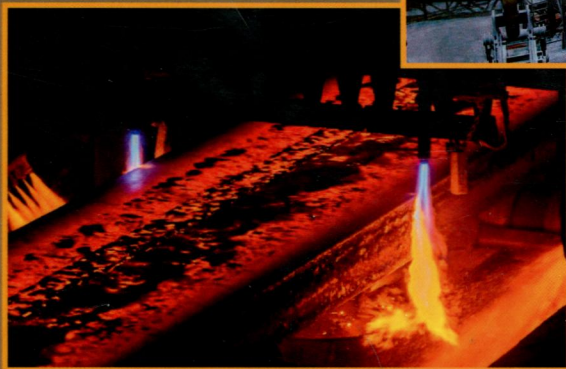


А. В. Протасов, Б. А. Сивак, Л. А. Смирнов

# РАФИНИРОВАНИЕ СТАЛИ В ПРОЦЕССЕ РАЗЛИВКИ



**А. В. Протасов, Б. А. Сивак, Л. А. Смирнов**

# **РАФИНИРОВАНИЕ СТАЛИ В ПРОЦЕССЕ РАЗЛИВКИ**

Монография

Москва Вологда  
«Инфра-Инженерия»  
2023

УДК 669.04  
ББК 34.327  
П83

Рецензент:

д. т. н., профессор, заведующий кафедрой инжиниринга технологического  
оборудования НИТУ «МИСиС» *С. М. Горбатюк*

**П83**      **Протасов, А. В.**  
Рафинирование стали в процессе разлива : монография / А. В. Протасов, Б. А. Сивак, Л. А. Смирнов. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. – 328 с. : ил., табл.  
ISBN 978-5-9729-1159-2

Представлено описание технологии и оборудования для рафинирования стали в процессе непрерывной и дискретной разлива. Рассмотрен отечественный и зарубежный опыт применения различных технологических приемов, направленных на снижение содержания неметаллических включений, улучшение качества поверхности, микро- и макроструктуры отливаемых слитков, а также перспективные разработки, ожидающие внедрения.

Для научных и инженерно-технических работников научно-исследовательских институтов, металлургических и машиностроительных предприятий. Может быть полезно преподавателям и студентам профильных вузов.

УДК 669.04  
ББК 34.327

ISBN 978-5-9729-1159-2

© Протасов А. В., Сивак Б. А., Смирнов Л. А., 2023  
© Издательство «Инфра-Инженерия», 2023  
© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2023

# ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	6
1. РОЛЬ ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОВША В РАФИНИРОВАНИИ СТАЛИ.....	9
1.1. Основные функции промежуточного ковша и требования к его конструкции .....	9
1.2. Размеры и емкость промежуточного ковша .....	11
1.3. Конструктивные элементы промежуточного ковша и их влияние на эффективность непрерывного литья и качество непрерывнолитых заготовок.....	11
1.4. Промежуточные ковши с возможностью нагрева металла .....	25
1.5. Флотация и фильтрация неметаллических включений.....	27
1.6. Технологические возможности промежуточного ковша .....	34
ЛИТЕРАТУРА К ГЛАВЕ 1.....	42
2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ШЛАКООБРАЗУЮЩИХ СМЕСЕЙ ПРИ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКЕ СТАЛИ.....	44
2.1. Требования к свойствам шлакового пояса в промежуточном ковше и кристаллизаторе .....	44
2.1.1. Шлаковый слой в промежуточном ковше.....	44
2.1.2. Шлаковый слой в кристаллизаторе .....	47
2.2. Разновидности и свойства шлакообразующих смесей .....	51
2.2.1. Шлакообразующие смеси на основе полых гранул.....	51
2.3. Технологии и оборудование для введения флюсов на поверхность металла в кристаллизаторе .....	58
ЛИТЕРАТУРА К ГЛАВЕ 2.....	78
3. МИКРОЛЕГИРОВАНИЕ И МОДИФИЦИРОВАНИЕ .....	81
3.1. Технологические основы микролегирования .....	81
3.2. Технологические основы модифицирования .....	82
3.3. Разновидности микролегирующих добавок, модификаторов и инокуляторов .....	84
3.4. Введение в расплав модифицирующих и микролегирующих добавок .....	88
3.4.1. Обработка металла в промежуточном ковше инъекционной проволокой.....	91
3.4.2. Обработка металла порошковой проволокой в кристаллизаторе .....	99
3.5. Применение макрохолодильников.....	105
3.6. Комбинированные методы введения микролегирующих и модифицирующих добавок .....	109
ЛИТЕРАТУРА К ГЛАВЕ 3.....	113
4. ПРИМЕНЕНИЕ ИНЕРТНОГО ГАЗА ПРИ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКЕ .....	116
4.1. Основные задачи, решаемые при непрерывной разливке с помощью использования инертного газа.....	116
4.2. Продувка металла в сталеразливочном ковше в процессе разливки.....	119
4.3. Защита струи металла от контакта с атмосферой .....	120
4.4. Продувка металла в промежуточном ковше .....	128
4.4.1. Продувка сталевыпускного канала.....	137
4.4.2. Защита струи металла на участке ПК-кристаллизатор.....	141
4.5. Продувка металла в кристаллизаторе .....	142
ЛИТЕРАТУРА К ГЛАВЕ 4.....	148

5. РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ МЕТАЛЛА В ПРОМЕЖУТОЧНОМ КОВШЕ .....	150
5.1. Температурный режим разливки .....	150
5.2. Индукционный нагрев металла в промежуточном ковше .....	152
5.3. Электродуговой нагрев стали .....	153
5.4. Плазменный нагрев .....	155
5.4.1. Основные разновидности плазменных металлургических нагревателей .....	155
5.4.2. Применение плазменного нагрева металла в промковше за рубежом .....	158
5.4.3. Отечественный опыт применения плазменного нагрева металла в промковше .....	165
5.4.4. Конструктивные элементы установок плазменного нагрева .....	173
5.5. Прочие способы нагрева металла в процессе непрерывной разливки .....	178
ЛИТЕРАТУРА К ГЛАВЕ 5 .....	180
6. ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ ПОТОЧНОГО ВАКУУМИРОВАНИЯ СТАЛИ В ПРОЦЕССЕ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ .....	182
6.1. Опыт эксплуатации поточного вакууматора на НЛМК .....	185
6.2. Агрегаты поточного вакуумирования конструкции ВНИИМЕТМАШ .....	188
6.3. Основные направления совершенствования поточных вакууматоров .....	197
ЛИТЕРАТУРА К ГЛАВЕ 6 .....	208
7. СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА КРИСТАЛЛИЗУЮЩИЙСЯ МЕТАЛЛ .....	210
7.1. Влияние внешних воздействий на формирование непрерывнолитых заготовок .....	210
7.2. Электромагнитные воздействия на кристаллизующийся металл .....	215
7.2.1. Индукционное электромагнитное перемешивание .....	220
7.2.2. Кондукционное электромагнитное перемешивание .....	232
7.3. Воздействие низкочастотными вибрациями и ультразвуком .....	233
7.3.1. Вибрационная обработка .....	234
7.4. Электрогидроимпульсная обработка (ЭГИО) металла .....	241
7.5. Ультразвуковая обработка .....	243
7.6. Прочие методы обработки кристаллизующегося металла .....	246
ЛИТЕРАТУРА К ГЛАВЕ 7 .....	248
8. АВТОМАТИЗАЦИЯ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ И КОМПЛЕКСНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ .....	250
8.1. Основные задачи и функции автоматизации МНЛЗ .....	250
8.2. Машины непрерывного литья заготовок как объекты автоматизированного управления .....	251
8.3. Иерархический принцип организации АСУТП .....	262
8.4. Комплексные системы управления качеством непрерывнолитых заготовок .....	265
8.5. Основы информационного обеспечения системы управления качеством непрерывнолитой заготовки .....	279
8.6. Информационные потоки технологического процесса непрерывной разливки стали .....	279
ЛИТЕРАТУРА К ГЛАВЕ 8 .....	282

9. ОБРАБОТКА СТАЛИ ПРИ РАЗЛИВКЕ В ИЗЛОЖНИЦЫ .....	283
9.1. Основные технологические задачи при производстве высококачественных слитков.....	283
9.2. Дефекты стальных слитков .....	283
9.3. Неметаллические включения в слитках .....	285
9.4. Отливка высококачественных крупных слитков .....	286
9.4.1. Многоковшовая разливка .....	290
9.5. Обработка кристаллизующегося слитка при атмосферном давлении .....	290
9.5.1. Методы устранения химической неоднородности в слитках.....	290
9.5.2. Защита разливаемой стали от вторичного окисления.....	292
9.5.3. Введение в расплав модифицирующих добавок .....	293
9.5.4. Применение внешних воздействий при затвердевании слитков .....	295
9.5.5. Обработка стали при сифонной разливке .....	299
9.6. Разливка в вакууме и защитной атмосфере .....	303
9.6.1. Разновидности струйного вакуумирования.....	305
9.6.2. Элементы технологического процесса.....	311
9.6.3. Отливка под вакуумом малых слитков .....	315
9.6.4. Конструктивные особенности струйных вакууматоров .....	317
9.6.5. Разливка в среде инертного или нейтрального газа.....	319
9.7. Перспективы развития процессов разливки стали в слитки.....	320
ЛИТЕРАТУРА К ГЛАВЕ 9.....	321