

Viabilidade da Aplicação do Aço Inoxidável Aisi 420 Tratado Termicamente

Alexander S. Duarte, Rodrigo L. Almeida
& Gino B. Colherinhas

Neste trabalho foi realizado um tratamento térmico em uma peça de aço inoxidável AISI 420, para aplicação em uma máquina de envase de cerveja. Devido sua resistência à corrosão e suas propriedades mecânicas, esse material é muito utilizado na indústria alimentícia, o tratamento térmico irá aumentar sua dureza, diminuindo o desgaste por atrito, ao qual a peça será submetida. A peça tem a função de apoiar a garrafa de vidro durante a transferência de cada fase do envasamento do produto final, o atrito da garrafa com a peça faz com que o desgaste seja prematuro, aumento os custos da manutenção do equipamento. Trabalho foi dividido em pesquisas científicas e escolha do material adequado para confecção da peça.

Palavras-chave: *tratamento térmico; aço inox 420; têmpera AISI 420.*

In this work, a heat treatment was carried out on a piece of stainless steel AISI 420 for application in a beer filling machine. Due to its resistance to corrosion and its mechanical properties, this material is widely used in the food industry, the heat treatment will increase its hardness, reducing the friction wear, in which the piece will be submitted. The piece has the function of supporting the glass bottle during the transfer of each phase of the filling of the final product, the friction of the bottle with the piece makes the wear premature, increasing the maintenance costs of the equipment. Work was divided into scientific research and choosing the appropriate material for making the piece.

Keywords: *heat treatment; 420 stainless steel; AISI 420 hardening.*

Introdução

Os desenvolvimentos dos aços inoxidáveis começaram simultaneamente, em 1910 na Inglaterra, Alemanha e Estados Unidos. Em 1911, Christiam Dantsizen e Frederick Becket realizaram experimentos em ligas contendo cromo e carbono. Com esses estudos, os aços inoxidáveis ferríticos foram desenvolvidos. No ano de 1913, o metalúrgico Harry Brearley desenvolveu, na Inglaterra, aços resistentes à corrosão. O resultado desses estudos contribuiu com desenvolvimento de outras pesquisas, os doutores Brenno Strass e Eduard Maurer desenvolveram os aços inoxidáveis martensíticos e austeníticos¹.

Os aços inoxidáveis são utilizados onde as peças devem ser resistentes à corrosão, a indústria alimentícia em seus processos utiliza o aço inoxidável principalmente por essa resistência a corrosão, além dessa resistência, algumas aplicações requerem uma resistência mecânica que suporte o atrito que venha a ser submetido, seja por impacto ou deslizamento. A propriedade mecânica depende do tipo de microestrutura do material, que são os ferríticos, austeníticos, martensíticos, duplex e endurecidos por precipitação, que a partir de um tratamento térmico obtém-se uma estrutura martensítica ou austenita retida, essa estrutura depende de sua composição química. Tipo martensítico são ligas do sistema Fe-Cr-Ni contendo cromo 11,5 a 18% e carbono 0,1 a 1,2%, e são austeníticos a altas temperaturas 950°C, e necessitam estabilizar esta fase devido à presença de cromo, que é um elemento alfa-gênico. Os aços inoxidáveis martensíticos são empregados em ambientes onde há exigência de resistência mecânica aliada à resistência à corrosão e à dureza².

Os aços inoxidáveis são um grupo de ligas que possuem resistência à corrosão em convívio com o meio atmosférico, apresentando resultados satisfatórios na presença de diversos meios agressivos e em temperaturas superiores³. O que justifica grande aplicação da liga em ambientes industriais, nos quais o ambiente exige bons desempenhos das ligas usadas, seja por viabilidade econômica ou por normas para controlar a contaminação no caso das indústrias alimentícias e farmacêuticas. A alta ductilidade das ligas de

aço inoxidáveis para algumas aplicações pode tornar seu uso inviável, uma alternativa seria aplicar um tratamento térmico na liga para melhorar suas propriedades mecânicas.

Segundo Strobel (2007) “O tratamento térmico desses aços consiste de uma têmpera seguida de um revenido simples, cujas condições são otimizadas para proporcionar ao aço a resistência mecânica, dureza e tenacidade necessárias”. A necessidade de aumentar a dureza do material é devido ao desgaste por atrito, melhorando essa propriedade pode-se aumentar o tempo de vida útil da peça, ampliando o campo de aplicação do material.

Segundo Chiaverini (2008, p.82) o tratamento térmico é o agrupamento de procedimentos de aquecimento a que são sujeitos os aços, sob situações controladas de temperatura, tempo, atmosfera e velocidade de resfriamento, com o propósito de alterar as suas qualidades ou conferir-lhes características determinadas. A têmpera consiste em aquecer o material até a temperatura de austenitização, seguido de resfriamento até uma temperatura abaixo da temperatura M_i , ágil o suficiente para obtenção de martensita².

Os aços inoxidáveis martensíticos podem ser temperados devido à alta temperabilidade conferida pelo alto teor de cromo, geralmente esfriado em ar, óleo ou água⁴. Para obter o tratamento térmico nos aços inoxidáveis martensíticos, primeiramente, esse material é aquecido até a temperatura na faixa de 900 °C a 1100 °C destinada como temperatura de austenitização e depois é resfriado numa taxa suficiente para a formação da martensita⁵. O aumento da dureza é comumente realizado por meio desta prática⁶. A combinação de processamentos termodinâmicos e de tratamento térmico em aços inoxidáveis martensíticos é desenvolvida para modificar a distribuição dos carbonetos⁷.

Aços que dispõem de boas propriedades mecânicas, como os martensíticos, apresentam baixa resistência à corrosão se comparados aos austeníticos e ferríticos⁸. Os martensíticos são assim designados porque podem ser temperados, associado a resistência à corrosão, dureza e ao desgaste. Possuem como principal elemento de liga o cromo, em teores de até 18%⁹. A classe popularmente usada de aço inoxidável martensítico de 13% Cromo, contém de 0,2% de teor de carbono, que no tratamento térmico exhibe

uma estrutura martensítica de ripas temperada distribuição de carboneto que fortalece a matriz, oferece boa resistência à corrosão e também garante boa temperabilidade⁷.

O diagrama de fases do sistema Fe-C 18 % Cr 13,0 %, característico do aço inoxidável martensítico AISI 420 indica que as principais transformações de fase podem ser observadas por meio da linha tracejada¹⁰, conforme indicado na Figura 1.

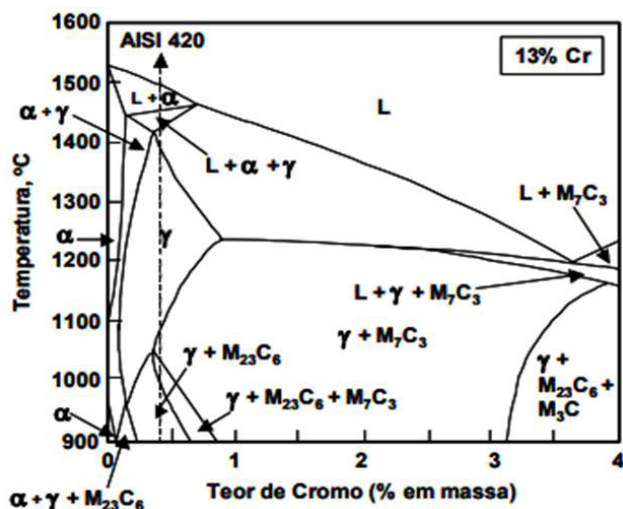


Figura 1: Diagrama do sistema Fe-C-Cr. Fonte: referência [10].

O objetivo é aplicar conhecimentos científicos sobre tratamentos térmicos, identificar os tipos de tratamentos térmicos aplicáveis a aços inoxidáveis, distinguir os tipos de aços inoxidáveis martensíticos quanto a sua aplicação, para melhorar as propriedades mecânicas de um aço inoxidável martensítico, principalmente, a dureza do material. Submeter o material ao tratamento térmico, analisar amostras antes e depois do tratamento e empregar esse material na confecção de uma chapa de deslizamento de garrafas de vidro, a fim de reduzir a periodicidade de troca da peça, otimizando a manutenção do equipamento.

Metodologia

Diante de tal necessidade apresentada, optou-se por confeccionar dois corpos de prova do mesmo material (Inox AISI 420), um em seu estágio padrão de comercialização, o outro tratado termicamente para efeito de comparação. A partir dos resultados um terceiro corpo pode ser fabricado peça visada a solucionar tais problemas de desgaste por atrito, a princípio apenas um corpo será direcionado ao forno para o tratamento térmico, daí em diante ambos serão seccionados para serem submetidos às etapas necessárias para fazer as análises metalográficas e de dureza. Então de posse aos resultados obtidos serão comparados e avaliada a viabilidade e forma de fabricação do terceiro corpo que será a peça para instalação no equipamento.

A fabricação da peça se dará de forma a obtê-la sem que nenhuma região seja afetada estruturalmente além do que já foi testado pelas amostras. Após tratada termicamente, um ensaio de dureza também será realizado nesta terceira. Posteriormente será aplicada ao equipamento para que finalmente se avaliem os resultados de trabalho na prática, para isso periodicamente essa peça será analisada conforme os métodos que serão apresentados neste capítulo.

TRATAMENTO TÉRMICO

Como já mencionado o material utilizado o aço inoxidável AISI 420, foi colocado no interior do forno elétrico, modelo 7809613 da marca JUNG com limite máximo de temperatura de 1300° C, trifásico e ano de fabricação 2013, aferido regularmente e dentro do prazo de validação. Com este ainda desligado e a peça devidamente posicionada em sua parte interna, pode-se dar início ao processo de aquecimento para que a peça aquecesse juntamente com o forno gradualmente até a temperatura de 800° C onde permaneceu por 10 minutos, a fim de que a temperatura se equalizasse no interior da peça como nas demais regiões.

A temperatura estabelecida para esse tratamento foi de 1000° C, velocidade média de aquecimento de 0,13° C/s e a manutenção dessa temperatura deu-se por 15 minutos e logo após a peça foi retirada e resfriada no óleo que, por sua vez, estava em temperatura ambiente.

SECCIONAMENTO TRANSVERSAL DAS AMOSTRAS

As amostras foram retiradas do material com e sem têmpera para que pudesse ser feito um comparativo que é objetivo deste estudo. Para isso utilizou-se um arco de serra manual para retirar uma secção maior do material que coubesse na policorte e posteriormente seccionasse várias amostras para futuras etapas desse processo de estudo, tanto o arco de serra manual quanto a policorte foram selecionadas para essa etapa por serem indicadas por não deixar que o material não tenha uma zona termicamente afetada (ZTA), o segundo por ser um corte por abrasão e demandar muita energia e conseqüentemente calor é fundamental que fosse refrigerado para que não houvesse mudanças estruturais na peça através das mudanças de temperatura, além de remover resíduos e lubrificar o corte.

Como esse material é um bom condutor de calor o refrigerante foi direcionado sobre o corte com vazão constante e suficiente para manter o canal de corte totalmente submerso a fim de que a peça não sofra mudança de temperatura, para isso foi utilizado equipamento próprio para fins de ensaios metalográficos com bomba de refrigeração acoplada diretamente a policorte.

EMBUTIMENTO À QUENTE

O embutimento tem como objetivo facilitar o manuseio das amostras nas operações subseqüentes ao corte e preservar as bordas em uma superfície plana evitando arredondamentos dos cantos ou que danifiquem as lixas e os panos de polir precocemente. Esse processo baseia-se em circuncidar as amostras retiradas do material em um polímero, nesse caso o utilizado foi o baquelite e o equipamento uma prensa de embutimento da marca Panambra Zwick modelo panpress 30, à temperatura de trabalho a 150°C por 15 minutos e com pressão constante na faixa de 125 a 150 kgf/mm² indicada por um led aceso na face do equipamento, o processo de resfriamento também se deu sob a mesma pressão.

Após o embutimento pode-se observar que as amostras se encontravam perfeitamente circuncidadas neste

polímero, que por sua vez, estavam livres de fendas tanto radiais, quanto circunferenciais e em total fusão atendendo a todos os objetivos do embutimento a amostra embutida também estava bem fixada centralizada em uma das faces conforme designada, apta aos trabalhos posteriores.

LIXAMENTO

Esta próxima etapa visa à obtenção de uma superfície plana, livre de sulcos e riscos oriundos dos processos anteriores, é uma operação exaustiva pois demanda tempo e exige cuidados, para que a amostra esteja perfeitamente acabada.

Nesse caso, foi utilizada uma lixadeira elétrica rotativa fixa onde a peça era movimentada manualmente sobre o disco onde as lixas são fixadas no equipamento a 300rpm velocidade de rotação do disco, sob o fluxo constante de água, que evita o empastamento dos resíduos que se desprende tanto da amostra quanto da lixa durante o processo entre as superfícies em contato e aquecimento do material. A seleção das lixas e a seqüência de utilização delas são: 120-240-320-400-600-800-1200-2500, obedecendo à ordem da maior para a menor, note que quanto maior o número menor a granulometria, a substituição da lixa é realizada quando a lixa atual tenha retirado completamente os riscos deixados pela lixa anterior, quando não era possível uma lixa de maior granulometria era selecionada e reiniciado o lixamento.

A amostra do material devidamente seccionada e embutida foi referenciada quanto a sua orientação sobre o disco de lixamento para que pudesse girar a 90° sempre que a lixa fosse trocada alternando assim a direção do lixamento, antes de iniciar o processo com uma nova lixa a superfície da amostra era limpa com água corrente para que todos os resíduos provenientes da peça e da lixa utilizada anteriormente fossem eliminados.

O movimento da amostra sobre o disco com a lixa é realizado de forma linear, em forma de vai-e-vem que iniciou-se pela periferia do disco até o centro retornando a periferia e assim subseqüente até o término do uso lixa sem girar a peça mantendo sempre a mesma orientação, para que não houvesse desgaste desigual da amostra a pressão manualmente exercida sobre a peça foi

mantida de forma sobre ela, bem como a velocidade dos movimentos sobre a lixa.

POLIMENTO

Subsequente ao processo de lixamento, o polimento tem como finalidade a obtenção de uma superfície de alta refletividade e acabamento fino que proporcione uma boa aproximação microscópica, durante essa operação foi utilizado o mesmo equipamento usado para lixar, com alterações no fluido aplicado, nesse caso, o alumina de 1 μm e a substituição das lixas por panos de polir. A limpeza do equipamento com água e sabão é indispensável para que se tenha um total desprendimento dos resíduos deixados pelo lixamento, a limpeza das amostras também foi realizada antes de iniciar essa etapa, bem como todas as vezes que se reiniciava o processo, mãos e ambiente também se enquadraram nos quesitos de limpeza.

Sob velocidade de 300 rpm o pano de polir umedecido com alumina de 1 μm recebeu as amostras após o lixamento e a preparação da politriz, manualmente conduzidas com movimentos lineares da periferia ao centro e do centro à periferia sucessivamente até o término dessa etapa, mantendo sempre pressão e velocidade uniforme como no processo anterior, isso se repete até a obtenção de uma superfície de alta refletividade. O agente polidor nesse caso o alumina foi adicionado a cada repetição pois tende a perder eficiência quando os fragmentos em sua composição sofre danos nas arestas de corte, alterando os resultados, foram utilizados também dois panos de polir para alternar o polimento entre estes com o intuito de otimizar o efeito esperado, sempre com a cautela de eliminar os restos depositados no tecido e repetindo a adição do agente polidor até a conclusão do processo.

ATAQUE QUÍMICO E ANÁLISE MICROSCÓPICA

Essa etapa visa à microanálise do material, para isso utiliza-se do ataque químico para evidenciar os contrastes na microestrutura das amostras, como: contorno dos grãos e mudanças de fases. Antes do ataque químico seguiram-se os padrões de limpeza utilizados nos processos anteriores

para eliminar todo tipo de resíduos sobre as superfícies das amostras, evitando que parte delas sejam mais atacadas quimicamente do que outras, o reagente usado foi água régia + glicerina que é indicado para esse material, a solução foi gotejada sobre a superfície a ser analisada e o tempo de reação se deu por 3s, tanto antes como depois, a peça foi limpada com álcool e um chumaço de algodão e secada com o auxílio de um secador.

A análise microscópica foi realizada através do microscópio metalográfico da marca Pantec Panambra, com aproximação de 150x e filtro colorido para que os contrastes na microestrutura fossem mais evidentes o equipamento contava também com ajuste de luminosidade, ajuste de distância interpupilar, ajuste macro e micro de focalização e câmera fotográfica acoplada para captura das imagens. As amostras são colocadas sobre a mesa do microscópio perpendicularmente ao feixe polarizado de luz projetado sobre a superfície dessas, basicamente essa luz é refletida à lente tornando possível a observação da microestrutura do material.

ENSAIOS DE DUREZA

Para análise de dureza utilizou-se um durômetro da marca digimess, houve a cautela de submeter o material aos testes apenas após o lixamento para que os óxidos formados na superfície não mascare os resultados coletados, 5 amostras do material de referência e 5 amostras do material com têmpera foram utilizadas e foi considerado uma média de cada tipo de amostras para efeito de comparação, para todas foi utilizado ponta de esfera em escala Rockwell C exceto o material de referência mensurado em escala Rockwell B pois não atinge a anterior. Se verificada a viabilidade da fabricação da peça com base nos ensaios será analisada em pontos distintos, a fim de obter uma média quanto a dureza adquirida.

FABRICAÇÃO DA PEÇA

O protótipo utilizado neste projeto teve como foco puramente a aplicação de tratamento térmico, ignorando o dimensionamento do projeto que já está pré-definido, pois o principal objetivo é a otimização do material para o

ambiente que está inserido, respeitando todas as dimensões do projeto inicial.

Por conter um formato irregular, o processo escolhido para confecção da peça foi o corte a jato d'água por comando numérico computadorizado (CNC), levando em conta os custos e os benefícios do processo como: precisão, acabamento e conservação das propriedades mecânicas do material. Refere-se a um corte a frio evitando que a região próxima ao corte seja afetada termicamente.

Uma chapa laminada com espessura de 6,35 mm, a mesma da peça, foi utilizada como material de construção, restava apenas cortá-la no formato do modelo, o corte a jato d'água basicamente consiste em um processo que utiliza um recurso natural (água) como objeto de corte combinado a pressões elevadíssimas e velocidade supersônica. A pressão da água que sai pelo bico que possui orifício que varia de 0,6 mm a 1,0 mm é de aproximadamente 4100 bar a 6400 bar, nota-se a diferença se comparada à pressão que tem uma mangueira de incêndio que é de aproximadamente 14 bar, mas para romper com as tensões do material e ocasionar o seccionamento, tal pressão precisa estar associada a alta velocidade do jato que é em torno de 4000 km/h.

O corte da peça foi realizado em menos de uma hora desde sua preparação ao término, foi adicionado um aditivo abrasivo misturado à água normalmente utilizado na usinagem de metais, o processo atendeu todas as tolerâncias dimensionais da peça de duas casas decimais em mm e outros processos, como por exemplo, acabamento nas laterais a peça não sofreu mudanças de temperatura significativa como é de característica do corte a jato a jato d'água.

APLICABILIDADE

Após a fabricação, a peça passará por ensaios de dureza para constatação da eficácia do tratamento térmico e em seguida, será instalado no equipamento de transporte de garrafas de vidro, um cronograma de checagem das condições irá definir um período de 15 em 15 dias o monitoramento e coleta de informações pertinentes à peça a partir de sua instalação, onde serão registrados dados como: aspecto geral da peça, medições para verificar se houve desgaste naquele intervalo e ausência de trincas ou

deformações, horas trabalhadas do equipamento e o quanto ele produziu. Para comparação instalou-se uma chapa no outro equipamento da mesma linha produtiva sem aplicação do tratamento térmico, a comparação será necessária para justificar o custo benefício de instalar peças com o mesmo tratamento nos demais equipamentos da linha.

VIABILIDADE ECONÔMICA

Para avaliar a viabilidade econômica, um paralelo entre a peça anteriormente utilizada e a peça proposta por esse trabalho científico será realizado levando em conta custos de fabricação e durabilidade, além de mensurar disponibilidade do equipamento, produtividade, tempo médio de reparo, o que deixou de produzir durante as trocas desse componente, todos esses dados serão baseados dentro de um ano, utilizando o ano anterior como referência. Como a empresa trabalha com gerenciamento de dados de manutenção por meio do SAP, os custos e periodicidade de troca podem ser coletados a partir do histórico gerado por esse gerenciamento.

Resultados e Discussão

FABRICAÇÃO

O objetivo principal na fabricação da peça era mantê-la sem alterações em sua microestrutura, impedir que algumas regiões, obviamente as mais próximas ao corte, fossem afetadas termicamente, tendo em vista que o material em questão possui uma baixa condutividade térmica conforme Tabela 1. Esse fator é de alta relevância, pois tende a concentrar calor na região a ser usinada ao invés de dissipá-lo às demais áreas e evitar que parte dessa energia se acumule na ferramenta de corte, como por exemplo: brocas e ferramentas de corte diversas. Uma boa condutividade térmica minimiza os impactos gerados pelo alto aquecimento proveniente dos desprendimentos das partículas do material durante o corte.

Tabela 1: Condutividade Térmica. **Fonte:** referência [11].

Material	k, W/(m·K)	Material	k, W/(m·K)
Cobre	401	Fibra de vidro (placa)	0,058
Alumínio	240	Placa de fibra mineral	0,049
Ferro	80,2	Fibra de vidro (manta)	0,038
Aço (AISI 1010)	63,9	Poliestireno, expandido	0,027
Aço inox (AISI 304)	14,9	Uretana, espuma	0,026

O tipo de corte utilizado, a jato d'água, permitiu que, durante todo o processo, a peça estivesse em temperatura ambiente, o fluxo constante de água sob pressão aproximada de 4500bar. Ao invés de uma ferramenta fixa que estaria sujeita a desgaste no fio de corte ou vibrações, fatores que fomentariam ainda mais o aquecimento afetando as propriedades do material em algum ponto de sua área, ou cortes que demandam muita energia térmica para realização dessa atividade. Por conta dessas condições foi bastante vantajoso a seleção desse equipamento em relação aos outros.

Outro ponto importante, oriundo desse processo, está relacionado justamente à estabilidade dimensional, que também pode ser afetada durante um processo de usinagem por conta de aquecimento. Eliminado esse problema volta-se para a eficiência e versatilidade do corte a jato d'água controlado por comando numérico computadorizado (CNC), o que viabilizou tolerância dimensional na faixa de 0,05mm, considerada excelente para essa aplicação, o formato irregular da peça era tido como inviável aos processos convencionais de usinagem, mas foi executado de forma relativamente simples com o bico de orifício de 0,6mm pelo qual passa o fluxo de água se deslocando por meio de movimentos robotizados por todo o perímetro de corte, que durou menos de uma hora desde a fixação, a programação e o seccionamento do material.

A medição da peça revelou a precisão que o equipamento devidamente em boas condições de uso oferecia, dentro do alcance de tolerância de centésimos de milímetros, utilizou-se um paquímetro de 0,02mm, as exigências dimensionais da peça eram de até 0,1mm para mais ou para menos, e em todas as cotas estabelecidas obtiveram-se variações de no máximo 0,05mm, ou seja, sempre dentro

do tolerável, uma excelente precisão no cumprimento das cotas previamente desenhadas. Apesar desse processo não oferecer superfícies pós-usinagem de baixa rugosidade, foi necessário apenas um leve lixamento nos cantos da peça já que esse tipo de processo não gera rebarbas.

TRATAMENTO TÉRMICO

A liga utilizada AISI 420 de composição C – 0,15%, Cr – 13%, Mn – 1%, Si – 0,75%, Ni – 0,5% demonstrou resultados após o tratamento térmico de têmpera bastante satisfatórios, os elementos constituintes como: C e Cr responsáveis pela transformação de fase que garantem a liga maior dureza e conseqüentemente uma maior resistência ao desgaste por conta da ação sofrida pelo movimento de transporte das garrafas sobre a peça nesse caso, o que provocava perda progressiva de material sobre a superfície da peça.

A presença dos elementos de liga C e Cr com teores em aproximadamente 0,15% e 13% respectivamente dentre outros elementos que formam a liga são predominantes na formação da ferrita no estágio natural da liga. Através do aquecimento da peça a uma temperatura de 1000°C, Figura 2, fez-se com que a fase presente no material, a ferrita transformasse-se em austenita, à temperatura dentro da faixa de 925 a 1065°C é responsável pela dissolução dos carbonetos e decomposição de ferrita-delta, o processo de aquecimento de forma gradual à velocidade de 0,13°C/s permitiu a obtenção de uma peça homogênea livre de deformações e de regiões que não tivesse sofrido os efeitos do tratamento.

A transformação de ferrita em austenita não é o suficiente para os efeitos do tratamento térmico de têmpera, assim como nos aços comuns o material precisa que sua temperatura seja elevada a zonas de transformação de fase, nesse caso é denominada como temperatura de austenitização e posteriormente resfriado bruscamente em óleo, Figura 3, para a formação da estrutura martensítica onde o material teve os ganhos desejados em suas propriedades como: dureza e resistência ao desgaste.



Figura 2: Forno elétrico. **Fonte:** Autores.



Figura 3: Peça sendo resfriada à óleo. **Fonte:** Autores.

DUREZA

Os resultados obtidos nos ensaios de dureza se dividem em duas etapas, assim como já mencionado no presente trabalho: em um primeiro estágio verificaram-se as amostras tratadas termicamente e as compararam-se com as amostras não tratadas e em um segundo estágio a peça a ser instalada na enchedora foi submetida aos ensaios.

As amostras analisadas foram emparelhadas entre duas classes: cinco delas sem tratamento e cinco com tratamento térmico de têmpera, os valores apresentados revelaram a boa temperabilidade da liga utilizada o aço AISI 420, que ao ser comparado demonstrou números significativos relacionados a dureza adquirida pós-tratamento, os resultados das cinco amostras gerou média e dessa forma pode-se ter uma maior confiabilidade do grau de dureza correspondente. A Tabela 2 a seguir apresenta os valores obtidos relacionados a cada amostra e a média que representa cada tipo de classe.

Tabela 2: Resultados da dureza nos tipos de classe. **Fonte:** Autores.

Amostra	AISI 420 S/ têmpera(HRB)	AISI 420 Tratado termicamente(HRB)
01	82	53
02	78	51
03	84	51
04	81	49
05	80	53

O ensaio da peça sucedeu após a realização de uma limpeza na superfície da peça que teve o intuito de retirar a camada carbonizada que se formou e evitar distorções nos valores reais obtidos durante a análise,. Vale ressaltar que esse procedimento não foi necessário para as amostras pois elas passaram por todo o processo de metalografia descrito antes de se verificar a dureza. Além da retirada dos resíduos sobre a superfície da peça provenientes da têmpera, pontos aleatórios foram selecionados para a verificação do grau de dureza da peça e a média dos valores coletados foi utilizada para maior confiabilidade dos resultados, conforme descritos na Tabela 03.

Tabela 3: Dureza obtida em pontos aleatórios da peça. **Fonte:** Autores.

Ponto	Dureza da peça Em escala (HRC)
01	51
02	51
03	50
04	51
05	52
06	49
07	50
08	50
Média	50,5

A dureza mecânica adquirida tende a resistir à penetração de outro material, bem como ao desgaste gerado pelo atrito sofrido pelas garrafas ao serem transportadas sobre a peça nesse caso, e em uma série de outros que envolvam tal propriedade mecânica e ações que resultem em perda indesejada de material progressivamente. A comparação do material não temperado revela os ganhos significativos dessa resistência e boa temperabilidade do material.

METALOGRAFIA

Nesta etapa, os resultados foram divididos em três fases: a primeira consiste no corte das amostras, o embutimento a quente Figura 4, o lixamento e o polimento da peça Figura 5, de acordo com a metodologia utilizada baseada em normas e técnicas voltadas para ensaios metalográficos que possibilitou com êxito o ataque químico e a análise microscópica, segunda e terceira fase respectivamente, o objetivo até aqui era de corpos de prova com alta refletividade livre de sulcos e rabos de cometa, ambos defeitos foram verificados se ausentes sob as lentes do microscópio antes de se aplicar o reagente, a ausência também de imperfeições no embutimento e de ZTAs provenientes do seccionamento das amostras demonstraram boas condições para os ensaios.



Figura 4: Equipamento utilizado para o embutimento à quente das amostras. **Fonte:** Autores.



Figura 5: Liga AISI 420 embutida à quente em baquelite verde. **Fonte:** Autores.

Durante o ataque químico, avaliou-se também o tempo de exposição das amostras ao reagente utilizado glicerina + água régia ($\text{HCl} + 10\text{ml glicerol} + 5\text{ml HNO}_3$), os ensaios foram realizados com a solução fresca, ou seja, manipulada no dia do ensaio, o tempo médio de reação foi de 5s para

uma melhor definição das fases à observação microscópica. Após esse período, ocorria a queima da superfície devido ao tempo excessivo de exposição das amostras ao reagente, tornando necessário retornar ao polimento para recuperar o polimento do corpo de prova e daí reiniciar o ataque químico, fez-se necessário também retorná-las à politriz quando o tempo de reação era insuficiente para revelar os contrastes das fases existentes do material, retomava-se então a superfície refletiva antes de atacá-la novamente.



Figura 6: Aplicação do reagente. **Fonte:** Autores.

Os elementos que compõem determinado material e as fases presentes em sua microestrutura revelam as propriedades existentes. A observação das mudanças de fases desta liga, vistas através do microscópio óptico nos corpos de prova, foi um fator relevante ao considerar que se deveria dar continuidade a tal experiência e fabricar a peça a ser instalada na enchedora, pois as comparações feitas entre as amostras tratadas e não tratadas termicamente com têmperas revelaram particularidades distintas nos dois casos, conforme mostram as Figuras 7, 8 e 9 a seguir:



Figura 7: Microscópica com aumento de 50x da liga AISI sem têmpera, fase ferrita. **Fonte:** Autores.

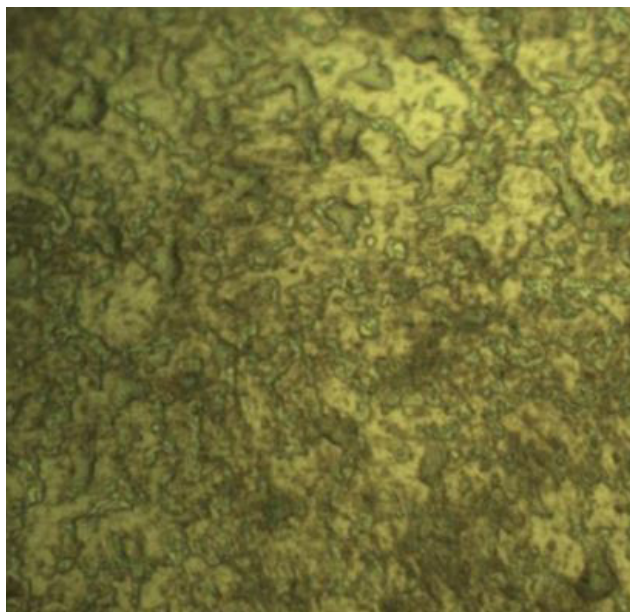


Figura 8: Microscópica com aumento de 50x da amostra temperada, fase martensita. **Fonte:** Autores.

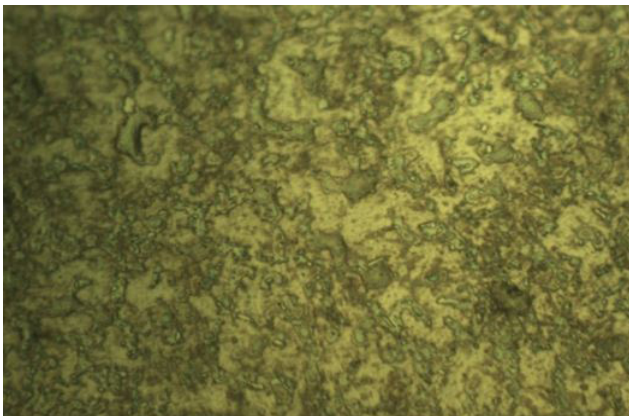


Figura 9: Aumento 50x da amostra temperada, os carbonetos de cromo são dissolvidos na temperatura de austenitização e a martensita é formada após resfriamento brusco do material. **Fonte:** Autores.

Os elementos químicos presentes na liga, não apenas a caracteriza como um material de boa temperabilidade, mas também influencia no retardo às transformações de fase durante o processo de têmpera. Prova disso foi a temperatura utilizada na zona crítica, faixa de austenitização, se comparada a do aço com teores de carbono entre 0,022% a 0,76% que pode ser temperado à temperatura de 727° C aproximadamente, a liga estudada o aço inox AISI 420 tem seus elementos dissolvidos na austenita acima de 900°C até 1100°C e nesse caso os resultados obtidos foram à temperatura de 1000°C, onde ocorreu as transformações necessárias e a formação de carbonetos por parte dos elementos da liga.

APLICABILIDADE

Para aplicação da pesquisa utilizaram-se duas peças, uma com o material em seu estado normal e a outra com o devido tratamento para alteração de suas propriedades. O equipamento escolhido trata-se de uma enchedora isobárica, ou seja, o princípio de enchimento baseia-se na igualdade das pressões entre o tanque de armazenamento e o recipiente a ser envasado. A linha contém duas enchedoras do mesmo fabricante, porém com modelos diferentes, enchedora 01 contém 73 válvulas de enchimento e 12 cabeçotes arrolhadores e a enchedora 02 contém 63 válvulas e 12 cabeçotes arrolhadores, a Figura 10 mostra o local de instalação das peças.



Figura 10: Enchedora 01. **Fonte:** Autores.

Na enchedora 02 foi instalada a chapa com tratamento térmico, esse equipamento rodou cerca de 1110 horas com a chapa instalada, isso corresponde dois meses de produção, a chapa não apresenta desgaste desde sua instalação, comprovando assim a efetividade do trabalho realizado. A Figura 11 mostra o estado da chapa após as horas trabalhadas, nota-se a área polida, pois o atrito da garrafa com a chapa deixou visual a forma com que as garrafas deslizam sobre a chapa.



Figura 11: Chapa de passagem com tratamento térmico. **Fonte:** Autores.

Para a enchedora 01 instalou-se a chapa em seu estado normal, as duas chapas foram instaladas no mesmo dia, portanto, a quantidade de horas trabalhadas é a mesma, com isso tem-se uma comparação mais precisa do período de troca antes e depois da realização do trabalho. A Figura 12 mostra o desgaste da chapa, principalmente, no início da passagem da garrafa, pois nesse ponto a peça recebe o impacto da garrafa, esse desgaste tem cerca de 2mm de profundidade, esse valor corresponde 28% da espessura da chapa.



Figura 12: Chapa de passagem sem tratamento térmico. Fonte: Autores.

O desgaste gerado pelo atrito é bem considerado, levando em consideração o tempo curto de trabalho, exemplo citado conforme a enchedora 02 causa prejuízos nos itens de custo da produção como quebra de garrafas, perda de produto, entre outros.

VIABILIDADE ECONÔMICA

Histórico gerado por meio de relatório pelo sistema SAP, mostra a quantidade de vezes que a chapa foi substituída nos últimos 14 meses, o sistema SAP é utilizado para gerenciamento de manutenção da empresa, conforme Tabela 4, constata-se a data e o problema descrito na ordem. Essa linha possui duas enchedoras, cada enchedora possui três chapas de passagem, cada uma com suas

medidas particulares, exercendo a mesma função dentro do equipamento mencionado.

Tabela 4: Relatório SAP. Fonte: Autores.

ORDEM	LOCAL DE INSTALAÇÃO	DESCRIÇÃO	DATA DE CRIAÇÃO
60239832	CE-05010-ENCHEDORA 01	Chapa de passagem danificada.	08/01/2020
28320557	CE-05010-ENCHEDORA 01	Melhorar a fixação da chapa de passagem.	09/02/2020
28365684	CE-05010-ENCHEDORA 01	Chapa de passagem intermediária.	29/01/2020
28441817	CE-05010-ENCHEDORA 01	Realiza ajuste na chapa de passagem	05/03/2020
27891045	CE-05010-ENCHEDORA 02	ENCH 02- Chapa de passagem da estrela	05/06/2020
27839869	CE-05010-ENCHEDORA 02	Chapa de passagem da estrela de saída	12/06/2019
27843518	CE-05010-ENCHEDORA 02	Chapa de passagem da estrela de saída	13/06/2019
28021906	CE-05010-ENCHEDORA 02	Troca da chapa de passagem do arrolhador	26/08/2019
28127244	CE-05010-ENCHEDORA 02	Chapa de passagem danificada.	04/10/2019
28414877	CE-05010-ENCHEDORA 02	Substituição da chapa de passagem.	20/02/2020

Levando em consideração o histórico de troca desse componente, faz-se uma projeção de economia que a empresa pode ter com a redução de troca deste item de desgaste, os custos de troca de uma peça levam-se em conta a mão de obra especializada, a fabricação da peça e as horas paradas do equipamento, mas para esse trabalho específico coloca-se apenas o custo de fabricação da peça.

Relatório mostra um consumo de dez peças durante o ano, cada peça custa para a empresa R\$ 791, a fábrica gastou cerca de R\$ 7910 em um ano. A peça com o devido tratamento térmico aplicado custará para a empresa R\$ 1000, como a linha é composta por duas enchedoras investimento inicial de R\$ 2000. Levando em consideração a análise de aplicação da peça, estima-se durabilidade acima de 8760 horas, reduzindo 75% de gastos do ano anterior.

Conclusão

Conclui-se que o tratamento realizado na peça atinge a expectativa, que é aumentar a dureza, melhorar as propriedades do material quanto ao desgaste por atrito. Os ensaios comprovam a eficácia do trabalho, podendo em outras oportunidades ser utilizados em outros componentes, pois a principal propriedade do aço inoxidável se manter preservada, que é a resistência à corrosão. A viabilidade econômica justifica se, devido ao baixo investimento para melhorar as propriedades do material, estudos analíticos e práticos comprovam esse dado importante.

Manter-se no mercado competitivo requer muito trabalho e dedicação de todos envolvidos, a área de manutenção de uma empresa encontra muitas dificuldades para uma

atuação efetiva, visto que a manutenção é uma despesa que nenhum empresário quer ter. Para a solução desse conflito, cabe aos envolvidos na área mostrar por meio de análises e projeções os ganhos em manter um equipamento, propor soluções e ações que justifique o investimento.

Referências

1. Padilha, A. F.; Guedes, L. C. Aços inoxidáveis Austeníticos - Microestrutura e Propriedades, Editora Hemus Ltda., 170 p., São Paulo, **1994**.
2. Strobel Filho, Eloy; Lima, Alex Pereira de; Mariano, Neide Aparecida. Efeito do tratamento térmico na caracterização microestrutural e das propriedades mecânicas de um aço inoxidável martensítico do tipo 13Cr5Ni0, 02C. Rem: Revista Escola de Minas, v. 60, n. 1, p. 123-127, **2007**.
3. Ferreira, E. W. S. Caracterização Microestrutural e Avaliação da Resistência à Corrosão de Aços Inoxidáveis Austeníticos utilizados em aplicações como Biomateriais. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São João Del Rei (UFSJ), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPMEC). São João Del Rei – MG, **2013**;
4. Chiaverini, Vicente. Tratamento térmico das ligas metálicas. ABM. São Paulo: **2008**;
5. Bandeira, Giselly. AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO PROCESSO DE TÊMPERA E REVENIMENTO SOBRE A RESISTÊNCIA À CORROSÃO DO AÇO INOXIDÁVEL MARTENSÍTICO AISI 420. Disponível em: <https://abraco.org.br/src/uploads/intercorr/2018/INTERCORR2018_203.pdf> Acesso em: 23 de fevereiro de **2020**.
6. H. Chandler, Heat Treating Guide: Practice and Procedure for Iron and Steel, 2nd ed., ASM international, (**1994**), 775
7. Srivatsa, Kulkarni; Srinivas, Perla; Balachandran, G.; Balasubramanian, V. Improvement of Impact toughness by modified hot working and heat treatment in 13%Cr Martensitic Stainless Steel. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921509316311133>> Acesso em: 22 de setembro de **2019**.
8. Marcuci, José; Camilo, Claudia; Lorenzo, Pedro; Rollo, João. Mathematical modeling of dilatometric behavior of 420A and 440C martensitic stainless steels used in surgical tools, disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeb/v29n1/a04v29n1.pdf>> Acesso em: 16 de Novembro de **2019**.
9. Chiaverini, Vicente. Aços e ferros fundidos. ABM. São Paulo: **2008**;
10. Bungardt, V. K. – “Untersuchungen über der Aufbau des Systems EisenChrom-Kohlenstoff”, Arch. Eisenhüttenwesen, 29(3):193-203, **1958**.
11. Incropera, Frank P. *et al.* Fundamentos de Transferência de Calor e Massa. 6ª edição. Rio de Janeiro: LTC, **2008**.

Alexander S. Duarte*, Rodrigo L. Almeida & Gino B. Colherinhas

Centro Universitário de Anápolis – UniEVANGÉLICA. Avenida Universitária, km 3,5, Centro Universitário, Anápolis, Goiás, Brasil.

*E-mail: santos_alexduarte@hotmail.com.br