

Sumário

Capítulo 1. Introdução

1.1	Histórico.....	1
1.2	Síntese do processo.....	6
1.3	Inovações e tendências.....	8
	Referências.....	12

Capítulo 2. Equipamentos e Componentes

2.1	Tipos de equipamentos.....	15
2.2	Distribuidor (<i>Tundish</i>).....	20
	Fluxo do distribuidor para o molde.....	25
2.3	Molde ou resfriamento primário.....	29
2.3.1	Nível de metal líquido.....	29
2.3.2	Características do molde.....	31
	Composição.....	31
	Espessura da parede.....	34
	Tipos de suportes.....	36
	Conicidade.....	36
2.3.3	Parâmetros de resfriamento do molde.....	40
	Jaqueta.....	40
	Qualidade da água/depósitos de filmes na superfície do canal.....	41
	Velocidade e pressão da água.....	42
2.3.4	Condições de oscilação.....	46
	Frequência de oscilação (f).....	47
	Tempo de estripagem negativa (t_p).....	47
2.3.5	Condições de lubrificação.....	51
	Lubrificação por óleo.....	51
	Lubrificação por pó fluxante.....	54
2.4	Região de <i>sprays</i> ou resfriamento secundário.....	60
2.4.1	Suporte abaixo do molde.....	62
2.4.2	Roletes.....	64
2.4.3	<i>Sprays</i>	66
	Pulverização com água.....	68
	Pulverização com água e ar.....	70
2.5	Região de radiação livre ou resfriamento terciário.....	71
	Referências.....	72

Capítulo 3. Transferência de Calor no Lingotamento Contínuo

3.1	Considerações iniciais	77
3.2	Molde.....	79
	Porcentagem de carbono no aço.....	84
	Marcas na superfície do lingote devido ao movimento de oscilação do molde.....	86
	Velocidade de lingotamento.....	86
	Efeito da distorção do molde	86
	Rugosidade da superfície interna do molde.....	87
3.3	Região secundária de resfriamento.....	94
3.4	Resfriamento por radiação e convecção livres.....	102
	Referências.....	105

Capítulo 4. Modelagem Matemática da Solidificação

4.1	Considerações gerais.....	109
4.2	Modelagem analítica.....	110
	4.2.1 Cinética de solidificação.....	115
	4.2.2 Perfis de temperatura	117
	4.2.2.1 Metal sólido.....	117
	4.2.2.2 Zona pastosa	117
	4.2.2.3 Metal líquido.....	118
	4.2.3 Determinação das constantes ϕ_1 e ϕ_2	119
	4.2.4 Determinação das Camadas Virtuais S_0 e L_0	121
	4.2.5 A inserção de coeficientes de transferência de calor variáveis na solução analítica.....	124
	4.2.6 Exemplos de aplicação da solução analítica.....	126
4.3	Modelagem numérica.....	139
	4.3.1 A equação geral da condução de calor.....	139
	4.3.2 Determinação da fração sólida.....	143
	4.3.3 Condutividade térmica, calor específico e densidade	145
	4.3.4 O Método das Diferenças Finitas (M. D. F.).....	146
	4.3.4.1 Formação da malha do M.D.F.....	146
	4.3.4.2 A Expansão de Taylor para o método de diferenças finitas.....	147
	4.3.4.3 O modo explícito do M.D.F.....	151
	4.3.4.4 O modo implícito do M.D.F.....	152
	4.3.4.5 Comparação entre o modo implícito e o modo explícito.....	152
	4.3.4.6 Formulação do modelo numérico para solidificação bidimensional no lingotamento contínuo.....	153
	Referências	161

Capítulo 5. Qualidade no Processo de Lingotamento Contínuo

5.1	Considerações iniciais.....	163
5.2	Efeito de fatores de composição do aço na formação de trincas	165
5.2.1	Concentração de carbono.....	165
5.2.2	Efeito de elementos de liga.....	166
5.3	Efeito de fatores operacionais nos defeitos superficiais.....	168
5.3.1	Resfriamento assimétrico do lingote na região do molde.....	168
5.3.2	Variação da dimensão do molde.....	168
5.3.3	Controle do nível de metal líquido no molde	170
5.3.4	Lubrificação do molde.....	172
5.3.5	Oscilação do molde.....	176
5.3.6	Resfriamento brando e resfriamento intenso na região de chuveiros para a produção de aços com grãos refinados	178
5.4	Efeito da temperatura de lingotamento nos defeitos internos	178
5.4.1	Nível de inclusões.....	178
5.4.2	Estrutura interna.....	180
5.5	Efeito do agitador eletromagnético na estrutura interna.....	185
5.6	Influência dos rolos nos defeitos internos.....	187
5.6.1	Segregação interdendrítica.....	187
5.6.2	Segregação central.....	189
5.7	Influência da região de chuveiros na formação de defeitos internos.....	190
5.8	Sumário dos defeitos encontrados no processo de lingotamento contínuo	192
	Referências.....	196

Capítulo 6. Controle do Processo

6.1	Considerações gerais.....	201
6.2	Controle dos principais componentes e etapas do processo	202
6.2.1	Nível de metal líquido no molde	202
6.2.2	Resfriamento primário e secundário	204
6.3	Estratégias de controle e modelos matemáticos.....	208
6.3.1	Crítérios metalúrgicos.....	209
6.3.2	Restrições do equipamento	211
6.4	Técnicas de controle inteligente do lingotamento contínuo.....	212
6.4.1	Algoritmos genéticos.....	212
6.4.2	Lógica <i>Fuzzy</i>	216
6.4.3	Redes neurais	216
6.4.4	Resultados da aplicação de um software ao processo	220
6.5	Wingote 1.3.....	227
	Referências.....	235

Capítulo 7. Novas Tendências do Lingotamento Contínuo

7.1	Processos <i>Near Net Shape</i>	239
7.2	Lingotamento contínuo de tiras (LCT).....	240
7.3	Processo <i>Twin-Roll</i>	242
7.3.1	Descrição do processo.....	244
7.3.1.1	Alimentação do metal líquido.....	245
7.3.1.2	Placas de contenção lateral.....	249
7.3.1.3	Sistema de rolos (molde).....	252
7.3.1.4	Região de solidificação e formação da microestrutura.....	253
7.3.1.5	Interface rolo/metal.....	260
7.3.1.6	Sistema de controle.....	262
7.4	Modelagem integral do processo <i>Twin-Roll</i>	263
7.4.1	Modelagem do fluxo de material na poça líquida.....	264
7.4.2	Modelagem da transferência de calor.....	269
7.4.3	Validação e simulações do modelo de transferência de calor.....	273
7.5	Lingotamento contínuo de placas finas.....	280
	Referências.....	286
	Apêndice A.....	289
	Apêndice B.....	295