

## X I I I

## AÇOS PARA MOLAS

1 — **Introdução** — As molas constituem elementos de máquina que exigem cuidados excepcionais tanto no que se refere ao seu projeto como em relação aos materiais de que são fabricadas. De fato, as condições de serviço das molas são, muitas vezes, extremamente severas, quer pelas cargas e tipos de esforços que irão suportar, quer devido às temperaturas, meios corrosivos, vibração, etc., a que podem estar sujeitas.

De um modo geral, há dois tipos de molas: **molas helicoidais** ou em espiral e **molas de lâmina ou em fôlha**; as **helicoidais** compreendem as seguintes subdivisões (Fig. 49):

a) **mola de extensão**, caracterizadas por serem de bobina fechada, destinadas a suportar esforços de tração;

b) **molas de compressão**, de bobina aberta, destinadas a suportar esforços de compressão;

a) **molas de extensão**, caracterizadas por serem de bobina tar esforços de tração.

Na realidade, nas molas de extensão e compressão o material trabalha sob torção e nas de torção o material trabalha sob dobramento.

As molas helicoidais são fabricadas a partir de barras e fios, ao passo que as «em fôlha» a partir de tiras de aço.

Os materiais das molas, sobretudo as barras e fios de certas molas helicoidais (como as utilizadas em válvula), devem apresentar-se isentos de imperfeições as quais, se em outras aplicações ou em tipos mais simples de molas não têm maior efeito, no caso de certas molas, como as acima citadas devido às altas tensões e à fadiga interna a que êsses materiais são submetidos, podem ser grandemente prejudiciais. As imperfeições ou defeitos que devem ser evitados são os seguintes: marcas das ferramentas, riscos das matrizes de trefilação, inclusões, rugosidade superficial, descarbonetação superficial, etc. Essas imperfeições são vitais, principalmente quando as molas estão sujeitas a condições severas de fadiga. De fato, pesquisas feitas pela indústria automobilística revelaram que praticamente todas as rupturas por fadiga em molas de válvulas começaram numa imperfeição ou defeito interno ou superficial.

Sob o ponto de vista físico, exige-se de uma mola os seguintes características mecânicos:

— alto limite de escoamento (da ordem de  $140 \text{ kg/mm}^2$ ), ou, mais precisamente, elevado limite de proporcionalidade de modo a não apresentar deformação permanente apreciável;

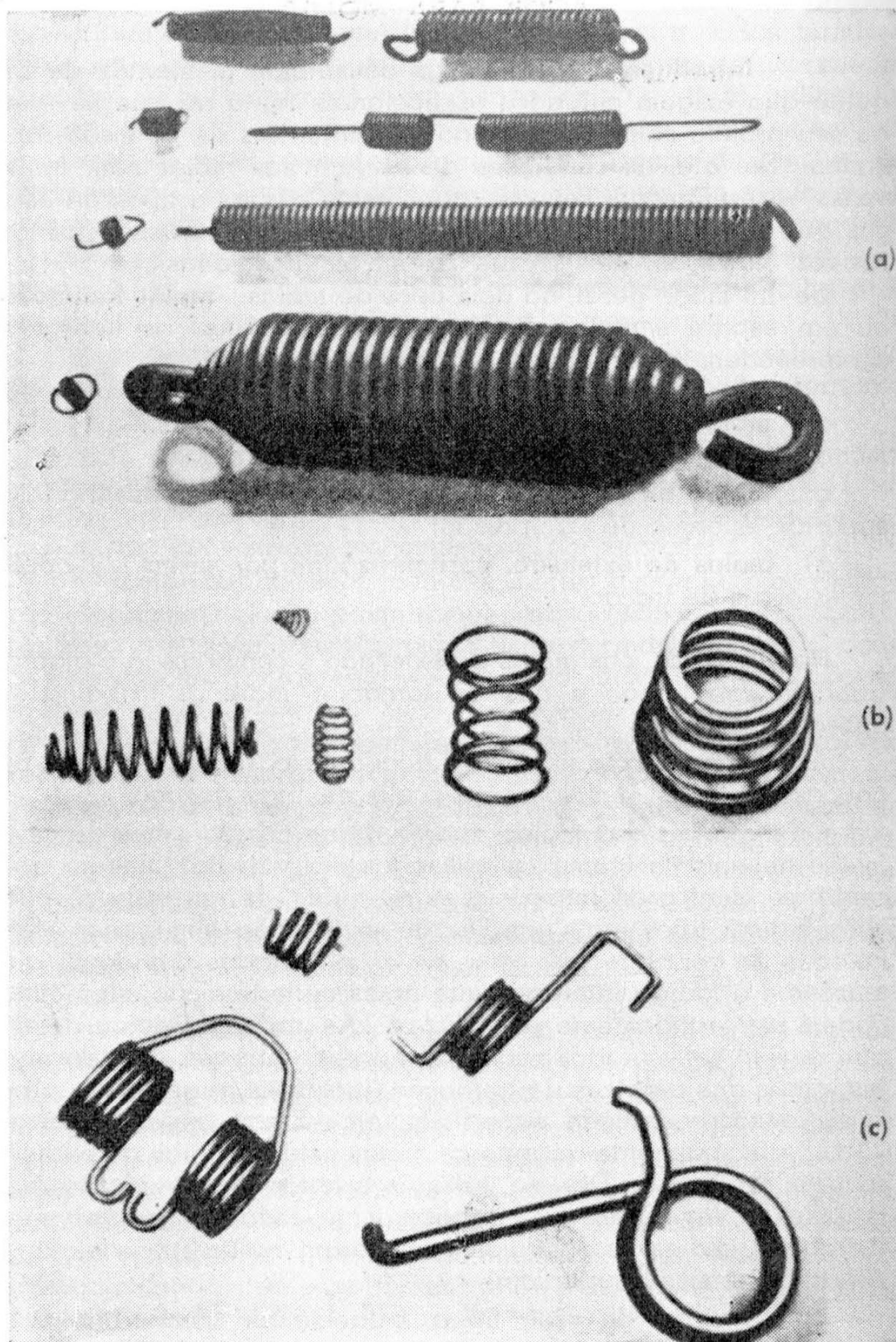


FIG. 49 — Exemplos de molas helicoidais.  
a) de extensão; b) de compressão; c) de torção.

— alto limite de fadiga, pois, como já se mencionou no caso da indústria automobilística, praticamente toda a mola falha por fadiga, originando-se a ruptura em algum ponto de concentração de tensões, devido às imperfeições ou irregularidades já citadas;

— elevada resiliência, principalmente em molas para automóveis, aviões e aplicações similares.

**2 — Fabricação e composição química** — Os aços-carbono, com teor de carbono variando de 0,50 a 1,20 %, satisfazem quasi que completamente aos requisitos exigidos das molas, de modo que a grande maioria desses elementos de máquina é feita com aqueles tipos de aços.

Dependendo da qualidade, custo e aplicação, escolhe-se o tipo de aço mais adequado e o processo de fabricação mais conveniente. De um modo geral, há dois grupos principais de materiais e processos:

— as molas que são obtidas a partir de tiras e fios de aço-carbono ou aço-liga no estado recozido; estes materiais depois de conformados na forma de molas são temperados em óleo e revenidos;

— as molas que são fabricadas a partir de tiras ou fios de aços já endurecidos, isto é, no estado temperado e revenido, ou patenteados e estirados a frio, ou estirados e encruados, incluindo-se a «corda de piano»; estes materiais, depois de conformados em molas, sofrem usualmente um tratamento térmico a baixa temperatura para alívio das tensões originadas no trabalho a frio. As molas obtidas nestas condições são suficientemente endurecidas de modo a apresentar um limite de proporcionalidade elevado, que resista satisfatoriamente às cargas de serviço; não devem, entretanto, ser excessivamente duras, para não romperem ao serem conformadas.

Os aços-liga apresentam melhores propriedades de fadiga e limites elásticos mais elevados do que os aços-carbono, sendo, portanto, preferidos em algumas aplicações. São, entretanto, mais suscetíveis a certas imperfeições superficiais.

As molas de aço-carbono, com diâmetros até 5/8", podem ser utilizadas com suficiente segurança até temperaturas da ordem de 175° C desde que não sejam carregadas além de 56 kg/mm<sup>2</sup>; se for permitida uma pequena deformação permanente em serviço, poderão ser usadas até cerca de 200° C, com carga não superior a 84 kg/mm<sup>2</sup>. De qualquer modo, em molas de compressão, o aço-carbono não permite temperaturas superiores a 200° C, porque resulta uma fluência (creep) cuja intensidade vai depender das tensões de serviço e do tempo de aplicação das cargas.

Já os aços-liga Si-Mn, Cr-V, etc., típicos para molas, possibilitam o emprego das molas, em diâmetros até 5/8", até temperaturas da ordem de 200° C, se a carga de serviço não for superior a 56 kg/mm<sup>2</sup> ou até temperaturas de cerca de 230° C

se se permitir pequena deformação permanente e desde que a tensão em serviço não vá além de 84 kg/mm<sup>2</sup>.

Alguns dos principais tipos de aços empregados em molas estão indicados na Tabela XIII.

**T A B E L A X I I I**  
**Tipos de Aços usados em Molas**

Aço SAE	C %	Mn %	Si %	Cr %	V %	Mo %	Ni %
1045	0,43—0,50	0,60—0,90	—	—	—	—	—
1065	0,60—0,70	0,60—0,90	—	—	—	—	—
1085	0,80—0,93	0,70—1,10	—	—	—	—	—
1095	0,90—1,05	0,30—0,50	—	—	—	—	—
4068	0,63—0,70	0,75—1,00	0,20—0,35	—	—	0,20—0,30	—
6150	0,48—0,53	0,70—0,90	0,20—0,35	0,80—1,10	0,15 min	—	—
8650	0,48—0,53	0,75—1,00	0,20—0,35	0,40—0,60	—	0,15—0,25	0,40—0,70
9260	0,55—0,65	0,70—1,00	1,80—2,20	—	—	—	—

### 3 — Molas helicoidais de grande secção para serviço pesado

— A grande secção em determinadas molas helicoidais é necessária para suportar as pesadas cargas de serviço. Estas molas são fabricadas pelo enrolamento a quente de barras de aço. Em seguida, são temperadas em óleo e revenidas. A superfície da mola deve apresentar-se lisa e isenta de descarbonetação, pois, do contrário, seu limite de fadiga será diminuído. Para máximo valor de limite de fadiga, portanto, é preciso esmerilhar as barras de aço antes de serem conformadas em molas.

As molas para serviço pesado são comumente feitas com aços-carbono de alto C (tipo SAE 1085 ou 1095) ou aço Cr-V (tipo SAE 6150) ou aço Si-Mn (tipo SAE 9260), ou outros menos comuns.

No caso do aço de alto carbono e para molas de compressão as cargas permissíveis são geralmente as seguintes:

57 kg/mm <sup>2</sup>	para serviço leve
49     "	para serviço médio
39     "	para serviço pesado

4 — **Molas helicoidais de pequena secção** — As molas aqui incluídas são as que apresentam diâmetro de, no máximo, 1/2". Tais molas são obtidas enrolando-se a frio barras ou fios de aço, numa das seguintes condições:

- temperado e revenido;
- trefilado a frio;
- patenteado e encruado («corda de piano»).

As composições, propriedades, assim como aplicações típicas dessas molas estão indicadas na Tabela XIV.

As molas de extensão são usualmente fabricadas com a chamada «tensão inicial» que consiste numa pressão ou pre-carregamento entre bobinas adjacentes. Por essa razão, essas molas são feitas a partir de fios já temperados e revenidos; de fato, o aço sob «tensão inicial» apresenta tensões residuais que seriam eliminadas se a mola fôsse temperada e revenida depois de conformada.

## TABELA XIV

## Composição e Propriedades de Aços-Carbono para Molas de Pequena Secção

	CONDIÇÃO DO AÇO		
	Temperado e Revenido	Encruado	Patenteado e Encruado (corda de piano)
Carbono	0,60—0,70	0,45—0,75	0,75—1,00
Manganês	0,60—1,20	0,90—1,20	0,25—0,50
Fósforo	0,04 (max.)	0,045 (max.)	0,030 (max.)
Enxôfre	0,10—0,20	0,045 (max.)	0,035 (max.)
Silício	0,04 (max.)	0,10—0,20	0,10—0,25
Limite de Resistência à Tração	108,5—210 kg/mm <sup>2</sup>	105—210 kg/mm <sup>2</sup>	175—280 kg/mm <sup>2</sup>
Limite de Elasticidade em tensão	84,0—175 "	70—140 "	105—210 "
Limite de Torção	80,5—140 "	84—154 "	105—210 "
Limite de Elasticidade em torção	70—84 "	77—98 "	91—140 "
Alongamento	5—2 %	3—2 %	cêrca de 8 %
Módulo de Elasticidade em tensão	20.300 kg/mm <sup>2</sup>	20.300 kg/mm <sup>2</sup>	21.000 kg/mm <sup>2</sup>
Idem em torção	8.050 "	8.050 "	8.050 "
Dureza Rockwell C	40—50	40—48	42—46
Cargas de trabalho recomendadas:			
Serviço leve	56 kg/mm <sup>2</sup>	42 kg/mm <sup>2</sup>	70 kg/mm <sup>2</sup>
" médio	45,5 "	35 "	59,5 "
" pesado	38,5 "	28 "	52,5 "
Aplicações usuais	Emprêgos gerais, onde a carga não é muito elevada e quando a mola não é sujeita a choques contínuos	Tipo de menor preço; emprêgos em molas sujeitas a cargas constantes ou quando a repetição de esforços não é muito frequente.	Um dos aços de melhor qualidade que se conhece; para pequenas molas helicoidais e de torção que devem obedecer a rigorosos requisitos físicos, sujeitas a cargas elevadas ou a cargas repentinamente aplicadas.

O material chamado «corda de piano» ou «fio de música» constitui um dos aços de melhor qualidade para molas. Ele é capaz de suportar enrolamento em torno de um eixo 3 a 3,5 vezes o seu próprio diâmetro sem ruptura. As molas fabricadas com esse tipo de aço são usualmente submetidas a um tratamento a baixa temperatura (260 a 290°C) para alívio de tensões e melhora do limite elástico e da resistência à deformação quando em serviço.

No caso das molas de tração, esse tratamento causa uma queda da tensão inicial. Por essa razão, nessas molas não só o tratamento de alívio de tensões é feito a uma temperatura mais baixa, como também elas são enroladas com um excesso de tensão inicial, visto que o tratamento final reduz tal tensão.

As molas feitas com aço tipo «corda de piano», se bem que sejam as mais tenazes e as que suportam as mais severas con-

A Tabela XV dá a composição e as principais propriedades desses tipos de aço.

TABELA XV

## Composição e Propriedades de Aços-Liga para Molas

	Aço SAE 6150 (Cr-V)	Aço SAE 9260 (Si-Mn)
Carbono	0,48—0,53 %	0,55—0,65 %
Manganês	0,70—0,90	0,70—1,00 %
Fósforo	0,025 (max.)	0,040 (max.)
Enxofre	0,025 "	0,040 "
Silício	0,20—0,35	1,80—2,20
Crômo	0,80—1,10 %	—
Vanádio	0,15—1,20 %	—
Limite de resistência à tração	140—175 kg/mm <sup>2</sup>	140—175 kg/mm <sup>2</sup>
Limite de elasticidade em tensão	126—161 "	126—161 "
Limite de torção	112—136,5 "	98—136,5 "
Limite de elasticidade em torção	105—126 "	84—126 "
Alongamento em 2"	8—5	12—9
Módulo de elasticidade em tensão	21.000 kg/mm <sup>2</sup>	21.000 kg/mm <sup>2</sup>
Idem em torção	8.050 "	8.050 "
Dureza Rockwell C	42—48	42—48
Cargas de trabalho recomendadas (em molas de compressão):		
serviço leve	59,5 kg/mm <sup>2</sup>	56,0 kg/mm <sup>2</sup>
serviço médio	52,5 "	49,0 "
serviço pesado	42,0 "	38,5 "
Características gerais	Resistência ao calor superior aos aços-carbono	Resistência ao calor superior ao tipo Cr-V

dições de carga, não devem ser expostas a temperaturas superiores a 120° C, pois que sofrerão, já a 120° C, uma perda de carga de cerca de 5 % quando solicitadas a 70 kg/mm<sup>2</sup> e tal perda de carga aumenta rapidamente com a temperatura.

Quando se deseja molas para suportar tensões muito altas, principalmente a temperaturas elevadas, recorre-se a aços que apresentem melhores valores de limite de escoamento, limite de elasticidade e limite de fadiga. Satisfazem a êsses requisitos os aços-liga entre os quais, os Cr-V e Si-Mn, tipos SAE 6150 e 9260 respectivamente.

5 — **Molas de lâmina ou «em fôlha»** — Nestes tipos de molas, os aços mais frequentemente usados são os relacionados na Tabela XIII.

Os aços para as molas de pequena espessura (essa dimensão inferior a 1/8") podem ser fornecidos nas condições seguintes: laminado a quente, laminado a frio, laminado a frio e recozido, temperado e revenido. Os aços de carbono mais baixo — SAE 1045 — são usados no estado laminado a frio, sem necessidade de têmpera e revenido, quando a mola é de pequena espessura (1/16" ou menos), quando não será solicitada com elevadas cargas e também quando o baixo custo é fator importante.

Os aços de mais alto teor de carbono, assim como os aços-liga, suportam condições mais severas de serviço.

Quando a mola foi fabricada a partir de tiras laminadas a frio ou já temperadas e revenidas, o único tratamento térmico que sofre, depois de conformada, é um aquecimento para alívio de tensões, realizado durante 20 a 30 minutos, a baixas temperaturas, 230° a 290° para aços-carbono e até 385° para aço-liga.

No caso das molas terem sido fabricadas a partir de aços-carbono laminados a quente ou recozidos, elas exigem têmpera e revenido. O aquecimento para a têmpera varia de 785° a 830° C com esfriamento em banho de óleo mantido entre 40 e 60° C, seguindo-se, o mais cedo possível, o revenido a temperaturas variando entre 360° e 425° C dependendo da dureza final desejada. Esta deve ser da ordem de 40 a 44 Rockwell C quando se tolera certa deformação permanente, e 44 a 48 Rockwell C quando se exige a máxima resistência à deformação permanente. De qualquer maneira, as molas de aço-carbono nunca devem apresentar dureza Rockwell C superior a 50, pois acima desse valor o material tende a tornar-se frágil.

Tratando-se de aços-liga, dos tipos SAE 6150, 9260 ou 8650, as temperaturas dos tratamentos térmicos são:

têmpera — 855° a 885° C, com esfriamento em óleo;

revenido — 385° a 480° C, dependendo da dureza final desejada.

A dureza Rockwell C nos aços-liga pode ser superior à dos aço-carbono de cerca de 4 pontos, devido à presença dos elementos de liga.

As molas «em fôlha» de espessura superior a  $\frac{1}{8}$ " , aplicadas principalmente na indústria automobilística, ferroviária e de equipamento agrícola, são obtidas a partir de aços-carbono ou aços-liga no estado laminado a quente ou recozido. As molas são conformadas a quente e depois de esfriadas são reaquecidas para a têmpera. A temperatura desse tratamento varia da faixa de  $830^{\circ}$  -  $880^{\circ}$  C para aços-carbono até  $850^{\circ}$  -  $900^{\circ}$  C para aços-liga. O esfriamento é feito em óleo recirculando e mantido a temperaturas entre  $40^{\circ}$  e  $60^{\circ}$  C. O revenido, imediatamente após a têmpera, é levado a efeito a temperaturas entre  $360^{\circ}$  a  $425^{\circ}$  C para aços-carbono e  $385^{\circ}$  a  $480^{\circ}$  C para aços-liga, dependendo da dureza final desejada.

De acôrdo com a deformação permanente tolerada, a dureza final dessas molas deve ser a seguinte :

**aços-carbono** — 352 a 388 Brinell, quando se tolera certa deformação permanente;

— 388 a 444 Brinell, quando se exige máxima resistência à deformação permanente.

**aços-liga** — 375 a 415 e 415 a 461 Brinell, nas mesmas circunstâncias, respectivamente.

Também nas molas «em fôlha», tanto de pequena como de grande espessura, as imperfeições superficiais devem ser evitadas, sobretudo em condições severas de serviço, pois tais irregularidades são, como se viu, os pontos iniciais de ruptura por fadiga.

6 — **Conclusões** — Os aços para molas são de certo modo semelhantes aos aços comerciais comuns, com a diferença que geralmente apresentam maiores teores de carbono e manganês e requerem muito maior cuidado e maior número de operações para a sua fabricação. Os principais característicos físicos exigíveis são : alto limite de elasticidade e alto limite de fadiga. O primeiro é conseguido através de bem estudados e cuidadosos tratamentos mecânicos e térmicos e o segundo também pela obtenção de uma superfície perfeita, tanto quanto possível isenta de irregularidades tais como descarbonetação superficial, marcas de ferramentas, riscos das matrizes de trefilação, rugosidade, pequenas fissuras, etc..

Para a maioria das aplicações, em condições normais de serviço e à temperatura ambiente, os aços de alto carbono são satisfatórios, devendo-se salientar o tipo chamado «corda de piano» que constitui um dos aços mais finos que se conhece.

Para condições mais severas de serviço, em que se exige principalmente maiores limites de resistência à tração e de elasticidade, além de melhor comportamento a temperaturas mais elevadas, recorre-se aos aços-liga de baixo teor em liga, entre os quais os mais importantes, são : Cr-V (tipo SAE 6150) e o Si-Mn (tipo SAE 9260).