



República Federativa do Brasil  
Ministério da Economia  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) BR 102018015075-8 A2



(22) Data do Depósito: 24/07/2018

(43) Data da Publicação Nacional: 04/02/2020

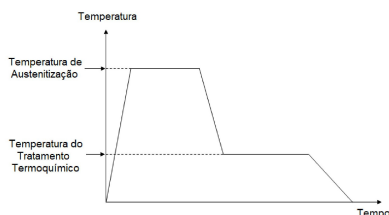
(54) **Título:** TRATAMENTOS TÉRMICOS E TERMOQUÍMICOS NO CAMPO DA AUSTENITA METAESTÁVEL EM CICLO ÚNICO

(51) **Int. Cl.:** C23C 8/06; C23C 8/08; C23C 8/26.

(71) **Depositante(es):** UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANA.

(72) **Inventor(es):** RODRIGO PERITO CARDOSO; SILVIO FRANCISCO BRUNATTO; CRISTIANO JOSÉ SCHEUER; FERNANDO IRTO ZANETTI; IGOR GIACOMELLI ZANELLA; LEONARDO LUIS SANTOS; FABIANE DA SILVA SEVERO; TARCIANA DIEB TOSCANO.

(57) **Resumo:** TRATAMENTOS TÉRMICOS E TERMOQUÍMICOS NO CAMPO DA AUSTENITA METAESTÁVEL EM CICLO ÚNICO A presente invenção consiste na realização de tratamento térmico e termoquímico em ciclo único, com a característica do tratamento termoquímico ser realizado no campo da austenita metaestável, possibilitando obter camadas tratadas com características diferentes daquelas obtidas quando o tratamento termoquímico não é realizado no campo da austenita metaestável. Neste caso o tratamento termoquímico pode ser por exemplo a nitretação, a cementação, a carbonitretação, a nitrocementação, a boretção ou qualquer combinação entre eles, e dependendo dos parâmetros do tratamento termoquímico e das características do aço a ser tratado, diferentes microestruturas podem ser obtidas no núcleo do componente tratado (incluindo martensita, martensita revenida, bainita ou uma combinação destes). Dadas às características do processo proposto nesta invenção, este se mostra adequado para aplicação em componentes com elevada sollicitação estrutural e de superfície, possibilitando produzir componentes com núcleo apresentando elevada resistência mecânica e tenacidade associado à superfícies com elevadas resistências ao desgaste e à corrosão.



## “PROCESSO DE TRATAMENTO TÉRMICO E TERMOQUÍMICO NO CAMPO DA AUSTENITA METAESTÁVEL EM CICLO ÚNICO”

[001] A Presente invenção está relacionada ao campo da metalurgia e da engenharia de superfícies, mais especificamente ao campo de processos de tratamento térmico e termoquímico de componentes metálicos.

### ESTADO DA TÉCNICA

[002] Alguns processos de tratamentos térmicos e termoquímicos são conhecidos do estado da técnica em documentos de patente, tais como apresentados pelos documentos US4373973A e US2006/0090817A1.

[003] O documento US4373973A divulga um processo desenvolvido para dar forma (conformar) a dentes de engrenagem já cementados, eliminando o processo de retificação. No processo, com a introdução de carbono na camada cementada, a temperabilidade da superfície tratada (cementada) aumenta, tornando possível, após austenitização, dar forma aos dentes da engrenagem antes da transformação martensítica da camada cementada. Ou seja, os dentes da engrenagem são trabalhados em uma condição onde a superfícies do dente (camada cementada) é composta de austenita metaestável, que apresenta ductilidade apreciável, ao contrário da martensita formada após resfriamento total.

[004] No documento US2006/0090817A1 é divulgado tratamento termoquímico (cementação, nitretação e nitrocementação) a baixa temperatura de aços inoxidáveis por processo a gás com metal catalítico para decomposição do gás e prevenção de reformação da camada passiva. Assim torna-se possível a produção e difusão de Nitrogênio e/ou Carbono atômico formando uma camada endurecida de austenita expandida.

### PROBLEMA TÉCNICO

[005] O documento US4373973A apresenta um processo desenvolvido para dar forma (conformar) a dentes de engrenagem já cementadas, eliminando o processo de retificação, o que eleva os custos associados. Assim, não apresenta um processo de tratamento termoquímico de cementação, que é diferente de processo de tratamento térmico. O tratamento termoquímico de cementação, que em parte,

possibilita a obtenção da austenita metaestável na superfície da engrenagem, é realizado em uma etapa anterior ao processo apresentado pelo documento US4373973A. Esta austenita metaestável, por ser mais dúctil, é que permite que o dente da engrenagem seja conformado na sua forma e dimensão final sem necessidade de retificação de acabamento.

[006] O documento US2006/0090817A1, por sua vez, trata-se de um documento de patente relacionado ao tratamento termoquímico (cementação, nitretação e nitrocementação) a baixa temperatura de aços inoxidáveis por processo a gás com metal catalítico para decomposição do gás e prevenção de reformação da camada passiva. Assim torna-se possível a produção e difusão de Nitrogênio e/ou Carbono atômico formando uma camada endurecida de austenita expandida.

[007] O foco do documento US2006/0090817A1 está na "despassivação" do aço inoxidável e na utilização de catalisadores depositados na superfície do aço inoxidável para permitir a decomposição dos gases portadores de C e/ou N para que C e/ou N atômicos possam difundir na superfície do aço inoxidável e endurecê-lo. O referido documento trata principalmente do tratamento de aços inoxidáveis austeníticos.

#### SOLUÇÃO TÉCNICA

[008] O desenvolvimento da presente invenção teve origem na experiência dos inventores com os tratamentos de nitretação e cementação de aços inoxidáveis a baixa temperatura, principalmente relacionado aos tratamentos dos aços inoxidáveis martensíticos.

[009] No caso dos tratamentos a baixa temperatura de aços inoxidáveis, fases metaestáveis de elevada dureza são formadas (martensita expandida e austenita expandida) e a formação destas na superfície dos componentes tratados aumenta a resistência ao desgaste e à corrosão. De modo geral, a resistência à corrosão da austenita expandida é superior à resistência à corrosão da martensita expandida. Contudo, a austenita expandida geralmente se forma em substratos austeníticos, que em geral são mais caros e menos resistentes que os martensíticos. Sabendo ainda que tanto o carbono quanto o nitrogênio (introduzidos na superfície do material

respectivamente nos tratamentos de cementação e nitretação) são estabilizadores da austenita, no caso dos aços de elevada temperabilidade, foram realizados os referidos tratamentos termoquímicos no campo da austenita metaestável, de maneira a estabilizá-la pela introdução dos referidos elementos de liga (C e/ou N) e formar austenina expandida na superfície tratada e um aço inoxidável martensítico, o que conduz à possibilidade de obtenção de uma superfície tratada composta de austenita em um substrato martensítico, aliando assim a elevada resistência do material do núcleo martensíticos e a elevada resistência ao desgaste e à corrosão da superfície formada de austenita expandida.

[0010] Nota-se ainda que as possibilidades vão muito além disto, pois pode-se, dependendo do aço, obter um núcleo bainítico. Considerando a camada tratada, pode-se também obter uma superfície tratada que é uma mistura de austenita expandida e martensita expandida, o que pode ser interessante para algumas aplicações tribológicas (desgaste).

[0011] Na invenção aqui proposta, os processos de ativação da superfície e decomposição do portador de C e/ou N são considerados dominados, podendo ser por exemplo realizados por plasma. O foco da invenção é a realização dos referidos processos de tratamentos termoquímicos com a peça toda no campo da austenita metaestável, e não só a uma camada, tal como apresentado por US4373973A1. Com a realização do tratamento termoquímico, a introdução de C e/ou N irá estabilizar a austenita metaestável, tornando-a estável. Assim, após o final do tratamento e durante o resfriamento, a superfície não apresentará mais mudança de fase (ao contrário do apresentado por US4373973A1), enquanto o núcleo se transformará em martensita ou bainita (o que não ocorre no caso do documento US2006/0090817A1)

[0012] No documento US2006/0090817A1, a deposição de elemento não ocorre simultaneamente ao tratamento termoquímico, como aqui proposto.

[0013] O processo proposto pela presente invenção consiste em aliar tratamentos térmicos, tais como a martêmpera e a austêmpera, e termoquímicos, tais como a nitretação e a cementação, já conhecidos, contudo de modo inusitado, de tal modo que ambos ocorram em ciclo único, e que o processo de tratamento termoquímico

se dê no campo da austenita metaestável.

[0014] Assim, apesar de parte de algumas etapas de processos de tratamentos individualmente já serem utilizadas e difundidas, a forma de execução inusitada aqui proposta, permite obter componentes tratados com características únicas e diferentes das obtidas quando os processos de tratamentos térmicos e termoquímicos são realizados de modo usual.

[0015] A invenção aqui proposta pode trazer tanto ganhos econômicos (custo de produção), quanto ganhos de desempenho do componente tratado.

#### BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

[0016] A figura 1 apresenta um gráfico com as taxas de variações de temperaturas para os processos de austenitização e tratamento termoquímico ao longo do tempo.

[0017] A figura 2 apresenta um gráfico de temperatura e tempo para tratamentos termoquímicos a serem realizados integralmente no campo da austenita metaestável.

[0018] A figura 3 apresenta um gráfico para tratamentos termoquímicos a serem realizados no campo contendo martensita e austenita metaestável.

#### DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

[0019] A invenção consiste de processo de tratamento térmico e termoquímico no campo da austenita metaestável caracterizado por alterar as propriedades da superfície e do núcleo de aços por meio da realização de uma primeira etapa de aquecimento para austenitização (completa ou parcial, homogênea ou não-homogênea) seguido de uma etapa posterior de resfriamento e tratamento termoquímico em temperatura superior à temperatura de fim de transformação, ou seja, no campo contendo austenita metaestável, e resfriamento até a temperatura ambiente ou subzero. O tratamento termoquímico pode ser de nitretação, cementação, nitrocementação, carbonitretação, boretação e/ou outro qualquer a partir da introdução de elemento de liga tais como Nitrogênio, Carbono e/ou outro qualquer e por qualquer meio, seja via sólido, líquido, gasoso ou plasma e, conforme visto na figura 1, realizado no campo da austenita metaestável (portanto em temperaturas superior à temperatura de fim de transformação martensítica –  $M_f$ , ou seja, no campo contendo austenita metaestável) de diagramas TTT (Tempo,

Temperatura, Transformação) e/ou TRC (de Transformação sob Resfriamento Contínuo) de aços (de qualquer tipo), conforme visto na representação esquemática da figura 2 (tratamento termoquímico com todo o componente no campo da austenita metaestável), e da figura 3 (componente formado por uma mistura de martensita e austenita metastável em qualquer proporção, dependendo do objetivo do tratamento), visando a obtenção de camada(s) endurecida(s) contendo austenita e/ou martensita expandidas por Nitrogênio, Carbono e/ou qualquer outro elemento químico, além de eventualmente nitretos ou carbonetos e/ou outras fases, de caráter estáveis e/ou metaestáveis (obtidas em condições de tratamento de equilíbrio e/ou paraequilíbrio) na superfície dos materiais tratados.

[0020] Os tratamentos termoquímicos devem ser realizados entre 200° e 450° C, para isso a temperatura de 90% de transformação martensítica do aço inoxidável ( $M_{90}$ ) deve estar entre 400° e 200° C. Adicionalmente, para que o processo seja fiável, o tempo mínimo para início de transformação da austenita na curva TTT (cotovelo da curva) deve ser longo o suficiente para que, com a taxa de resfriamento possível no sistema, a austenita metaestável não seja transformada, o que na maioria das vezes representa um tempo mínimo para início de transformação de 1 min. Ou seja, trata-se de um tratamento aplicável a aços de elevada temperabilidade.

[0021] A etapa de tratamento termoquímico do processo de tratamento térmico e termoquímico no campo da austenita metaestável, de acordo com a presente invenção, pode ser ainda qualquer uma das possíveis combinações entre os diferentes tratamentos termoquímicos incluindo cementação, nitretação, nitrocementação, carbonitretação e/ou boretação, incluindo-se também tratamentos simultâneos de enriquecimento superficial com elementos de liga substitucionais tais como Cr, Ti, Mo, V, W, Nb, Ta, entre outros elementos químicos, a partir de materiais constituindo-se como alvo, em estrutura de cátodo(s) adicional(ais) quando do uso da técnica de plasma.

[0022] Na presente invenção, o processo pode ser realizado em caixa de tratamento com compostos sólidos compondo o meio de atmosfera (tratamento termoquímico

por via sólida), em banhos de sais fundidos, em fornos de atmosfera controlada ou em plasma, podendo ainda combinar estes processos para os processos de austenitização e tratamento termoquímico, em equipamentos semelhantes aos aplicados às conhecidas técnicas convencionais de austenitização e de nitretação e/ou cementação de metais.

[0023] Na figura 1 a taxa de aquecimento para austenitização da liga, tempo de permanência nesta temperatura, a taxa de resfriamento para a temperatura de tratamento termoquímico, o tempo de tratamento termoquímico e a taxa de resfriamento até a temperatura ambiente podem variar dependendo do material a ser tratado, podendo-se usar atmosferas neutras e/ou reativas para quaisquer composições (constituições).

[0024] No caso dos tratamentos por plasma, pode-se usar diferentes tipos de descargas elétricas (de corrente contínua e/ou pulsada, radio-frequência, microondas, etc, com diferentes misturas de gases podendo envolver Ar, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>x</sub>H<sub>y</sub> e/ou C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> e eventualmente outras quaisquer) porém, neste caso, o aquecimento pode ser realizado sob bombardeamento iônico (com as peças no cátodo), ou sob potencial flutuante (com as peças em eletrodo isolado eletricamente, aquecido por radiação através de parede quente do reator ou do cátodo aquecido) ou sob potencial de terra (com as peças no ânodo, aquecido por radiação através de parede quente ou do cátodo aquecido).

[0025] No caso dos tratamentos em fornos de atmosfera controlada, pode-se usar diferentes tipos de fornos (operando em batelada ou em regime contínuo, ou outro tipo, com diferentes misturas de gases podendo envolver, gás endotérmico, Ar, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>x</sub>H<sub>y</sub> e/ou C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>, entre outros), ou misturas sólidas quaisquer no caso do tratamento em caixa.

[0026] No caso dos tratamentos em banho de sais, podem ser usadas diferentes misturas de sais adequadas para austenitização (neutra ou não) e para o(s) tratamento(s) termoquímico(s) desejado(s).

[0027] Seja qual for o processo de tratamento, após o tempo de permanência na temperatura de austenitização, realizada em atmosfera reativa ou neutra, o material

é resfriado sob condições controladas (podendo-se especificar diferentes taxas de resfriamento e atmosferas), dentro do campo da austenita metaestável do diagrama de transformação do aço considerado para o tratamento, conforme visto na figura 2 (para tratamentos a serem realizados integralmente no campo da austenita metaestável) e figura 3 (para tratamentos a serem realizados no campo contendo martensita e austenita metaestável, ou seja, abaixo da temperatura de início de transformação martensítica,  $M_i$ , e acima da temperatura de fim de transformação,  $M_f$ ). Após resfriamento até temperatura de tratamento termoquímico desejada, introduz-se o(s) gás(es) rico(s) no(s) elemento(s) de liga desejado(s), por exemplo Nitrogênio e/ou Carbono, tratando-se o material pelo tempo desejado (dependendo dos objetivos do tratamento, tipicamente entre 1 e 20h) e adequando-se sempre todos os demais parâmetros de processamento.

[0028] Findado o tempo na etapa de tratamento termoquímico, dependendo do resultado desejado (microestrutura do núcleo do componente), o material do núcleo do componente pode ainda estar no campo da austenita metaestável (letra A nas figuras 2 e 3), estar entre as linhas em 'C' de início e fim de transformação com início de formação de bainita (letra B nas figuras 2 e 3) ou pode ter cruzado a linhas de fim de transformação (letra C nas figuras 2 e 3), sendo o resfriamento até a temperatura ambiente realizado controlando-se ou não a taxa de resfriamento e atmosfera, dependendo dos objetivos.

[0029] O processo de tratamento térmico e termoquímico no campo da austenita metaestável, de acordo com a presente invenção é caracterizado pelo fato de poder ser aplicado no tratamento de camadas constituídas de:

- austenita expandida pelo carbono
- austenita expandida pelo carbono e carbonetos (estáveis e metaestáveis);
- martensita expandida pelo carbono;
- martensita expandida pelo carbono e carbonetos (estáveis e metaestáveis);
- austenita e martensita expandidas pelo carbono;
- austenita e martensita expandidas pelo carbono e carbonetos (estáveis e metaestáveis);



- carbonetos (estáveis e metaestáveis) e/ou austenita retida e/ou martensita, de austenita expandida pelo carbono;
- austenita expandida pelo nitrogênio
- austenita expandida pelo nitrogênio e nitretos (estáveis e metaestáveis);
- martensita expandida pelo nitrogênio;
- martensita expandida pelo nitrogênio e nitretos (estáveis e metaestáveis);
- austenita e martensita expandidas pelo nitrogênio;
- austenita e martensita expandidas pelo nitrogênio e nitretos (estáveis e metaestáveis);
- austenita expandida pelo nitrogênio e pelo carbono;
- austenita expandida pelo nitrogênio e pelo carbono podendo conter nitretos;
- carbonetos e carbonitretos estáveis e metaestáveis;
- martensita expandida pelo nitrogênio e pelo carbono;
- martensita expandida pelo nitrogênio e pelo carbono podendo conter nitretos, carbonetos e carbonitretos estáveis e metaestáveis;
- austenita e martensita expandidas pelo nitrogênio e pelo carbono;
- austenita e martensita expandidas pelo nitrogênio e pelo carbono podendo conter nitretos, carbonetos e carbonitretos estáveis e metaestáveis;
- austenita expandida pelo carbono e pelo nitrogênio;
- austenita expandida pelo carbono e pelo nitrogênio podendo conter nitretos, carbonetos e carbonitretos estáveis e metaestáveis;
- martensita expandida pelo carbono e pelo nitrogênio;
- martensita expandida pelo carbono e pelo nitrogênio podendo conter nitretos, carbonetos e carbonitretos estáveis e metaestáveis;
- austenita e martensita expandidas pelo carbono e pelo nitrogênio;
- austenita e martensita expandidas pelo carbono e pelo nitrogênio podendo conter nitretos, carbonetos e carbonitretos estáveis e metaestáveis.

[0030] Uma possibilidade adicional, podendo produzir características distintas nas camadas tratadas, seria, após o tratamento termoquímico, reaquecer o componente até o campo da austenita estável (solubilizando possíveis precipitados) e realizar o

tratamento térmico desejado (por exemplo têmpera, martêmpera ou austêmpera).

[0031] O processo de tratamento térmico e termoquímico no campo da austenita metaestável, de acordo com a presente invenção, compreende tratamentos de martêmpera do núcleo do componente após tratamento termoquímico em temperatura superior à temperatura de fim de transformação; e tratamentos de austêmpera do núcleo do componente concomitantemente ao tratamento termoquímico em temperatura superior à temperatura de fim de transformação.

[0032] No processo de tratamento térmico e termoquímico no campo da austenita metaestável da presente invenção, o núcleo do componente pode ter bainita (superior ou inferior), formada concomitantemente ao tratamento termoquímico em temperatura superior à temperatura de fim de transformação, e martensita, formada no resfriamento após tratamento termoquímico em temperatura superior à temperatura de fim de transformação.

[0033] O núcleo do componente pode ter martensita, formada no resfriamento até a temperatura de tratamento termoquímico em temperatura superior à temperatura de fim de transformação e revenida durante o tratamento termoquímico, e bainita inferior, formada concomitantemente ao tratamento termoquímico em temperatura superior à temperatura de fim de transformação.

[0034] Ainda, o núcleo do componente pode ter martensita revenida, formada no resfriamento até a temperatura de tratamento termoquímico em temperatura superior à temperatura de fim de transformação, e revenida durante o tratamento termoquímico, e martensita não revenida, formada no resfriamento após tratamento termoquímico em temperatura superior à temperatura de fim de transformação.

[0035] Após a etapa de tratamento termoquímico no campo da austenita metaestável de acordo com a presente invenção, o componente pode ser reaquecido até o campo da austenita estável, solubilizando, parcial ou totalmente, possíveis precipitados e então ser submetido à têmpera, à martêmpera ou à austêmpera.

[0036] Produtos para aplicação em diversos setores da indústria metal-mecânica, tais como na área aeroespacial, naval, automotiva, de energia, petroquímica, gás, entre outras podem ser vislumbrados, com grande potencial para a fabricação de

peças de alta resistência, alta tenacidade, bem como elevadas resistência à diferentes tipos de desgaste (cavitação, adesão, abrasão, etc...) e à corrosão, dadas as propriedades da(s) fase(s) obtida(s) na superfície das peças tratadas durante o tratamento termoquímico no campo da austenita metaestável.

[0037] No caso do processo realizado por plasma, o baixo impacto ambiental e consumo energético frente às técnicas convencionais de tratamentos termoquímicos superficiais via sólida, líquida e/ou gasosa para endurecimento superficial de diferentes aços, conforme aqui descrito, aliada às propriedades de superfícies e dos produtos aqui obtidos, constitui-se em importante vantagem da presente invenção, onde tanto as propriedades do núcleo quanto da superfície do material podem ser idealizadas/planejadas, bastando-se adequar os parâmetros de tratamento.

[0038] Por fim, a técnica de plasma de corrente contínua pulsada possibilita idealizar e testar a presente invenção, que pode ser facilmente estendida aos demais processos propostos (forno de atmosfera controlada e banho de sais).

### REIVINDICAÇÕES

- 1.) PROCESSO DE TRATAMENTO TÉRMICO E TERMOQUÍMICO NO CAMPO DA AUSTENITA METAESTÁVEL EM CICLO ÚNICO, caracterizado por alterar as propriedades da superfície e do núcleo de aços por meio da realização de uma primeira etapa de aquecimento para austenitização completa ou parcial seguido de uma etapa posterior de resfriamento e tratamento termoquímico em temperatura superior à temperatura de fim de transformação no campo contendo austenita metaestável, e resfriamento até a temperatura ambiente ou subzero.
- 2.) PROCESSO DE TRATAMENTO TÉRMICO E TERMOQUÍMICO NO CAMPO DA AUSTENITA METAESTÁVEL EM CICLO ÚNICO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato da etapa de tratamento termoquímico ser uma etapa de cementação.
- 3.) PROCESSO DE TRATAMENTO TÉRMICO E TERMOQUÍMICO NO CAMPO DA AUSTENITA METAESTÁVEL EM CICLO ÚNICO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 2, caracterizado pelo fato de se produzir uma camada tratada constituída de austenita expandida pelo carbono.
- 4.) PROCESSO DE TRATAMENTO TÉRMICO E TERMOQUÍMICO NO CAMPO DA AUSTENITA METAESTÁVEL EM CICLO ÚNICO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 2, caracterizado pelo fato de se produzir uma camada tratada constituída de austenita expandida pelo carbono e carbonetos (estáveis e metaestáveis).
- 5.) PROCESSO DE TRATAMENTO TÉRMICO E TERMOQUÍMICO NO CAMPO DA AUSTENITA METAESTÁVEL EM CICLO ÚNICO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 2, caracterizado pelo fato de se produzir uma camada constituída de martensita expandida pelo carbono.
- 6.) PROCESSO DE TRATAMENTO TÉRMICO E TERMOQUÍMICOS NO CAMPO DA AUSTENITA METAESTÁVEL EM CICLO ÚNICO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 2, caracterizado pelo fato de se produzir uma camada tratada constituída de martensita expandida pelo carbono e carbonetos (estáveis e metaestáveis).

7.) PROCESSO DE TRATAMENTO TÉRMICO E TERMOQUÍMICO NO CAMPO DA AUSTENITA METAESTÁVEL EM CICLO ÚNICO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 2, caracterizado pelo fato de se produzir uma camada tratada constituída de austenita e martensita expandidas pelo carbono.

8.) PROCESSO DE TRATAMENTO TÉRMICO E TERMOQUÍMICO NO CAMPO DA AUSTENITA METAESTÁVEL EM CICLO ÚNICO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 2, caracterizado pelo fato de se produzir uma camada tratada constituída de austenita e martensita expandidas pelo carbono e carbonetos (estáveis e metaestáveis).

9.) PROCESSO DE TRATAMENTO TÉRMICO E TERMOQUÍMICO NO CAMPO DA AUSTENITA METAESTÁVEL EM CICLO ÚNICO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 2, caracterizado pelo fato de se produzir uma camada tratada constituída de carbonetos (estáveis e metaestáveis) e/ou austenita retida e/ou martensita.

10.) PROCESO DE TRATAMENTO TÉRMICO E TERMOQUÍMICO NO CAMPO DA AUSTENITA METAESTÁVEL EM CICLO ÚNICO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato da etapa de tratamento termoquímico ser uma etapa de nitretação.

11.) PROCESSO DE TRATAMENTO TÉRMICO E TERMOQUÍMICO NO CAMPO DA AUSTENITA METAESTÁVEL EM CICLO ÚNICO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 10, caracterizado pelo fato de se produzir uma camada tratada constituída de austenita expandida pelo nitrogênio.

12.) PROCESSO DE TRATAMENTO TÉRMICO E TERMOQUÍMICO NO CAMPO DA AUSTENITA METAESTÁVEL EM CICLO ÚNICO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 10, caracterizado pelo fato de se produzir uma camada tratada constituída de austenita expandida pelo nitrogênio e nitretos (estáveis e metaestáveis).

13.) PROCESSO DE TRATAMENTO TÉRMICO E TERMOQUÍMICO NO CAMPO DA AUSTENITA METAESTÁVEL EM CICLO ÚNICO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 10, caracterizado pelo fato de se produzir

uma camada tratada constituída de martensita expandida pelo nitrogênio.

14.) PROCESSO DE TRATAMENTO TÉRMICO E TERMOQUÍMICO NO CAMPO DA AUSTENITA METAESTÁVEL EM CICLO ÚNICO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 10, caracterizado pelo fato de se produzir uma camada tratada constituída de martensita expandida pelo nitrogênio e nitretos (estáveis e metaestáveis).

15.) PROCESSO DE TRATAMENTO TÉRMICO E TERMOQUÍMICO NO CAMPO DA AUSTENITA METAESTÁVEL EM CICLO ÚNICO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 10, caracterizado pelo fato de se produzir uma camada tratada constituída de austenita e martensita expandidas pelo nitrogênio.

16.) PROCESSO DE TRATAMENTO TÉRMICO E TERMOQUÍMICO NO CAMPO DA AUSTENITA METAESTÁVEL EM CICLO ÚNICO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 10, caracterizado pelo fato de se produzir uma camada tratada constituída de austenita e martensita expandidas pelo nitrogênio e nitretos (estáveis e metaestáveis).

17.) PROCESSO DE TRATAMENTO TÉRMICO E TERMOQUÍMICO NO CAMPO DA AUSTENITA METAESTÁVEL EM CICLO ÚNICO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato da etapa de tratamento termoquímico ser uma etapa de nitrocementação.

18.) PROCESSO DE TRATAMENTO TÉRMICO E TERMOQUÍMICO NO CAMPO DA AUSTENITA METAESTÁVEL EM CICLO ÚNICO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 17, caracterizado pelo fato de se produzir uma camada tratada constituída de austenita expandida pelo nitrogênio e pelo carbono.

19.) PROCESSO DE TRATAMENTO TÉRMICO E TERMOQUÍMICO NO CAMPO DA AUSTENITA METAESTÁVEL EM CICLO ÚNICO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 17, caracterizado pelo fato de se produzir uma camada tratada constituída de austenita expandida pelo nitrogênio e pelo carbono podendo conter nitretos, carbonetos e carbonitretos estáveis e metaestáveis.

20.) PROCESSO DE TRATAMENTO TÉRMICO E TERMOQUÍMICO NO CAMPO DA AUSTENITA METAESTÁVEL EM CICLO ÚNICO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 17, caracterizado pelo fato de se produzir uma camada tratada constituída de martensita expandida pelo nitrogênio e pelo carbono.

21.) PROCESSO DE TRATAMENTO TÉRMICO E TERMOQUÍMICO NO CAMPO DA AUSTENITA METAESTÁVEL EM CICLO ÚNICO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 17, caracterizado pelo fato de se produzir uma camada tratada constituída de martensita expandida pelo nitrogênio e pelo carbono podendo conter nitretos, carbonetos e carbonitretos estáveis e metaestáveis.

22.) PROCESSO DE TRATAMENTO TÉRMICO E TERMOQUÍMICO NO CAMPO DA AUSTENITA METAESTÁVEL EM CICLO ÚNICO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 17, caracterizado pelo fato de se produzir uma camada tratada constituída de austenita e martensita expandidas pelo nitrogênio e pelo carbono.

23.) PROCESSO DE TRATAMENTO TÉRMICO E TERMOQUÍMICO NO CAMPO DA AUSTENITA METAESTÁVEL EM CICLO ÚNICO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 17, caracterizado pelo fato de se produzir uma camada tratada constituída de austenita e martensita expandidas pelo nitrogênio e pelo carbono podendo conter nitretos, carbonetos e carbonitretos estáveis e metaestáveis.

24.) PROCESSO DE TRATAMENTO TÉRMICO E TERMOQUÍMICO NO CAMPO DA AUSTENITA METAESTÁVEL EM CICLO ÚNICO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato da etapa de tratamento termoquímico ser uma etapa de carbonitreção.

25.) PROCESSO DE TRATAMENTO TÉRMICO E TERMOQUÍMICO NO CAMPO DA AUSTENITA METAESTÁVEL EM CICLO ÚNICO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 24, caracterizado pelo fato de se produzir uma camada tratada constituída de austenita expandida pelo carbono e pelo nitrogênio.

26.) PROCESSO DE TRATAMENTO TÉRMICO E TERMOQUÍMICO NO CAMPO DA AUSTENITA METAESTÁVEL EM CICLO ÚNICO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 24, caracterizado pelo fato de se produzir uma camada tratada constituída de austenita expandida pelo carbono e pelo nitrogênio podendo conter nitretos, carbonetos e carbonitretos estáveis e metaestáveis.

27.) PROCESSO DE TRATAMENTO TÉRMICO E TERMOQUÍMICO NO CAMPO DA AUSTENITA METAESTÁVEL EM CICLO ÚNICO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 24, caracterizado pelo fato de se produzir uma camada tratada constituída de martensita expandida pelo carbono e pelo nitrogênio.

28.) PROCESSO DE TRATAMENTO TÉRMICO E TERMOQUÍMICO NO CAMPO DA AUSTENITA METAESTÁVEL EM CICLO ÚNICO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 24, caracterizado pelo fato de se produzir uma camada tratada constituída de martensita expandida pelo carbono e pelo nitrogênio podendo conter nitretos, carbonetos e carbonitretos estáveis e metaestáveis.

29.) PROCESSO DE TRATAMENTO TÉRMICO E TERMOQUÍMICO NO CAMPO DA AUSTENITA METAESTÁVEL EM CICLO ÚNICO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 24, caracterizado pelo fato de se produzir uma camada tratada constituída de austenita e martensita expandidas pelo carbono e pelo nitrogênio.

30.) PROCESSO DE TRATAMENTO TÉRMICO E TERMOQUÍMICO NO CAMPO DA AUSTENITA METAESTÁVEL EM CICLO ÚNICO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 24, caracterizado pelo fato de se produzir uma camada tratada constituída de austenita e martensita expandidas pelo carbono e pelo nitrogênio podendo conter nitretos, carbonetos e carbonitretos estáveis e metaestáveis.

31.) PROCESSO DE TRATAMENTO TÉRMICO E TERMOQUÍMICO NO



CAMPO DA AUSTENITA METAESTÁVEL EM CICLO ÚNICO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato da etapa de tratamento termoquímico ser uma etapa de boretação.

32.) PROCESSO DE TRATAMENTO TÉRMICO E TERMOQUÍMICO NO CAMPO DA AUSTENITA METAESTÁVEL EM CICLO ÚNICO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato da etapa de tratamento termoquímico ser qualquer uma das possíveis combinações entre os diferentes tratamentos termoquímicos incluindo cementação, nitretação, nitrocementação, carbonitretação e/ou boretação, incluindo-se também tratamentos simultâneos de enriquecimento superficial com elementos de liga substitucionais tais como Cr, Ti, Mo, V, W, Nb, Ta, entre outros elementos químicos, a partir de materiais constituindo-se como alvo, em estrutura de cátodo(s) adicional(ais) quando do uso da técnica de plasma.

33.) PROCESSO DE TRATAMENTO TÉRMICO E TERMOQUÍMICO NO CAMPO DA AUSTENITA METAESTÁVEL EM CICLO ÚNICO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 32, caracterizado por compreender tratamentos de martêmpera do núcleo do componente após tratamento termoquímico em temperatura superior à temperatura de fim de transformação.

34.) PROCESSO DE TRATAMENTO TÉRMICO E TERMOQUÍMICO NO CAMPO DA AUSTENITA METAESTÁVEL EM CICLO ÚNICO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 32, caracterizado por compreender o tratamento de austêmpera do núcleo do componente concomitantemente ao tratamento termoquímico em temperatura superior à temperatura de fim de transformação.

35.) PROCESSO DE TRATAMENTO TÉRMICO E TERMOQUÍMICO NO CAMPO DA AUSTENITA METAESTÁVEL EM CICLO ÚNICO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 32, caracterizado por o núcleo do componente ter bainita (superior ou inferior), formada concomitantemente ao tratamento termoquímico em temperatura superior à temperatura de fim de transformação, e martensita, formada no resfriamento após tratamento termoquímico em temperatura superior à temperatura de fim de transformação.

36.) PROCESSO DE TRATAMENTO TÉRMICO E TERMOQUÍMICO NO CAMPO DA AUSTENITA METAESTÁVEL EM CICLO ÚNICO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 32, caracterizado por o núcleo do componente ter martensita, formada no resfriamento até a temperatura de tratamento termoquímico em temperatura superior à temperatura de fim de transformação e revenida durante o tratamento termoquímico, e bainita inferior, formada concomitantemente ao tratamento termoquímico em temperatura superior à temperatura de fim de transformação.

37.) PROCESSO DE TRATAMENTO TÉRMICO E TERMOQUÍMICO NO CAMPO DA AUSTENITA METAESTÁVEL EM CICLO ÚNICO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 32, caracterizado por o núcleo do componente ter martensita revenida, formada no resfriamento até a temperatura de tratamento termoquímico em temperatura superior à temperatura de fim de transformação, e revenida durante o tratamento termoquímico, e martensita não revenida, formada no resfriamento após tratamento termoquímico em temperatura superior à temperatura de fim de transformação.

38.) PROCESSO DE TRATAMENTO TÉRMICO E TERMOQUÍMICO NO CAMPO DA AUSTENITA METAESTÁVEL EM CICLO ÚNICO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 32, caracterizado por, após a etapa de tratamento termoquímico, o componente ser reaquecido até o campo da austenita estável, solubilizando, parcial ou totalmente, possíveis precipitados e então submetido à têmpera.

39.) PROCESSO DE TRATAMENTO TÉRMICO E TERMOQUÍMICO NO CAMPO DA AUSTENITA METAESTÁVEL EM CICLO ÚNICO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 32, caracterizado por, após a etapa de tratamento termoquímico, o componente ser reaquecido até o campo da austenita estável, solubilizando, parcial ou totalmente, possíveis precipitados e então submetido à martêmpera.

40.) PROCESSO DE TRATAMENTO TÉRMICO E TERMOQUÍMICO NO CAMPO DA AUSTENITA METAESTÁVEL EM CICLO ÚNICO, de acordo com

qualquer uma das reivindicações 1 a 32, caracterizado por, após a etapa de tratamento termoquímico, o componente ser reaquecido até o campo da austenita estável, solubilizando, parcial ou totalmente, possíveis precipitados e então submetido à austêmpera.

41.) PROCESSO DE TRATAMENTO TÉRMICO E TERMOQUÍMICO NO CAMPO DA AUSTENITA METAESTÁVEL EM CICLO ÚNICO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 2, 10, 17, 31 ou 32, caracterizado pelo fato do processo de austenização e tratamento termoquímico ser realizado por plasma.

42.) PROCESSO DE TRATAMENTO TÉRMICO E TERMOQUÍMICO NO CAMPO DA AUSTENITA METAESTÁVEL EM CICLO ÚNICO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 2, 10, 17, 24, 31 ou 32, caracterizado pelo fato do processo de austenitização e tratamento termoquímico ser realizado em banhos de sais fundidos.

43.) PROCESSO DE TRATAMENTO TÉRMICO E TERMOQUÍMICO NO CAMPO DA AUSTENITA METAESTÁVEL EM CICLO ÚNICO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 2, 10, 17, 24, 31 ou 32, caracterizado pelo fato do processo de austenitização e tratamento termoquímico ser realizado em forno de atmosfera controlada.

44.) PROCESSO DE TRATAMENTOS TÉRMICO E TERMOQUÍMICO NO CAMPO DA AUSTENITA METAESTÁVEL EM CICLO ÚNICO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 2, 10, 17, 24, 31 ou 32, caracterizado pelo fato do processo de austenitização e tratamento termoquímico ser realizado em caixa de tratamento com compostos sólidos compondo o meio de atmosfera.

45.) PROCESSO DE TRATAMENTO TÉRMICO E TERMOQUÍMICO NO CAMPO DA AUSTENITA METAESTÁVEL EM CICLO ÚNICO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 2, 10, 17, 24, 31 ou 32, caracterizado pelo fato do processo de austenitização ser realizado em forno com atmosférica controlada e o tratamento termoquímico ser realizado em banho de sais fundidos.

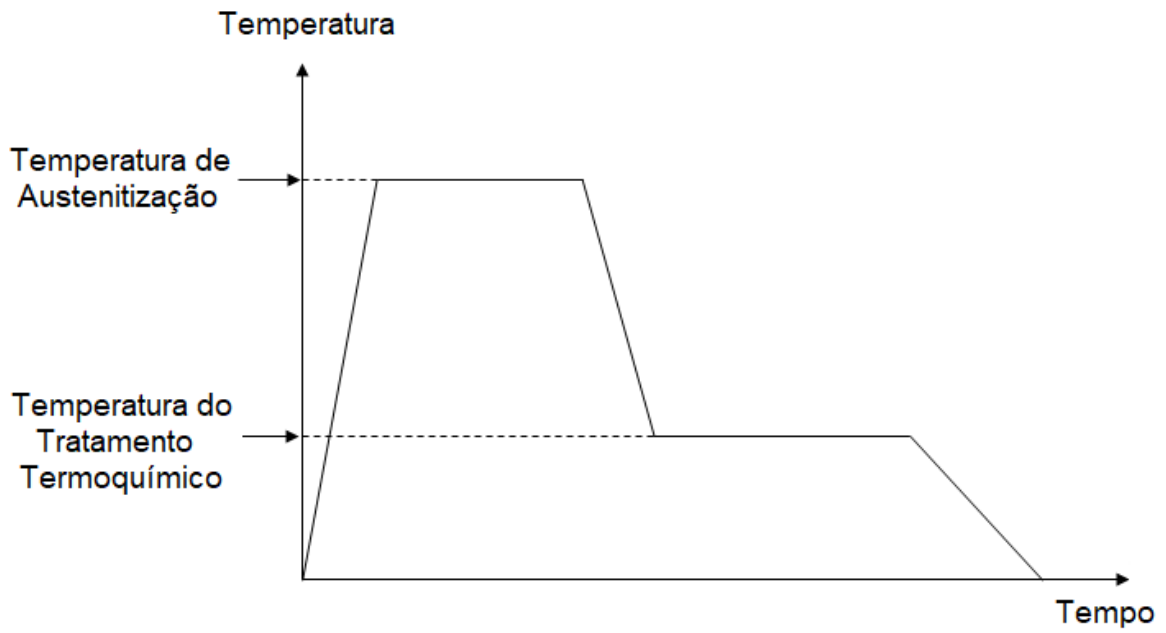


Figura 1

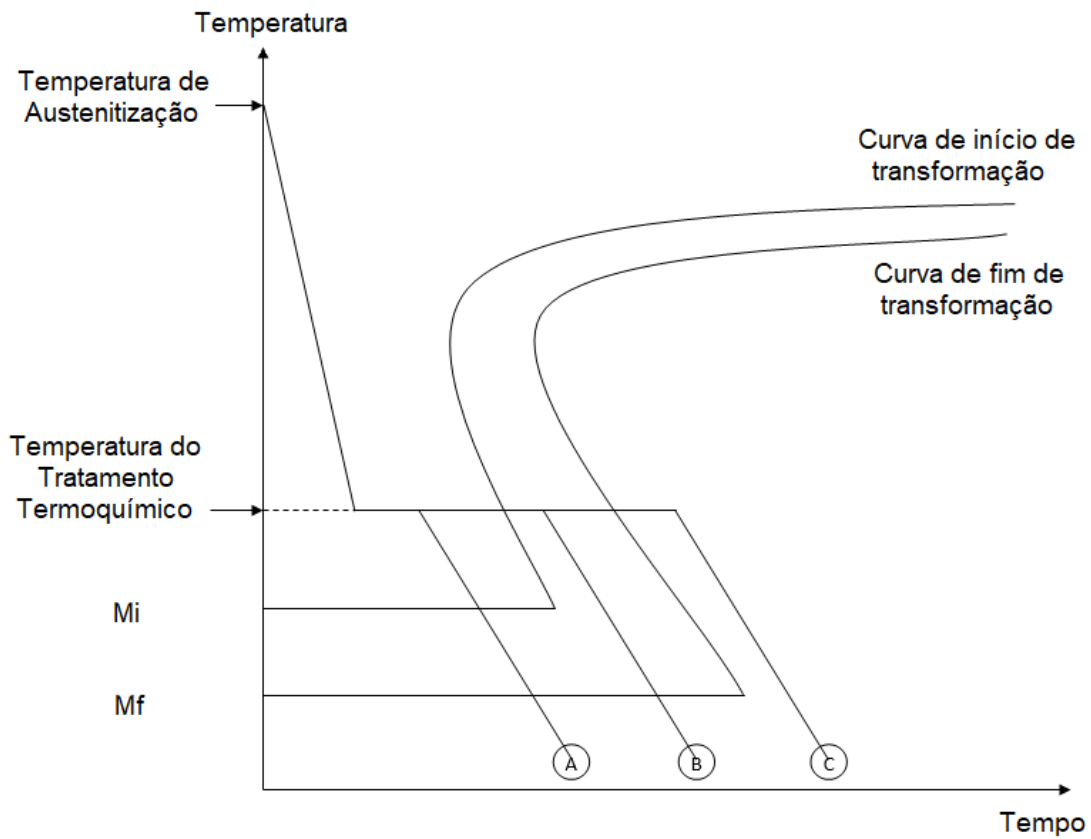
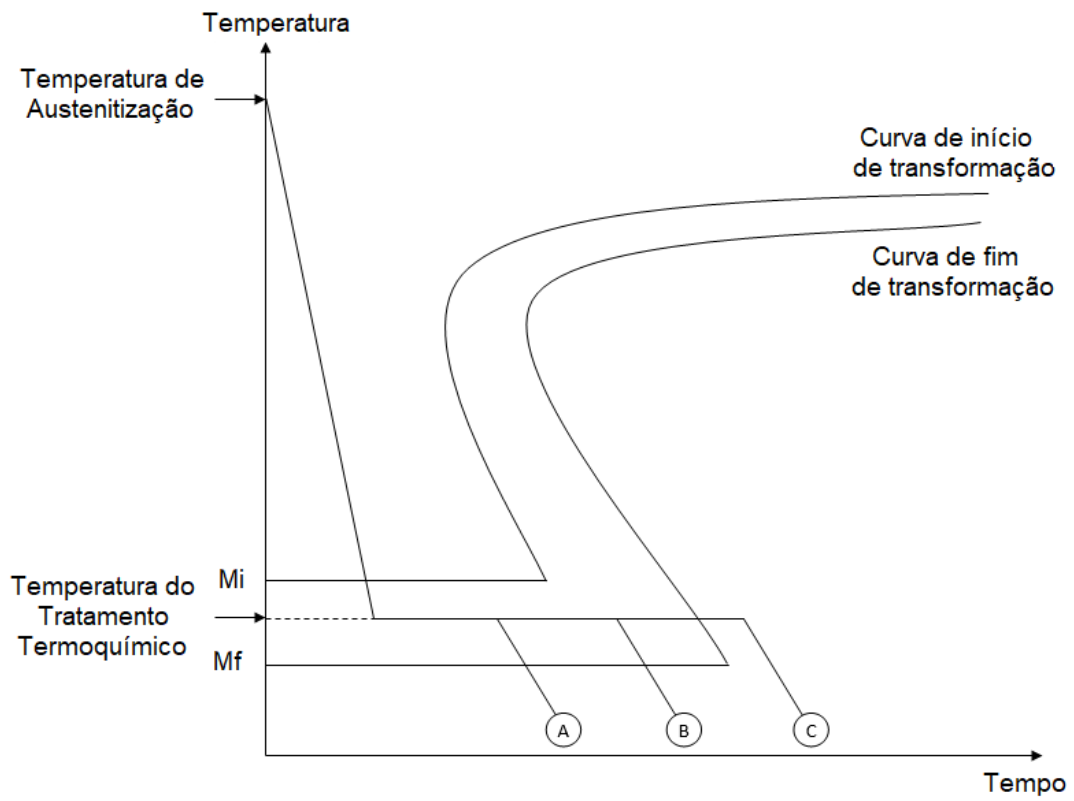


Figura 2

**Figura 3**

## RESUMO

“PROCESSO DE TRATAMENTO TÉRMICO E TERMOQUÍMICO NO CAMPO DA AUSTENITA METAESTÁVEL EM CICLO ÚNICO”.

A presente invenção consiste na realização de tratamento térmico e termoquímico em ciclo único, com a característica do tratamento termoquímico ser realizado no campo da austenita metaestável, possibilitando obter camadas tratadas com características diferentes daquelas obtidas quando o tratamento termoquímico não é realizado no campo da austenita metaestável. Neste caso o tratamento termoquímico pode ser, por exemplo, a nitretação, a cementação, a carbonitretação, a nitrocementação, a boretação ou qualquer combinação entre eles e, dependendo dos parâmetros do tratamento termoquímico e das características do aço a ser tratado, diferentes microestruturas podem ser obtidas no núcleo do componente tratado (incluindo martensita, martensita revenida, bainita ou uma combinação destes). Dadas às características do processo proposto nesta invenção, este se mostra adequado para aplicação em componentes com elevada solicitação estrutural e de superfície, possibilitando produzir componentes com núcleo apresentando elevada resistência mecânica e tenacidade associado a superfícies com elevadas resistências ao desgaste e à corrosão.