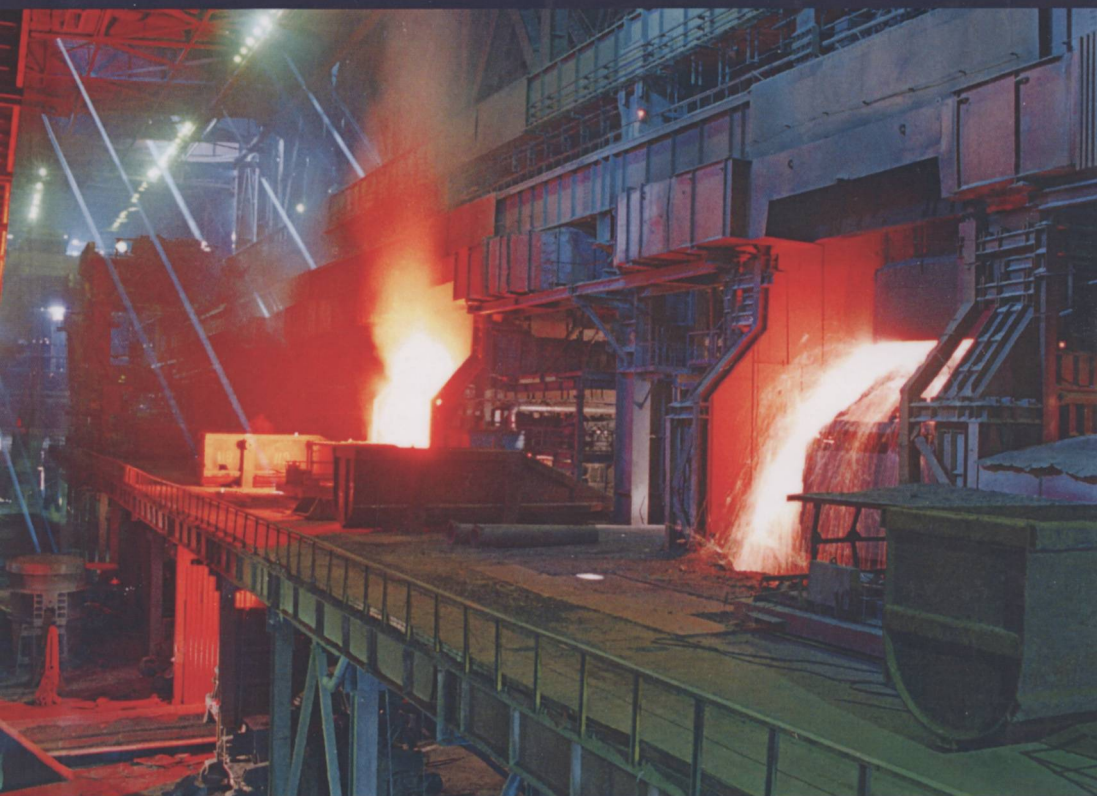


Ю. А. Колесников, Б. А. Буданов, А. М. Столяров

# МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОМ КОНВЕРТЕРНОМ ЦЕХЕ



**Ю. А. Колесников, Б. А. Буданов, А. М. Столяров**

# **МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОМ КОНВЕРТЕРНОМ ЦЕХЕ**

Учебное пособие

Под редакцией В. А. Бигеева

Москва Вологда  
«Инфра-Инженерия»  
2020

УДК 669.184 (075)  
ББК 34.327я7  
К60

*Рецензенты:*

кафедра металлургии стали и ферросплавов  
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский  
технологический университет "МИСиС"»;  
заведующий кафедрой профессор, доктор технических наук,  
член-корреспондент РАН *К. В. Григорович*;  
заместитель начальника научно-технического центра  
ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат»  
кандидат технических наук *Б. А. Сарычев*

**Колесников, Ю. А.**  
**К60** Металлургические технологии в высокопроизводительном  
конвертерном цехе : учебное пособие / Ю. А. Колесников,  
Б. А. Буданов, А. М. Столяров ; под ред. В. А. Бигеева. – Москва ;  
Вологда : Инфра-Инженерия, 2020. – 380 с.  
ISBN 978-5-9729-0475-4

Рассмотрены технологии плавки стали в высокопроизводительном кислородно-конвертерном цехе. Представлено основное оборудование и освещены технологии выплавки полупродукта в мощных конвертерах с верхней продувкой кислородом. Раскрыта специфика ковшевой обработки металла на агрегате доводки стали, показана работа установок усреднительной и мягкой продувки, агрегата «ковш-печь», вакуумных установок порционного и циркуляционного типов. Дана технология непрерывной разливки стали на слябовых МНЛЗ.

Для студентов металлургических направлений подготовки.

УДК 669.184 (075)  
ББК 34.327я7

ISBN 978-5-9729-0475-4

© Колесников Ю. А., Буданов Б. А., Столяров А. М., 2020  
© Издательство «Инфра-Инженерия», 2020  
© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2020

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|  |    |
|--|----|
| <b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....  | 8  |
| <b>Краткая история развития металлургических технологий производства стали</b> ..... | 11 |
| Контрольные вопросы .....  | 28 |

### РАЗДЕЛ 1

#### ОСНОВНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО КОНВЕРТЕРНОГО ЦЕХА

|  |    |
|--|----|
| <b>Глава 1.1. КОНСТРУКЦИЯ КОНВЕРТЕРА</b> .....   | 29 |
| 1.1.1. Форма рабочего пространства .....   | 29 |
| 1.1.2. Материалы футеровки .....   | 31 |
| 1.1.3. Механизм износа рабочего слоя футеровки .....   | 36 |
| 1.1.4. Неформованные огнеупорные материалы .....   | 40 |
| 1.1.5. Организация работ по изготовлению<br>и обслуживанию футеровки.....                      | 41 |
| 1.1.6. Обжиг периклазоуглеродистой футеровки<br>конвертера .....                               | 45 |
| 1.1.7. Горячий ремонт сталевыпускного узла .....   | 46 |
| 1.1.8. Горячие ремонты рабочего слоя.....  | 47 |
| 1.1.9. Магнезиальные флюсы.....  | 49 |
| 1.1.10. Корпус конвертера.....   | 51 |
| 1.1.11. Кислородная фурма .....  | 57 |
| 1.1.12. Оборудование для транспортирования<br>и загрузки сыпучих материалов .....              | 62 |
| 1.1.13. Системы отвода и очистки<br>конвертерных газов .....                                   | 66 |
| 1.1.14. Вспомогательное оборудование<br>конвертерного отделения .....                          | 77 |
| Контрольные вопросы .....  | 83 |
| <b>Глава 1.2. АГРЕГАТЫ КОВШЕВОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ</b> .....                                      | 85 |
| 1.2.1. Общее устройство агрегатов доводки стали<br>и установки усреднительной продувки.....    | 85 |
| 1.2.2. Устройство двухпозиционного агрегата<br>«ковш-печь» № 1 фирмы Fuchs systemtechnik ..... | 89 |

|   |     |
|---|-----|
| 1.2.3. Устройство двухпозиционного агрегата «ковш-печь» № 2 фирмы SMS Mevac.....                      | 91  |
| 1.2.4. Особенности двухпозиционного агрегата «ковш-печь» № 2 фирмы SMS Mevac.....                     | 93  |
| 1.2.5. Устройство двухпозиционной установки электродугового нагрева стали (УЭНС) фирмы VAI Fuchs..... | 97  |
| 1.2.6. Устройство и назначение комбинированной установки вакуумирования стали.....                    | 98  |
| 1.2.7. Устройство и назначение двухпозиционной установки вакуумирования стали (УВС).....              | 104 |
| 1.2.8. Назначение двухпозиционной установки мягкой продувки (УМП).....                                | 109 |
| Контрольные вопросы.....  | 109 |

### **Глава 1.3. МАШИНЫ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ**

|   |     |
|---|-----|
| <b>ЗАГотовок</b> .....  | 111 |
| 1.3.1. Слябовые МНЛЗ криволинейного типа.....                         | 111 |
| 1.3.2. Слябовая МНЛЗ криволинейного типа с вертикальным участком..... | 131 |
| Контрольные вопросы.....  | 138 |

### **Глава 1.4. ВАРИАНТ КОМПОНОВКИ ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ККЦ**

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| Контрольные вопросы..... | 144 |
|--------------------------|-----|

## **РАЗДЕЛ 2**

### **ТЕХНОЛОГИЯ ВЫПЛАВКИ СТАЛИ**

|  |     |
|--|-----|
| <b>Глава 2.1. ШИХТОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ</b> ..... | 145 |
| Контрольные вопросы.....                   | 165 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Глава 2.2. КЛАССИЧЕСКИЙ ВАРИАНТ ТЕХНОЛОГИИ</b> ..... | 166 |
| Контрольные вопросы.....                                | 174 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Глава 2.3. ВЫПЛАВКА СТАЛИ В КОНВЕРТЕРНОМ ЦЕХЕ ПАО «ММК»</b> ..... | 175 |
| Контрольные вопросы.....   | 190 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Глава 2.4. ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ КОНВЕРТЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ ВО ВРЕМЯ ПРОДУВКИ</b> ..... | 191 |
| Контрольные вопросы.....  | 206 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Глава 2.5. ОСОБЕННОСТИ ОКИСЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ ПЕРИОДА ПРОДУВКИ</b> ..... | 207 |
| Контрольные вопросы .....  | 216 |
| <b>Глава 2.6. ШЛАКОВЫЙ РЕЖИМ КОНВЕРТЕРНОЙ ПЛАВКИ СТАЛИ</b> .....             | 217 |
| Контрольные вопросы .....  | 225 |

### РАЗДЕЛ 3

#### ТЕХНОЛОГИЯ КОВШЕВОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛА

|  |     |
|--|-----|
| <b>Глава 3.1. КОВШЕВАЯ ОБРАБОТКА ЧУГУНА</b> .....                                    | 226 |
| 3.1.1. Способы ковшевой десульфурации чугуна.....                                    | 226 |
| 3.1.2. Особенности десульфурации чугуна в условиях ККЦ ПАО «ММК» .....               | 234 |
| Контрольные вопросы .....  | 241 |
| <b>Глава 3.2. ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛА НА АГРЕГАТЕ ДОВОДКИ СТАЛИ (АДС)</b> ..... | 242 |
| 3.2.1. Особенности обработки металла на АДС .....                                    | 242 |
| 3.2.2. Особенности обработки металла на установке мягкой продувки (УМП) .....        | 252 |
| Контрольные вопросы .....  | 254 |
| <b>Глава 3.3. ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛА НА АГРЕГАТЕ «КОВШ-ПЕЧЬ» (АКП)</b> .....   | 255 |
| 3.3.1. Особенности обработки металла на АКП .....                                    | 255 |
| 3.3.2. Особенности десульфурации металла на АКП .....                                | 256 |
| 3.3.3. Особенности глубокой десульфурации металла на АКП.....                        | 261 |
| 3.3.4. Доводка металла по химическому составу и температуре .....                    | 265 |
| Контрольные вопросы .....  | 271 |
| <b>Глава 3.4 ТЕХНОЛОГИЯ ВАКУМИРОВАНИЯ СТАЛИ</b> .....                                | 272 |
| 3.4.1. Основные закономерности растворения водорода и азота в стали .....            | 272 |
| 3.4.2. Вакуумное обезуглероживание и раскисление металла.....                        | 275 |
| 3.4.3. Особенности технологии вакуумной обработки металла.....                       | 278 |

|   |     |
|---|-----|
| 3.4.4. Особенности проведения вакуумного обезуглероживания стали марок 08Ю и IF-006 ..... | 280 |
| 3.4.5. Коррекция химического состава металла в процессе вакуумирования .....              | 281 |
| Контрольные вопросы .....   | 283 |

## РАЗДЕЛ 4

### ТЕХНОЛОГИЯ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ СТАЛИ И КАЧЕСТВО ОТЛИТЫХ СЛЯБОВ

|  |     |
|--|-----|
| <b>Глава 4.1. ПРОЦЕССЫ, ПРОТЕКАЮЩИЕ В РАЗЛИТОЙ СТАЛИ</b> .....               | 285 |
| 4.1.1. Затвердевание непрерывнолитого сляба .....                            | 285 |
| 4.1.2. Кристаллическая структура слябовой заготовки .....                    | 288 |
| 4.1.3. Усадочные явления при кристаллизации стали .....                      | 291 |
| 4.1.4. Ликвация примесей и перераспределение неметаллических включений ..... | 292 |
| Контрольные вопросы .....  | 294 |
| <b>Глава 4.2. ПОДГОТОВКА МНЛЗ К РАЗЛИВКЕ СТАЛИ</b> .....                     | 295 |
| 4.2.1. Подготовка и проверка кристаллизатора .....                           | 295 |
| 4.2.2. Подготовка зоны вторичного охлаждения .....                           | 296 |
| 4.2.3. Подготовка и ввод затравки .....                                      | 297 |
| 4.2.4. Подготовка промежуточного ковша и погружных стаканов .....            | 303 |
| 4.2.5. Операции перед приемом жидкого металла .....                          | 305 |
| 4.2.6. Операции после приема жидкого металла .....                           | 306 |
| Контрольные вопросы .....  | 307 |
| <b>Глава 4.3. ТЕХНОЛОГИЯ РАЗЛИВКИ СТАЛИ</b> .....                            | 308 |
| 4.3.1. Технология разлива стали закрытой струей .....                        | 308 |
| 4.3.2. Особенности технологии разлива стали методом «плавка на плавку» ..... | 329 |
| 4.3.3. Мягкое обжатие непрерывнолитого сляба .....                           | 335 |
| Контрольные вопросы .....  | 344 |
| <b>Глава 4.4. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ СЛЯБОВ</b> .....               | 345 |
| 4.4.1. Поверхностные дефекты .....   | 345 |

|                                      |            |
|--------------------------------------|------------|
| 4.4.2. Внутренние дефекты.....       | 362        |
| 4.4.3. Дефекты формы .....           | 371        |
| Контрольные вопросы.....             | 373        |
| <b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>               | <b>375</b> |
| <b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....</b> | <b>376</b> |