

МЕТАЛЛУРГИЯ СТАЛИ



МЕТАЛЛУРГИЯ СТАЛИ

Под редакцией В. И. ЯВОЙСКОГО и Г. Н. ОЙКСА

Допущено Министерством высшего и среднего специального образования СССР в качестве учебника для студентов вузов, обучающихся по специальности «Металлургия черных металлов»



МОСКВА «МЕТАЛЛУРГИЯ» 1973

УДК 660.18(075.8)

**В. И. ЯВОЙСКИЙ, С. Л. ЛЕВИН, В. И. БАПТИЗМАНСКИЙ,
П. В. УМРИХИН, М. Я. МЕДЖИБОЖСКИЙ, Д. Я. ПОВОЛОЦКИЙ,
Г. Н. ОЙКС, М. А. ЧЕРНЕНКО, Е. В. АБРОСИМОВ**

УДК 660.18(075.8)

Металлургия стали. Явойский В. И., Левин С. Л., Баптизманский В. И., Умрихин П. В., Меджибожский М. Я., Поволоцкий Д. Я., Ойкс Г. Н., Черненко М. А., Абросимов Е. В. М., «Металлургия», 1973, с 816.

Содержит теоретические основы современных сталеплавильных процессов, общие сведения о гидродинамике жидкого металла, а также о современных и перспективных методах производства стали. Включает обстоятельные сведения о процессах кристаллизации стали, формировании качественного стального слитка и технологии разливки. Рассмотрены конструкции современных цехов, агрегатов и специализированного оборудования, организация работы в сталеплавильных цехах, техника безопасности и технико-экономические показатели сталеплавильного производства.

Предназначен для студентов металлургических и политехнических вузов, специализирующихся по производству стали.

Ил. 425. Табл. 120. Список лит.: 22 назв.

© Издательство «Металлургия». 1973.

М $\frac{3102-064}{040(01)-73}$ 30-73

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Краткие сведения из истории металлургии железа и стали	4
Развитие металлургии стали в России и Советском Союзе	5
Металлургия стали как наука	7

РАЗДЕЛ I

ОСНОВЫ ТЕОРИИ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

Глава 1. Общая физико-химическая характеристика сталеплавильных процессов	
1. Общая схема процессов выплавки стали	9
2. Взаимосвязь химических процессов рафинирования металла, гидродинамики жидкой ванны и ее теплового состояния	12

Глава 2. Основные понятия и законы физической химии, гидродинамики и теплопередачи, применяемые при изучении сталеплавильных процессов

1. Сводка основных сведений по химической термодинамике	16
Фазовое равновесие	16
Термодинамические функции состояния системы	16
Константа химического равновесия	19
Растворы	21
2. Некоторые положения химической кинетики	25
3. Поверхностные явления в процессах производства стали	28
4. Массо- и теплоперенос в расплавленной ванне сталеплавильного агрегата	33
Диффузия и передача тепла теплопроводностью	33
Перенос массы и тепла в движущейся жидкости	36

Глава 3. Строение и свойства расплавленного железа и его сплавов

1. Краткие сведения из теории жидкого состояния	39
2. Природа и свойства жидкого железа и его сплавов	41
Растворы марганца, никеля, хрома, кобальта и молибдена в жидком железе	42
Углерод и кремний	43
Раствор фосфора в железе	46
Системы FeO—O и Fe—S	47

Глава 4. Природа жидких шлаков

1. Химический и минералогический составы шлаков и основные диаграммы состояния шлаковых систем	52
2. Современные представления о строении и природе расплавленных металлургических шлаков	57
3. Химические свойства шлаков сталеплавильных процессов	62
4. Физические свойства шлаков сталеплавильных процессов	70
5. Шлакообразование	77

РАЗДЕЛ II

КОНВЕРТЕРНЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРОИЗВОДСТВА СТАЛИ

Глава 1. Бессемеровский процесс

1. История развития	81
2. Устройство конвертера	81
3. Сырые материалы	84
4. Окисление примесей в бессемеровской ванне	84
5. Тепловая роль элементов в бессемеровском процессе	88
6. Изменение состава металла и шлака по ходу продувки	90
7. Варианты бессемеровской плавки	93
8. Воздуходувный режим бессемеровской плавки	95

9. Раскисление стали	97
10. Свойства и применение бессемеровской стали	98
11. Передел легированных чугунов в бессемеровских конвертерах	99
12. Современная технология бессемеровского процесса	102
13. Техничко-экономические показатели бессемеровского процесса	103

Глава 2. Томасовский процесс

1. История развития	103
2. Устройство конвертера	104
3. Сырые материалы	105
4. Окисление примесей в томасовской ванне	106
5. Тепловая роль элементов в томасовском процессе	107
6. Изменение состава металла и шлака по ходу продувки	108
7. Удаление серы из металла	111
8. Раскисление стали	113
9. Свойства и применение томасовской стали	113
10. Пути совершенствования томасовского процесса	114
Продувка через дно воздухом, обогащенным кислородом	114
Продувка через дно смесями кислород—пар и кислород—двуокись углерода	116
11. Техничко-экономические показатели томасовского процесса	117

Глава 3. Боковая продувка в конвертерах

1. Малое бессемерование	118
2. Малое бессемерование на кислородном дутье	120
3. Применение боковой продувки в конвертерах с основной футеровкой	120

Глава 4. Кислородно-конвертерный процесс

1. Возникновение и развитие кислородно-конвертерного процесса	121
2. Дутьевой режим процесса, истечение кислорода	125
Теоретические основы для расчета фурм	128
Многоструйные фурмы	129
Аэродинамика кислородной струи	130
3. Особенности взаимодействия дутья с ванной при продувке сверху	132
4. Окислительные процессы при продувке кислородом	137
5. Особенности перемешивания и состояния ванны при продувке сверху	142
6. Сырые материалы для кислородно-конвертерной плавки	147
7. Шлакообразование	151
8. Термодинамика реакций в кислородном конвертере	155
9. Поведение отдельных элементов в кислородном конвертере	158
10. Тепловой режим плавки	166
11. Выбросы, вынос и потери металла с дымом (физические потери металла)	170
12. Материальный и тепловой балансы плавки	175
13. Свойства и применение кислородно-конвертерной стали	176
14. Контроль и управление кислородно-конвертерным процессом	178
15. Служба футеровки кислородного конвертера	182
16. Техничко-экономические показатели и перспективы применения процесса	186

Глава 5. Варианты кислородно-конвертерного процесса

1. Применение порошкообразных материалов	187
2. Передел высокофосфористых чугунов с применением кусковой извести	190
3. Кал-До процесс	192
4. Роторный процесс	196
5. Продувка ванадиевых чугунов	197
6. Продувка высокомарганцовистых чугунов	198
7. Продувка хромсодержащих чугунов	200

РАЗДЕЛ III

ПРОЦЕССЫ ВЫПЛАВКИ СТАЛИ НА ПОДИНЕ

Глава 1. Основные процессы

1. История развития мартеновского процесса	201
2. Принципиальная схема процесса	202
3. Схема мартеновской печи	204
4. Варианты мартеновского процесса	205

Глава 2. Основной мартеновский процесс (общие сведения)

1. Изготовление и служба подины основной мартеновской печи	206
Изготовление рабочего слоя подины печи	206
Служба подины основной мартеновской печи	209
2. Шихтовые материалы мартеновского процесса	210

Металлическая группа шихтовых материалов	211
Неметаллическая группа шихтовых материалов	212
3. Плавнение шихты и сопутствующие ему процессы	215
4. Образование шлака и пены	219
5. Процессы рафинирования основной мартеновской плавки	224
Реакция окисления углерода	224
Окисление и восстановление фосфора	231
Поведение марганца	235
Окисление кремния	237
Десульфурация	237

Глава 3. Скрап-процесс в основной мартеновской печи

1. Шихтовка	240
2. Периоды плавки	241
3. Особенности процесса рафинирования	243
4. Показатели скрап-процесса и сфера его применения	244

Глава 4. Скрап-рудный процесс

1. Шихтовые материалы	245
2. Внепечная обработка чугунов	253
3. Выплавка стали в мартеновской печи скрап-рудным процессом	258
Заправка печи	260
Завалка шихты	261
Прогрев стального лома	263
Заливка чугуна	265
Плавление	266
4. Источники кислорода для окисления примесей металла и роль окислительной способности печи	268
5. Изменение состава металла и шлака по ходу плавления	270
6. Признаки конца плавления. Требования к металлу и шлаку в этот момент	276
7. Доводка	277
Режим полировки (рудного кипения)	277
Режим полировки при повышенном содержании фосфора и серы по расплавлению	281
Поведение отдельных элементов металла в период полировки	281
Режим безрудного кипения	282
Содержание кислорода в металле по ходу безрудного кипения	284

Глава 5. Интенсификация скрап-рудного процесса

1. Применение кислорода для интенсификации горения топлива	287
2. Использование кислорода для продувки мартеновской ванны	291
3. Влияние продувки ванны кислородом на тепло- и массообменные процессы в ванне	294
4. Влияние охлаждения фурм водой на тепловой баланс ванны	301
5. Роль капель металла и шлака при продувке ванны кислородом	302
6. Влияние продувки кислородом на технологические показатели плавки	304
7. Пылевыведение при продувке кислородом	305
8. Качество готовой стали, выплавленной с продувкой ванны кислородом	308
9. Сравнение эффективности продувки ванны кислородом и применения кислорода в факе	310
10. Применение воздуха и кислородно-воздушных смесей для интенсификации скрап-рудного процесса	312
Вдувание сжатого воздуха непосредственно в факе	312
Продувка ванны сжатым воздухом	313
Качество стали при продувке ванны воздухом	316
Продувка ванны смесью кислорода и сжатого воздуха	318
Технико-экономические показатели современного скрап-рудного процесса	319

Глава 6. Кислый мартеновский процесс

1. Подина кислой мартеновской печи	320
2. Шихтовые материалы кислого мартеновского процесса	322
3. Кремневосстановительный процесс	324
4. Активный процесс	327
5. Качество стали	329

Глава 7. Новые процессы производства стали

1. Процесс Эджакс	331
2. Процесс в двухванной печи	333
3. Непрерывный сталеплавильный процесс	338
Принципиальные основы	338
Промышленное испытание непрерывного сталеплавильного процесса	342

Глава 8. Передел шихт необычного состава и комбинированные процессы

1. Передел высокофосфористых чугунов	345
2. Передел хромсодержащих шихт	352
Хромоокислительный процесс или дехромация	353
Хромовосстановительный процесс в основных мартеновских печах	355
Восстановление хрома при плавке в кислой мартеновской печи	356
3. Комбинированные процессы производства стали	357
Дуплекс-процесс конвертер — мартеновская печь при переделе ванадий-содержащих чугунов	357
Дуплекс-процесс конвертер — конвертер при переделе ванадийсодержащих чугунов	359
Дуплекс-процесс конвертер — мартеновская печь при переделе хромоникелевых чугунов	361
Дуплекс-процесс основная — кислая мартеновские печи	361

РАЗДЕЛ IV

РАСКИСЛЕНИЕ, НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ВКЛЮЧЕНИЯ И ГАЗЫ В СТАЛИ

Глава 1. Раскисление стали

1. Кислород в стали	362
2. Раскислительная способность отдельных элементов-раскислителей	363
3. Продукты раскисления, их свойства и влияние включений на свойства металла	369
4. Очищение металла от эндогенных неметаллических включений	372
5. Технология раскисления стали	377
Осаждающее раскисление	377
Диффузионное (экстракционное) раскисление	380
Раскисление вакуумом	383

Глава 2. Газы в стали

1. Общие сведения о термодинамике и кинетике взаимодействия расплавленных металлов с азотом и водородом	387
2. Железо, его сплавы и водород	390
3. Поведение водорода в расплавленной стальной ванне в процессе выплавки	393
4. Водородопроницаемость шлаков сталеплавильных процессов	398
5. Методы борьбы с водородом в стали	400
6. Железо, его сплавы и азот	402
7. Поведение азота в процессе выплавки стали	406

Глава 3. Выплавка качественной и высококачественной стали

1. Выбор емкости печи	409
2. Легирование стали	410
3. Особенности выплавки легированной стали	414
Конструкционная сталь, легированная кремнием и марганцем	416
Высокомарганцовистая сталь	418
Сталь с титаном	419
Сталь с бором	421
Автоматная сталь	421
Низколегированная сталь	422
4. Выплавка качественной кипящей стали и технически чистого железа	423
Кипящая сталь	423
Технически чистое железо	425

РАЗДЕЛ V

РАЗЛИВКА, КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ СТАЛИ И СТРОЕНИЕ СТАЛЬНОГО СЛИТКА

Глава 1. Кристаллизация металла

1. Структура жидкого металла вблизи температур затвердевания	427
2. Кристаллизация металла	429
3. Кристаллизация слитка стали	434
4. Факторы, влияющие на развитие кристаллической неоднородности слитка	439
Влияние толщины стенок изложницы	439
Влияние температуры жидкой стали	440
Влияние температуры стенок изложницы	440
Влияние скорости разливки и движения металла в изложнице	441
Влияние стимуляторов вибрации и ультразвуковых колебаний	442
Влияние теплопроводности материала изложницы	443
Влияние химического состава стали	443
Влияние газов	444
Влияние массы слитка	444

Глава 2. Строение слитка спокойной стали	
1. Кристаллизация слитка спокойной стали	444
2. Формирование усадочной раковины и рыхлости в слитке	445
Влияние формы изложницы	446
Влияние температуры и скорости разливки стали	447
Влияние способа разливки	448
3. Способы уменьшения усадочной раковины и рыхлости в слитке	449
Механические способы прессования слитков во время затвердевания	449
4. Другие дефекты физического строения слитка	452

Глава 3. Строение слитков кипящей и полуспокойной стали	
1. Кристаллизация слитка кипящей стали	456
2. Кристаллическая неоднородность слитка кипящей стали. Механизм образования и роста пузырей	458
3. Факторы, влияющие на строение слитка кипящей стали	460
4. Строение слитка полуспокойной и закупоренной стали	465

Глава 4. Непрерывная разливка стали	
1. Технология непрерывной разливки стали	469
2. Условия затвердевания слитка спокойной стали при непрерывной разливке. Кристаллическая и химическая неоднородность	477
3. Условия затвердевания слитка кипящей стали при непрерывной разливке. Кристаллическая и химическая неоднородность	478
4. Кристаллическая структура слитка кипящей стали	479
5. Химическая неоднородность непрерывного слитка	480
6. Пороки слитка непрерывной разливки	481

Глава 5. Сегрегация элементов в слитке стали	
1. Явление сегрегации в слитке стали	482
2. Химическая неоднородность слитка спокойной стали	486
3. Факторы, влияющие на развитие химической неоднородности слитка спокойной стали	489
4. Химическая неоднородность слитка кипящей стали	491
5. Факторы, влияющие на развитие химической неоднородности слитка кипящей стали	496
6. Химическая неоднородность слитка полуспокойной стали	502

Глава 6. Газы в стальном слитке	
1. Выделение газов из кристаллизующейся стали. Образование газовых пузырей	503
2. Образование газовых пузырей	508
3. Распределение содержания газов в стали	511
4. Влияние газов на свойства стали	512

Глава 7. Вакуумирование жидкой стали	
1. Общие основы процесса	514
2. Способы вакуумирования жидкой стали и достигаемые результаты	515

Глава 8. Неметаллические включения в слитке стали	
1. Происхождение и классификация неметаллических включений	521
2. Условия образования и удаления неметаллических включений из стали	522
3. Основные виды включений в стали	524
4. Распределение неметаллических включений в слитке	529

Глава 9. Контроль качества слитка и оценка свойств стали

Глава 10. Технология разливки стали и применяемое оборудование

1. Выпускной желоб	538
2. Сталеразливочный ковш	540
3. Изменение состава металла и шлака в ковше	541
4. Подготовка оборудования для разливки стали сверху	542
5. Подготовка оборудования для разливки стали сифонным способом	544
6. Изложницы	546
Основные принципы конструирования изложниц	550

Глава 11. Практика разливки стали

1. Разливка спокойной стали сверху	552
2. Разливка спокойной стали сифонным способом	552

3. Разливка кипящей стали	554
4. Разливка полуспокойной и закупориваемой стали	556
5. Сравнение экономичности разливки стали сверху и сифонным способом	558
6. Дистанционное управление разливкой стали	559

**Глава 12. Температура и скорость разливки стали.
Скорость затвердевания стали в изложнице**

1. Температура и скорость разливки стали	560
2. Способы контроля температуры стали	562
3. Скорость затвердевания стали в изложнице	564

РАЗДЕЛ VI

КОНСТРУКЦИИ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

Глава 1. Конструкции мартеновских печей

1. Садка печей и масса плавки	565
2. Производительность мартеновской печи	567
3. Топливо	569
4. Общее расположение печи	571
5. Рабочее пространство	577
6. Кладка подины	579
7. Передняя и задняя стенки	580
8. Свод	582
9. Головки мартеновской печи	585
Трехканальные головки	586
Одноканальные и двухканальные головки	588
10. Форсунки, горелки и кислородные фурмы	590
Форсунки	590
Комбинированные газо-мазутные горелки	592
Топливо-кислородные горелки	594
Кислородные фурмы	596
11. Металлический каркас и арматура рабочего пространства	598
12. Охлаждение рабочего пространства и головок	602
13. Устройство желобов для выпуска стали и шлака из печи	606
14. Нижнее строение печи	609
Шлаковики	610
Регенераторы	613
Борова	620
Удаление пыли и шлака из насадок и боронов	621
Устройства для защиты регенераторов и боронов от грунтовых вод	622
Перекидные устройства	624
15. Кислые мартеновские печи	630
16. Качающиеся мартеновские печи	630
17. Блочные конструкции мартеновских печей	633
18. Двухванные сталеплавильные печи	634

Глава 2. Конструкция конвертеров

1. Кислородные конвертеры	636
2. Основные параметры конвертеров с подачей кислорода сверху	636
3. Форма конвертеров	637
4. Привод поворота конвертера	640
5. Футеровка конвертера	642
6. Кислородные фурмы	644

Глава 3. Энергетика сталеплавильных агрегатов

1. Конвертеры	650
2. Мартеновские печи	651

Глава 4. Использование тепла и очистка отходящих газов

1. Отвод и очистка газов кислородных конвертеров	655
2. Отвод и очистка газов мартеновских печей	657

Глава 5. Организация ремонтов конвертеров и мартеновских печей

1. Периодичность ремонтов агрегатов и влияние этого фактора на экономику сталеплавильного производства	658
2. Классификация ремонтов	659
3. Система организации ремонтов	659

Глава 6. Автоматизация сталеплавильного производства

1. Современный уровень механизации сталеплавильного производства и возможности его автоматизации	664
2. Автоматизация управления работой сталеплавильного цеха	666
3. Автоматическое управление кислородно-конвертерным процессом	668
4. Контроль и автоматическое регулирование мартеновского процесса	673

РАЗДЕЛ VII

ОБЩИЕ ОСНОВЫ УСТРОЙСТВА СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ЦЕХОВ

Глава 1. Особенности расположения сталеплавильного цеха на металлургическом заводе

1. Основные особенности генерального плана современного завода и место расположения сталеплавильного цеха	678
2. Производительность сталеплавильного цеха	679

Глава 2. Устройство сталеплавильного цеха

1. Соотношение сталеплавильных переделов в черной металлургии	682
2. Характеристики процессов выплавки стали и их влияние на устройство сталеплавильного цеха	682
3. Объемно-планировочные решения сталеплавильных цехов	684

Глава 3. Устройство конвертерных цехов с классической системой организации производства

1. Состав конвертерного цеха при разливке стали в изложницы и на УНРС	694
2. Подача жидкого чугуна в конвертер	696
3. Способы подачи скрапа к конвертерам	697
4. Приготовление, хранение и подача сыпучих материалов	699

Глава 4. Различные решения компоновки конвертерных цехов

1. Конвертерные цехи за рубежом	705
2. Цехи с односторонней и двухсторонней загрузкой конвертеров	706
3. Цехи с линейным и блочным расположением конвертеров и вариант планировки с заливкой чугуна со специальных тележек	708

Глава 5. Устройство главного здания конвертерного цеха при разливке стали в изложницы

1. Конструктивные особенности устройства главного здания цеха и организация работы в нем	712
2. Организация работы в главном здании цеха	720
3. Строительные показатели и сметная стоимость	721

Глава 6. Устройство главного здания конвертерного цеха при разливке стали на УНРС

Глава 7. Главное здание мартеновского цеха

1. Мартеновские цехи для скрап-рудного процесса	729
2. Оборудование главного здания мартеновского цеха	742
3. Мартеновские цехи с блочным расположением печей и рельсовой системой подачи шихты	748
4. Мартеновские цехи с крановой подачей жидкого чугуна	748
5. Мартеновские цехи для переработки высокофосфористых чугунов скрап-рудным процессом в качающихся печах	749

Глава 8. Мартеновские цехи для скрап-процесса

1. Современный тип мартеновского цеха для производства слитков с крановой системой подачи шихты	751
2. Мартеновский цех для производства слитков с крановой системой подачи шихты при работе на жидком чугуне	753
3. Мартеновский цех для производства среднего, крупного литья и тяжелых слитков	755

Глава 9. Устройство вспомогательных отделений сталеплавильных цехов

1. Скрапное хозяйство металлургических заводов	756
2. Подготовка, хранение и подача жидкого чугуна в сталеплавильных цехах	759
Предварительная подготовка жидкого чугуна перед его использованием в конвертерных и мартеновских цехах	759

Применение ковшей миксерного типа	760
Неактивные миксеры-коллекторы	760
Устройство миксера	762
3. Устройство шихтовых дворов	765
Шихтовые дворы конвертерных цехов	765
Шихтовые дворы мартеновских цехов	765
Здание и оборудование шихтовых дворов	771
4. Отделение разведения слитков, устройство для охлаждения, чистки и смазки изложниц	774
5. Разливка спокойной стали сифонным способом	776
6. Отделение подготовки изложниц	781

РАЗДЕЛ VIII

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА, ЭКОНОМИКА И ОХРАНА ТРУДА В СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ЦЕХАХ

Глава 1. Научная организация производства
и ее роль в повышении эффективности работы сталеплавильных цехов

Глава 2. Экономика сталеплавильного производства

Глава 3. Охрана труда и техника безопасности в сталеплавильных цехах

Владимир Иванович ЯВОЙСКИЙ
Семен Лазаревич ЛЕВИН
Вадим Ипполитович БАПТИЗМАНСКИЙ
Петр Васильевич УМРИХИН
Мирон Яковлевич МЕДЖИБОЖСКИЙ
Давид Яковлевич ПОВОЛОЦКИЙ
Григорий Наумович ОЙКС
Михаил Авксентьевич ЧЕРНЕНКО
Евгений Васильевич АБРОСИМОВ

МЕТАЛЛУРГИЯ СТАЛИ

Редакторы издательства В. И. Голякова, Г. Л. Позднякова, Е. К. Полторацкая
Художественный редактор Д. В. Орлов
Технический редактор Г. Н. Каляпина
Переплет художника В. З. Казакевича
Корректоры В. Б. Левин, Е. В. Якиманская

Сдано в набор 6/Х 1972 г. Подписано в печать 22/II 1973 г. Т-03352 Формат 70x108^{1/16}.
Бумага типографская № 2. Усл. печ. л. 71,40. Уч.-изд. л. 74,60.
Тираж 10 000 экз. Заказ 641. Изд. № 2233. Цена 2 р. 94 к.

Издательство «Металлургия», Москва, 119034, 2-й Обыденский пер., 14
Владимирская типография Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств,
полиграфии и книжной торговли
Гор. Владимир, ул. Победы, д. 18-б.