



REMOÇÃO DO CORANTE E RECICLAGEM DA ÁGUA DO EFLUENTE DO ENSAIO DE LÍQUIDO PENETRANTE ATRAVÉS DA ELETROCOAGULAÇÃO E REAÇÃO DE FENTON



REMOVAL OF DYE AND WATER RECYCLING FROM THE WASTEWATER OF THE LIQUID PENETRANT INSPECTION THROUGH THE ELECTROCOAGULATION AND THE FENTON REACTION

DE BONI, Luis Alcides Brandini¹; CAMANA, Jackson¹

¹ Micromazza PMP.

* e-mail: labdeboni@gmail.com

Received 12 January 2014; received in revised form 30 June 2014; accepted 14 July 2014

RESUMO

O presente trabalho descreve os procedimentos adotados na empresa Micromazza PMP para realizar o tratamento do efluente do ensaio de inspeção por líquido penetrante (LP), utilizado para a detecção de trincas ou microfissuras invisíveis em produtos metálicos a olho nu. Utilizou-se a reação de Fenton combinada com o processo de eletrocoagulação para substituir o sistema remoção de impurezas com carvão ativado. Após a descontaminação do efluente, o lodo removido foi desidratado e conduzido ao aterro sanitário. A água recuperada apresentou-se inodora e incolor. A melhora em alguns dos padrões de qualidade analisados, como Cor verdadeira, DQO e Turbidez, foi de 99,36%, 88,98% e 99,34%, respectivamente. Em virtude da utilização de eletrodos de ferro, para a realização do processo de eletrocoagulação, ocorreu uma elevação de 15% na concentração de ferro no efluente, todavia isto não ultrapassa os padrões de qualidade definidos na resolução CONAMA Nº 430/2011. Os resultados demonstram que o processo foi eficiente para a despoluição da água oriunda deste ensaio de controle de qualidade por LP.

Palavras-chave: Tratamento de efluentes, reação de Fenton, eletrocoagulação, Inspeção por Líquido Penetrante

ABSTRACT

This paper describes the procedures used in the company Micromazza PMP to undertake the effluent treatment of the test by liquid penetrant inspection (LPI) used for the detection of cracks and micro cracks invisible to the naked eye in metallic products. It was used the Fenton reaction combined with electrocoagulation process to replace the impurities removal system with activated carbon. After the decontamination of the wastewater, the sludge was removed dehydrated and led to the landfill. The recovered water was odorless and colorless. The improvement in some quality standards analyzed as true color, COD and turbidity, was 99.36 %, 88.98 % and 99.34 %, respectively. Due to the use of iron electrodes for the realization of the electrocoagulation process, a 15% increase in iron concentration in the effluent happened, however this does not exceed the quality standards defined in CONAMA Resolution No. 430/2011. The results demonstrate that the process was efficient for the decontamination of wastewater arising from this quality control test (LPI).

Keywords: Wastewater treatment, Fenton reaction, electrocoagulation, liquid penetrant inspection

Introdução

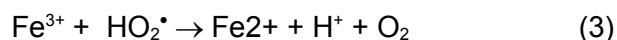
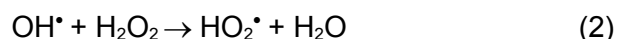
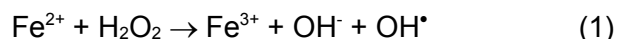
A inspeção de superfícies através do ensaio de Líquido Penetrante é aplicável à detecção de descontinuidades, tais como a falta de fusão, corrosão, rachaduras ou porosidades contidas na superfície dos componentes a serem analisados. Este ensaio, não destrutivo, é descrito nas normas ASTM E1417M - 13 e E165M - 12, entre outras. Estas superfícies podem ser de tubulações, válvulas, ou outras estruturas que demandam controle de integridade.

Apesar de sua ampla utilização existem poucas recomendações sobre como tratar o efluente deste ensaio. Há quase 40 anos a metodologia proposta por HUGUES e CHEMIN (1976), que utiliza carvão ativado para absorver o corante presente no efluente ainda é amplamente utilizada. Todavia, os custos para a destinação final dos resíduos são crescentes, abrindo espaço para o estudo de métodos alternativos de tratamento, como a eletrocoagulação e a reação de Fenton.

A eletrocoagulação é um processo eletroquímico, baseado na passagem de corrente elétrica através de uma solução, visando à decomposição dos constituintes da solução. Através desta técnica é possível alterar a solubilidade dos constituintes do Líquido Penetrante, facilitando sua remoção. A reação de Fenton é um processo oxidativo que utiliza peróxido de hidrogênio e um catalisador de ferro para decompor impurezas contidas em águas residuais.

1.1. A reação de Fenton

A reação de Fenton consiste fundamentalmente na utilização de uma solução de peróxido de hidrogênio e de um catalisador de ferro, utilizados para destruir contaminantes contidos em águas residuais, ou outros meios, através da oxidação química. Este processo possui maior eficiência em compostos aromáticos substituídos e olefinas, que contêm ligações insaturadas carbono-carbono (National Research Council, 1997). Barb *et al* (1951) propuseram um dos mecanismos que pode ser utilizado para explicar o funcionamento desta reação, conforme as Equações 1 a 5.



É um mecanismo que envolve uma reação em cadeia com a Equação (1) servindo como iniciação da cadeia, as Equações 2 e 3 são as etapas de propagação e as Equações 4 e 5 a terminação do ciclo.

1.2 Eletrocoagulação

A eletrocoagulação é uma técnica eletroquímica utilizada para a remoção de impurezas da água, através da passagem de corrente elétrica através de dois eletrodos paralelos. Os eletrodos podem ser constituídos por diferentes materiais, sendo geralmente utilizados o ferro (Fe) e o alumínio (Al), Anbari *et al* (2008), Kobya *et al* (2003).

Um esquema de montagem geralmente utilizado para a realização da eletrocoagulação é ilustrado na Figura 1, adaptada de Kobya *et al* (2003).

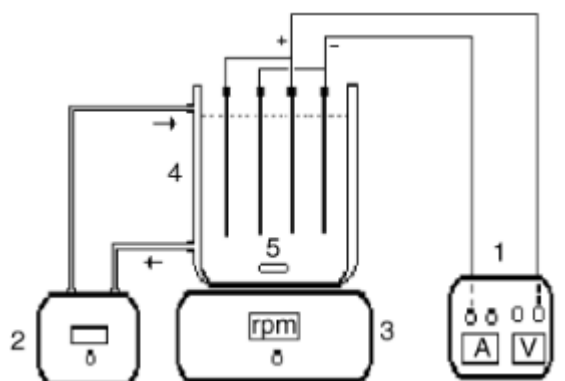


Figura 1. Montagem de um sistema de eletrocoagulação.

Onde 1- fonte de energia elétrica (CC), 2- sistema para circulação de água, 3- agitador magnético, 4- célula eletroquímica e, 5- barra

magnética para agitação.

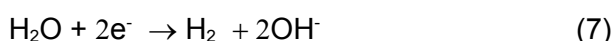
Em um sistema de eletrocoagulação, no mínimo, dois eletrodos são conectados a fonte de energia elétrica, podendo haver a adição de mais eletrodos conectados em paralelo de forma intercalada. De acordo com a Lei de Faraday íons do metal de sacrifício desprendem-se do eletrodo e depositam-se na solução, provendo um núcleo que atrai os contaminantes ao seu redor e o remove da solução, através de decantação ou flotação, dependendo do contaminante.

De acordo com Kongsricharoern e Polprasert (1995), as Equações 6 a 9 resumem as reações que ocorrem em eletrodos de ferro em um sistema de eletrocoagulação.

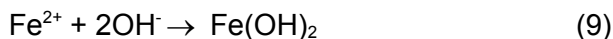
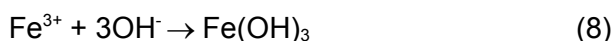
Ânodo (oxidação)



Cátodo (Redução)



Co-precipitação



Parte Experimental

O conteúdo de um vaso reacional com 5m³ de capacidade teve o pH ajustado para a faixa ácida, entre 1.5 e 3.0. Efetuou-se a adição de 200g de sulfato ferroso em solução aquosa, seguida da adição de 20 litros de peróxido de hidrogênio. Logo após iniciou-se a eletrocoagulação, utilizando-se o aparelho construído em escala piloto e eletrodos de ferro-carbono (provindos dos resíduos da empresa). A tensão foi ajustada entre 20 e 60V e a corrente entre 8 e 15A ao longo da reação. Posteriormente o pH foi ajustado para a faixa alcalina, entre 8.5 e 9.5, causando a flotação do corante degradado presente na água. O sobrenadante foi filtrado e encaminhado para o aterro sanitário licenciado. A Figura 2 resume o sistema utilizado.

Na Figura 2, o efluente do ensaio do líquido penetrante (1) foi conduzido a estação de

efluentes e armazenado em um tanque (2) até que o volume deste tanque se complete. Após, o resíduo foi bombeado (3) para o vaso reacional (4). No vaso reacional, sob agitação constante, provida aeração, o pH do resíduo foi ajustado para a faixa ácida (a). Posteriormente realizou-se a adição de peróxido de hidrogênio (b) e sulfato ferroso (c). Os eletrodos de ferro (+ e -) foram ligados a um sistema elétrico, permanecendo o sistema desta forma durante todo o processo de degradação do LP. Após a degradação do LP o pH do meio foi elevado para a faixa alcalina (d), provocando a separação do resíduo e da água.

O sobrenadante passou através de um filtro-prensa (5) e o resíduo seco (6) foi armazenado e conduzido para um aterro licenciado. A água purificada (7), foi reconduzida ao processo produtivo da empresa.

Durante o processo de tratamento foi possível observar a mudança da coloração do efluente, o desprendimento de gases, a alterações no cheiro dos gases voláteis liberados (cheiros característicos de enxofre paulatinamente foram reduzidos) e a adesão do pigmento do LP à superfície nitrílica também diminui com o tempo de reação.

2.1 Acompanhamento do processo reacional

Este processo reacional tem sua cinética influenciada por diversos fatores, desta forma o tempo de reação pode ser curto (poucas horas) ou longo (vários dias). Os métodos de acompanhamento desta reação basearam-se na observação do desprendimento de gases, mudanças na coloração (de roxo para vermelho escuro), no surgimento de sobrenadantes e na redução progressiva na capacidade do pigmento de aderir a superfícies, utilizou-se para tal finalidade uma luva nitrílica azul.

Resultados e discussões

Ao término da reação de eletrocoagulação e da separação do sobrenadante, os resultados obtidos para os parâmetros analisados constam na Tabela 1. A água tratada estava virtualmente isenta de cor e odor. A relação peso seco / volume, de resíduo

sólido removido do efluente de líquido penetrante foi menor que 3%.

A medida que a eletrocoagulação prosseguiu ocorreu a solubilização do eletrodo, constituído de ferro, para a solução. Para a eletrocoagulação este efeito é negativo, pois contribui para a diminuição da área dos eletrodos, tornando o processo mais lento, porém para a reação de Fenton o efeito é positivo, pois adiciona paulatinamente catalisador à reação até a extinção do peróxido de hidrogênio. Sem o efeito da passagem do ferro, do eletrodo para a solução, Equação 6, a reação de Fenton deixará de ocorrer em pouco tempo, uma vez que o catalisador da reação (Fe) termina por reagir com subprodutos presentes no meio precipitando-se.

Apesar da elevação da concentração de ferro no efluente tratado, sua concentração manteve-se aproximadamente quinze vezes menor que os limites estabelecidos pela resolução CONAMA N° 430/2011.

A elevação do parâmetro Oxigênio Dissolvido, pode estar apenas relacionada a utilização de peróxido de hidrogênio no tratamento do efluente, e não necessariamente indicar uma melhora no padrão de qualidade da água. Estudos posteriores deverão estabelecer com maior clareza esta razão.

O monitoramento da reação com a luva nitrílica azul pode ser substituído por qualquer outro material que sirva para esta finalidade. A luva nitrílica azul foi inserida do meio reacional e a fração mergulhada tornou-se coberta por uma camada fina e uniforme de pigmentos do LP.

Com o andamento da reação de degradação do efluente, a repetição deste controle demonstrava que a qualidade do revestimento proporcionado pelo LP se deteriorava, a adesão dos pigmentos a superfície da luva diminuía. E, a partir do momento em que não foi mais possível observar a formação de camada ou a adesão de pigmentos a luva, a reação foi interrompida através da elevação do pH para a condição alcalina. No meio alcalino ocorreu à separação das fases, o sobrenadante, composto por impurezas foi conduzido ao filtro prensa, e o precipitado, composto pela fase

aquosa, foi reciclado.

Sugestões para trabalhos futuros

Em trabalhos futuros, desenvolvidos em escalas menores e mais controladas, seria interessante determinar os parâmetros ótimos da reação, como a quantidade ideal de peróxido de hidrogênio, o tempo ideal de reação, a área superficial ótima dos eletrodos em função do volume, etc. Enfim, inúmeras são as possibilidades de melhorias no trabalho e certamente com condições otimizadas, os resultados serão mais econômicos e eficientes.

Conclusões

O presente trabalho concluiu que o efluente do ensaio de inspeção por líquido penetrante pode ser tratado através de eletrocoagulação, desde que o pH do meio seja ajustado para a condição ácida. O condicionamento do pH ao meio ácido, através da adição de ácido sulfúrico, um eletrólito forte, faz com que o efluente passe de mau condutor de corrente elétrica a bom condutor, permitindo o funcionamento adequado da eletrocoagulação.

A utilização da reação de Fenton reduz sensivelmente os odores provenientes do efluente. Devido as observações empíricas, acredita-se que, ainda que sem comprovação instrumental, esta reação contribua para a degradação dos constituintes do LP em produtos menos solúveis, que são removidos com maior facilidade do meio após o término das reações.

A condição da água tratada, obtida do efluente do LP, permitiu que a mesma fosse utilizada novamente nos processos da empresa, contribuindo para a redução dos custos operacionais e para a redução da pressão sobre os recursos hídricos da região.

Agradecimentos

Os autores agradecem a empresa Micromazza PMP pelo investimento realizado no domínio, instalação e aplicação dos processos utilizados neste trabalho para o tratamento do efluente resultante do ensaio do líquido

penetrante (LP).

Referências

1. ASTM E165 / E165M - 12. Standard Practice for Liquid Penetrant Examination for General Industry. Disponível em <<http://www.astm.org/Standards/E165.htm>>. Acesso em Abril de 2014.
2. ASTM E1417 / E1417M - 13. Standard Practice for Liquid Penetrant Testing. Disponível em <<http://www.astm.org/Standards/E1417.htm>>. Acesso em Abril de 2014.
3. BARB W.G., BAXENDALE J.H., GEORGE P. and HARGRAVE K.R.: Trans. Faraday Soc., 47, 462-500, 1951.
4. KOBYA M., ORHAN T. C., MAHMUT B. Treatment of textile wastewaters by electrocoagulation using iron and aluminum electrodes. Journal of Hazardous Materials B100, 163–178, 2003.
5. KONGSRICHAROERN N, POLPRASERT C. Electrochemical precipitation of chromium from an electroplating wastewater. WaterSci. Technol., 31 (9): 109-117, 1995.
6. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Innovations in ground water and soil cleanup--From concept to commercialization: Washington, D.C., National Academies Press, 310 p. 1997.
7. RIYAD H. AL A., JABAR A., SUUAD M. A., THIKRA A. A.. Removal of heavy metals from industrial water using electrocoagulation technique. Twelfth International Water Technology Conference, IWTC12, Alexandria, Egypt. 2008.
8. KOBYA M., ORHAN T. C., MAHMUT B.. Treatment of textile wastewaters by electrocoagulation using iron and aluminum electrodes. Journal of Hazardous Materials B100, 163–178, 2003.

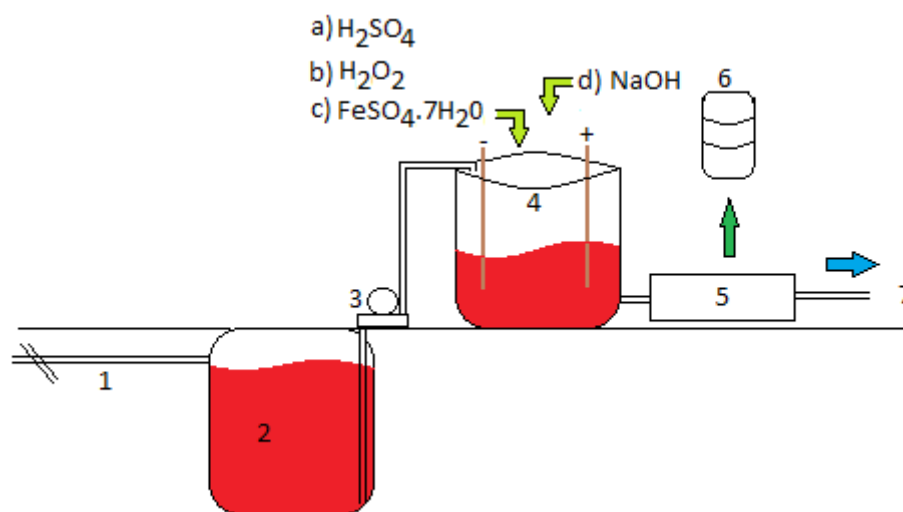


Figura 1 - Sistema de eletrocoagulação e reação de Fenton utilizado na empresa Micro-mazza PMP.

Tabela 1- Efluente de Líquido Penetrante antes e após tratamento.

Parâmetro	Antes do tratamento	Após o tratamento	Unidade	Eficiência, % de remoção	Método Analítico*
Alcalinidade total	247	58,7	mg/L CaCO ₃	-	1
Alumínio total	0,713	0,689	mg/L	3,37	2
Cor verdadeira	26190	168	mg/L Pt/Co	99,36	3
Cromo total	0,014	0,014	mg/L	0,00	4
DQO	7190	792	mg/L	88,98	5
Ferro total*	0,842	0,972	mg/L	-15,44	6
Oxigênio Dissolvido	2,2	3,8	mg/L	-	7
Turbidez	2630	17,4	UNT	99,34	8
pH**	7.13	5.69	-	-	9

* A elevação na presença de Ferro é devido a sua utilização como agente coagulante.

** O pH foi medido antes de sua correção.

*Os métodos foram aplicados pelo laboratório ALAC

- 1- Standard Methods 22st – Método 2320 B [PNT019-EF]
- 2- Standard Methods 22st – Método 3120 B [PNT003-AB]
- 3- Standard Methods 22st – Método 2120 C [PNT035-EF]
- 4- Standard Methods 22 st – Método 3120 B [PNT003-AB]
- 5- Standard Methods 22st – Método 5220 B [PNT013-EF]
- 6- Standard Methods 22st – Método 3120 B [PNT003-AB]
- 7- Oxímetro [PNT055-EF]
- 8- Standard Methods 22st – Método 2130 B [PNT004-EF]
- 9- Standard Methods 22st - Método 4500 H- B. [PNT002-EF]