

Estudo da Decapagem da Superfície do Aço Através da Imersão Ácida

Lorena Campos dos Santos

(lorena.campos.santos@hotmail.com)

Ionara Fernanda Rezende Vieira

Gilson Lemos de Carvalho

Coordenação de curso de Engenharia Química

Resumo – O tratamento superficial do aço consiste na remoção da camada de óxidos (carepa) através da decapagem química. Durante o ataque do ácido à carepa, é formado o sulfato ferroso, que se mantém dissolvido na solução ácida, perdendo sua finalidade decapante quando atinge um teor de sulfato ferroso dissolvido de 85-95%, necessitando assim de descarte ou tratamento. Foi investigada a influência de três variáveis: temperatura, tempo, concentração $[Fe^{+2}]$ e constatou-se que o fator tempo apresenta a maior influência no aumento da porosidade do aço, ou seja, quanto maior o tempo de permanência no banho ácido, maior a profundidade dos poros.

Palavras-chaves – Aço, Carepa, Decapagem.

I. INTRODUÇÃO

Empregado de forma intensiva nas construções, cozinhas industriais, hospitais, laboratórios, máquinas em geral, o aço é uma liga metálica formada essencialmente por ferro e carbono, com percentuais deste último variando entre 0,008% e 2,11%) tem a resistência necessária para os mais variados usos em nosso cotidiano. Entre os atributos do aço pode-se mencionar a resistência a grandes variações de temperatura, ductilidade, longa durabilidade e baixo custo de manutenção. [1]

Tal é a importância industrial deste material que a sua metalurgia recebe a designação especial de siderurgia. A fronteira entre o ferro e o aço foi determinada na Revolução Industrial, com a invenção de fornos que permitiam não só corrigir as impurezas do ferro, como adicionar-lhes características como resistência ao desgaste, ao impacto, à corrosão, etc. Por causa dessas propriedades e do seu baixo custo, o aço passou a representar cerca de 90% de todos os metais consumidos pela civilização industrial. [1]

A grande parte dos metais, como o aço, possuem a tendência em liberar elétrons para se estabilizarem eletronicamente, por

isso combinam-se facilmente com espécies oxidantes, como o oxigênio, e reagem de modo que o metal seja sempre desgastado. Porém a oxidação pode ser atenuada ou até mesmo inibida por alguma intervenção, como pintura, revestimento, ou quando é formada uma camada de óxidos em sua superfície, também conhecida por carepa. [2]

A remoção da carepa ou de outras impurezas utilizando soluções de ácido clorídrico ou ácido sulfúrico é denominada decapagem química. A temperatura da solução, o tipo de ácido e a sua concentração são fatores intrínsecos no tempo da decapagem. Considerando que os métodos de remoção manuais e mecânicos dependem de muito tempo, a decapagem ácida vem a ser uma alternativa mais instantânea. O ácido mais empregado no tratamento é o sulfúrico, pois além de ser mais facilmente regenerado, é mais barato e econômico no consumo, em analogia ao clorídrico, fator preponderante na escolha. [2]

Durante o processo de ataque do ácido aos óxidos na superfície do aço, é formado o sulfato ferroso, que se mantém dissolvido na solução ácida. Esta solução perde seu desígnio decapante quando atinge um teor de sulfato ferroso dissolvido em torno de 85-95%, necessitando assim de descarte ou uma alternativa de tratamento, como a utilização do sulfato ferroso na indústria farmacêutica, de fertilizantes, de tintas, etc. [3] [10]

Dentro desse contexto, o presente trabalho tem como objetivo o estudo aprofundado do processo de decapagem química e suas variáveis de banho.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A. Obtenção do Aço

O aço é um produto siderúrgico definido como liga metálica, combinada principalmente de ferro e pequenas quantidades de carbono, abaixo de 1,7%. Para aços empregados na construção civil, o teor de carbono é da ordem de 0,18% a 0,25%. [1]

As matérias-primas necessárias para a obtenção do aço são: o minério de ferro, sobretudo a hematita, e o carvão mineral. Ambos não são localizados puros na natureza, sendo necessário então um preparo nas matérias primas de modo a reduzir o consumo de energia e aumentar a eficiência do método. [5]

O processo siderúrgico pode ser desmembrado em 4 grandes partes: preparo das matérias-primas, produção de gusa, produção de aço e conformação mecânica. [4]

A 1. Coqueira e Sintetização

A coqueificação ocorre a uma temperatura de 1300 °C em ausência de ar durante um período de 18 horas, onde acontece a liberação de substâncias voláteis. O produto resultante desta fase, o coque, é um material poroso com elevada resistência mecânica, alto ponto de fusão e grande abundância de carbono, que é enviado ao alto-forno. [4]

Na sinterização, o preparo do minério de ferro é feita atentando-se à granulometria, visto que os grãos mais finos são indesejáveis, pois reduzem a permeabilidade do ar na combustão, comprometendo a queima. Para solucionar o problema, adicionam-se materiais fundentes como calcário, areia de sílica, ou o próprio sinter aos grãos mais finos. [4]

Com a composição correta, estes elementos são levados ao forno onde a mistura é fundida. Em seguida, o material resultante é resfriado e britado até alcançar a granulometria

desejada em torno de 5 mm de diâmetro médio. [4]

O produto final deste processo é denominado de sinter e de acordo com o Arquiteto Luís Andrade de Mattos Dias, “Em decorrência de suas características combustíveis e de permeabilidade, o sinter tornou-se mais importante para o processo do que o próprio minério de ferro”. [4] [5]

A 2. Alto Forno

Esta parte do processo de produção do aço consiste na redução do minério de ferro, utilizando o coque metalúrgico e outros fundentes, que misturados com o minério de ferro são transformados em ferro gusa. A reação ocorre no equipamento designado Alto Forno, e constitui uma reação exotérmica. [4]

O resíduo formado pela reação, a escória, é vendida para a indústria de cimento. [6]

Após a reação, o ferro gusa na forma líquida é transportado nos carros-torpedos, vagões revestidos com elemento refratário, para uma estação de dessulfuração, onde são reduzidos os teores de enxofre a níveis aceitáveis. A seguir o carro torpedo transporta o ferro gusa para a aciaria, onde será transformado em aço. [4] [6]

A 3. Aciaria

Na aciaria, o ferro gusa é transformado em aço através da injeção de oxigênio puro sob pressão no banho de gusa líquido, dentro de um conversor. A reação, constitui na redução da gusa através da combinação dos elementos de liga existentes como silício e manganês com o oxigênio soprado, o que gera um grande acréscimo na temperatura, atingindo aproximadamente 1700 °C. [4]

Os gases resultantes do processo são queimados logo na saída do equipamento e a os demais resíduos indesejáveis são eliminados pela escória, que fica à superfície do metal. [5]

Após outros ajustes finos na composição do aço, este é transferido para a próxima fase que constitui o lingotamento contínuo. [4]

A 4. *Lingotamento Contínuo*

Na etapa de lingotamento contínuo o aço líquido é transferido para moldes onde se solidificará. O produto metálico é continuamente extraído por rolos e após resfriado, é transformado em placas rústicas através do corte com maçarico. [4]

A 5. *Laminação a Quente*

Em seguida, os lingotes passam pelo processo de laminação, onde se transformarão em chapas através da diminuição da área da seção transversal. Na laminação a quente, a peça com aproximados 250 mm é aquecida e submetida à deformação por cilindros que a pressionarão até alcançar a espessura desejada. [4]

A 6. *Laminação a Frio*

Ao contrário do processo de laminação a quente, as peças laminadas a frio são normalmente mais finas, com melhor acabamento e sem a presença de tensões residuais. [6]

O método clássico e mais utilizado para a redução do minério de ferro é o do alto-forno, cujo produto consiste em uma liga ferro-carbono de alto teor de carbono denominado ferro gusa. O ferro gusa, ainda no estado líquido, é encaminhado à aciaria, onde, em fornos adequados, é transformado em aço. O coque, produto da destilação do carvão mineral metalúrgico, atua como combustível do alto-forno, como redutor do minério e como fornecedor de carbono, fundamental elemento de liga dos produtos siderúrgicos. Em outras palavras, o aço é originado da mistura de minério de ferro, carvão, coque, ar e calcário, sendo inicialmente formada a escória. O ferro gusa não tem aplicação em estruturas metálicas por apresentar grandes porcentagens de

carbono, sendo por isso frágil e pouco tenaz, além de conter impurezas indesejáveis. Por isso é introduzido em convertedores na aciaria, onde a injeção de oxigênio irá queimar o carbono e outros elementos de liga, refinando o ferro gusa e transformando-o em aço. [4] [6]

B. *Corrosão do Aço*

Quando falamos em processo de corrosão, estamos falando de reações químicas heterogêneas ou de reações eletroquímicas que normalmente ocorrem na interface ou superfície de separação entre o metal e o meio corrosivo. [11]

Sabendo que as reações de oxidação-redução são as reações químicas que cedem ou recebem elétrons, podemos associar os processos de corrosão com reações de oxidação dos metais e que, sendo esses metais oxidados, vão agir como redutores, pois cedem elétrons que, com certeza, são recebidos por alguma substância que tem a função oxidante no meio corrosivo. [11]

O aço carbono ou liga não revestida, sofre corrosão quando exposto à atmosfera ou durante o processo de laminação a quente. O processo de corrosão pode ocorrer com uma velocidade maior em ar úmido, contendo contaminantes específicos. A adição de certos elementos de liga, principalmente silício, cobre, cromo e níquel, podem diminuir a taxa de corrosão. A eficiência de cada elemento de liga depende não só da quantidade adicionada, mas das condições climáticas. [6]

O processo da corrosão atmosférica progride por uma reação eletroquímica na qual o eletrólito é a umidade do ar. A umidade deposita-se por precipitação ou condensação como orvalho sobre as superfícies expostas, com a redução da temperatura, causando alterações naturais, porém, indesejáveis. Na Figura 1 é apresentado um comparativo do avanço da corrosão em diferentes aços, demonstrando que o aço BLAR, Baixa Liga e Alta Resistência, possui a maior resistência à corrosão. O avanço é medido em termos da

perda de espessura. [5] [6]

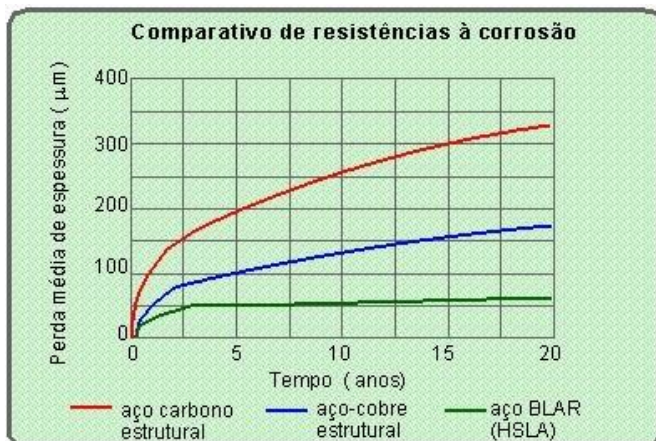


Figura 1 – Comparativo de Resistências à Corrosão

C. Processo de Decapagem

Os processos químicos de decapagem empregam sempre reagentes químicos com composições específicas para cada tipo ou família de produto que se deseja processar. O objetivo da decapagem é produzir superfícies puras, requisito essencial para a aplicação posterior de revestimento. A decapagem pode ser classificada como um processo de pré-tratamento superficial, pois sua finalidade é realizar a limpeza da superfície, deixando-a isenta de óxidos e sujidades. [8]

C.1. Tipos de sujidades

Oleosas – são os óleos minerais, óleos graxos, óleo de laminação, e óleos protetores contra a corrosão. A maior dificuldade está em sua remoção, pois, quanto mais viscosos forem os óleos minerais, mais difícil será sua remoção; os óleos graxos são os mais fáceis de remover. [12]

Semissólidas – parafinas, graxas, ceras, sabões e protetivos anticorrosivos comuns. [12]

Sólidas – são ocasionadas pela presença de massas de polimento, massas de estampagem. [12]

Óxidos e produtos de corrosão – são impurezas resultantes de tratamentos térmicos; a camada de oxido formada e difícil de ser removida. [12]

Materiais metálicos normalmente são atacados por ácidos e bases fortes. No caso da decapagem química, apenas a

camada superficial não metálica deve ser removida, evitando o ataque do metal de base, mantendo assim as propriedades do metal inalteradas pelo efeito da difusão do hidrogênio atômico. [8]

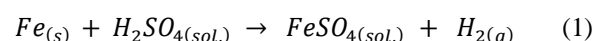
Existe uma situação em que o hidrogênio atômico penetra nos metais e em função do seu pequeno volume atômico, vai se difundindo em regiões microscópicas de descontinuidades, como: inclusões e vazios, até se transformar em hidrogênio molecular (H_2), cuja pressão exercida vai produzir bolhas e ocasionar uma corrosão denominada empolamento pelo hidrogênio, podendo vir a fraturar o material. [11]

A decapagem química é feita com a utilização de produtos químicos e em geral são utilizados produtos ácidos como o ácido sulfúrico e clorídrico quando se trata de decapar aço carbono. [12]

Neste presente trabalho será abordada a decapagem em ácido sulfúrico.

O ácido sulfúrico é o mais utilizado, pois além de ter o menor custo, é vendido no mercado à concentrações mais elevadas, 96% ácido sulfúrico contra 33% do ácido clorídrico, requerendo menor espaço de armazenamento. No entanto, o ácido clorídrico permite tempos menores de decapagem quando aquecido. [9]

O ácido sulfúrico penetra a camada e combina com o ferro da superfície metálica formando sulfato ferroso e liberando hidrogênio gasoso. Esse gás é o que “expulsa” a camada de óxido aderida à superfície metálica de acordo com a reação química apresentada na Equação 1. [8] [9]



Com tais combinações do ferro ativo da superfície do metal, esta fica limpa. O processo deve ser controlado de forma a garantir a limpeza da superfície do material decapado sem que ocorra o ataque ao substrato e, conseqüentemente, a formação de poros decorrente da corrosão superficial. [9]

Os parâmetros de processo a serem controlados, são: temperatura, concentração e tempo. [8]

Quanto maior a temperatura, maior a atividade do ácido e, conseqüentemente, maior o ataque ao substrato. Desta forma, para garantir uma limpeza eficiente sem que a superfície seja danificada, os banhos devem operar a uma temperatura entre 60 e 85°C. A temperatura, conforme se pode verificar na Figura 2, é a variável mais importante para uma decapagem mais rápida e eficaz. O tempo de decapagem depende ainda do tipo de carepa contida no material e da espessura do mesmo. [9]

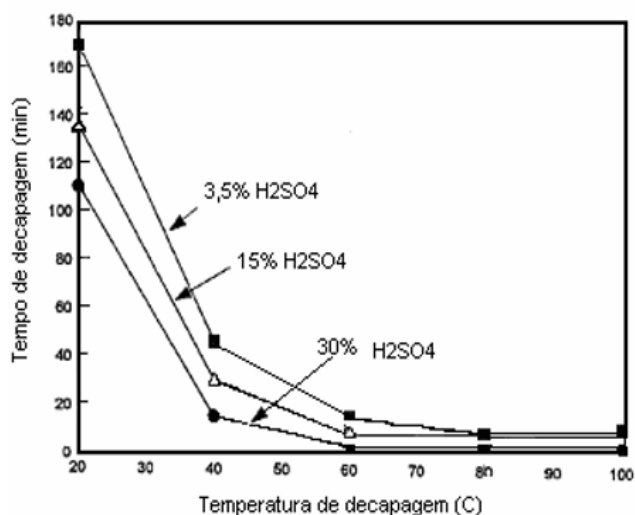


Figura 2 – Influência da Temperatura e da Concentração de Ácido no Tempo de Decapagem.

A eficiência do banho também está diretamente relacionada às concentrações de ácido e de ferro. Quanto mais concentrado o banho for e quanto menor for a concentração de íons $[Fe^{+2}]$, mais forte será o ataque ao aço. Por isso, a concentração de ácido deve ser mantida entre 50 e 200 g/L, dependendo da concentração de $[Fe^{+2}]$, cujo limite é de até 80 g/L. [8]

Em relação ao tempo de decapagem, este depende basicamente de duas variáveis: características específicas do aço a decapar, como a natureza do aço, composição, estrutura e espessura da camada de óxidos. E características da solução de banho ácido como concentração, temperatura e tipo de

ácido. O tempo de imersão também deve ser controlado para conter o ataque à superfície. [9]

Os resíduos de decapagem favorecem a corrosão, portanto uma lavagem final cuidadosa é indispensável, seguida de uma neutralização alcalina fraca. [8]

Para um apanhado geral sobre a decapagem química, foi feito um fluxograma do processo, como mostrado na Figura 3. [8]

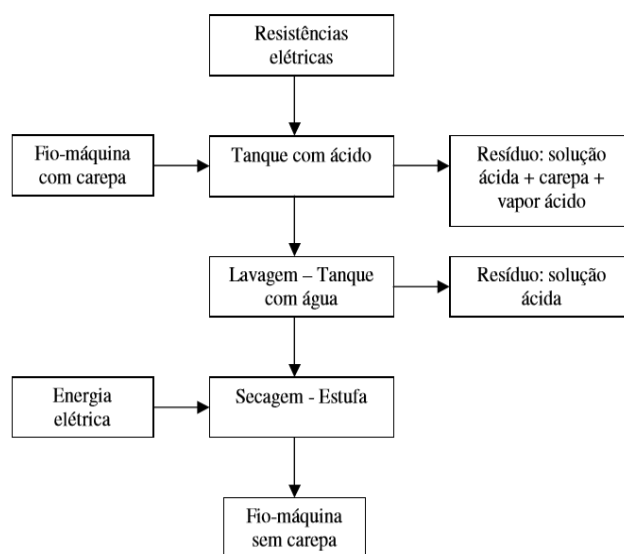


Figura 3 – Fluxograma Simplificado do Processo de Decapagem Química.

C 2. Inibidores da Decapagem Ácida

Tanto em aços, como nos demais metais ferrosos ou não, existe a preocupação de se ter além da retirada total da carepa, mínima perda de metal-base, bem como a necessidade de se evitar o consumo excessivo do ácido. Uma forma de minimizar as perdas metálicas por dissolução do metal-base, e por consequência, o consumo excessivo de ácido, é a utilização de inibidores de corrosão. Os inibidores além de minimizar os problemas acima, podem minimizar problemas como a fragilização por hidrogênio e redução de vapores emanados pelo ácido. [11]

Os inibidores empregados em meio de ácido sulfúrico, são inibidores que contem enxofre em sua composição: sulfóxidos, dibenzilsulfóxidos e tiourea que é similar à ureia. [11]

D. Aproveitamento do Efluente Gerado da Decapagem

Durante o processo de ataque do ácido sulfúrico aos óxidos da superfície do aço, é formado o sulfato ferroso, conforme Figura 4, que se mantém dissolvido na solução ácida. Esta solução perde sua finalidade decapante quando atinge um teor de sulfato ferroso dissolvido em torno de 85-95%, necessitando assim de tratamento ou descarte. [10]

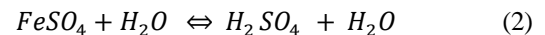


Figura 4 – Sulfato Ferroso

Dessa maneira, através do processo de separação por ação centrífuga, é possível se separar o sulfato ferroso do ácido sulfúrico, reutilizando o último para futuras decapagens químicas. [10]

Já o sulfato ferroso tem várias aplicações, como agente floculante no tratamento de água, produção de remédios e até como fertilizante agrícola. Neste último, o sulfato ferroso hepta hidratado é pouco interessante, pois seu baixo pH, decorrente da quebra de sua excessiva água de hidratação e

consequente reversão do equilíbrio da reação descrita de forma simplificada na Equação 2:



tornando-o ineficaz, ou até mesmo danoso como corretivo de solos. Portanto deve ser submetido a uma temperatura de 90°C, para desidratar-se e se transformar em mono hidratado, com pH 5-6, podendo então ser utilizado para correção de solos alcalinos e pobres em sulfatos. [10]

III. METODOLOGIA / COLETA DE DADOS

O processo de pesquisa foi iniciado com o levantamento bibliográfico e investigação dos autores relevantes sobre o tratamento de superfície do aço, a partir de fontes primárias, ou seja, trabalhos originais, sem interpretação e publicado pela primeira vez pelos autores, como teses universitárias, livros, relatórios técnicos, artigos em revistas científicas, anais de congresso, etc. As diferentes condições de decapagem química (temperatura, tempo, concentração de $[Fe^{+2}]$) utilizadas pelos autores foram selecionadas, a fim de se realizar uma avaliação quantitativa da capacidade de limpeza da superfície do aço, mediante banho ácido.

No processo de determinação dos dados foram utilizadas oito peças longas de aço, de 4 a 6 m, de dimensões 42,2 x 4,55 mm (diâmetro externo x espessura da parede). [13]

Antes da imersão das peças no banho ácido, foram retiradas amostras de 250 mm de comprimento, de cada uma das oito peças longas (P), para caracterização da microestrutura da superfície externa. Essa caracterização visa a medição da profundidade do defeito superficial de cada amostra. [13]

Com o objetivo de se avaliar o efeito de alguns parâmetros operacionais do banho na formação de defeitos superficiais nas amostras, como a concentração de ferro no ácido sulfúrico, a temperatura e o tempo de imersão das peças, foram propostos os níveis experimentais apresentados na Tabela 1. [13]

Tabela 1 – Variáveis e Níveis Experimentais

Concentração de $[Fe^{+2}]$ no ácido sulfúrico (g/L)	Temperatura (°C)	Tempo (min)
0	70	30
30	83	60
70	90	

Conforme já mencionado anteriormente, utiliza-se uma solução de ácido sulfúrico no processo de decapagem. As condições do banho ácido foram variadas de acordo com a concentração de íons ferro no ácido $[Fe^{+2}]$. O banho novo é caracterizado por possuir $[Fe^{+2}] = 0$ e concentração de H_2SO_4 próxima de 200 g/L. À medida que o banho vai sendo utilizado, o ácido vai sendo consumido e a concentração de ferro vai aumentando, conforme a reação de equilíbrio anteriormente apresentada na Equação 2. [10]

No processo industrial, quando a concentração de $[Fe^{+2}]$ se aproxima de 70 g/L, o banho já apresenta sua eficiência comprometida e então é descartado e substituído por um novo banho. Vale salientar que, a esta altura, a concentração de H_2SO_4 já está próxima de 100 g/L, ou seja, metade da inicial. [6]

A faixa de temperatura especificada no padrão operacional para este processo é de 60 a 70°C. Na montagem inicial do banho, a temperatura pode chegar a 90°C, porém o material não deve ser decapado nesta condição. Apesar de não haver registros de materiais processados a esta temperatura de 90°C, esta condição foi considerada, no presente trabalho, para simular um desvio de produção. [13] [14]

Os tempos de decapagem considerados são 30 e 60 minutos. Não há especificação de processo para o tempo de permanência no banho ácido. A escolha dos tempos de 30 e 60 minutos é realizada com o objetivo de simular uma condição que provoque o surgimento de poros nas peças, principalmente nos pontos de oxidação, podendo talvez simular a geração da porosidade. [14]

Após a decapagem, as peças foram amostradas novamente para medição da profundidade do defeito (PO). Além disso,

foi realizada uma inspeção visual em todas as peças decapadas, com o objetivo de marcar as regiões mais críticas para serem acompanhadas durante o processo de trefila.

O experimento foi planejado de forma a variar os três parâmetros de decapagem: $[Fe^{+2}]$, temperatura e tempo e observar o efeito de cada um e também da combinação entre eles na qualidade superficial da peça após o processo. As condições de decapagem para os 08 experimentos propostos estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Condições de Decapagem

Peça Trefilada	Condição Banho	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Concentração de $[Fe^{+2}]$ no Ácido Sulfúrico (g/L)
PO1	1	70	60	30
PO2	2	70	60	70
PO3	3	70	30	70
PO4	4	70	30	30
PO5	5	83	60	0
PO6	6	90	60	70
PO7	7	83	30	0
PO8	8	90	30	70

IV. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A trefilação (processo de fabricação de arame e barras finas do metal) das oito peças para cada condição de decapagem foi realizada de acordo com a metodologia proposta por [13] e os resultados do desempenho de cada experimento estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Desempenho do Processo de Trefilação

Peça Trefilada	Condição Banho	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Concentração de $[Fe^{+2}]$ no Ácido Sulfúrico (g/L)	Processo de Trefila
P01	1	70	60	30	Trepidação + Rompimento
P02	2	70	60	70	Rompimento da Peça
P03	3	70	30	70	Trepidação
P04	4	70	30	30	Ok
P05	5	83	60	0	Trepidação
P06	6	90	60	70	Rompimento da Peça
P07	7	83	30	0	Trepidação + Rompimento
P08	8	90	30	70	Ok

Observa-se, pelos dados da Tabela 3, que diversos problemas ocorreram durante o processo, como rompimento da peça e trepidação. Esses problemas aconteceram devido à má qualidade da preparação do banho químico, uma vez que as condições de banho não estavam dentro das condições normais do processo.

Para analisar qualitativamente o efeito da variação de concentração de $[Fe^{+2}]$ no desempenho da trefila, os dados coletados foram agrupados em 2 condições (I a II) e organizados na Tabela 4.

Tabela 4 – Efeito da Concentração de Íons $[Fe^{+2}]$ no Desempenho do Processo de Trefilação

Condição	Peça Trefilada	Condição Banho	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Concentração de $[Fe^{+2}]$ no Ácido Sulfúrico (g/L)	Processo De Trefila
I	PO1	1	70	60	70	Trepidação + Rompimento
	PO2	2	70	60	70	Rompimento
II	PO3	3	70	30	70	Trepidação
	PO4	4	70	30	70	Ok

Para analisar qualitativamente o efeito da variação de temperatura no desempenho da trefila, os dados coletados foram agrupados em outras 2 condições (III a IV) e organizados na Tabela 5.

Tabela 5 – Efeito da Temperatura no Desempenho do Processo de Trefilação

Condição	Peça Trefilada	Condição Banho	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Concentração de $[Fe^{+2}]$ no Ácido Sulfúrico (g/L)	Processo De Trefila
III	PO3	3	70	30	70	Trepidação
	PO8	8	90	30	70	Ok
IV	PO2	2	70	60	70	Rompimento
	PO6	6	90	60	70	Rompimento

E Por fim, para analisar qualitativamente o efeito da variação do tempo no desempenho da trefila, os dados coletados foram agrupados em 4 condições (V a VIII) e organizados na Tabela 6.

Tabela 6 – Efeito do Tempo no Desempenho do Processo de Trefilação

Condição	Peça Trefilada	Condição Banho	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Concentração de $[Fe^{+2}]$ no Ácido Sulfúrico (g/L)	Processo de Trefila
V	PO1	1	70	60	30	Trepidação + Rompimento
	PO4	4	70	30	30	Ok
VI	PO5	5	83	60	0	Trepidação
	PO7	7	83	30	0	Trepidação + Rompimento
VII	PO2	2	70	60	70	Rompimento
	PO3	3	70	30	70	Trepidação
VIII	PO6	6	90	60	70	Rompimento
	PO8	8	90	30	70	Ok

É observado que as amostras processadas sem a ocorrência de problemas, P4 e P8, tinham como fator comum o menor nível de tempo de decaagem, 30 min.

Comparando o agrupamento dos experimentos para a análise das variáveis, Tab. 4, 5 e 6, após a determinação das condições de decapagem, Tab. 3, observa-se que, para o estudo do efeito do tempo de banho, a quantidade de pares experimentais de comparação era maior, o que pode acarretar uma análise estatística com maior confiabilidade para esse efeito em detrimento dos demais.

A. Análise microscópica

A análise de microestrutura para a medição da profundidade do defeito foi realizada nas amostras das peças longas, antes (P0) e depois da decapagem (P).

Na Tabela 7 estão apresentados os resultados da média dos defeitos para cada peça (I a VIII) antes da decapagem (PO) e após decapagem, antes da trefilação (POB). [14]

Tabela 7 – Média e Desvio Padrão da Profundidade do defeito das Amostras

Amostra	PO	POB1	POB2	POB3	POB4	POB5	POB6	POB7	POB8
Média (mm)	0,026	0,045	0,041	0,031	0,033	0,058	0,038	0,023	0,041
Desvio Padrão	0,012	0,012	0,020	0,008	0,021	0,035	0,006	0,017	0,008

Para análise e comparação quantitativa do efeito da influência dos parâmetros na profundidade dos poros formados, foi realizado novamente o agrupamento dos dados, porém com a informação da profundidade dos defeitos no lugar da informação quanto ao desempenho no processo de trefilação. Esses dados estão apresentados nas Tabelas 8, 9 e 10.

Tabela 8 – Efeito da Concentração Íons Ferro na profundidade do Defeito

Condição	Peça Trefilada	Condição Banho	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Concentração de $[Fe^{+2}]$ no Acido Sulfúrico (g/L)	Profundidade média do defeito
I	PO1	1	70	60	30	0,045
	PO2	2	70	60	70	0,041
II	PO3	3	70	30	30	0,031
	PO4	4	70	30	70	0,033

Analisando o conjunto de dados da Tabela 8, observa-se que o efeito da variação da concentração de íons $[Fe^{+2}]$ de 30 para 70 g/L não foi significativo. Confrontando a variação da profundidade dos defeitos entre as condições I e II, nota-se que, quando submetidas a um tempo maior, a profundidade dos defeitos das amostras também é maior, variando de 0,031 – 0,033 mm em 30 min. para 0,041 – 0,045 mm em 60 min.

Tabela 9 – Efeito da Temperatura na Profundidade do Defeito

Condição	Peça Trefilada	Condição Banho	Temperatura (°C)	Tempo (Min)	Concentração de $[Fe^{+2}]$ no Acido Sulfúrico (g/L)	Profundidade média do defeito
III	PO3	3	70	30	70	0,031
	PO8	8	90	30	70	0,041
IV	PO2	2	70	60	70	0,041
	PO6	6	90	60	70	0,038

Em relação ao efeito da temperatura na profundidade dos defeitos, observa-se, através dos dados agrupados na Tabela 9, que a temperatura teve um efeito significativo quando o tempo de decapagem foi menor (condição III), visto que houve uma variação de 0,010 mm da menor temperatura 70°C para a maior 90°C. No segundo caso (condição IV), onde o tempo de decapagem foi maior, a profundidade dos defeitos praticamente não apresentou variações em relação ao efeito da temperatura.

Tabela 10 – Efeito do Tempo na Profundidade do Defeito

Condição	Peça Trefilada	Condição Banho	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Concentração de $[Fe^{+2}]$ no Ácido Sulfúrico (g/L)	Profundidade média do defeito
V	PO1	1	70	60	30	0,045
	PO4	4	70	30	30	0,033
VI	PO5	5	83	60	0	0,058
	PO7	7	83	30	0	0,023
VII	PO2	2	70	60	70	0,041
	PO3	3	70	30	70	0,031
VIII	PO6	6	90	60	70	0,038
	PO8	8	90	30	70	0,041

Analisando os dados da Tabela 10, na condição V observa-se o efeito do tempo no aumento da profundidade dos defeitos, onde foi verificada uma variação média de 0,012 mm. Na condição VI, o efeito do tempo foi observado de forma mais pronunciada, com uma variação de 0,035 mm entre as duas condições testadas. Na condição VII foi observado um efeito similar ao da condição V, onde a variação da profundidade média dos defeitos foi de 0,010 mm. Na condição VIII não foram observadas variações significativas. Nesse caso, vale destacar que o banho estava com a concentração de $[Fe^{+2}]$ próxima da condição de descarte e a temperatura estava acima do especificado.

Com base nos dados obtidos e relacionados na Tabela 10, é possível observar que se por um lado os resultados foram inconclusivos em relação ao efeito da concentração de íons ferrosos Tabela 8 e da temperatura Tabela 9 na profundidade dos defeitos, por outro, o efeito do tempo ficou evidente. Além disso, é possível observar também que a combinação entre diferentes tipos de condições pode acarretar diferentes resultados, ou seja, além da influência do tempo, se o material for decapado em um banho novo, com concentração de $[Fe^{+2}] = 0$, a formação de defeitos com maior profundidade pode ser favorecida, conforme visto na condição VI. Por outro lado, ao variar a temperatura quando o banho já está com concentração de $[Fe^{+2}] = 70$ g/L, que foi o caso da condição VIII, não foi observado praticamente

nenhum efeito, provavelmente porque o banho já apresentava a sua eficiência comprometida, sendo, portanto, indiferente nessa condição, variar a temperatura ou o tempo.

Com base no que pôde ser analisado, verifica-se que é necessário instituir um controle sobre o tempo de decapagem, exceto para os casos em que o banho já estiver com a concentração de íons ferrosos próxima do descarte. Esse parâmetro é relativamente fácil de controlar, pois depende apenas da ação de retirar o lote do banho assim que o valor especificado e padronizado for cumprido. Para auxiliar no cumprimento do padrão, pode ser feita a automatização do processo conforme [14], por meio da instalação de um timer com um giroflex na cabeceira do banho, para sinalizar de forma visual e/ou sonora, que o lote cumpriu o tempo estipulado e precisa ser retirado do banho.

V. CONCLUSÃO

Através do estudo da decapagem química do aço, o presente trabalho investigou a influência de três variáveis como temperatura, tempo e concentração $[Fe^{+2}]$ na eficiência de remoção da carepa, mediante imersão em ácido sulfúrico.

Os experimentos baseados em periódicos, consistiram em variar parâmetros da preparação química, como concentração de ferro no ácido, temperatura do banho e tempo de imersão na solução ácida em condições padrões e diferentes das pré-estabelecidas para a decapagem de materiais da trefilaria.

Após os experimentos, constatou-se que houve aumento da profundidade do defeito após todas as condições de decapagem. O fator tempo apresentou grande influência no aumento da profundidade dos defeitos. Foi observado que quanto maior o tempo de permanência no banho ácido, maior foi a profundidade do defeito.

A influência dos outros fatores, concentração de ferro no ácido e temperatura do banho, não foi tão significativa, sendo da ordem do desvio padrão dos resultados, o que torna difícil

a inferência sobre a influência destes fatores. Contudo, observou-se que a combinação entre diferentes condições de parâmetros podem influenciar no resultado final, por exemplo, a combinação tempo e concentração.

VI. REFERÊNCIAS

- [1] V. Chiaverini. “Aços e Ferros Fundidos”. 6ª Edição. Publicação da Associação Brasileira de Metais. São Paulo, 1988.
- [2] <http://www.acobrasil.org.br/processointroducao.asp>
Em 03/04/2016, 18h55min.
- [3] V. Gentil. “Corrosão”. 3ª Edição. Rio de Janeiro - RJ: Editora LTC Livros Técnicos e Científicos S/A, 1996.
- [4] <http://www.cesec.ufpr.br/metallica/01/01-texto.htm>.
Em 27/04/2016, 02h08min.
- [5] M. L. A. Andrade, L. M. S. Cunha, C. C. Ribeiro.
“Minério de Ferro no Mundo: Retomada de crescimento. Mineração e Metalurgia”. Área de operações industriais. 2ª Edição, 2000
- [6] J. A. S. Ferreira. “Transferência de Tecnologia na Produção de Aços Especiais”. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1997.
- [7] M. C. Roque. “*Influence of Oxidative Environments on Damage in c/epoxy Laminates Subjected to Thermal Cycling.*” Vol.64, Augst 2004.
- [8] S. F. Rudy. “*Pickling and Acid Dipping. Metal Finishing.*” Vol 100, Jan 2002.
- [9] P. Enghag. “*Steel Wire Technology. Applied Materials*”. Repro Orebo University, Jun 2002.
- [10] V. P. Dias, E. Fernandes. “Fertilizantes, Uma Visão Global e Sintética”, Abril 2010.
- [11] G. Schmit. “*Application of Inhibitors For Acid Media*”. Vol 19, Jun 1984.
- [12] E. Castilhos. “Contribuição para a Caracterização de Defeitos Superficiais em Barras Laminadas”. Trabalho de Diplomação. Departamento de Metalurgia, UFRGS, 2008.
- [13] M. Borges. “Tecnologia Mecânica II: Curso Técnico em Mecânica”. São Paulo: Centro Paulo Souza, 2010.
- [14] F. Fernandes, C. Genecco, R. Mariano. “Tratamento de Superfície”. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Siderurgia Centro Brasileiro de Construção em Aço, 2003.