

12º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2021

PARÂMETROS PARA CEMENTAÇÃO

GABRIEL M. SILVA¹, DENIS MOSCONI², ALDO M. Y. RIGATTI³

¹ Graduando em Engenharia de Controle e Automação, IFSP, Câmpus Catanduva, machado.gabriel@aluno.ifsp.edu.br.

² Professor EBTT, IFSP, Câmpus Catanduva, denis.mosconi@ifsp.edu.br

³ Professor EBTT, IFSP, Câmpus Catanduva, rigattialdo@ifsp.edu.br

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.03.03.06-0 Tratamento Térmicos, Mecânicos e Químicos

RESUMO: Tratamentos termoquímicos são processos que visam a adição, por difusão, de carbono, nitrogênio ou boro na superfície do aço em altas temperaturas (500 a 1000°C), aumentam a dureza e a resistência ao desgaste da superfície, mantendo o núcleo do material dúctil. O objetivo deste trabalho é apresentar através de pesquisas bibliográficas parâmetros usuais e inovadores para realização da cementação. O processo consiste na introdução de carbono na superfície do aço, de modo que após temperado, apresente uma superfície mais dura. Para se produzir uma combinação de uma superfície dura com núcleo tenaz, deve-se partir de um aço com baixo carbono, ($C < 0,30\%$), e aquecê-lo, geralmente, entre 815 a 950°C. O emprego de meios cementantes alternativos como cinzas do bagaço da cana-de-açúcar e cinzas da casca de arroz podem ser usadas com sucesso, mostrando que a cementação sólida ainda pode ser aplicada com sucesso e de maneira sustentável frente alguns processos mais tecnológicos como a cementação a plasma. De maneira geral considerando todos os processos de cementação ainda desempenha um papel muito importante para indústria.

PALAVRAS-CHAVE: Cementação; Tratamento termoquímico; difusão; superfície.

PARAMETERS FOR CARBURIZING

ABSTRACT: Thermochemical treatments are processes that aim to add, by diffusion, carbon, nitrogen or boron on the surface of steel at high temperatures (500 to 1000°C), increase the hardness and the wear resistance of the surface, keeping the core of the material ductile. The objective of this work is to present through bibliographical research the usual and innovative parameters for carburizing. The process consists of introducing carbon on the surface of steel, so that after hardening, it presents a harder surface. In order to produce a combination of a hard surface and a tough core, a steel with low carbon ($C < 0.30\%$) must be started and heated, usually, between 815 and 950°C. The use of alternative carburizing media such as sugar cane bagasse ash and rice husk ash can be used successfully, showing that solid carburizing can still be applied successfully and sustainably compared to some more technological processes such as plasma carburizing. Overall, considering all carburizing processes still plays a very important role for the industry.

KEYWORDS: Carburizing; Thermochemical treatment; diffusion; surface.

INTRODUÇÃO

Por muito tempo, os processos termoquímicos foram limitados a aplicações a peças forjadas e fundidas. Na atualidade, os metais ferrosos encontrados no mercado requerem diferentes tratamentos térmicos ou termoquímicos. Segundo Angeloni (2018), o desenvolvimento de novas tecnologias de

tratamento termoquímico vem buscando cada vez mais o aprimoramento do mercado, trazendo alguns padrões no processo de tratamento termoquímico, o que tem despertado interesse da indústria, incluindo o estudo de propriedades mecânicas para melhorar a vida útil das peças. Em diversos campos de pesquisa, na área automotiva e aeroespacial, a dureza superficial e a ductilidade no interior das peças são harmonizadas por processos termoquímicos para obtenção de excelente desempenho.

Segundo Lima (2018), os processos termoquímicos são projetados para proporcionar maior resistência ao desgaste superficial. Logo, Silva e Mei (2010) apresenta que o tratamento termoquímico, tende a aumentar a dureza da peça, porém, eventualmente o centro da peça torna-se tenaz e fadiga à corrosão da peça aumentam.

O tratamento termoquímico da cementação que consiste na introdução de carbono na superfície do aço, de modo que este, depois possa ser temperado e apresentar uma superfície mais dura, pode ser realizado em meio sólido, líquido ou gasoso, podendo também ser utilizado em plasma. O objetivo deste trabalho é apresentar uma pesquisa bibliográfica sobre os parâmetros do tratamento termoquímicos da cementação, comparando as melhorias nas propriedades mecânicas, precisamente na dureza dos materiais.

MATERIAL E MÉTODOS

Foi realizada uma revisão da literatura sobre o tema tratamento termoquímico na cementação. Foram inclusos textos que sigam um método científico, ou seja, artigos científicos e trabalhos acadêmicos junto de relatórios técnicos de órgãos responsáveis ou referência na área. Nesta seleção usaram-se ferramentas distintas de busca, as principais foram Google Acadêmico e portal CAPES.

Muitas publicações, algumas palavras e expressões chaves foram utilizadas para direcionar as buscas, tais como: cementação, tratamento termoquímico, carbono, endurecimento, difusão, superfície. Os resultados das buscas não foram limitados ao português pela capacidade do site traduzir as expressões ao executar a busca, obtendo como respostas publicações em inglês e espanhol.

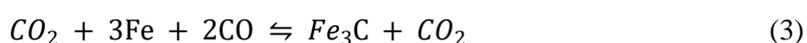
O montante de publicações reunidos fez com que houvesse a necessidade de aplicar alguns filtros para verificar se o artigo ou trabalho acadêmico se enquadra no tema, neste caso foram 2 filtros. O primeiro, logo na pesquisa, foi identificar se o resumo e/ou a conclusão do trabalho indicam algum estudo sobre tratamentos termoquímicos, aplicação da cementação. O segundo filtro teve como intuito retirar obras que abordem exclusivamente Tratamentos termoquímicos ou tenha maior foco tratamentos termoquímicos da cementação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

• *Processos Termoquímicos da Cementação*

Em peças como engrenagens, são necessários núcleos resistentes e superfícies resistentes ao desgaste. Para esta aplicação, o aço de baixo teor de carbono passa por um tratamento termoquímico de cementação, que aumenta o teor de carbono da superfície e melhora sua resistência ao desgaste, enquanto mantém a tenacidade do núcleo e um baixo teor de carbono. Inicialmente, a cementação foi desenvolvida em um meio sólido, mas este não é o meio mais eficaz. Segundo Chiaverini (2008), os meios líquidos e gasosos são preferencialmente usados para tratamento termoquímico, porque a velocidade do processo é maior, quando esses fluidos são usados como meio de cementação.

Na cementação sólida ou em caixa, as peças são colocadas em uma caixa de aço, dentro desta é colocada uma mistura contendo pó cementante rico em carbono, ou geralmente composto de carvão vegetal e ativador. Para Chiaverini (2008), o ativador mais comum é o carbonato alcalino-ferro ferroso, como carbonato de sódio, carbonato de potássio, carbonato de cálcio e carbonato de bário. Este é um processo mais lento e requer várias horas de fornos, geralmente em alta temperatura de 815 ° a 955 ° C. Segundo o mesmo autor, nessa temperatura, o oxigênio do ar se combina com o carbono do carvão para produzir dióxido de carbono (Equação 1) e o dióxido de carbono se combina com o carbono do carvão para produzir monóxido de carbono (Equação 2), que irá se difundir ao ferro do aço e produzir mais dióxido de carbono nessa temperatura. (Equação 3).



Na cementação o carbono se difunde na superfície da peça. Após a consolidação com o resfriamento da peça ocorrerá o endurecimento, a profundidade da camada endurecida varia entre 0,6 e 6,9 mm. Apesar disso, a cementação sólida é muito lenta e precisa de várias horas acima da zona crítica (900 a 1000°C), durante a qual ocorrerá o crescimento do grão de austenita. Por este motivo, após a cementação sólida na caixa, é necessário um tratamento térmico de normalização para refinar os grãos, após este processo a camada superficial pode ser endurecida por tempera e revenido.

Logo, na cementação líquida acontece em um banho de sal à base de cianeto de sódio e cianeto de bário. A temperatura da cementação líquida é de 850°C a 950 ° C, por isso é relativamente profunda. Segundo Santos (1984), a cementação líquida, além de permitir considerável a regularidade, e a profundidade da camada cementada em altas temperaturas que varia de 0,5 a 3,0 mm e em baixas de 0,08 a 0,8 mm, e o de tempo de forno varia entre 5 a 10 horas, então quase não há deformação ou empenamento do material.

A cementação a gás é amplamente utilizada na indústria, porém requer atenção de limpar a superfície das peças, antes do processo. De acordo com Chiaverini (2008), esse processo permite que o uso de gases contendo CO, CO₂, H₂, H₂O e CH₄, para controlar o potencial de carbono. Além de controlar o potencial de carbono, também é necessário controlar o potencial de oxigênio. Paragarantir a distribuição total do carbono. O tratamento acontece por difusão do carbono na zona de austenita. A microestrutura produzida pela cementação depende de dois fatores combinados: mudanças na taxa de resfriamento (tempera) e mudanças na composição química (difusão de carbono). Segundo Chiaverini (2008) dependendo da taxa de resfriamento e do teor de carbono, diferentes microestruturas aparecerão na superfície da peça cementada. Sendo assim o teor de carbono é contido, enquanto o de nitrogênio varia na medida da porcentagem de amônia, portanto é feito com uma temperatura de 925°C, sendo necessário a tempera direta evitando o resfriamento, a profundidade da camada cementada é de 0,5 a 2,0 mm.

Hoje existe uma espécie de tratamento termoquímico, nomeadamente cementação a plasma, que atrai a atenção dos investidores e da indústria pelas inúmeras vantagens. De acordo Scheuer (2015) a cementação a plasma utiliza uma baixa temperatura e utiliza um projeto de descarga leve para introduzir íons de carbono na superfície da peça. A principal vantagem é que ela produz uma camada mais espessa e uniforme com uma temperatura de processamento mais baixa, que em contraste reduz o tempo de execução.

O processo com plasma entrou em escala comercial em 1970. Neste tratamento as peças são introduzidas no forno, e então a temperatura é elevada de 925°C a 1040°C. A austenita é rapidamente saturada com carbono, passando por um fluxo controlado de hidrocarbonetos gasosos (metano, propano ou outro gases) e, em seguida, introduz uma pressão entre 10 à 200 Torr. Segundo Gomes (2008), quando o gás entra em contato com a superfície do aço, é liberado vapor de carbono, depositando uma camada muito fina de carbono na superfície do material, sendo esse carbono imediatamente absorvido pelo aço até o limite de saturação ser atingido.

Juntamente o fluxo de gás é interrompido, a bomba de vácuo que funciona durante todo o processo remove o excesso de gás e, em seguida, é preenchida com nitrogênio. Nesse ponto, tem início a segunda etapa do processo, a chamada "Ciclo de difusão controlada" em que o teor de carbono necessário e a profundidade da camada de cementação de 3mm são alcançados. Bem como, além de prevenir a oxidação entre partículas, este método com plasma também fornece melhor uniformidade e controle mais preciso da camada de casca associada à cementação com gás. Segundo Chiaverini (1986), nas peças são mais difíceis de formar óxidos, microfissuras e descarbonização. Em comparação com a cementação a gás, todo o processo é feito a vácuo, de modo que as peças ficam mais limpas e nenhuma limpeza adicional é necessária. As emissões de gases também são menores que a cementação gasosa, reduzindo assim os problemas ambientais. Porém, o custo do equipamento é alto.

- *Fontes de Cementação*

Pensando em um processo mais ecológico e sustentável, fontes de carbono, tende a ser usados no processo de cementação, podendo existir diferentes fontes de carbono, que podem auxiliar nos tratamentos termoquímicos, como: cinza do bagaço de cana, cinza de casca de arroz, carvão vegetal, etc. Considerando a extensão do território e as condições climáticas do Brasil, o país se posiciona como um grande produtor agrícola. O destaque é a cana-de-açúcar amplamente utilizada, o que a torna um dos produtos mais cultivados no país. A cinza do bagaço da cana contém muito carbono, o que pode favorecer o processo de cementação.

As partículas de cinza do bagaço confirmaram o alto valor da área superficial específica

relacionado ao teor de carbono na cinza. A incineração do bagaço em condições controladas produzirá cinzas que contêm abundância de carbono e matéria orgânica. Segundo Swamy (1996), o carbono permanece nas cinzas e pode ser removido novamente com a queima do material. Portanto, a remoção do carbono na segunda combustão pode exigir alta temperatura e tempo, o que ainda pode alterar a estrutura da sílica contida nas cinzas. No entanto, o bagaço é queimado a uma temperatura elevada de 600°C para a obtenção da cinza do bagaço, que possui alto teor de carbono e pode ser utilizado no processo termoquímico de cementação.

Outra fonte de carbono, como a casca de arroz, é amplamente cultivada no Brasil, principalmente no município de Alegrete, no Rio Grande do Sul. Segundo o Instituto Rio Grandense dos Arrozeiros (IRGA), a cidade produz cerca de 437 mil toneladas de arroz por ano. Tashima (2006) garante que a casca de arroz é geralmente composta por 50% de celulose, 30% de lignina e 20% de dióxido de silício, mas quando a casca de arroz é queimada, perde-se matéria orgânica, deixando apenas dióxido de silício e algumas impurezas: potássio, cálcio e sódio. Em usinas termelétricas, processos de combustão descontrolada produzem cinzas cristalinas. De acordo com Chandrasekhar et al. (2003), a combustão parcial faz com que a parte orgânica se decomponha e quebre suas ligações, produzindo cinzas pretas com certo teor de carbono.

Diante disso, a pesquisa de Suzane et al. (2019) houve um sucesso no processo de cementação, retirando o carbono da cinza do bagaço da cana, usando-se um aço carbono A36. Portanto, a cementação é um procedimento termoquímico, que possibilita o mecanismo de difusão atômica de carbono, proveniente de fontes sustentáveis, com o intuito do aumento de dureza na superfície do material, depois de adequadamente temperado.

CONCLUSÕES

Nos últimos anos, as empresas do setor metalúrgico consomem grandes quantidades de peças metálicas, para reparo e reposição de peças. O desgaste das peças apresenta principalmente no atrito, pois estão em contato direto com as partículas. Sendo assim, com o procedimento termoquímico da cementação, vem para minimizar esse efeito de desgaste da peça, portanto, garanti uma maior vida na superfície de peças.

O tratamento termoquímico da cementação, possui diferentes métodos de processo, porém o foco final do endurecimento superficial é o mesmo, desse modo, podem ser utilizadas na cementação fontes de carbono, que ainda podem ser mais exploradas.

Alguns processos de cementação são mais eficazes do que outros. Como a cementação sólida em relação à líquida, onde existem determinados estudos que mostram o tempo de duração do processo termoquímico, que pode durar em média de 5 horas com temperaturas elevadas a 900°C para cementação sólida e entre 5 a 10 horas com temperaturas elevadas a 950°C para a líquida. Logo, a cementação sólida tende a ter vantagens sobre a líquida nesse aspecto do tempo de duração. Dado outro exemplo, a cementação gasosa, pode chegar a uma profundidade de dureza, entre 0,6 e 6,9 mm enquanto a plasma chega a 3 mm de espessura de profundidade.

Logo, a conclusão tirada das revisões e da pesquisa bibliográfica, é que o uso de processos de cementação, pode desempenhar um papel importante nos cenários da indústria metalúrgica. O processo de cementação sólida apesar de um dos mais antigos ainda apresenta vantagens a outros mais tecnológicos e estudos apontam o envolvimento sustentável do processo que ainda tem pontos a serem estudados e melhorados.

AGRADECIMENTOS

A todo corpo docente do IFSP e ao PIBIFSP Edital 10/2020, por terem me concedido a bolsa de estudo para realização da pesquisa.

REFERÊNCIAS

ANGELONI, M.; DE OLIVEIRA JUNIOR, S. M. C.; CAMILO, A. R. Análise de Falha em Dente de Engrenagem. **SITEFA-Simpósio de Tecnologia da Fatec Sertãozinho**, v. 1, n. 1, p. 135-152, 2018. Disponível em: <https://sitefa.fatecsertaozinho.edu.br/index.php/sitefa/article/view/14/10>. Acesso em: 05 ago. 2021.

Lima, L. S. P. R. D. (2018). **Estudo teórico da influência do tempo de tratamento na cementação sólida e do uso do carbonato de cálcio como ativador em aços**. Disponível em https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/5616/1/LucasSPRL_ART.pdf.

Acesso em 08 ago. 2021.

SILVA, Andre Luiz V. da Costa e; MEI, Paulo Roberto. **Aços e ligas especiais**. 3. ed. Sao Paulo: Blucher, 2010.

SCHEUER, C. J. **Comportamento tribológico e resistência à corrosão do aço inoxidável martensítico AISI 420 cementado por plasma a baixa temperatura**. 2015. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/147519377.pdf>. Acesso em: 07 ago.2021.

CHIAVERINI, V. **Tecnologia mecânica**. McGraw Hill, 1986. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/tatianamattosferreira/vicente-chiaverini-tecnologia-mecnica-vol1-i-estrutura-e-propriedades-das-ligas-metlicas>. Acesso em: 09 ago. 2021.

TASHIMA, M. M. **Cinza de Casca de Arroz altamente reativa: método de produção, caracterização físico-química e comportamento em matrizes de cimento Portland**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. UNESP, Ilha Solteira, SP, 2006. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/91490>. Acesso em: 09 ago. 2021.

CHANDRASEKHAR, S.; SATYANARAYANA, K. G.; PRAMADA, P. N. Processing properties and applications of reactive silica from rice husk – an overview. In: **Journal of Materials Science**. 38 v. p. 3159 – 3168, 2003. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1025157114800>. Acesso em: 10 ago. 2021.

CHIAVERINI, V. **Tratamentos térmicos das Ligas Metálicas**. Associação Brasileira de Metalurgia e Matérias. ABM, São Paulo, 2008, p. 109.