INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION IN MANAGEMENT AND INDUSTRY

ESTUDO PARA ELIMINAÇÃO DO PROCESSO DE DECAPAGEM DO MATERIAL 17-4PH USINADO E TRATADO TERMICAMENTE

STUDY TO ELIMINATE THE PICKLING PROCESS OF MATERIAL 17-4PH MACHINED AND HEAT TREATED

Célio Aparecido Delfino [I]
Cícero Antônio Carvalho Campelo[II]
Solange Pereira dos Santos Farah [III]
Alessandro Fraga Farah [IV]

RESUMO

Este trabalho foi elaborado para realizar um estudo para melhoria de processo na fabricação de uma peça feita através da usinagem a partir do material 17-4PH, no qual uma das etapas do processo é a decapagem que é feita após o tratamento térmico de envelhecimento. A decapagem utiliza um ácido bastante agressivo podendo ocasionar acidentes graves se não for manuseado corretamente. Para se realizar a melhoria desse processo o material foi tratado antes de ser enviado para a usinagem, e após o tratamento térmico o processo de usinagem substituiu a decapagem. Na usinagem das barras que passaram pelo tratamento térmico o tempo de usinagem, o desgaste das ferramentas e o custo do produto ficou mais elevado se comparado com o processo atual devido a dureza mais elevada do material. Entretanto, mesmo com esses parâmetros mais elevados a retirada da decapagem no processo atual foi válido devido seu ganho na qualidade da segurança do trabalho e meio ambiente.

Palavras-chave: decapagem; usinagem; tratamento térmico de envelhecimento; segurança.

ABSTRACT

This work was designed to carry out a study to improve the process in the manufacture of a part made by machining from 17-4PH material, in which one of the steps of the process is the pickling that is done after the aging heat treatment. Pickling uses a very aggressive acid and can cause serious accidents if not handled correctly. To improve this process, the material was treated before being sent to machining, and after the heat treatment, the machining process replaced pickling. In the machining of bars that underwent heat treatment, machining time, tool wear and product cost were higher compared to the current process due to the higher

[I] Estudante do curso superior de Tecnologia em Mecânica: processos de soldagem da Faculdade de Tecnologia Deputado Waldyr Alceu Trigo de Sertãozinho (Fatec-Stz) – São Paulo – Brasil. E-mail: celiodelfino.com@gmail.com
[II] Estudante do curso superior de Tecnologia em Mecânica: processos de soldagem da Faculdade de Tecnologia Deputado Waldyr Alceu Trigo de Sertãozinho (Fatec-Stz) – São Paulo – Brasil. E-mail: djecicero@gmail.com
[III] Prof. Ms. da Faculdade de Tecnologia Deputado Waldyr Alceu Trigo de Sertãozinho(Fatec-Stz) – São Paulo – Brasil. E-mail: solange.farah@fatec.sp.gov.br
[IV] Prof. Dr. da Faculdade de Tecnologia Deputado Waldyr Alceu Trigo de Sertãozinho(Fatec-Stz) – São Paulo – Brasil. E-mail:alessando.farah@fatec.sp.gov.br

INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION IN MANAGEMENT AND INDUSTRY

hardness of the material. However, even with these higher parameters, the removal of pickling in the current process was valid due to its gain in the quality of work safety and the environment.

Keywords: pickling; machining; aging heat treatment; safety.

Data de submissão do artigo: 14/07/2025
Data de aprovação do artigo: 11/09/2025
DOI: https://doi.org/10.33635/injimi.v1i01.342

1 INTRODUÇÃO[I]

Durante o roteiro de processo de fabricação de uma peça usinada partindo do aço inoxidável 17-4PH, existe uma etapa que é a decapagem, que tem como função a limpeza da peça após o tratamento térmico.

A fabricação da peça é feita em torno CNC (Controle Numérico Computadorizado).O tratamento térmico utilizado para este material é o tratamento de envelhecimento para poder atingir uma dureza final maior que 40HRc.

O produto utilizado na decapagem é um ácido muito agressivo (Ácido Hidro Fluorídrico) podendo ocasionar acidentes graves, sendo um produto muito tóxico quando inalado, em contato com a pele e se aspirado pode causar severas queimaduras. a inalação dos vapores em alta concentrações pode causar diminuição do fôlego (edema pulmonar). A ingestão causa queimaduras do trato digestivo e respiratório.

Esse ácido pode afetar o meio ambiente se o descarte não for adequado com os procedimentos estabelecidos por normas ambientais.

Para se ter uma ideia da sua agressividade, para se adquirir esse ácido é preciso ter um alvará do exército.

O departamento de Segurança do Trabalho junto com o departamento de Engenharia solicitou ao departamento de Métodos e Processos um estudo para tentar a retirada da decapagem do processo de fabricação da peça e realizar uma comparação entre o processo que utiliza a decapagem e o processo que houve a retirada da decapagem para avaliar as perdas (insertos na usinagem, tempo de usinagem e produção diária da peça) e ganhos (eliminação do ácido na limpeza das peças usinadas partindo do aço 17-4PH).

Ficou ao encargo do departamento Métodos e Processos apresentar a melhoria encontrada para os departamentos de Engenharia e Segurança do Trabalho, aplicar a melhoria de processo na fabricação da peça e documentar todo o procedimento realizado.

O trabalho serviu como melhoria de processo para evitar possíveis acidentes no manuseio do ácido utilizado no processo de decapagem e um cuidado maior com o descarte para não afetar o meio ambiente.

O objetivo do trabalho foi estudar e testar uma modificação do processo de fabricação das peças de aço inoxidável 17-4PH, visando a eliminação da fase de decapagem.

[I] Esse artigo foi aprovado no Sitefa da Fatec Sertãozinho no ano 2022 e publicado nos anais do respectivo evento.

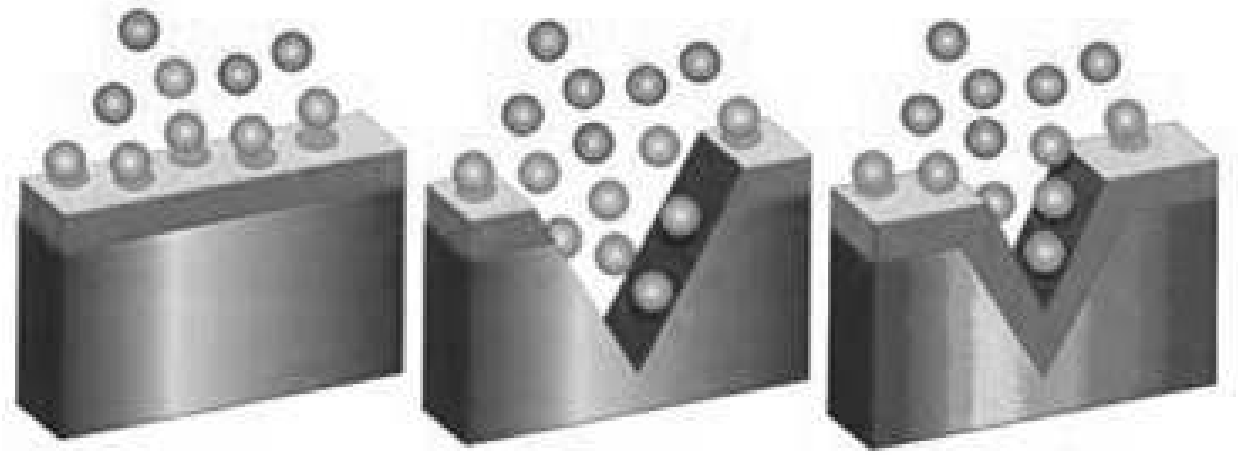
INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION IN MANAGEMENT AND INDUSTRY

2AÇO INOXIDÁVEL

Segundo Tebecherani (2017) a expressão inoxidável, como usualmente é conhecida, pode passar a impressão de que estas ligas são indestrutíveis, mesmo submetidos a violentos meios agressivos. Na verdade, estas ligas apresentam uma resistência a corrosão muito superior às ligas de aço carbono, mesmo quando submetidas a meios ou agentes muitos corrosivos, inclusive em alta temperatura.

Conforme Porto (2012) o aço inoxidável é uma liga ferrosa, com baixa porcentagem de carbono, e uma quantidade mínima de cromo, na faixa de 12%. O cromo é o responsável pela passivação, que seria a formação de uma película de óxido passiva, que cobre a superfície do material. Esta camada é formada pela reação do cromo com oxigênio, formando oxido de cromo que possui características de muita aderência e impermeabilidade, que isola o restante do material do contato com o oxigênio, evitando assim a oxidação do ferro com o oxigênio. Quando o aço inox é arranhado ou sofre uma deformação, o filme de óxidos de Cr, ou camada passiva, é localmente removido, expondo novamente o Cr ao oxigênio e umidade, que volta a formar a camada passiva. Desta forma, podemos dizer que a camada passiva se regenera automaticamente em o contato com o ar. A Figura 1 ilustra a formação desta camada passiva.

Figura 1 - Formação da camada passiva



Fonte: Abinox (2022)

De acordo com Tebecharini (2017) o aço inoxidável foi descoberto por volta de 1910, no interior da Inglaterra, na cidade de Sheffield, quando Herry Brearley, um operário de uma produtora de aço, começou a pesquisar novas ligas de aços, a pedido das indústrias de armas, que apresentasse uma melhor resistência ao desgaste. Brearley descobriu que o material que ele estava desenvolvendo, com altos teores de cromo, não reagia ao ataque do ácido nítrico, utilizado como reativo para revelar a microestrutura dos aços.

Conforme Cobb (2010), Brearley descobriu uma liga metálica não resistente ao desgaste, mas resistente a corrosão; o novo aço acabou sendo utilizado na fabricação de talheres, que se corroíam com facilidade devido aos ácidos presentes nos alimentos.

INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION IN MANAGEMENT AND INDUSTRY

Segundo Brunato (2016), os aços inoxidáveis possuem diversas composições químicas e diferentes microestruturas, variando as propriedades físicas, mecânicas, magnéticas e suas aplicações, sendo necessário avaliar as condições de trabalho, para a escolha apropriada da liga a ser utilizadas. Em função destas infinitas possibilidades é necessário para uma correta caracterização de um aço que a respectiva composição química seja conhecida, elas servem de referência para a classificação dos aços inoxidáveis, que são realizadas por instituições, entre elas a AISI (American Iron and Stell Institute), ABNT (Associação Brasileira de Normas Tecnicas), DIN (Deutsches Institut fur Normung) e SAE (Society of Automotive Engineers). A AISI, uma das normas mais utilizadas, classifica os aços inoxidáveis como austeníticos, ferríticos, martensíticos. duplex e os endurecíveis por precipitação.

A classe que se encontra o aço inoxidável AISI 630, conhecido comercialmente como 17-4PH, é a dos endurecíveis por precipitação.

2.1 Aço inoxidável 17-4PH

Conforme Villares Metals (2014) a linha V630 (Normas: AISI 17-4PH / UNS S17400 / Wnr. 1.4542) é um aço inoxidável endurecível por precipitação, martensítico com dureza entre 24 e 32HRC, utilizado na indústria aeronáutica, alimentícia, de geração de energia, entre outras.

De acordo com Costa (2004) a aplicação do aço 17-4PH vem crescendo muito nos últimos anos, principalmente pela sua excelente associação entre propriedades mecânicas e resistência a corrosão, características muito exigidas nas indústrias químicas, petrolíferas, usinas nucleares, naval, aeronáutica, indústria bélica, equipamentos cirúrgicos e de implantes.

Conforme Costa (2004), a principal vantagem do aço inox AISI 17-4PH em relação aos aços inox austeníticos, como o AISI 304 e AISI 316, é a sua resistência mecânica bastante superior após o tratamento térmico de solubilização e envelhecimento.

A Tabela 1 mostra a composição química do aço AISI 630 (17-4PH).

Tabela 1 - Composição química nominal do aço inox AISI 630 (17-4PH)

Composição Química (%)						
C	Si	Mn	Mo	Cu	Cr	Ni
0,07 máx.	0,7 máx.	1,5 máx.	0,6 máx.	3,0-5,0	15,0-17,0	3,0-5,0

Fonte: Villares Metals (2014)

2.2 Usinagem

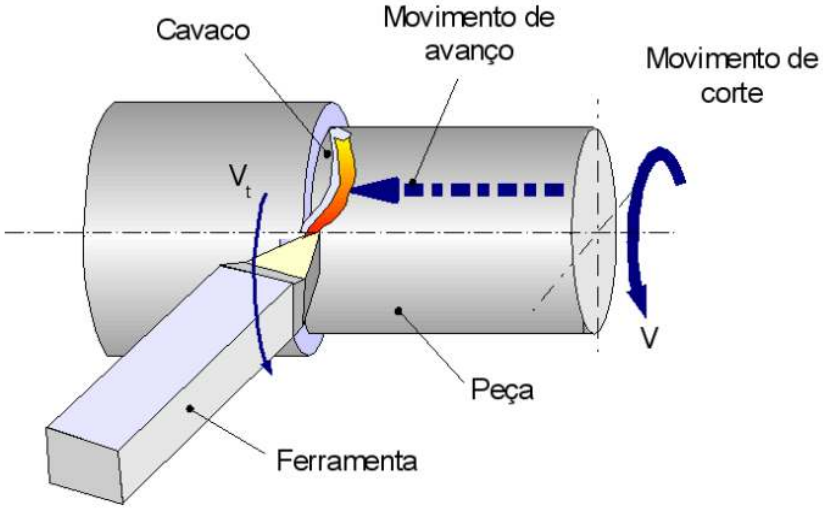
De acordo com Machado (2004) a usinagem é um processo de fabricação e que a definição de fabricar é transformar matérias primas em produtos acabados, por vários processos, seguindo planos bem-organizados em todos os aspectos.

Segundo Stoeterau (2013) o princípio da usinagem é a remoção de material através da interferência entre uma ferramenta e peça, sendo a ferramenta constituída de um material de dureza e resistência muito superior à do material da peça. Os processos de usinagem necessitam de um movimento relativo entre peça e ferramenta.

A Figura 2 representa um processo de usinagem de torneamento, onde uma ferramenta remove material de uma peça em movimento circular.

INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION IN MANAGEMENT AND INDUSTRY

Figura 2 - Processo de usinagem por torneamento



Fonte: Stoeterau (2013)

Segundo Machado (2004) e Silva (2009), devido a necessidade crescente do aumento da produção, os processos de usinagem foram evoluindo com o decorrer do tempo com o objetivo de reduzem-se os custos e aumentar-se a produtividade, sem que haja qualquer comprometimento da qualidade do item produzido. Para tanto é necessário especificar corretamente os principais parâmetros de usinagem:

- **Movimento de Corte**: movimento entre a peça e a ferramenta, o qual sem o movimento de avanço origina somente uma única retirada de cavaco.
- **Movimento de Avanço**: movimento entre a peça e a ferramenta, o qual juntamente com o movimento de corte origina retirada contínua de cavaco.
- **Movimento Efetivo**: movimento resultante dos movimentos de corte e avanço, realizados ao mesmo tempo.

2.2.1 Máquinas com Controle Numérico Computadorizado – CNC

As operações realizadas nas máquinas com controle numérico são realizadas de forma padronizadas, com alta precisão e repetibilidade dos movimentos, onde os parâmetros de usinagem são utilizados para obter altos índices de produção e menor desgaste de máquina e ferramenta.

Conforme Marcicano (2004) as máquinas com CNC possuem um sistema em que um microcomputador é utilizado para controlar a máquina, este microcomputador é parte integrante do equipamento. O programa pode ser preparado remotamente em sistema integrados de projeto (CAD-D) e fabricação (CAM, CAPP), em sistemas deste tipo, o operador pode simular o programa CNC para verificar eventuais problemas que poderiam ocorrer durante o processo real de usinagem.

INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION IN MANAGEMENT AND INDUSTRY

2.3 Tratamento térmico de solubilização e envelhecimento

Segundo Silva (2016) e Lima (2012), o tratamento consiste na solubilização seguida pelo envelhecimento. Na solubilização os compostos intermetálicos são dissolvidos na matriz austenítica, seguida por resfriamento rápido o suficiente para manter a solução sólida supersaturada metaestável (martensítica ou austenítica). Durante o envelhecimento subseqüente (em temperatura mais baixa do que a solubilização) ocorre a precipitação controlada (temperatura e tempo: tamanho ótimo de precipitados), que aumenta a dureza do aço, sem provocar distorções, empenos e trincas como na têmpera.

Segundo Bernadelli (2007) a precipitação ocorre por um processo de nucleação e crescimento. Após a nucleação, as partículas crescem como resultado da difusão do átomo dissolvido em solução sólida supersaturada, promovendo o crescimento do precipitado. Uma vez iniciada a precipitação, a solução sólida pode perder seus átomos dissolvidos de duas formas: pelo crescimento das partículas já formadas ou pela formação de núcleos adicionais. Em geral a precipitação não se inicia imediatamente, ocorrendo após algum tempo, chamado tempo de incubação, o qual representa o tempo necessário para formação de núcleos estáveis.

2.4 Processo de decapagem

Conforme Castro (2017), a decapagem é a remoção de uma fina camada de metal da superfície do aço inoxidável. Misturas de ácidos nítrico e fluorídrico são normalmente usadas para decapar aços inoxidáveis. A finalidade principal da decapagem em metais é produzir superfícies puras, requisito essencial para aplicação posterior de revestimento, onde materiais metálicos são atacados por ácidos e bases fortes.

Segundo Gentil (2003), a remoção da carepa ou de outras impurezas utilizando soluções de ácido clorídrico ou ácido sulfúrico é denominada decapagem química. O tipo de ácido, a temperatura da solução e a proporção da concentração são fatores que influenciam no tempo da decapagem. Considerando que os processos de remoções manuais e mecânicos dependem de muito tempo, a decapagem ácida vem a ser uma alternativa mais instantânea.

2.5 Ácido utilizado e descarte (normas ambientais)

O produto utilizado na decapagem do aço inox endurecível por precipitação 17-4PH é o Decapante 124, produzido pela empresa Aweta Produtos Químicos Ltda.

O Decapante 124 é um produto a base de ácido hidro fluorídrico indicado na remoção de impurezas superficiais e na eliminação da alcalinidade de tratamentos anteriores.

O fabricante indica que o produto é altamente corrosivo, sendo necessário que todos os efluentes de banho e da água de lavagem devem ser neutralizados com soda cáustica líquida, e o descarte deve atender aos regulamentos de descarte de resíduos químicos industriais.

Segundo a Lei Estadual nº 12.300 de 16 de março de 2006 Política Estadual de Resíduos Sólidos (SÃO PAULO, 2006) e a Lei Federal 12.305 de 02 de agosto de 2010 Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010) definem princípios e diretrizes para o gerenciamento dos resíduos sólidos industriais, da geração até a destinação final, incluindo o transporte e o descarte final.

INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION IN MANAGEMENT AND INDUSTRY

Para o descarte é indicado a queima em incinerador químico equipado com pós-combustor e purificador de gases. Propõem que as soluções excedentes e não passíveis de reciclagem, devem ser encaminhadas para empresas idôneas e especialistas no tratamento de resíduos sólidos.

Os transportes destes resíduos para estas empresas também devem ser realizados por empresas especializadas, em embalagens plásticas (PVC ou similar).

2.6 Ensaio de Dureza

De acordo com Souza (2000) a dureza é uma propriedade mecânica onde o ensaio é baseado na resistência que um material apresenta ao risco ou à deformação permanente, quando submetido a pressão por outro material ou por ponteiras ou marcadores padronizados.

Segundo Chiaverini (2006) os ensaios de dureza são, de modo geral, baseados no princípio de penetração da superfície do metal, pela aplicação de uma carga por intermédio de um penetrador. Esses métodos estão divididos dois grupos: ensaios de penetração estáticos, que são os mais comuns e os ensaios de penetração dinâmicos.

Existem diversos tipos de ensaios de dureza, e os nomes dos ensaios denominam as unidades, como exemplo: Rockwell; Brinell; Vickers; Shore.

O ensaio realizado no aço inoxidável endurecível por precipitação 17-4PH foi o ensaio de dureza Rockwell, onde o valor da dureza (HR) é determinado pela diferença entre a profundidade de penetração resultante de uma pré-carga de baixa intensidade, seguida por outra carga de maior intensidade.

A vantagem deste ensaio é que o resultado é lido diretamente do equipamento (durômetro) conferindo ao método agilidade e rapidez, evitando também a probabilidade do erro humano na conferência dos dados.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este trabalho visa melhorar o processo atual que tem, numa de suas etapas, a decapagem após o tratamento térmico onde se utiliza um ácido muito agressivo para limpeza de resíduos e oxidação das peças. Esse ácido pode ocasionar acidentes se não for manuseado adequadamente e pode acarretar problemas ambientais se for descartado incorretamente e pensando tanto na segurança de trabalho quanto no meio ambiente foi solicitado uma melhoria no processo com a retirada da etapa de decapagem.

Para a elaboração deste estudo utilizou-se o aço AISI 17-4PH. Foram usinadas 300 peças partindo-se de barras sem tratamento térmico e 300 peças de barras após o tratamento térmico de envelhecimento, foram utilizados os mesmos insertos (pastilhas) na usinagem de todas as barras para comparação de desgaste de ferramentas, custo e tempo de usinagem.

A sequência do processo atual das peças até a liberação no Controle de qualidade segue as cinco etapas conforme fluxograma da Figura 3:

Figura 3 - Processo de fabricação das peças do aço 17-4PH



Fonte: autores desse trabalho (2022)

INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION IN MANAGEMENT AND INDUSTRY

No fluxograma da Figura 4, detalha-se a sugestão da sequência do processo com quatro etapas, fazendo o tratamento e depois usinando, com a retirada da etapa de decapagem.

Figura 4 - Processo estudado para fabricação das peças do aço 17-4PH



Fonte: autores desse trabalho (2022)

Nesta nova sequência de roteiro de processo a usinagem substituirá a decapagem, visto que no processo de usinagem as impurezas e a oxidação são eliminadas.

3.1 Usinagem

No processo de usinagem das peças foi utilizado um torno CNC da marca ROMI modelo Galaxy, comando CNC Fanuc.

Para a usinagem das peças foram serradas barras com diâmetro de 58mm e comprimento de 490mm e utilizados insertos (pastilhas) dos seguintes fabricantes: Sandvik, TaeguTec e Mitsubshi.

3.2 Tratamento térmico

O tratamento térmico de envelhecimento foi feito utilizando um forno da marca Brasimet. As barras utilizadas pela empresa são adquiridas na condição solubilizadas, necessitando apenas do envelhecimento.

No processo atual, as peças após a usinagem são lavadas para a retirada de óleos utilizados na usinagem. Depois da lavagem as peças são encaminhadas ao forno para executar o tratamento térmico com temperatura de 485 ± 5ºC e mantidas nessa temperatura por um período de 1 hora e em seguida as peças são retiradas do forno e deixadas para resfriamento ao ar livre. Após o tratamento, efetua-se a decapagem.

Na melhoria do processo as barras foram serradas e encaminhadas para o forno para executar o tratamento térmico e depois enviadas para o torno CNC para a usinagem das peças.

3.3 Decapagem

O processo de decapagem é realizado para retirada da oxidação e resíduos que ficam nas peças após o processo de tratamento térmico.

Na decapagem se utiliza o ácido decapante 124, produzido pela empresa Aweta Produtos Químicos Ltda. Este ácido é muito agressivo podendo ocasionar acidentes graves se não for manuseado adequadamente e pode poluir o meio ambiente se não for descartado corretamente.

Para se realizar a decapagem, as peças quando saem do tratamento térmico são lavadas com sabão industrial e após lavagem as peças precisam ser secas.

Após as peças serem lavadas e secadas, são encaminhadas para o mergulho no ácido para decapagem e ficam dentro do ácido por cerca de 40 minutos.

INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION IN MANAGEMENT AND INDUSTRY

3.4 Ensaio de dureza

Para o ensaio de dureza se utilizou um Durômetro analógico tipo Rockwell. Foram retirados 5 corpos de prova de cada condição: usinagem antes do tratamento térmico e usinagem após tratamento térmico. Os corpos de provas tinham as medidas 51mm de diâmetro e 5mm de espessura.

Foram feitas medidas em 5 pontos de cada corpo de prova e a escala utilizada foi a C.

O ensaio de dureza é realizado porque após o tratamento térmico o material precisa atingir uma dureza de trabalho maior que 40HRc.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção destina-se apresentar os resultados dos procedimentos realizados no trabalho.

4.1 Ensaios de dureza nas amostras antes da usinagem sem tratamento térmico

O ensaio de dureza Rockwell C foi realizado em 5 pontos nos corpos de provas.

A Tabela 2 mostra os resultados dos ensaios de dureza, realizados nos corpos de provas das barras sem tratamento térmico.

Tabela 2 - Resultados dos ensaios de dureza nas amostras sem tratamento térmico

Dureza (HRc)	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5
Medida 1	36	36	37	36	36
Medida 2	37	36	36	37	36
Medida 3	36	36	37	37	37
Medida 4	36	37	36	36	36
Medida 5	37	36	36	37	36

Fonte: autores desse trabalho (2022)

Nota-se que as amostras apresentaram uma homogeneidade na medição das durezas. O valor médio das medidas foi de 36,4HRc, com um desvio padrão de 0,48HRc.

4.2 Ensaios de dureza nas amostras após tratadas por envelhecimento

O ensaio de dureza Rockwell C foi realizado em 5 pontos nos corpos de provas.

Na Tabela 3 mostra os resultados dos ensaios realizados nos corpos de provas das barras termicamente tratadas antes da usinagem.

INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION IN MANAGEMENT AND INDUSTRY

Tabela 3 - resultados dos ensaios de dureza nas amostras com tratamento térmico

Dureza (HRc)	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5
Medida 1	40	41	41,5	40	42
Medida 2	41	42	40	40	41
Medida 3	40,5	42	41	40	42
Medida 4	40	40	41	41	43
Medida 5	42	42	41	40	42

Fonte: autores desse trabalho (2022)

As durezas encontradas após o tratamento variaram de 40 a 43HRc. O valor médio foi de 41,1HRc, com um desvio padrão de 0,88HRc.

4.3-Usinagem

No processo de usinagem foram medidos o desgaste das ferramentas e o tempo de usinagem, para efeito de comparação entre os dois processos estudados: o processo atual com tratamento térmico após a usinagem e o processo com usinagem das barras tratadas.

O processo de usinagem atual e o processo que foi realizado a melhoria foram utilizados os mesmos insertos (pastilhas) na usinagem das peças, para efeito de comparação foram usinadas 300 peças partindo de barras tratadas e 300 peças partindo de barras sem o tratamento térmico.

O custo da preparação da máquina com insertos (pastilhas) para início de usinagem para ambos o processo ficou no valor R$ 742,54.

A Tabela 4 mostra os insertos (pastilhas) que foram utilizadas em ambos os processos e o valor unitário de cada inserto (pastilha).

Tabela 4 - Ferramentas utilizadas e o custo de preparação de máquina

Insertos (Pastilhas)	Valor Unitário (R$)
SPMG 110408 Frontal	73,00
SPMG 110408 Periférica	73,00
SNMG 120408 Desbaste	36,00
SPMG 120408 Acabamento	36,00
CNMG 120404	47,00
TGF.32.R275	79,50
TDT.3.00.E1	95,36
N123 E2-0200	197,46
R151.2.200-08-5	105,22
Custo Total	742,54

Fonte: autores desse trabalho (2022)

A Tabela 5 mostra o comparativo de custo de desgaste de ferramentas (pastilhas) em ambos os processos na usinagem das peças:

INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION IN MANAGEMENT AND INDUSTRY

Tabela 5 - Comparativo do custo do desgaste de ferramentas no processo de usinagem

Custo do desgaste de ferramentas		
Condição do Material	**Custo Unitário (R$)**	**Custo Total (R$)**
Usinagem Sem Tratamento Térmico	5,53	1.659,94
Usinagem Com Tratamento Térmico	8,21	2.464,80

Fonte: autores desse trabalho (2022)

Na tabela acima, no cálculo do custo unitário dos processos, o valor do desgaste das ferramentas foi dividido pela quantidade das peças fabricadas (300 peças). Nota-se que o desgaste de ferramentas com barras tratadas foi maior devido estas estarem com uma dureza maior que na outra condição.

O tempo de usinagem dos processos está apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 -Comparativo de tempo de usinagem

Condição do Material	**Tempo de Usinagem (min)**
Usinagem Sem Tratamento Térmico	3,33
Usinagem Com Tratamento Térmico	4,20

Fonte: autores desse trabalho (2022)

O programa CNC utilizado para fabricar as peças após serem tratadas tiveram a Velocidade de Corte das ferramentas diminuídas em 12% em relação ao programa das peças usinadas sem tratamento térmico. Isso ocorreu devido as barras estarem com uma dureza maior, necessitando de diminuição da velocidade para manter o padrão de acabamento, e com isso o tempo de usinagem das barras tratadas ficou elevado.

4.4 Comparativo de custo dos processos

A Tabela 7 detalha o custo de fabricação da peça levando em consideração todas as etapas do processo.

Tabela 7 - Custo de fabricação processo atual

Custo de Fabricação do Processo Atual		
Fase	Posto de Trabalho	Custo Unitário (R$)
1	Serra	0,19
2	Usinagem (torno CNC)	1,21
3	Limpeza	0,26
4	Forno de Tratamento	0,23
5	Decapagem	2,02
	Custo Total	**3,91**

Fonte: autores desse trabalho (2022)

Para o cálculo de custo levou-se em consideração as seguintes informações: tempo de setup, tempo operação da peça e salário bruto do funcionário responsável por cada etapa.

INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION IN MANAGEMENT AND INDUSTRY

Somando o valor de fabricação da peça no processo atual (R$3,91) com o desgaste de ferramentas conforme especificado na Tabela 6 (R$5,53), obteve-se um valor unitário de R$ 9,44.

A Tabela 8 abaixo detalha o custo de fabricação da peça levando em consideração a melhoria no processo com a retirada da decapagem.

Tabela 8 - Custo de fabricação processo proposto

Custo de Fabricação do Processo Proposto		
Fase	Posto de Trabalho	Custo Unitário (R$)
1	Serra	0,19
2	Forno de Tratamento	0,23
3	Usinagem (torno CNC)	1,49
4	Limpeza	0,26
	Custo Total	**2,17**

Fonte: autores desse trabalho (2022)

Somando o valor de fabricação da peça no processo atual (R$2,17) com o desgaste de ferramentas conforme especificado na Tabela 6 (R$8,21), obtemos um valor unitário de R$10,38.

Comparando os dois processos observa-se que o processo em que houve a retirada da decapagem o custo unitário da peça ficou com um aumento de 9,95%, isto ocorreu devido ao consumo elevado de ferramentas na etapa de usinagem.

É importante salientar que os insertos (pastilhas) utilizados eram específicos para usinagem de materiais mais moles.

5 CONCLUSÃO

O resultado deste trabalho permite demonstrar as seguintes conclusões para retirada do processo de decapagem na usinagem da peça estudada:

1- Na usinagem das amostras tratadas houve um desgaste maior de ferramentas, portanto é necessário que as pastilhas (insertos) devam ser substituídas por outras que tenham melhor desempenho com materiais mais duros.

2- O tempo de usinagem aumentou comparando com o processo atual, com isso impactou no aumento do custo de fabricação da peça. A substituição das pastilhas também deverá diminuir este tempo, pois podem ser utilizadas com maiores velocidades e avanços de corte.

3- O desgaste das ferramentas, aumento no tempo de usinagem e no custo de fabricação ocorreu principalmente devido a dureza do material estar mais elevada.

Mesmo com o aumento de custo no processo, a melhoria foi validada, pois a retirada do ácido na decapagem promoveu uma maior segurança de trabalho, principalmente com relação ao manuseio do ácido evitando possíveis acidentes, tanto em contato direto com o produto quanto inalando os gases.

INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION IN MANAGEMENT AND INDUSTRY

REFERÊNCIAS

ABINOX. **Formação da camada passiva**. 2022. Disponível em: http://www.abinox.org.br. Acesso em: 03 jun. 2021.

BAPTISTA, IVALDO ASSIS do BRITO. Recozimento, Normalização, Têmpera e Revenimento. **Spectru Instrumental Científico Ltda**. 2014. Disponível em: http://www.spectru.com.br; Acesso em: 03 jun. 2021.

BERNADELLI, E.A.; SANTOS, L.M.; BORGES, P.C.. **Tratamento Concomintante de Nitretação e Envelhecimento a Plasma do Aço Inoxidável 15-5 PH**. 2007. Disponível em: http://www.sbvacuo.org.br. Acesso em: 20 maio 2021.

BRASIL. Lei no 12.305 de 02 de agosto de 2010. **Dispõe sobre as diretrizes relativas à gestão e ao gerenciamento de resíduos sólidos**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 20 jun. 2021.

BRUNATO, SILVIO FRANCISCO. **Introdução ao Estudos dos Aços** – Universidade Federal do Paraná. 2016. Disponível em: http://www.ftp.demec.ufpr.br. Acesso em: 17 maio 2021.

CASTRO, GEOVANE MARTINS. **Mecanismos da formação da superfície heterogênea no aço inoxidável ferrítico 439**. 2017.XXXII, 171 f., enc.: il. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia., Belo Horizonte – MG.

CHIAVERINI, VICENTE. **Tecnologia Mecânica** – Processos de Fabricação e Tratamento. 2. ed. Edição. 2006. São Paulo – SP. Editora McGraw-Hill. Pag. 96 a 103.

COBB, HAROLD. **A história do aço inox.** 2010. Disponível em: http://pt.wikipedia.org/wiks/aço_inoxidavel. Acesso em: 01 jun. 2021.

COSTA, I, CORREA, O.V., ROGERO, S.O., SAIKI, M. Estudo Comparativo da Resistência à Corrosão e Citotoxidade do Aço 17-4PH Obtido Por Moldagem de Pós por Injeção. 2004, Disponível em: http://www.repositorio.ipen.br; Acesso em: 18 maio 2021.

GENTIL, VICENTE. **Corrosão.** 4 ed. Rio de Janeiro – RJ. Editora LTC. Pag. 251. 2003.

LIMA, NUNO. **Tratamento térmico de envelhecimento de liga de fundição AISI 10Mg (Fe).** 2012, 60p. Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto – Pt.

MACHADO, ALISSON ROCHA. **Usinagem dos Metais**. 8 ed. Uberlândia – MG. Editora UFU-MG. Pág. 4 a 7.

INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION IN MANAGEMENT AND INDUSTRY

MARCICANO, JOÃO PAULO. **Introdução ao Controle Numérico** – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2004. Disponível em: http://www.sites.poli.usp.br; Acesso em: 03 jun. 2021.

MAXITRATE TRATAMENTO TÉRMICO E CONTROLE LTDA. **Tratamento Térmico Envelhecimento**. 2021. Disponível em: http://www.maxitrate.com.br. Acesso em: 04 jun. 2021.

MORELATTO, FAWLER. **Decapagem e Passivação de Aço Inox** – Grupo Humma. 2006. Disponível em: http://www.grupohumma.com.br. Acesso em: 05 jun. 2021.

PADILHA, ANGELO FERNANDO. **Materiais de Engenharia** – Microestrutura e Propriedades. 1997. Curitiba – PR. Editora Humus. p. 251 - 257.

PORTO, JOÃO PAULO SARMENTO. Aço inox plano. 2012. Disponível em: htpp://www.nucleoinox.org.br. Acesso em: 28 maio 2021.

SÃO PAULO. **Lei nº 12.300 de 16 de março de 2006**. Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos. Disponível em: https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2006/lei-12300-16.03.2006.html. Acesso em: 20 jun. 2021.

SILVA, RODRIGO DA. **Efeito do envelhecimento em baixa temperatura nas propriedades de aços inoxidáveis lean duplex**. 82 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 2016.

SILVA, SIDNEI DOMINGUES da. **Programação de Comando Numéricos Computadorizados – Torneamen**to. 2009. 8. ed. São Paulo – SP. Editora Érica. p. 15-16.

STOETERAU, RODRIGO LIMA. **Fundamentos dos Processos de Usinagem** – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2013. Disponível em: http://www.sites.poli.usp.br; Acesso em: 01 jun. 2021.

SOUZA. SERGIO AUGUSTO DE. **Ensaios mecânicos de materiais metálicos** - Fundamentos teóricos e práticos. 2000. 5 ed. São Paulo-SP. Editora Edgard Blücher Ltda.

TEBECHERANI, CIRO DE TOLEDO PIZA. **Aços inoxidáveis**. 2017. Disponível em: htpp://www.pipesiystem.com.br; Acesso em: 28 maio 2021.

VILLARES METALS. **Ficha técnica: V630** (17-4PH) Aço Inoxidável por Precipitação. 2014. Disponível em: http://www.villaresmetals.com.br; Acesso em: 18 maio 2021.