

## X V I I

## AÇOS RESISTENTES AO DESGASTE

1 — **Introdução** — O desgaste ocorre em peças de máquinas quando em movimento, como em eixos, pistões, válvulas, engrenagens, etc. ou em peças de britadores, escavadoras, misturadores, maquinário agrícola, de construção, enfim, numa infinidade de aplicações da engenharia e da indústria.

O efeito mais importantes dêsse fenômeno é a modificação das dimensões das peças em serviço, desde a sua redução em tamanho a tal ponto que elas perdem sua eficiência ou que rompem mediante a aplicação de uma pequena sobrecarga, até a alteração da ajustagem entre peças móveis e fixas de modo a criar tensões inesperadas na parte móvel, contribuindo para provocar a sua ruptura por fadiga ou por outro esforço dinâmico.

Os tipos de desgaste são classificados geralmente de acôrdo com a natureza das superfícies em contáto.

Os tipos mais importantes são :

- desgaste de metal contra metal;
- desgaste de metal contra não-metal ou desgaste abrasivo.

No primeiro caso a lubrificação é muito importante, pois ela pode afetar grandemente a velocidade de desgaste; entretanto, a resistência ao desgaste do material pouco depende da lubrificação, mesmo porque lubrificação perfeita é dificilmente alcançada e, além disso, substâncias estranhas e abrasivas contidas no lubrificante podem causar não só abrasão severa como também corrosão.

Em geral, no desgaste de metal contra metal, o principal fator a ser considerado é o estado das superfícies em contáto, porque admite-se que o desgaste seja causado pela interferência mecânica de pequenas projeções ou asperezas da superfície metálica. Assim, quando as duas superfícies estão em contáto e se deslocam uma em relação à outra, pode-se admitir que as projeções de uma coincidam com as depressões da outra, o que irá causar uma resistência ao movimento. Se a fôrça causadora dêste é suficiente para mantê-lo, as projeções das superfícies são deformadas ou quebradas.

No desgaste abrasivo, admite-se que partículas não metálicas de caráter abrasivo penetram primeiro no metal, causando a seguir a remoção brusca de partículas metálicas.

As considerações acima feitas levam à conclusão que, para qualquer dos tipos de desgaste, a resistência ao desgaste do metal é função dos fatores seguintes :

- **dureza**, para resistir à penetração inicial;

- **tenacidade**, para evitar o deslocamento ou remoção das partículas metálicas;
- **superfície sem rugosidades**, de modo a evitar as projeções.

A dureza é o fator mais importante, pois dela depende o início do desgaste.

Outro fator também ponderável e que deve ser levado na devida conta é a **estrutura metalográfica** do material. De fato, a presença de partículas de um constituinte de baixa dureza e, portanto, vulnerável ao desgaste, numa matriz dura, prejudica a resistência ao desgaste do conjunto, ao passo que se a estrutura fôr formada por um constituinte possuindo partículas duras — carbonetos geralmente — numa matriz mais mole, ela apresentará superior resistência ao desgaste, principalmente quando essas partículas duras não são excessivamente frágeis e quando são de pequenas dimensões e uniformemente distribuídas na matriz.

Os requisitos de alta dureza, elevada tenacidade e estrutura adequada podem ser conseguidos nos aços através dos seguintes artifícios :

- composição química conveniente, pela introdução em altos teores de determinados elementos de liga;
- tratamentos térmicos ou termoquímicos de aços de composições adequadas;
- encruamento.

De qualquer modo o que se visa inicialmente é elevar a dureza superficial do aço e o melhor meio de se alcançar êsse objetivo nos aços é pelo encruamento de determinados tipos de aços austeníticos, onde a austenita é pouco estável, e que, pelo encruamento, podem ser tornados martensíticos.

2 — **Aços-manganês austeníticos** — Êsses aços são também chamados «Hadfield» devido ao seu inventor. Caracterizam-se por possuírem elevados teores de carbono e de manganês. Os tipos comerciais apresentam êsses elementos entre os seguintes limites :

carbono — 1,0 a 1,4 %, geralmente 1,2 %  
manganês — 10 a 14 %, geralmente 12 a 13 %

O diagrama de equilíbrio para 13 % de Mn está representado na Figura 54. Do seu exame conclue-se que :

- o eutetoide apresenta baixo teor de carbono;
- a austenita é tão estável que ela fica sem se transformar com velocidades de esfriamento moderada.

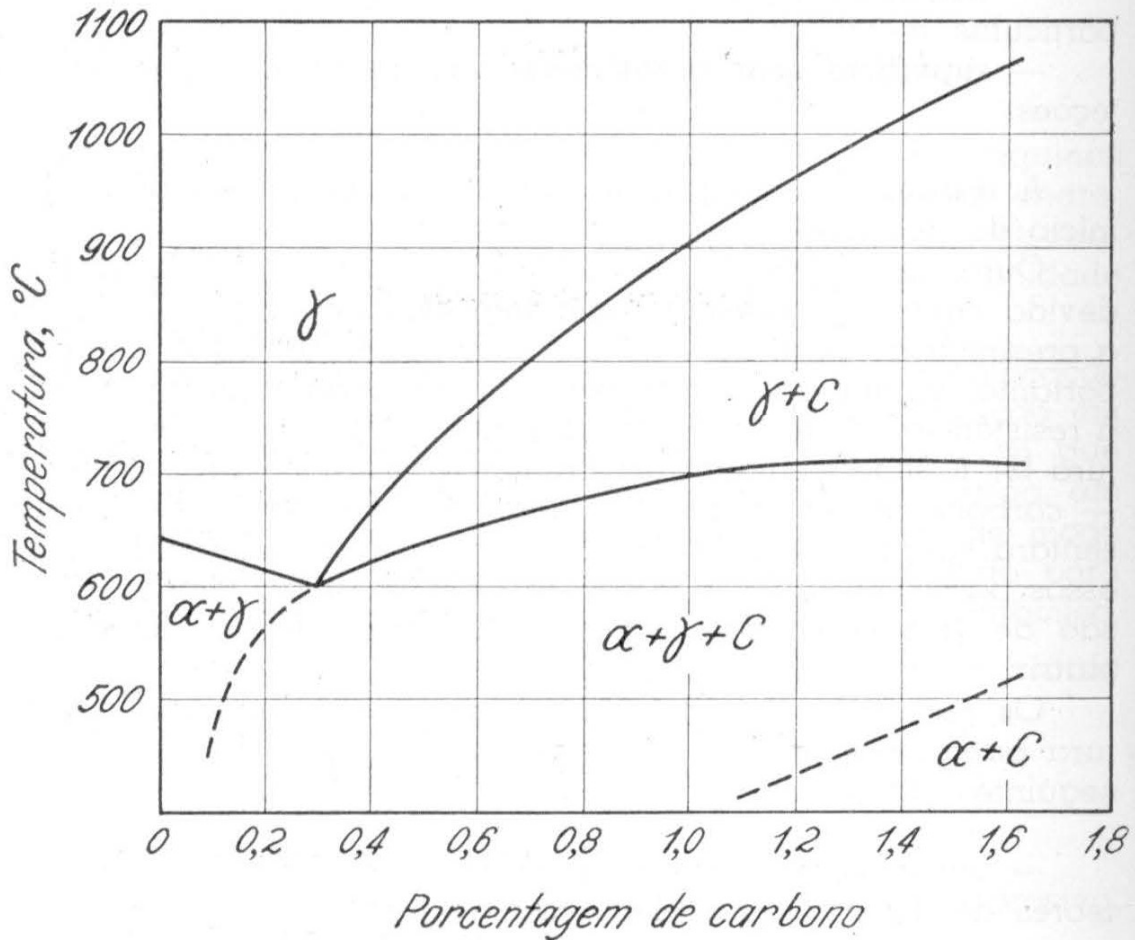


FIG. 54 — Diagrama de equilíbrio para aço C-Mn com 13 % de Mn.

Se os carbonetos presentes tiverem sido solubilizados pode-se evitar, por esfriamento em água, sua precipitação em secções moderadas.

A estabilização da austenita deve-se, pois, ao manganês, cujo efeito é mais no sentido de atrasar a transformação do que eliminá-la.

Nos limites usados nesses tipos de aços, o manganês melhora também o seu limite de resistência à tração e a sua ductilidade, sem, entretanto, afetar o limite de escoamento. Abaixo de 10 % de Mn as propriedades relativas à resistência à tração caem rapidamente, de modo que é desejável, geralmente, um mínimo de 10 % de Mn.

O carbono aumenta o limite de escoamento (limite  $\sigma_s$ ) assim como as outras propriedades de resistência à tração. O teor ótimo é considerado em torno de 1,15 %.

O efeito dos outros elementos normalmente encontrados é o seguinte :

— **silício**, adicionado geralmente para fins de desoxidação, raramente ultrapassa 1 %; às vezes é adicionado até teores de 2 % para melhorar ligeiramente o limite de escoamento e a resistência à deformação plástica sob a ação de choques repetidos;

— **enxofre**, não é levado em conta devido ao alto teor de Mn dêesses aços;

— **fósforo**, geralmente considerado sem qualquer influência nociva abaixo de 0,10 %.

a) **Tratamento Térmico dos aços Hadfield** — A estrutura dos aços-manganês no estado fundido ou laminado, contém carbonetos e outros produtos de transformação que conferem grande fragilidade ao aço: sua resistência à tração é de cerca de 42 a 49 kg/mm<sup>2</sup> com alongamento e estricção às vezes inferiores a 1 %. As propriedades mecânicas normais dêesses aços são obtidas com um tratamento de austenitização, a uma temperatura suficientemente alta para assegurar completa solução do carbono, seguida de esfriamento em água. A temperatura de austenitização é de 1.000° C ou mais elevada.

Após o esfriamento em água o aço torna-se dútil, apresentando um alongamento que varia de 30 a 60 %, uma dureza Brinell de 180 a 220, limite de escoamento de 31 a 42 kg/mm<sup>2</sup> e limite de resistência à tração de 57 a 100 kg/mm<sup>2</sup>.

Os valores abaixo são para aços-manganês dos tipos comerciais, com 11 a 12 % de Mn e C acima de 1,0 %, em três condições diferentes: fundido, laminado e forjado. Os valores referem-se a êesses aços após o tratamento térmico usual.

### T A B E L A X X X

#### Algumas Propriedades Mecânicas de Aços-Manganês

Condição do aço antes do tratamento térmico	Limite de escoamento kg/mm <sup>2</sup>	Limite de resistência à tração kg/mm <sup>2</sup>	Alongamento %
Fundido	31,5	57,5	30
Laminado	42 — 42,5	94,5 — 98,0	30 — 40
Forjado	38,5	99,5	38

O encruamento do aço-manganês austenítico eleva a dureza Brinell de 180-220 no estado temperado em água a 500-600. Talvez, nenhum outro aço supere o aço Hadfield em capacidade de endurecer pelo encruamento. Admite-se que o endurecimento resultante seja causado pela formação de martensita.

b) **Adição de outros elementos de liga ao aço Hadfield** — O **chromo** tem sido adicionado ao aço Hadfield usado em peças utilizadas em britamento, moagem, e transporte de material leve e de pequenas dimensões onde o desgaste é principalmente de natureza abrasiva (com ausência, portanto, de choque que possa

desenvolver rapidamente a dureza superficial desejável nesses tipos de aços) com o fim de aumentar ligeiramente a dureza do aço antes do encruamento e de modo a permitir que, com menor encruamento, se obtenha suficiente dureza superficial.

A quantidade de cromo adicionada varia de 1,0 a 1,5 %. Com 1,50 % de Cr a dureza Brinell de um aço Hadfield comum passa de 200 a 220 e com 2,0 % de Cr a aproximadamente 280.

Tem sido empregado também cromo até 5 %, mas a ductilidade e a trabalhabilidade do aço diminuem. Para contornar esse inconveniente tem sido usado o **cobre** em teores até 1,50 %.

Outro elemento de liga às vezes adicionado no aço-manganês é o **níquel**, que é vantajoso nos tipos de aço-manganês com baixo carbono, visto ser o níquel um elemento formador de austenita. A composição genérica de aços-manganês com níquel é 0,6 a 0,9 % de C, 2,5 a 3,0 % Ni e cerca de 12 % de Mn. Esses aços têm sido usados para barras de solda, laminadas ou trefiladas, e ocasionalmente em peças fundidas. Não há necessidade de se temperar esse tipo de aço em água para obtenção da necessária ductilidade, bastando para isso esfriamento ao ar.

3 — **Aços carbono-cromo** — Estes tipos de aços para resistência ao desgaste são empregados em mancais de esferas ou de rolamentos, compreendendo os tipos SAE 52100 ou 52100 A, com 1 % de C e 1,25 a 1,75 % de Cr. Tais aços podem ser usados em esferas com diâmetro superior a 1", e, com conveniente têmpera em óleo, sua dureza pode atingir 65 a 67 Rockwell C. Para esferas menores podem ser empregados os tipos SAE 50100 e 51100, com menos cromo, 0,40-0,60 % e 0,90-1,15 % respectivamente (esferas até 1/2 ou 1" respectivamente).

Com cromo acima de 10 %, precisamente na faixa de composição de 12 a 14 % de Cr e 1,50 a 2,50 % de C há formação de grandes quantidades do carboneto  $(Cr, Fe)_7C_3$  e os aços resultantes apresentam grande resistência ao desgaste sendo empregados em matrizes, lâminas de tesoura e aplicações semelhantes.

Não são esses materiais normalmente considerados aços para ferramentas, pois em suas aplicações típicas eles realmente não removem metal, mas resistem ao desgaste por atrito.