasil hoje varia de R\$800,00 a R\$2000,00 para um item de boa qualidade (Cutelaria Vargas, 2018). Se todos os cuidados foram tomados, esta faca pode durar mais do que uma faca comum fabricada em aço inoxidável.

Segundo (Davidson, 2016), aficionados por facas gostam de facas em damasco por vários motivos. Um destes motivos sendo a grande versatilidade destas, indisponível em facas de aços mais comuns. Ainda segundo o autor, a história do aço damasco traz um sentimento de mistério e melhora o apelo destes itens devido a tradição.

Como citado por Ellis (2017), ‘Facas em damasco tem uma beleza única. Este também é um aço muito forte, que parece reter o corte eternamente’.

Existem muitos tipos de facas, entre as quais, a famosa faca *chef* (de cozinha) e a faca militar *bowie*. Porém, os couteiros mais habilidosos conseguem formar facas de todos os tipos e tamanhos, alguns exemplos sendo kukris, cutelos, santokus, machetes, entre outros. Cada tipo exige uma habilidade diferente do couteiro, assim como um tempo de fabricação maior ou menor dependendo da complexibilidade da faca. O aço damasco torna estas facas verdadeiros itens de colecionadores.

2.3.1 Faca militar *Bowie*

A faca militar *Bowie*, foi criada no início do século 19, com a finalidade de ser usada em campeonatos de lutas com facas, comuns daquela época. O herói americano Jim Bowie foi o primeiro a usar este estilo de faca, que levou o nome do mesmo (Flayderman, 2004). Foi um item padrão em tropas americanas na guerra do Vietnã, que faz seu valor histórico e colecionável muito alto. Seu projeto é muito versátil, podendo ser utilizada para defesa pessoal, caça e em situações de emergência como faca de cozinha (Manns, 2004). Este modelo de faca artesanal ganhou muitas competições de ferreiros nos Estados Unidos, sendo a grande maioria feitas em aço Damasco, como vista na fig. 3.



Figura 3 – Faca *Bowie*, feita em aço damasco. (Hoffman, 2018).

2.3.2 Faca "Chef"

Sendo mais conhecida no Brasil como faca de cozinha, é usada tanto por cozinheiros amadores como chefes de cozinha profissionais. Facas "chef" ou de cozinha podem ser fabricadas em diversos materiais e possuem vários tamanhos, sendo o mais comum a faca de 8 polegadas (Ed, 2015). Este tipo de faca é o que é mais facilmente encontrado a venda nas cutelarias artesanais brasileiras, podendo ser visualizado na fig. 4 em um catálogo de uma cutelaria brasileira.



Figura 4 – Faca de cozinha, feita em aço damasco. (Casaknife, 2018).

2.4 Soldagem por caldeamento

O método mais comum para se obter aço damasco moderno é por soldagem por caldeamento ou "*pattern welding*". Trata-se do empilhamento de placas de tipos diferentes de aços alternadas, afim de se obter um bloco com camadas dos dois aços base. O bloco então é elevado a uma temperatura de aproximadamente 1200°C, utilizando fluxo de solda para evitar oxidação do lingote.

Após chegar na temperatura de soldagem, o bloco é submetido a choques e/ou prensagem, utilizando marreta e bigorna, martetele pneumático e/ou prensas hidráulicas, soldando as camadas e alongando o mesmo que vira um "*billet*" de aço damasco.

Após a união das camadas, o *billet* é cortado ao meio, empilhando-se as duas metades e o processo se repete, até obter o número de camadas desejável, que varia de 25 a 400 para uma faca artesanal de aço damasco padrão.

Este processo de soldagem, apresenta riscos de contaminação devido a oxidação dos aços. Para evitar contaminação, o *billet* deve estar sempre coberto pelo fluxo de solda, durante a retirada da fornalha e antes de voltar para a mesma, garantindo assim que sua superfície e o espaço entre as camadas não seja contaminado pela rápida formação de óxidos.

O fluxo utilizado neste trabalho é o bórax, também conhecido como Borato de sódio ou Tetraborato de sódio que é um mineral alcalino derivado da mistura de um sal hidratado de sódio e ácido bórico. Sendo um anti-oxidante, serve perfeitamente como fluxo de solda, indispensável na produção do aço damasco.

2.5 Aços Base

Existem muitos tipos de aço damasco, sendo estes definidos pelos metais base que foram utilizados em sua confecção. Como procura-se misturar características de aços diferentes, é viável utilizar aços não somente com teor de carbono diferentes, mas com elementos de liga adicionais nos aços base, tornando o aço damasco fabricado ainda mais exclusivo e com características mecânicas únicas.

2.5.1 SAE 5160

Aço cromo de alta temperabilidade e boa ductilidade. Na condição beneficiada apresenta alta resistência mecânica e boa resistência à fadiga. Possui alguma resistência a oxidação devido ao elemento de liga cromo em sua composição (D. Gandy, 2007).

Devido sua alta dureza e alto teor de carbono, o 5160 seria o responsável pelo fio da lâmina e sua resistência a oxidação.

2.5.2 SAE 1020

Aço carbono, possuindo um teor de carbono de 0,2%, sendo classificado como um aço baixo carbono é maleável e dúctil. Possui uma baixa resistência mecânica e dureza, devido ao baixo teor de carbono, porém é muito utilizado na indústria por ter um custo baixo (D. Gandy, 2007).

Devido sua ductilidade e aptidão a absorver impactos, este aço seria o responsável por dar estas características ao lingote de aço damasco.

2.6 Dureza Vickers

A dureza é importante para garantir a retenção do fio de corte de uma lâmina por mais tempo. Por esse motivo, o ensaio de dureza foi realizado, afim de comparar os valores obtidos com valores de aços inoxidáveis mais comumente encontrados em facas.

O método de classificação de dureza Vickers consiste em utilizar um penetrador piramidal de diamante com ângulo de diedro de 136°, que é comprimido contra o material sendo ensaiado por uma força arbitrária ‘F’. O penetrador vai deixar uma indentação com formato retangular, onde pode-se calcular a área desta utilizando suas duas diagonais, para então calcular a dureza do ponto, utilizando o valor da força aplicada, mostrada na Equação 1.

$$HV = 1,854 \times \frac{F}{Dm^2} \quad \text{Eq. [1]}$$

Onde:

HV (N/mm²) = Valor da dureza Vickers

F (N) = Força aplicada

Dm (mm) = Diâmetro médio da indentação

Foi selecionado o teste de dureza Vickers, por ter um controle melhor no tamanho da indentação, garantindo que as camadas do material fossem devidamente analisadas.

2.7 Ensaio do Pêndulo Charpy

O pêndulo Charpy, é um método padronizado para medir a resistência do material testado a impactos. Basicamente mede a resiliência e sua característica dúctil, quando mostra a energia necessária para romper o corpo de prova após o impacto, assim como o tipo de fratura ocasionada.

O aparelho consiste de um pêndulo de massa e comprimento conhecido que é deixado cair de uma altura conhecida, impactando o material a ser testado, que é previamente usinado em um corpo de prova padronizado para o ensaio de, normalmente, 10mm × 10mm × 55mm. A energia transferida para o material pode ser medida, comparando a diferença em altura do martelo antes e depois do choque e quebra do corpo de prova. É amplamente utilizado na indústria, pois é fácil de preparar e executar, e os resultados podem ser obtidos rapidamente e com custos baixos. Uma desvantagem é que alguns resultados são apenas comparativos (Meyers; Chawla, 1998).

Os resultados quantitativos, medem a energia necessária para “quebrar” o corpo de prova e podem ser utilizados para se medir a resiliência do material, enquanto que os resultados qualitativos mostram o tipo de fratura que aconteceu durante a quebra, sendo utilizado para se definir a ductilidade do material. Se o material quebrou com um corte reto e “limpo”, era um material frágil e se o corte possuir muitas pontas, com dobras e deformações, era dúctil (Meyers; Chawla, 1998).

3. Procedimento Metodológico

Os procedimentos deste trabalho serão apresentados nesse tópico em detalhes, sendo estes: forjamento do material, visualização da microestrutura do material após forjamento e ensaios de dureza e charpy, para posterior validação de suas características mecânicas. Foi necessária a confecção de 4 (quatro) corpos de prova para a realização dos ensaios propostos.

3.1 Retífica das chapas dos aços base

As chapas dos aços base utilizadas na fabricação do lingote, foram devidamente retificadas em sua superfície de contato, de acordo com a fig. 5, afim de garantir que todas as camadas não

tivessem qualquer tipo de imperfeição ou impurezas incluídas, garantindo uma soldagem precisa. A retífica da marca Mello, modelo P36 foi utilizada, conforme fig. 5, retirando uma quantidade mínima de material, para assegurar o maximo contato das camadas. As chapas que inicialmente possuíam bitola de 2,5mm x 25mm ficaram com 2,3mm de espessura.



Figura 5 – Chapas sendo retificadas

3.2 Forjamento do *Billet* Utilizando Método de Soldagem por Caldeamento

Utilizando as chapas retificadas de aço com bitola 2,3mm x 25mm e comprimento de 100mm, foi feito o bloco inicial, com chapas alternadas de SAE 1020 e SAE 5160, totalizando 6 (seis) camadas destes aços base, que foram empilhadas, como mostra a fig. 6. As camadas foram soldadas para garantir estabilidade. Após ser soldado em suas laterais, com solda MIG comum, afim de garantir que as camadas não se movessem durante o forjamento, o bloco inicial com 6 camadas alternadas entre os aços bases foi aquecido em uma forja à carvão, com a ajuda de uma haste metálica que também foi soldada em sua extremidade, para facilitar o manuseio, como é visualizado na fig. 6. O material foi coberto por carvão vegetal e fluxo de solda dentro da forja, para minimizar qualquer contato com o oxigênio, afim de anular a formação de óxidos.



Figura 6 – (a) Bloco de 6 camadas iniciais; (b) Bloco sendo aquecido.

Quando atingiu a temperatura desejada, visualizada pela cor amarela brilhante adquirida, o material foi retirado da forja e prensado na prensa hidráulica móvel, que pertence a própria Faculdade SATC, com suas camadas em paralelo com a mesma, mostrado na fig. 7, afim de caldear as camadas alternadas em um bloco de damasco. Em seguida o bloco foi pulverizado de fluxo de solda, retornando a forja para reaquecimento, em seguida foi prensado novamente, porém desta vez perpendicularmente para iniciar seu alongamento. Este processo foi repetido, até que o *billet* estivesse alongado suficientemente para efetuar o próximo passo.



Figura 7 – *billet* sendo prensado.

Com o *billet* de 6 (seis) camadas alongado, o mesmo foi devidamente lixado em esmerilhadeira com disco flap, para remover qualquer carepa criada pelo processo de prensagem.

O material foi cortado ao meio transversalmente por esmerilhadeira e disco de corte logo após o lixamento e então soldado em um novo bloco com 2 (duas) camadas de aço damasco com 6 (seis) camadas de aços base alternados em cada uma, totalizando 12 (doze) camadas alternadas de aços SAE 1020 e SAE 5160 no aço damasco, visto na fig. 8. Todo o processo de forjamento, lixamento e corte foi repetido mais duas vezes, até formar um *billet* de damasco com 48 camadas.

Todo este processo foi realizado nas dependências da Faculdade SATC com equipamentos encontrados no laboratório LACOMP – Laboratório de Conformação Mecânica e Processamento de Polímeros.



Figura 8 – *billet* cortado e soldado em novo bloco com 12 camadas.

3.3 Fabricação dos corpos de prova para os ensaios

Com o *billet* pronto, o mesmo foi cortado, eliminando 20mm de suas extremidades, para então cortar 2 (dois) corpos de prova transversais de aproximadamente 10mm de comprimento e área transversal de aproximadamente 12mm x 35mm, que foram utilizados para a realização do ensaio de dureza vickers e visualização da superfície do damasco.

Os corpos de prova para o ensaio Charpy, foram usinados em torno CNC, utilizando o tamanho padrão de bitola 10mm x 10mm e comprimento de 55mm. Dois corpos de prova foram confeccionados para este ensaio.

3.4 Análise Metalográfica

Segundo (Colpaert, 2008), o ensaio metalografico busca visualizar o metal do ponto de vista estrutural, relacionando suas propriedades físicas, químicas, sua composição, etc., afim de prever seu comportamento no uso solicitado pelo metal. Tal exame pode ser executado a olho nu, sem auxilio de equipamentos (macrografia) ou com auxílio de microscópio (micrografia).

Para validação das soldas entre as camadas dos aços base e visualização da microestrutura do damasco, foram capturadas imagens microscópicas da superfície do corpo de prova, baseando-se na norma ASTM E250. Para a análise metalográfica, o mesmo foi lixado com lixas variando a granulação entre 80 e 1200 e então polido com alumina para finalmente ser atacado com Nital 2% por aproximadamente 5 segundos. Para a aquisição das imagens foram utilizados o Microscópio Eletrônico Olympus BX51M e o software AnalySIS GetIT. Todos os procedimentos foram efetuados no LACAMI – Laboratório de Caracterização Microestrutural que se encontra na Faculdade Satc.

3.5 Perfil de Dureza Vickers

Foi escolhido o perfil de dureza para o ensaio de dureza, pois o aço Damasco possui uma superfície variável, sendo necessário ensaiar em vários pontos, afim de chegar em um valor mais confiável de dureza. A caracterização do perfil de dureza ao longo da seção transversal do corpo de prova, foi realizado através de microdurezas Vickers, em vários pontos em linha reta, ao longo do perfil do material, com um passo de 0,4 mm entre as endentações. Para a realização do ensaio foi utilizado o micro durômetro *Shimadzu* HMV-2TADW com auxílio do *Software* HMV-AD, de acordo com a norma ASTM E384. A força utilizada no ensaio foi de 0,9807N (0,1kg).

3.6 Ensaio Charpy

Para a realização do ensaio de impacto foi seguida a norma ASTM E23, com realização do ensaio no Laboratório de Ensaio dos Materiais nas dependências da UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense. Dois corpos de prova foram utilizados neste ensaio, seguindo o padrão conforme fig. 9.

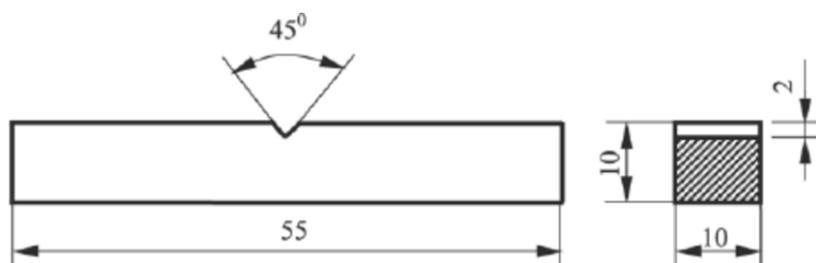


Figura 9 – Corpo de prova padrão para o ensaio de impacto (ASTM E23/2016)

O cálculo da energia absorvida é diretamente ligado a energia potencial do pêndulo. A diferença desta energia potencial entre antes e após o impacto, determina a energia absorvida pelo corpo de prova, conforme equação 2.

$$\Delta U = U1 - U2 = mg(h0 - hx) \quad [2]$$

Onde:

ΔU (J) = Valor da energia absorvida.

$U1$ (J) = Energia potencial na posição de largada.

$U2$ (J) = Energia potencial pós-fratura.

m (kg) = Massa do pêndulo.

g (m/s^2) = Gravidade.

$h0$ (m) = Altura do pêndulo no início do ensaio.

hx (m) = Altura do pêndulo pós-fratura.

4. Resultados e Análises

Com os ensaios concluídos, foram analisados todos os resultados obtidos, afim de validar o método de obtenção e as características do aço Damasco. Sendo os pontos mais importantes a integridade das soldas, a capacidade de absorção de impactos, que mostra a quantidade de energia que a lâmina pode absorver sem fraturar e a dureza, que define por quanto tempo o fio vai durar.

Como ponto de partida, ao analisar o corpo de prova confeccionado para a metalografia, foi possível observar os aspectos visuais esperados no aço damasco, após aplicar o reagente nital 2%, apesar deste reagente não ser o ideal para realçar os desenhos do aço damasco e sim sua microestrutura para a metalografia. Como pode-se observar na figura 10, a superfície do corpo de prova mostra um aspecto de desenhos único, com linhas de cores contrastantes, que mesmo sem nenhum tipo de técnicas avançadas para formação dos desenhos, ainda tornou-se atraente.



Figura 10 – Desenhos superficiais no corpo de prova.

4.1 Metalografia

Foram obtidas 4 (quatro) imagens da superfície do aço damasco, afim de verificar as soldas entre as camadas e possíveis falhas e/ou trincas. As imagens podem ser visualizadas na fig. 11.

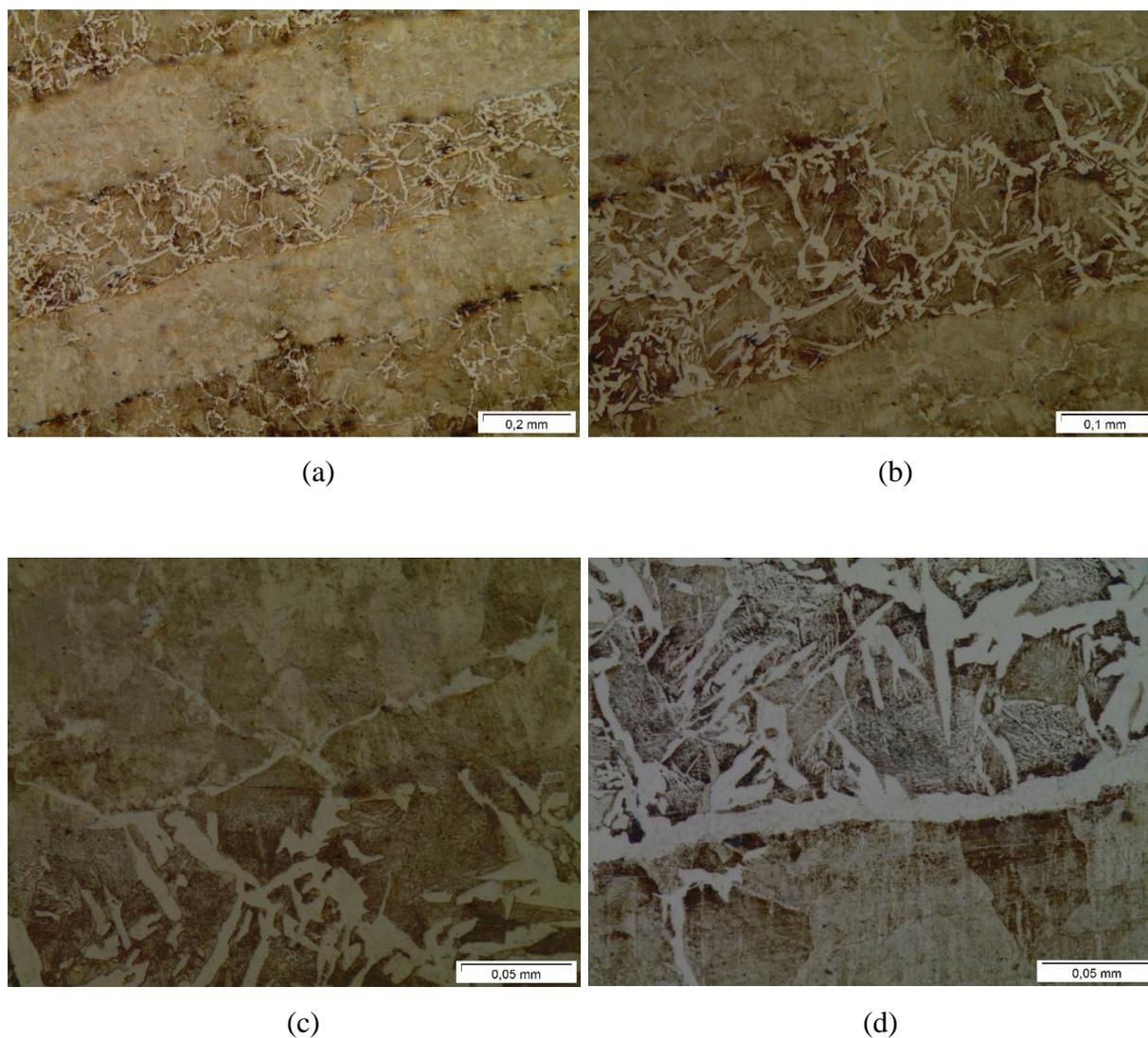


Figura 11 – (a) Ampliação 100x; (b) Ampliação 200x; (c) Ampliação 500x; (d) Ampliação 500x (outra área da superfície).

Observando-se as imagens da fig. 11, percebe-se a clara diferença entre as camadas, com a camada de aço SAE 1020 tendo uma composição em grande parte ferrítica, enquanto o SAE 5160 possui grandes linhas perlíticas. As soldas entre as camadas foram bem sucedidas, não mostrando trincas ou inclusões de partículas, como mostra na figura 11 (a) e (b). Pode-se observar que em algumas partes da superfície do damasco, foi obtido uma solda muito boa, que o material teve um processo de “fusão” entre as camadas, onde não é possível visualizar onde começa e/ou termina as camadas, como mostra na figura 11 (c) a superfície perlítica do SAE 5160 adentrando na camada do SAE 1020, e não se percebe a solda entre as camadas.

Na figura 11 (d) que foi tirada de uma área diferente das outras, percebe-se facilmente a solda entre camadas, com uma clara linha branca, indicando a forte difusão do carbono entre as camadas de SAE 1020 e SAE 5160. A solda aparenta estar boa, sem inclusão de partículas ou qualquer tipo de trinca ou falha, validando a qualidade das soldas do *billet*.

4.2 Dureza Vickers

Cada endentação foi analisada e foi possível gerar a dureza ao longo da superfície do corpo de prova, mostrado na figura 12 (a), uma endentação pode ser visualizada na figura 12 (b).

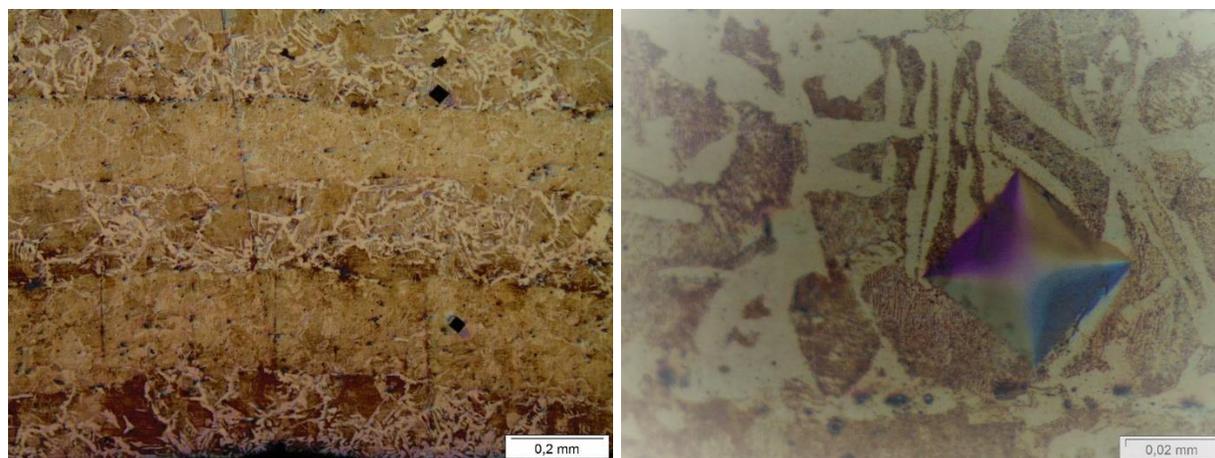


Figura 12 – (a) Endentações na superfície do damasco, ampliação 100x; (b) Endentação com ampliação 1000x.

Um gráfico da dureza Vickers foi plotado utilizando os valores de dureza encontrados em cada uma das 22 endentações no perfil do corpo de prova e pode ser visto na fig. 13, que mostra uma característica esperada do perfil deste aço: sua dureza varia ao longo do perfil do corpo de prova.

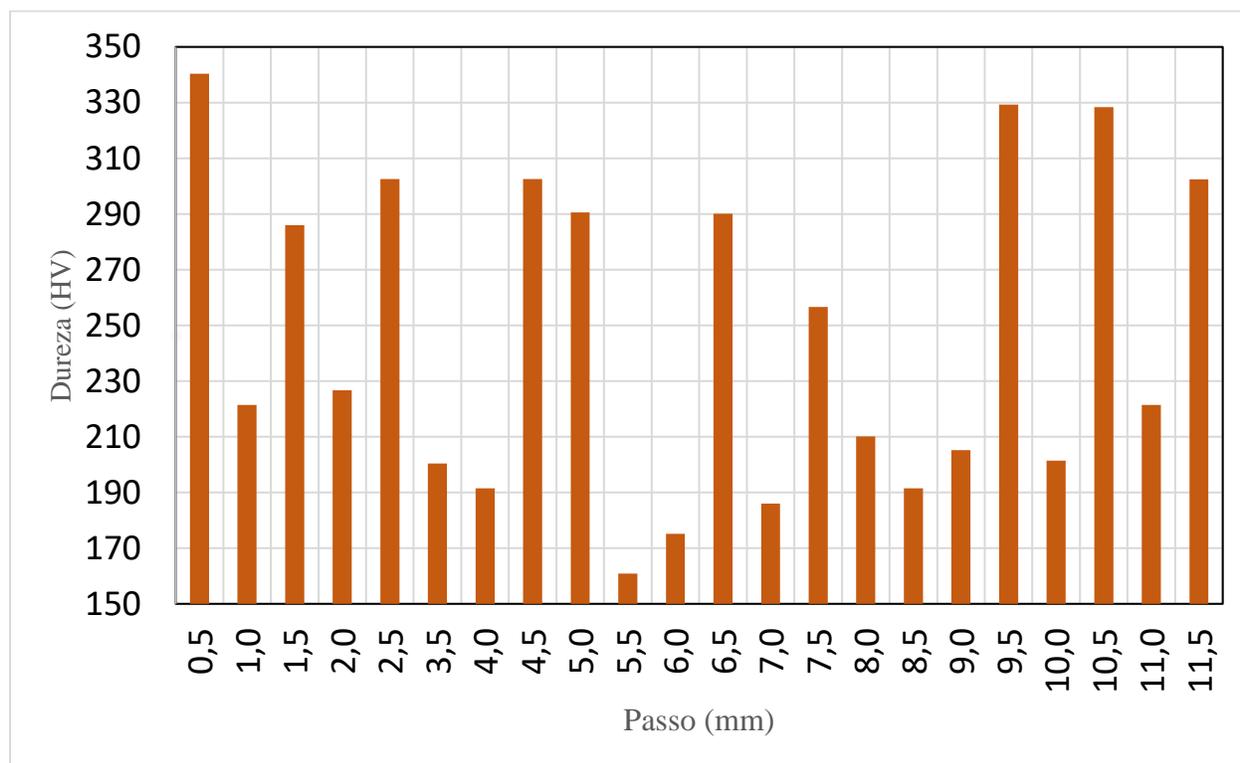


Figura 13 – Gráfico do perfil de Dureza Vickers.

Como pode-se observar no gráfico, cada endentação, indentificadas no eixo ‘x’, obtiveram um resultado diferente de dureza (eixo ‘y’), já que ao longo do perfil do corpo de prova existem muitas camadas entre dois aços com durezas muito diferentes, característica única do aço damasco.

A mínima dureza medida ficou no centro do corpo de prova, com aproximadamente 160 HV. Este valor é devido a camada onde se encontra a endentação, que é do aço base SAE 1020 e por estar numa camada central, ficou menos suscetível a influência da tempera natural causada pelo ar.

Com a máxima dureza de aproximadamente 340 HV, que foram medidas nas extremidades do corpo de prova, onde se encontravam camadas de aço SAE 5160 se confirma uma boa dureza útil para uma lâmina, já que o fio de corte seria confeccionado nas camadas mais externas.

Como comparativo foi utilizada a dureza de um aço inox martensítico AISI 420, que é uma das opções mais resistentes para facas de cozinha, utilizado na maioria das facas de alta qualidade, assim como em aplicações específicas como bisturis cirúrgicos. A dureza média de fornecimento deste aço é de aproximadamente 240 HV (Favorit, 2013), tornando o aço damasco produzido na Faculdade SATC um material adepto a desempenhar a função de um item de cutelaria.

4.3 Ensaio de Impacto

O teste de impacto foi definitivo para garantir a ausência de falhas críticas no material, mostrando que o mesmo não teria trincas que poderiam levar a quebra em regiões aleatórias ao longo do lingote. As fraturas ocorreram como esperado, apenas no centro do corpo de prova, e com separação mínima na solda, mesmo com a fratura completa do material.

Para os resultados quantitativos, foi obtido dois valores para a energia absorvida, sendo 26 Joules na primeira amostra e 28 Joules na segunda amostra, que qualifica uma absorção de energia alta, comparado ao AISI 420, que tem uma média de 20J temperado a 200°C.

Quanto aos resultados qualitativos, obteve-se nas duas amostras uma fratura frágil, com um corte limpo e sem deformações como mostra a fig. 14.



Figura 14 – Corpo de prova fraturado.

Na amostra que absorveu 28J de energia, pode-se observar uma leve separação na solda da camada central, segundo a fig. 15. Esta separação aconteceu na ultima etapa do processo de caldeamento, onde as duas chapas de 24 camadas foram unidas no billet final de 48 camadas.



Figura 15 – Separação da solda.

5. Conclusões

Após analisar todos os resultados obtidos, pode-se concluir que:

O material teve uma dureza alta, tornando-o uma ótima escolha para a confecção de lâminas artesanais, quando comparado ao aço inoxidável martensítico AISI 420, comumente utilizado em facas de cozinha de alta qualidade.

Após aplicar o reagente nital 2%, foi possível visualizar alguns desenhos na superfície do aço damasco, validando seu valor visual.

O aço damasco teve um pequeno descolamento da solda na camada central durante o ensaio de impacto. Como o centro do material é uma região de maior dificuldade no controle da

temperatura, conseqüentemente torna a solda mais difícil na região. Um possível ponto crítico se formou nesta região, causando esta pequena falha.

Apesar do método ser muito suscetível a inclusões de óxidos, não foi possível observar qualquer tipo de partículas nas soldas, quando visualizadas as imagens metalográficas.

O aço damasco apresentou características mecânicas muito boas, e o método de *pattern welding*, se mostrou eficiente.

Uma sugestão para futuros estudos, seria utilizar martetele pneumático e aumentar o tempo do bloco na forja, garantindo que o caldeamento vai ser executado sempre na temperatura ideal, evitando ao máximo pequenas falhas como o desprendimento da solda da fig. 11.

Outra sugestão seria utilizar um outro aço ligado para o aço base de baixo teor de carbono, para garantir ainda mais resistência a diversos tipos de condições que uma possível faca artesanal pode ser exposta.

Agradecimentos

O autor agradece primeiramente a sua família, pelo total apoio durante a realização deste trabalho e durante os anos como acadêmico, seu orientador Alexandre Milanez pela sugestão do tema e indispensável ajuda como orientador, aos colegas acadêmicos e bolsistas dos laboratórios LACOMP e LACAMI, pela ajuda e companheirismo durante a execução dos procedimentos descritos. Agradece também a Faculdade SATC pela disponibilidade de seus laboratórios, bem como os anos todos como fonte de conhecimento indispensável durante a realização do curso de engenharia mecânica.

6. Bibliografia

FIGIEL, M.D., Leo, On Damascus Steel, 1. ed, Flórida 1991. Making Educated Decision Based, Damascus Steel History.

FIGIEL, M.D., Leo, The Dr. Leo S. Figiel Collection of Mogul Arms, San Francisco, Calif. u.a. 1998.

ASTM E23, Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials, 2016.

John D. Verhoeven. Genuine Damascus Steel: a type of banded microstructure in hypereutectoid steels. *Materials Technology*, 2002.

Lide, D. R..CRC Handbook of Chemistry and Physics. 86th ed. Boca Raton. CRC Press, 2005.

Thomas, Sarah. *Materials World*. Vol. 12. no. 8, Agosto 2004.

Davidson, Matt. Damascus Steel, A Beginner's Guide, Maio 2016. Disponível em: <http://knifeinformers.com/damascus-steel-a-beginners-guide/>, acesso em 03/05/2018.

Catálogo Técnico Favorit, Edição 12. Publicado em Novembro de 2013.

Catálogo Casaknife, Disponível em: <https://www.casaknife.com.br/catalogo>, acesso em 07/05/2018.

Catálogo Justcustomknives, Disponível em: http://www.justcustomknives.com/listings_view/main/listings/3384/s16-008custom-damascus-kukri-knife-with-rose-wood--leather-handle.html, acesso em 09/04/2018.

Colpaert, Hubertus. *Metalografia dos produtos comuns*. 4. ed. , São Paulo, Editora Blucher, 2008.

Ellis, Dave. Damascus Steel, Disponível em: <http://www.mastersmith.com/DamascusSteel.htm>, acesso em 03/06/2017.

R.L. Smith & G.E. Sandland, "An Accurate Method of Determining the Hardness of Metals, with Particular Reference to Those of a High Degree of Hardness," Vol. I, *Proc. Inst. Mech. Eng.*, 1922.

Manns, William. "The Bowie Knife". *American Cowboy*, 2004.

D. Gandy. Carbon Steel Handbook. Final Report, California, Electric Power Research Institute, 2007.

Meyers, Marc; Chawla, Krishan K. Mechanical Behaviors of Materials. 2. ed, Prentice Hall, 1998.

MAB Custom Knives, disponível em: <https://www.mabcustomknives.com/>, acesso em 02/06/2018

ASTM E384, Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials, 2017.

Ed, Lincoln (2015). Building Knife Skills: A Culinary School How-To, disponível em: <https://www.lincolntech.edu/news/culinary/how-to-choose-a-culinary-school-knife-set>

Flayderman, Norm. The Bowie knife : unsheathing an American legend. Lincoln, R.I.: Andrew Mowbray, 2004.

J. Brnic G. Turkalj M. Canadija D. Lanc S. Krscanski, Martensitic stainless steel AISI 420: mechanical properties, creep and fracture toughness. 4. ed , Vol. 15, Springer Netherlands, 2011

Hoffman, Terrill. Damascus Bowie with Walrus Ivory, disponível em: <http://ruthknives.com/knives.php?category=Bowie&title=Bowie%20Knives>, acesso em 06/07/2018