

EFEITOS DE ALGUMAS VARIÁVEIS METALÚRGICAS
NO CONTROLE DA ESTRUTURA DE FERROS FUNDI-
DOS CINZENTOS (1)

Adolar Pioske (2)

Luis Montenegro Chaves Filho (3)

Arno H. Gruhl (4)

RESUMO

Apesar de ser o ferro fundido um material usado há muitos anos e de considerável importância em construção mecânica, a sua metalurgia até recentemente era pouco entendida pela maioria dos técnicos. Entretanto, durante os últimos anos tem-se conseguido significativos avanços, devido principalmente a evolução dos conhecimentos sobre os mecanismos e a termodinâmica dos processos que ocorrem na solidificação dessas ligas. No presente trabalho discutem-se, baseado em desenvolvimentos recentes, os efeitos das principais variáveis metalúrgicas que permitem um melhor controle das estruturas e propriedades dos ferros fundidos cinzentos e conseqüentemente a possibilidade de produção de peças de maior conteúdo tecnológico.

-
- (1) - Simpósio sobre Controle de Qualidade em Fundição - ABM - Volta Redonda, R.J., 16-17 de maio de 1974.
- (2) - Membro da ABM - Eng^o Metalurgista e Doutor em Engenharia. Professor do Departamento Eng^a Metalúrgica da EPUSP e chefe do Centro de Pesquisas Tecnológicas da Fundição Tupy S.A.
- (3) - Membro da ABM - Eng^o Mecânico e Mestre em Engenharia Metalúrgica, Pesquisador-Coordenador, Centro de Pesquisas Tecnológicas da Fundição Tupy S.A.
- (4) - Membro da ABM, Gerente da Divisão de Engenharia Metalúrgica da Fundição Tupy S.A.

1. INTRODUÇÃO

Aposar de ser o ferro fundido cinzento usado há muitos anos e de considerável importância em construção mecânica, a sua metalurgia até recentemente era pouco entendida pela maioria dos técnicos. Isso pode ser atribuído a vários fatores. Assim, por exemplo, a estrutura e as propriedades são determinadas principalmente pelo que ocorre durante a solidificação e só recentemente os metalurgistas tem feito estudos sistemáticos sobre os processos de solidificação. Além disso, os ferros fundidos cinzentos apresentam na sua estrutura, um microconstituente que pode apresentar grande gama de morfologia (a grafita). Por outro lado, como os ferros fundidos cinzentos pertencem a uma família de ligas de ferro com alto carbono podem sofrer transformações tanto segundo o sistema estável ferro-grafita como segundo o metaestável ferro-cementita. Adicionalmente os ferros fundidos cinzentos comerciais são ligas que apresentam composições químicas complexas. Todos contem cinco elementos principais: carbono, silício, manganês, enxôfre e fósforo. Em geral as ligas comerciais apresentam ainda pequenos teores (ou apenas traços) de outros elementos químicos adicionados propositalmente ou como impurezas que podem ter efeitos importantes.

Nos últimos anos foram desenvolvidos conceitos que permitiram um melhor entendimento da metalurgia dos ferros fundidos e como consequência a tecnologia dos ferros fundidos cinzentos evoluiu significativamente. Pode-se dizer que difere bastante daquela que se conhecia cerca de 20 e até mesmo 10 anos atrás. Se a anos passados o ferro fundido cinzento era usado devido apenas a boa fundibilidade e baixo preço, com baixas características mecânicas, hoje seu uso é reforçado pelas propriedades mecânicas definidas e constantes que se podem obter.

Na literatura há diversas referências (1 a 9) apresentando os conceitos básicos que podem auxiliar no entendimento das estruturas e propriedades dos ferros fundidos. No presente trabalho procura-se discutir alguns desses conceitos no sentido de se ressaltar a importância dos mesmos na obtenção de ferros fundidos cinzentos de alta qualidade.

2. CONSIDERAÇÕES FUNDAMENTAIS SOBRE A FORMAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE FERROS FUNDIDOS CINZENTOS

Os ferros fundidos cinzentos são classicamente conhecidos como sendo ligas ferro-carbono-silício cuja característica estrutural dominante é a presença de grafita na forma de veios.

Como as estruturas dos ferros fundidos são determinadas essencialmente pelo processo de solidificação, há interesse em se analisar esse ponto em detalhe.

A interpretação das estruturas obtidas na solidificação de um ferro fundido pode ser feita de um modo claro com auxílio dos conceitos carbono-equivalente, diagramas de equilíbrio estável e metaestável e de nucleação e crescimento. (1, 2, 3).

Os ferros fundidos são basicamente ligas onde a maior parte do líquido se solidifica como um eutético. A figura 1 esquematiza a sequência de solidificação de um ferro fundido cinzento hipoeutético. Numa primeira etapa formam-se dendritas de austenita e numa segunda formam-se as chamadas células eutéticas. Essa sequência de solidificação pode ser acompanhada por curvas de resfriamento através de análise térmica. A figura 2 apresenta a curva de resfriamento esquemática para esse ferro fundido. Nesta curva nota-se que o patamar eutético ocorreu com algum super-resfriamento, isto é, abaixo da temperatura de equilíbrio. A quantidade de super-resfriamento com a qual ocorre a solidificação depende do balanço entre a velocidade total de solidificação (velocidade de liberação do calor latente de fusão) e a velocidade de extração de calor.

A velocidade de solidificação depende do número de núcleos e da velocidade de crescimento dos núcleos. Como no processo de solidificação de um ferro fundido predomina a reação eutética, nos pontos que se seguem será dada maior ênfase a formação do eutético (nucleação e crescimento de células eutéticas). Isso se justifica principalmente porque a grafita, que exerce grande influência nas propriedades, se forma na reação eutética, embora as dendritas de austenita possam ter influência nas propriedades mecânicas (10,11).



Fig.1 - Sequência esquemática da solidificação de um ferro fundido cinzento hipoeutético.

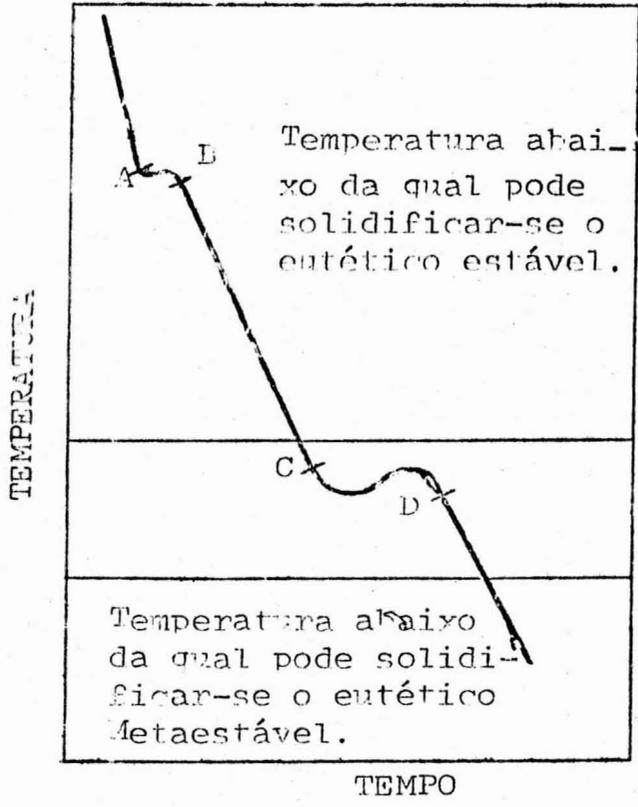


Fig.2- Curva de resfriamento detalhada da solidificação de um ferro fundido cinzento hipoeutético.

Tanto a velocidade de nucleação como a velocidade de crescimento das células eutéticas se elevam com o aumento da quantidade de super-resfriamento embora, um excessivo acréscimo no super-resfriamento promova a formação de ferro fundido branco no lugar de ferro fundido cinzento.

Um aumento do grau de nucleação significa um aumento do número de células eutéticas, enquanto que um aumento da velocidade de crescimento da célula eutética implica na formação de grafita mais ramificada (veios menores). O aumento da velocidade de resfriamento, em geral, promove maior super-resfriamento e, portanto, maior tendência à formação de grafita de super-resfriamento ou até formação de ferro fundido branco.

O número de células eutéticas depende da velocidade de extração de calor pelo molde, da composição química, do processo de fusão, dos tratamentos efetuados no banho líquido (inoculação, super-aquecimento, tempo de permanência do material no estado líquido e agitação do banho) e da temperatura de vazamento.

O processo do crescimento das células eutéticas pode se dar de forma lenta ou rápida, dependendo da quantidade de super-resfriamento e da composição química. Quanto mais elevada é a velocidade de crescimento das células eutéticas maior é a frequência de ramificação da grafita e, portanto, mais fina é a sua aparência. Velocidades de crescimento baixas promovem a formação de grafita pouco ramificada e, portanto, de aparência grosseira.

A figura 3 mostra a variação que tende ocorrer no super-resfriamento com o aumento da velocidade de resfriamento. A curva (a) representaria o resfriamento de um ferro fundido cinzento "normal", isto é, com grafita tipo A. A curva (b) de um ferro fundido cinzento com grafita de super-resfriamento (por exemplo, grafita tipo D) e a curva (c) de ferro fundido branco.

A figura 4 ilustra, para um banho líquido, com dado grau de nucleação e mesma temperatura de vazamento, o efeito da diminuição da velocidade de crescimento das células (por exemplo, pela adição de certas impurezas) no super-resfriamento. Nota-se um aumento do super-resfriamen-

to, podendo haver até a formação de ferro fundido mesclado ou branco.

Na figura 5 apresenta-se a variação da curva de resfriamento com o aumento do grau de nucleação (por exemplo, por inoculação). Nota-se que o aumento do grau de nucleação diminui o super-resfriamento.

Nos quadros I, II e III apresenta-se de forma esquemática os efeitos, no processo de solidificação, da variação da velocidade de resfriamento, da velocidade de crescimento e do grau de nucleação.

3. OBTENÇÃO DE FERROS FUNDIDOS CINZENTOS DE ALTA QUALIDADE

O termo "Ferro Fundido Cinzento de alta qualidade" não implica, necessariamente, alta resistência mecânica, mas as melhores propriedades mecânicas, de fundição e usinabilidade que podem ser obtidas com a composição química empregada. Assim, por exemplo, não se pode esperar de um ferro fundido de carbono equivalente igual a 4,2%, elevada resistência à tração, mas nada impede que seja de alta qualidade.

As propriedades mecânicas tendem a se elevar com o aumento do número de células eutéticas, com a diminuição da quantidade de grafita, com a presença de grafita tipo A, fina, com uma matriz metálica de alta resistência (por exemplo, perlítica), e com o aumento da quantidade de dendritas primárias de austenita, finas. Isto tende a ocorrer mais facilmente com baixos carbono-equivalentes. Por outro lado, boas propriedades de fundição e boa usinabilidade são favorecidas com carbono-equivalente alto.

Um outro fator de qualidade é a reprodutibilidade das citadas propriedades, aliada a uma sensibilidade tão baixa quanto possível à espessura da seção. A otimização de todos esses fatores está intimamente ligada ao controle de composição química e variáveis de solidificação.

A recomendação, em geral, feita é a de se procurar obter as propriedades mecânicas desejadas com o maior carbono equivalente possível.

Antes de se discutir como se poderia atuar na técnica de fabricação (processamento) para obter-se em um ferro fundido cinzento que apresente elevado número de células eutéticas, grafita tipo A fina, grande

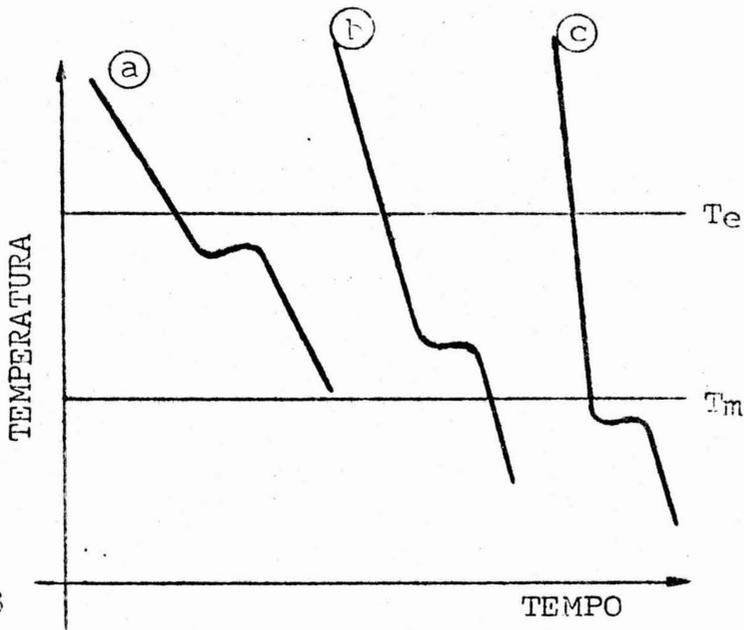


Fig. 3

Te- Temperatura abaixo da qual pode solidificar ferro fundido cinzento.

Tm- Temperatura abaixo da qual pode solidificar ferro fundido branco.

(a) → (c) - Aumento na velocidade de resfriamento.

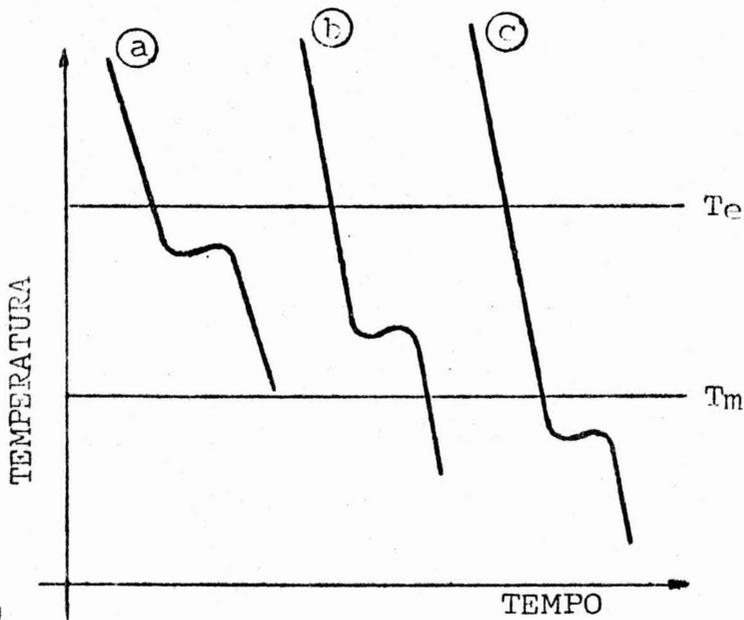


Fig. 4

(a) → (c) - Diminuição da velocidade de crescimento das células eutéticas.

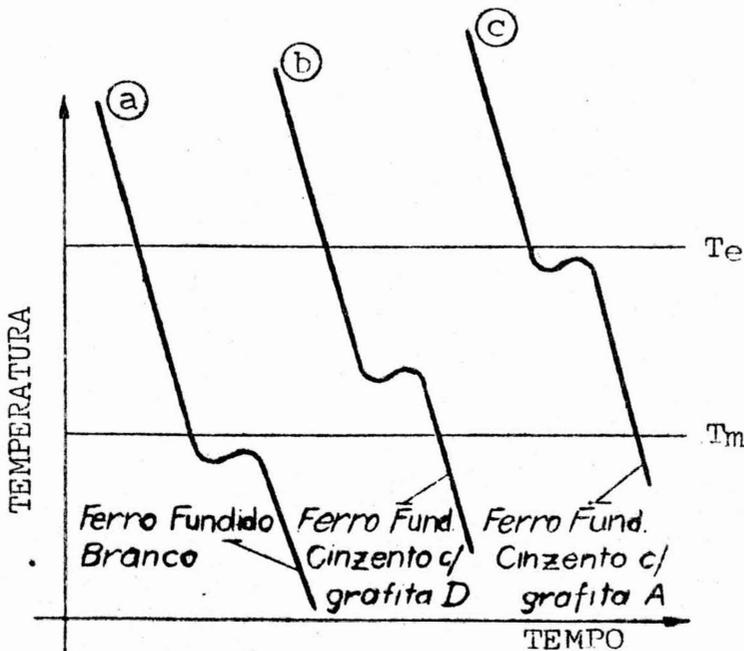
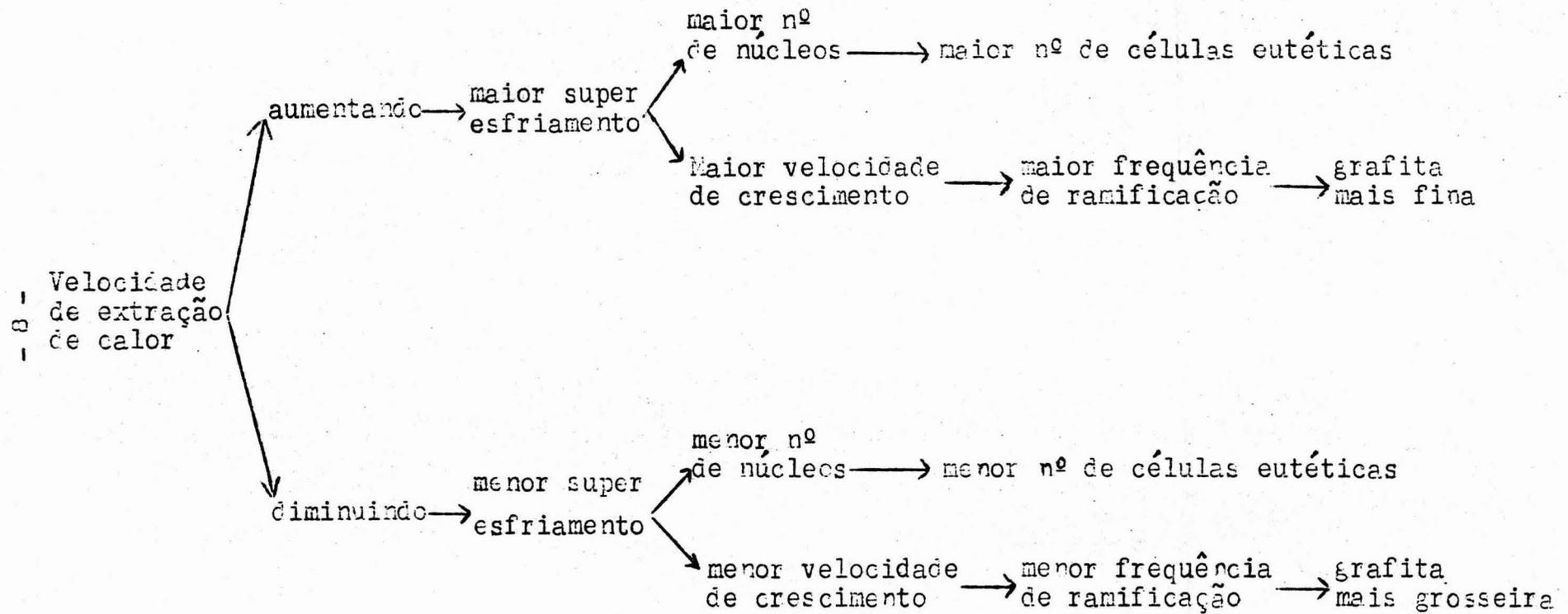
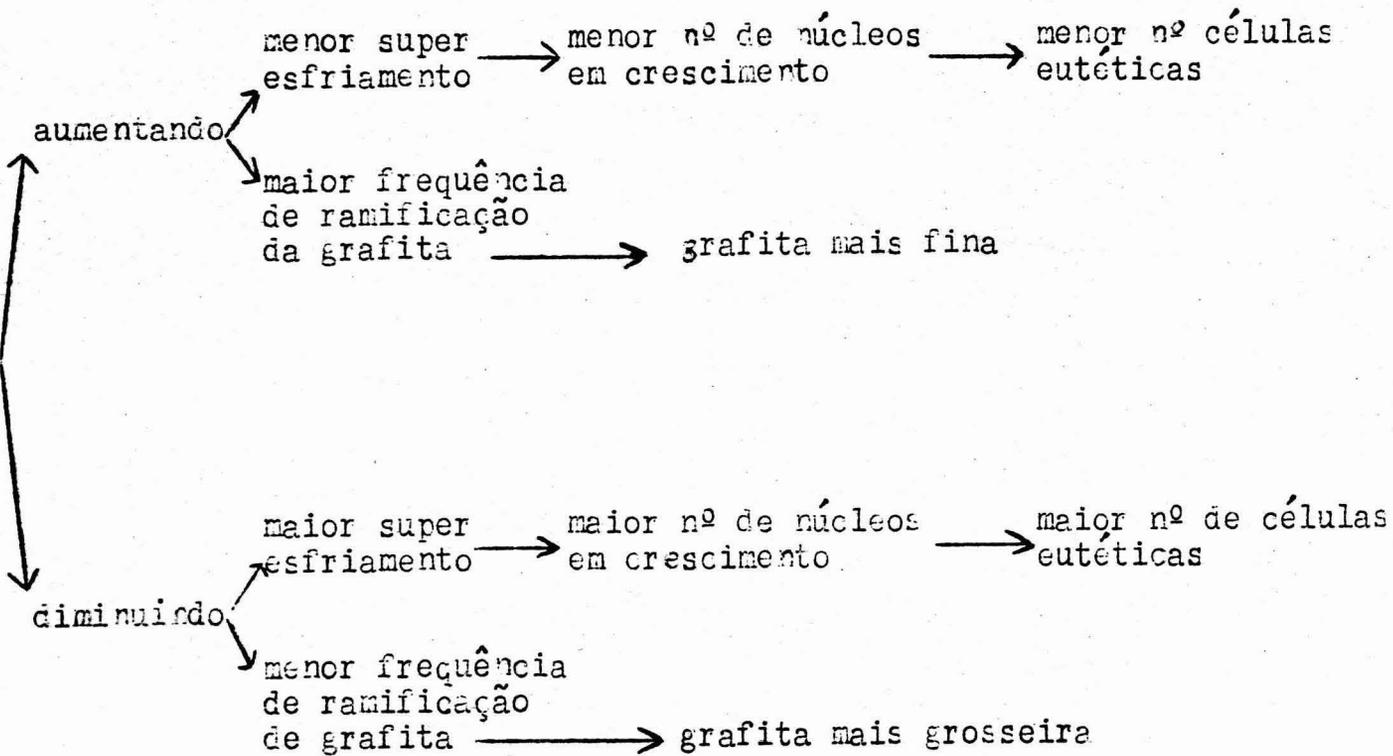


Fig. 5

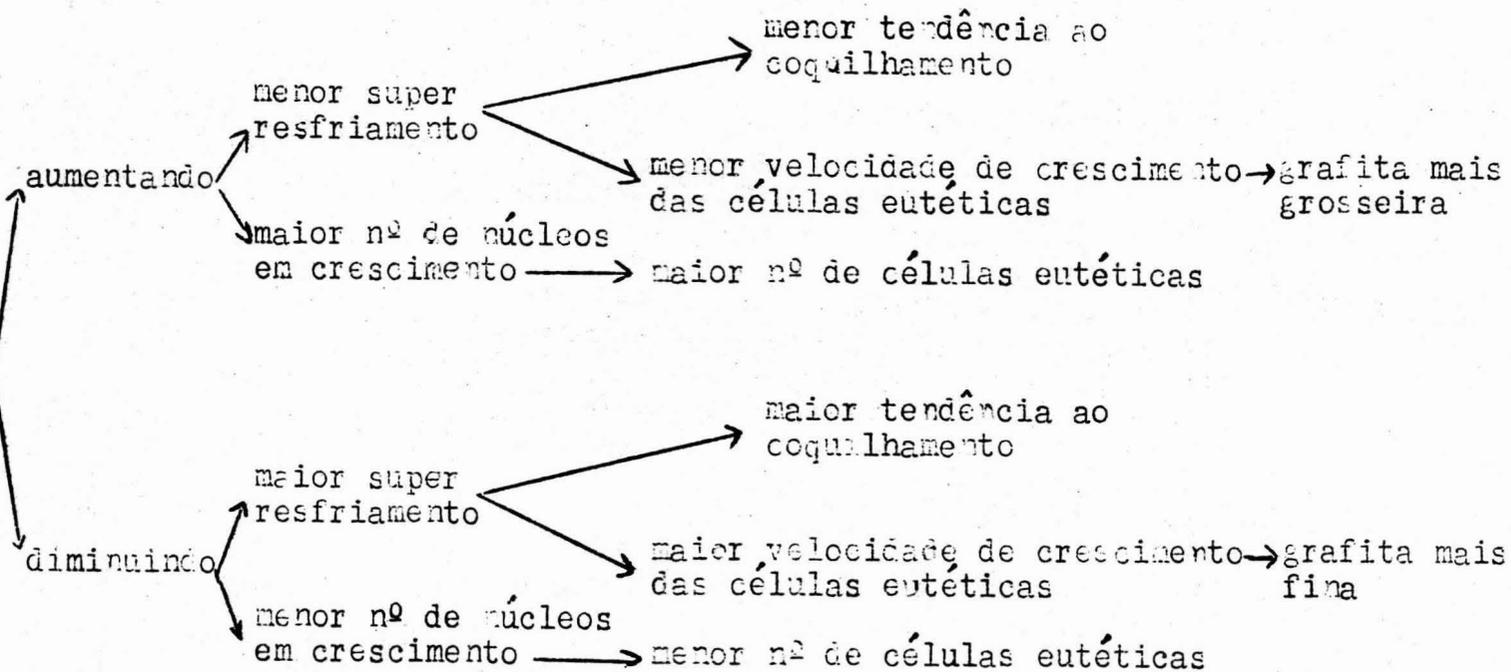
(a) → (c) - Aumento do grau de nucleação.



i Velocidade de
o crescimento das
i células eutéticas



Grau de nucleação



quantidade de dendritas de austenita e matriz de alta resistência, o que implica nas melhores propriedades mecânicas, serão abordados alguns pontos relativos à composição química.

3.1. Composição química

Dos cinco elementos químicos básicos sem dúvida o carbono é o que exerce o maior efeito. É o responsável direto pela presença da grafita a qual comanda em grande parte as propriedades mecânicas dos ferros fundidos cinzentos.

O silício é responsável indireto pela presença de grafita pois atua como grafitizante. Esse efeito do silício pode ser melhor entendido examinando-se a figura 6. Nessa figura está indicado o efeito de teores crescentes de silício nas temperaturas dos dois eutéticos estável e metaestável do diagrama ferro-carbono. Nota-se, por exemplo, que um teor de silício da ordem de 2,0% amplia a diferença entre as temperaturas de solidificação de equilíbrio dos dois eutéticos de menos de 10°C para cerca de 35°C. Isto significa que para uma dada velocidade de resfriamento e mesmo carbono equivalente, teores crescentes de silício favorecem a formação de ferro fundido cinzento. Em outras palavras à medida que o teor de silício aumenta há necessidade de maior super-resfriamento para poder formar-se ferro fundido branco. O cromo é um elemento que tem efeito contrário. Assim a adição de 1,0% de cromo em ferro fundido com cerca de 2,0% de Si diminui a diferença entre as temperaturas de solidificação de equilíbrio dos dois eutéticos para cerca de 15°C (figura 7) e, portanto, favorece a obtenção de ferro fundido branco. Esses efeitos do silício e do cromo relativos às linhas do diagrama de equilíbrio explicam o efeito grafitizante do silício e anti-grafitizante do cromo (12). Outros elementos podem promover efeitos semelhantes através de uma atuação na nucleação e no crescimento das células eutéticas, como será discutido mais adiante.

O manganês tem como finalidade principal neutralizar o enxôfre, quando em excesso tende atuar como perlitizante. O enxôfre é considerado em princípio uma impureza que se não contrabalançada pelo manganês forma sulfetos de ferro que tende segregar para o contorno das células eutéticas, atuando como grafitizante.

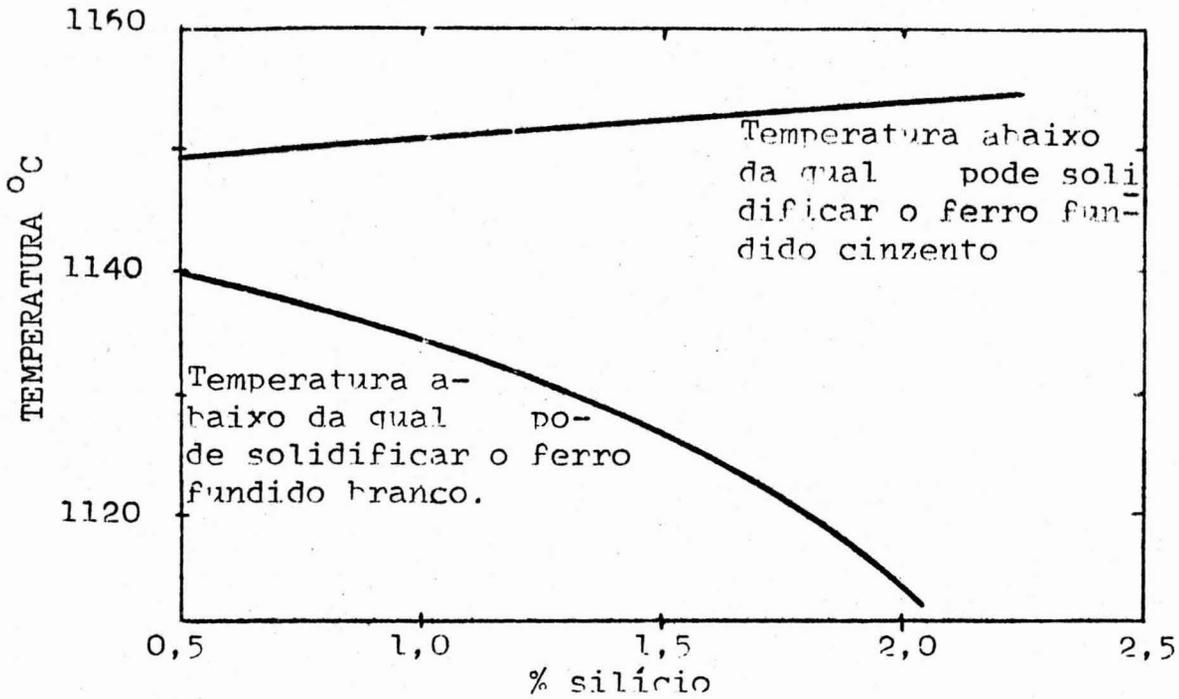


Fig.6 - Influencia do silício nas temperaturas de equilíbrio dos eutéticos austenita/grafita, austenita/carboneto. (3)

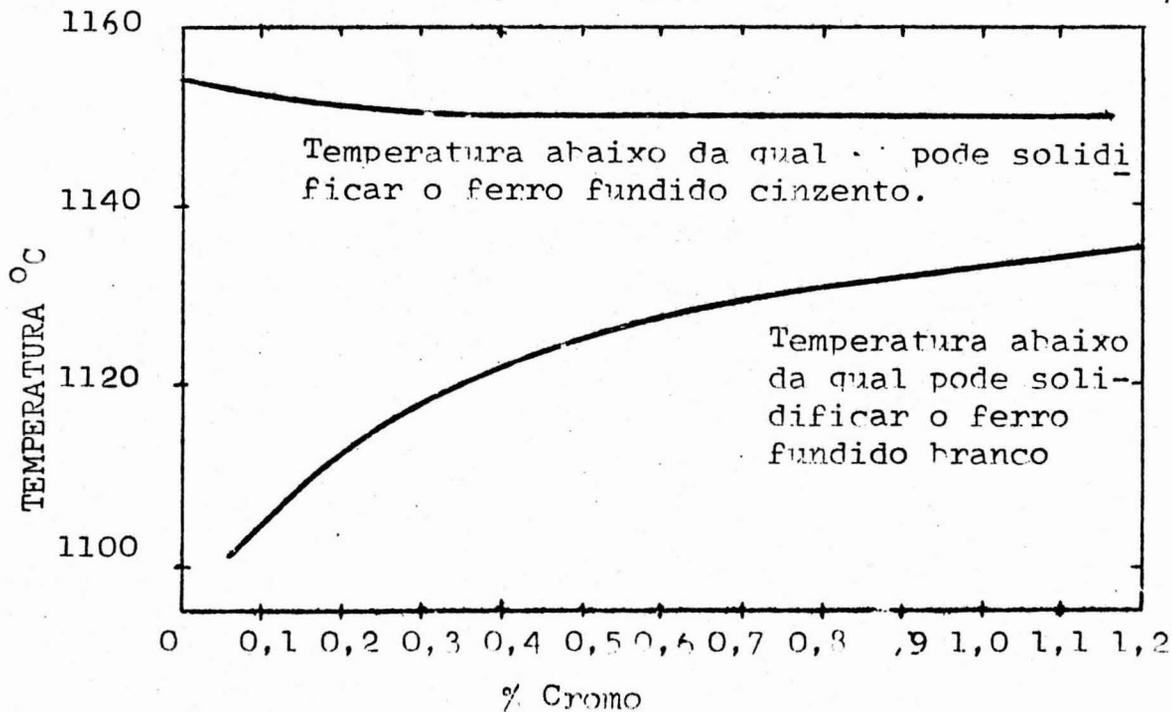


Fig.5- Influencia do cromo nas temperaturas de equilíbrio dos eutéticos austenita/grafita e austenita/carboneto. (3)

Um ponto interessante que tem sido discutido na literatura (12, 13, 14) é a importância do enxôfre nos ferros fundidos cinzentos. Admite-se que o mesmo favorece de modo marcante a formação de grafita tipo A. Ligas Fe-C- e Fe-C-Si puras nas condições usuais de resfriamento (30 a 400°C/min) tendem a dar grafita de super-resfriamento (tipo D) e a presença de enxôfre favoreceria a obtenção da estrutura dita "normal" (grafita tipo A) dos ferros fundidos cinzentos. Por essa razão recomenda-se para ferros fundidos cinzentos teores de enxôfre na faixa 0,04 - 0,12% (13). Nessa faixa atuaria como "nucleante" (grafitizante) aumentando o número de células eutéticas. Por outro lado, o enxôfre influi também no processo de crescimento das células eutéticas. Particularmente, em altos teores, reduziria muito a velocidade de crescimento das células eutéticas, aumentando assim o super-resfriamento e, portanto, favorecendo até formação de ferro fundido branco. Em teores altos (0,2 - 0,3%) pode provocar também a formação de grafita degenerada ("mesh graphite") (12).

O fósforo em ferros fundidos é considerado como impureza e quando em teores elevados produz "steadita". O fósforo atuaria no sentido de aumentar o número de células eutéticas e diminuir a tendência ao coquilhamento atuando, portanto, como grafitizante.

Finalmente, convem salientar que se pode lançar mão de adições de elementos de liga. A sua atuação poderia ser no grau de nucleação, no crescimento das células nas linhas do diagrama de equilíbrio, ou ainda por sua ação na transformação de fase no estado sólido.

3.2. Variáveis de Processamento

Sabe-se que todos os metais e ligas são sensíveis às variáveis de processamento. No caso particular de ferros fundidos as variáveis de processamento tem efeitos bastante significativos sobre o mecanismo de solidificação e em consequência os ferros fundidos cinzentos de mesma composição podem apresentar estruturas e propriedades bem diferentes.

Os pontos básicos relativos ao processamento para se obter um ferro fundido cinzento com as características estruturais consideradas ideais, baseado na teoria de solidificação, seriam principalmente função

da nucleação, pois o efeito direto da velocidade de crescimento só seria importante pela adição ou remoção de elementos químicos e não pelo processo em si. Há, portanto, interesse em se discutir em detalhe o fator nucleação.

Analisando-se as características estruturais consideradas ideais pode-se concluir que para se obter elevado número de células eutéticas e grafita tipo A, há necessidade de ter-se grande número de centros de nucleação atuantes, pois ao contrário tende a ocorrer grande super-resfriamento e como consequência o aparecimento de grafita de super-resfriamento e, ou carbonetos.

Um grande número de núcleos efetivos com pequeno super-resfriamento, favorecendo a obtenção de grafita tipo A, tende a diminuir o crescimento das células eutéticas (ramificação da grafita) devido ao decréscimo do super-resfriamento. Esta diminuição na velocidade de ramificação, em princípio, tende a produzir grafita grosseira (veios largos e compridos) mas como neste caso o número de células é bastante elevado o resultado final, é grafita tipo A, refinada (veios curtos e finos). Grande número de células eutéticas favorecem também a distribuição de impurezas (segragação), pois há um aumento da área na qual se distribuem as impurezas que segregam para o líquido durante a solidificação. Tecnologicamente, entretanto, deve-se ter em mente que um número excessivo de células eutéticas pode provocar microporosidades. Esse fato está mais ligado a dificuldades de alimentação e movimentação das paredes do molde de que com o número de células em si (4).

A maneira ideal para se conseguir estrutura com elevadas propriedades mecânicas é, portanto, atuar principalmente sobre a nucleação (11, 13, 15). Em ligas comerciais a nucleação é sempre heterogênea (12, 15) e a melhor maneira de controlá-la é por inoculação. No caso de ferros fundidos a fase de mais difícil nucleação no eutético é a grafita e a experiência tem mostrado que os inoculantes mais efetivos tem principalmente função grafitizante (11, 12). Verifica-se experimentalmente que os inoculantes também provocam refino das dendritas primárias de austenita por mecanismo ainda não completamente conhecido (7, 10, 11). Pode-se, por conseguinte, admitir que a melhor maneira de produzir ferros fundidos

cinzentos de alta qualidade com elevada resistência mecânica é pela técnica de inoculação.

Existem muitos tipos de inoculantes e o núcleo que da origem à grafita não precisa ser necessariamente de um único tipo. A efetividade e a reprodutibilidade do efeito nucleante não depende só do inoculante em si (composição, granulometria, "fading", etc...), mas também de outras condições ("processo oxidante" ou "reductor" temperatura de inoculação, composição do ferro fundido base).

Convém salientar que os aspectos como discutidos acima são mais importantes quando se deseja produzir ferros fundidos de alta qualidade e alta resistência em peças finas e médias. Em peças grossas e quando o carbono-equivalente é elevado o problema de nucleação tende a ser menos crítico. É que no caso de peças grossas a velocidade de extração de calor é mais lenta e não tende a ocorrer elevado super-resfriamento na solidificação. No caso de material com alto carbono equivalente (da ordem de 4,3 ou maior) a tendência a grafitização do banho já tende a ser elevada. Nesses ferros fundidos obtenção de boas fundibilidades e usinabilidade é mais fácil e resistência mecânica mais alta pode ser mais facilmente obtida pela adição de elementos de liga.

As variáveis de processo, além da inoculação, que são consideradas básicas para obtenção de ferros fundidos cinzentos de alta resistência são superaquecimento do banho líquido e temperatura de vazamento(17).

O superaquecimento é importante porque homogeniza o banho líquido, tende a diminuir o efeito do tipo de carga metálica e de certo modo "limpa" o banho (elimina óxidos pela ação redutora do C dissolvido), bem como retarda a formação de óxidos no resfriamento (17). Em consequência tende-se a obter melhores efeitos e reprodutibilidade da ação do inoculante e menor tendência a formação de defeitos. O efeito do superaquecimento depende da temperatura e do tempo de superaquecimento.

A importância da temperatura de vazamento está diretamente ligada ao fato de que quanto menor a temperatura de vazamento maior tende a ser a velocidade de resfriamento e conseqüentemente maiores tendem a ser as velocidades de nucleação e de crescimento, portanto, atua no

sentido de refinar a estrutura. Entretanto, temperatura de vazamento baixa demais pode provocar coquilhamento e formação de defeitos tipo gases (blow-holes), ligado principalmente a reação $\text{FeO} + \text{C} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO}$ (18).

Os efeitos das variáveis de processo discutidas acima e dos principais elementos químicos nas condições de solidificação podem ser resumidos na tabela I.

Complementarmente ainda se pode considerar como variáveis que podem afetar as estruturas e propriedades dos ferros fundidos o equipamento de fusão e materiais de carga (19). O efeito do equipamento de fusão é principalmente indireto. É indiscutível que os fornos elétricos de indução ou a arco permitem melhores ajustes de composição de superaquecimento e de vazamento que o forno cubilô ou reverberatórios e, portanto, permitem mais fácil e economicamente produzir ferros fundidos cinzentos de alta resistência e de alta qualidade.

O efeito de materiais da carga é um ponto um tanto controvertido (3, 19). Em princípio desde que hajam condições de se promover homogeneização por superaquecimento, as estruturas e propriedades tendem a ser iguais para uma mesma composição final. Entretanto, verifica-se, por exemplo, que se tende obter melhores propriedades finais quando se usa sucata recarburada, do que gusa e também quando se usa gusa de carvão vegetal que gusa obtido com coque. O mesmo acontece quando se usa alta porcentagem de retorno em vez do gusa. Aparentemente a variação principal estaria na morfologia da grafita que se obtém. Uma das explicações que tem sido dada é que os teores de gases (nitrogênio, oxigênio e hidrogênio) seriam diferentes, dependendo do tipo de carga (19).

Finalmente, como já se mencionou a estrutura da fase matriz, em ferros fundidos de alta resistência é, em geral, perlítica. A estrutura perlítica, em parte, é favorecida pela presença de grafita tipo A. Entretanto, convem salientar que em peças brutas de solidificação a velocidade de resfriamento, principalmente, na faixa $950 - 650^{\circ}\text{C}$ e a presença de elementos promovedores de estrutura perlítica (como, por exemplo, cromo, estanho, cobre), são fatores importantes.

Convém salientar ainda, que tem havido preocupação em procurar medir a qualidade dos ferros fundidos cinzentos através de "parâme-

Efeitos das variáveis no mecanismo de solidificação e na estrutura de ferro fundido cinzento (adaptado da ref. 6).

Variáveis	Efeito (principal) na nucleação ou no crescimento	Efeito na estrutura da Grafita	Efeito no nº de células eutéticas	super-resfriamento
Carbono e silício	aumentam ligeiramente a nucleação	produz grafita mais grosseira	aumenta ligeiramente	diminui ligeiramente
Enxôfre	Diminui muito a velocidade de crescimento	produz grafita mais grosseira	aumenta	aumenta
Manganês	Aumenta velocidade de crescimento	refina	aumenta ligeiramente	aumenta ligeiramente
Fósforo	Aumenta ligeiramente a nucleação	torna ligeiramente mais grosseira	aumenta ligeiramente	diminui ligeiramente
Hidrogênio	inibe o crescimento	produz grafita mais grosseira	?	aumenta
Inoculação	aumenta nucleação	produz grafita ligeiramente mais grosseira	aumenta	diminui
Aumento da temperatura de superaquecimento	reduz nucleação	refina ligeiramente	diminui	aumenta
Aumento do tempo de superaquecimento	reduz nucleação	refina ligeiramente	diminui	aumenta
Aumento da velocidade de resfriamento	aumenta velocidade de nucleação e crescimento	produz grafita mais grosseira	diminui	diminui

tros de qualidade" (20, 21) cuja filosofia é a apresentada neste trabalho ou seja procurar obter as melhores propriedades mecânicas para dada composição. Os principais parâmetros seriam, por exemplo, grau de maturação, dureza relativa e parâmetro "m de Czikel".

CONCLUSÕES:

Em linhas gerais, pode-se concluir que os conhecimentos atuais, relativos às variáveis de solidificação, constituem uma ferramenta valiosa no controle da obtenção de ferros fundidos cinzentos de alta qualidade.

BIBLIOGRAFIA

- 1 - MORROGH, H. - The Status of the Metallurgy of Cast Iron, Journal of the Iron and Steel Institute, vol. 206, parte I, p. 1 - 10, jan. 1968.
- 2 - MORROGH, H. - The Solidification of Cast Iron and Interpretation of the Results obtained from Chilled Test Pieces. The British Foundryman, vol. 530 nº 5, p. 221, 1960.
- 3 - BOYES, J.W. e A.G. FULLER - Chilled Mottle Formation in Cast Iron, BCIRA Journal, v. 12, nº 7, p. 427, 1964.
- 4 - NEUMANN, F. - Metallurgische Schmelzfuehrung und Ihre Bedeutung für die Treffsicherheit der Gusseiseneigenschaften beim Induktiven / Schmelzen, publicação Brown, Boveri Co, 1972.
- 5 - B. MERCHANT, H. - Solidification of Cast Iron - A Review of Literature Recent Research of Cast Iron, editado por H.Merchant; Gordon and Breach, 1963.
- 6 - CHAVES Fº, L.M. - Estudo sobre a Influência do Estanho na solidificação de Ferros Fundidos Cinzentos, Escola Politécnica da USP, Dissertação de Mestrado, 1971, São Paulo.
- 7 - SUGIYAMA, N. e A. PIESKE, Alguns Efeitos do Antimônio na Solidificação de Ferros Fundidos Cinzentos, Metalurgia (ABM), vol. 29, nº 184, p. 171 - 180, março, 1973.
- 8 - MERCHANT, H.D. - A New Concept of Cast Iron Metallurgy, Metal Progress, vol. 81, nº 5, p. 90, maio, 1962.
- 9 - PIESKE, A., CHAVES Fº, L.M. e REIMER, J.F. - Ferros Fundidos de Alta Qualidade - Publicação da Sociedade Educacional Tupy, 1974.

- 10 - HEINE, R.W. e C.R. LOPER - On dendrites and Eutectic Cells in Gray Iron - Trans. AFS, v. 77, p. 185 - 191, 1969.
- 11 - KLABAN, J. - Einfluss siliciumhaltiger Impfzusaetze auf das Gefuege und die Eigenschaften von Gusseisen mit Lamellengraphit, Giesserei Praxis, n° 7, p. 120 - 127, 1971.
- 12 - HUGHES, I.C.H. - A Review of Solidification of Cast Irons with flake Graphite Structures, ISI Special Report 110, p. 184 - 192, 1968.
- 13 - PATTERSON, V.H. - Inoculants for Grey and Spheroidal Graphite Iron - their Use and Effects, Foundry Trade Journal, 26 de julho 1973, p. 91 - 104.
- 14 - MUZUMDAR, K.M. e J.F. WALLACE - Inoculation - Sulfur Relationship in Cast Iron, Trans. AFS, vol. 80, p. 317 - 328, 1972.
- 15 - CATTANEO, R. - Keimbildung im grauen Gusseisen, Giesserei- Praxis, n° 2, p. 25 - 29, 1969.
- 16 - FUCHS, G. - The Process of Crystalization from Cast Iron Melts, Battelle Institute Report, Frankfurt.
- 17 - NEUMANN, F. - Comparative Study of Cast Iron Melting in Cupulas and Coreless Induction Furnace, Brown-Boveri & Cie Report, 1971.
- 18 - MORGAN, A.D. - Blowholes from Slag Inclusions, BCIRA Journal, vol. 10, p. 438 - 441, 1962.
- 19 - FULLER, A.G. - Metallurgical Effects in Electric Furnaces, First AFS Electric Iron melting Conference, p. 8-1, 1970.
- 20 - Giesserei-Kalender , 1974, p. 53 - 56, Giesserei-Verlag, Duesseldorf.
- 21 - PATTERSON, W. e R. DOEPP - Einheitliche Bewertung von Gusseisen mit Lamellengraphit, Giesserei, vol. 60, n° 2, p. 32 - 39, 1973.