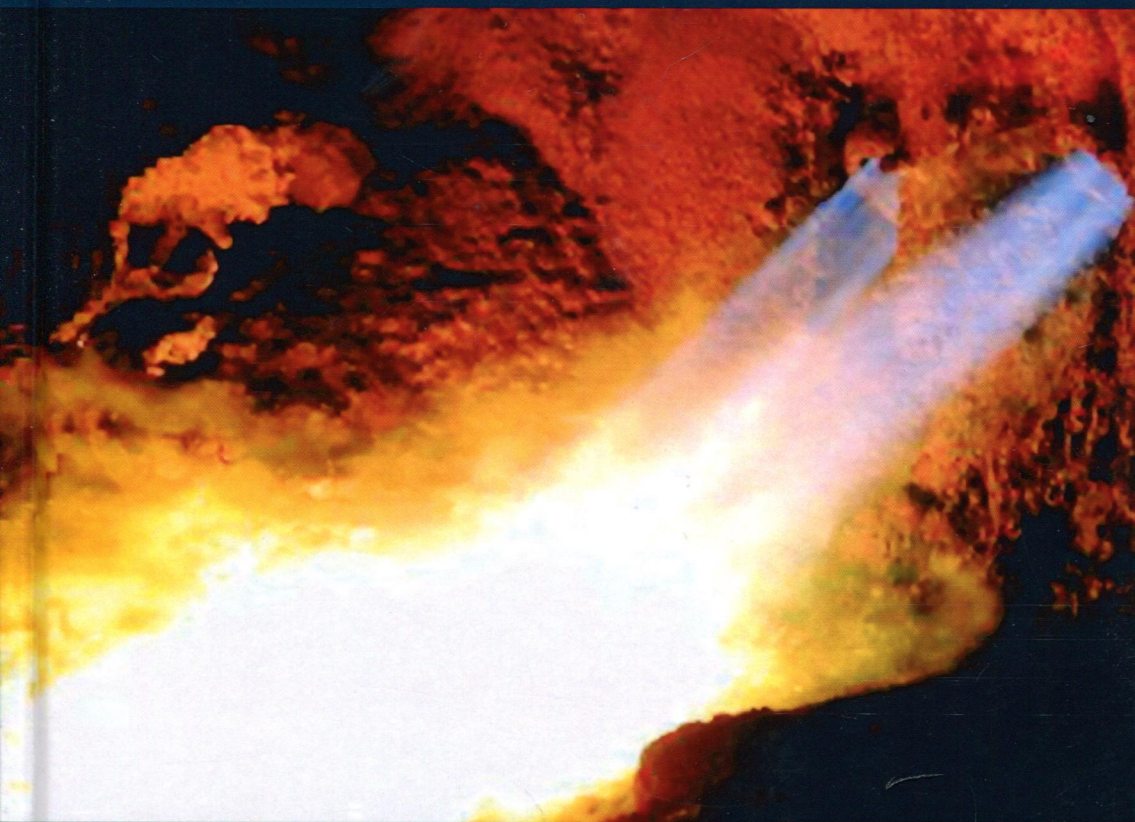


В. А. Бигеев, А. М. Столяров, А. Х. Валиахметов

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОМ ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОМ ЦЕХЕ



**В. А. Бигеев, А. М. Столяров,
А. Х. Валиахметов**

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОМ ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОМ ЦЕХЕ

Учебное пособие

Допущено учебно-методическим объединением
по образованию в области металлургии
в качестве учебного пособия
для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлению подготовки «Металлургия»

Москва Вологда
«Инфра-Инженерия»
2020

УДК 669.187 (075)
ББК 34.314я7
Б59

Рецензенты:

*кафедра металлургии стали и ферросплавов
Национального исследовательского технологического университета
«МИСиС» (заведующий кафедрой
профессор, доктор технических наук,
член-корреспондент РАН К. В. Григорович);
заместитель начальника по сталеплавному производству
управления производством ПАО «Магнитогорский металлургический
комбинат» кандидат технических наук А. Б. Великий*

Бигеев, В. А.

Б59 Металлургические технологии в высокопроизводительном электросталеплавильном цехе : учебное пособие / В. А. Бигеев, А. М. Столяров, А. Х. Валиахметов – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2020. – 320 с. : ил., табл.
ISBN 978-5-9729-0493-8

Рассмотрены металлургические технологии, используемые в высокопроизводительном электросталеплавильном цехе, на примере ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» и металлургической компании «ММК-Metalurji». Представлено основное оборудование и показана технология выплавки полупродукта в мощных дуговых сталеплавильных печах переменного тока вместимостью 180 и 250 т, доводки металла на агрегатах ковшевой обработки: агрегате «ковш-печь» и вакуумных установках камерного и циркуляционного типа. Рассмотрены устройство и работа сухой газоочистки ДСП, уделено внимание способам повышения стойкости футеровки сталеразливочного ковша. Подробно рассмотрена непрерывная разливка стали с получением сортовой и слябовой заготовок, а также тонких слябов и толстого горячекатаного листа в составе литейно-прокатного комплекса.

Для студентов и аспирантов металлургических специальностей.

УДК 669.187 (075)
ББК 34.314я7

ISBN 978-5-9729-0493-8 © В. А. Бигеев, А. М. Столяров, А. Х. Валиахметов, 2020
© Издательство «Инфра-Инженерия», 2020
© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	8
----------------	---

Раздел 1

ОСНОВНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО ЭСПЦ

Глава 1.1. ДУГОВЫЕ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫЕ ПЕЧИ	9
1.1.1. Классификация дуговых сталеплавильных печей	9
1.1.2. Устройство дуговых печей	10
1.1.3. Состав и работа основного электрооборудования ДСП	25
Контрольные вопросы	31
Глава 1.2. АГРЕГАТЫ КОВШЕВОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ	32
1.2.1. Сталеразливочный ковш	32
1.2.2. Агрегат «ковш-печь»	34
1.2.3. Вакууматор камерного типа	38
1.2.4. Вакууматор циркуляционного типа	42
Контрольные вопросы	44
Глава 1.3. МАШИНЫ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ЗАГОТОВОК	45
1.3.1. Сортовая МНЛЗ	46
1.3.2. Слябовая МНЛЗ	56
Контрольные вопросы	62
Глава 1.4. ЛИТЕЙНО-ПРОКАТНЫЙ МОДУЛЬ	63
1.4.1. Тонкослябовая МНЛЗ	63
1.4.2. Участок нагревательных печей	73
1.4.3. Листовой стан горячей прокатки	78
Контрольные вопросы	82
Глава 1.5. ВАРИАНТЫ КОМПОНОВКИ ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ЭСПЦ	83
Контрольные вопросы	88

Раздел 2

ТЕХНОЛОГИЯ ВЫПЛАВКИ СТАЛИ

Глава 2.1. ШИХТОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ	89
2.1.1. Металлические шихтовые материалы	89
2.1.2. Шлакообразующие материалы	95
2.1.3. Окислители	96
2.1.4. Науглероживатели	97
2.1.5. Раскисляющие и легирующие материалы	97
Контрольные вопросы	98
Глава 2.2. ОСНОВНЫЕ РЕАКЦИИ В ВАННЕ ДСП	99
2.2.1. Поведение железа	99
2.2.2. Окисление углерода	100
2.2.3. Окисление кремния	101
2.2.4. Окисление марганца	102
2.2.5. Дефосфорация металла	103
2.2.6. Десульфурация металла	105
Контрольные вопросы	108
Глава 2.3. ШЛАКОВЫЙ РЕЖИМ ПЛАВКИ	109
2.3.1. Формирование шлака	109
2.3.2. Вспенивание шлака	114
Контрольные вопросы	119
Глава 2.4. РАСКИСЛЕНИЕ И ЛЕГИРОВАНИЕ СТАЛИ, ОБРАБОТКА МЕТАЛЛА ТВЕРДОЙ ШЛАКООБРАЗУЮЩЕЙ СМЕСЬЮ, ПРОДУВКА ИНЕРТНЫМ ГАЗОМ	120
2.4.1. Основные задачи раскисления и легирования стали	120
2.4.2. Основные элементы-раскислители	122
2.4.3. Технология раскисления и легирования стали в ковше	127
2.4.4. Основные задачи и некоторые аспекты обработки металла твердой шлакообразующей смесью	128
2.4.5. Основные задачи продувки металла инертным газом в ковше	129
2.4.6. Способы продувки металла в ковше инертным газом	129
Контрольные вопросы	130

Глава 2.5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ЦИКЛ ПЛАВКИ В ДСП, ОСОБЕННОСТИ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА	131
2.5.1. Плавка скрап-процессом	131
2.5.2. Плавка с использованием в шихте жидкого чугуна	142
2.5.3. Плавка с применением металлизированного сырья.....	151
Контрольные вопросы	153
Глава 2.6. ОЧИСТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ГАЗОВ ДСП	154
Контрольные вопросы	160

Раздел 3

ТЕХНОЛОГИЯ КОВШЕВОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ

Глава 3.1. ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ СТАЛИ НА АГРЕГАТЕ «КОВШ-ПЕЧЬ»	161
3.1.1. Особенности десульфурации металла на агрегате «ковш-печь»	161
3.1.2. Основные технологические операции.....	163
3.1.3. Режимы продувки металла аргоном	171
3.1.4. Обработка металла порошковой проволокой с разными наполнителями	172
3.1.5. Современное оборудование для экспресс-контроля металла	174
Контрольные вопросы	178
Глава 3.2. ТЕХНОЛОГИЯ ВАКУУМИРОВАНИЯ СТАЛИ	179
3.2.1. Основные закономерности растворения водорода и азота в стали.....	179
3.2.2. Вакуумное обезуглероживание и раскисление металла.....	182
3.2.3. Особенности технологии вакуумной обработки в агрегате камерного типа.....	183
3.2.4. Особенности технологии вакуумирования в агрегате циркуляционного типа	187
Контрольные вопросы	190

Глава 3.3. ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ ФУТЕРОВКИ СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ	192
Контрольные вопросы	200

Раздел 4

ТЕХНОЛОГИЯ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ СТАЛИ И КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ

Глава 4.1. ПРОЦЕССЫ, ПРОТЕКАЮЩИЕ В РАЗЛИТОЙ СТАЛИ	202
4.1.1. Затвердевание непрерывнолитой заготовки	202
4.1.2. Кристаллическая структура непрерывнолитой заготовки	206
4.1.3. Усадочные явления при кристаллизации стали	209
4.1.4. Ликвация примесей и перераспределение неметаллических включений	209
Контрольные вопросы	211
Глава 4.2. ПОДГОТОВКА МНЛЗ К РАЗЛИВКЕ СТАЛИ	213
4.2.1. Подготовка и проверка кристаллизатора	213
4.2.2. Подготовка зоны вторичного охлаждения	214
4.2.3. Подготовка и ввод затравки	214
4.2.4. Подготовка промежуточного ковша и погружных стаканов	223
4.2.5. Операции перед приемом жидкого металла	224
4.2.6. Операции после приема жидкого металла	225
Контрольные вопросы	227
Глава 4.3. ТЕХНОЛОГИЯ РАЗЛИВКИ СТАЛИ	228
4.3.1. Технология разлива стали открытой струей	228
4.3.2. Технология разлива стали закрытой струей	238
4.3.3. Особенности технологии разлива стали методом «плавка на плавку»	251
4.3.4. Технология отливки тонких слябов, их нагрева и прокатки	251
Контрольные вопросы	264
Глава 4.4. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ ЗАГОТОВОК	266
4.4.1. Дефекты формы непрерывнолитых заготовок	266
4.4.2. Поверхностные дефекты заготовок	271

4.4.3. Внутренние дефекты заготовок	290
Контрольные вопросы	310
Глава 4.5. ГОТОВАЯ ПРОДУКЦИЯ ЛИТЕЙНО- ПРОКАТНОГО КОМПЛЕКСА.....	311
Контрольные вопросы	316
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	317
РЕКОМЕНДУЕМЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	318