FUCO®

Perfis Fundidos

TUPY

Catálogo Técnico • CT0207

Índice

FUCO®

Introdução

- Ferro Fundido 04

Fundição Contínua - FUCO®

- Processo de Fundição Contínua 05
- Vantagens do FUCO® 07
- Benefícios do FUCO® 09
- Aplicações Típicas do FUCO® 11

Ferros Fundidos Cinzentos

- Descrição 12
- FUCO® FC 200 - Ferro Cinzento Perlítico/Ferrítico 13
- FUCO® FC 300 - Ferro Cinzento Perlítico 17
- FUCO® GMI - Ferro Cinzento com Grafita "D" (refinada) 21

Ferros Fundidos Nodulares

- Descrição 24
- FUCO® FE 40015 - Ferro Nodular Ferrítico 25
- FUCO® FE 45012 - Ferro Nodular Ferrítico/Perlítico 29
- FUCO® FE 55006 - Ferro Nodular Ferrítico/Perlítico 32
- FUCO® FE 70002 - Ferro Nodular Perlítico/Ferrítico 35
- FUCO® ADI - Ferro Nodular Bainítico 39

Dimenções Padronizadas

- Perfis redondos 42
- Perfis retangulares 44
- Perfis quadrados 45

Informações Complementares

- Outras propriedades 46
- Materiais correspondentes em normas de outras entidades 47
- Fórmulas úteis / Fatores de conversão 48

Introdução

Ferro Fundido

Os ferros cinzento e nodular são ligas de ferro-carbono-silício. O carbono é adicionado no metal líquido em quantidades que excedem os limites de solubilidade do ferro e precipita como partículas de grafite. A forma da grafita pode ser lamelar (ferro cinzento) ou esférica (ferro nodular). As figuras 1a e 1b mostram a microestrutura típica destes dois tipos de ferro.

A forma e distribuição da grafita assim como a estrutura da matriz, influência diretamente as propriedades do ferro fundido. Esta é a razão pela qual a seleção da classe correta, é a primeira, e mais crucial etapa no desenvolvimento de novas aplicações. Além das classes padronizadas de ferros fundidos, pode ser necessário examinar as variações dessas classes com adições de elementos de ligas, ou processos de tratamento térmico que ajudarão a reunir as propriedades metalúrgicas adequadas às suas necessidades.

Nosso departamento técnico, poderá ajudá-lo a determinar qual a classe de material mais adequada as suas necessidades através do DDG 0800 727 8400.

Figura 1a - Ferro cinzento

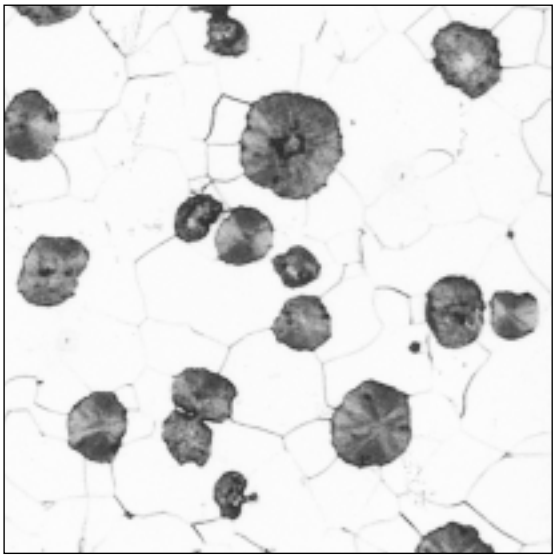


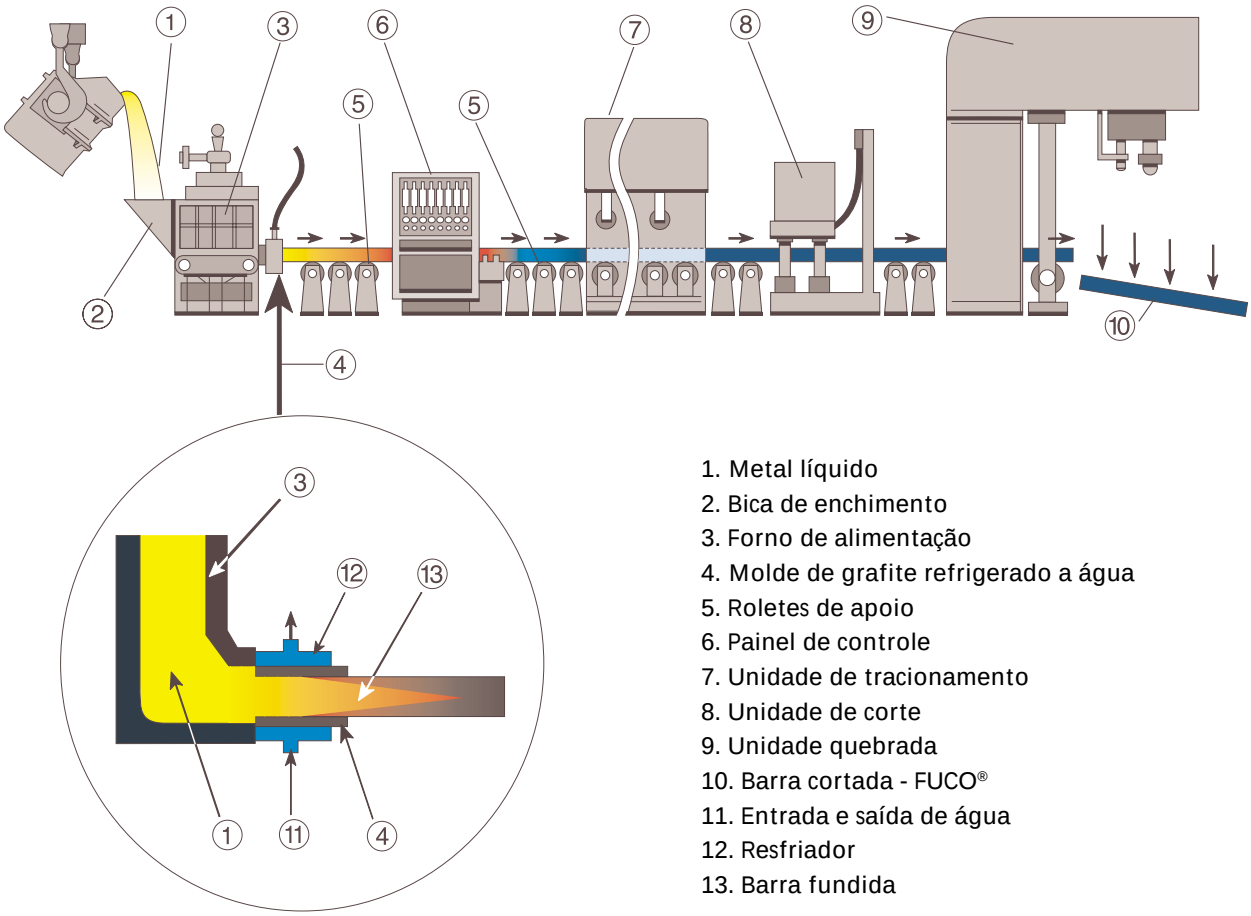
Figura 1b - Ferro nodular

Fundição Contínua - FUCO®

Processo de Fundição Contínua

A constante evolução da tecnologia de fundição dos ferros fundidos está contribuindo cada vez mais para o desenvolvimento de novas aplicações, possibilitando assim alternativas mais econômicas para se obter produtos com qualidade similar ou superior, às obtidas a partir de barras de aço ou fundição convencional (areia).

O nome FUCO® é uma marca registrada para Perfis Fundidos, denominada do processo de **Fundição Contínua** (figura 2) que consiste no vazamento do metal líquido num forno alimentador, onde na parte frontal inferior é montada uma coquilha de grafite refrigerada à água, que confere a forma e a dimensão desejada do perfil a ser produzido. Quando o metal líquido entra em contato com a coquilha, inicia-se a formação de uma casca sólida. Quando esta casca tiver resistência suficiente para suportar a pressão metalostática e o metal líquido existente no núcleo da barra, um comando eletrônico aciona os motores que tracionam a barra no sentido horizontal. A medida que a barra percorre o comprimento da máquina o processo de solidificação se completa. Depois as barras são entalhadas com discos de corte e, em seguida, quebradas por punção no comprimento solicitado pelos clientes.



1. Metal líquido
2. Bica de enchimento
3. Forno de alimentação
4. Molde de grafite refrigerado a água
5. Roletes de apoio
6. Painel de controle
7. Unidade de tracionamento
8. Unidade de corte
9. Unidade quebrada
10. Barra cortada - FUCO®
11. Entrada e saída de água
12. Resfriador
13. Barra fundida

Figura 2 - Processo de fundição contínua - FUCO®

Como a geometria do FUCO® é delineada por uma coquilha de grafite refrigerada, torna-se possível à produção de barras com estrutura refinada, excelentes propriedades mecânicas e de elevada sanidade. Estas características fazem do FUCO® um material econômico e de alta performance, permitindo sua utilização na fabricação de diversos componentes metálicos.

O processo de fundição contínua permite que se obtenham os mais diferentes formatos geométricos, tais como seções redondas, quadradas, retangulares, ovais, e outras que mais se aproximem da geometria final da peça (figura 3) a ser confeccionada a partir de uma barra de FUCO®.

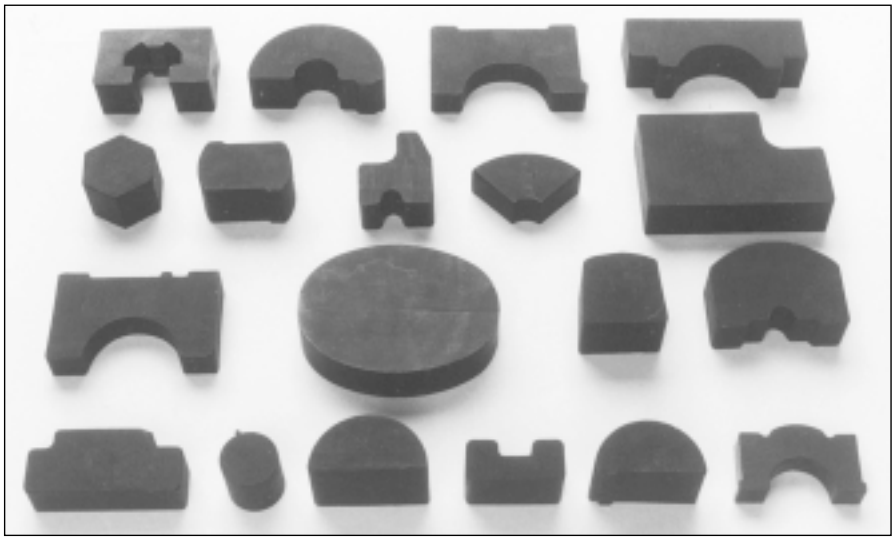


Figura 3 - Formatos especiais próximos à geometria final da peça

Vantagens do FUCO®

O FUCO® apresenta muitas vantagens quando comparado a outros ferros fundidos. Devido à sua natureza única e seu processo de fabricação, muitos defeitos típicos aos métodos tradicionais de fundição podem ser evitados, reduzindo assim, uma das principais fontes de perda (refugo) após a usinagem. Dentre os defeitos raramente encontrados no FUCO® destacam-se:

Bolhas de Gás: Defeitos que ocorrem internamente num fundido e que geralmente são de aparência arredondada com superfície interna lisa, podendo apresentar-se também com aspecto alongado e em diversos tamanhos. A formação de porosidades pode ter diversas causas, todas elas provenientes de fonte de gases. Podem ser citadas como prováveis causas de formação de porosidades:

a) Gases provenientes de materiais de moldagem, macharia e tintas.
b) Aprisionamento mecânico de gases
b.1 - contidos nas cavidades do molde;
b.2 - gerados pelos moldes e machos;
b.3 - devido à turbulência durante o vazamento;
b.4 - devido a sistemas de canais inadequados;
c) Gases dissolvidos no metal líquido

Para a produção do FUCO®, o molde utilizado é de grafite, que não libera gases quando submetido a altas temperaturas. Além disso, não existem as principais fontes de gases anteriormente citadas. Em perfis produzidos por fundição contínua, a presença de gases limita-se apenas aos contidos no metal líquido, o que reduz acentuadamente a tendência à formação de porosidades em relação a outros processos de fundição.

Rechupes: Cavidades ocasionadas pela contração do metal líquido durante a solidificação, normalmente situadas nas seções mais espessas, nos centros térmicos das peças. Na fundição de ferro fundido em areia, além da contração do metal líquido durante a solidificação, existe um agravante que é a expansão do molde, aumentando a necessidade de metal líquido para compensar a variação dimensional que a peça sofre.

Em fundição contínua, existem duas variáveis que reduzem a tendência ao aparecimento dos rechupes, que são:

✔ **Moldes de grafite:** Por serem rígidos, não se deformam com os esforços que ocorrem durante a solidificação dos ferros fundidos.

✔ **Alimentação contínua:** Um forno com aproximadamente 2 t de metal líquido trabalha como um massalote, alimentando a peça até a completa solidificação.

Desta forma, ao se usinar uma peça a partir do FUCO®, não se incorrerá em riscos de desagradáveis surpresas ao final da usinagem, como o aparecimento de rechupes.

◗ **Inclusões de escória:** Este resíduo não-metálico sempre causou problemas às fundições que operam com moldes fechados. Essas impurezas rotineiramente são vazadas junto com o ferro líquido para dentro do molde.

O processo de fundição contínua começa com o vazamento do ferro líquido no forno de alimentação. Como a escória normalmente possui menor densidade que o ferro líquido, esta flutua e concentra-se na parte superior do forno, onde pode ser facilmente removida. Isto faz com que apenas o metal sem impurezas entre na coquilha e forme barras isentas de defeitos.

◗ **Estanqueidade:** Em fundição convencional (areia) não é raro achar grafita grosseira em peças espessas, que submetidas à alta pressão, podem apresentar vazamento de óleo através de micro passagens nessa estrutura aberta.

Em fundição contínua, devido às elevadas velocidades de extração de calor proporcionadas pela coquilha de grafite refrigerada, obtém-se uma razão de resfriamento mais rápida e uniforme do ferro líquido. Esta característica particular do processo, é responsável pelo refinamento das grafitas, proporcionando uma elevada estanqueidade, fundamental na produção de componentes hidráulicos. (ver figura 4)

Figura 4 - Componentes hidráulicos (manifolds, pistões, êmbolos, tampas, corpos de válvula

Benefícios do FUCO®:

Comparação com Aço. (peso e amortecimento de vibrações)

Densidade do FUCO® = 7,2g/cm³

Densidade do aço = 7,86g/cm³

A densidade do FUCO®, aproximadamente 10% inferior ao aço, deve-se ao maior percentual de carbono (densidade = 2,2g/cm³) em forma de grafita na estrutura do ferro fundido. Isto resulta em menor peso e maior amortecimento de vibrações, características importantes na fabricação de engrenagens e outros componentes de máquinas.

Menor remoção de sobremetal

O processo de fundição contínua permite a produção de barras de diferentes formatos e dimensões, muito próximas às desejadas na peça acabada. As barras são produzidas com uma superfície livre de inclusões de areia, linhas divisórias, canais, e outras inconsistências de alimentação e respiros encontradas em outros fundidos. Isto significa cortes suaves ininterruptos com menos tempo para usinar uma peça de FUCO®.

Melhor usinabilidade

Além do benefício de menos remoção de material, o FUCO® oferece mais características atraentes. A presença de grafita na estrutura funciona como quebrador de cavacos e lubrificante natural durante a usinagem. Isso gera uma maior velocidade de corte e desgaste de ferramental mais baixo. Os melhores resultados são encontrados em ferros fundidos cinzentos e nodulares com matriz ferrítica.

Classes de alta resistência

Para a produção de componentes que necessitem elevada resistência mecânica, dispõe-se de uma liga que atenda à classe FE 70002, mas que pode ter sua resistência e tenacidade aumentada através do tratamento térmico de austêmpera, obtendo-se um ferro fundido nodular de matriz bainítica. Com este material pode-se atingir valores de limites de resistência da ordem de 1000 a 1500 MPa, com valores de alongamento de até 6%. Os ferros fundidos nodulares submetidos ao tratamento térmico de austêmpera, são indicados para a fabricação de engrenagens, eixos comando de válvulas, pinos, buchas e outros componentes que necessitem uma boa tenacidade associada à alta resistência ao desgaste. Devido a sua alta temperabilidade, este material pode também ser submetido a tratamentos térmicos de têmpera e revenido, normalização e outros, sendo possível, portanto, obter-se uma ampla faixa de combinações de propriedades mecânicas.

Eliminação de custos de ferramentaria: (modelos e caixas de macho)

Por se dispor de tamanhos e formas variadas, será sempre possível selecionar um tipo de FUCO®, que mais se aproxime da forma final do componente a ser usinado. Isto elimina os dispêndios elevados com ferramentais de fundição e os longos prazos para obtê-los, reduzindo significativamente o custo final do produto, principalmente quando se trata de itens com baixa demanda, tais como protótipos, peças que sofrerão alterações, peças para manutenção e outras.

Menor refugo após usinagem

A produtividade da usinagem gira em torno da consistência do material, e a isenção dos defeitos comuns em peças fundidas em areia, isto faz do FUCO® o melhor produto em performance de usinagem.

Tratamentos Térmicos de Superfície

O FUCO® é adequado a diferentes tipos de tratamentos térmicos e outros tratamentos de superfície. Estes processos podem melhorar a resistência à fadiga, desgaste e resistência à corrosão. Práticas tradicionais de tratamento térmico funcionam bem com o FUCO®: (Consulte seu serviço local de tratamento térmico quanto ao melhor processo para suas necessidades). Tempera superficial em guias de válvula, revestimento de cromo duro em moldes para vidraria, nitretação e shot peening são alguns exemplos de tratamentos usados no FUCO®.

Aplicações Típicas do FUCO®

Muitos componentes metálicos normalmente produzidos em ferro fundido cinzento ou nodular, alguns tipos de aços, alumínio e bronze, podem ser fortes candidatos a conversão para o FUCO®. A tabela 1 mostra algumas aplicações onde o FUCO® tem substituído outros materiais com sucesso.

SEGMENTO DE MERCADO	COMPONENTES	
Hidráulica e pneumática	Manifolds, êmbolos, tampas de cilindro, cabeçotes de cilindro, corpos de válvula, rotores.	
Vidrarias	Moldes, formas, pinos, punções, neck rings, machos.	
Máquinas e Equipamentos	Polias, acoplamentos, roldanas, eixos, réguas guias, buchas, arruelas, porcas, engrenagens,pinos, contra pesos, mesas, flanges, mancais, martelos.	
Autopeças	Capas de mancal, distanciadores, êmbolos pistão de freio, anéis, guia de válvulas, eixos comandos, sedes de válvulas.	
Outros	Protetores de termopar, matrizes, retentores, cones, plugs, placas de válvulas, rolos para leito de resfriamento, coquilhas.	

Tabela 1 - Aplicações típicas do FUCO®

Estes exemplos mostram a versatilidade do produto FUCO®, que atende a uma grande diversidade de segmentos, desde aplicações simples como arruelas e polias, até aplicações complexas como moldes para indústria vidreira e corpos de válvulas para componentes hidráulicos.

Ferros Fundidos Cinzentos

Descrição

As classes FC 200, FC 300 e GMI representam o grupo de ferros fundidos cinzentos produzidos pelo processo de fundição contínua. Estas classes apresentam sempre grafita em forma de veios, e se distinguem pelo tipo de grafita e pela matriz. Estas características influenciam as seguintes propriedades:

- Usinabilidade;
- Dureza;
- Resistência ao desgaste;
- Limite de resistência à tração;
- Acabamento superficial e outros.

A especificação mais comum dos ferros fundidos cinzentos contém grafita forma VII, tipo A, tamanho 3 - 6, avaliada de acordo com ASTM A 247.

A classe FC 200 apresenta esta distribuição de grafita em uma matriz perlítica/ ferrítica e recomenda-se sua aplicação em peças que requeiram resistências moderadas, bom amortecimento de vibrações, boa condutividade térmica e boa usinabilidade.

A classe FC 300 também apresenta esta distribuição, porém com uma matriz totalmente perlítica, o que lhe confere melhores propriedades mecânicas e boa temperabilidade.

Na classe GMI a grafita é essencialmente tipo D, tamanho 6 - 8 em uma matriz ferrítica/perlítica. Este material é recomendado para a fabricação de moldes na indústria vidreira e também para peças que requeiram excelente acabamento superficial.

FUCO® FC 200 - Ferro Cinzento Perlítico/Ferrítico

Descrição

FUCO® FC 200 é um ferro fundido cinzento que possui como principal característica uma excelente usinabilidade, permitindo o aumento das velocidades de corte e a redução do desgaste prematuro das ferramentas, garantindo assim estreitas tolerâncias dimensionais.

Esta especificação é similar às normas ABNT NBR 6589 - classe FC 200 e ASTM A 48 - classe 30.

Microestrutura

A microestrutura típica do FUCO® FC 200 é constituida de grafita lamelar, forma VII, tipo A, tamanho 3 - 6, conforme definição da norma ASTM A 247. A matriz é predominantemente perlítica, podendo ter entre 5 e 20% de ferrita. A periferia é constituida de grafita tipo D, tamanho 6 - 8, em matriz essencialmente ferrítica, podendo ter aproximadamente 5% de carbonetos dispersos. (ver figuras 5a e 5b).

Figura 5a - Microestrutura típica no centro (FUCO® FC 200)

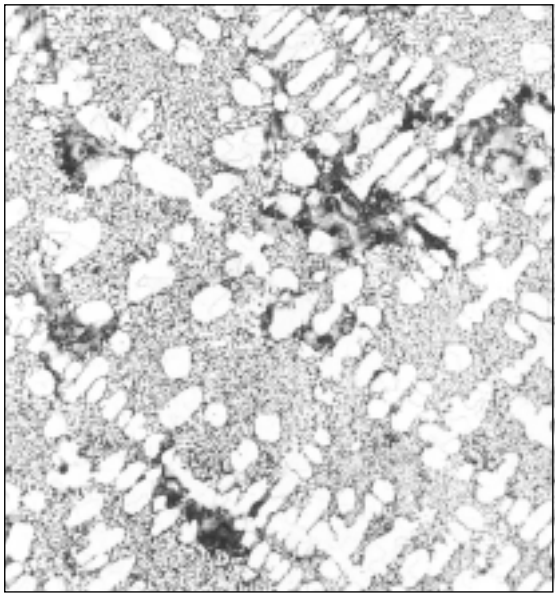


Figura 5b - Microestrutura típica na periferia (FUCO® FC 200)

Propriedades Mecânicas

Na tabela 2, são especificados, os valores mínimo e máximo da dureza para análises realizadas na seção transversal da barra, e os valores de resistência à tração em corpos de prova retirados na seção médio raio da barra.

Dimensões Brutas *(mm)*	Dimensões Nominais *(polegada)*	Dureza *(HB)*	Resistência à Tração (min.) *(MPa)*
Até 27,6	Até 1	163 - 229	200
30,7 - 43,4	$1^1/_8$ - $1^5/_8$	163 - 229	190
46,6 - 63,1	$1^3/_4$ - $2^5/_8$	163 - 229	180
66,3 - 79,0	$2^1/_2$ - 3	163 - 229	170
82,6 - 92,1	$3^1/_8$ - $3^1/_2$	163 - 229	160
98,4 - 111,5	$3^3/_4$ - $4^1/_4$	163 - 229	150
113,6 - 124,2	$4^5/_{16}$ - $4^3/_4$	163 - 229	140
130,6 - 150,0	5 - $5^3/_4$	163 - 229	130
156,3 - 254,1	6 - $9^3/_4$	163 - 229	125

Tabela 2 - Dureza e resistência à tração do FUCO® FC 200

A resistência à tração varia com o diâmetro e espessura das barras, ou seja, quanto maior o diâmetro, menor a resistência à tração. Os resultados típicos encontrados em corpos de prova retirados na seção médio raio das barras são mostrados na figura 6.

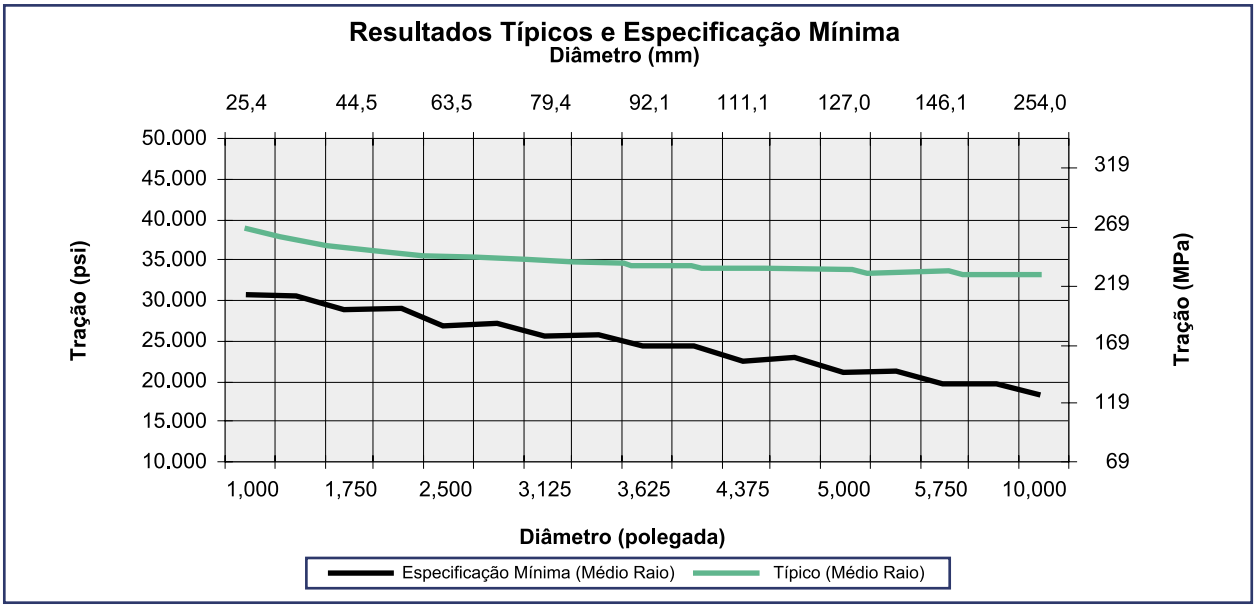


Figura 6 - Resistência à tração do FUCO® - Resultados típicos e especificação

A figura 7 mostra a variação da resistência à tração existente entre as seções periferia, médio raio e núcleo da barra.

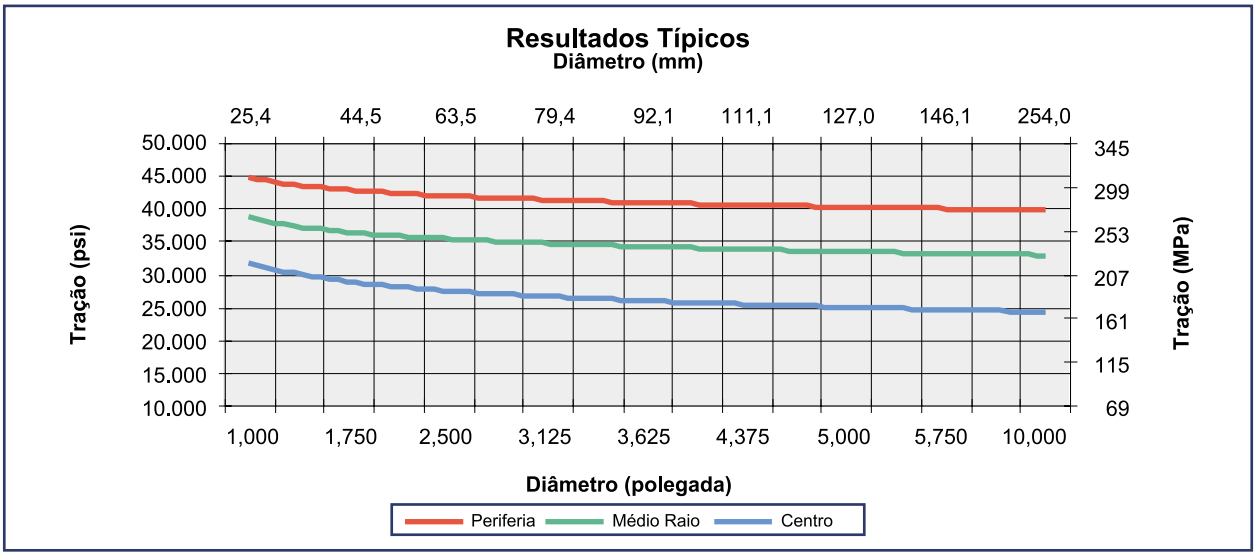


Figura 7 - Resistência à tração do FUCO® em posições diferentes da seção transversal

Os resultados típicos de dureza encontrados na seção transversal das barras, nas regiões periferia, médio raio e núcleo são mostrados na figura 8.

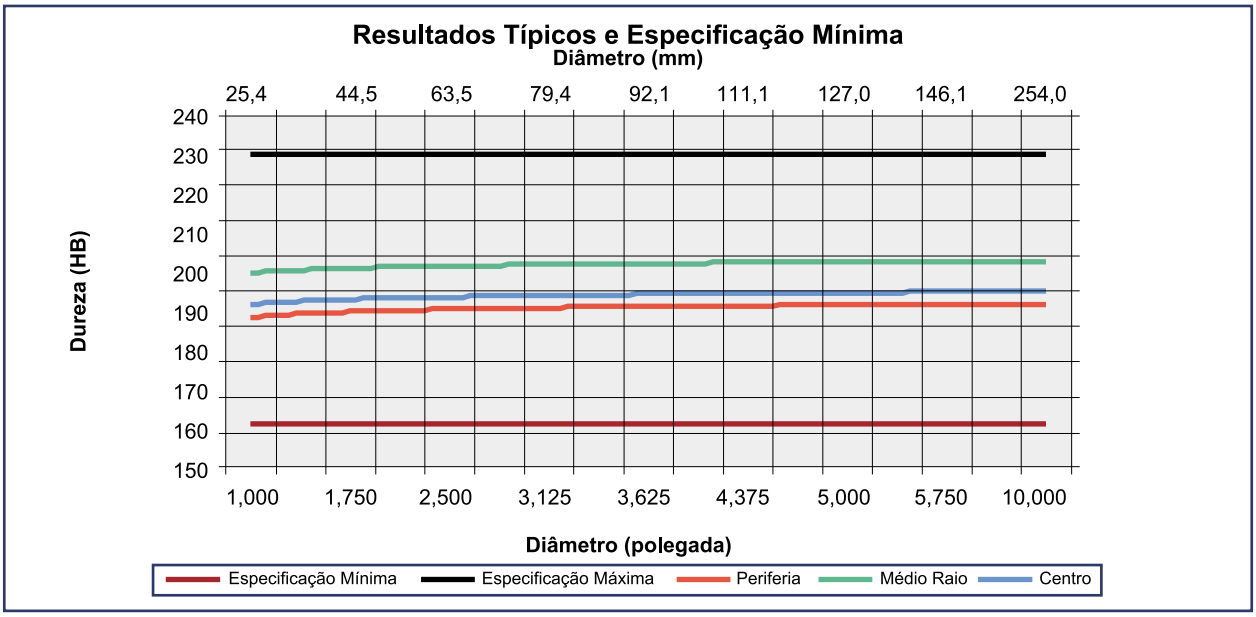


Figura 8 - Resultados típicos de dureza do FUCO® FC 200 em diferentes regiões

Composição Química

A composição química geral para o FUCO® FC 200 como mostra a tabela 3, está subordinada às propriedades mecânicas. A análise química se refere a amostra retirada do metal líquido, e poderá apresentar variação se for comparada com a análise realizada na barra.

Elemento	%
C[1]	2,80 - 3,70
Si	2,20 - 2,70
Mn	0,20 - 0,70
P	0,20 máx.
S	0,15 máx.
Cr	0,10 máx.

Tabela 3 - Composição química FUCO® FC 200

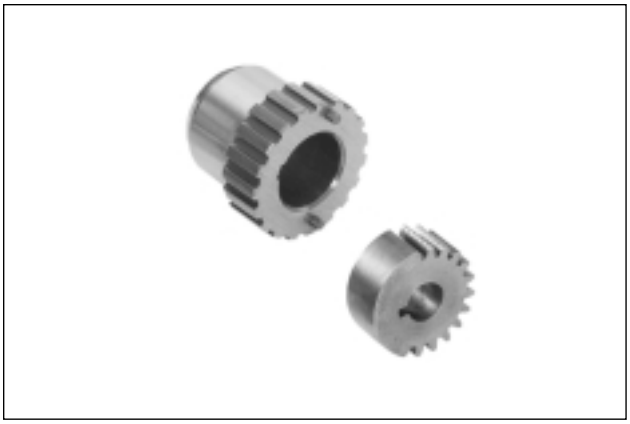
Nota1: As faixas de carbono são especificadas para cada grupo de bitolas, de maneira a controlar o tipo e tamanho da grafita. A variação dentro do mesma faixa é de aproximadamente 0,20%.

Tratamento Térmico

FUCO® FC 200 pode ser temperado em óleo para aumentar a dureza (aprox. 40 HRC) na superfície da peça, aumentando assim a resistência ao desgaste. Outro tratamento térmico usual é o recozimento, usado para reduzir a dureza (110 - 170 HB) o que melhora sensivelmente a usinabilidade.

Aplicações típicas

O FUCO® FC 200 é recomendado para aplicações que requeiram moderadas propriedades mecânicas, tais como: buchas, polias, anéis, manípulos, mesas para máquinas-ferramentas, contra-pesos, flanges, plugs, estruturas para máquinas, mancais, acoplamentos, roldanas, carretéis, fusos para máquinas têxteis, etc.



FUCO® FC 300 - Ferro Cinzento Perlítico

Descrição

FUCO® FC 300 é um ferro fundido cinzento com estrutura essencialmente perlítica, o que lhe proporciona elevadas propriedades mecânicas, bom acabamento superficial e boa temperabilidade. Outra característica importante é a boa estanqueidade, que aliada às propriedades acima mencionadas, possibilita sua utilização em peças para componentes hidráulicos sujeitos a altas pressões.

Esta especificação é similar às normas ABNT NBR 6589 - classe FC 300 e ASTM A 48 - classe 40.

Microestrutura

A microestrutura típica do FUCO® FC 300 é constituida de grafita lamelar, forma VII, tipo A, tamanho 3 - 6, conforme definição da norma ASTM A 247. A matriz é predominantemente perlítica, podendo ter até 10% de ferrita. A periferia é constituida de grafita tipo D, tamanho 6 - 8, em matriz ferrítica/perlítica, podendo ter aproximadamente 5% de carbonetos dispersos. (ver figura 9a e 9b).

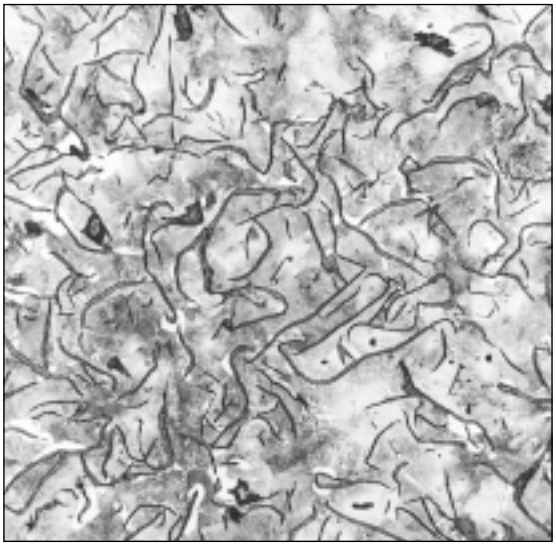


Figura 9a - Microestrutura típica no centro (FUCO® FC 300)

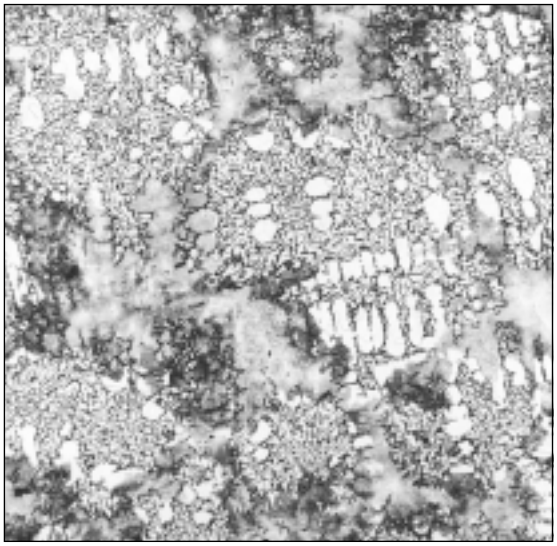


Figura 9b - Microestrutura típica na periferia (FUCO® FC 300)

Propriedades Mecânicas

Na tabela 4, são especificados, os valores mínimo e máximo da dureza para análises realizadas na seção transversal da barra e os valores de resistência à tração em corpos de prova retirados na seção médio raio da barra.

Dimensões Brutas *(mm)*	Dimensões Nominais *(polegada)*	Dureza *(HB)*	Resistência à Tração (min.) *(MPa)*
Até 27,6	Até 1	197 - 285	270
30,7 - 53,0	$1^1/_8$ - 2	197 - 269	250
56,8 - 79,0	$2^1/_8$ - 3	197 - 269	240
82,6 - 104,8	$3^1/_8$ - 4	197 - 269	230
108,3 - 156,8	$4^1/_8$ - 6	197 - 269	205
159,9 - 260,5	$6^1/_8$ - 10	179 - 255	185
270,5 - 345,0	$10^1/_4$ - 13	179 - 255	170
370,4 - 552,7	14 - 21	179 - 255	160

Tabela 4 - Dureza e resistência à tração do FUCO® FC 300

A resistência à tração varia com o diâmetro e espessura das barras, ou seja, quanto maior o diâmetro, menor a resistência à tração. Os resultados típicos encontrados em corpos de prova retirados na seção médio raio das barras são mostrados na figura 10.

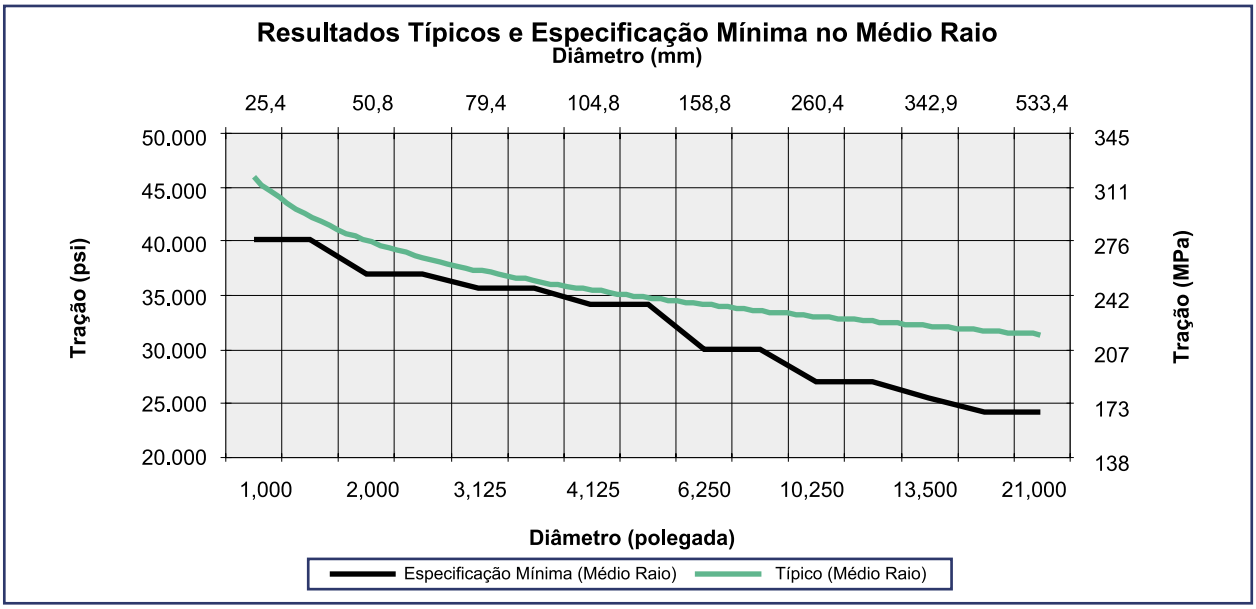


Figura 10 - Resistência à tração do FUCO® - Resultados típicos e especificação

A figura 11 mostra a variação da resistência à tração existente entre as seções periferia, médio raio e núcleo da barra.

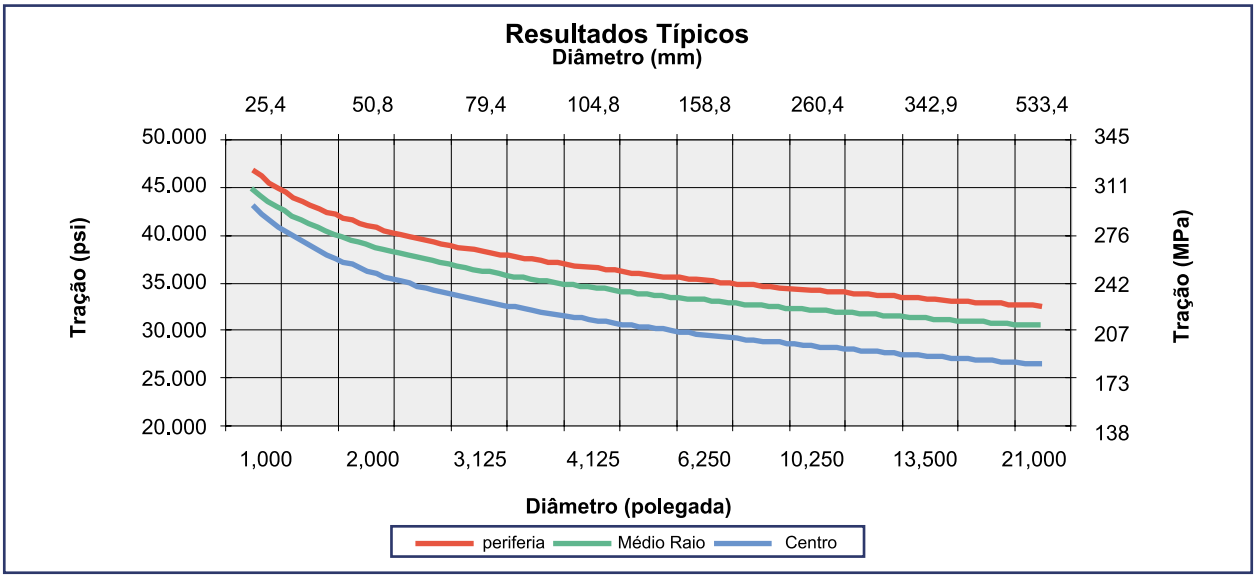


Figura 11 - Resistência à tração do FUCO® em posições diferentes da seção transversal

Os resultados típicos de dureza encontrados na seção transversal das barras, nas regiões periferia, médio raio e núcleo são mostrados na figura 12.

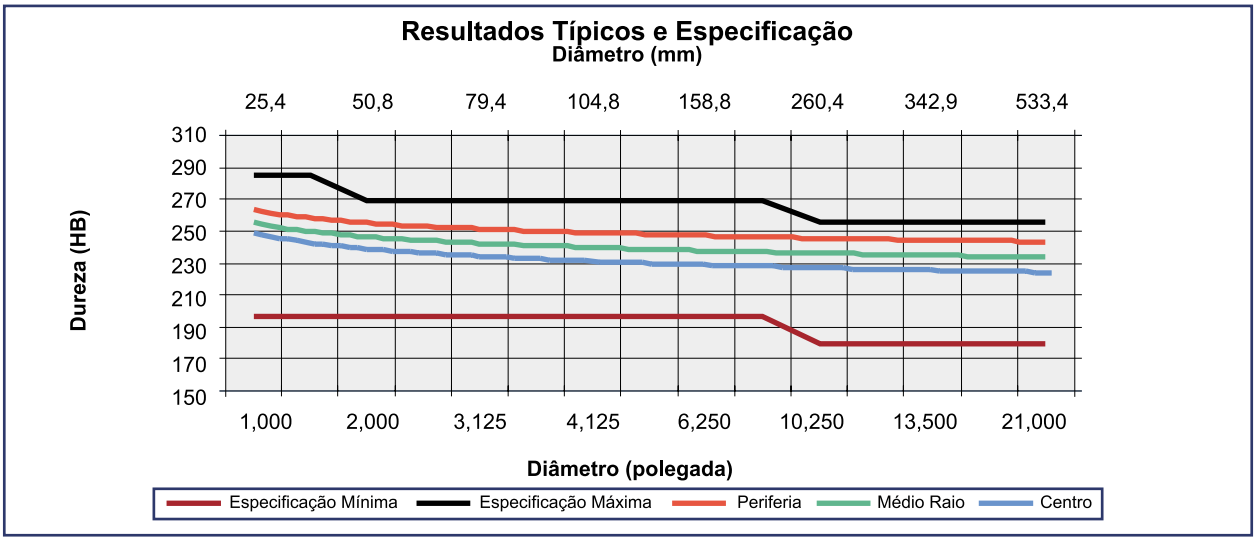


Figura 12 - Resultados típicos de dureza do FUCO® FC 300 em diferentes regiões

Composição Química

A composição química geral para o FUCO® FC 300 como mostra a tabela 5, está subordinado às propriedades mecânicas. A análise química se refere à amostra retirada do metal líquido, e poderá apresentar variação se for comparada com a análise realizada na barra.

Elemento	%
C[1]	2,80 - 3,70
Si	2,20 - 2,70
Mn	0,20 - 0,70
P	0,20 máx.
S	0,15 máx.
Cr	0,10 máx.

Tabela 5 - Composição química FUCO® FC 300

Nota 1: As faixas de carbono são especificados para cada grupo de bitolas, de maneira a controlar o tipo e tamanho da grafita.
A variação dentro do mesma faixa é de aproximadamente 0,20%.

Nota 2: Adições de elementos de ligas perlitizantes podem ser feitas para se obter as propriedades mecânicas.

Tratamento Térmico

FUCO® FC 300 pode ser temperado em óleo para aumentar a dureza (aprox. 50 HRC) na superfície da peça, aumentando assim a resistência ao desgaste. Como a matriz é predominantemente perlítica, é possível fazer têmpera superficial (chama ou indução).

Aplicações típicas

FUCO® FC 300 - além de possuir elevadas propriedades mecânicas, apresenta bom acabamento superficial e boa estanqueidade, o que possibilita sua utilização em componentes de máquina sujeito a desgaste como: réguas guia, êmbolos, válvulas hidráulicas, cabeçotes, tampas de cilindro, cremalheiras, anéis para pistão, protetores de termopares, coquilhas, matrizes, acoplamentos, distanciadores, etc.

FUCO® GMI - Ferro Cinzento com Grafita "D" (refinada)

Descrição

FUCO® GMI é um ferro fundido cinzento com grafita essencialmente tipo D. Desenvolvido originalmente para fabricação de moldes na indústria vidreira, o GMI possui grafita extremamente refinada, proporcionando-lhe um excelente acabamento superficial. Destaca-se também pela ótima usinabilidade e boa condutividade térmica. Quando submetido a repetitivos ciclos térmicos de aquecimento/resfriamento, apresenta uma boa estabilidade dimensional devido ao pequeno tamanho da grafita e matriz essencialmente ferrítica.

Microestrutura

A microestrutura típica do FUCO® GMI é constituida de grafita refinada, forma VII, tipo D (70% mín.), tamanho 6 - 8, conforme definição da norma ASTM A 247. A matriz é ferrítica com até 20% de perlita, podendo conter no máximo 5% de carbonetos dispersos. (ver figura 13)

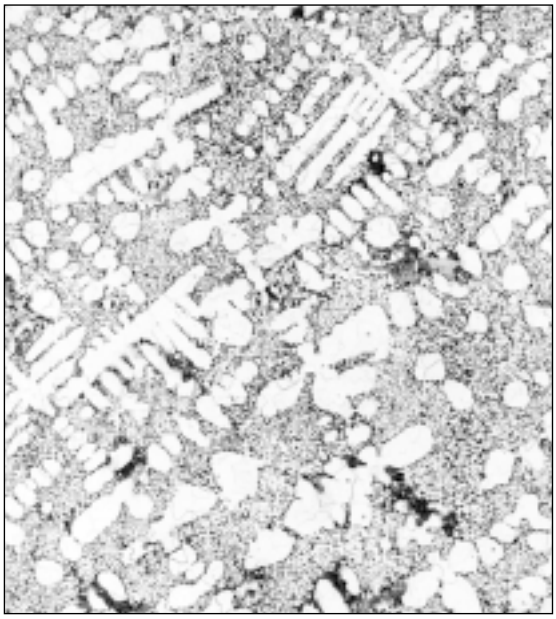


Figura 13 - Microestrutura típica FUCO® GMI

Propriedades Mecânicas

Valores mínimo e máximo de dureza para análises realizadas na seção transversal da barra e os valores de resistência à tração em corpos de prova retirados na seção médio raio da barra estão abaixo relacionados.

Resistência à tração (min) = 170 MPa
Dureza (HB) = 131 - 207

Resultados típicos de dureza são apresentados na Figura 14.

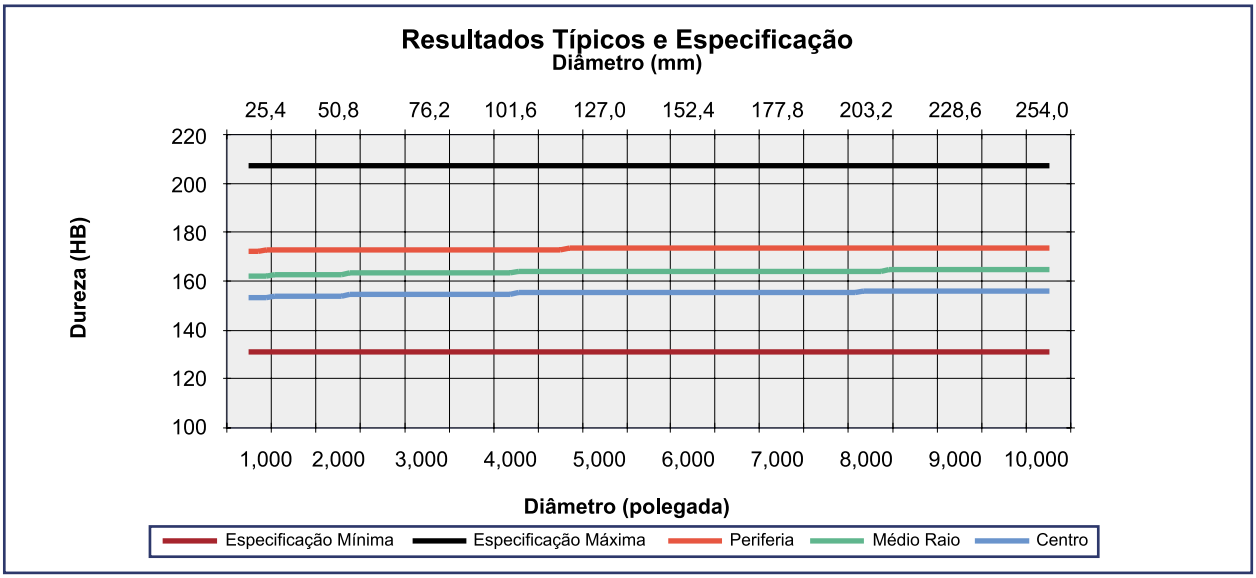


Figura 14 - Dureza FUCO® GMI

Propriedades Físicas

Condutividade térmica (W/m.K) 100 a 400ºC = 41 a 44

Coeficiente de expansão térmica (10^{-6}/K) 20ºC / 20ºC a 400ºC = 10 a 12,5

Composição Química

A composição química geral do FUCO® GMI está subordinada às propriedades mecânicas e é mostrada na tabela 6. A análise química se refere à amostra retirada do ferro líquido, e poderá apresentar variação se for comparada com a análise realizada na barra.

Elemento	%
C[1]	3,10 - 3,80
Si	2,20 - 2,80
Mn	0,30 máx.
P	0,10 máx.
S	0,015 máx.
Ti[2]	0,35 máx.

Tabela 6 - Composição química FUCO® GMI

Nota 1: As faixas de carbono são especificados para cada grupo de bitolas, de maneira a controlar o tamanho da grafita. A variação dentro do mesma faixa é de aproximadamente 0,20%.

Nota 2: Adições de Ti são feitas para promover grafita D.

Tratamento Térmico

O tratamento térmico de ferritização, aquecendo as peças à 760ºC e resfriando no forno até 300ºC é o mais comum no FUCO® GMI. Também pode ser temperado em óleo para aumentar a dureza (aprox. 50 HRC) na superfície da peça, para isto algumas adições de elementos de liga (Mo, Cr, Mn) devem ser feitas.

Aplicações típicas

FUCO® GMI (Glass Mold Iron) - Tem como principais características o excelente acabamento superficial, ótima usinabilidade e boa condutividade térmica. Seu principal campo de aplicação é na fabricação de peças para indústria vidreira (figura 15), tais como: moldes, formas, pinos e neck rings, podendo também ser utilizado para êmbolo de pistão de freio.

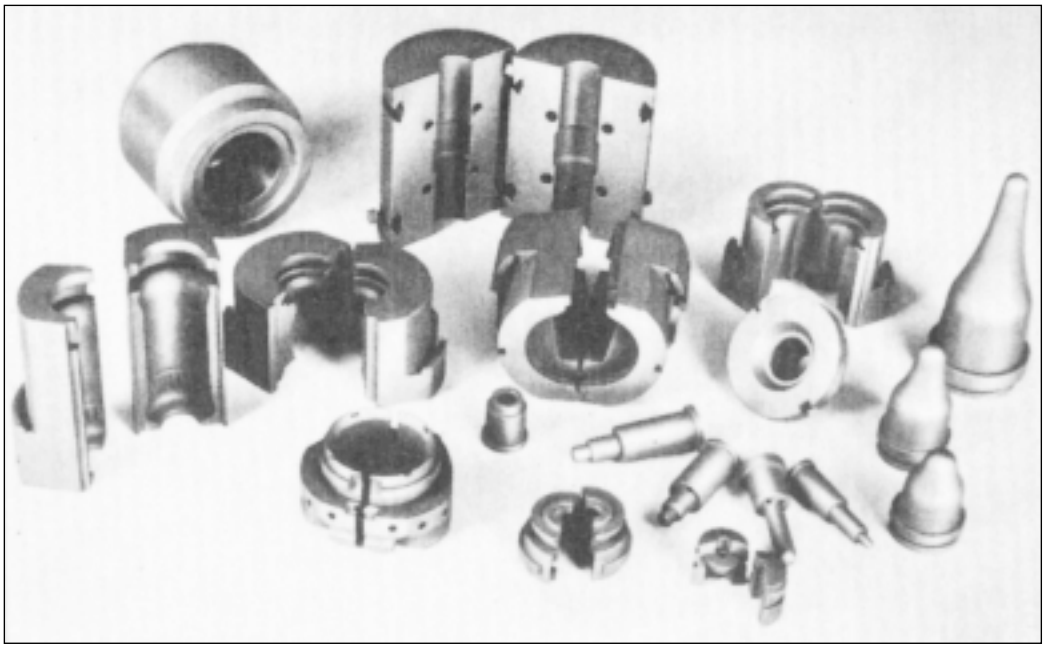


Figura 15 - Formas e acessórios aplicados à indústria de vidraria

Ferros Fundidos Nodulares

Descrição

Os ferros fundidos nodulares fabricados em fundição contínua FUCO®, cuja característica estrutural dominante é apresentar carbono livre na forma de nódulos (esferas) de grafita, são produzidos nas classes FE 40015; FE 45012, FE 55006 , FE 70002 e ADI.

A obtenção da grafita forma I e II, avaliadas de acordo com ASTM A 247 é conseqüência da adição de determinados elementos químicos ou condições particulares de fabricação, que modificam a forma de crescimento da mesma.

Este tipo de material é recomendado para peças que requeiram elevadas propriedades mecânicas, boa tenacidade e ótima estanqueidade.

Além da forma da grafita, os níveis de ferrita e/ou perlita da matriz são quem determinam as propriedades mecânicas do material, e conseqüentemente, sua classe. O limite de resistência à tração do FUCO®, na condição bruto de fusão, pode variar entre 400 a 700 MPa com alongamento de 2 a 15%.

FUCO® - FE 40015 / FE 45012 - As principais características do FE 40015 e FE 45012, com matriz ferrítica e ferrítica / perlítica são:

- Boa usinabilidade
- Excelente acabamento superficial
- Excelente estanqueidade.

FUCO® - FE 55006 / FE 70002 - Os ferros fundidos nodulares perlíticos/ferríticos e perlíticos além de possuírem excelente acabamento superficial e excelente estanqueidade, possuem também ótima temperabilidade e elevada resistência ao desgaste.

FUCO® FE 40015 - Ferro Nodular Ferrítico

Descrição

FUCO® FE 40015 é um ferro fundido com grafita em forma de nódulos e matriz essencialmente ferrítica. Além da excelente usinabilidade, a matriz ferrítica proporciona uma elevada tenacidade e alta permeabilidade magnética.

Este material possui limite de resistência à tração e limite de escoamento similar ao aço SAE 1020 laminado a quente.

Esta especificação é similar às normas ABNT NBR 6916 - classe FE 38017 e ASTM A 536 classe 60-40-18.

Microestrutura

A microestrutura típica do FUCO® FE 40015 é constituida de grafita nodular (esférica), forma I e II, tamanho 5 - 8, conforme definição da norma ASTM A 247. A matriz é essencialmente ferrítica. (figura 16a e 16b)

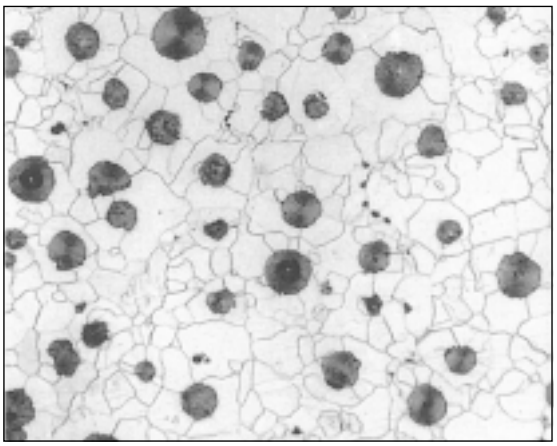


Figura 16a - Microestrutura típica no núcleo (FUCO® FE 40015)

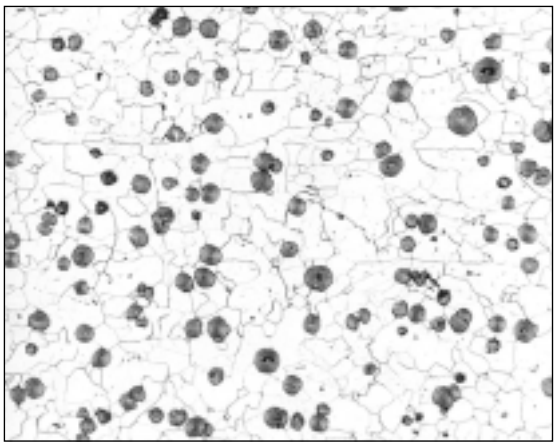


Figura 16b - Microestrutura típica na periferia (FUCO® FE 40015)

Propriedades Mecânicas

Os valores de dureza, resistência à tração, escoamento e alongamento do FUCO® FE 40015 são especificadas na tabela 7.

Dimensões Brutas (mm)	Dimensões Nominais (polegadas)	Dureza (HB)	Tração (MPa)	Escoamento (MPa)	Alongamento (%)
27,6 - 552,7	1 - 21	131 - 197	400	280	15

Tabela 7 - Propriedades mecânicas FUCO® FE 40015

Os resultados típicos de resistência à tração e alongamento são apresentados nas Figuras 17 e 18:

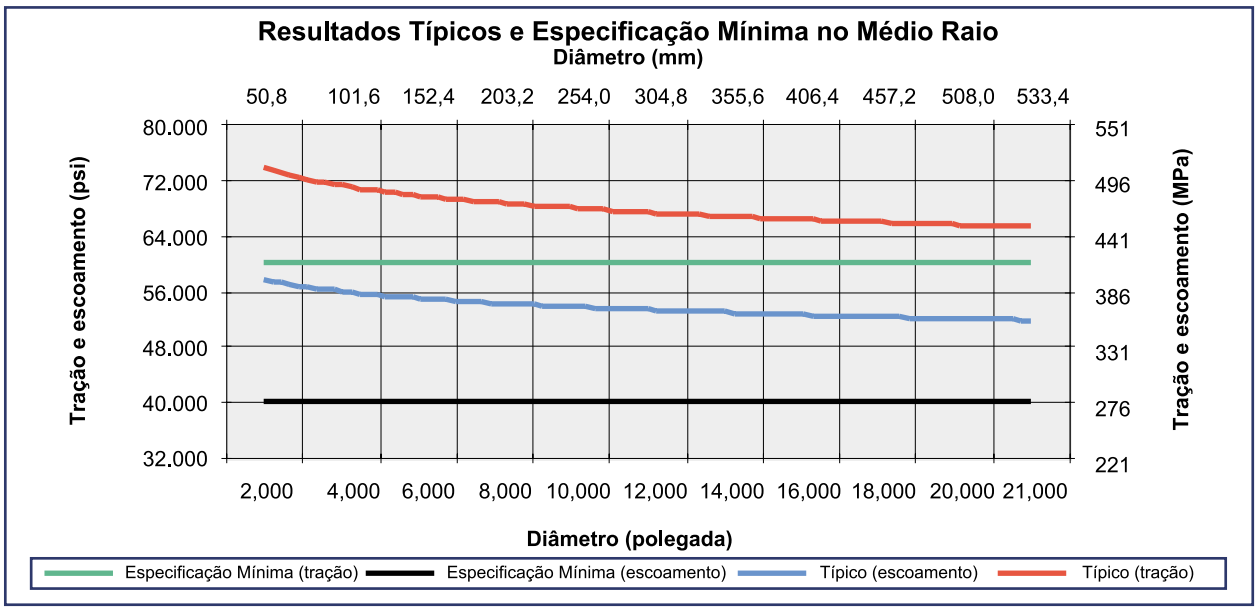


Figura 17 - Resistência à tração - FUCO® FE 40015

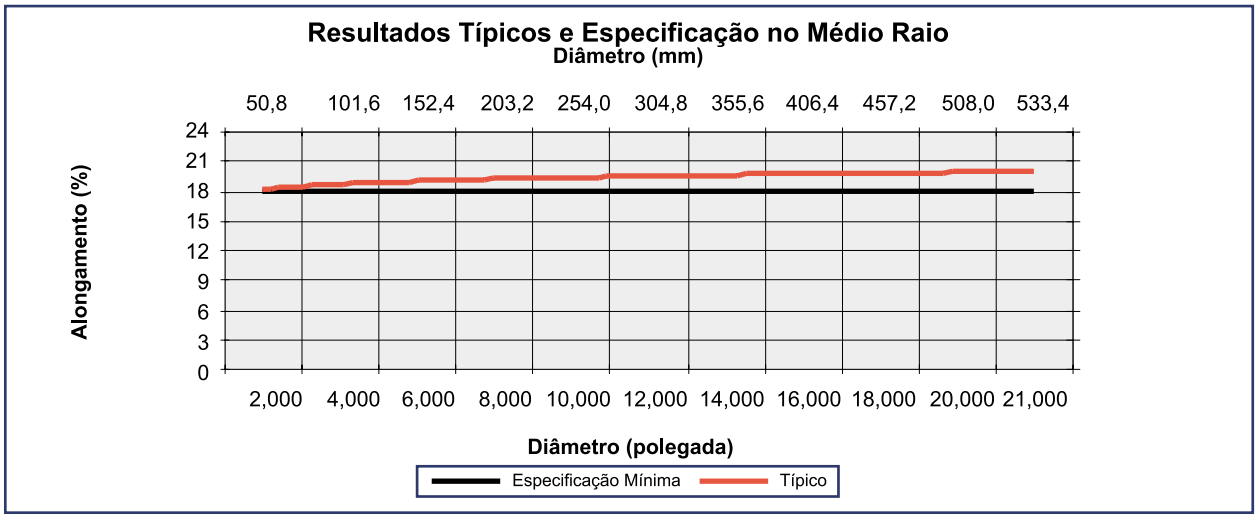


Figura 18 - Alongamento - FUCO® FE 40015

A figura 19 mostra os resultados típicos de dureza encontrados na seção transversal do FUCO® FE 40015.

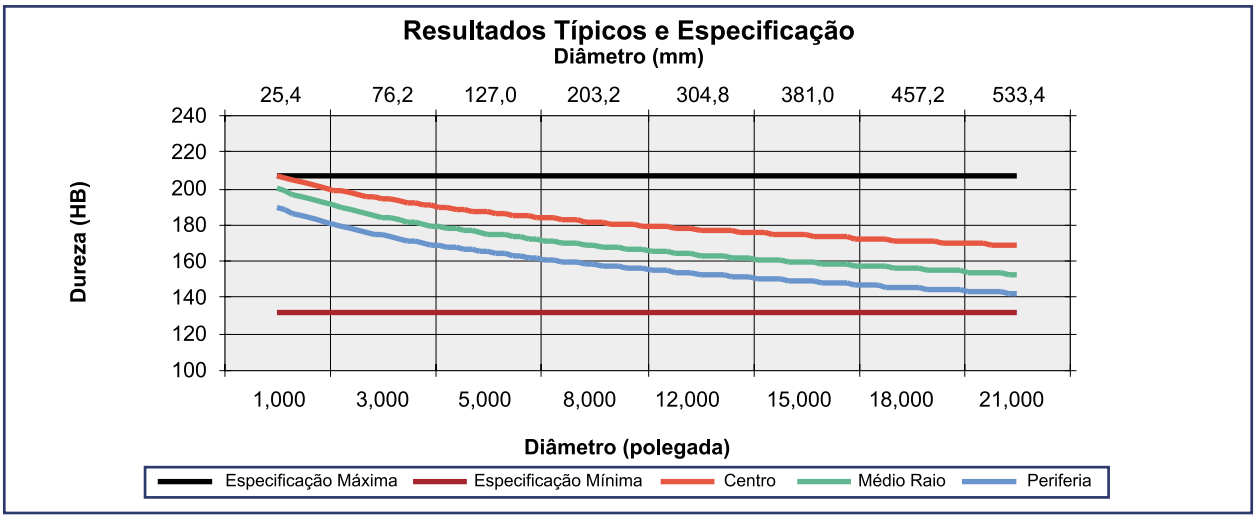


Figura 19 - Dureza - FUCO® FE 40015

Composição Química

A composição química geral do FUCO® FE 40015 está subordinada às propriedades mecânicas e é mostrada na tabela 8. A análise química se refere à amostra retirada do ferro líquido, e poderá apresentar variação se for comparada com a análise realizada na barra.

Elemento	%
C[1]	3,30 - 4,00
Si	2,20 - 3,10
Mn	0,25 máx.
P	0,10 máx.
S	0,020 máx.
Mg[2]	0,03 - 0,06

Tabela 8 - Composição química FUCO® FE 40015

Nota1: As faixas de carbono são especificados para cada grupo de bitolas e a variação dentro da mesma faixa é de aproximadamente 0,20%.

Nota2: Adições de Mg são feitas para promover grafita esferoidal.

Tratamento Térmico

FE 40015 pode ser tratado através da têmpera em óleo, e tem o objetivo de conferir ao material uma dureza de aproximadamente 50 HRC. Este material não é recomendado para têmpera superficial.

Quando uma alta dureza superficial for necessária, associada a um núcleo de alta tenacidade, pode ser efetuado um tratamento de nitretação. A figura 20 apresenta alguns resultados típicos.

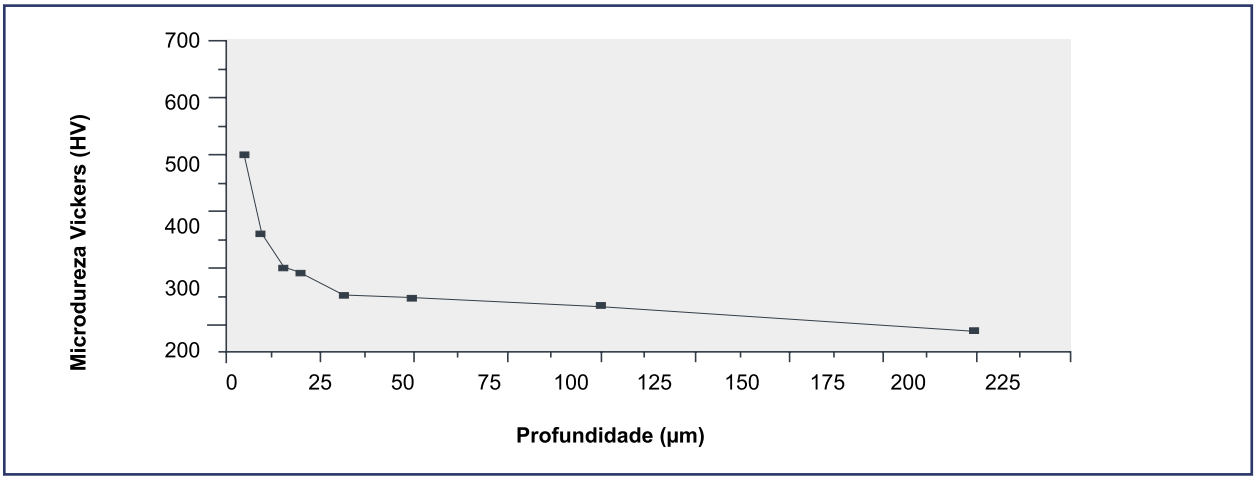


Figura 20 - Resultados de dureza superficial em amostras de ferro nodular ferrítico. Nitretação por plasma a 500ºC por 2 horas

◗ Aplicações típicas

Como suas propriedades mecânicas são similares aos aços de baixo carbono, a princípio todas as peças fabricadas em aço SAE 1010/1020 ou aços de corte fácil (ressulfurados, ao chumbo, etc.) podem ser feitas de FUCO® FE 40015. Estas propriedades possibilitam sua aplicação em componentes de máquinas sujeitos a choques, engrenagens, porcas, eixos, componentes hidráulicos que operam em alta pressão tais como: manifolds, êmbolos, guias, tampas, cabeçotes de cilindro, camisas para injetoras, rolos para leitos de resfriamentos, válvulas hidráulicas, placas, coquilhas, etc.

FUCO® FE 45012 - Ferro Nodular Ferrítico/Perlítico

Descrição

Este material possui na condição bruta de fundição, limite de resistência à tração e limite de escoamento similar aos aços SAE 1030 laminados a quente.

Esta especificação é similar às normas ABNT NBR 6916 - classe FE 42012 e ASTM A 536 - classe 65-45-12.

Microestrutura

A microestrutura típica do FUCO® FE 45012 é constituida de grafita nodular (esférica), forma I e II, tamanho 5 - 8, avaliadas de acordo com a norma ASTM A 247. A matriz é essencialmente ferrítica, podendo ter aproximadamente 35% de perlita com no máximo 5% de carbonetos dispersos. (figuras 21a e 21b)

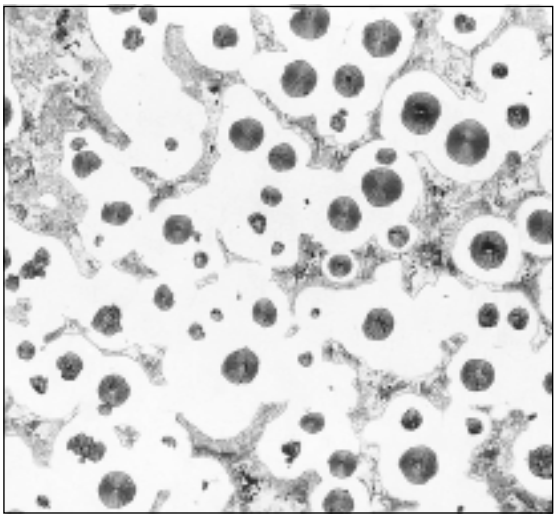


Figura 21a - Microestrutura típica no núcleo

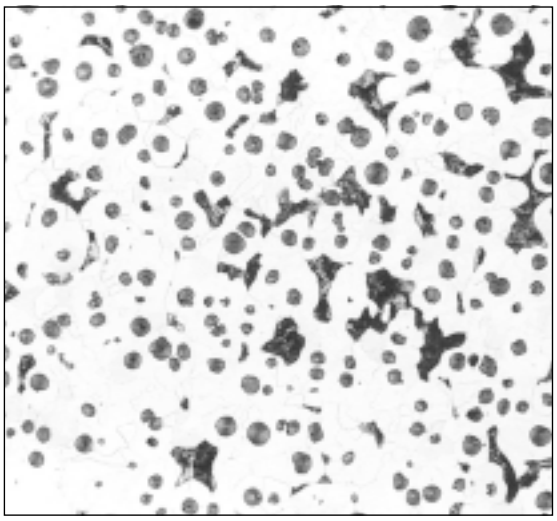


Figura 21b - Microestrutura típica na periferia

Propriedades Mecânicas

Os valores de dureza, resistência à tração, escoamento e alongamento do FUCO® FE 45012 são especificadas na tabela 9.

Dimensões Brutas (mm)	Dimensões Nominais (polegadas)	Dureza (HB)	Tração (MPa)	Escoamento (MPa)	Alongamento (%)
27,6 - 53,0	1 - 2	143 - 217	450	310	12
56,8 - 570,0	$2^1/_8$ - $21^5/_8$	143 - 197	450	310	12

Tabela 9 - Propriedades mecânicas FUCO® FE 45012

Resultados típicos de resistência à tração e alongamento são apresentados nas figuras 22 e 23:

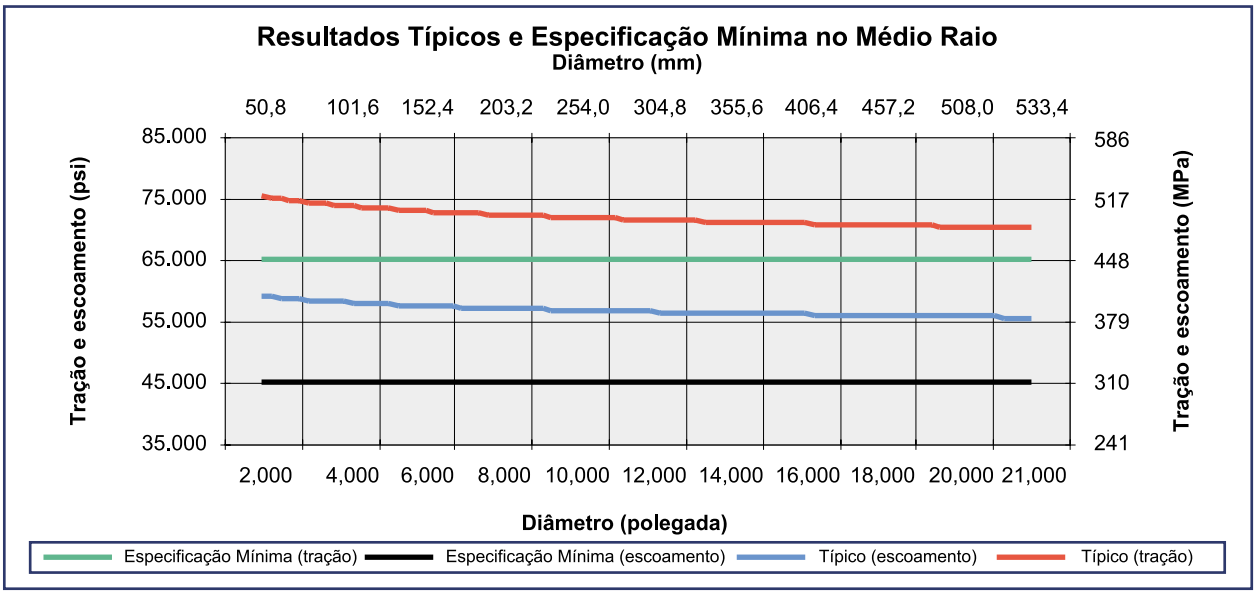


Figura 22 - Resistência à tração - FUCO® FE 45012

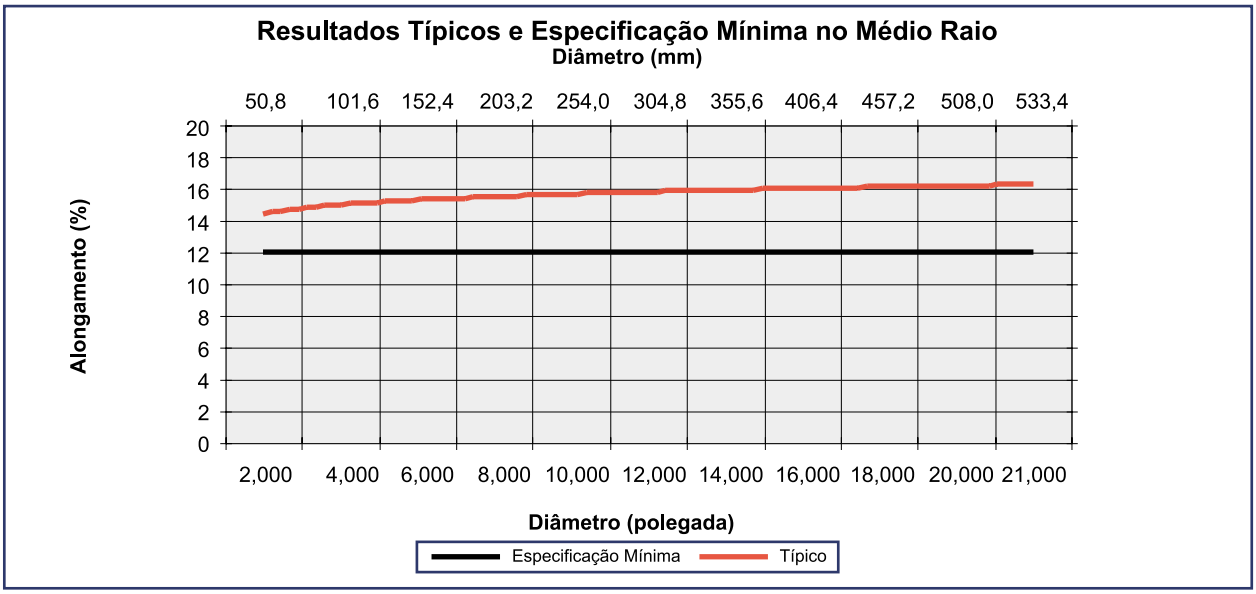


Figura 23 - Alongamento - FUCO® FE 45012

A figura 24 mostra os resultados típicos de dureza encontrados na seção transversal do FUCO® FE 45012.

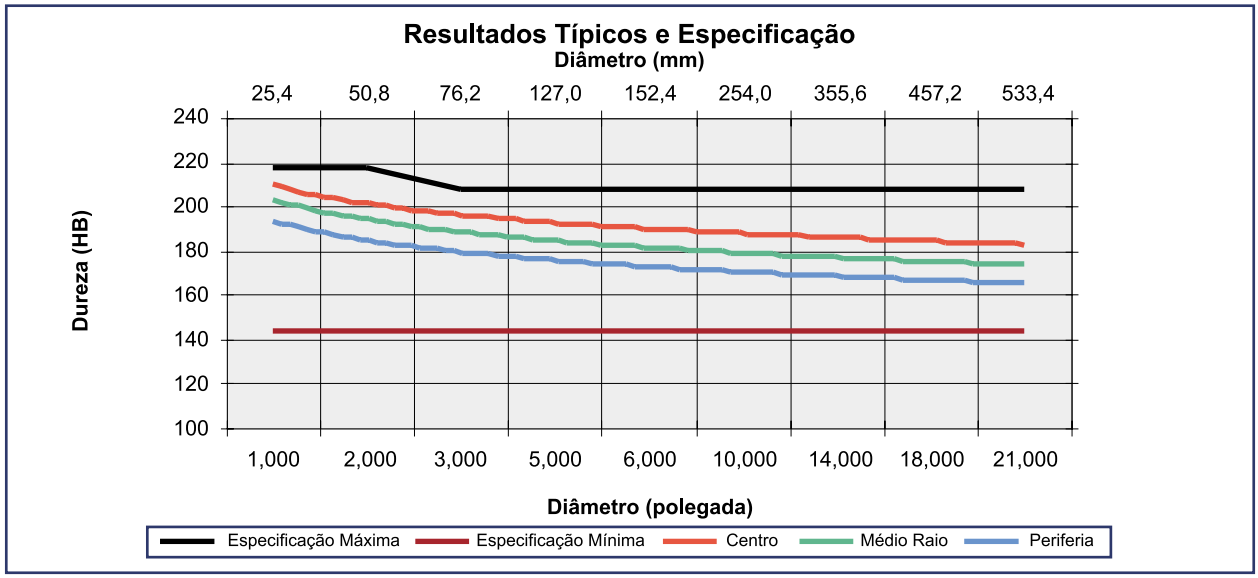


Figura 24 - Dureza - FUCO® FE 45012

Composição Química

A composição química geral do FUCO® FE 45012 está subordinada às propriedades mecânicas e é mostrada na tabela 10. A análise química se refere à amostra retirada do ferro líquido, e poderá apresentar variação se for comparada com a análise realizada na barra.

Elemento	%
C[1]	3,30 - 4,00
Si	2,20 - 3,10
Mn	0,25 máx.
P	0,10 máx.
S	0,020 máx.
Mg[2]	0,03 - 0,06

Tabela 10 - Composição química FUCO® FE 45012

Nota1: As faixas de carbono são especificados para cada grupo de bitolas e a variação dentro da mesma faixa é de aproximadamente 0,20%.

Nota2: Adições de Mg são feitas para promover grafita esferoidal.

Tratamento Térmico

FE 45012 pode ser tratado através da têmpera em óleo, e tem o objetivo de conferir ao material uma dureza de aproximadamente 50 HRC. Este material não é recomendado para têmpera superficial.

Aplicações típicas

Como suas propriedades mecânicas são similares aos aços de baixo carbono, a princípio todas as peças fabricadas em aço SAE 1010/1020 ou aços de corte fácil (ressulfurados, ao chumbo, etc.) podem ser feitas de FUCO® FE 45012. Estas propriedades possibilitam sua aplicação em componentes de máquinas sujeitos a choques, engrenagens, porcas, eixos, componentes hidráulicos que operam em alta pressão tais como: manifolds, êmbolos, guias, tampas, cabeçotes de cilindro, camisas para injetoras, rolos para leitos de resfriamentos, válvulas hidráulicas, placas, coquilhas, etc.

FUCO® FE 55006 - Ferro Nodular Ferrítico/Perlítico

Descrição

FUCO® FE 55006 é um ferro fundido nodular com grafita forma I e II, em uma matriz ferrítica/perlítica. Esta matriz proporciona elevadas propriedades mecânicas, bom acabamento superficial e boa temperabilidade, permitindo sua utilização em peças que requeiram alta resistência à tração e/ou desgaste.

Este material possui na condição bruta-de-fusão, limite de resistência à tração e limite de escoamento similares aos aços SAE 1040 laminados a quente.

Esta especificação é similar às normas ABNT NBR 6916 - classe FE 50007 e ASTM A 536 - classe 80-55-06.

Microestrutura

A microestrutura típica do FUCO® FE-55006 é constituída de grafita nodular (esférica), forma I e II, tamanho 5 - 8, avaliada de acordo com a norma ASTM A 247. A matriz é ferrítica/perlítica com aproximadamente 45% de perlita, podendo ter no máximo 5% de carbonetos dispersos. (figuras 25a e 25b).

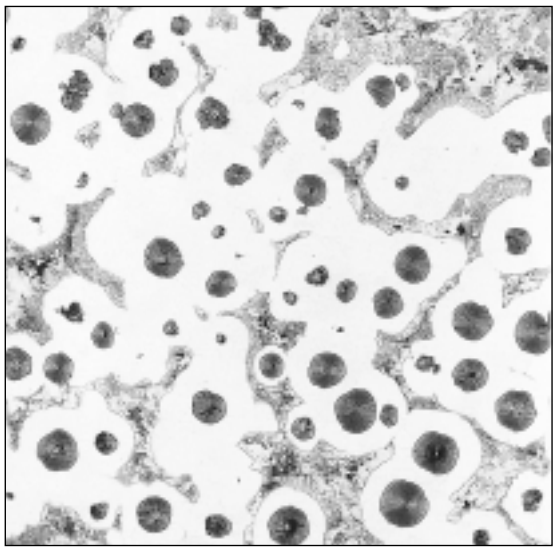


Figura 25a - Microestrutura típica no núcleo (FUCO® FE 55005)

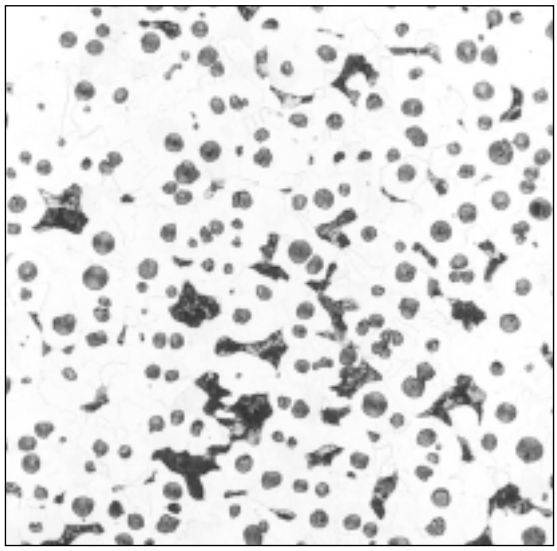


Figura 25b - Microestrutura típica na periferia (FUCO® FE 55005)

Propriedades Mecânicas

Os valores de dureza, resistência à tração, escoamento e alongamento do FUCO® FE 55006 são especificadas na tabela 11.

Dimensões Brutas (mm)	Dimensões Nominais (polegadas)	Dureza (HB)	Tração (MPa)	Escoamento (MPa)	Alongamento (%)
27,6 - 53,0	1 - 3	187 - 269	550	380	6
56,8 - 570,0	$3^{1}/_{8}$ - $21^{5}/_{8}$	187 - 255	550	380	6

Tabela 11 - Propriedades mecânicas FUCO® FE 55006

Resultados típicos de resistência à tração e alongamento são apresentados nas figuras 26 e 27:

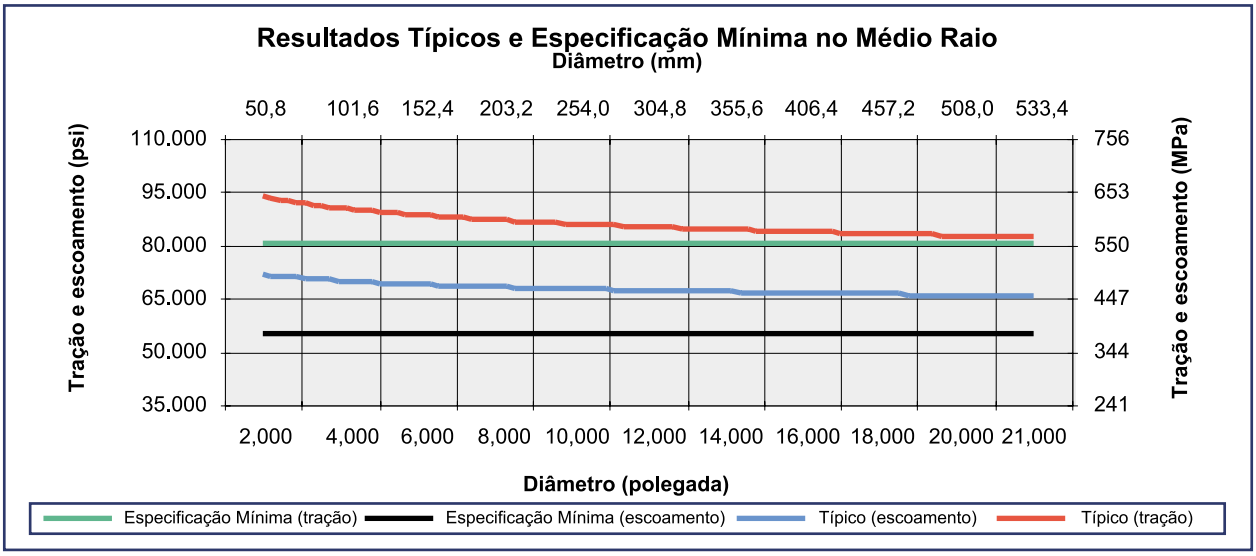


Figura 26 - Resistência à tração - FUCO® FE 55006

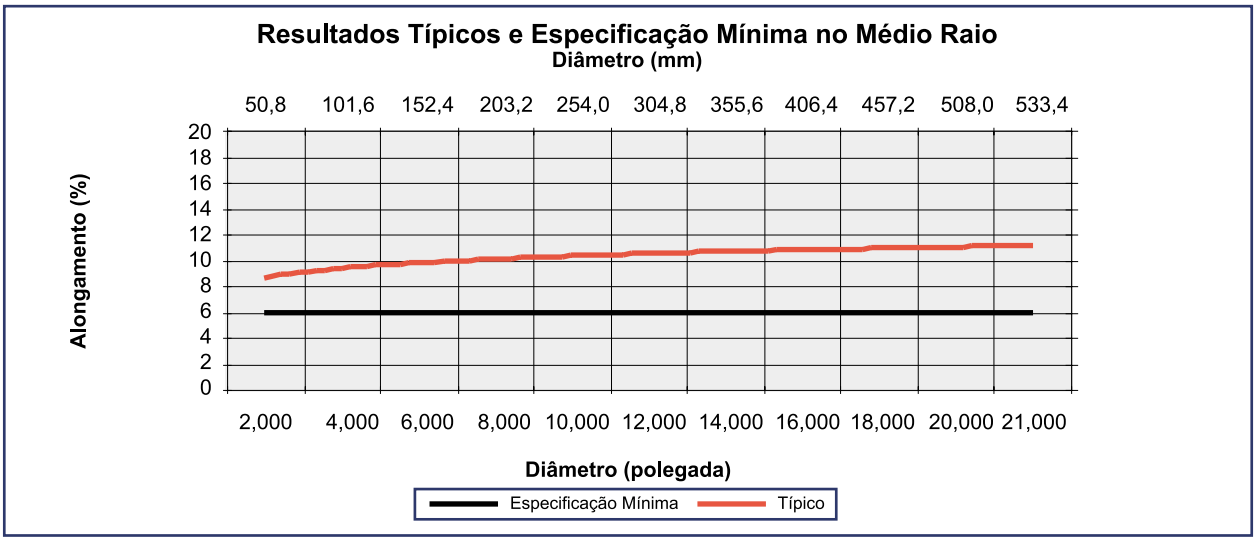


Figura 27 - Alongamento - FUCO® FE 55006

A figura 28 mostra os resultados típicos de dureza encontrados na seção transversal do FUCO® FE 55006.

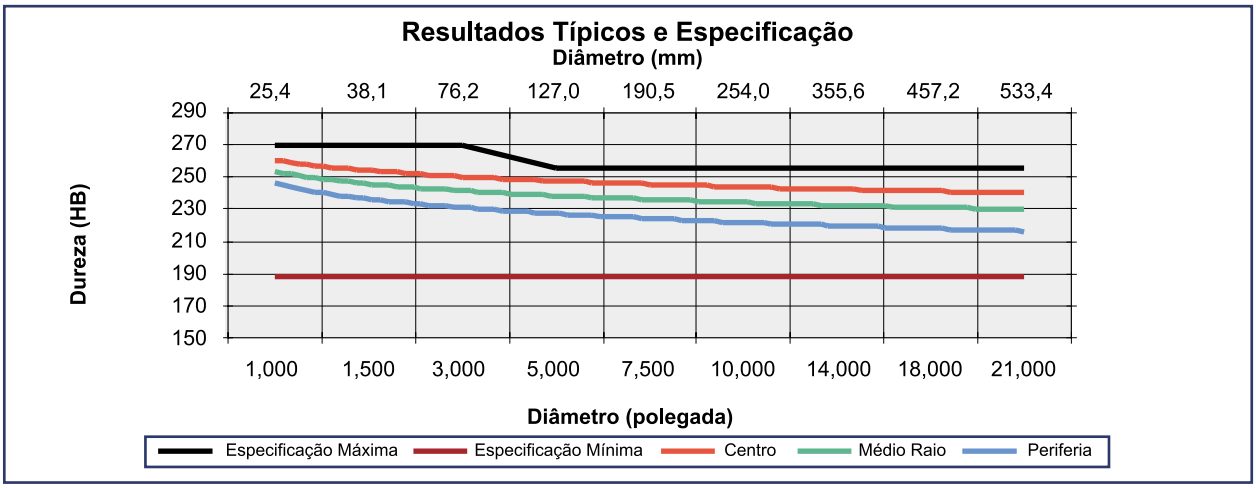


Figura 28 - Dureza - FUCO® FE 55006

Composição Química

A composição química geral do FUCO® FE 55006 está subordinada às propriedades mecânicas e é mostrada na tabela 12. A análise química se refere à amostra retirada do ferro líquido, e poderá apresentar variação se for comparada com a análise realizada na barra.

Elemento	%
C[1]	3.30 - 4.00
Si	2.40 - 3.10
Mn	0.20 máx.
S	0.020 máx.
P	0.10 máx.
Mg[2]	0.03 – 0.05

Tabela 12 - Composição química FUCO® FE 55006

Nota1: As faixas de carbono são especificados para cada grupo de bitolas e a variação dentro da mesma faixa é de aproximadamente 0,20%.
Nota2: Adições de Mg são feitas para promover grafita esferoidal.
Nota3: Adições de Cu podem ser feitas para atender as propriedades mecânicas, dependendo da tamanho da barra

Tratamento Térmico

O FUCO® FE 55006 pode ser tratado através de têmpera em óleo, que tem o objetivo de conferir ao material uma dureza de aproximadamente 50 HRC. A matriz do FUCO® FE 55006 proporciona uma boa temperabilidade, permitindo a execução de tratamentos térmicos como têmpera superficial por indução ou chama, obtendo-se assim, uma ampla faixa de combinações de propriedades mecânicas.

Aplicações

Como suas propriedades mecânicas são similares aos aços de médio carbono, a princípio todas as peças fabricadas em aço SAE 1030/1040 podem ser feitas de FUCO® FE 55006. Estas propriedades possibilitam sua aplicação em componentes de máquinas que exijam resistência ao desgaste e tratamentos térmicos superficiais como: engrenagens, eixos, chavetas, porcas, corpos moedores, haste de pistão, fusos, eixo de comando, sedes de válvulas, etc.

FUCO® FE 70002 - Ferro Nodular Perlítico/Ferrítico

Descrição

FUCO® FE 70002 é um ferro fundido nodular com grafita forma I e II, em uma matriz predominantemente perlítica obtida bruta de fusão pela adição de elementos de liga perlitizantes. Esta matriz proporciona elevadas propriedades mecânicas, bom acabamento superficial e boa temperabilidade, permitindo sua utilização em peças que requeiram alta resistência à tração e/ou desgaste.

Este material possui na condição bruta-de-fusão, limite de resistência à tração e limite de escoamento similar aos aços SAE 1045 laminados a quente.

Esta especificação é similar às normas ABNT NBR 6916 - classe FE 70002 e ASTM A 536 - classe 100-70-03.

Microestrutura

A microestrutura típica do FUCO® FE 70002 é constituída de grafita nodular (esférica), forma I e II, tamanho 5 - 8, avaliada de acordo com a norma ASTM A 247. A matriz é predominantemente perlítica podendo ter aproximadamente 30% de ferrita e no máximo 5% de carbonetos dispersos (figuras 29a e 29b)

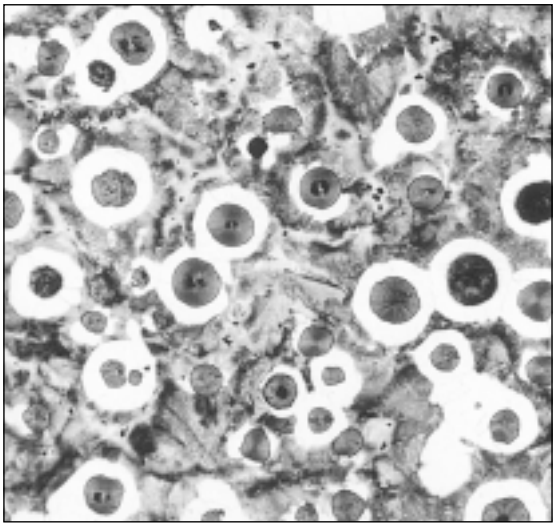


Figura 29a - Microestrutura típica no núcleo

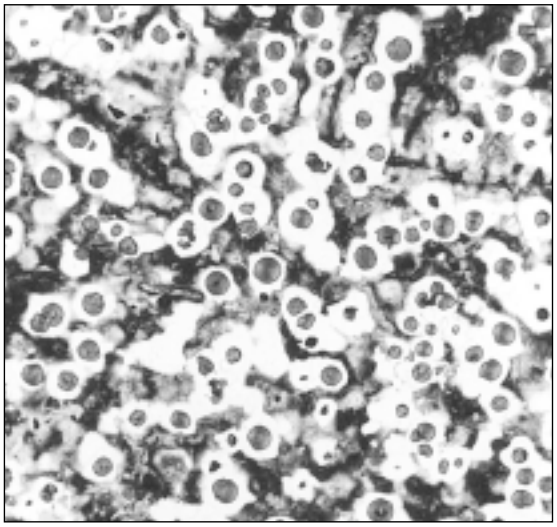


Figura 29b - Microestrutura típica na periferia

Propriedades Mecânicas

Os valores de dureza, resistência à tração, escoamento e alongamento do FUCO® FE 70002 são especificadas na tabela 13.

Dimensões Brutas (mm)	Dimensões Nominais (polegadas)	Dureza (HB)	Tração (MPa)	Escoamento (MPa)	Alongamento (%)
27,6 - 570,0	1 - 21⁵/₈	230 - 360	700	480	2

Tabela 13 - Propriedades mecânicas FUCO® FE 70002

Resultados típicos de resistência à tração e alongamento são apresentados nas figuras 30 e 31:

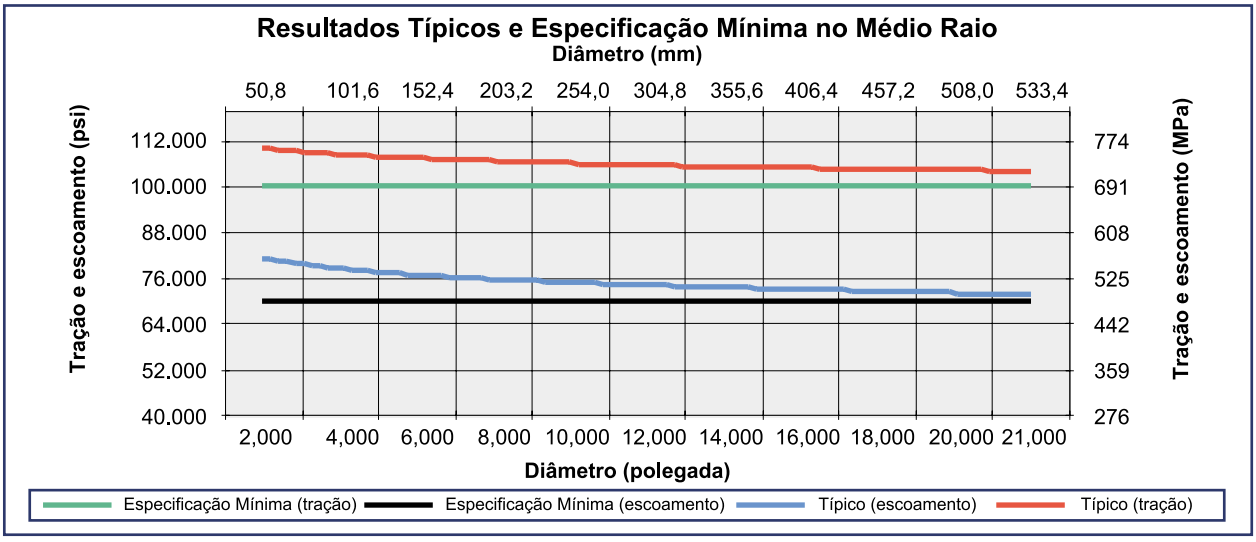


Figura 30 - Resistência à tração - FUCO® FE 70002

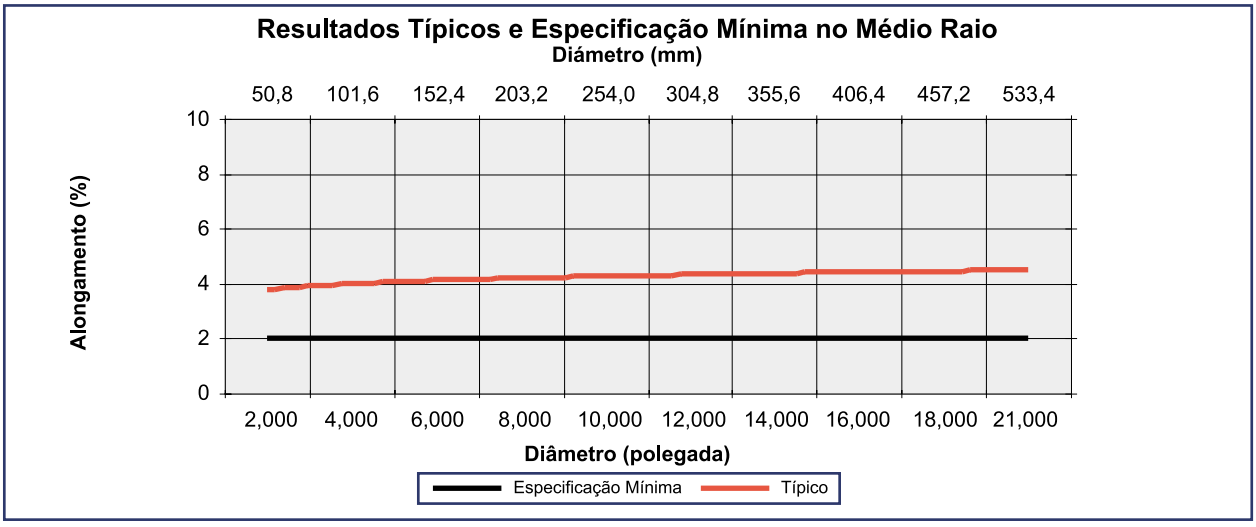


Figura 31 - Alongamento - FUCO® FE 70002

A figura 32 mostra os resultados típicos de dureza encontrados na seção transversal do FUCO® FE 70002.

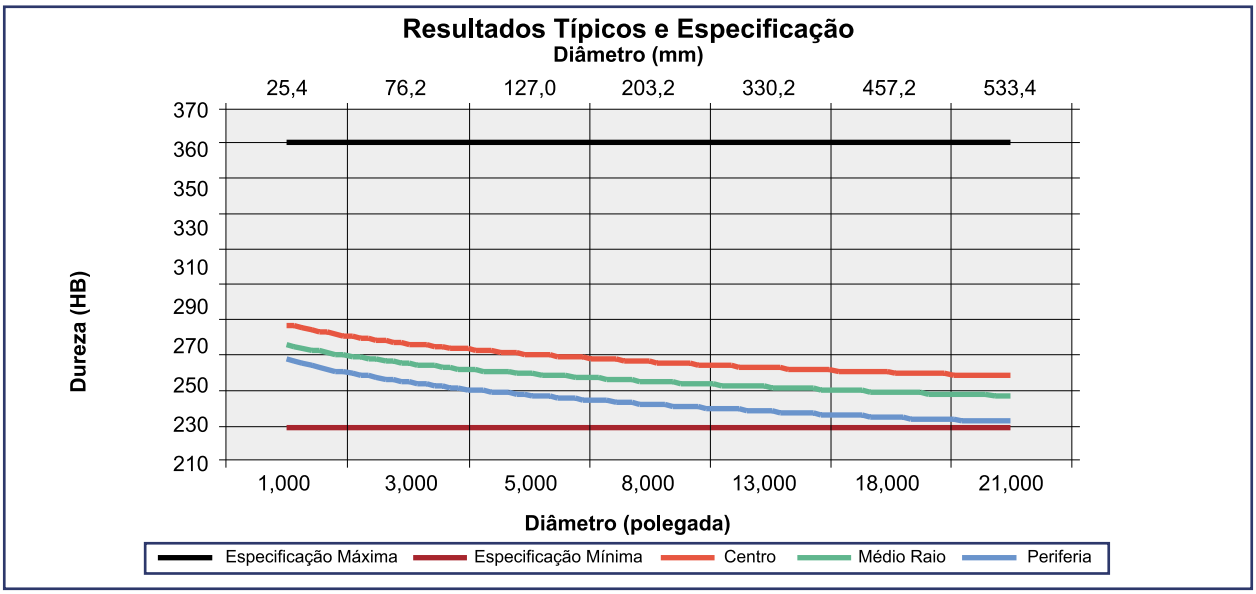


Figura 32 - Dureza - FUCO® FE 70002

Composição Química

A composição química geral do FUCO® FE 70002 está subordinada às propriedades mecânicas e é mostrada na tabela 14. A análise química se refere à amostra retirada do ferro líquido, e poderá apresentar variação se for comparada com a análise realizada na barra.

Elemento	%
C[1]	3,30 - 4,00
Si	2,20 - 3,10
Mn	0,65 máx.
P	0,10 máx.
S	0,020 máx.
Mg[2]	0,03 - 0,06
Cu[3]	0,70 - 1,40

Tabela 14 - Composição química FUCO® FE 70002

Nota1: As faixas de carbono são especificados para cada grupo de bitolas e a variação dentro da mesma faixa é de aproximadamente 0,20%.
Nota2: Adições de Mg são feitas para promover grafita esferoidal.
Nota3: Adições de Cu são feitas para atender as propriedades mecânicas.

Tratamento Térmico

O FUCO® FE 70002 pode ser temperado em óleo, e obter uma dureza de aproximadamente 50 HRC. A matriz predominantemente perlítica proporciona uma boa temperabilidade, permitindo a execução de tratamentos térmicos como têmpera superficial por indução ou chama.

Esta classe de material também pode ser submetida a tratamento por nitretação. Resultados típicos são mostrados na figura 33.

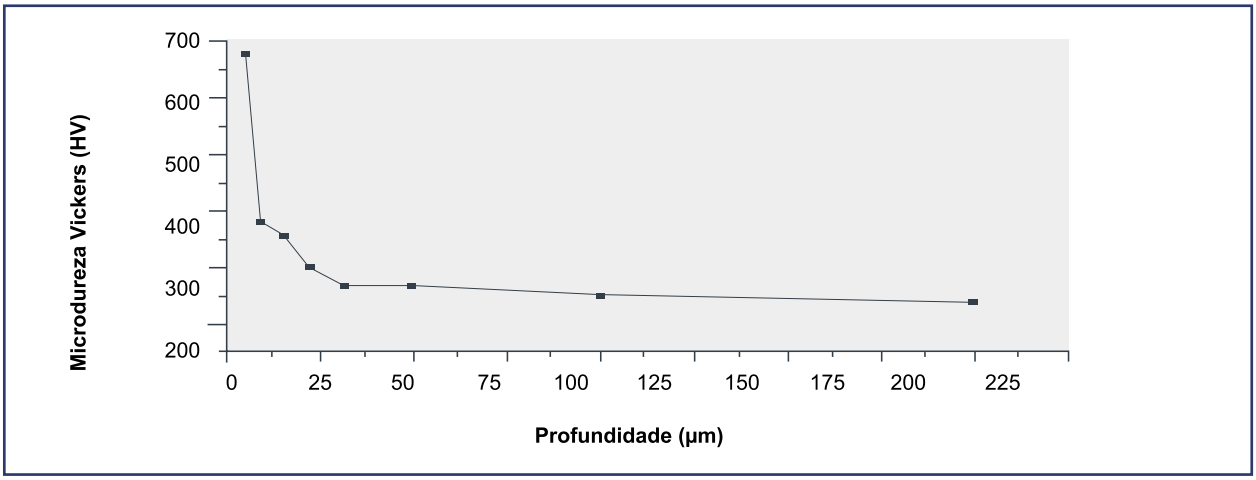


Figura 33 - Resultados de dureza superficial em amostras de ferro nodular perlítico. Nitretação por plasma a 500°C por 2 horas

◗ Aplicações

Como suas propriedades mecânicas são similares aos aços de médio carbono, a princípio todas as peças fabricadas em aço SAE 1030/1040 podem ser feitas de FUCO® FE 70002. Estas propriedades possibilitam sua aplicação em componentes de máquinas que exijam resistência ao desgaste e tratamentos térmicos superficiais como: engrenagens, eixos, chavetas, porcas, corpos moedores, haste de pistão, fusos, eixo de comando, sedes de válvulas, etc.

FUCO® ADI - Ferro Nodular Bainítico

FUCO® ADI é um ferro fundido nodular com adições de Cu, Ni e Mo. Na condição bruta de fundição possui propriedades similares ao FUCO® FE 55006. Após tratamento térmico de austêmpera, apresenta uma excelente combinação de propriedades de resistência e ductilidade, permitindo sua aplicação onde tradicionalmente se usavam aços forjados ou fundidos, o que tem proporcionado a redução do custo final dos componentes em várias aplicações.

Dependendo dos parâmetros de tratamento térmico, uma extensa gama de propriedades poderão ser obtidas, sendo estas estabelecidas na norma ASTM A 897 (ver tabela 15).

Grade	Tração(MPa)	Escoamento (MPa)	Alongamento (%)	Dureza (HB)
1	850	550	10	269 – 321
2	1050	700	7	302 - 363
3	1200	850	4	341 - 444
4	1400	1100	1	388 – 477
5	1600	1300	-	444 - 555

Tabela 15 - Propriedades mecânicas FUCO® ADI

Microestrutura

A microestrutura típica do FUCO® ADI é constituída de grafita nodular (esférica), forma I e II, tamanho 5 - 8, avaliada de acordo com a norma ASTM A 247. Na condição bruta de fundição a matriz é perlítica/ferrítica, podendo ter no máximo 5% de carbonetos dispersos. Após tratamento tratamento térmico de austêmpera a matriz é bainítica. (figuras 34a e 34b)

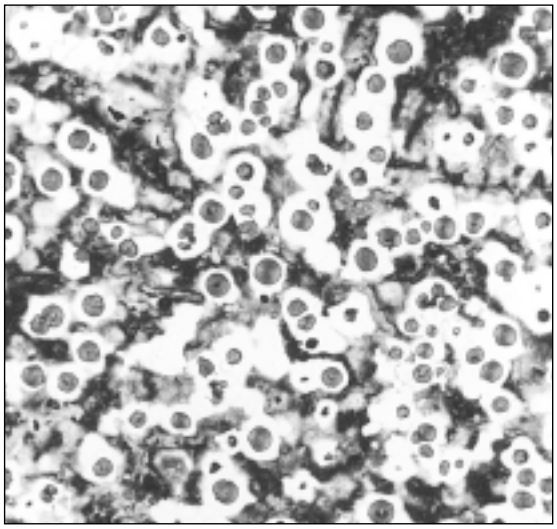


Figura 34a - Microestrutura bruta de fundição

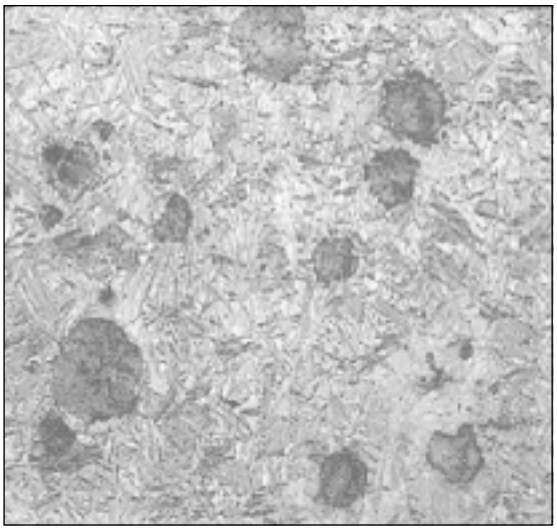


Figura 34b - Microestrutura após austêmpera

Composição Química

A composição química geral do FUCO® ADI está subordinada às propriedades mecânicas e é mostrada na tabela 16. A análise química se refere à amostras retiradas do ferro líquido e podem variar levemente se comparadas com as análises realizadas na barra.

Elemento	%
C[1]	3,30 - 4,00
Si	2,20 - 3,10
Mn	0,25 máx.
P	0,10 máx.
S	0,020 máx.
Mg[2]	0,03 - 0,06
Cu[3]	0,30 - 0,70
Mo[3]	0,10 - 0,50
Ni[3]	0,10 - 0,50

Tabela 16 - Composição química FUCO® ADI

Nota1: As faixas de carbono são especificados para cada grupo de bitolas e a variação dentro da mesma faixa é de aproximadamente 0,20%.
Nota2: Adições de Mg são feitas para promover grafita esferoidal.
Nota3: Adições de Cu, Ni e Mo podem ser feitas para atender as propriedades mecânicas.

Tratamento Térmico

Na figura 35, pode-se observar o ciclo de tratamento térmico de austêmpera, onde a peça é aquecida até a faixa de 820ºC e 930ºC em banho de sal ou forno com atmosfera controlada e mantida por um determinado tempo nesta temperatura. Em seguida a peça é resfriada rapidamente em banho de sal com temperatura entre 270ºC a 500ºC e mantida por um determinado tempo, até quase toda a austenita transformar-se em bainita. Em seguida a peça é resfriada ao ar.

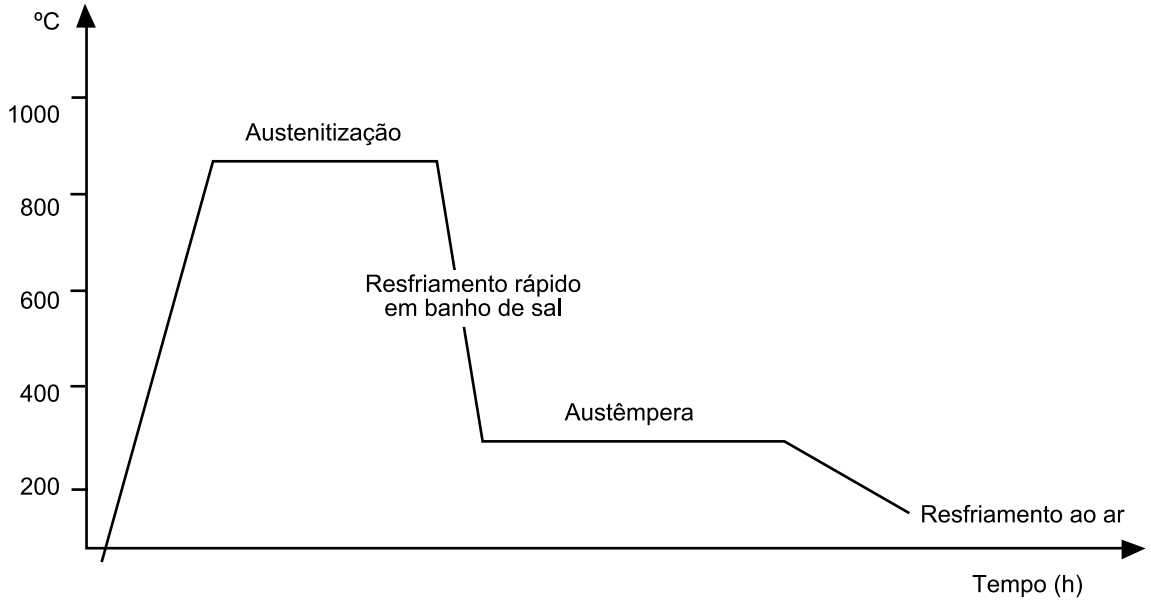


Figura 35 - Ciclo de tratamento térmico de austêmpera

Aplicações típicas

Exemplos de aplicações do FUCO® ADI em substituição aos aços (figuras 36, 37, 38 e 39), estão baseados nas seguintes vantagens:

- Menor custo de usinagem;
- Menor consumo de energia para obtenção do produto final;
- Menor peso dos componentes, devido à menor densidade do ferro;
- Maior capacidade de amortecimento de vibrações, logo menor ruído.

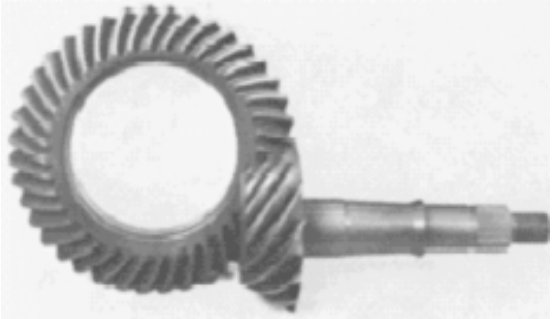


Figura 36 - Uma das aplicações mais típicas é na fabricação de engrenagens, coroa e pinhão de veículo automotor.

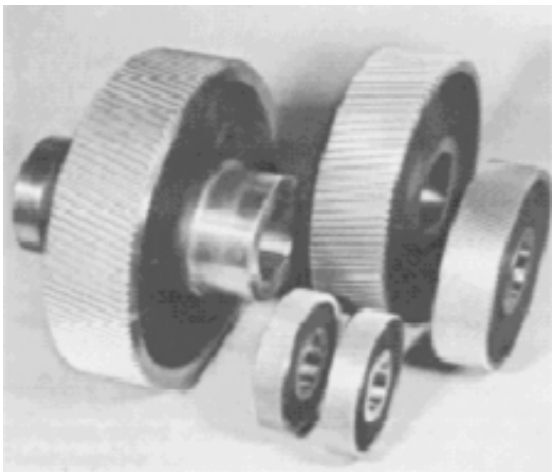


Figura 37 - Engrenagens de direção em nodular ADI da classe 4, usinadas no estado ferrítico, com dureza de 160 HB

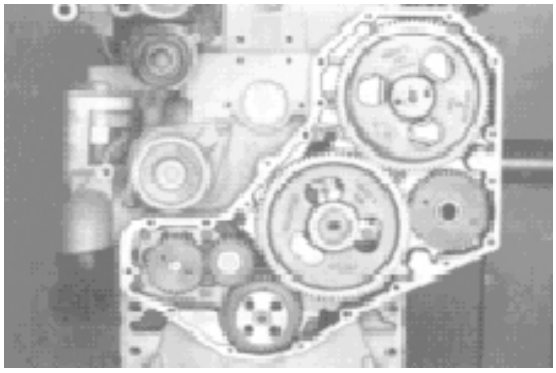


Figura 38 - Exemplo de substituição de aço SAE 1022, forjado e cementado, por nodular ADI em motores diesel. Redução do custo total de fabricação em 30%

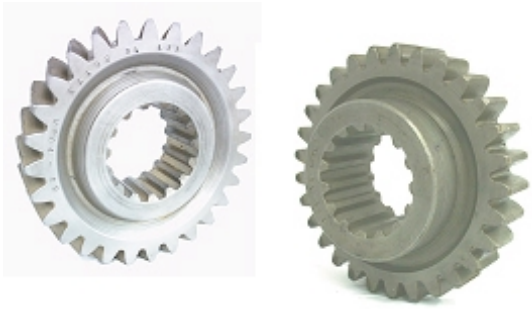


Figura 39 - Exemplos de engrenagens feitas de FUCO® ADI em substituição ao aço AISI 8620

Dimenções Padronizadas

Além das dimensões e formatos apresentados nas páginas 42, 43, 44 e 45 a Tupy Fundições, poderá fornecer uma gama de FUCO® em dimensões, formatos e materiais especiais sob encomenda, visando atender propriedades específicas exigidas em determinadas situações, tais como: resistência ao calor, à corrosão e ao desgaste.

Perfis redondos

Dimensão bruta		usinagem recomendada no diâmetro	Tolerância dimensional/ ovalização (+/-)	Peso teórico	FC 200	FC 300	FE 45012	FE 55006
(mm)	*(polegada)*	*(mm)*	*(mm)*	*(kg/m)*				
18,0	5/8	2,2	± 0,3	1,8				
21,2	3/4	2,2	± 0,3	2,5				
22,2	13/16	2,2	± 0,3	2,8				
27,6	1	2,2	± 0,3	4,3				
30,7	1 1/8	2,2	± 0,3	5,3				
33,9	1 1/4	2,2	± 0,3	6,5				
37,1	1 3/8	2,2	± 0,3	7,8				
40,3	1 1/2	2,2	± 0,3	9,2				
43,4	1 5/8	2,2	± 0,3	10,7				
46,6	1 3/4	2,2	± 0,3	12,3				
49,8	1 7/8	2,2	± 0,3	14,0				
53,0	2	2,2	± 0,3	15,9				
56,8	2 1/8	2,8	± 0,8	18,2				
59,9	2 1/4	2,8	± 0,8	20,3				
63,1	2 3/8	2,8	± 0,8	22,5				
66,3	2 1/2	2,8	± 0,8	24,9				
69,5	2 5/8	2,8	± 0,8	27,3				
72,6	2 3/4	2,8	± 0,8	29,8				
75,8	2 7/8	2,8	± 0,8	32,5				
79,0	3	2,8	± 0,8	35,3				
82,6	3 1/8	3,2	± 1,0	38,5				
85,7	3 1/4	3,2	± 1,0	41,6				
88,9	3 3/8	3,2	± 1,0	44,7				
92,1	3 1/2	3,2	± 1,0	47,9				
95,3	3 5/8	3,2	± 1,0	51,3				
98,4	3 3/4	3,2	± 1,0	54,8				
101,6	3 7/8	3,2	± 1,0	58,4				
104,8	4	3,2	± 1,0	62,1				
111,5	4 1/4	3,6	± 1,1	70,3				
113,6	4 5/16	3,6	± 1,1	73,0				
117,9	4 1/2	3,6	± 1,1	78,5				
124,2	4 3/4	3,6	± 1,1	87,2				
130,6	5”	3,6	± 1,1	96,4				
137,3	5 1/4	3,9	± 1,4	106,6				
143,6	5 1/2	3,9	± 1,4	116,7				
150,0	5 3/4	3,9	± 1,4	127,2				
156,3	6	3,9	± 1,4	138,2				

Nota:
1 - Comprimento padrão: 1880mm (+25/-50mm)
2 - Empenamento máximo: 2,5mm/m

Perfis redondos

Dimensão bruta		usinagem recomendada no diâmetro	Tolerância dimensional ovalização (+/-)	Peso teórico	FC 200	FC 300	FE 45012	FE 55006
(mm)	(polegada)	(mm)	(mm)	(kg/m)				
163,1	6 1/4	4,3	± 1,6	150,4				
169,4	6 1/2	4,3	± 1,6	162,3				
175,8	6 3/4	4,3	± 1,6	174,7				
182,1	7	4,3	± 1,6	187,6				
189,0	7 1/4	4,8	± 2,1	201,9				
195,3	7 1/2	4,8	± 2,1	215,7				
201,7	7 3/4	4,8	± 2,1	230,0				
208,0	8”	4,8	± 2,1	244,7				
215,0	8 1/4	5,5	± 2,7	261,5				
221,4	8 1/2	5,5	± 2,7	277,2				
227,7	8 3/4	5,5	± 2,7	293,3				
234,1	9	5,5	± 2,7	309,9				
241,4	9 1/4	6,5	± 3,3	329,5				
247,8	9 1/2	6,5	± 3,3	347,1				
254,1	9 3/4	6,5	± 3,3	365,1				
260,5	10	6,5	± 3,3	383,6				
270,5	10 1/4	10,2	± 3,8	413,8				
276,9	10 1/2	10,2	± 3,8	433,5				
289,6	11	10,2	± 3,8	474,1				
306,9	11 1/2	14,8	± 5,2	532,6				
319,6	12	14,8	± 5,2	577,5				
332,3	12 1/2	14,8	± 5,2	624,4				
345,0	13	14,8	± 5,2	673,0				
370,4	14	14,8	± 5,2	775,8				
395,8	15	14,8	± 5,2	885,8				
421,2	16	14,8	± 5,2	1003,1				
451,2	17	19,3	± 6,6	1151,0				
476,6	18	19,3	± 6,6	1284,2				
527,3	20	19,3	± 6,6	1572,3				
552,7	21	19,3	± 6,6	1727,5				
570,0	21 5/8	19,3	± 6,6	1837,3				

Nota:
1 - Comprimento padrão: 1880mm (+25/-50mm)
2 - Empenamento máximo: 2,5mm/m

Perfis retangulares

Dimensão bruta		Usinagem recomendada por face	Inchamento máximo	Peso teórico
(mm)	*(polegada)*	*(mm)*	*(mm)*	*(kg/m)*
31,7 x 57,1	1 1/4 x 2 1/4	2,3	2,9	13,0
31,7 x 82,5	1 1/4 x 3 1/4	2,6	4,2	18,8
31,7 x 107,9	1 1/4 x 4 1/4	3,2	6,3	24,6
31,7 x 133,3	1 1/4 x 5 1/4	3,2	6,3	30,4
31,7 x 158,7	1 1/4 x 6 1/4	4,8	8,9	36,2
31,7 x 260,5	1 1/4 x 10 1/4	4,8	11,7	59,4
38,1 x 57,1	1 1/2 x 2 1/4	2,3	2,9	15,7
38,1 x 82,5	1 1/2 x 3 1/4	2,6	4,2	22,6
38,1 x 107,9	1 1/2 x 4 1/4	2,6	4,2	29,6
38,1 x 133,3	1 1/2 x 5 1/4	3,2	6,3	36,6
38,1 x 158,7	1 1/2 x 6 1/4	3,2	6,3	43,5
44,4 x 50,8	1 3/4 x 2	2,3	3,1	16,2
44,4 x 107,9	1 3/4 x 4 1/4	2,6	4,4	34,5
44,4 x 114,3	1 3/4 x 4 1/2	2,6	4,4	36,5
44,4 x 158,7	1 3/4 x 6 1/4	3,2	6,7	50,7
50,8 x 63,5	2 x 2 1/2	2,3	3,1	23,2
50,8 x 92,1	2 x 3 5/8	2,3	3,1	33,7
57,1 x 82,5	2 1/4 x 3 1/4	2,3	3,1	33,9
57,1 x 107,9	2 1/4 x 4 1/4	2,3	3,1	44,4
57,1 x 133,3	2 1/4 x 5 1/4	2,6	4,4	54,8
57,1 x 158,7	2 1/4 x 6 1/4	2,6	4,4	65,2
57,1 x 209,5	2 1/4 x 8 1/4	3,2	6,7	86,1
63,5 x 158,7	2 1/2 x 6 1/4	2,6	4,4	72,6
63,5 x 184,1	2 1/2 x 7 1/4	2,6	4,4	84,2
63,5 x 209,5	2 1/2 x 8 1/4	3,2	6,7	95,8
76,2 x 209,5	3 x 8 1/4	4,8	4,8	114,9
82,5 x 107,9	3 1/4 x 4 1/4	2,6	3,4	64,1
82,5 x 158,7	3 1/4 x 6 1/4	2,6	3,4	94,26
82,5 x 260,3	3 1/4 x 10 1/4	6,3	7,2	154,6
95,2 x 107,9	3 3/4 x 4 1/4	2,6	3,4	73,9
107,9 x 133,3	4 1/4 x 5 1/4	2,8	3,6	103,6
133,3 x 209,5	5 1/4 x 8 1/4	2,8	3,6	201,1
139,7 x 165,1	5 1/2 x 6 1/2	2,8	3,6	166,1
158,7 x 209,5	6 1/4 x 8 1/4	3,2	3,9	239,4
170,0 x 780,0	6 3/4 x 30 3/4	6,3	8,6	954,7
177,8 x 406,4	7 x 16	6,3	5,9	520,3
209,5 x 361,9	8 1/4 x 14 1/4	3,2	3,9	545,9
260,5 x 311,1	10 1/4 x 12 1/4	4,8	4,1	583,5
266,7 x 635,0	10 1/2 x 25	6,3	4,4	1219,4
311,1 x 387,3	12 1/4 x 15 1/4	6,3	4,4	867,5
355,6 x 533,4	14 x 21	6,3	4,4	1365,7
406,4 x 609,6	16 x 24	10,0	6,3	1783,7
480,0 x 520,0	18 15/16 x 20 1/2	10,0	6,3	1797,1

Nota:
1 - Comprimento padrão: 1880mm (+25/-50mm)
2 - Empenamento máximo: 2,5mm/m

Perfis quadrados

Dimensão bruta		Usinagem recomendada por face	Inchamento máximo	Peso teórico
(mm)	*(polegada)*	*(mm)*	*(mm)*	*(kg/m)*
31,7	1 1/4	2,3	2,9	7,2
38,1	1 1/2	2,3	2,9	10,5
41,3	1 5/8	2,3	3,1	12,3
44,4	1 3/4	2,3	3,1	14,2
50,8	2	2,3	3,1	18,6
57,1	2 1/4	2,3	3,1	23,5
63,5	2 1/2	2,3	3,1	29,0
69,8	2 3/4	2,6	3,4	35,1
76,2	3	2,6	3,4	41,8
82,5	3 1/4	2,6	3,4	49,0
88,9	3 1/2	2,6	3,4	56,9
95,2	3 3/4	2,6	3,4	65,2
107,9	4 1/4	2,8	3,6	83,8
120,6	4 3/4	2,8	3,6	104,7
133,3	5 1/4	2,8	3,6	127,9
158,7	6 1/4	3,2	3,9	181,3
184,1	7 1/4	3,2	3,9	244,0
209,5	8 1/4	3,2	3,9	316,0
234,9	9 1/4	4,8	4,1	397,3
260,3	10 1/4	4,8	4,1	487,8
285,7	11 1/4	4,8	4,1	587,7
311,1	12 1/4	6,3	4,4	696,8
336,5	13 1/4	6,3	4,4	818,5
362,0	14 1/4	10,0	6,3	943,5
381,0	15	10,0	6,3	1045,2
469,9	18 1/4	10,0	6,3	1589,8

Nota:
1 - Comprimento padrão: 1880mm (+25/-50mm)
2 - Empenamento máximo: 2,5mm/m

Informações Complementares

Outras propriedades

Normalmente os ferros fundidos cinzentos e nodulares são comercialmente especificados pelo limite de resistência à tração e dureza. A principal justificativa para o uso dessas propriedades é a relativa facilidade em determina-las.

Dependendo da aplicação, outras propriedades podem ser decisivas na escolha do material adequado e na maioria das vezes, pode-se relaciona-las como o limite de resistência à tração (LR) e/ou dureza.

Propriedades	Cinzento	Nodular
Resistência ao cisalhamento (MPa)	1,5 x LR[1]	0,90 x LR[3;5]
Resistência à torção (MPa)	1,5 x LR[1]	0,90 x LR[3;5]
Resistência à fadiga (MPa) (sem entalhe)	0,40 x LR[4;5]	FE 40015 = 0,50 x LR[3]
		FE 45012 = 0,45 x LR[3]
		FE 55006 = 0,40 x LR[3]
		FE 70002 = 0,40 x LR[3]
Resistência à compressão (MPa)	LR de 140 - 175 x 4,02[5]	
	LR de 176 - 210 x 3,68[5]	
	LR de 211 - 245 x 3,61[5]	
	LR de 246 - 280 x 3,39[5]	
Resistência ao impacto (j) (Com entalhe 20ºC)		FE 40015 = 15 - 13[2]
		FE 45012 = 10 - 5[2]
		FE 55006 = 5 - 2[2]
		FE 70002 = 5 - 2[2]
Módulo de elasticidade (GPa)	FC 200 = 88 - 113[1]	FE 40015 = 169[2]
	FC 300 = 108 - 137[1]	FE 45012 = 169[2]
	GMI = 78 - 107[1]	FE 55006 = 169[2]
		FE 70002 = 172 - 176[2]
Condutividade térmica W/m.K 100ºC/400ºC	FC 200 = 51 - 48[2]	FE 40015 = 37 - 36[2]
	FC 300 = 47 - 44[2]	FE 45012 = 37 - 36[2]
	GMI = 44 - 41	FE 55006 = 35 - 34[2]
		FE 70002 = 32 - 31[2]

Fontes:

(1) DIN 1691
(2) BCIRA BROADSHEET 1
(3) Dados de Engenharia sobre Ferros Fundidos Nodulares
(4) Ferros Fundidos Cinzentos de Alta Qualidade
(5) Metalurgia dos Ferros Fundidos Cinzentos e Nodulares

Materiais correspondentes em normas de outras entidades

O FUCO é produzido conforme norma interna TUPY e suas propriedades são similares aos materiais especificados pelas normas e entidades abaixo:

FERRO FUNDIDO CINZENTO					
Materiais TUPY	Materiais correspondentes em normas de outras entidades				
	ABNT	ASTM		DIN	SAE
	NBR 6589	A 48	A 159	EN 1561	J 431
FC 200*	FC 200	30	G 2500	EN-GJL-200	G 2500
FC 300	FC 300	40	G 3500	EN-GJL-300	G 3500
GMI	-	-	-		-

** sem pintura*

FERRO FUNDIDO NODULAR					
Materiais TUPY	Materiais correspondentes em normas de outras entidades				
	ABNT	ASTM		DIN	SAE
	NBR 6916	A 536	A 897	EN 1563	J 434
FE 40015	FE 38017	60-40-18	-	EN-GJS-400-15	D 4018
FE 45012	FE 42012	65-45-12	-	EN-GJS-450-10	D 4512
FE 55006	FE 50007	80-55-06	-	EN-GJS-500-7	D 5506
FE 70002	FE 70002	100-70-03	-	EN-GJS-700-2	D 7003
ADI-1	-	-	125-80-10	-	
	-	-	150-100-7	-	
ADI-2	-	-	175-125-4	-	
	-	-	200-155-1	-	

Fórmulas úteis / Fatores de conversão

Para calcular o peso/metro em seções:

Redondo

kg/m = D^2 x 0,005655

onde: D = diâmetro em milímetro

Quadrado

kg/m = L x L x 0,0072

onde: L = Largura em milímetro

Retangular

kg/m = L x H x 0,0072

onde: L = Largura em milímetro

H = Altura em milímetro

Para Converter	Operação	Para Obter
PSI	x 0,00694	N/mm² ou MPa
N/mm² ou MPa	x 144	PSI
kgf/mm²	x 9,80665	N/mm² ou MPa
N/mm² ou MPa	x 0,10197	kgf/mm²
mm	x 0,03937	pol
pol	x 25,4	mm
mm	x 0,00328	pés
pés	x 304,8	mm
Lb	x 0,4536	kg
kg	x 2,2046	Lb
ºC	(ºC x 1,8) + 32	ºF
ºF	(ºF - 32) x 0,556	ºC
ºC	ºC + 273,15	K
K	k - 273,15	ºC

Anotações

Anotações

FUCO®

Tupy Fundições Ltda.
Rua Albano Schmidt, 3400
89227-901 - Joinville - SC - Brasil
DDG 0800 727 8400
Fax: 47 4009-8400
E-mail: perfis@tupy.com.br

TUPY
www.tupy.com.br

PEB Fevereiro/2007