

# DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DE UMA AREIA DE MOLDAGEM PARA LIGAS DE MAGNÉSIO <sup>(1)</sup>

VICTOR LO RÉ <sup>(2)</sup>

SÉRGIO AUGUSTO DE SOUZA <sup>(3)</sup>

## RESUMO

*No presente trabalho são determinadas as características de uma areia de moldagem para ligas de magnésio, variando-se o tempo de mistura e a umidade. Os resultados obtidos demonstram a importância do controle rigoroso destas condições a fim de se obter as características desejáveis.*

## 1. INTRODUÇÃO

Em trabalho anterior<sup>1</sup> foi estudada a técnica de preparo e fundição das ligas de magnésio. Como complemento, neste trabalho, são apresentadas as características das areias de moldagem utilizadas, em função das variáveis: tempo de mistura e umidade.

## 2. PREPARO DOS CORPOS DE PROVA E DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS

Os corpos de prova foram preparados de acordo com o método M-36 IPT<sup>2</sup> a partir de dois tipos de areia estudadas e designadas como A e B. Estas areias para faceamento foram preparadas em misturador tipo "Simpson" conforme a técnica recomendada para as areias em geral com este tipo de equipamento<sup>3</sup>.

---

(1) Contribuição Técnica n.º 505. Apresentada ao XVIII Congresso Anual da Associação Brasileira de Metais; Belo Horizonte, julho de 1963.

(2) Membro da ABM; Engenheiro Responsável da Seção de Areias e Materiais de Moldagem do Instituto de Pesquisas Tecnológicas; São Paulo, SP.

(3) Membro da ABM; Engenheiro Responsável da Seção de Ligas Não-Ferrosas do Instituto de Pesquisas Tecnológicas; São Paulo, SP.

a) *Misturas:*<sup>4</sup>

<i>Componentes</i>	<i>Tipo A</i>	<i>Tipo B</i>
Areia base (módulo 100) .....	87,5	88
Argila .....	3,5	4,5
Enxôfre .....	4,5	1,5
Ácido bórico .....	0,5	1,5
Glicol dietileno .....	—	1,5
Água .....	variável	variável

b) *Função dos aditivos* — O magnésio é um metal que se oxida muito facilmente em presença de água e do ar. Para ser evitada esta reação, adiciona-se nas areias de moldagem agentes inibidores. A reação de oxidação do Mg formando MgO, além de perdas, contribui para a formação de bôlhas, porosidades e inclusões nas peças. Sendo assim, o enxôfre adicionado na areia se encarrega de formar uma atmosfera protetora de SO<sub>2</sub>, combinando-se com o oxigênio do ar do molde, impedindo a reação com o Mg<sup>5</sup>.

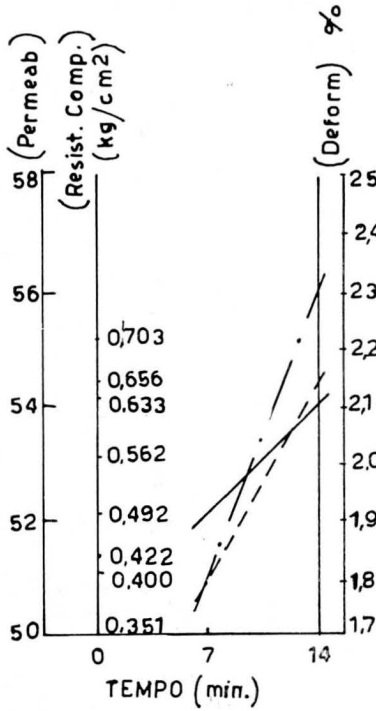
O ácido bórico forma com o Mg uma película superficial protetora que bloqueia a queima do metal<sup>5</sup>. O glicol dietileno reduz o teor de água por retenção, impedindo a formação de bôlhas no resfriamento, evitando também a reação da água com o metal<sup>4</sup>. Os moldes poderão ser secados a baixa temperatura (100°C max.), para que não haja perda demasiada dos agentes inibidores. A areia base deverá estar isenta de materiais alcalinos e orgânicos.

c) *Ensaio* — As características determinadas foram as de resistência à compressão, deformação e permeabilidade, julgadas de maior interesse para êste estudo.

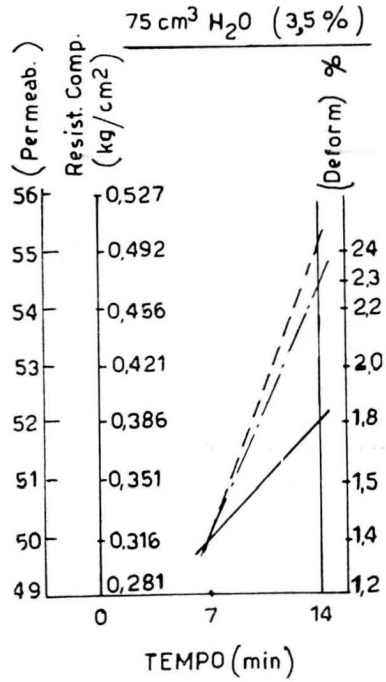
A resistência à compressão e a deformação nos permitem obter a resiliência que é o produto dêstes dois valores. A propriedade de moldabilidade é avaliada pela consistência e pela plasticidade. A consistência é obtida pelo valor do ensaio de resistência à compressão e a plasticidade é dada pelo valor da deformação.

d) *Resultados obtidos na determinação das características:*

AREIA TIPO A — Variando-se a umidade de 3,0% a 4,0% e o tempo de mistura de 3,5 a 14 minutos, observa-se pelos resultados demonstrados nos gráficos 1, 2 e 3, que as características melhoram com teores baixos de umidade e com um tempo maior de mistura. A umidade mantida nesse teor de 3,0% apresenta excelentes propriedades de moldabilidade e a resistência do molde é perfeitamente satisfatória.



60 cm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>O (3,0 %)



Figs. 1 e 2 — Características da areia tipo «A»; melhoram com baixos teores de umidade e com maiores tempos de mistura. Convenção:

- : permeabilidade
- - - - - : deformação
- · - · - : resistência a compressão

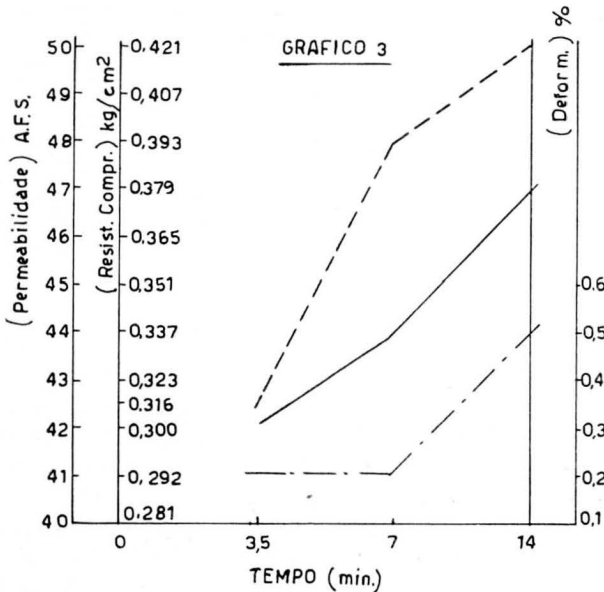


Fig. 3 — Características da areia tipo «A»; com as mesmas convenções das figuras 1 e 2, a figura mostra melhoria de características.

AREIA TIPO B — Neste caso, como pode ser observado no gráfico 4, com 7 minutos de mistura, obtém-se boas características para a permeabilidade e deformação, embora a resistência à compressão aumente com o tempo de mistura. O gráfico 5 demonstra o efeito da variação da umidade, observando-se que entre 3% e 4% de adição de água com tempo de mistura de 7 minutos, os valores obtidos são satisfatórios. Entretanto, o glicol adicionado concorre para que os valores determinados no ensaio de umidade sejam erráticos pela introdução de água contida no próprio inibidor.

### 3. AREIAS DE MACHO

Areias para macho necessitam ser bem colapsíveis por serem as ligas de magnésio susceptíveis a trincas durante a solidificação. Para isso, acrescenta-se uréia formaldeído à areia, que tendo temperatura de estufagem baixa, impede a perda dos outros inibidores mais voláteis, além de fornecer a requerida boa colapsibilidade.<sup>6</sup> O silicato de sódio possui propriedade semelhante à uréia formaldeído.

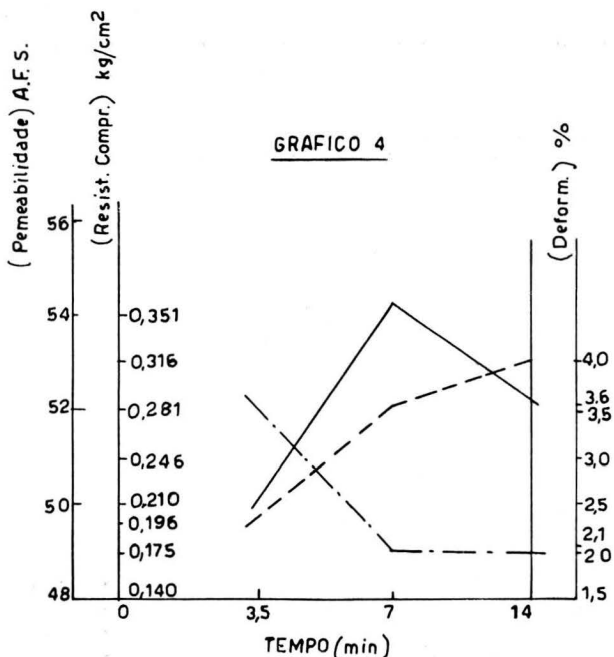


Fig. 4 — Areia tipo "B"; mesmas convenções. Com 7 minutos de mistura obtém-se um bom conjunto de características.

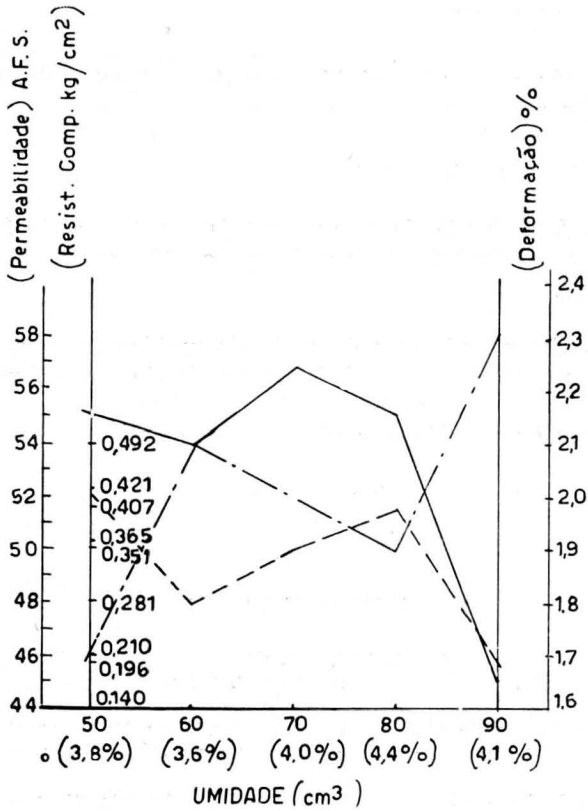


Fig. 5 — Mesmas convenções. Com adição de água entre 3% e 4% e com tempo de mistura de 7 minutos, as características obtidas são satisfatórias.

Algumas composições típicas são as seguintes: <sup>7</sup>

	(%)	(%)
Areia (módulo 80) .....	70,00	70,0
Areia (módulo 140) .....	21,25	22,0
Mogul .....	0,75	—
Ácido bórico .....	1,5	—
Enxôfre .....	1,5	3,0
Uréia formaldeído .....	1,0	—
Água .....	4,0	—
Silicato de sódio .....	—	5,0

O macho precisa ter grande permeabilidade aos gases, além das demais propriedades que devem ter estas areias no caso da fundição dos outros metais.

## 4. CONCLUSÕES

1 — Os resultados obtidos na determinação das características das areias estudadas demonstram claramente o efeito da variação da umidade e do tempo de mistura, ressaltando desta forma a importância do seu controle.

2 — A umidade deve ser mantida em teores de 3% para as areias sem glicol distileno e de 3% a 4% para as areias com este aditivo.

3 — Outras misturas de areia de moldagem para ligas de magnésio poderão ser estudadas a partir do conhecimento das características destas areias ensaiadas. Como exemplo, poderia o glicol ser substituído por glicerina ou soluções de glicose.

4 — O glicol introduz valores erráticos para as características.

## BIBLIOGRAFIA

1. BEREZIN, Isaac e SOUZA, Sérgio A. de — *Fundição de Ligas de Magnésio em Areia*. ABM-Boletim, n.º 73, vol. 18, novembro de 1962.
2. *Métodos de Ensaio* elaborados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas M-32 a M-46.
3. LO RE, Victor — *Prática do Preparo de Areias Sintéticas para Fornos Fundidos*. ABM-Boletim, n.º 58, vol. 16.
4. EASTWOOD, L. W. — *Selecting Inhibitors for Magnesium Molding Sand*. The Foundry, pág. 80, janeiro de 1945.
5. WOLDMAN, Norman E. — *Magnesium*. ASM, pág. 47.
6. *Molding and Core Practice for Magnesium Foundries*. Boletim da "The Dow Chemical Co."
7. FLEMINGS, M. C.; POIRIER, E. J.; TAYLOR, H. F. — *Premium Quality Magnesium Castings for Missile Applications*. Modern Castings, pág. 91, setembro de 1960.

# ALGUNS PROBLEMAS NA ELABORAÇÃO E NO SERVIÇO DE PISTÕES DE LIGAS DE ALUMÍNIO <sup>(1)</sup>

OTTO WEINBAUM <sup>(2)</sup>

## RESUMO

*O Autor, acatado especialista, aborda alguns problemas que surgem na fabricação e no serviço de pistões de ligas de alumínio.*

### 1. GENERALIDADES

O pistão representa o lado inferior da câmara de combustão; assim, tem de executar os movimentos verticais de vai-e-vem dentro do cilindro, sem deixar escapar gases de combustão para o cárter e sem deixar entrar óleo dêste para a câmara de combustão. Com estas exigências já estão implícitas algumas das propriedades que o material usado para pistões deve possuir:

- 1) Pêso específico baixo, devido às massas em movimento que têm de ser aceleradas e paradas, alternativamente.
- 2) Resistência mecânica e dureza em temperaturas que podem atingir aproximadamente 450°C.
- 3) Resistência ao desgaste, tanto nos furos para pinos, como na saia do pistão.

Além dessas três características, deve-se ainda exigir do metal: boa fundibilidade ou forjabilidade; estabilidade das dimensões; dilatação térmica de grandeza tal que possa ser controlada e, finalmente, boa usinabilidade, tratando-se de peça a ser produzida em grandes séries.

---

(1) Contribuição Técnica n.º 506. Apresentada ao XVIII Congresso Anual da Associação Brasileira de Metais; Belo Horizonte, julho de 1963.

(2) Membro da ABM; Engenheiro Chefe dos Laboratórios da Metal Leve S/A. e Professor Colaborador da Escola Politécnica da USP; São Paulo, SP.

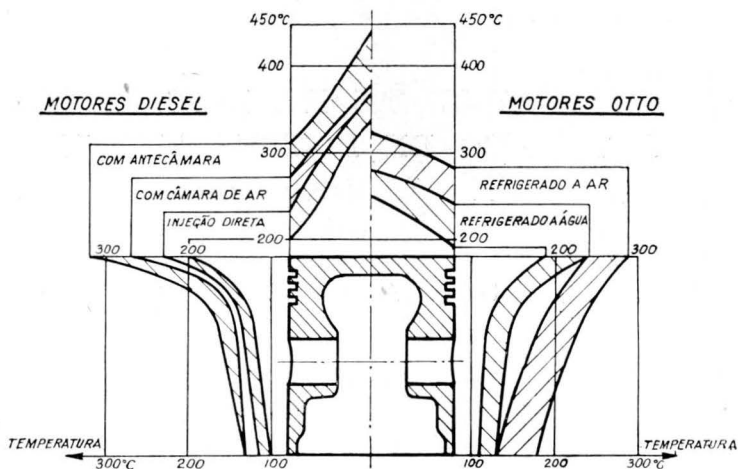


Fig. 1 — Curvas das temperaturas em pistões de ligas de alumínio, em serviço. Segundo Koch, referência List: "Motores de combustão interna".

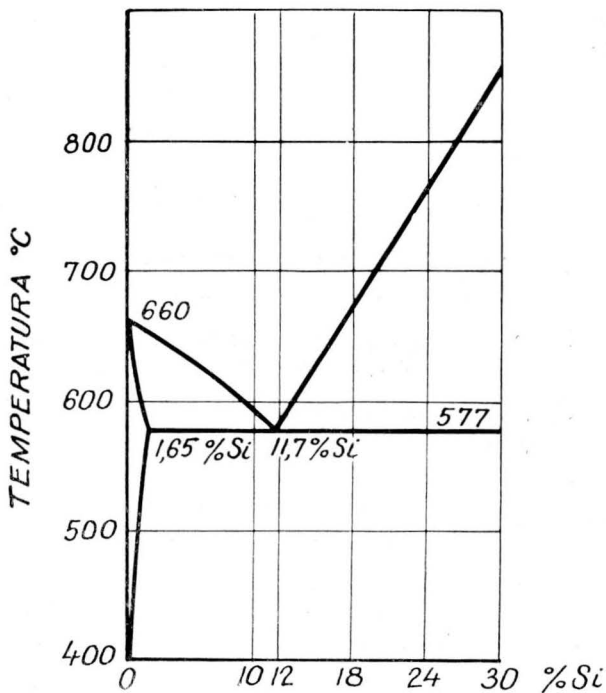


Fig. 2 — Sistema binário Al-Si, segundo M. Hansen: "Constitution of binary alloys", 1958.



## 2. MATERIAIS PARA PISTÕES

Enquanto há trinta anos atrás, ainda uma grande parte dos pistões para motores de combustão interna era fabricada de ferro fundido, atualmente mais do que 90% da produção mundial de pistões são produzidos com ligas de alumínio. Os principais elementos de liga adicionados ao alumínio são: Silício, Cobre, Níquel e Magnésio. Em certos casos, adiciona-se ainda uma pequena quantidade de cromo ou manganês, que pode atingir 0,4%.

Como *impurezas* são consideradas as quantidades mínimas encontradas nas ligas de outros elementos, como: Ferro, Titânio, Zinco, Cálcio e também, geralmente, o Manganês.

TABELA 1

LIGAS	Si	Cu	Ni	Mg	Fe (max)	Mn	Ti (max)	Zn (max)	Cr
Y	até 0,5	4	2	1,5	0,5	0,2 (max)	0,2	0,2	-
SILUMIN	12	-	-	0,3	0,5	0,4	0,15	-	-
AL - 12 Si	12	1	1	1	0,5	0,2 (max)	0,2	0,2	-
AL - 18 Si	18	1	1	1	0,5	0,2 (max)	0,2	0,2	-
AL - 24 Si	24	1	1	1	0,5	0,2 (max)	0,2	0,2	0,4

A tabela 1 permite uma orientação sôbre os teores aplicados de elementos nas ligas de alumínio.

*Silício* — O elemento que determina a microestrutura nas ligas de Silumin e das ligas com mais de 12% de Si, é o *silício*. Enquanto uma adição de Si até aproximadamente 2% diminui a fundibilidade de liga de Al (liga Y, por exemplo), teores acima de 2% elevam-na. Além disso, melhora consideravelmente a resistência ao desgaste, especialmente nas ligas hiper-eutéticas, cujos teores de Si se encontram acima de 11,7% de Si. A causa dêste fenômeno é a formação de cristalitos primários que precipitam por ocasião da solidificação.

Surgem, entretanto, dificuldades com o aumento do intervalo das temperaturas da solidificação: enquanto na liga de 12% de Si (que corresponde praticamente à liga eutética) o intervalo entre o início e o fim da solidificação é mínimo, êste

intervalo aumenta com o teor crescente de Si; com isso ocorre um crescimento dos cristalitos primários de Si, cujo tamanho deve ser limitado para obter ótimas condições de serviço. Isto é conseguido pelo tratamento do banho. Outra dificuldade consiste no peso específico do Si (2,33 g/cm<sup>3</sup>) que é menor do que o da liga de Al (2,7 g/cm<sup>3</sup>) e que pode provocar aglomerações destes cristalitos na parte *superior* do produto fundido, como é freqüentemente observado nos lingotes. Pela adição de Si não se visa obter solução mais concentrada (pois a solubilidade do Al no Si é no máximo de 1,65%), mas a formação de uma estrutura heterogênea de melhores características de deslizamento.

*Cobre* — Este elemento é adicionado em teores de cerca de 1% nas ligas austéticas e hipereutéticas, enquanto a liga antiga "Y" recebia 4%. O objetivo desta adição é a elevação da resistência mecânica e de dureza que se consegue por meio de um tratamento térmico adequado em consequência da solubilidade (5,7 máx.) decrescente com a diminuição de temperatura. Com este tratamento térmico, descrito adiante mais detalhadamente, o teor de Cu entra em solução sólida e cria tensões na rede atômica de Al, que aumentam a resistência e a dureza. Além disso, formam-se compostos ternários de Cu com Mn, Fe, Ni com Mg, visíveis na microestrutura.

*Níquel* — Este elemento não entra em solução sólida, mas forma compostos intermetálicos com Al, fortalecendo desta maneira a matriz da liga.

*Magnésio* — Este elemento, aplicado em teores de até 1,5%, entra totalmente em solução; a solubilidade máxima a 450°C é de 17,4%, enquanto que a 100°C baixa até a 1,9%. Entretanto, uma pequena parcela de Mg forma com o Si o composto intermediário Mg<sub>2</sub>Si, freqüentemente observado na microestrutura.

*Cromo* — Este elemento é adicionado somente à liga de 24% de Si. Ele entra na solução sólida no máximo com 0,72% em 661°C, diminuindo a solubilidade até 0,19% em 500°C. Desta maneira, somente uma parcela é aproveitada no endurecimento por precipitação, formando, a maior parte, o composto intermetálico de Cr Al<sub>7</sub>.

*Impurezas* — São consideradas impurezas mais perigosas, o ferro e o cálcio; o *ferro* é responsável pela redução da fluidez do banho e, o *cálcio* pela formação de porosidade, quando existindo em teores acima de 0,02%. Cálcio forma também o composto Ca Si<sub>2</sub>, observado na microestrutura.

## 2. ELABORAÇÃO DAS LIGAS DE AL

A elaboração das ligas de Al exige as seguintes providências no tratamento do banho: desgaseificação, limpeza e refinação.

A *desgaseificação* refere-se principalmente à remoção do hidrogênio e a *limpeza* à remoção das impurezas (como  $Al_2O_3$ ) por meio de hexacloretano ou cloro gasoso. A *refinação* do grão refere-se à obtenção de cristalitos finos do *eutético* por compostos de sódio e de pequenos cristalitos de *silício* por compostos de fósforo  $P Cl_5$  e  $Cu_3P$ .

## 3. TRATAMENTOS TÉRMICOS

O pistão bruto, não usinado, possui após um esfriamento lento uma dureza Brinell de 65 e 75 kg/mm<sup>2</sup> que não basta para o serviço e que ao mesmo tempo dificultaria a usinagem. Por isso, êle é submetido aos seguintes tratamentos:

- a) *Solubilização* — O pistão fundido é posto no chão de fundição imediatamente após a solidificação, ou esfriado bruscamente a partir de uma temperatura de 500°C em água a 70°C. Com êste tratamento, elementos como cobre ou cromo entram em solução sólida.
- b) *Envelhecimento* — Após a solubilização, segue-se um tratamento em estufa, geralmente a uma temperatura em volta de 200°C e durante 4 horas, para elevar a resistência mecânica e a dureza pela formação de tensões na rede atômica do Al (criação de zonas de Guinier-Preston). A elevação de dureza Brinell é da ordem de grandeza de 20 a 30 kg/mm<sup>2</sup>. Finalmente o material é esfriado lentamente.
- c) *Alívio de tensões* — Após o envelhecimento, o pistão bruto é desbastado, o que pode provocar a formação de tensões de tal grandeza que serão prejudiciais à estabilidade dimensional da peça. Por isso, o pistão é submetido a um tratamento térmico (geralmente abaixo de 200°C e durante poucas horas) seguido por um esfriamento lento. Em seguida, executa-se o acabamento, que não cria tensões de importância.

Atualmente já existem tratamentos térmicos de *estabilização*, que consistem em ciclos térmicos entre (—) 100°C e (+) 240°C. Entretanto, a estabilização na temperatura ambiente durante algumas semanas resulta também em constância dimensional dentro de folga prevista para a retificação.

#### 4. PORTA-ANÉIS

Pistões para motores Diesel, submetidos a serviços severos em ambiente poeirento, recebem na primeira canaleta, raramente também na segunda, porta-anéis cujo objetivo é combater o desgaste no flanco da canaleta, provocado pelas batidas dos anéis de segmento. Estes porta-anéis, fabricados de ferro fundido de alto teor de níquel, são embutidos na liga de Al por ocasião da solidificação, sendo o porta-anel colocado na coquilha em estado aquecido, pela imersão em liga de Al, para evitar um choque térmico por ocasião do vazamento da liga de Al e para facilitar a formação duma camada intermediária (processo AL-FIN). A fixação do porta-anel consegue-se pela sua forma e pela camada intermediária provocada entre êle e a liga de Al, a qual consiste de um composto intermetálico de Al e Fe, provavelmente de  $Fe Al_3$ .

#### 5. EXPANSÃO TÉRMICA

O pistão em serviço é aquecido a temperaturas que atingem 450°C. Este aquecimento é desigual, sendo mínimo na extremidade da saia do pistão e máxima no centro da cabeça. Esta desigual dilatação ao longo do eixo é compensada, variando os diâmetros de acôrdo com o perfil de temperaturas em tornos copiadores. Esta dilatação é tanto menor quanto mais elevado é o teor de Si.

Os pistões em serviço são submetidos a campos de temperatura bem diversos, entre as condições de partida e de marcha lenta, e as condições de plena-potência. Para manter a folga no seu valor mínimo, os pistões modernos têm a sua dilatação controlada pelo embutimento por ocasião do vazamento na fundição de chapas auto-térmicas. Este efeito bimetalico obriga a dar ovalidade à saia do pistão por ocasião da usinagem.

A expansão térmica deve ser levada em consideração também na escolha do material dos *porta-anéis*. Este material deve possuir aproximadamente o mesmo coeficiente de dilatação térmica que a liga de Al, para evitar que o porta-anel se desprenda.

Infelizmente não é possível escolher um material do mesmo coeficiente de dilatação térmica em caso dos "plugs", cujo prato tem de resistir às altas temperaturas de combustão e à corrosão. Estes "plugs" (que são aplicados somente em pistões para motores Diesel) estão parafusados na cabeça do pistão e podem perder o apêrto devido ao coeficiente de expansão térmica, que é somente a metade do coeficiente da liga de Al. Os "plugs" podem ser fabricados de aço anticorrosivo SAE-440.

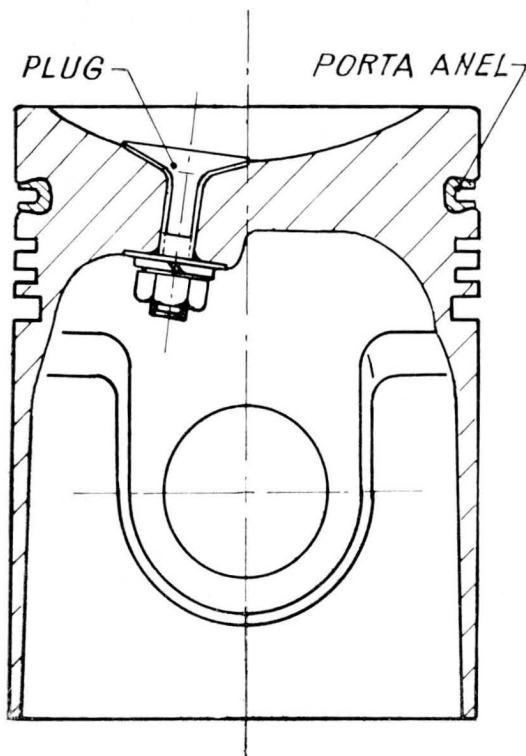


Fig. 3 — Esquema indicando a localização do porta anel e do "plug" num pistão.

## 6. QUALIDADES MECÂNICAS

1. O limite de escoamento e a resistência à tração melhoraram de aproximadamente  $10 \text{ kg/mm}^2$  pela forjagem do pistão em comparação com o pistão fundido. Uma melhora semelhante manifesta-se com o limite de fadiga por flexão, bem como com o alongamento.
2. O módulo de elasticidade não é afetado pela fundição ou pela forjagem, mas eleva-se com o aumento do teor de silício.
3. A dureza Brinell melhora com a *forjagem* em comparação com a *fundição* do pistão, mas não varia essencialmente com o teor de silício.
4. Com a elevação da temperatura abaixa a dureza Brinell; entretanto, o que é essencial, é a dureza restante, isto é, a dureza recuperada após um aquecimento em serviço. Esta dureza restante depende então da dureza original na temperatura ambiente, como da duração do

serviço: ela é tanto mais alta, quanto *maior* fôr a dureza original e quanto *menos* demorado o serviço em temperaturas elevadas.

5. Pêso específico e condutibilidade térmica diminuem com a elevação do teor de silício.

A tabela 2 seguinte fornece maiores esclarecimentos.

TABELA 2

LIGA	AL - 12 Si		AL - 18 Si		AL - 24 Si	"Y"		
	COQUI-LHADA	FOR-JADA	COQUI-LHADA	FOR-JADA	COQUI-LHADA	COQUI-LHADA	FOR-JADA	
Resist. a tração kg/mm <sup>2</sup>	20°C	22	37	20	28	20	25	38
	150°C	18	27	16	21	16	22	33
	250°C	10	14	10	12	10	18	20
Lim. de escoamento kg/mm <sup>2</sup>	19	33	18	24	18	16	30	
Alongamento %	0,5	3	0,4	1,5	0,2	0,6	10	
Dureza Brinell kg/mm <sup>2</sup>	20°C	110	120	110	115	110	115	125
	150°C	85	90	88	90	95	92	102
	250°C	40	45	45	45	50	45	40
	350°C	15	14	18	14	23	15	11
Lim. de fadiga (kg/mm <sup>2</sup> ) <sub>flexão</sub>	8	12	8	9	8	8	12	
Modulo de elasticidade kg/mm <sup>2</sup>	7.500		8.000		8.600	6.800		
Pêso espec. kg/mm <sup>3</sup>	2,70		2,68		2,65	2,80		
Condutibilidade térmica: cal/cm. seg. °C	0,31	0,33	0,27	0,29	0,25	0,34	0,36	
Expansão térmica linear: (20 a 200°C) cm/cm°C x 10 <sup>-6</sup>	20,5		18,5		16,5	23,5		

## 7. CONCLUSÃO

Os poucos problemas mencionados dão uma idéia da complexidade de fatores que entram em jôgo na produção de um pistão. Além dos já citados, são importantes as tolerâncias de pêso, que devem variar somente de poucas gramas, a qualidade de superfície e as tolerâncias dimensionais, que descem em alguns casos a milésimos de milímetro.

## BIBLIOGRAFIA

- MAHLE — *Kolbenkunde*, 1954.  
 METALS HANDBOOK, 1961.  
 M. HANSEN — *Constitution of Binary Alloys*, 1958.