

GRAY IRON CASTINGS

Robert F. Fabian

Materials & Methods, Outubro 56, pág. 121

Ref^a.: - /120.57

1. - Generalidades

A designação genérica de ferro fundido abrange uma numerosa família de materiais ferrosos que apresentam uma vasta gama de propriedades.

Essencialmente, o ferro fundido é uma liga de ferro, carbono e silício que, após o vasamento, não apresenta normalmente propriedades maleáveis apreciáveis.

O teor de carbono varia entre 2 e 4% e o de silício entre 1 e 3%.

A superfície do material depois de fracturado apresenta uma cor acinzentada e a sua composição química é tal que, depois da solidificação, a maior parte do carbono se encontra distribuído sob a forma de flocos de grafite.

Como o ferro fundido cinzento é o material metálico mais barato, ele é largamente empregado em peças fundidas, só se devendo empregar outros metais quando as propriedades físicas ou mecânicas do ferro fundido cinzento não aconselhem o seu emprego.

Além disso, possui no estado líquido uma fluidez muito elevada que permite a obtenção de peças em formas complicadas e com secções relativamente finas e a libertação rápida de gases e outras oclusões.

Como, por solidificação, se verifica uma contracção muito pequena (0 - 1,9%) contrariamente ao aço ou ferro maleável (5%), as tensões resultantes da solidificação são pouco importantes não havendo necessidade de proceder a um tratamento térmico de normalização ou recozimento para eliminação das tensões internas, como acontece com muitas outras ligas ferrosas.

Também é possível conseguir-se uma gama bastante larga de resistências mecânicas e durezas depois do vasamento, por um controle apertado da composição química e das condições de vasamento.

O ferro fundido ainda apresenta as seguintes vantagens:

- 1^a) - excelente capacidade de amortecimento;
- 2^a) - possibilidade de reter com facilidade um filme superficial de óleo lubrificante;
- 3^a) - pequena sensibilidade a entalhes;
- 4^a) - excelente maquinabilidade;
- 5^a) - resistência à compressão tripla da resistência à tracção;
- 6^a) - resposta aos tratamentos térmicos comparável ao aço entectóide;
- 7^a) - apreciável resistência à corrosão pelas águas industriais e por outros meios fracamente corrosivos
- 8^a) - módulo de elasticidade controlável que permite reduzir a distorção durante o aquecimento.

Na tabela 1, indicam-se os principais tipos de ferros fundidos e as respectivas especificações americanas, assim como algumas das suas aplicações típicas.

Tabela 1

RESUMO DAS ESPECIFICAÇÕES AMERICANAS SOBRE FERRO FUNDIDO

1) - Ferros fundidos para fins gerais

Especificações americanas aplicáveis: ASTM - A48 - 56; ASME - S61 - 1948; CSA - S61 - 1948; ASA - G25.1 - 1943; AASHO - M105 - 49; Federal - QQ - 1 - 652 a

Classe	Resistência à tracção mín.		Carga de ruptura à torção mínima			Aplicações típicas
	p.s.i.	Kg cm ⁻²	Barreta com 0,875 in. Ø Vão de 12 in.	Barreta com 1,2 in Ø Vão de 18 in.	Barreta com 2,0" Ø Vão de 24 in.	
20	20.000	1.400	410	815	2.720	Peças leves com secções finas requerendo boa aparência, boa maquinabilidade e tolerâncias apertadas, sujeitas a fracos esforços de tracção
25	25.000	1.750	465	905	3.080	
30	30.000	2.100	520	1.000	3.450	Maquinaria em geral, redes de distribuição de água, corpos de compressores ligeiros
35	35.000	2.450	580	1.090	3.760	
40	40.000	2.800	635	1.180	4.125	Máquinas ferramentas, rodas dentadas médias, compressores pesados, blocos de motores
45	45.000	3.150	-	-	-	
50	50.000	3.500	760	1.360	4.670	Cunhos, cilindros sujeitos a elevadas pressões, órgãos de máquinas ferramentas sujeitos a elevados esforços, rodas dentadas grandes, estruturas de prensas
60	60.000	4.200	870	1.540	5.670	

2) - Ferros fundidos para peças de automóveis

S.A.E N ^o a	Resistência à tracção mín. Kg cm ⁻²	Dureza Brinell	Propriedades de resistência à torção (barretas com 1,2 in. Ø ; vão de 16 in.)		Teor de C mín. (%)	Aplicações Típicas
			Carga de ruptura mín. (Kg.)	Deflexão mín. (in.)		
110	1.400	187 mín.	815	0,15	-	Peças várias de ferro fundido macio em que a resistência e a microestrutura não são fundamentais
111	2.100	170-223	1.000	0,20	-	Blocos de cilindros (pequenos); cabeças; Êmbolos; discos e cárteres de embraiagens; corpos de bombas de óleo, caixas de velocidades; polias de travões
113 ^b	2.100	179-229	1.000	0,20	3,4	Polias de travões e discos de embraiagem para serviços moderados em que é aconselhável um elevado teor de C e a picagem pelo calor constitui um problema
114 ^c	2.800	207-269	1.180	0,27	3,4	Polias de travões e discos de embraiagem para serviços pesados
120	2.450	187-241	1.090	0,24	-	Blocos de cilindros, cabeças, volantes, camisas de cilindros, Êmbolos
121	2.800	202-255	1.180	0,27	-	Blocos de cilindros de camions e tractores, cabeças, volantes pesados, caixas de transmissão, cárteres de diferenciais
122	3.150	217-269	1.270	0,30	-	Peças fundidas para motores Diesel, camisas, cilindros, Êmbolos e peças pesadas

- a) - Outra especificação aplicável: ASTM, A 159-55
- b) - A grafite deve ser do tipo A, tamanho 2-4 (ASTM A-247). A matriz deve ser de perlite lamelar. A ferrite não deve exceder 15%.
- c) - A grafite deve ser do tipo A, tamanho 3-5 (ASTM A-247). A matriz deve ser de perlite lamelar fina, não devendo o total de cementite + ferrite exceder 5%.

3) - Ferros fundidos para peças sujeitos a pressões e temperaturas entre 230 e 340°C

Especificações americanas aplicáveis: ASTM A 278-56

Classe	Resistência à tração mín. Kg. cm ⁻²	Composição química (%)	Aplicações típicas
40	2.800	C equivalente ^(a) : 3,8 máx.	Corpos de válvulas, cilindros secadores da indústria do papel, equipamento químico em geral.
50	3.500	P : 0,25 máx.	
60	4.200	S : 0,12 máx.	

(a) - Carbono equivalente = % C + 0,3 (% Si + % P)

4) Ferros fundidos para órgãos sujeitos a elevadas temperaturas (sem estarem sujeitos à pressão)

Especificações americanas aplicáveis: ASTM A 319-53

Tipos	Propriedades	Composição química (%) (a)				Aplicações típicas
		C equiv.	C mín.	P máx.	S máx.	
I	Boa resistência ao choque térmico. Baixa resistência mecânica	3,81-4,40	3,50	0,60	0,12	Peças de alimentadores e caixas de fogo de caldeiras, grelhas e peças de fornos, moldes de lingotes, moldes de vidro, potes para alcañis, potes de fusão de metais.
II	Média resistência ao choque. Resistência mecânica média (2100 Kg. cm ⁻² à tração)	3,51-4,10	3,20	0,60	0,12	
III	Elevada resistência mecânica a elevadas temperaturas (> 2.800 Kg. cm ⁻²)	3,20-3,80	2,80	0,60	0,12	

(a) - Se for necessário adicionar Cr, originam-se os seguintes sub-tipos:
 A: 0,20 - 0,40% Cr; B: 0,41 - 0,65% Cr; C: 0,66 - 0,95% Cr; D: 0,96 - 1,20% Cr.

5) - Ferros fundidos ligados, resistentes à formação de ferrugem

Tipo	Resistência à tracção, min. Kg cm ⁻²	Dureza Brinell	Composição química (%)								Aplicações
			C Total	Si	Mn	Ni	Cr	Cu	S	P	
Navy Specif. 46-1-9	1.750	120-180	2,60-3,00	0,80-2,20	0,80-1,30	12,0-15,0	2,00-3,50	5,0-7,0	0,10 máx	0,20 máx	Para a resistência à corrosão por soluções ácidas, cáusticas e salinas, incluindo salmoura concentrada.

2. - Propriedades mecânicas e físicas dos ferros fundidos cinzentos

2.1. - Resistência à tracção ("tensile strength")

A resistência à tracção dos 7 tipos standardizados mais importantes de ferros fundidos cinzentos varia entre 1.400 e 4.200 Kg. cm⁻², como se indica na tabela 2.

A maioria das peças de ferro fundido são feitas dos ferros fundidos das classes 25, 30 e 35.

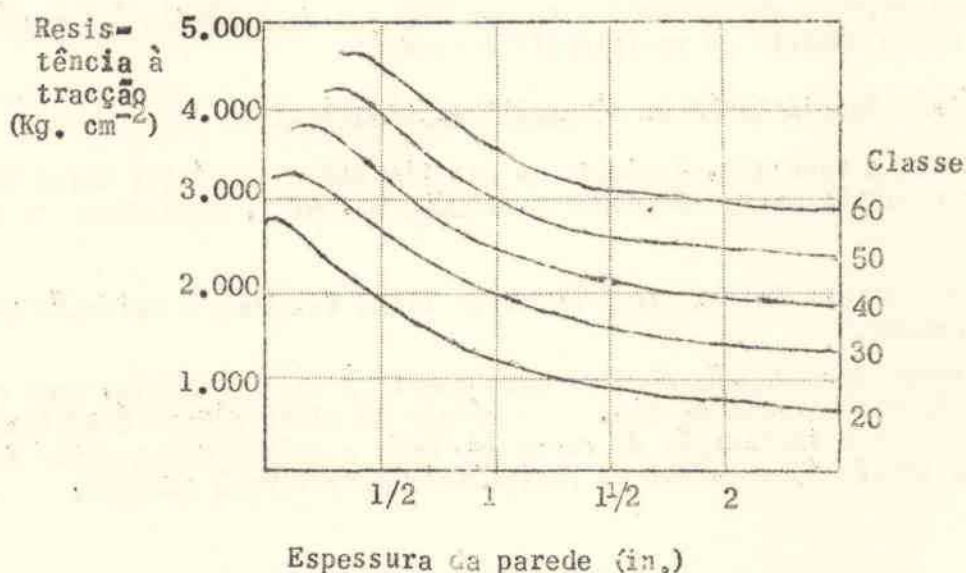


Fig. 1 - Variação da resistência à tracção, determinada numa amostra retirada da zona central da secção, em função de espessura

Como mostra a Fig. 1, a resistência à tracção de cada uma das classes de ferros fundidos apontados varia com a espessura da respectiva secção. Por exemplo, a resistência à tracção do ferro fundido da classe 20 pode variar entre 910 e 2.800 Kg. cm⁻², como mostra a Fig. 1.

2.2. - Resistência à compressão ("compressive strength")

A resistência à compressão dos ferros fundidos varia entre 5.800 e 13.100 Kg. cm⁻², como se indica na tabela 2.

TABELA 2 - PROPRIEDADES MECÂNICAS TÍPICAS DOS FERROS FUNDIDOS
STANDARD

Classe ASTM	Resis- tência à trac- ção (Kg cm ⁻²)	Resis- tência à com- pressão (Kg. cm ⁻²)	Resis- tência à tor- ção (Kg cm ⁻²)	Módulo de elasti- cidade (10 ⁴ Kg cm ⁻²)		Limite de fadiga à flexão al- ternada (Kg cm ⁻²)	Dureza Brinell
				Tracção	Torção		
20	1.540	5.810	1.620	67-98	27-39	700	156
25	1.620	6.790	2.240	80-104	32-42	805	174
30	2.170	7.630	2.800	91-115	36-46	980	201
35	2.550	8.680	3.400	102-130	41-48	1.120	212
40	2.980	9.800	3.990	112-140	45-55	1.300	217
50	3.680	12.880	5.210	122-160	50-56	1.500	228
60	4.380	13.120	6.000	143-164	55-60	1.720	252

Os seus valores são cerca de 3 a 4 vezes os da resistência à tracção.

A relação entre a resistência à compressão e a resistência à tracção varia inversamente com a aumento da resistência à tracção.

2.3. - Módulo de elasticidade ("modulus of elasticity")

Como mostra a tabela 2, o módulo de elasticidade dos vários tipos de ferro fundido cinzento varia entre 700.000 e 1.640.000 Kg. cm⁻², dependendo da sua microestrutura.

Uma microestrutura de perlite e grafite finas favorece a obtenção dos valores mais elevados.

Como o ferro fundido não obedece exactamente à lei de Hooke, como mostram as curvas tensão-alongamento da fig. 2, o módulo de elasticidade é arbitrariamente considerado como a inclinação da recta que mede a origem com o ponto correspondente a uma tensão igual a 25% da resistência de rotura à tracção.

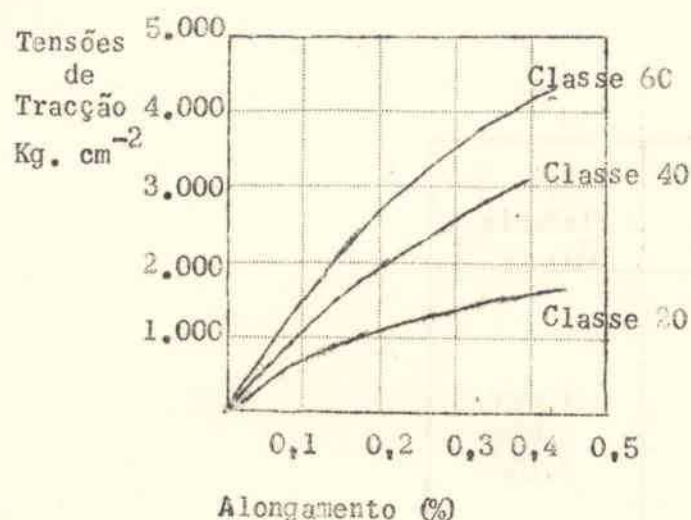


Fig. 2 - Curvas alongamento -
-tensão dos vários tipos
de ferros fundidos

2.4. - Resistência à torção ("torsional shear strength")

Como mostra a tabela 2, o ferro fundido cinzento apresenta uma elevada resistência à torção, maior mesmo que alguns tipos de aços, o que permite a sua utilização na construção de velos.

2.5. - Resistência ao corte ("shear strength")

A relação entre a resistência ao corte e a resistência à tracção varia entre 1,0 e 1,6, variando inversamente com o valor da resistência à tracção.

2.6. - Tensão de segurança com esforços alternados ("endurance limit")

A tensão de segurança normalmente usada com o ferro fundido cinzento é cerca de 35-50% do valor da resistência à tracção. O valor 35% usa-se em secções de dimensões grandes enquanto que o valor de 50% se usa em secções de dimensões mais pequenas.

Como é pouco sensível ao entalhe, podem usar-se tensões de segurança mais elevadas do que com outros materiais com maior resistência à tracção.

2.7. - Tensão de fluência ("yield strength")

É definida como a tensão que corresponde a um alongamento de 0,2% e, para o ferro fundido, o seu valor é usualmente 85% do valor da resistência, à tracção. Na tabela 3, indicam-se os valores das tensões de fluência de vários tipos de ferros fundidos.

2.8. - Dureza ("hardness")

As medições da dureza Brinell do ferro fundido cinzento dão um valor intermédio entre os valores da dureza da grafite (macia) e os da matriz metálica que a envolve (dura). Portanto, variações no tamanho dos grânulos e na distribuição da grafite originam largas variações dos valores da dureza mesmo que a dureza da matriz metálica se mantenha inalterada. Pode no entanto controlar-se o valor da dureza do ferro fundido controlando o método de manufactura, a composição e a velocidade de solidificação; pode mesmo considerar-se proporcional à resistência à tracção:

$$R_t = K D_{Br}$$

em que K = 160 a 210, variando o seu valor com a composição e microestrutura do ferro fundido.

TABELA 3 - VALORES DAS TENSÕES DE FLUÊNCIA DE VÁRIOS TIPOS DE FERROS FUNDIDOS

Tipo	Tensão de fluência (Kg. cm ⁻²)
Ferro fundido cinzento (tal como vasado)	
Classe 20	1.540
Classe 30	2.030
Classe 50	3.150
Ferro fundido cinzento (tratado termicamente para aumento da resistência)	
Classe 30	3.150
Classe 50	4.550
Ferro fundido de grafite esferoidal	
Tipo 60-45-10	3.500
Tipo 80-60-30	4.550

Fundação Cuidar o Futuro

A dureza também varia com a espessura da peça, como mostra a fig. 3:

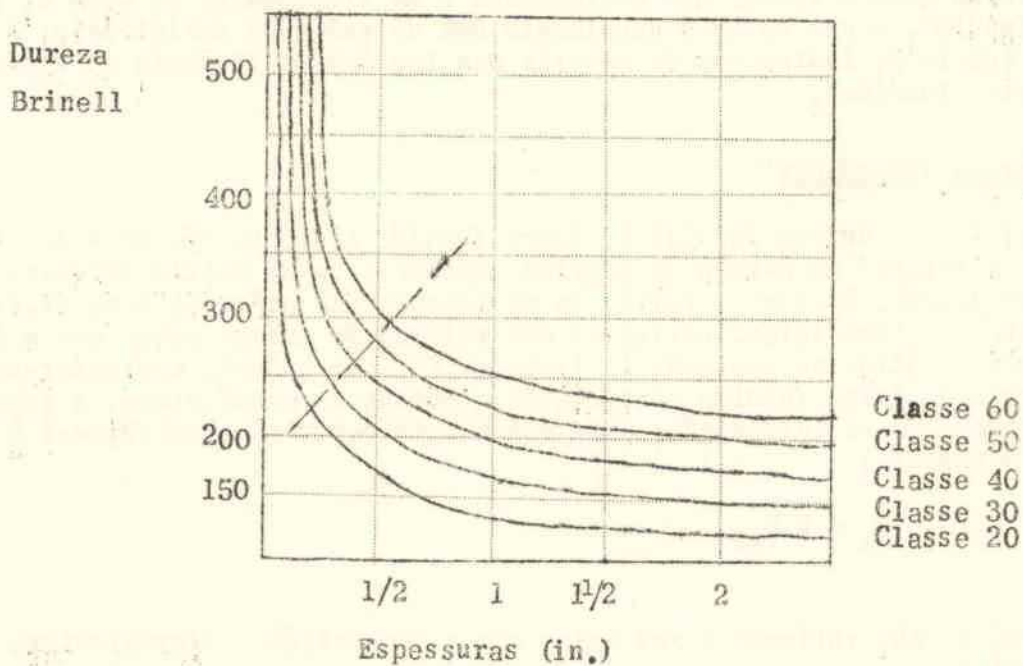


Fig. 3 - Variação da dureza Brinell com a espessura das paredes da peça, medida na zona central (não é possível maquinar acima da linha tracejada).

2.9. - Sensibilidade aos entalhes ("notch sensitivity")

Em geral, os ferros fundidos com pequena resistência à tracção só são ligeiramente afectados por entalhes ou alterações bruscas das secções; nos que apresentam elevadas resistências à tracção, verificam-se concentrações de tensões que não se podem desprezar,

2.10. - Resistência ao choque ("impact strength")

Os ferros fundidos cinzentos apresentam fracas resistências ao choque, o que limita o seu uso. Os que apresentam melhores resistências ao choque são aqueles que apresentam maiores cocientes entre a resistência à tracção e a dureza. (Fig. 4)

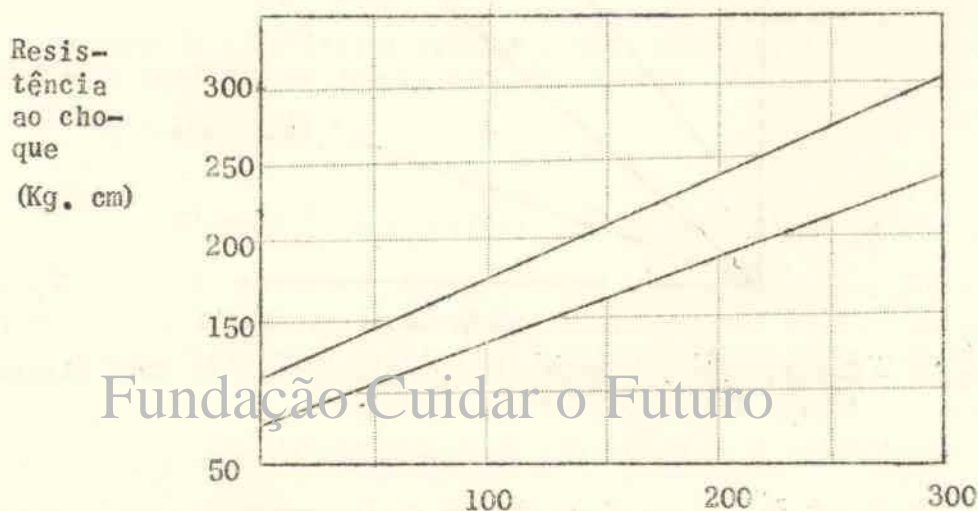


Fig. 4 - Relação entre a resistência ao choque e o cociente entre o cubo da resistência à tracção e o quadrado da dureza Brinell.

2.11. - Ductilidade ("ductility")

Os ferros fundidos são materiais frágeis pois apresentam uma ductilidade pequena (cerca de 1/30 dos materiais considerados dúcteis). Por um lado, tal facto pode constituir uma limitação à utilização do ferro fundido pois não permite que se verifique a deformação plástica das peças depois de montadas, que acompanha sempre a redistribuição das tensões; por outro lado, pode constituir uma vantagem em peças em que é necessário um pequeno alongamento combinado com elevada resistência mecânica.

2.12. - Capacidade de amortecimento ("damping capacity")

Define-se a capacidade de amortecimento como a quantidade de energia dissipada sob a forma de calor pela unidade de volume do material, quando sujeito a

um ciclo completo de tensões alternadas.

Mede a capacidade que o material apresenta de absorver ou amortecer vibrações e varia inversamente com o módulo de elasticidade.

O ferro fundido apresenta capacidades de amortecimento muito boas, como mostra a Fig.5, o que recomenda a sua utilização em peças de motores de combustão interna, cambotas, estruturas de máquinas ferramentas e outras estruturas sujeitas a vibrações.

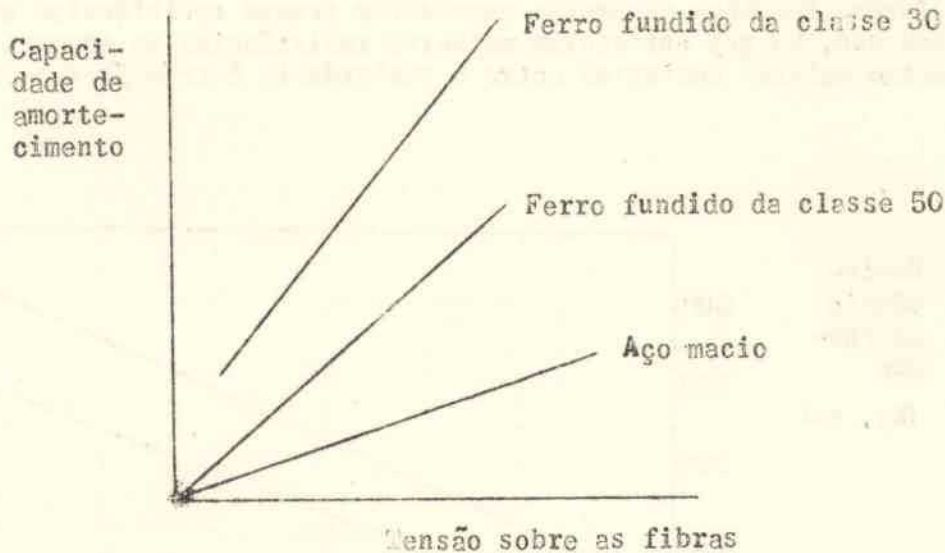


Fig. 5 - Capacidades de amortecimento comparadas de duas classes de ferros fundidos e de aço macio.

2.13. - Resistência ao desgaste ("wear resistance")

O ferro fundido apresenta uma excelente resistência ao desgaste, atribuída muitas vezes ao efeito de lubrificação dos flocos de grafites espalhados por toda a massa.

2.14. - Resistência à corrosão ("corrosion resistance")

Embora não seja considerado como material resistente à corrosão, o ferro fundido apresenta uma melhor resistência à corrosão atmosférica e aos solos (básicos e ácidos) que os outros materiais ferrosos para fins gerais.

2.15. - Resistência ao calor ("heat resistance")

Na maior parte dos casos, os ferros fundidos apresentam uma perda permanente de resistência mecânica a elevadas temperaturas.

Até 315°C, os ferros fundidos comuns conservam praticamente a mesma resistência à tração que à temperatura ambiente; os ferros fundidos ligados conservam-na até 425°C mas, a partir de 480°C, há uma queda brusca da resistência à tração.

Têm tendência a oxidar-se a elevadas temperaturas especialmente na presença de certos meios corrosivos e a aumentar de volume especialmente quando sujeitos a aquecimentos e arrefecimentos cíclicos.

O crescimento dos grânulos da microestrutura só se verifica abaixo de 315-370°C em presença de certos agentes corrosivos como o vapor sobreaquecido.

2.16. - Propriedades a baixas temperaturas

Os ferros fundidos conservam as suas propriedades até temperaturas extremamente baixas. A -190°C, a resistência à tracção e a dureza são ligeiramente maiores que à temperatura ambiente sem que a fragilidade aumente sensivelmente.

2.17. - Maquinabilidade ("machinability")

A maquinabilidade dos ferros fundidos é considerada superior à de praticamente todos os tipos de aço, o que se atribui ao seu teor em grafite. Diminui com o aumento da resistência à tracção, como mostra a tabela 4.

A maquinabilidade pode ser melhorada por recozimento a uma temperatura inferior à temperatura crítica (730-760°C).

TABELA 4 - MAQUINABILIDADE DO FERRO FUNDIDO

Microestrutura	Classe ASTM	Resistência à tracção Kg. cm ⁻²	Dureza Brinell	Velocidade de corte m. min ⁻¹ (a)
Ferro acicular	50	4.100	263	35,75
Perlite fina (ligado)	40	3.150	225	94,55
Ferrite (recozido)	-	1.100	100	292,8
Perlite grossa (não ligado)	35	2.450	195	99,12

(a) - Velocidade de corte que produz um desgaste de 0,030" num ferro de corte de carboneto ao remover 200 polegadas cúbicas do metal.

2.18. - Peso específico ("density")

O peso específico dos ferros fundidos cinzentos, à temperatura ambiente, varia entre 6,95 g cm⁻³ para teores elevados de C, e 7,35 g cm⁻³ para teores baixos de C.

No estado líquido, à temperatura de fusão é 6,23 g cm⁻³.

2.19. - Coefficiente de dilatação térmica ("coefficient of expansion")

Embora o coeficiente de dilatação térmica varie com o teor de carbono do ferro fundido, sendo mais elevado nos ferros fundidos de baixos e altos teores em carbono, pode tomar-se o valor médio $1 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ para as temperaturas ligei-

ramente superiores à temperatura ambiente.

Na zona de temperaturas entre a temperatura ambiente e 570°C, o coeficiente de dilatação térmica varia entre $0,92 \times 10^{-5}$ e $1,69 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

2.20. - Contração ("shrinkage")

Normalmente, conta-se com 1% de contração linear dos ferros fundidos cinzentos ao fazer-se a solidificação depois do vazamento. No entanto, ela decresce com o aumento do tamanho da peça e com o aumento da resistência à tração do material.

2.21. - Condutividade térmica ("thermal conductivity")

Varia entre 558 e 781 Kcal. $\text{m}^{-2} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$

2.22. - Calor específico ("specific heat")

Varia ligeiramente com o aumento da temperatura e com o tipo de ferro. No entanto, pode tornar-se a 100°C o valor de 0,131 cal/g $^\circ\text{C}$.

2.23. - Propriedades eléctricas e magnéticas

Devido ao seu teor em silício, a resistividade do ferro fundido é relativamente elevada em comparação com a dos outros metais ferrosos. Aumenta com o aumento do teor em carbono total e em silício.

As propriedades magnéticas são extremamente variáveis.

Alguns tipos de ferros fundidos cinzentos apresentam pequena permeabilidade e elevada força coersiva, pelo que podem ser usados na manufatura de ímãs permanentes. Outros, com elevada permeabilidade, baixa força coerciva e baixa histerésis, são empregados na manufatura de maquinaria eléctrica.

3) - Vasamento

3.1. - Métodos de vasamento

No vazamento das peças de ferro fundido usam-se principalmente os seguintes métodos:

a) - Vasamento em areia verde - é o método mais geralmente usado e normalmente o mais barato para peças de tamanho pequeno e médio.

b) - Vasamento em areia seca - é largamente usado em peças grandes e muito pesadas. As superfícies do molde são revestidas com pó de refractário umedecido e secadas antes de proceder ao vazamento, afim de aumentar a resistência mecânica do molde.

c) - Vasamento em molde de areia, impregnada de resina sintética - É usualmente apenas utilizado em peças de tamanho pequeno e médio, a fabricar em grandes quantidades. Permite uma grande precisão de dimensões e um bom acabamento das superfícies.

d) - Vasamento em molde de areia de machos - permite a moldação de peças de grande complexidade de formas ou com secções rectas muito finas.

e) - Vasamento em moldes permanentes - utilizam-se moldes de metais ou materiais refractários.

O grão do material vasado em moldes metálicos é mais fino do que o material vasado em areia devido ao rápido arrefecimento que sofre o metal.

Usa-se na produção de peças em grandes séries em geral com menos de 25 lbs. de peso e com menos de 3/16 in. de espessura, caso em que é mais económico do que o vasamento em areia.

f) - Vasamento em moldes cerâmicos - é usado no vasamento de peças altamente especializadas que requerem um acabamento especialmente perfeito, um detalhe fino e tolerâncias muito apertadas.

g) - Vasamento por centrifugação - é usualmente utilizado na obtenção de peças com o interior vazio sem usar machos. O metal é vasado no interior dum molde animado de movimento de rotação rápido de modo a distribuir-se no seu interior.

3.2. - Tamanhos das peças e tolerâncias

Na tabela 5, indicam-se as tolerâncias típicas para os vários tamanhos de peças de ferro fundido vasadas em areia.

Usando técnicas especiais de fundição, como o vasamento em moldes permanentes, conseguem-se tolerâncias muito mais apertadas, da ordem dos 0,5%.

TABELA 5 - TOLERÂNCIAS TÍPICAS DAS PEÇAS
DE FERRO FUNDIDO

Tamanho da peça (in.)	Tolerância (in.)	Folga para permitir a maquinação (por face) (in.)
8	± 1/16	1/8
8 - 18	± 1/8	3/16
18 - 30	± 3/16	5/16
30	± 1/4	3/8 a 1/2

3.3. - Espessura das secções

A espessura mínima duma peça de ferro fundido cinzento depende mais da velocidade de arrefecimento do metal do que da sua fluidez. As condições geométricas desempenham um papel muito importante.

Por exemplo, se se tentar vasar ferro fundido da classe 50 sob a forma de

chapa de $12 \times 12 \times 1/4$ in., a velocidade de arrefecimento é tão grande que se formam carburetos e o metal resultante não é ferro fundido cinzento. No entanto, é possível obter cabeças de motores Diesel de ferro fundido cinzento da classe 50 com espessuras de parede de $1/4$ ", devido às proporções entre o volume e a área que tais peças apresentam.

Na tabela 6, indicam-se quais as espessuras de parede mínimas e as proporções mínimas entre o volume e a área recomendadas para os vários tipos de ferro fundido.

TABELA 6 - ESPESURAS RECOMENDADAS PARA AS PEÇAS DE FERRO FUNDIDO

Classe L.S.T.M.	Espessura de parede mín. (in.)	Relação Volume/ Área mínima
20	1/8	0,061
25	1/4	0,120
30	3/8	0,174
35	3/8	0,174
40	5/8	0,277
50	3/4	0,326
60	1	0,416

Fundação Cuidar o Futuro

4) - Revestimentos e acabamentos

4.1. - Revestimentos metálicos obtidos por metalização a maçarico

Praticamente, qualquer metal que se possa obter sob a forma de arame ou pó pode ser aplicado por metalização ao ferro fundido cinzento.

Por meio de revestimentos deste tipo consegue-se uma melhoria considerável da resistência ao desgaste de chumaceiras, veios, munhões e outros órgãos de máquinas.

Como estes revestimentos são sempre mais ou menos porosos, diminuem o desgaste de peças lubrificadas e apresentam uma fraca resistência à tracção e ao choque.

4.2. - Revestimentos metálicos por inersão

Los ferros fundidos podem-se aplicar os quatro seguintes processos de obtenção de revestimentos metálicos:

a) - Estanhagem - origina superfícies com elevada resistência atmosférica e a produtos alimentares. Os revestimentos de estanho facilitam a soldadura e a união doutros metais ao ferro fundido. Largos limites de composição - até 3,5% de carbono total, silício 1,0% a 2,7% e 1,0% de fósforo - não têm efeitos apreciáveis.

O processo patenteado mais largamente usado é o processo Kolene.

b) - Galvanização - aumenta eficazmente a resistência à corrosão pelas atmosferas ordinárias, marítimas e industriais e pela água salgada ou ligeiramente alcalina.

c) - Chumbagem - pode empregar-se quando é essencial uma elevada resistência a atmosferas corrosivas mas não se precisa elevada resistência ao desgaste. Os revestimentos de chumbo resistem também aos fumos de ácido sulfúrico e sulfuroso e constituem uma excelente base para a aplicação de tintas.

Apresentam contudo as seguintes limitações:

- 1) - falta de ligação ao ferro fundido;
- 2) - tendência para a formação de poros;
- 3) - fraca resistência ao desgaste e à abrasão;
- 4) - formação abundante de produtos de corrosão;
- 5) - fraca protecção contra a corrosão se o revestimento não resultar completo.

d) - Aluminização - permite aumentar a resistência do ferro fundido corrosão e às elevadas temperaturas. O revestimento é muito aderente devido à formação de liga entre o ferro e o alumínio e permite a utilização do ferro fundido até temperaturas da ordem dos 900°C. em muitas aplicações como sejam tubagens de admissão e escape de motores, muflas, reflectores de calor, suportes de elementos aquecedores, etc.

4.3. - Endurecimento superficial

É especialmente importante em peças fundidas que requeiram uma camada superficial aderente, com 1/8 in. ou mais de espessura, resistente ao choque ou à corrosão bem como ao desgaste.

Obtém-se por formação superficial duma camada de carbonetos de ferro por arrefecimento rápido a partir do estado líquido usando ou um maçarico de gás ou o arco eléctrico.

É usado em cilindros de moinhos, lâminas de misturadores de cimento e areia, discos de pulverizadores, brocas, órgãos de bombas, transportadores de parafuso, órgãos de máquinas agrícolas, etc.

4.4. - Revestimentos por cementação

Os principais processos de obtenção de revestimentos por concentração (obtenção de revestimentos metálicos por difusão a elevadas temperaturas) podem ser aplicados ao ferro fundido.

a) - Calorização - consiste na obtenção dum revestimento rico em alumínio, que pode ser usado com vantagem na protecção de recipientes usados no tratamento térmico dos metais como caixas de carburação, caixas de recozimento, órgãos de fornos, permutadores de calor, etc.. Origina uma resistência substancial aos gases sulfurosos e a temperaturas até 760°C.

b) - Cromização - origina uma camada superficial rica em Cr (35-70%), cujo teor baixa para 13% na interface entre essa camada e o metal base. Os revestimentos obtidos por este processo apresentam uma resistência à corrosão, desgaste e oxidação iguais às da liga de ferro-crómio com o mesmo teor de crómio.

c) - Sherardização - origina um revestimento uniforme de zinco ou de liga ferro-zinco sobre a superfície de ferro fundido.

4.5. - Revestimentos obtidos por electrólise

Os revestimentos electrolíticos melhoram a aparência, apresentam excelente resistência à corrosão, durabilidade e dureza. Podem aplicar-se aos ferros fundidos os seguintes revestimentos electrolíticos:

a) - Niquelagem - origina revestimentos muito resistentes à corrosão e ao desgaste, essencialmente de dois tipos: os finos com fins decorativos e os espessos resistentes à corrosão. São largamente utilizados em equipamento de processamento e transporte de substâncias alimentares, cilindros da indústria textil e do papel, chapas filtrantes, válvulas, etc. e podem ser maquinados e limados.

Embora menos duros e resistentes que os depósitos electrolíticos de crómio, são mais largamente usados por serem mais fáceis de obter. Quando é indispensável uma grande resistência à abrasão, aplica-se sobre o depósito de níquel um fino depósito de crómio (0,003 in.).

b) - Cromagem - origina depósitos electrolíticos de crómio essencialmente de 3 tipos: finos, espessos e porosos.

Os revestimentos finos (com cerca de 0,02 in.) são quase invariavelmente aplicados sobre depósitos prévios de níquel ou cobre. São bastante duros, brilhantes e não enferrujam.

Os revestimentos espessos são normalmente aplicados directamente sobre o ferro, são extremamente duros (dureza Brinell 1000-1025) e possuem um baixo coeficiente de atrito. Quando têm espessuras suficientes, apresentam elevada resistência à corrosão atmosférica e aos reagentes industriais comuns (exceptuando o ácido clorídrico e sulfúrico). São muito usados em cilindros de maquinaria para papel, canhos para a moldação sob pressão de plásticos, casquilhos, êmbolos, fusos, hastes de válvulas, etc.

Os revestimentos porosos são propositadamente feitos com poros e estão a ser utilizados cada vez mais no interior das camisas dos motores de explosão e de combustão interna, compressores, equipamento hidráulico.

c) - Cadmiagem - embora mais caros que os revestimentos de zinco, os revestimentos de cádmio são utilizados em peças fundidas com partes roscadas ou que precisam de tolerâncias apertadas pois ao contrário dos revestimentos de zinco, não dão origem a volumosas quantidades de produtos de corrosão.

d) - Zincagem - os revestimentos electrolíticos de zinco são por vezes usados em atmosferas rurais, mas estão pouco difundidos por causa da dificuldade em zincar directamente o ferro fundido.

4.6. - Revestimentos orgânicos

São usados tanto para a resistência à corrosão como por uma questão de aparência.

a) - Tintas oleo-resinosas ou vernizes - são os acabamentos orgânicos mais antigos, mais baratos e que demoram mais tempo a secar. O elevado teor de sólidos permite a deposição de filmes espessos mas, como a cor se altera com facilidade sob a acção de calor, a resistência química e a qualidade do filme são fracas, estão a ser cada vez menos usados.

- b) - Lacas - constituem os acabamentos orgânicos de secagem ao ar mais rápidos, a qual ainda pode ser acelerada por aquecimento em estufa a 80°C. Como o filme resultante é muito fino, aplica-se normalmente sobre uma demão de primário.
- c) - Tintas de resinas sintéticas - demoram a secar um tempo intermédio entre os dois tipos atrás citados. Podem ser cozidos a temperaturas relativamente elevadas (90 a 175°C), pelo que é possível usá-las em produções em série.
Resistem normalmente melhor aos produtos químicos que qualquer dos tipos anteriores.

4.7. - Esmaltes vidrados

São muito usados no ferro fundido cinzento devido às suas propriedades, das quais se destacam a excelente aderência às superfícies limpas a jacto de areia; a elevada resistência química e extrema dureza. Podem ser usados a temperaturas relativamente elevadas (315 a 540°C) sem descôrarem e podem também aguentar rápidas mudanças de temperaturas.

4.8. - Revestimentos de natureza química

Constituem um método de protecção valioso em muitos casos especiais devido à sua boa aparência, resistência ao desgaste e ao calor e possibilidade de facilitarem a aderência dos revestimentos orgânicos.

- a) - Revestimentos de fosfatos - são quimicamente inertes, protegem as superfícies da corrosão atmosférica e constituem uma excelente base para as tintas.

Há essencialmente três tipos de revestimentos de fosfato.

O primeiro é constituído por um revestimento muito fino altamente absorvente e que constitui uma boa ligação entre a tinta e a superfície metálica, evitando que a corrosão alastre por baixo da tinta, no caso de o filme se romper acidentalmente.

O segundo tipo é constituído por um revestimento mais espesso (0,3 - 0,5 mil. de polegada) e constitui uma boa protecção no caso de as peças candidas serem recobertas com óleo, permitindo o seu armazenamento durante intervalos de tempo bastante longos.

O terceiro tipo é relativamente fino (0,04 - 0,06 mil. de polegada) e facilita a absorção superficial de óleo lubrificante ou suspensão de grafite coloidal em óleo.

- b) - Revestimentos de óxido negro - obtêm-se por deposição sobre a superfície do ferro fundido dum filme de O_4Fe_3 com uma espessura inferior a 0,0001 in., por imersão das peças numa solução concentrada quente de sais, à venda no mercado com várias designações comerciais. Constitui uma boa base para a aplicação de revestimentos orgânicos.

Apresenta uma boa resistência ao desgaste, pelo que é usado com vantagem em cames e segmentos.

5) - Tratamentos Térmicos

5.1. - Eliminação de tensões internas

Para eliminar as tensões internas e ao mesmo tempo evitar a possibilidade de decomposição do carbono combinado, é conveniente usar a gama de temperaturas dos 510-565°C para o ferro fundido não ligado. Como mostra a figura 6, basta manter as peças durante uma hora nesta gama de temperaturas para eliminar 60 a 80% das tensões internas.

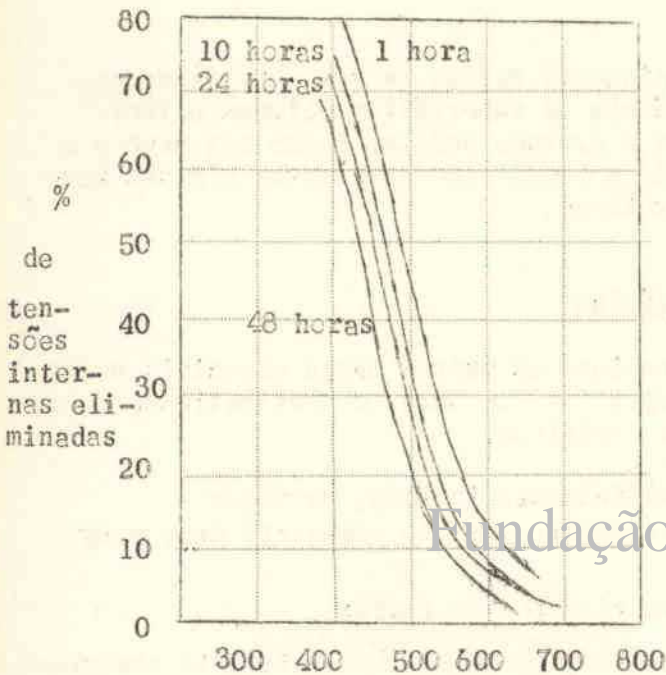


Fig. 6 - Efeito da duração da temperatura sobre a eliminação das tensões internas do ferro fundido

5.3. - Endurecimento por acção do maçarico

Consiste em aquecer a camada exterior da peça de ferro fundido a uma temperatura superior à da zona de transformação (usualmente da ordem de grandeza dos 815°C) por meio da chama do maçarico oxiacetilénico e em arrefecer rapidamente a fim de se obter uma estrutura martensítica.

As áreas a tratar por este processo devem poder ser aquecidas uniformemente de modo a evitar variações da espessura da camada endurecida, devem estar afastadas de secções muito espessas ou muito finas e não conter ângulos reentrantes ou salientes.

Este método de endurecimento superficial é largamente usado em muitas peças de automóveis, máquinas têxteis, caixas de chumaceiras, compressores, motores Diesel, máquinas ferramentas e máquinas de impressão.

Para o ferro fundido pouco ligado, são aconselháveis temperaturas mais elevadas (565-590°C).

Para o ferro fundido com elevados teores de elementos de liga, é a aconselhável a gama dos 590-650°C.

5.2. - Recozimento

O recozimento é aplicado ao ferro fundido cinzento quase exclusivamente para melhorar a maquinabilidade. Esta propriedade pode ser melhorada 50 vezes para velocidades de corte da ordem dos 90 m/minuto e 8 vezes para velocidades de corte da ordem dos 335 m/minuto por recozimento. Além disso, faz diminuir para metade ou para 1/3 o consumo de energia.

Contudo o recozimento pode ter efeitos deletérios sobre as propriedades do ferro fundido, devido à possibilidade de poder provocar o desdobraimento da perlite em ferrite e grafite e a diminuição da resistência à tracção de 10 a 30% e de 30-150 pontos de dureza Brinell.

5.4. - Endurecimento por indução

É um processo semelhante ao anterior mas em que o aquecimento superficial é obtido por indução.

Tem a vantagem de ser susceptível dum muito melhor controle, mas, devido ao relativamente elevado custo do equipamento, só é aconselhável quando o número de peças a endurecer é suficientemente elevado.

5.5. - Endurecimento por têmpera à temperatura ambiente

Difere essencialmente dos tratamentos anteriores pelo facto de que a velocidade de arrefecimento pode ser controlada de modo a que a estrutura final seja martensítica, depois de se ter aquecido a peça a 815-925°C.

É necessário proceder depois a um tratamento de revenido que origina sempre uma ligeira diminuição da dureza e um aumento da resistência à tracção. A resistência à tracção máxima obtém-se usando temperaturas da ordem dos 300-370°C para os ferros fundidos não ligados e 400-500°C para os ferros fundidos ligados.

Os ferros fundidos temperados e revenidos possuem uma resistência ao desgaste cinco vezes maior que o ferro fundido cinzento perlítico, sendo por isso muito utilizados em camisas de cilindros, rolos do equipamento de processamento da borracha e de máquinas de impressão, cunhos para forjamento, rodas dentadas, veios de motores eléctricos.

5.6. - Endurecimento por têmpera a temperaturas elevadas

As peças, aquecidas a uma temperatura superior à crítica (815-925°C), são arrefecidas em banhos quentes de sais, óleo ou chumbo fundido à temperatura de 230-455°C. A vantagem deste processo reside no facto de se originarem tensões internas menos drásticas que as verificadas no processo anterior.

6) - Soldadura

6.1. - Soldadura oxiacetilénica

É geralmente o método preferido para a soldadura do ferro fundido cinzento.

Podem usar-se como metais auxiliares o ferro fundido ou o bronze, apresentando o primeiro a vantagem de ser mais barato e originar um cordão de soldadura que pode ser esmaltado. Contudo, no caso de se pretender uma soldadura forte e não se poder preaquecer a peça a soldar, é conveniente usar o bronze, apresentando o cordão de soldadura uma resistência à tracção de 3850-4900 Kg cm⁻² a temperaturas da ordem dos 260°C.

Para evitar tensões, é conveniente e, em muitos casos, indispensável proceder ao pré-aquecimento e ao post-aquecimento da peça a soldar.

6.2. - Soldadura a arco eléctrico

Como por este processo só uma área limitada da peça fica sujeita a elevadas temperaturas, torna-se necessário em muitos casos pré-aquecer toda a peça. Por outro lado, é possível fazer uma rápida deposição do metal auxiliar o que acelera a operação.

Normalmente usa-se em complemento da soldadura oxiacetilénica.

Os eléctrodos usados com melhores resultados são os de níquel puro ou níquel-cobre. Contudo apresentam certas limitações pois a grafite, usada em alguns revestimentos do eléctrodo, pode-se dissolver no níquel e precipitar depois durante o arrefecimento intergranular ou interdendríticamente, originando o enfraquecimento da soldadura.

Também se tentaram eléctrodos de aço macio mas a sua utilização não conduziu a bons resultados devido às tensões internas que originam causadas pela diferença de contracção do aço e do ferro.

7) - Principais aplicações típicas do ferro fundido cinzento

7.1. - Motores de explosão e de combustão interna ; cabeças e blocos de cilindros; tambores de travões; tubagens de admissão; êmbolos; discos de embraiagens; bases de motores Diesel; cárteres de transmissão, caixas de velocidade, cambota e volante.

Razões do emprego: boa maquinabilidade; absorção de vibrações; resistência ao desgaste, calor e corrosão; durabilidade; larga gama de resistência mecânica; rigidez; fraca sensibilidade a entalhes.

7.2. - Indústria da construção civil : tambores de guindastes de elevação, contrapesos, bombas, equipamento de remoção de terras, betoneiras, compactores, guinchos, grades para auto estradas, tampas e suportes de portas de inspecção de esgotos e canalizações, aquedutos.

Razões do emprego: resistência ao desgaste e à corrosão, durabilidade, maquinabilidade, resistência mecânica, rigidez.

Fundação Cuidar o Futuro

7.3. - Serviços auxiliares de instalações fabris:

Equipamento de centrais de bombagem de água e de produção de vapor, equipamento de transporte de combustível e cinza, grelhas, bombas, válvulas, reguladores de gás.

Razões do emprego: resistência ao desgaste e à corrosão; durabilidade; resistência mecânica.

7.4. - Máquinas ferramentas: colunas, bancos, braços, travessões, estruturas, esquadros de fixação, batentes, cames e engrenagens de tornos, máquinas de furar, rectificadoras, máquinas de estampar, fresas.

Razões do emprego: boa aparência, resistência ao desgaste, durabilidade, rigidez, absorção de vibrações, resistência mecânica, baixa sensibilidade aos entalhes.

7.5. - Máquinas agrícolas: peças de charruas, grades, ceifeiras, bombas, equipamento de leitarias e tractores, silos, discos de moinhos.

Razões do emprego: resistência ao desgaste; durabilidade, maquinabilidade, resistência mecânica, baixa sensibilidade aos entalhes.

7.6. - Equipamento de azearias: órgãos de fornos de coque e outros fornos, moldes e suportes de lingotes, rolos, tambores dos cabos de pontes rolantes, tambores de travões, volantes.

Razões do emprego: resistência ao desgaste e ao calor, durabilidade, re-

sistência mecânica, baixa sensibilidade aos entalhes.

7.7. - Maquinaria geral: engrenagens, estruturas, volantes, tambores, tambores de gornes, cames, cilindros hidráulicos, êmbolos, válvulas, carcaças, rolos, rodas dentadas, cruzetas, bases para todas as espécies de maquinaria industrial e da indústria química, indústria alimentar, centrais produtoras de energia, máquinas impressoras, maquinaria dos metais, fabricação do vidro.

Razões do emprego: boa aparência, resistência ao desgaste, durabilidade, absorção de vibrações, maquinabilidade, rigidez, resistência mecânica.

7.8. - Equipamento doméstico: peças de máquinas de costuras, secadores de roupas, frigoríficos, condicionadores de ar, ferros de engomar, máquinas de lavar, máquinas de cortar relva, motores eléctricos.

Razões do emprego: boa aparência, resistência ao desgaste, durabilidade, maquinabilidade, absorção de vibrações.

7.9. - Equipamento de aquecimento: peças de "stokers", de caldeiras, grelhas, queimadores, fornos, aquecedores de água, irradiadores.

Razões para o emprego: boa aparência, resistência ao calor e à corrosão, durabilidade.

7.10. - Indústria do petróleo: peças para o equipamento de pegos e refinarias de petróleo, equipamento de bombas de distribuição da gasolina, motores, filtros, válvulas, bombas, carcaças, rótores, contadores.

Razões para o emprego: resistência ao calor e à corrosão, durabilidade, maquinabilidade, resistência mecânica.

7.11. - Serviços municipais: bocas de incêndio, contadores de água, peças de incineradores, bombas contra incêndios, tampas e estruturas de portas de inspecção de esgotos e condutas, colectores de água.

Razões do emprego: resistência ao desgaste e à corrosão, durabilidade.

7.12. - Indústria da electricidade: carcaças e estruturas de motores, bases de geradores, corpos de estátores, controles eléctricos, caixas de distribuição, grades, caixas de protecção dos controles e disjuntores.

Razões do emprego: boa aparência, resistência à corrosão, durabilidade, absorção de vibrações, rigidez.

António Ferro