

ANÁLISE DA VIABILIDADE DE APLICAÇÃO DE TINTAS PARA GERAÇÃO DE QR-CODE PARA RASTREABILIDADE DE PEÇAS SUBMETIDAS A TRATAMENTO TÉRMICO

Resumo: A indústria 4.0, nos dias atuais, é sinônimo de qualidade à medida que está associada à implementação de tecnologias que podem dinamizar processos industriais. A pesquisa dessas tecnologias, à nível acadêmico, promove a interação do aluno com a problemática profissional, o que permite o desenvolvimento das competências necessárias ao seu sucesso. Nesse contexto, esse trabalho, parte integrante de uma pesquisa acerca da identificação de peças metálicas submetidas a tratamentos térmicos, tem por objetivo facilitar o processo de rastreamento de produtos. Essa identificação pode ser desenvolvida por meio de Quick Response Code (Código de Resposta Rápida - QR Code), o que possibilita a leitura de um relatório virtual do produto de forma rápida e direta. Para que essa abordagem seja adotada em peças tratadas termicamente, foi necessário, analisar produtos de cobertura, e a reação dessas tintas aos diferentes procedimentos térmicos à que as peças são expostas. Na primeira etapa do estudo, foi avaliada a tinta resistente à alta temperatura Colorgin, após o tratamento de revenimento a 600°C, de uma amostra de aço SAE 1045 e duas amostras de aço SAE 1020. As amostras foram resfriadas em água, água com sal e óleo, e o acabamento da tinta após o resfriamento foi analisado. Com base nos resultados alcançados, a tinta mostrou-se com pouca aderência após o resfriamento com água e sal, e boa aderência após os resfriamentos à água e a óleo.

Palavras-chave: Rastreabilidade. Tratamento Térmico. Código de resposta rápida.

1 INTRODUÇÃO

A indústria 4.0 surgiu com a possibilidade de associar conhecimentos inovadores com redução de gastos (LEE, *et al*, 2014). A preocupação com desperdício excessivo e a insegurança pelo retorno do investimento com a implementação de novas tecnologias são obstáculos encontrados pelo setor industrial, incluindo as indústrias de tratamento térmico (ABREU, 2015). Assim, é comum encontrar empresas, que utilizam tratamento térmico na fabricação de suas peças, que não possuem uma gestão adequada aos conceitos da indústria 4.0 aplicados à sua linha de produção (GONÇALVES, 2008).

A necessidade de produzir em grande escala com melhor qualidade forçou as indústrias a investir em produtos tratados termicamente, que apresentassem melhor custo e menor tempo de fabricação. Para isso é necessária a gestão da rastreabilidade de peças submetidas a altas temperaturas. As indústrias vêm investindo cada vez mais em recursos tecnológicos para a fabricação e gestão dos seus componentes, objetivando a redução do tempo de produção e o aumento da competitividade. A aplicação de ferramentas que garantem a qualidade dos produtos são indispensáveis. O mercado consumidor necessita de soluções com preço reduzido constantemente (REBECHI 2011). Assim, para a implementação dessas soluções, necessárias nos ambientes industriais, elas devem ser vivenciadas durante a formação dos profissionais, à nível acadêmico. Desse modo, tem-se não somente a transferência dos conhecimentos embasados em conteúdos técnicos já comprovados, como também a geração de novos conceitos que afloram das interações acadêmicas (IEDI, 2018).

Seguindo essa lógica, foi realizada uma pesquisa acerca dos tratamentos térmicos e da forma como são executados nos ambientes industriais. O estudo revelou que o tratamento

térmico é um processo que altera as propriedades mecânicas dos materiais de acordo com as condições de temperatura e tempo de exposição da peça ao calor. Esse processo é feito, basicamente, em três etapas que consistem no aquecimento do forno, manutenção da temperatura, e resfriamento das peças. Acontece, dessa forma, a modificação de características mecânica do produto tratado por meio da alteração de sua microestrutura. Essas propriedades são utilizadas de acordo com a necessidade do cliente, e são consequência tanto do tratamento térmico à que foi submetido, quanto da sua composição química (CHIAVERINI, 2012).

A possibilidade de obtenção de um material mais resistente com especificações definidas pelo cliente, fez com que a indústria metalúrgica ampliasse seu processo, de forma a ampliar o número de procedimentos para tratamento das peças a alta temperatura (PHANIKUMAR *et al.*, 2018). O crescimento da indústria de peças tratadas termicamente resultou em dificuldades para a identificação e acompanhamento do material durante todo o seu processamento. Quando uma peça adentra a fábrica para passar por tratamento térmico, ela deve ser identificada de maneira fácil e prática de forma que possa ser acompanhada por todo seu processo de fabricação.

Essa nova realidade de produção envolve a indústria 4.0, e determina que os processos de fabricação sejam cada vez mais dinâmicos, competitivos, apresentem baixo custo, e tenham a máxima flexibilidade. Nessa nova realidade industrial, fatores que podem alterar as propriedades dos materiais durante a fabricação são diagnosticados antecipadamente e monitorados ao longo do tempo.

Quando um lote de peças é selecionado para ser tratado termicamente, existe certa dificuldade na especificação de localizadores fixados aos produtos, e que não interfiram nas suas propriedades microestrutural. Cada material possui um arranjo estrutural único; mesmo sendo confeccionado pela mesma matéria-prima, suas características microestruturais podem apresentar diferenças significativas, o processamento pelo qual esse material passa (WU *et al.*, 2018). Quando comparadas a olho nu, suas estruturas não apresentam diferenças perceptíveis; essa homogeneidade dificulta a identificação do material.

A aplicação de qualquer tipo de substância na superfície da peça, com por exemplo uma impressão, pode alterar sua microestrutura, pois seus elementos químicos podem se comportar de forma diferente ao esperado na região em contato com a cobertura. Além disso, a alta temperatura pode mudar a forma da impressão, gerando dificuldade na identificação do material. Assim, durante o processo de têmpera, é necessário avaliar a velocidade de resfriamento e a profundidade de endurecimento de cada peça de material distinto, averiguando os resultados do tratamento sobre as propriedades do material (CHIAVERINI, 2012).

A identificação correta dos materiais reduz custos relacionados com o tempo, gasto pelos colaboradores na produção, no descarte de refugos, e durante a emissão de poluentes. Além disso, permite monitorar o material no decorrer do seu ciclo de vida dentro da linha de produção (SOUZA *et al.*, 2018).

A linha de produção de peças tratadas termicamente apresenta vulnerabilidade devido ao número de processos que não são controlados (LIN *et al.*, 2019). A aplicação de um novo procedimento de pintura, implantado de maneira inadequada para o rastreamento da peça, pode afetar suas propriedades mecânicas, sua aparência e aumentar seu custo de produção. No intuito de evitar essas consequências, é necessário estudar e verificar a viabilidade da aplicação de tintas resistentes a altas temperaturas e que tenham a capacidade de formar um desenho geométrico que não seja afetado durante o processo de aquecimento e resfriamento.

O processo de têmpera é um procedimento que submete peças metálicas a altas temperaturas, necessárias para a recristalização dos materiais. É comum nesse processo a inserção, dentro do forno, de muitas peças simultaneamente, o que provoca a abrasão dos corpos entre si. Assim, a aplicação de uma tinta que possibilite a impressão de um código identificador

deve ser capaz de resistir a essas condições de tratamento, no intuito de conservar a imagem impressa na peça desde o início do processo até o seu fim.

Essa pesquisa, portanto, tem como objetivo estudar e desenvolver um meio de identificação capaz de fornecer o histórico de peças submetidas a altas temperaturas, a fim de permitir uma fabricação mais flexível e dinâmica para o processo. Para isso, foi avaliada a aplicação de tintas resistentes a altas temperaturas sobre materiais usados em processos térmicos, para posteriormente verificar a possibilidade de impressão de uma imagem sobre a superfície da peça. Posteriormente, será analisada a viabilidade de geração de um código para o rastreamento de peças que facilite a gestão de estoque e controle de qualidade. Assim, esse texto reporta os resultados alcançados pelos primeiros experimentos, discutindo a resistência de uma cobertura à base de tinta exposta a um tratamento térmico de aços.

2 METODOLOGIA

Para o início do experimento, foram utilizados dois tipos de materiais, sendo estes os aços ABNT 1020 e 1045. Foram usinados dois corpos de prova de aço ABNT 1020 com diâmetro de 19,05 mm e comprimento de 200 mm, e um corpo de prova de aço ABNT 1045 com diâmetro de 32 mm e comprimento de 200 mm.

O processo de têmpera foi realizado em forno tipo mufla, com taxa de aquecimento de 3°C / min. A temperatura programada para aquecimento foi de 600° C, conforme descrito no recipiente da tinta apresentada na Imagem 01. Os corpos de prova foram colocados no interior do forno quando este indicava a temperatura de 150 °C.

IMAGEM 01. Tinta para altas temperaturas.



Fonte: O Autor

Após o processo térmico, cada corpo de prova foi resfriado em um tipo diferente de fluido. Os líquidos para resfriamento utilizados foram escolhidos perante a análise dos diversos procedimentos de têmpera normalmente utilizados em ambiente industrial. Para esse processo foram utilizados três tipos de líquidos, descritos na Tabela 01.

TABELA 1. Relação das amostras de aço e seus respectivos meios de resfriamento.

MATERIAL	Quantidade	Tipo de resfriamento
1045	6 L	Óleo de têmpera
1020	6 L água + 200g de sal	Água com sal
1020	6 L	Água pura

Fonte: O Autor

Após o resfriamento, foram realizados ensaios com lima tipo murça e lixa com granulação 220. Esse procedimento permitiu verificar a resistência da tinta às forças de abrasão, e a discussão sobre a aderência da tinta em função do tipo de resfriamento usado no processo.

3 RESULTADOS E DISCURSÕES

Depois de concluídos os experimentos de abrasão da tinta nas amostras, foram avaliadas as partículas de tinta em função do tipo de resfriamento. Os resultados qualitativos podem ser vistos na Tabela 02.

TABELA 02. Relação do tipo de resfriamento de cada amostra com o tamanho das partículas de tinta retiradas pelo ensaio de abrasão.

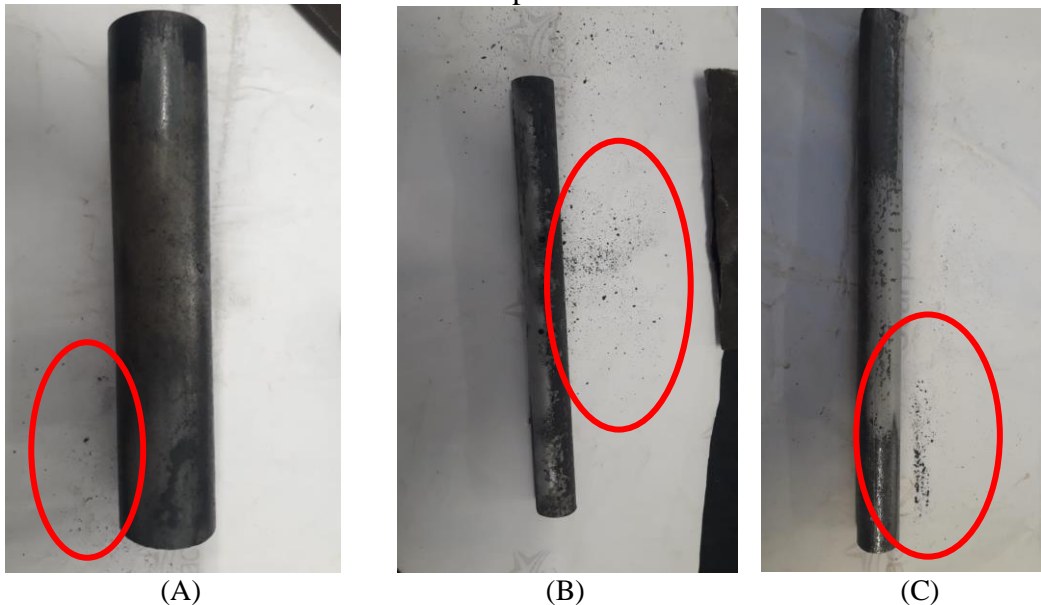
Aço ABNT	Tipo de resfriamento	Tamanho das partículas removidas de tinta
1045	Óleo de têmpera	Pequeno
1020	Água e sal	Médio
1020	Água	Pequeno / Médio

Fonte: O autor

Os resultados encontrados mostram que o tipo de resfriamento influencia a aderência da tinta aplicada, na temperatura descrita pelo fabricante como limite de tolerância. Conforme pode ser visto na Imagem 02, foi possível identificar facilmente qualidade da tinta removida da superfície.

O resfriamento com óleo efetuou-se em um tempo maior de transferência de calor que os demais, uma vez que esse meio elimina calor de forma mais gradual, devido ao seu coeficiente de troca térmica ser maior que o da água (Imagem 02 A). O resfriamento realizado com água resultou na retirada de partículas tanto pequenas quanto médias (Imagem 02 B). O resfriamento com água e sal resultou em maior facilidade para a retirada da tinta aplicada (Imagem 02 C). Esse fato pode ser devido ao resfriamento ter se realizado em menor tempo (devido à presença de sal na água), em comparação com demais utilizados. Verificou-se também que houve a formação de trincas na tinta aplicada, o que resultou em um particulado removido com relativa facilidade.

IMAGEM 02. Corpos de prova após o ensaio de abrasão da tinta, evidenciando as partículas retiradas no procedimento.



Fonte: O Autor

Os resfriamentos realizados tanto em água quanto em água com sal são indicados para tipos específicos de aço nos quais a formação de martensita ocorre somente à baixas temperaturas. Devido a isso, é importante a compreensão do comportamento da tinta nesses meios. Porém, durante o resfriamento, foi possível perceber a formação de uma camada considerável de vapor, devido ao aquecimento repentino da água em contato com a peça quente. Assim, foi necessário manter a amostra em constante movimento dentro do fluido, conforme a literatura técnica indica (VAN VLACK, 2015). A movimentação da peça dentro do fluido pode ter influenciado na aderência da tinta, facilitando sua remoção. Em comparação com os meios de resfriamentos anteriores, o óleo apresentou uma menor formação de vapor, devido à transferência de calor acontecer em um tempo relativamente maior. Esse fato pode ter influenciado na aderência da tinta, dificultando sua remoção por abrasão.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A comparação dos resultados experimentais demonstrou que o meio de resfriamento é um fator de extrema relevância na manutenção da imagem impressa. Como existe uma relativa diversidade de fluidos utilizados para resfriamento, é importante compreender o comportamento da cobertura quanto exposto ao trabalho requerido. Nesse experimento, observou-se que o melhor acabamento superficial, realizado com tinta resistente à temperatura de 600° C, foi o óleo de têmpera, utilizado para resfriamento do aço ABNT 1045. Os fluidos água e água com sal foram ineficazes na conservação da aderência da tinta no aço ABNT 1020, o que inviabiliza essa tinta específica para a continuação desse estudo.

Para a continuação da pesquisa, tintas resistentes a temperaturas mais altas serão testadas a fim de se compreender a influência dos parâmetros do processo de tratamento térmico sobre a qualidade das tintas, e da sua resistência mecânica. Até esse momento, acredita-se que é possível implementar um sistema de gestão de peças em linhas produtivas que executem tratamentos térmicos, mediante a aplicação de tintas resistentes a altas temperaturas. Para isso, a tinta deve apresentar ótima resistência às temperaturas do processo, e aderência ao material tratado, sem prejudicar seus arranjos microestruturais.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Faculdade de Ciência e Tecnologia de Montes Claros (FACIT) pelo apoio tecnológico e incentivo a busca de inovações industriais.

REFERÊNCIAS

ABREU, S. A. C. Impressão 3D baixo custo versus impressão em equipamentos de elevado custo. p. 235, 2015.

CHIAVERINI, V. Aços e Ferros Fundidos: característica gerais, tratamentos térmicos, principais tipos. p. 599, 2012.

GONÇALVES, J. D. Implementação de um Sistema de Gestão da Qualidade Lismolde 2, Lda. p. 1–27, 2008.

IEDI. Políticas Para O Desenvolvimento Da Indústria 4.0 No Brasil. 2018.

LEE, J.; KAO, H. A.; YANG, S. Service innovation and smart analytics for Industry 4.0 and big data environment. **Procedia CIRP**, v. 16, p. 3–8, 2014.

LIN, Y. *et al.* A discussion of the effects of composition and heat treatment on the toughness of a medium carbon secondary hardening steel. **Materials Science and Engineering A**, v. 748, n. January, p. 213–227, 2019.

PHANIKUMAR, G. *et al.* Influence of post-carburizing heat treatment on the core microstructural evolution and the resulting mechanical properties in case-hardened steel components. **Materials Science and Engineering: A**, v. 744, p. 778–789, 2018.

SOUZA, L. *et al.* RELAÇÕES ENTRE A GESTÃO DO CONHECIMENTO E A GESTÃO DA QUALIDADE NO ÂMBITO DA NOVA REVISÃO DA ISO 9001 : 2015. p. 55–69, 2018.

VAN VLACK, Lawrence H. **Princípios de Ciência dos Materiais**. 21 reimpressão. São Paulo : Blucher, 2015.

WU, Y. *et al.* Structure and electrochemical properties of copper wires with seamless 1D nanostructures. **Data in Brief**, v. 17, p. 747–752, 2018.

ANALYSIS OF VIABILITY OF PAINTS APPLICATION FOR QR- CODE GENERATION TO TRACEABILITY OF MATERIALS SUBMITTED TO THERMAL TREATMENT

Abstract: *Industry 4.0, today, is synonymous of quality as it is associated with an implementation of technologies that can streamline industrial processes. The research technologies, at the academic level, promotes the interaction of the student with a professional problem, which allows the development of the skills necessary for success. In this context, this work, an integral part of a research on the identification of metal parts subjected to heat treatment, aims to facility the product tracking process. This information can be developed by the QR Code, which makes it possible to read a virtual product quickly and directly. For this approach be adopted in thermally treated terms, it was necessary to analyze cover products, and the reaction of these paints to the different thermal procedures to which the parts are exposed. In the first stage of the study, the Colorgin high temperature resistant paint, after the annealing treatment at 600°C, of a SAE 1045 steel sample and two samples of SAE 1020 steel were evaluate. The samples were cooled by water, water with salt and oil, and the paint finish after cooling was analyzed. Based on the results achieved, the paint showed poor adherence after cooling with pure water, and water with salt, and good adherence after oil cooling.*

Key-words: *Traceability. Heat treatment. QR-Code.*