

INFLUÊNCIA DO TEMPO E DA TEMPERATURA NA OXIDAÇÃO DOS AÇOS SAE 1020 E SAE 304

Luiz Felipe Rezende Bravo¹

Edson Roberto da Silva²

RESUMO

Os materiais que são submetidos a altas temperaturas e em longos períodos de exposição em condições de trabalho chamam muita atenção dos engenheiros, por serem bastante afetados pela oxidação. Por isso é necessário tentar entender e conhecer sobre esse processo, que muitas vezes é prejudicial ao material. O trabalho tem como objetivo avaliar e verificar a influência do tempo e da temperatura na oxidação dos aços SAE 1020 e SAE 30. Foram utilizados corpos de provas com 300 mm de comprimento, e esses foram submetidos as temperaturas de 600, 750 e 900 °C por períodos de 12 e 24 horas. Após os testes, os corpos de provas tiveram as massas medidas e os resultados foram submetidos ao teste estatístico de análise de variância para a verificação de qual fator influencia na perda de massa. O aço inox SAE 304 não teve nenhuma variação de massa em nenhuma das temperaturas e tempos a que foram submetidos. Os testes mostraram que a temperatura, o tempo e a interação dos dois fatores são responsáveis pela perda de massa, sendo que dos três fatores o que mais influenciou foi a temperatura pela maior disparidade entre o F0 cal e F0 tab.

Palavras-chave: Corrosão. Perda de massa. Metais ferrosos.

¹ Graduando de Engenharia Mecânica pela Universidade de Rio Verde, Faculdade de Engenharia Mecânica.

² Orientador, Professor Mestre da Faculdade de Engenharia Mecânica.

1 INTRODUÇÃO

A maior preocupação dos engenheiros durante a confecção ou formulação de novos materiais ou máquinas é a corrosão (VAN VLACK, 2000). Em 2000, a corrosão foi responsável por um prejuízo que varia entre 300 a 400 bilhões de dólares por ano nos Estados Unidos, o que corresponde a cerca de 3% do PIB. Por conta deste motivo, os engenheiros têm procurado desenvolver novas técnicas de proteção ou até mesmo na procura de novas ligas metálicas, que possuam maior resistência à corrosão (CHIAVERINI, 1998).

A corrosão é o processo em que há, de forma não intencional, um ataque que provoca a perda e a degradação de material, que pode ser provocado pela atmosfera a que são submetidos ou em meio químico, líquido ou gasoso. As reações químicas entre os elementos metálicos e os não-metálicos resultam na mudança dos metais em vários compostos químicos, os mais frequentes são os óxidos e os sais. A velocidade de ataque da corrosão no metal está diretamente ligada com o tipo de metal ou à liga metálica e à atmosfera em que está submetido (CHIAVERINI, 1998).

As consequências da corrosão são bastante comuns, como por exemplo a ferrugem em portões, em escapamentos, entre outros. Os metais são caracterizados por possuírem dois tipos de deterioração, um por perda de material, conhecida por corrosão, ou pela oxidação, que é a incrustação (aumento de massa) de materiais não-metálicos, os óxidos (CALLISTER JUNIOR, 2008).

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral desse trabalho é fornecer informações sobre a influência da temperatura na oxidação e o comportamento dos aços quando submetidos a altas temperaturas e por longos tempos de exposição dentro do forno. Tem por objetivo específico realizar testes nos aços de baixo teor de carbono, variando tempo em 12 e 24 horas e temperatura em 600, 750 e 900 °C, verificando a influência de ambos fatores na perda de massa dos aços por oxidação.

1.2 CORROSÃO ATMOSFÉRICA OU OXIDAÇÃO DIRETA

É comum em metais ou ligas metálicas que, expostos ao ar em altas temperaturas, formem compostos óxidos. Estes óxidos possuem uma estabilidade química muito alta, que é demonstrada pelos seus pontos de fusão, que são muito elevados em comparação com o ponto de fusão do próprio metal ou liga metálica. Pode-se citar como exemplo o Al (alumínio), que se funde a 660 °C enquanto o Al₂O₃ (óxido de alumínio) possui ponto de fusão em torno de 2054 °C. Em alguns casos, pela facilidade de alguns metais reagirem com o oxigênio atmosférico, se oxidam em temperatura ambiente (SHACKELFORD, 2008).

Essa exposição dos metais ao ar atmosférico e seus poluentes, com ganho de massa pela incrustação de óxidos é conhecida como corrosão atmosférica (ROBERGE, 1998).

A corrosão atmosférica está diretamente ligada à umidade relativa do meio em que o material está exposto, como por exemplo o Fe (ferro) em atmosfera com umidade relativamente baixa não sofre corrosão. Em casos onde a umidade esteja em torno de 60% a corrosão é lenta, quando essa umidade ultrapassa 70% o processo de corrosão se torna acelerado (GENTIL, 1996).

1.3 CORROSÃO ELETROQUÍMICA

A corrosão eletroquímica é muito comum nos metais, é um processo químico que consiste na transferência de elétrons de elemento químico para outro. A perda de elétrons que os átomos dos metais sofrem é conhecida como oxidação (CALLISTER JUNIOR, 2008).

O processo de corrosão eletroquímica pode ser simbolizado pela reação abaixo



onde X é metal qualquer, e^{-} simboliza um elétron e n são os elétrons de valência. Se o metal X perde os seus elétrons de valência n , passa a ser um íon carregado positivamente n^{+} . Como por exemplo, a oxidação do ferro e alumínio:



Nos metais é comum ocorrer oxidação em qualquer temperatura, porém a oxidação mais acentuada ocorre em altas temperaturas, visto que a interação química entre o metal e o ar acontece com maior rapidez (VAN VLACK, 2000):



A incrustação de óxido do metal começa na superfície do material e com o acúmulo da crosta resultante, tende a formar uma barreira que impede a oxidação. Para que o processo de oxidação volte a ocorrer, os elementos devem se difundir pela crosta. Os íons de metais são menores que o de O₂, então se difundem com mais rapidez pela crosta (SHACKELFORD, 2008).

1.4 OXIDAÇÃO EM ALTAS TEMPERATURAS

A oxidação em alta temperatura é um tipo de corrosão, na qual não é necessária a presença de um eletrólito líquido para que o metal sofra oxidação. Esse processo pode fazer com que o metal tenha um aumento ou decréscimo em sua espessura original, bem como ganhar ou perder massa, dependendo da volatilidade do óxido formado (CHIAVERINI, 1998).

Em um estudo apresentado por Belém *et al* (2015), um aço AISI 1020 foi submetido a oxidação térmica a uma temperatura de 1000 °C. Foi constatado um aumento na oxidação das amostras, havendo um ganho de massa em equiparação ao tempo de exposição. O ganho de massa não foi proporcional ao tempo, pois os aços submetidos à variação de tempo entre 24 e 48 horas é 17 % inferior que a variação entre 48 e 96 horas de exposição. Após 96 horas, foi observado que o ganho de massa no aço é praticamente o dobro quando comparado as amostras de 48 horas.

Toffolo (2008), ao estudar os aços inoxidáveis AISI 444 e 439, manteve os corpos de prova em um forno durante 10 minutos, submetidos às temperaturas de 1000 °C e 1050 °C, e verificou que o aço AISI 439 possui uma taxa de oxidação maior que o aço AISI 444. Quando ambos os aços foram submetidos às variações maiores de temperatura, as taxas de oxidação tenderam a se igualar. Na temperatura de 1000 °C, o ganho de massa entre os dois aços se mantém praticamente a mesma, basta aumentar a temperatura em 50 °C que a massa oxidada do aço AISI 439 é aproximadamente 66,67% maior que a massa oxidada do aço AISI 444.

Hei *et al* (2016), ao verificar o comportamento do aço inoxidável contendo 1.1-Si, 0.07-C, 1.2-Mn, 0.035-Al, 0.016-Cr (em percentual) em diferentes temperaturas, concluiu que em temperaturas acima de 1235 °C, o ganho de massa em função do tempo é maior que em relação às temperaturas de 1190 °C e 1210 °C. Nessas duas temperaturas a velocidade de oxidação cai lentamente no primeiro estágio e no segundo estágio cai acentuadamente, a velocidade de oxidação só volta a aumentar gradualmente após 1210 °C.

Nas amostras estudadas por Carvalho (2004) de aços inoxidáveis SAE 430 e SAE 304, a camada de óxido que adere ao material mostrou dependência da temperatura, do tempo e do tipo de aço. No aço SAE 304, obteve camadas de óxidos que eram pouco resistentes e que se esfarinhavam facilmente. No caso do aço SAE 430, o óxido se adere com mais facilidade em temperaturas mais baixas, como em 900 °C, 1000 °C e 1050 °C e em tempos inferiores a 30 minutos, após a temperatura de 1200 °C se torna também muito aderente. Estas amostras de aços SAE 430 e SAE 304, em temperaturas inferiores a 900 °C, não sofreram oxidação de grande relevância.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 MATERIAL

Para a realização deste trabalho foram utilizados dois diferentes materiais como corpo de prova, um em aço SAE 1020 e outro sendo um aço inoxidável 304. Os corpos de prova têm dimensão de 1" x 1/8" e 300 mm de comprimento, no qual dois corpos de prova de cada material foram submetidos a temperaturas de 600, 750 e 900 °C por 12 e 24 horas em cada uma das temperaturas.

Foi utilizado um forno elétrico e uma balança de precisão digital da marca Gehaka, modelo BK3000, com erro sistemático de $\pm 0,1$ g, para realizar o controle das massas dos corpos de prova, ambos pertencentes ao Laboratório de Processos de Fabricação da Faculdade de Engenharia Mecânica da UniRV - Universidade de Rio Verde.

2.2 MÉTODOS

Inicialmente os corpos de prova tiveram suas massas medidas. Logo após, oito corpos de prova, sendo quatro de cada material, foram colocadas no forno elétrico à uma temperatura de 600 °C. Após 12 horas de permanência no forno, dois corpos de prova de cada material foram retirados e resfriados ao ar, os demais corpos de prova permaneceram por 24 horas antes de serem retirados e resfriados ao ar, após o resfriamento total, com auxílio de uma espátula e pincéis, as camadas de óxido que se formaram foram removidas e a massa dos corpos de prova foram novamente medidas. Esse procedimento foi repetido com novos corpos de prova para as temperaturas de 750 °C e 900 °C.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após os testes, foi constatado que os aços carbono e inoxidável se comportaram de maneira diferente quando submetidos a elevadas temperaturas por longos períodos. Sendo a deterioração mais acentuada no aço de baixo teor de carbono, por não possuir nenhuma resistência ao processo de oxidação do ferro na superfície do material, o que foi diferente no aço inox, que possui grande resistência à oxidação do ferro, devido ao processo de oxidação atuar com o cromo, criando uma fina camada de óxido de cromo, protegendo-o contra a ação corrosiva do óxido de ferro.

Como não houve variação de massa em nenhuma das temperaturas e tempos estipulados para o aço inox SAE 304, o mesmo não foi levado em consideração na análise de variância, pois a variação de massa do aço inox foi de 0,1 gramas correspondente ao erro da balança. Era um resultado esperado pela resistência que o aço inox possui ao processo de oxidação.

O aço SAE 1020 sofreu perda de massa em todas as temperaturas e tempos a que foi submetido durante os testes. A Tabela 1 mostra os dados obtidos após os testes com o aço SAE 1020.

TABELA 1 – Perda de Massa (em gramas) do Aço SAE 1020

Temperatura °C	Tempo				Soma
	12h		24h		
600	0,08	0,05	0,19	0,11	0,43
750	2,35	2,06	2,55	2,41	9,37
900	15,82	15,87	22,18	22,31	76,18
Soma	36,23		49,75		85,98

Fonte: Apresentação do Próprio Autor, 2017.

Analisando a Tabela 1, observa-se que as maiores perdas de massa no material ocorreram a 900 °C, sendo que a mais significativa foi durante 24 horas de exposição, no qual o material perdeu em média 22,245 gramas. Este fenômeno já era esperado, pois materiais submetidos a atmosferas ricas em oxigênio e em temperaturas elevadas sofrem o processo de oxidação, pois o O₂ disponível no ambiente reage com o Fe da superfície do material, formando uma crosta de óxido na superfície do material, acarretando, assim, uma perda de massa. Quanto maiores as temperaturas e maiores os tempos de exposição, mais pronunciado será o efeito da oxidação.

Utilizando como ferramenta estatística a análise de variância, foram levantadas as hipóteses H₀ e H₁ para os fatores A e B existentes. O fator A (temperatura), cujo H₀ é a hipótese de que a temperatura não influencia na perda de massa e H₁ que a temperatura influencia na perda de massa. Para o fator B (tempo), H₀ é a hipótese de que o tempo não influencia na perda de massa e H₁ que o tempo influencia na perda de massa. Nesse tipo de análise, é considerada a interação dos dois fatores, sendo o fator AB, portanto o H₀ é a hipótese de que a temperatura e o tempo não influenciam na perda de massa e H₁ que a temperatura e tempo influenciam na perda de massa.

Na Tabela 2, são apresentados os resultados obtidos pelos cálculos, considerando $\alpha = 5\%$ como nível de significância.

TABELA 2 – Resultado do Teste Análise de Variância

Variável	SQ	GL	MQ	F0 cal	α	F0 tab
A	856,797	2	428,398	39423,2	5%	5,14
B	15,2325	1	15,2325	1401,77	5%	5,99
AB	25,8103	2	12,9052	1187,59	5%	5,14
E	0,0652	6	0,01087			
Total	897,905	11				

Fonte: Apresentação Próprio Autor, 2017.

Analisando a Tabela 2, no fator A, $F_0 \text{ cal} > F_0 \text{ tab}$, foi rejeitada a hipótese H_0 , então aceita-se a hipótese H_1 que a temperatura tem influência na perda de massa. Como a diferença entre $F_0 \text{ cal}$ e $F_0 \text{ tab}$ é muito grande, pode-se afirmar que o fator tem forte influência na perda de massa. O que era de se esperar, pois quanto maior a temperatura, mais intenso é o fenômeno de oxidação.

Para o fator B, $F_0 \text{ cal} > F_0 \text{ tab}$ foi rejeitada a hipótese H_0 , aceita-se a hipótese H_1 , que o tempo tem influência na perda de massa. Nesse fator, $F_0 \text{ cal}$ é 234 vezes maior que $F_0 \text{ tab}$, conclui-se que quanto mais tempo o material ficar exposto a altas temperaturas, mais ele sofrerá com a oxidação, provocando assim perda de massa, e como a diferença entre $F_0 \text{ cal}$ e $F_0 \text{ tab}$ é grande, pode-se dizer que a influência é acentuada.

Na interação dos dois fatores (AB), $F_0 \text{ cal} > F_0 \text{ tab}$ foi rejeitada a hipótese H_0 , então aceita-se a hipótese H_1 , de que a temperatura e o tempo influenciam na perda de massa. No fator AB, $F_0 \text{ cal}$ é aproximadamente 231 vezes que $F_0 \text{ tab}$, portanto a combinação de altas temperaturas com extensos tempos de exposição do material maior será a perda de massa, ou seja, a perda de massa cresce assim que a temperatura e o tempo de exposição aumentam.

A desproporcionalidade entre $F_0 \text{ cal}$ e $F_0 \text{ tab}$ foi bastante considerável em todos os resultados, sendo mais acentuada no fator A, portanto pode-se afirmar que dos três fatores analisados, a temperatura é o fator que mais ajuda na formação de óxido na camada superior do material, provocando a descamação da superfície e consequentemente a perda de massa.

É aconselhável para materiais que forem ser utilizados em trabalhos que fiquem submetidos a altas temperaturas, optem por usar aços inox da série 300, pois esses aços possuem uma maior resistência a oxidação quando comparados ao aço SAE 1020. Sendo assim, para reduzir custos com excessivas trocas desses materiais, deve-se optar por aços inoxidáveis.

4 CONCLUSÃO

O objetivo desse trabalho foi verificar a influência dos fatores tempo e temperatura na perda de massa por oxidação dos aços SAE 1020 e SAE 304, submetendo os resultados das variações de massa ao teste estatístico.

Era esperado que no aço inox não houvesse perda de massa por oxidação, o que ficou comprovado nos experimentos realizados, em que o aço inox SAE 304 não teve variação de massa em nenhuma das temperaturas e tempos a que foi submetido.

Após os testes, verificou-se no aço SAE 1020 que o tempo e a temperatura têm influência na perda de massa, e que as perdas mais significativas de massa começaram a partir de 900 °C, sendo mais acentuadas com 24 horas de exposição.

Com base no teste estatístico realizado, todos os fatores influenciaram na perda da massa. Pela maior disparidade entre o F_0 cal e F_0 tab, é correto afirmar que a temperatura foi o fator que mais influenciou na perda de massa, ou seja, quanto maior for a temperatura que o material for exposto, maior será a formação de óxido na superfície e como consequência o material terá uma perda substancial de massa.

A fim de aperfeiçoar os estudos sobre a influência da temperatura e do tempo na perda de massa, fica em aberto para futuros interessados nesse tema, a possibilidade de continuar essa pesquisa, realizando novos testes, submetendo novos corpos de provas a tempos mais extensos, como 48 e 96 horas, e variando temperaturas mais elevadas.

*THE INFLUENCE OF TIME AND TEMPERATURE IN THE OXIDATION OF
SAE 1020 AND SAE 304 STEELS*

ABSTRACT

Materials that are submitted to high temperatures and in long periods of exposition in work conditions draw engineers' attention because they are very affected by oxidation. For this reason, it is necessary to try to understand and know about this process, which is, several times, harmful to the material. The study aims to evaluate and verify the influence of time and temperature in the oxidation of SAE 1020 and SAE 304 steels in the mass loss. There were used proof-bodies with 300 mm each, and submitted to the temperatures of 600, 750 and 900 °C for periods of 12 and 24 hours. After the tests, the proof-bodies had their masses measured and the results were submitted to the statistic test of variation analyses to verify which factor influences in the mass loss. SAE 304 stainless steel had no mass variation at any of the temperatures and times to which they were subjected. The tests showed that temperature, time and interaction of the two factors are responsible for the mass loss, and that of the three factors that influenced the most was the temperature due to the greater disparity between F0 cal and F0 tab.

Key Words: Corrosion. Mass loss. Ferrous metal.

REFERÊNCIAS

- BELÉM, et al (Ed.). Avaliação da Resistência à Oxidação de Camadas de Ligação de Revestimentos Utilizados em Barreiras Térmicas. **Soldagem & Inspeção**, São Paulo, v. 4, n. 20, p.479-488, 15 dez. 2015. Trimestral.
- CALLISTER JUNIOR, D. **Ciência Engenharia de Materiais**. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 705 p.
- CARVALHO. **Cinética de oxidação e caracterização da carepa de aços inox SAE 304 e SAE 430**. 2004. 64 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Estadual de Minas Gerais, Ouro Preto, 2004.
- CHIAVERINI. **Aços e ferros fundidos**. São Paulo: ABM, 1998. 599 p.
- GENTIL. **Corrosão**. Rio de Janeiro: LTC, 1996. 345 p.
- HEI, et al. Effect of Oxidation Temperature on the Oxidation Process of Silicon-Containing Steel. **Metals**, Basel - Suíça, v. 6, n. 137, p.1-9, 7 jun. 2016.
- ROBERGE, R. **Handbook of Corrosion Engineering**. New York: Mc Graw Hill, 1998. 1128 p.
- SHACKELFORD, F. **Ciência dos Materiais**. São Paulo: Sexta, 2008. 546 p.
- TOFFOLO. **Estudo experimental da oxidação dos aços inoxidáveis ferríticos AISI 444 e AISI 439 a altas temperaturas em ar**. 2008. 148 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Estadual de Minas Gerais, Ouro Preto, 2008.
- VAN VLACK. **Princípios de Ciência dos Materiais**. São Paulo: Edgard Blücher LTDA, 2000. 426 p.