

**Ю.Г. Ярошенко
Я.М. Гордон
И.Ю. Ходоровская**

**ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ
И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ
ТЕХНОЛОГИИ
ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ**

УДК 502.174.669.1(075.8)

ББК 20.18я73 + 34.32я73

Я77

Рецензенты:

кафедра «Промышленная теплоэнергетика» Южно-уральский государственный университет (НИУ), зав. кафедрой, засл. деят. науки РФ, проф., д-р техн. наук

Е.В. Торопов;

главный научный сотрудник Института металлургии УрО РАН, д-р техн. наук
А.Н. Дмитриев

Ярошенко Ю.Г.

Я77 ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ: учеб. пособие / Ю.Г. Ярошенко, Я.М. Гордон, И.Ю. Ходоровская. Под ред. Ю.Г. Ярошенко. – Екатеринбург: ООО «УИПЦ» 2012. – 670 с.

ISBN 978-5-4430-0014-5

В пособии представлены сведения по перспективным технологиям черной металлургии и их воздействию на состояние и качество окружающей природной среды, рассмотрены пути модернизации традиционных металлургических технологий, приведены материалы, определяющие промышленную политику Российского государства в области металлургии, экологии, энерго- и ресурсосбережении, а также в области рационального природопользования. Особое внимание уделено классификации первичных и вторичных ресурсов в черной металлургии, отходов производства и потребления, оценке их опасности. Описаны основные направления модернизации технологий черной металлургии на современном этапе ее развития. Значительную часть пособия составляют конкретные примеры, отражающие современные достижения и международный опыт лучших металлургических предприятий и реализованных в них технологий.

Учебное пособие предназначено для бакалавров и магистров вузов, обучающихся по направлению «Металлургия», а также для аспирантов и инженерно-технических работников металлургических предприятий. Может быть рекомендовано студентам теплоэнергетических, химико-технологических, машиностроительных и экономических специальностей.

Библиогр. 154 назв. Табл. 67. Рис. 163. Прил. 2.

УДК 502.174.669.1(075.8)

ББК 20.18я73+34.32я73

ISBN 978-5-4430-0014-5

© Уральский федеральный университет, 2012

© Ярошенко Ю.Г., Гордон Я.М.,
Ходоровская И.Ю., 2012

Оглавление

Предисловие	6
Введение	11
РАЗДЕЛ I. Государственная промышленная политика в развитии черной металлургии	22
<i>Глава 1. Основные направления государственной промышленной политики в развитии черной металлургии</i>	23
1.1. Цели и задачи государственной промышленной политики	23
1.2. Основные направления охраны и защиты окружающей среды	44
1.3. На пути к экологически чистому производству	52
1.4. Контрольные вопросы	62
<i>Глава 2. Рациональное использование природных ресурсов</i>	64
2.1. Принципы и законы природопользования	65
2.2. Природные ресурсы, их классификация и эколого-экономическая оценка	70
2.3. Энергетические и материальные ресурсы	76
2.4. Контрольные вопросы.....	83
<i>Глава 3. Ресурсы вторичного использования – отходы производства и потребления</i>	84
3.1. Основные принципы государственной политики в области обращения с отходами	85
3.2. Классификация отходов производства и потребления	89
3.3. Классификация вторичных ресурсов черной металлургии.....	101
3.4. Контрольные вопросы	107
РАЗДЕЛ II. Вторичные ресурсы предприятий черной металлургии.....	109
<i>Глава 4. Характеристика и использование вторичных энергетических ресурсов.....</i>	110
4.1. Топливные вторичные энергетические ресурсы	111
4.2. Тепловые вторичные энергетические ресурсы.....	117
4.3. Энергия повышенного давления газов	147
4.4. Контрольные вопросы.....	150
<i>Глава 5. Характеристика и использование вторичных материальных ресурсов.....</i>	152
5.1. Твердые вторичные материальные ресурсы	152
5.2. Жидкие вторичные материальные ресурсы	164
5.3. Газообразные вторичные материальные ресурсы	172
5.4. Контрольные вопросы	176

РАЗДЕЛ III. Энерго- и ресурсосбережение – главные направления модернизации технологий в черной металлургии	177
Глава 6. Энерго- и ресурсосбережение в технологиях подготовки сырья.....	179
6.1. Производство кокса	183
6.2. Производство железорудного сырья	205
6.2.1. Производство агломерата	208
6.2.2. Производство окатышей	233
6.3. Производство извести	253
6.4. Контрольные вопросы	269
Глава 7. Ресурсо- и энергосбережение в доменном производстве	270
7.1. Комбинированное дутье – путь совершенствования технологии доменной плавки	273
7.1.1. Краткие сведения о теплообмене в доменной печи	274
7.1.2. Анализ условий доменной плавки на комбинированном дутье с использованием природного газа и кислорода	286
7.1.3. Анализ условий доменной плавки на комбинированном дутье с использованием мазута и кислорода	297
7.1.4. Анализ условий доменной плавки на комбинированном дутье с использованием пылеугольного топлива и кислорода	301
7.2. Оборудование для высокотемпературного нагрева дутья	323
7.3. Переработка доменного шлака	344
7.4. Контрольные вопросы	361
Глава 8. Энерго- и ресурсосбережение в технологиях производства стали	362
8.1. Кислородно-конвертерное производство стали	363
8.2. Производство стали в дуговых электропечах	387
8.3. Технологии мини- и микрометаллургии в производстве стали	412
8.3.1. Структура современных металлургических мини-заводов	414
8.3.2. Особенности технологий на мини-заводах	420
8.3.3. Перспективы развития мини- и микрозаводов	428
8.4. Контрольные вопросы	440
Глава 9. Ресурсосберегающие технологии внепечной обработки и разлива стали.....	442
9.1. Внепечная обработка стали	443
9.1.1. Методы перемешивания с усреднением температуры и химического состава стали	445
9.1.2. Методы введения порошкообразных реагентов, раскислителей и микролегирующих элементов	447
9.1.3. Вакуумная обработка	450
9.1.4. Методы комплексной обработки стали с подогревом на установках «ковш–печь»	456
9.2. Машины непрерывного литья заготовок	461

9.3. Литейно-прокатные модули	472
9.4. Контрольные вопросы	481
Глава 10. Энерго- и ресурсосбережение в технологиях производства ферросплавов	482
10.1. Подготовка сырьевых материалов и шихты к плавке	485
10.1.1. Подготовка сырых материалов	485
10.1.2. Подогрев шихты	491
10.2. Совершенствование технологий выплавки ферросплавов	495
10.3. Оборудование для выплавки ферросплавов и очистки газов ферро- сплавных печей	507
10.4. Контрольные вопросы	524
Глава 11. Основные альтернативные методы прямого получения железа и чугуна	526
11.1. Технологии прямого получения железа твердофазными методами	536
11.1.1. Шахтные печи прямого получения железа	537
11.1.2. Металлизация железорудного сырья в аппаратах с кипящим слоем	557
11.1.3. Металлизация железорудного сырья во вращающихся печах	563
11.1.4. Металлизация железорудного сырья в кольцевых печах с вра- щающимся подом	566
11.1.5. Производство чугунных гранул – натетов в процессе ПткЗ	570
11.1.6. Процесс ПРАЙМУС (PRIMUS) для производства металлизи- ванного продукта и утилизации цинксодержащих отходов	576
11.2. Технологии прямого получения железа жидкофазными методами	581
11.2.1. Процесс РОМЕЛТ (ROMELT)	582
11.2.2. Процесс ТЕКНОРЕД (TECNORED)	589
11.2.3. Процесс Окси-Кап (Oxy-Cap)	593
11.3. Технологии получения жидкого металла комбинированными методами	600
11.3.1. Технология процесса КОРЕКС (COREX)	601
11.3.2. Технология процесса ФИНЕКС (FINEX)	607
11.4. Контрольные вопросы	611
Глава 12. Методология выбора технологии металлургического произ- водства (опыт компании «Hatch»)	612
13. Библиографический список	633
14. Приложения	643
Приложение 1. Федеральный классификационный каталог отходов	643
Приложение 2. Пример протокола расчета класса опасности отходов	659

РАЗДЕЛ III. Энерго- и ресурсосбережение – главные направления модернизации технологий в черной металлургии	177
Глава 6. Энерго- и ресурсосбережение в технологиях подготовки сырья.....	179
6.1. Производство кокса	183
6.2. Производство железорудного сырья	205
6.2.1. Производство агломерата	208
6.2.2. Производство окатышей	233
6.3. Производство извести	253
6.4. Контрольные вопросы	269
Глава 7. Ресурсо- и энергосбережение в доменном производстве	270
7.1. Комбинированное дутье – путь совершенствования технологии доменной плавки	273
7.1.1. Краткие сведения о теплообмене в доменной печи	274
7.1.2. Анализ условий доменной плавки на комбинированном дутье с использованием природного газа и кислорода	286
7.1.3. Анализ условий доменной плавки на комбинированном дутье с использованием мазута и кислорода	297
7.1.4. Анализ условий доменной плавки на комбинированном дутье с использованием пылеугольного топлива и кислорода	301
7.2. Оборудование для высокотемпературного нагрева дутья	323
7.3. Переработка доменного шлака	344
7.4. Контрольные вопросы	361
Глава 8. Энерго- и ресурсосбережение в технологиях производства стали	362
8.1. Кислородно-конвертерное производство стали	363
8.2. Производство стали в дуговых электропечах	387
8.3. Технологии мини- и микрометаллургии в производстве стали	412
8.3.1. Структура современных металлургических мини-заводов	414
8.3.2. Особенности технологий на мини-заводах	420
8.3.3. Перспективы развития мини- и микрозаводов	428
8.4. Контрольные вопросы	440
Глава 9. Ресурсосберегающие технологии внепечной обработки и разлива стали.....	442
9.1. Внепечная обработка стали	443
9.1.1. Методы перемешивания с усреднением температуры и химического состава стали	445
9.1.2. Методы введения порошкообразных реагентов, раскислителей и микролегирующих элементов	447
9.1.3. Вакуумная обработка	450
9.1.4. Методы комплексной обработки стали с подогревом на установках «ковш–печь»	456
9.2. Машины непрерывного литья заготовок	461

9.3. Литейно-прокатные модули	472
9.4. Контрольные вопросы	481
Глава 10. Энерго- и ресурсосбережение в технологиях производства ферросплавов	482
10.1. Подготовка сырьевых материалов и шихты к плавке	485
10.1.1. Подготовка сырых материалов	485
10.1.2. Подогрев шихты	491
10.2. Совершенствование технологий выплавки ферросплавов	495
10.3. Оборудование для выплавки ферросплавов и очистки газов ферро- сплавных печей	507
10.4. Контрольные вопросы	524
Глава 11. Основные альтернативные методы прямого получения железа и чугуна	526
11.1. Технологии прямого получения железа твердофазными методами	536
11.1.1. Шахтные печи прямого получения железа	537
11.1.2. Металлизация железорудного сырья в аппаратах с кипящим слоем	557
11.1.3. Металлизация железорудного сырья во вращающихся печах	563
11.1.4. Металлизация железорудного сырья в кольцевых печах с вра- щающимся подом	566
11.1.5. Производство чугуновых гранул – нугетов в процессе ПТmk3	570
11.1.6. Процесс ПРАЙМУС (PRIMUS) для производства металлизи- ванного продукта и утилизации цинксодержащих отходов	576
11.2. Технологии прямого получения железа жидкофазными методами	581
11.2.1. Процесс РОМЕЛТ (ROMELT)	582
11.2.2. Процесс ТЕКНОРЕД (TECNORED)	589
11.2.3. Процесс Окси-Кап (Oxy-Cap)	593
11.3. Технологии получения жидкого металла комбинированными методами	600
11.3.1. Технология процесса КОРЕКС (COREX)	601
11.3.2. Технология процесса ФИНЕКС (FINEX)	607
11.4. Контрольные вопросы	611
Глава 12. Методология выбора технологии металлургического произ- водства (опыт компании «Hatch»)	612
13. Библиографический список	633
14. Приложения	643
Приложение 1. Федеральный классификационный каталог отходов	643
Приложение 2. Пример протокола расчета класса опасности отходов	659