

I X

AÇOS ESTRUTURAIS

1 — **Generalidades** — Os aços estruturais constituem talvez o grupo mais importante de materiais metálicos para construção, tendo em vista o seu emprêgo, em quantidades elevadas, nas indústrias de construção civil e de transporte.

Na engenharia civil, sobretudo na construção de edifícios, pontes e outras grandes estruturas, os requisitos fundamentais que os materiais de construção devem preencher são: resistência, facilidade de fabricação, disponibilidade e baixo preço de custo. Nenhum material oferece melhor combinação desses requisitos do que o aço.

Para a maioria das aplicações consideradas, entretanto, a importância da resistência é relativamente pequena, de mesmo modo que o fator peso não é primordial. Assim sendo, os aços-carbono comuns, simplesmente laminados, sem quaisquer tratamentos térmicos, são plenamente satisfatórios e constituem na realidade, porcentagem considerável dentro do grupo de aços estruturais.

Em certas aplicações, entretanto, exige-se uma relação resistência: peso mais satisfatória. É o caso da indústria de transporte onde o equipamento utilizado — caminhões, onibus, equipamento ferroviário, equipamento rodoviário, de mineração, navios, etc. — devido às condições próprias do serviço, deve caracterizar-se por peso relativamente baixo, alta resistência, por estar sujeito a esforços severos e choques repentinos, além de resistência à corrosão adequada, visto que sendo as seções mais leves, a perda de resistência por ação corrosiva, poderia ser fatal. Nestas aplicações, os aços indicados são os de baixo teor em liga, conhecidos como «de alta resistência e baixo teor em liga».

2 — **Aços-carbono para estruturas** — Estes aços devem caracterizar-se por excelente trabalhabilidade (facilidade de dobrar ou sofrer deformações semelhantes) e soldabilidade. São geralmente utilizados no estado laminado e sem qualquer tratamento térmico.

Para a maioria das aplicações, o aço-carbono estrutural contém carbono de 0,15 a 0,40 % com os outros elementos de liga em teores normais. O aço com carbono e manganês em torno de 0,20 % e 0,50 % respectivamente apresenta limite de escoamento de cerca de 24,5 kg/mm² e limite de resistência à tração de 42,0 kg/mm².

O aumento do carbono, como se sabe, aumenta os valores desses limites, atuando no mesmo sentido, embora em grau menor,

o acréscimo da quantidade de manganês. Assim, se o carbono fôr elevado a 0,25 % e o manganês a 1,75 % ou o carbono a 0,35 % e o manganês a 0,75 %, o limite de escoamento variará de 31,5 kg/mm² a 45,5 kg/mm² e o limite de resistência à tração de 56,0 kg/mm² a 66,5 kg/mm². A melhora desses característicos é feita, entretanto, à custa da trabalhabilidade e da soldabilidade que decrescem.

Esses aços de carbono baixo a médio não oferecem, na realidade, particularidade especial alguma.

Os de alto teor de carbono — em torno do eutetoide ou mesmo até 1,0 % — já são materiais de natureza especial, utilizados em estruturas geralmente na forma de fios — cabos para pontes pênséis, por exemplo. Serão abordados em outro capítulo

3 — Aços estruturais de alta resistência e baixo teor em liga — A introdução de elementos de liga em baixos teores e a elevação da porcentagem dos elementos fósforo, silício e manganês, atuam no sentido de :

a) aumentar a resistência, permitindo, em consequência, um acréscimo substancial na carga unitária da estrutura ou tornando possível uma diminuição proporcional da secção, isto é, o emprêgo de secções mais leves;

b) melhorar a resistência à corrosão atmosférica, fator importante a considerar na utilização de seções mais finas;

c) melhorar a resistência ao choque e o limite de fadiga;

d) elevar a relação do limite de escoamento para o limite de resistência à tração, sem perda apreciável da ductilidade.

E' necessário ainda que a introdução dos elementos de liga não afete demasiadamente a trabalhabilidade e a soldabilidade dos aços, permita a obtenção das peças estruturais por laminação e não exija forçosamente tratamento térmico, embora êste possa ser conveniente em certos casos.

Os elementos de liga normalmente empregados nos aços estruturais, para a consecução dos requisitos acima enumerados, são o cobre, o níquel, o cromo e o molibdênio. Uma elevação nos teores de fósforo, silício e manganês atua no mesmo sentido, como aliás já se viu através de um exemplo há pouco dado relativamente ao manganês.

O carbono geralmente é mantido baixo (max. de 0,25 %, normalmente entre 0,10 e 0,13 %) o que explica a possibilidade de se elevar o teor de fósforo, sem o perigo da «fragilidade a frio», inconveniente típico de um alto fósforo em aços de carbono mais elevado.

Os elementos considerados, nos aços estruturais de alta resistência e baixo teor em liga, podem aparecer entre os seguintes limites :

| | | | | | |
|----|---|------|---|------|---------------|
| C | — | 0,10 | α | 0,13 | (max. 0,25 %) |
| P | — | 0,03 | α | 0,12 | (max. 0,15 %) |
| Mo | — | 0,10 | α | 0,25 | |
| Mn | — | 0,20 | α | 1,20 | (max. 1,75 %) |
| Si | — | 0,05 | α | 0,75 | (max. 0,90 %) |
| Cu | — | 0,10 | α | 0,90 | (max. 1,00 %) |
| Cr | — | 0 | α | 0,85 | (max. 1,25 %) |
| Ni | — | 0 | α | 1,80 | (max. 2,00 %) |

A ação dos elementos de liga acima citados é, em linhas gerais, a seguinte :

Fósforo — Presente normalmente em teores em torno de 0,10 %, em aço com carbono mantido muito baixo, aumenta sua resistência mecânica sem perigo de produzir a fragilidade a frio; além disso, melhora consideravelmente a resistência à corrosão atmosférica, sobretudo quando também estão presentes pequenas quantidade de cobre, cromo e níquel.

Molibdênio — Presente geralmente associado ao níquel, melhora principalmente a resiliência. Aumenta também a resistência à tração, a dureza e a tenacidade.

Manganês — Quando este elemento é introduzido em teores acima de 1,0 % é ele suficiente para aumentar a resistência mecânica do aço. Para esse fim, não haverá, pois, necessidade de outros elementos de liga, os quais, se adicionados, terão por objetivo o controle do tamanho de grão.

Silício — Geralmente mantido baixo, em quantidade suficiente para acalmar o aço. Em teores mais elevados, aumenta a resistência mecânica e contribue para melhorar a resistência à corrosão atmosférica.

Cobre — O principal efeito deste elemento é no sentido de melhorar a resistência à corrosão atmosférica; a presença de 0,25 % de cobre no aço já é suficiente para aumentar sua resistência à corrosão atmosférica de duas vezes em relação ao aço-carbono sem cobre. Esse efeito é mais acentuado pelo aumento simultâneo do teor de fósforo. O cobre exerce ainda considerável influência na resistência mecânica do aço, mas para isso é preciso que o seu teor supere 0,70 %. Nesses aços, com cobre relativamente alto (em torno de 1,0 %) e baixo carbono, verifica-se o fenômeno de «endurecimento por precipitação».

De fato, nos aços ao cobre, cerca de 0,35 % de Cu pode ser mantido em solução sólida na ferrita à temperatura ambiente, desde que eles tenham sido esfriados lentamente; o excesso de

cobre, por sua vez, pode ser precipitado da solução. Assim, se um aço com teor de cobre superior a 0,70 %, depois de esfriado lentamente, é reaquecido a temperaturas variando de 480° a 540° C durante uma a quatro horas, e em seguida resfriado, precipitam-se diminutas partículas de cobre, as quais, embora moles, tendem a evitar deslramento dos cristais, dificultando a deformação plástica e, em consequência, elevando o limite de escoamento.

Um característico interessante dos aços com cerca de 1,0 % de cobre é que a solubilidade sólida do cobre é garantida com uma velocidade de esfriamento tão baixa que mesmo em secções pesadas, como por exemplo com 15 cm de espessura, o centro está tão apto quanto a superfície a adquirir resistência pelo reaquecimento. Nessas condições, peças de dimensões consideráveis podem ter a resistência aumentada até de 15 kg/mm², uniformemente da superfície ao centro.

Um aço com 0,12% C, 0,60% Mn, 0,01% Si, 1,40% Ni, 0,95% Cu e 0,25% Mo que no estado normalizado apresentava as propriedades seguintes :

| | |
|--------------------------------|-------------------------|
| limite de escoamento | 40 kg/mm ² |
| limite de resistência à tração | 51,5 kg/mm ² |
| alongamento, em 2" | 36 % |
| estricção | 70 % |
| dureza Brinell | 155 |

depois de reaquecido durante 4 horas a 540° C, apresentou para aquelas propriedades os seguintes valores: 50 kg/mm², 59 kg/mm², 31 %, 67 % e 185, o que comprova o efeito fortalecedor do cobre, devido ao fenômeno do endurecimento por precipitação.

Cromo — Em teores baixos aumenta a resistência, o limite elástico, a tenacidade e a resiliência do aço. Em teores mais elevados aumenta a resistência ao desgaste, por formar carbonetos duros. Geralmente é associado ao níquel e ao cobre.

Níquel — A introdução do níquel beneficia o aço no sentido da melhora das propriedades mecânicas, da resistência à corrosão, além de refinar a granulação. Sob o ponto de vista de resistência à corrosão atmosférica, o Ni é quasi tão benéfico quanto o cobre, sem os inconvenientes da corrosão intergranular como, por vezes, aquele metal provoca. De fato, quando o aço está sendo aquecido para a laminação, se houver cobre presente na sua composição em teores relativamente elevados, pode-se formar uma película desse metal por baixo da camada de óxido produzida por oxidação do aço durante o aquecimento. Essa película pode penetrar no aço pelos contornos dos grãos causando fissuras por ocasião da laminação do aço. Tal fenômeno limita as adições de cobre a 0,40 - 0,50 % a não ser que se tomem cuidados especiais no aquecimento, ou que um teor de

cobre mais elevado seja acompanhado pela introdução de níquel, em quantidade de pelo menos metade da do cobre. De fato, o níquel liga-se ao cobre, eleva seu ponto de fusão e, mantendo-o sólido durante o aquecimento do aço para a laminação, evita sua penetração por entre os contornos dos grãos.

4 — **Conclusões** — A maioria das aplicações comuns da engenharia civil requer aços estruturais de custo moderado e resistência mecânica razoável: tais requisitos são preenchidos satisfatoriamente pelos aços-carbono.

Para melhores propriedades mecânicas, entretanto, e superior resistência à corrosão atmosférica, são exigidos os chamados aços «de alta resistência e baixo teor em liga» que se caracterizam pela presença em teores relativamente baixos dos elementos cobre, níquel, cromo e molibdênio, além da elevação acima dos teores normais dos elementos fósforo, manganês e silício.

Sob o ponto de vista de resistência à corrosão, o gráfico da Figura 47 ilustra bem a vantagem do emprego desses aços.

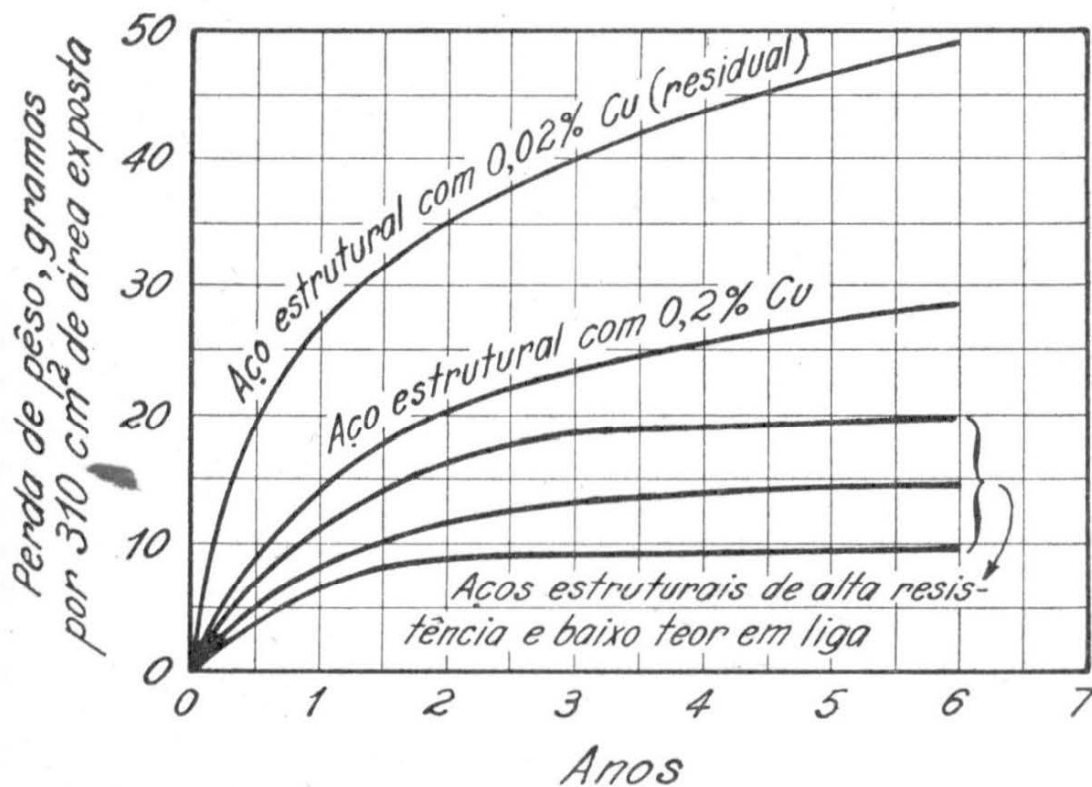


FIG. 47 — Gráfico relacionando corrosão e tempo para aços estruturais. (Figura extraída do livro «Materials Engineering of Metal Products» de N. E. Woldman).

Alta resistência mecânica e superior resistência à corrosão permitem :

a) projetar a estrutura com a mesma vida que a de aço comum, mas com apreciável redução do seu pêso;

b) projetar a estrutura com o mesmo pêso que a de aço-carbono, mas com maior resistência e vida mais longa;

c) projetar a estrutura com o menor pêso morto que assegure as maiores vantagens econômicas, mas com o risco de se obter uma vida um tanto mais curta.