

Relatório TP6 – Determinação de pontos de transformação de fase nos aços

André Ferreira

24 de Novembro de 2012

Resumo: Foram efetuados ensaios de dilatométrica em aquecimento para três aços com o objetivo de determinar as suas temperaturas de transformação. Foi também analisada a sua constituição quantitativa e qualitativa e microestrutura à temperatura ambiente.

0 – Introdução

É muito comum um aço passar por tratamentos térmicos com o objetivo de melhorar determinadas propriedades relacionadas com o fim a que se destina.

Esses tratamentos são dependentes do conhecimento das temperaturas de transformação dos respetivos aços e das alterações que elas acarretam, para poderem ser corretamente realizados e é principalmente por esse motivo, em engenharia mecânica, que se torna imperativo saber identificar essas temperaturas.

Além disso, é também importante saber analisar o aço quanto às suas fases e constituintes à temperatura de serviço, visto estes possuírem diferentes características, que influenciam as propriedades do mesmo.

Já em termos metalúrgicos, a análise tem o foco principal no estudo do polimorfismo cristalino do ferro – a análise das mudanças de fase e estrutura cristalina que ocorrem com a variação da temperatura.

Com estes pontos em mente, foram realizados ensaios de dilatométrica em aquecimento a três aços hipoeutectóides, um ao carbono, e dois pouco ligados, indicados na tabela, com a designação da F.Ramada¹.

Tabela 1 - Aços em estudo

| Aço | %C | %Cr | %Ni | Si |
|-------------------------------|----------|------|------|----------|
| C1 | < 0.2 | | | |
| G15 Special | 0.14 | 0.75 | 3.25 | < 0.4 |
| S310 (DIN 65Si7) ⁴ | 0.6-0.68 | | | 1.5-1.8% |

1 – Primeira análise das curvas dilatométricas

Observando as curvas dilatométricas podem-se observar três fases: a primeira e terceira de declive positivo, e a segunda de declive negativo, todos eles relativamente constantes, exceto nas zonas de transição.

Nas figuras 1, 2 e 3 pode observar-se uma primeira fase de dilatação sensivelmente constante desde a temperatura ambiente; neste intervalo de temperatura (e desde o zero absoluto) os aços apresentam uma estrutura cristalina CCC (imposta pelo ferro); de seguida pode-se observar uma contração volúmica que corresponde a uma transformação alotrópica de CCC em CFC, à qual se segue uma dilatação, mais intensa que a primeira, que segue a transformação de CFC para CCC.

A expansão está relacionada com o coeficiente de expansão térmica do aço, que para aços hipoeutectóides pouco ligados é de $10-14\mu\epsilon/^\circ\text{C}$ ⁴. A contração está relacionada com a diminuição de volume devido à mudança de estrutura cristalina do aço de CCC para CFC, o qual tem uma maior compacidade atômica, devido ao maior fator de ocupação atômico – 68% e 74% respetivamente.

2 – Determinação das temperaturas de transformação dos três aços a partir das curvas dilatométricas.

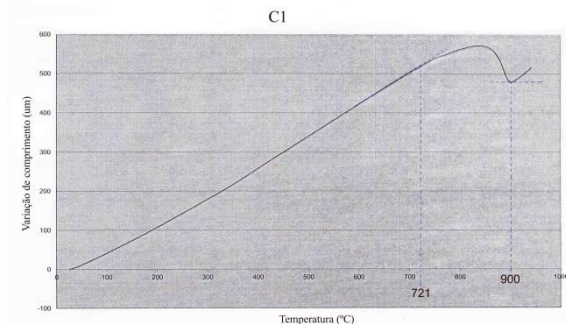


Fig. 1 – Curva dilatométrica do aquecimento do aço C1.

Ac1 ≈ 721 °C
Ac3 ≈ 900 °C

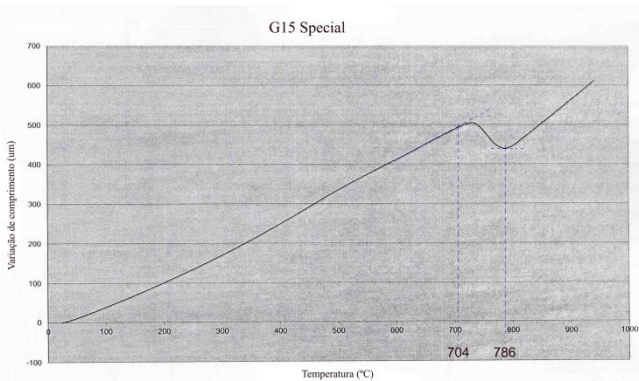


Fig. 2 - Curva dilatométrica do aquecimento do aço G15S.

Ac1 ≈ 704 °C
Ac3 ≈ 786 °C

S310

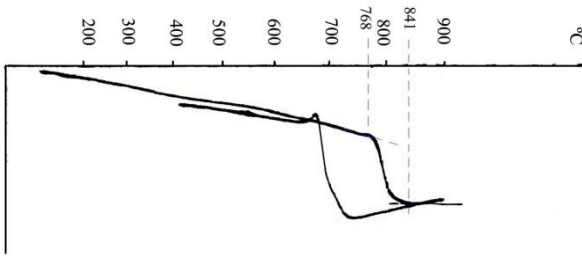


Fig. 3 - Curva dilatométrica do aquecimento do aço S310 e o de uma liga "pyros" (Ni-8Cr-4W-3Fe-3Mn).

Ac1 ≈ 768 °C
Ac3 ≈ 841 °C

3 – Determinação das temperaturas de transformação dos três aços a partir do equilíbrio Fe-C.

C1

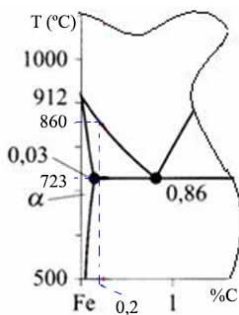


Fig. 4 – Pormenor do diagrama de equilíbrio Fe-C, para o cálculo das temperaturas de transformação Ac1 e Ac3 no aço C1.

Ac1: 723°C
Ac3: aprox. 860°C

G15 Special

Tratando-se este de um aço com E.L., será necessário ter em conta o seu efeito alfa/gamageno, e conseqüente deslocação das temperaturas Ac1 e Ac3.

Podemos relacionar essa deslocação, pela fórmula de **Andrews** para Ac1, válida para aços de pouca liga com %C<0,6:

$$Ac1(°C) = 723 - 10,7(\%Mn) - 16,9(\%Ni) + 29,1(\%Si) + 16,9(\%Cr) + 6,38(\%W) + 290(\%As)$$

$$Ac1: 723 - 16,9 \cdot 3,25 + 16,9 \cdot 0,75 = 685°C$$

E respetivamente para Ac3, válida para os mesmos aços:

$$Ac3(°C) = 912 - 203(\%C)^{0,5} - 15,2(\%Ni) - 30(\%Mn) + 44,7(\%Si) + 104(\%V) + 31,5(\%Mo) + 13,1(\%W)$$

$$Ac3: 912 - 203 \cdot 0,14^{0,5} - 15,2 \cdot 3,75 = 779°C$$

S310

Se %C do aço se encontrar no limite inferior de 0,6%C poder-se-ia usar as fórmulas de Andrews, o que daria:

$$Ac1: 723 + 29,1 \cdot 1,65 = 770°C$$

$$Ac3: 912 - 203 \cdot 0,6^{0,5} + 44,7 \cdot 1,65 = 828°C$$

4 – Comparação dos valores medidos com os valores teóricos.

Tabela 2 - Valores medidos experimentalmente vs valores calculados

| | Valores medidos (°C) | Valores teóricos (°C) |
|------|----------------------|-----------------------|
| C1 | 721 | 723 |
| | 900 | 860 |
| G15S | 704 | 685 |
| | 786 | 779 |
| S310 | 768 | 770 |
| | 841 | 828 |

Do diagrama de equilíbrio retiramos as temperaturas de transformação para aquecimentos e arrefecimentos infinitamente lentos, pelo que as curvas sobrepõem-se. Com o aumento da velocidade de aquecimento / arrefecimento, tal já não é verdade, existindo uma histerese entre Ac e Ar.

No que diz respeito aos ensaios realizados, para maiores velocidades de aquecimento, teremos valores mais altos de Ac1 e Ac3 do que os previstos pelo diagrama de equilíbrio. Tal poderá ser uma explicação para os valores que deram superiores ao previsto.

Outra explicação está relacionada com a presença dos E.L. nos dois aços pouco ligados. Sabendo que os elementos de liga gamagenos fomentam a expansão da fase gama, e que os alfa genos a fase alfa, no primeiro caso E.L. gamagenos presentes implicam uma descida de Ac1 e Ac3, enquanto que no segundo, E.L. alfa genos implicam uma subida de Ac1 e Ac3, algo explícito pelas fórmulas de Andrews já usadas.

Além disso, há ainda que ter em conta a possível deslocação do ponto eutectóide para a esquerda ou para a direita conforme o elemento de liga, caso do G15S.

Assim, variações na quantidade de E.L. do provete relativamente ao tabelado, poderão também ter tido influência na discordância dos valores previstos que não estão de acordo com os medidos.

Finalmente, a determinação das temperaturas de transformação a partir das curvas foi efetuada com base num método inerentemente pouco rigoroso, o qual reduziu a exatidão dos valores medidos obtidos.

5 – Curvas de arrefecimento T(t) dos três aços desde 900°C.

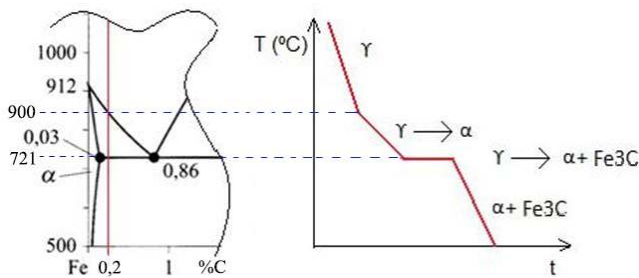


Fig. 5 – Curva de arrefecimento do aço C1 e a sua correspondência no diagrama de equilíbrio.

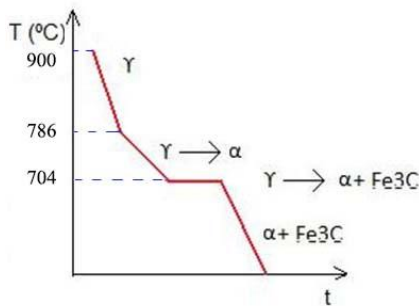


Fig. 6 – Curva de arrefecimento do aço G15S, desde 900°C.

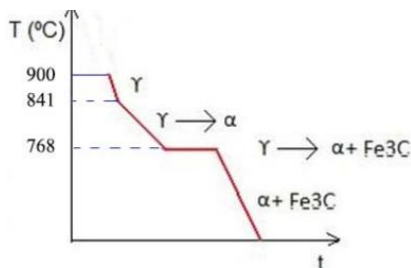


Fig. 7 – Curva de arrefecimento do aço S310, desde 900°C.

6 – Análise qualitativa e quantitativa da constituição dos três aços à temperatura ambiente.

C1

Fases:

$$\% \alpha = \frac{6.67 - 0.2}{6.67 - 0.006} \cdot 100 = 97\%$$

$$\% Fe_3C = 3\%$$

Constituintes:

$$\% \alpha = \frac{0.86 - 0.2}{0.86 - 0.03} \cdot 100 = 79.5\%$$

$$\% P = 21.5\%$$

G15S

Fórmula de **M. Aall** para o cálculo do deslocamento do ponto eutectóide

$$\% C = 0,86 - 0,09Mn - 0,065Cr - 0,03Ni - 0,13Mo - 0,3V - 0,06Co - 0,08Ti$$

$$0.86 - 0.065 \cdot 0.75 - 0.03 \cdot 3.5 = 0.71\%$$

Fases:

$$\% \alpha = \frac{6.67 - 0.14}{6.67 - 0.006} \cdot 100 = 98\%$$

$$\% Fe_3C = 2\%$$

Constituintes:

$$\% \alpha = \frac{0.71 - 0.14}{0.71 - 0.03} \cdot 100 = 83.8\%$$

$$\% P = 16.2\%$$

S310

Fases:

$$\% \alpha = \frac{6.67 - 0.64}{6.67 - 0.006} = 90,5\%$$

$$\% Fe_3C = 9,5\%$$

Constituintes:

$$\% \alpha = \frac{0.86 - 0.64}{0.86 - 0.03} \cdot 100 = 26.5\%$$

$$\% P = 73.5\%$$

Contendo a α 0.006% C, a Fe_3C 6.67% C, e a P 0.86% C no C1 e S310, e 0.71% C no G15S.

7 – Esquema da microestrutura dos três aços à temperatura ambiente.

C1

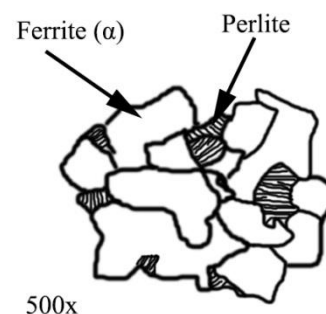


Fig. 8 - Microestrutura do aço C1 à temperatura ambiente.

G15S

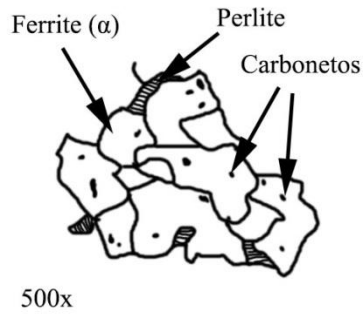


Fig. 9 - Microestrutura do aço G15S à temperatura ambiente.

S310

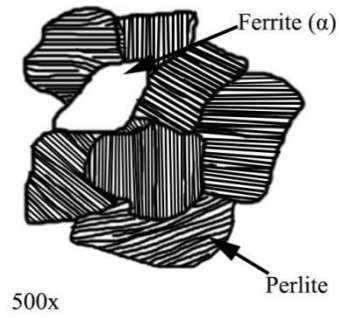


Fig. 10 - Microestrutura do aço S310 à temperatura ambiente.

Bibliografia:

- 1 Catálogo eletrónico, F. Ramada. Disponível em: <http://www.ramada.pt/index.php?cat=15&item=23>. Acedido em 23/11/2012.
- 2 Silva, L.F.M. da. *Problemas e trabalhos práticos de metalurgia*. Porto:FEUP Edições; 2008.
- 3 Silva, L.F.M.da. *Disciplina de Materiais de Construção Mecânica 1 [Apresentações Powerpoint]*. 2012.
- 4 “Key to Metals”, [Banco de dados de metais eletrónico]. Disponível em: <http://www.keytometals.com/>
- 5 Granta CES Edupack 2012, versão 11.9.9.