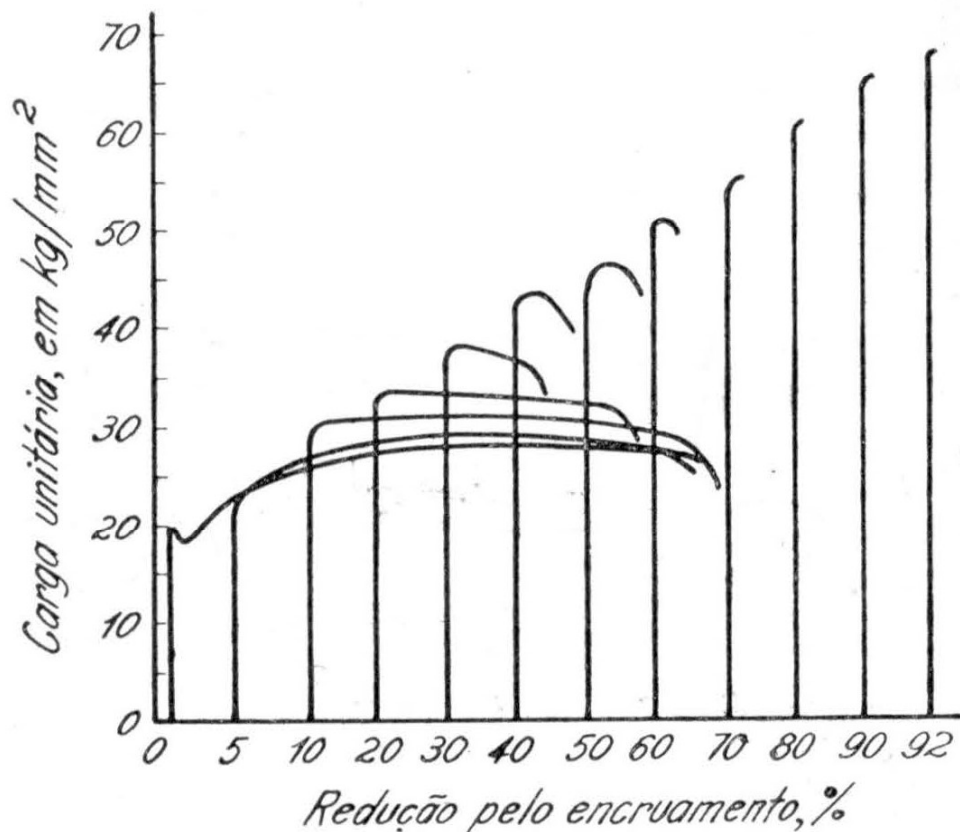


X I I

AÇOS PARA ARAMES E FIOS

1 — **Introdução** — Arames e fios são todos os produtos, geralmente de secção circular e pequeno diâmetro, utilizados na fabricação de pregos, parafusos, molas ou empregados em cêrcas, tirantes, cabos, etc. Arame e fio são realmente palavras sinônimas; entretanto, para maior clareza, será adotada na presente exposição a seguinte nomenclatura: **aramé** é o produto de secção circular e pequeno diâmetro empregado em aplicações comuns, onde não se exige característicos mecânicos especiais, como em cêrcas, ou na fabricação de parafusos e pregos; **fio** é o produto de secção circular e pequeno diâmetro para fins especiais, como tirantes, molas, cabos, etc., onde os característicos mecânicos são muito importantes.

No primeiro caso, o aço empregado é de baixo carbono, geralmente no estado recozido. No caso do fio, utiliza-se aço de médio e alto carbono ou com elementos de liga (excepcionalmente), no estado encruado. Esses produtos são obtidos por trefilação repetida a frio de barras, através de matrizes de aço especial ou carboneto de tungstênio sinterizado. Durante esse processo, o material torna-se progressivamente mais resistente,



FIG, 48 — Influência do encruamento sôbre as curvas tensão-deformação em aço de baixo carbono. (Figura extraída do livro «Modern Metallurgy for Engineers» de F. T. Sisco).

mais duro e menos dútil. Por exemplo, um fio de aço cuja resistência à tração é 134 kg/mm^2 com 2 % de alongamento, poderá apresentar valores de 190 kg/mm^2 e 0,3 % para aquelas propriedades quando seu diâmetro fôr reduzido por trefilação a cerca de 1 mm. As resistências à tração dos dois fios são tais que o mais grosso poderá necessitar de 13,3 torções completas para romper, num comprimento de 12,5 cm, ao passo que o mais fino 35,6 torções para romper, no mesmo comprimento. O gráfico da Figura 48 mostra o efeito do encruamento sobre o diagrama tensão-deformação de um aço de baixo carbono.

Na realidade, tem-se conseguido com encruamento e tratamento térmico adequado, em aços de alto teor de carbono, valores para limite de resistência à tração da ordem de 300 kg/mm^2 , se não mais.

2 — **Tipos de arames e fios** — Os arames e fios de aço podem ser classificados quer pela composição química, quer pelas suas aplicações comerciais. Na Tabela XII que se segue faz-se uma tentativa de classificação, adotando-se os dois critérios referidos :

TABELA XII

Classificação de Arames e Fios

Tipos de aço	% de carbono	Aplicações comerciais mais importantes
Baixo carbono	0,15 a 0,25 %	arame galvanizado, liso ou farpado, para cercas; pregos, parafusos, rebites, etc., geralmente no estado galvanizado; certos tipos de cabos onde a resistência é secundária.
Médio carbono	0,20 a 0,50 %	cabos para elevadores fio (ou corda) de piano (ou de música); cabos para serviço pesado; tirantes e outras aplicações estruturais de responsabilidade; molas, etc.
Alto carbono	0,60 a 1,00 %	

Os de baixo carbono são, portanto, empregados em aplicações de menor responsabilidade; mesmo no caso de cabos, citados na Tabela XII, não se exige propriedades mecânicas com valores elevados.

Os de médio carbono aliam altos limites de tração e fadiga a elevados dobramento e ductilidade, donde seu emprego em cabos para elevadores e aplicações análogas.

Os fios de alto carbono são os mais importantes dentre todos, devido às aplicações onde são utilizados exigirem elevados valores de propriedades mecânicas, além de métodos e precauções especiais nos tratamentos térmicos.

Os fios destinados a molas serão abordados no Capítulo especialmente dedicado a êsses materiais.

Os aços de alto carbono para as aplicações enumeradas na Tabela XII são geralmente submetidos a um tratamento térmico especial — o **patenteamento** — com o objetivo de se produzir uma estrutura de «perlita fina» ou de «bainita», consideradas essenciais para que êles possam sofrer satisfatoriamente as rigorosas operações de encruamento e para que, além da elevada resistência à tração, o produto resultante apresente também alta tenacidade.

Esse tratamento consiste em se aquecer o aço a uma temperatura consideravelmente superior à da linha A_3 — podendo aproximar-se de 1.000 a 1.050°C — de modo a ocorrer certo crescimento do grão da austenita, seguindo-se um resfriamento ao ar ou em banho de chumbo mantido entre 450° e 500°C . A perlita fina ou bainita resultante (conforme o tratamento seja ao ar em banho de chumbo) apresenta propriedades excelentes de tenacidade, essenciais para que o aço esteja em condições de sofrer a severa trefilação que se segue. Resulta, além disso, um fio que, a par do elevado limite de resistência à tração — 250 kg/mm^2 ou mais — apresenta tão boa ductilidade que poderá ser enrolado em torno de si várias vezes ou martelado até ficar chato sem que apareçam fissuras de qualquer natureza.

Para cabos usados em pontes pênséis êsse tratamento é hoje imprescindível. A êsse respeito Bullens (vol. III, págs. 285 e 286) cita o exemplo dos fios usados nas pontes pênséis de Mount Hope em Providence (Estado de Rhode Island, EE. UU.) e Embassador em Detroit (Estado de Michigan, EE. UU.). Nessas pontes utilizou-se aço com os seguintes característicos químicos:

C	—	0,75 %
Mn	—	0,50 %
S	—	0,15 %
P	—	0,02 %
S	—	0,03 %

Os responsáveis pela construção das pontes acreditaram que as melhores propriedades do fio poderiam ser obtidas com o seguinte tratamento: depois de trefilado o fio até o diâmetro final (cêrca de $4,9\text{ mm}$) foi êle rapidamente e consecutivamente passado através de vários banhos de chumbo nas condições seguintes: no primeiro, mantido a cêrca de 720°C , durante 24 segundos para pre-aquecimento; no segundo, mantido a cêrca de 840°C , durante 35 segundos; no terceiro, mantido a 675°C ,

durante 33 segundos e finalmente num quarto, mantido a 840°C , durante 37 segundos. Dêste último banho de chumbo o fio passou através de um banho de óleo mantido a cerca de 120°C , durante 90 segundos e através de areia durante 10 segundos. A seguir, foi revenido em banho de chumbo mantido a uma temperatura em torno de 440°C , durante 18 segundos. Finalmente, foi decapado, lavado e galvanizado por imersão em zinco fundido a 455°C . As propriedades mecânicas obtidas foram plenamente satisfatórias: 154 kg/mm^2 para limite de resistência à tração, 133 kg/mm^2 para limite de escoamento, 70 kg/mm^2 para limite de proporcionalidade, 6 % de alongamento e estrição média de 37 %.

O mesmo aço patenteado pela passagem num banho de chumbo a cerca de 1010°C e em seguida em outro banho idêntico mantido à temperatura de 488°C apresentou uma estrutura bainítica fina com dureza Brinell de aproximadamente 400, sem formação intermediária de martensita; a trefilação a frio que se seguiu até o diâmetro de cerca de 4,9 mm produziu as seguintes propriedades: 154 kg/mm^2 para limite de resistência à tração, 128 kg/mm^2 para limite de escoamento, 59 kg/mm^2 para limite de proporcionalidade, 6,5 % de alongamento, e estrição, em média, de 40 %.

Vê-se, pois, que o mesmo aço submetido ao tratamento térmico complexo citado atrás, em substituição ao patenteamento, apresentava limites de escoamento e proporcionalidade superiores ao do aço patenteado, sendo, portanto, aparentemente de melhor qualidade.

Entretanto, quando as pontes estavam em adiantado estado de montagem, os fios dos cabos começaram a romper. O «Bureau of Standards» foi incumbido de estudar as causas da ruptura. Verificou-se, então, que o fio de aço tratado termicamente, quando submetido durante 48 horas a um esforço de tração equivalente a 105 kg/mm^2 , carga inferior ao seu limite de escoamento, mas superior ao seu limite de proporcionalidade, alongou-se somente 3 % ao passo que o fio patenteado, ensaiado nas mesmas condições alongou 12 %. Verificou-se também que a superfície do fio tratado termicamente e galvanizado apresentava ocasionalmente fissuras que chegaram a profundidades às vezes apreciáveis, com cantos vivos e cheias de uma liga Fe-Zn de natureza frágil. Ensaio de tração em corpos de prova assim fissurados indicaram uma estrição de somente 7 % ao passo que em corpos de prova sem essas fissuras, a estrição atingiu 53 %.

Foram realizados também ensaios de fadiga tanto no fio tratado termicamente como no patenteado e ambos galvanizados. Na faixa de esforços de $0,42$ a $17,5\text{ kg/mm}^2$, estando os fios enrolados numa polia de raio correspondente ao dos suportes de sustentação dos cabos das pontes, verificou-se que os fios tratados termicamente falharam antes de atingir-se um milhão de ciclos ao passo que os patenteados e encruados, não. Estes últi-

mos fios tinham se adaptado ao suporte de sustentação perfeitamente, ou, ao serem ancorados nesse suporte, haviam sofrido deformação permanente devido ao seu baixo limite de proporcionalidade; isso não se verificara com os fios tratados termicamente, que, ao serem removidos do suporte, abriam-se novamente a um raio de curvatura até mesmo superior ao original, indicando, portanto, a sua não adaptação ao citado suporte. Deduziu-se que esse fato teria causado a introdução no cabo de tensões de dobramento sob a ação das cargas flutuantes do vento e do movimento resultante, tensões essas que foram de tal grandeza a superar o limite de fadiga do fio tratado termicamente. As fissuras também foram consideradas outra causa da falha prematura sob fadiga do fio tratado termicamente.

Na realidade e em resumo, parece que ficou estabelecido que as principais causas da ruptura dos fios tratados termicamente foram as seguintes:

a) maior quantidade de imperfeições superficiais do que no fio patenteado, principalmente depois da galvanização, como fissuras que provocaram concentração de esforços;

b) maior ductilidade e menores limites de proporcionalidade e de escoamento do fio patenteado, característicos que contribuíram para a sua deformação plástica ou permanente sob a ação dos esforços de dobramento ao ser o fio ancorado nos suportes de sustentação;

c) o fio tratado termicamente apresentava-se tão rígido que precisou ser pre-moldado de modo a se adaptar perfeitamente nos suportes de sustentação, o que não foi necessário fazer no fio patenteado. Essa pre-moldagem resultou em tensões de dobramento residuais nas fibras externas do fio tratado termicamente, que apresentava maior quantidade de imperfeições superficiais. Essas tensões residuais elevadas não puderam ser aliviadas naturalmente devido à baixa ductilidade do aço.

3 — **Conclusões** — Os fios de aço para aplicações de responsabilidade exigem características mecânicas adequadas: não só altos limites de resistência à tração e à fadiga como também uma combinação de valores de limites de escoamento, de proporcionalidade, alongamento e estrição tal que os torne facilmente adaptáveis às condições de serviço, por vezes extremamente severas. Para isso, é importante que se fixe perfeitamente tanto a composição química do aço, como também, e talvez principalmente o tipo e as condições de tratamento térmico antes ou após a trefilação.