



ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO MATERIAL DO MOLDE NA FORMAÇÃO DA MICROESTRUTURA DO AÇO INOXIDÁVEL AUSTENÍTICO AISI 304

Jean Robert Pereira Rodrigues, jrobert@ifma.edu.br¹

João Lobo Peralta, jlperalta@ifpa.edu.br²

Mirian de Lourdes Noronha Motta Melo, mirianmottamelo@unifei.edu.br³

Rezende Gomes dos Santos, rezende@fem.unicamp.br⁴

Carmem Célia Francisco do Nascimento, carmemfn@ifma.edu.br⁵

André Pereira Santana, andre@ifma.edu.com.br⁶

^{1, 5 e 6}Departamento de Mecânica e Materiais – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão – IFMA, Av. Getúlio Vargas, nº 4 - Campus Monte Castelo, CEP: 65.030-005, São Luis/MA.

²Departamento de Mecânica e Materiais – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará – IFPA, Av. Almirante Barroso, nº 1155 - Marco, CEP: 66.010- 840, Belém/PA.

³Instituto de Engenharia Mecânica – IEM, Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, Av. BPS, 1303, Pinheirinho, CEP: 37.500-903, Itajubá/MG.

⁴Faculdade de Engenharia Mecânica - UNICAMP, Rua Mendeleiev, s/n - Cidade Universitária "Zeferino Vaz" Barão Geraldo, 13.083 – 970 – CP. 6122 - Campinas – SP.

Resumo: Em operações industriais de lingotamento e fundição, a possibilidade de implantação de uma diversidade de condições operacionais tem como consequência a geração de uma vasta gama de estruturas de solidificação aos quais irão influenciar nas propriedades finais do produto. Foi desenvolvida no presente trabalho, por meio de uma sequência de experimentos, uma análise da influência do material do molde nos parâmetros estruturais durante a solidificação do aço inoxidável austenítico AISI 304. Para tanto placas de aço inoxidável foram solidificadas em moldes de areia e de aço. Inicialmente a variação de temperatura no metal e no molde foram medidas durante a solidificação usando um sistema de aquisição de dados, onde a partir de então foram obtidas as curvas de resfriamento. Por meio de análise metalográfica foi possível determinar a influência do material do molde na formação da macro e microestrutura durante o processo de solidificação.

Palavras-chave: Aço inoxidável, Parâmetros estruturais; Molde de areia; Molde de aço, Solidificação e Curvas de resfriamento.

1. INTRODUÇÃO

Em 1912, na Inglaterra pesquisadores realizaram experiências em ligas resistentes à corrosão, contendo 12,8% de Cr e 0,24% C, o que levaram a descoberta dos aços inoxidáveis martensítico. Já nos Estados Unidos da América, em 1911, foram descobertos os aços inoxidáveis ferríticos, através de experiência com ligas contendo 14 a 16 % Cr e 0,007 a 0,015% de C, sendo até hoje indicada para construções de turbinas pelos engenheiros projetistas. Em 1912 foi introduzido, na Alemanha, um aço contendo 7% de níquel e 20% de cromo e 0,25% de carbono para fabricação de produtos que exigiam alta resistência a corrosão. Assim nasceram os aços inoxidáveis austeníticos, sendo uma nova classe de materiais que se distingue dos outros aços, pela quantidade de cromo presente, normalmente acima de 11%, amplamente usado em meios aquosos e adequado para as indústrias químicas, farmacêuticas, petroquímicas, do álcool, aeronáutica, naval, de arquitetura, alimentícia, de transporte, e também utilizado em talheres, baixelas, pias, revestimentos de elevadores (Davis, 1991; Padilha e Guedes, 1994).

O entendimento da solidificação dos aços inoxidáveis é de fundamental importância para o planejamento dos processos de fabricação, já que permite o conhecimento dos fatores que influenciam na microestrutura e, conseqüentemente, a qualidade do produto. Embora, um alto grau de empirismo tenha predominado, principalmente na indústria de fundição, até o fim da primeira metade do século XX, inúmeras pesquisas relacionadas aos fenômenos que ocorrem durante a solidificação de metais, passaram a ser desenvolvidas. A partir dessas pesquisas, muitos problemas de interesse prático começaram a ser solucionados, e processos tradicionais, como a fundição e o lingotamento, absorveram parcelas consideráveis de inovações tecnológicas (Brimacombe et al, 1986 e Peralta, 2003).

A qualidade e desempenho mecânico das peças metálicas fundidas dependem da combinação de várias coisas ao mesmo tempo como, por exemplo, o tamanho de grão, espaçamentos dendríticos, espaçamentos lamelares ou fibrosos, das heterogeneidades de composição química, do tamanho, forma e distribuição das inclusões, das porosidades

formadas etc. Todos esses fatores podem de alguma maneira ser manipulados durante o processo de solidificação, para obter peças com as inúmeras exigências do mercado. Deve-se, portanto ter conhecimento de todos os fatores envolvidos ao longo de todo o processo, desde o tratamento do metal líquido, temperatura de vazamento, a maneira de se preencher o molde (controlando a intensidade das correntes convectivas), material e geometria do molde (Okamoto e Kishitake, 1975; Garcia, 2001; Stefanescu, 2005).

A solidificação se processa a partir da formação no líquido, de núcleos sólidos, que em condições termodinâmicas favoráveis crescem dando origem aos grãos cristalinos que definirão a macroestrutura da peça (Gandin, 2001; Xin, 2002 e Turchin, 2007). A macroestrutura de um metal solidificado será então caracterizada pelos seus grãos cristalinos, ou seja, suas dimensões, orientação, forma e distribuição. As fases resultantes das transformações são função da nucleação, do crescimento ou pela combinação de ambas (Boettinger et al., 2000). Geralmente, a solidificação conduz a macroestruturas de três tipos morfológicos característicos: coquilhada; colunar e equiaxial (Kurz et al., 2001; Garcia, 2001; Santos, 2006).

Vários outros pesquisadores, através da solidificação de metais, estudaram as microestruturas resultantes de solidificações unidirecionais e radiais, sob as mais variadas geometrias, condições térmicas e composições químicas (Gündüz et al, 2002; Santos et al, 2004).

Como mencionado anteriormente, percebe-se claramente a importância dos aços inoxidáveis em diversas aplicações na indústria metal/mecânica. Apesar desta gama de aplicações dos aços inoxidáveis, observa-se uma escassez de trabalhos científicos que enfatizem as condições transitórias de extração de calor correlacionados com parâmetros térmicos e estruturais. Há um interesse em desenvolver trabalhos científicos teóricos e experimentais que contribuam para compreensão dos parâmetros estruturais. O objetivo desse trabalho está relacionado com uma análise experimental do aço inoxidável austenítico AISI 304 utilizando o processo de solidificação sob fluxo de calor radial visando investigar a influência do material do molde na macro e microestrutura de solidificação. Para atingir esse objetivo foram obtidas experimentalmente, durante a solidificação, as curvas de variação de temperatura em diferentes pontos no sistema metal/molde. As principais características das microestruturas brutas de fusão: os espaçamentos dendríticos ao longo da seção transversal durante a solidificação de lingotes retangulares horizontais foram determinados a partir das micrografias.

2. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

O material utilizado nos experimentos foi o aço inoxidável AISI 304 adquirido da Aço Villares S.A. cujo os valores de concentração dos elementos principais não apresentaram diferenças significativas, sendo apresentado apenas um dos resultados conforme podem ser observado na Tab. (1).

Tabela 1. Composição química do aço inoxidável AISI 304 (% em peso).

C	Mn	Si	Cu	Cr	Ni	S	Mo
0,04	1,52	0,47	0,18	18,7	8,9	0,009	0,36

A escolha do aço cromo-níquel inoxidável austenítico AISI 304, deve-se ao seu atual emprego no processo de lingotamento contínuo de placas finas. Possui boa resistência à corrosão e tem a propriedade de manter boas características de tenacidade até temperaturas extremamente baixas, que o torna um material adequado para aplicações criogênicas sujeitas a choque e impactos. Caracteriza-se por um coeficiente de dilatação térmica linear cerca de 50% superior ao dos aços para construção mecânica. Portanto, é utilizado em equipamentos das indústrias química, farmacêutica, têxtil, do petróleo, do papel e celulose, indústria do frio, instalações criogênicas em geral, entre outras. Além disso, também é utilizado em equipamento hospitalar, permutadores de calor, válvulas e peças de tubulações.

Para se obter diferentes taxas de resfriamento durante a solidificação das placas finas, foram utilizadas duas técnicas de fundição, ou seja, fundição de placas em molde de areia e fundição de placa em molde metálico refrigerado. Em ambos os casos, foram produzidas placas de aço com as dimensões de 150 mm de largura por 150 mm de altura com uma espessura de 60 mm.

Os moldes metálicos possuíam duas paredes, uma móvel e outra fixa oposta onde foram fixadas placas de cobre eletrolítico refrigeradas a água, que simulam o resfriamento controlado sendo dotadas de canais de seção circular ligados aos tubos do sistema de entrada e saída do sistema de refrigeração, para permitir o resfriamento durante a solidificação da liga.

O acompanhamento das temperaturas durante a solidificação foi realizado através de termopares convenientemente posicionados nas paredes do molde e no metal líquido acoplados ao sistema de aquisição. No molde foi usado um termopar do tipo S (platina/platina 10% ródio – Pt/Pt 10%Rh) de 0,35 mm de diâmetro introduzidos em tubos de alumina de 2 mm de diâmetro com as suas extremidades protegidas com massa refratária à base de óxido de cromo, localizado a 3 mm da interface metal/molde para o molde refrigerado e a 10 mm para o molde de areia. As posições adotadas para os termopares foram um no centro do molde, ou seja, a 30 mm da parede do molde, um na interface e um a 15 mm da parede conforme a configuração apresentada na Fig.(1).

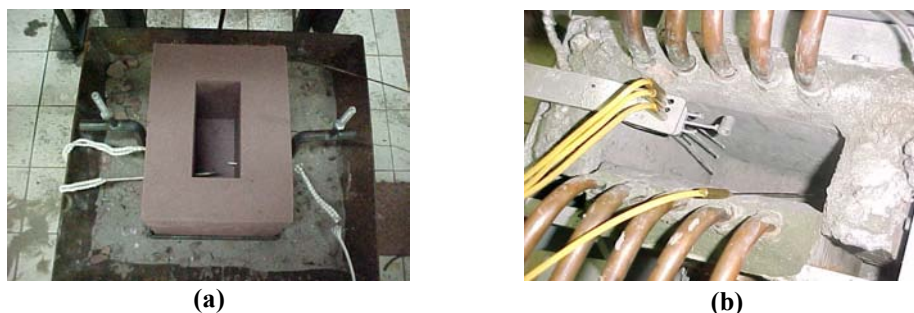


Figura 1. Disposição dos termopares: (a) no molde de areia e (b) no molde metálico.

A aquisição dos dados e o controle do processo foram monitorados através de um sistema de aquisição de dados, de 12 bits de resolução, acoplado a um microcomputador, dotado de 32 canais de leitura e taxa de aquisição de 10 Hz por canal permitindo a leitura das variações da temperatura no metal e no molde.

Para a produção das placas finas de aço inoxidável, sua fusão foi realizada em um forno de indução eletromagnética com sistema VIP Power Trak 35 kW PT 96 da Inductotherm Indústria e Comércio Ltda, apresentando potencia nominal de 35 kW e frequência de 9600 Hz com capacidade em peso de 25 kg com uma taxa de fusão, estando quente, de 38 kg/h a 1650 °C.

Para cada experimento, tanto em molde de areia como no refrigerado, foram refundidos 12 kg de aço inoxidável mantendo-se a temperatura de vazamento em torno de 1580 °C. Esta temperatura foi acompanhada através de pirômetro portátil com lança e sensor descartável tipo S. Antes de cada vazamento, de acordo com Finarde (1993), foi feito um acréscimo de 2 g de CaSi (Silax) para cada quilo de aço inoxidável no estado líquido com a função de melhorar sua fluidez.

Para se obter as placas de aço em molde de areia e metálico, o aço líquido foi vazado diretamente sob uma calha (pré-aquecida por maçarico a gás) para minimizar a turbulência, conforme se pode observar na Fig.(2).



Figura 2. Vazamento do aço líquido em molde de areia.

Após a obtenção de cada placa, foi realizada sua caracterização. Esta caracterização teve como objetivo a análise das macro e microestruturas, para verificar a constituição da estrutura final, assim como, a medição dos espaçamentos interdendríticos primários e secundários.

Para a realização desta etapa, primeiramente determinou-se a região de estudo. Esta região, como pode ser vista esquematicamente na Fig.(3), foi escolhida por ser a que menos sofre influência externa garantindo manutenção da direcionalidade do fluxo de calor.

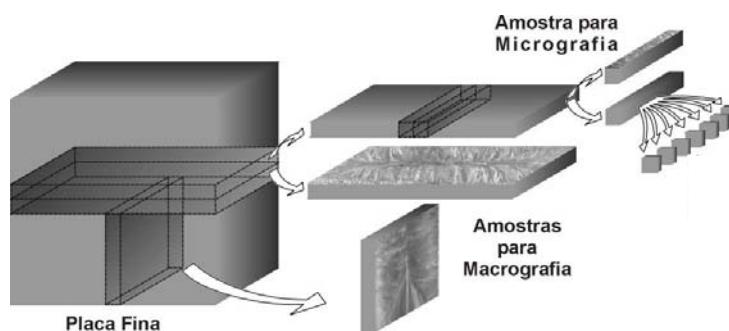


Figura 3. Esquemas de estudo metalográfico das placas finas de aço inoxidável.

Para avaliar o comportamento da macroestrutura, o ataque foi realizado nas seções transversal e longitudinal para exame visual. Esse processo dá uma boa indicação da constituição da estrutura final, que facilita a classificação da forma da estrutura de solidificação.

O preparo das amostras de aço inoxidável constou inicialmente de retificação da superfície a ser estudada para se eliminar as imperfeições superficiais devido ao corte feito em serra mecânica e posteriormente, realizando-se a etapa de lixamento.

O lixamento foi realizado em lixadeira manual usando lixas de carbetto de silício e óxido de alumínio refrigeradas a água. As seqüências utilizadas foram de grana 180, 220, 320, 480, 600 de carbetto de silício e continuando com a de 800 e 1000 mesh de óxido de alumínio.

O macroataque foi realizado com excelentes resultados utilizando o reagente de Kalling (5g CuCl_2 , 40 ml HCl e 30 ml H_2O), que acordo com as indicações de Vander Voort (1989) que segue a orientação da ASTM. Para isso, as amostras foram imersas no reagente por um período suficiente para revelação das estruturas, em seguida lavadas com água corrente e depois com álcool etílico e seco. O passo seguinte foi a realização de fotografias de todas as macroestruturas obtidas para posterior análise. As fotos foram obtidas através de máquina fotográfica do tipo digital devido à facilidade de se obter bons resultados de maneira mais rápida.

A análise das microestruturas foi realizada em microscópio tipo óptico (Neophot) com analisador de imagem onde é feita uma varredura a partir da interface até o centro da placa. As amostras para esse estudo (Fig.3) foram embutidas em baquelite ou em resina epóxi sendo então, lixadas seguindo a mesma seqüência estabelecida anteriormente continuando com lixa de óxido de alumínio de grana 1200 e posterior polimento com pasta de diamante de 6 e 1 μm lubrificado com álcool etílico. O ataque que se mostrou mais adequado para este tipo de aço de acordo com as indicações de Vander Voort (1989) foi o eletrolítico. Para isto, foi usado o ácido oxálico a 10% com uma voltagem de 6 V com corrente contínua durante 45 a 60 s.

Para o espaçamento dendrítico secundário (EDS) ou λ_2 , usou-se a média das distâncias entre os ramos secundários na seção longitudinal de uma dendrita primária (método do intercepto) como pode ser visto na Fig.(4). Essas medidas foram realizadas a cada 2 mm a partir da interface metal/molde. Em ambos os casos foram realizadas de 40 a 50 medições para cada posição.

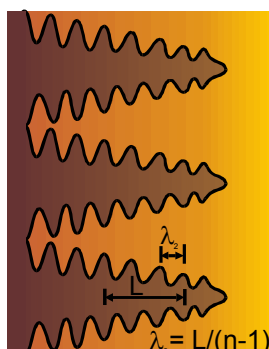


Figura 4. Parâmetro microestrutural e procedimento de medidas de EDS (λ_2).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Curvas de resfriamento

As placas finas de aço inoxidável, conforme dito anteriormente, foram produzidas sob duas condições de resfriamento. Uma utilizou molde de areia na qual a solidificação ocorre de maneira bem lenta sendo possível acompanhar todo o comportamento térmico do processo, e outra utilizando molde refrigerado em que inicialmente foi produzida uma placa nas mesmas dimensões que em areia.

Na Fig.(5) observa-se a evolução de temperatura de uma placa fina de aço inoxidável solidificada em molde de areia. Neste caso, as temperaturas tanto no centro da placa como a 15 mm da interface mantiveram-se iguais acima da temperatura *liquidus* durante 100 segundos devido à baixa taxa de extração e absorção de calor pelo molde promover uma homogeneidade térmica na massa líquida. Após esse período, a temperatura começa a cair, sendo que o início da solidificação a 15 mm do molde ocorre após 30 segundos e a frente de solidificação alcançou a região central da placa 30 segundos mais tarde. Constatou-se que ocorre a formação de uma casca sólida no início do processo quando o metal líquido entrou em contato com o molde à temperatura ambiente, como verificado pelo comportamento do registro de temperatura na interface metal/molde.

A Fig.(6) apresenta as curvas de resfriamento da placa de aço inoxidável solidificada em molde refrigerado. O tempo para que a temperatura a 15 mm da interface metal/molde alcancem a *liquidus*, neste caso, é de 30 segundos após o término do vazamento. Já o início da solidificação no centro da placa ocorre depois de 100 segundos, e o tempo necessário para esta mesma região alcançar a temperatura *solidus* é de 24 segundos. A aquisição da temperatura na

interface metal/molde apresenta uma falha, isto em decorrência das altas temperaturas e da possibilidade da abertura temporária dos termopares.

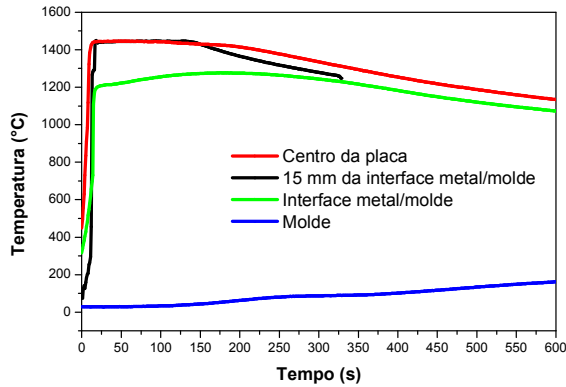


Figura 5. Curvas de resfriamento da placa fina de aço inoxidável com 60 mm de espessura, obtida em molde de areia.

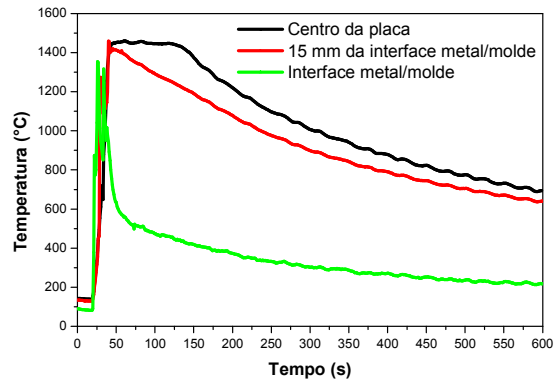


Figura 6. Curvas de resfriamento da placa fina de aço inoxidável com 60 mm de espessura obtida em molde refrigerado.

3.2. Macroestrutura de solidificação

As macroestruturas de solidificação das placas obtidas dão uma indicação exata dos seus comportamentos sob as diferentes condições em que foram produzidas. A região de estudo, conforme apresentado no item anterior na Fig. (3), na maioria dos casos, foram obtidas através de cortes em sua seção transversal e quando de interesse uma pequena amostra foi retirada da sua seção longitudinal.

A Fig. (7) mostra a macrografia obtida da seção transversal de uma placa fina de aço inoxidável solidificada em molde de areia. Pode-se observar que há apenas uma zona bem distinta, a zona colunar, com grãos não paralelos que se estende desde a superfície até a região central. De acordo com Fredriksson (1972), esta característica é bem comum na solidificação deste tipo aço, pois indica a extensão dos cristais de austenita na amostra e que a ferrita presente foi transformada no estado sólido em austenita. Neste caso, pode ser notado que a zona colunar também se estende a partir das bordas mais estreitas. Isto ocorre devido ao molde de areia utilizado possuir a mesma espessura em todas as paredes o que promove uma mesma taxa de extração de calor, gerando uma concorrência no crescimento dos grãos colunares.

Já a macroestrutura de solidificação de uma placa fina de aço inoxidável obtida em molde de refrigerado com as mesmas dimensões da placa anterior é apresentada na Fig.(8). Uma característica presente nesta placa, além da melhor unidirecionalidade dos grãos colunares em decorrência do aumento na taxa de extração de calor, é a formação de uma linha central definida devido ao crescimento dos grãos colunares de maneira mais intensa a partir das bordas mais largas até o seu centro.

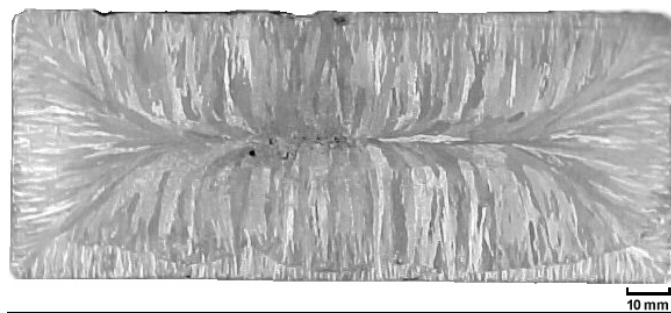


Figura 7. Macroestrutura de solidificação transversal de uma placa de aço inoxidável, obtida em molde de areia.

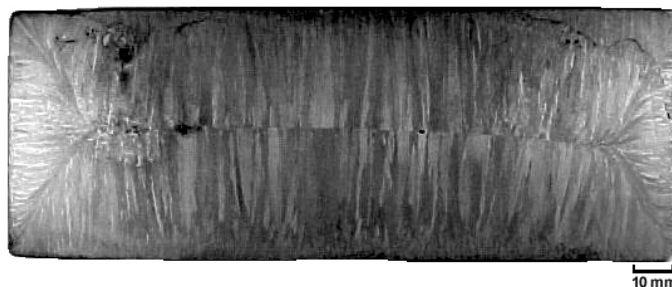


Figura 8. Macroestrutura de solidificação transversal de uma placa de aço inoxidável, obtida em molde refrigerado.

3.3. Microestruturas de Solidificação

Serão apresentadas agora as microestruturas de solidificação das placas de aço inoxidável, nas diversas condições de solidificação em que foram obtidas. Assim como no estudo macroestrutural feito anteriormente, esta análise tem como objetivo verificar o comportamento dessas microestruturas em função das condições de solidificação. Esta análise é quantificada através das medições das variações dos espaçamentos dendríticos primários e secundários.

A Fig.(9) apresenta as microestruturas de solidificação em diferentes posições de uma placa de aço inoxidável obtida em molde de areia. Como se observa na Fig.9(a), percebe-se que há nesta região a presença de filmes finos de ferrita (linhas escuras) em matriz austenítica, que são denominadas de ferrita vermicular. Isto está de acordo com o modo de solidificação, já que existe a presença de precipitados de ferrita durante a solidificação, principalmente em condições em que se tem baixa taxa de extração de calor (Fredriksson, 1972). Além disso, as dendritas de austenita formadas não possuem uma direção de crescimento preferencial como apresentado também na Fig.(9b), onde se tornam bem mais arredondadas. Na microestrutura da região central desta placa (Fig. 9(c)), nota-se que, além da presença de estruturas arredondadas com pouca ferrita, semelhante ao da região anterior, há a presença de cristais equiaxiais que podem ter surgido a partir do crescimento da zona colunar ou da nucleação na superfície livre do líquido.

A placa obtida em molde refrigerado (Fig.10), apresenta microestruturas de solidificação com características um tanto diferentes. Inicialmente, de acordo com a Fig. 10(a), as estruturas dendríticas apresentam-se com dimensões menores apesar de igualmente não se ter uma direção preferencial de crescimento. Esta condição mantém-se até próximo ao centro da placa (Fig.10(b) e (c)) não apresentando porém um arredondamento dos cristais. De acordo com Suutala (1983), as microestruturas apresentadas indicam que o modo de solidificação é também ferrítico-austenítico, ou seja, iniciando o processo de solidificação com precipitação da ferrita e posterior transformação em austenita. Este modo de solidificação mantém-se até bem próximo ao centro da placa onde, de maneira análoga à microestrutura da região central observada na placa obtida em molde de areia, têm-se dois modos de solidificação.

Um detalhe característico foi observado na placa de aço inoxidável somente refrigerada. Houve um aumento da quantidade de ferrita durante o processo de solidificação. Esta situação era esperada já que, de acordo com Fredriksson (1972), o aumento na taxa de extração de calor favorece a formação deste precipitado.

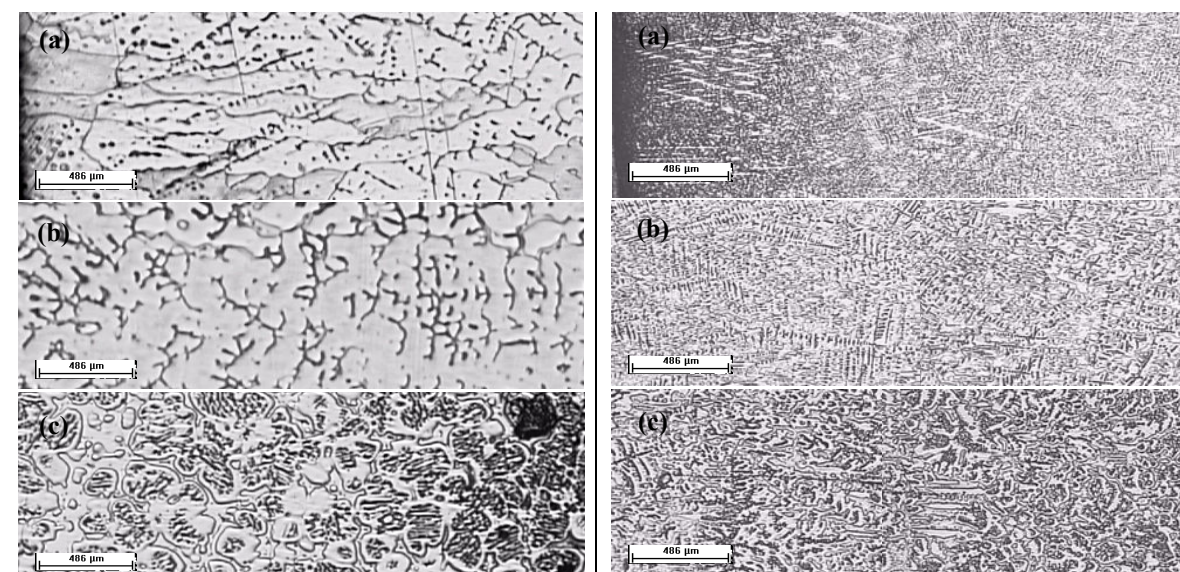


Figura 9. Microestruturas da seção transversal de uma placa de aço inoxidável obtida em molde de areia nas seguintes posições em relação à interface metal/molde: (a) até 3 mm, (b) entre 12 e 15 mm e (c) entre 28 e 31 mm. Aumento de 25 X.

Figura 10. Microestruturas da seção transversal de uma placa de aço inoxidável obtida em molde refrigerado nas seguintes posições em relação à interface metal/molde: (a) até 3 mm, (b) entre 11 e 14 mm e (c) entre 26 e 29 mm. Aumento de 25 X

Observando a Fig. 11, verifica-se o comportamento do espaçamento dendrítico secundário para as placas de aço inoxidável em diferentes condições de solidificação. No primeiro caso para a placa de aço inoxidável obtida em molde de areia (Fig.11(a)) de maneira geral os valores do espaçamento foram altos em decorrência da velocidade de solidificação ser bem lenta. É evidente a microestrutura mais grosseira no caso dos moldes de areia (conforme Fig. 9), originando espaçamentos dendríticos bem maiores quando comparado com a microestrutura dos vazamentos em moldes de aço. Quando a placa foi obtida em molde refrigerado (Fig.11 (b)), nota-se claramente uma redução acentuada desses valores. Próximo a interface metal/molde o valor fica em torno de 15 µm, alcançando valor máximo, em torno de 40 µm, em aproximadamente 20 mm da mesma.

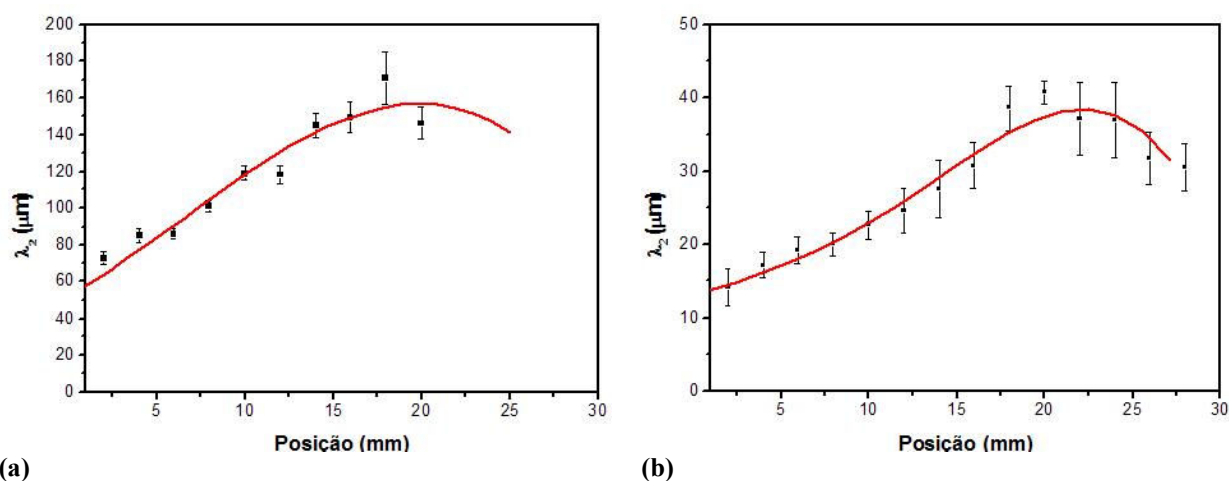


Figura 11. Espaçamentos dendríticos secundários em relação à distância da interface metal/molde das placas de aço inoxidável obtidas: (a) em molde de areia, (b) em molde refrigerado.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitiram analisar a influência do material do molde nos parâmetros estruturais durante a solidificação do aço inoxidável austenítico AISI 304.

As placas solidificadas em moldes de areia comparadas com as placas solidificadas em molde de aço permitiram analisar a magnitude da influência do material do molde nos parâmetros de solidificação.

As placas de aço refrigeradas apresentaram grãos colunares unidirecionais e paralelos a direção do fluxo de calor, além da inexistência de grãos equiaxiais centrais, possibilitando a formação de uma linha central bem definida em comparação as obtidas em moldes de areia.

As microestruturas apresentadas nas placas obtidas em moldes de areia e refrigeradas indicam que o modo de solidificação em ambos os casos foi ferrítico-austenítico, no entanto nas placas de aço inoxidável somente refrigerada, constatou-se um aumento da quantidade de ferrita durante o processo de solidificação.

O espaçamento dendrítico secundário é influenciado pelo material do molde, mostrando que para moldes de aço o espaçamento dendrítico secundário é bem menor quando comparado com moldes de areia.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES, a FAPEMA e ao CNPq pelo apoio financeiro.

6. REFERÊNCIAS

- Brimacombe, J. K.; Samasekera, I. V. e Bommaraju, R., 1986, "Optimum Design and Operation of Moulds for the Continuous Casting of Steel Billets". Fifth International Iron and Steel Congress, Steelmaking Proceedings, Washington, D.C., v. 69, p. 409-423.
- Boettinger, W. J; Coriell, J.R; Greer, A.L.; Karma, A.; Kurz, W.; Rappaz, M. e Trivedi, R., 2000, "Solidification Microstructures: Recent Developments, Future Directions", *Acta Materialia*, v.48, pp.44-70.
- Davis, J. R., 1991, "Properties and selection: irons, steels, and high-performance alloys". *Metals Handbook*. v. 1, 10^a ed, p. 908, pp.303-306.
- Finardi, J., 1993, "Refino e desoxidação de aço destinado a peças fundidas". *Anais do Congresso Nacional de Fundição - CONAF 93*, pp. 249-259.
- Fredriksson, H., 1972, "The solidification sequence in an 18-8 stainless steel, investigated by directional solidification. *Metallurgical transactions*", v. 3, (12), pp.2989-2997.
- Gandin, Ch-A., 2001, "Stochastic Modeling of Dendritic Grain Structures". *Advanced Engineering Materials*, n.º. 3.
- Garcia, A., 2001, "Solidificação: fundamentos e aplicações". Editora da Unicamp, Campinas, SP.
- Gündüz, M.; Çadirli, E. 2002, Directional solidification of aluminium-copper alloys. *Materials Science & Engineering A*, v. 327, pp. 167-185.
- Kurz, W.; Bezençon, C. e Sharma, D. G. R., 2001, "Colunar to Equiaxed Transition in Solidification", *Processing Science and Technology of Advanced Materials*, v.2, pp.185-191.
- Okamoto, T., Kishitake, K., 1975, "Dendritic Structure in Unidirectionally Solidified Aluminum", Tin, and Zinc Base Binary Alloys. *Journal of Crystal Growth*, v.29, p. 137-146.
- Padilha, A. F.; Guedes, L. C., 1994, "Aços inoxidáveis austeníticos: microestrutural e propriedades". São Paulo, Hemus, 170 p.
- Peralta, J. L., 2003, "Análise do efeito da deformação na formação da microestrutura e na rejeição de soluto durante a solidificação de placas finas", Tese de Doutorado, DEMA/FEM/UNICAMP.

- Santos, C. A., et al. 2004, Metal-Mold Heat transfer during horizontal and vertical unsteady-state solidification of Al-Cu and Sn-Pb alloys. Inverse problems in science and engineering V.12, No. 3, pp. 279-296
- Santos, R. G., 2006, "Transformações de Fases em Materiais Metálicos". Campinas, SP: Editora da Unicamp, p. 429.
- Stefanescu, D. M., 2005, "Solidification and modeling of cast iron - A short history of the defining moments". Materials Science and Engineering A, v. 413-414, pp. 322-333.
- Suutala, N., 1983, "Effect of solidification conditions on the solidification mode in austenitic stainless steels". Metallurgical Transactions A, v. 14, (2), pp. 191-197.
- Turchin, A. N.; Zuijderwijk, M.; Pool, J.; Eskin, D. G. e Kattgerman, L., 2007, "Feathery Grain Growth During Solidification Under Forced Flow Conditions". Acta Materialia Inc, pp. 1-7, doi:10.1016/j.actamat.2007.02.030.
- Vander Voort, G. F. The metallography of stainless steels. JOM, (3), pp. 6-11, 1989.
- Xin, L. et al., 2002, "Morphological Evolution Model for Unidirectional Solidification of Multicomponent Alloys", Science in China (Technological Sciences), vol.45 No.2 pp.146-151.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF MOLD MATERIAL IN THE FORMATION OF MICROSTRUCTURE OF AISI 304 AUSTENITIC STAINLESS STEEL

Jean Robert Pereira Rodrigues, jrobert@ifma.edu.br¹

João Lobo Peralta, jlperalta@ifpa.edu.br²

Mirian de Lourdes Noronha Motta Melo, mirianmottamelo@unifei.edu.br³

Rezende Gomes dos Santos, rezende@fem.unicamp.br⁴

Carmem Célia Francisco do Nascimento, carmemfn@ifma.edu.br⁵

André Pereira Santana, andre@ifma.edu.com.br⁶

^{1, 5, e 6}Departamento de Mecânica e Materiais – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão – IFMA, Av. Getúlio Vargas, nº 4 - Campus Monte Castelo, CEP: 65.030-005, São Luis/MA.

² Departamento de Mecânica e Materiais – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará – IFPA, Av. Almirante Barroso, nº 1155 - Marco, CEP: 66.010- 840, Belém/PA.

³ Instituto de Engenharia Mecânica – IEM, Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, Av. BPS, 1303, Pinheirinho, CEP: 37.500-903, Itajubá/MG.

⁴ Faculdade de Engenharia Mecânica - UNICAMP, Rua Mendeleiev, s/n - Cidade Universitária "Zeferino Vaz" Barão Geraldo, 13.083 – 970 – CP. 6122 - Campinas – SP.

Abstract: In industrial casting operations, the possibility of implantation of a diversity of operational conditions has as consequence the generation of a wide range of solidification structures, affecting the mechanical properties and the quality of the final product. It is developed in the present work, applying a sequence of experiments, an analysis of the influence of mold material on the structural parameters during the solidification of AISI 304 austenitic stainless steel. For so slabs of stainless steel were solidified in sand and steel molds. Initially the temperature variation in the metal and in the mold they were measured during the solidification using a data acquisition system, where starting from then were obtained the cooling curves. From metallographic analysis of the influences of mold material on macrostructure and microstructure were determined during the solidification process.

Keywords: Stainless steel, Structural parameters; Sand mold; Steel mold, Solidification and Cooling curves.