

# НЕПРЕРЫВНОЕ ЛИТЬЁ ЗАГОТОВОК

## КРИСТАЛЛИЗАТОРЫ И ЗОНА ВТОРИЧНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

В. А. Ульянов  
В. Н. Гуцин

В. А. Ульянов, В. Н. Гущин

# НЕПРЕРЫВНОЕ ЛИТЬЁ ЗАГОТОВОК КРИСТАЛЛИЗАТОРЫ И ЗОНА ВТОРИЧНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Учебное пособие

Москва Вологда  
«Инфра-Инженерия»  
2023

УДК 621.746  
ББК 34.3  
У51

*Рекомендовано ученым советом Нижегородского  
государственного технического университета  
им. Р. Е. Алексеева в качестве учебного пособия  
для студентов, обучающихся по металлургическим и  
машиностроительным направлениям подготовки  
22.03.02, 22.04.02, 15.03.01, 15.04.01*

Рецензент:

доктор технических наук, профессор Института проблем  
машиностроения РАН *В. В. Мишакин*

**Ульянов, В. А.**

**У51** Непрерывное литьё заготовок. Кристаллизаторы и зона вторичного охлаждения : учебное пособие / В. А. Ульянов, В. Н. Гуцин. – Москва : Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. – 184 с. : ил., табл.  
ISBN 978-5-9729-1135-6

Обобщены и систематизированы материалы о конструкциях кристаллизаторов и зон вторичного охлаждения машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) и происходящих в них тепломассообменных процессах. Приведены результаты физического и математического моделирования гидродинамических процессов с учётом конструктивных параметров применения сталеразливочных стаканов, водоохлаждаемых виброхолодильников в кристаллизаторах и технологических режимов ввода упругих колебаний в непрерывнолитые заготовки в зонах вторичного охлаждения. Рассмотрены различные принципы интенсификации формирования непрерывнолитых заготовок в условиях направленного или градиентного воздействия на них, позволяющие оптимизировать условия всплывания неметаллических включений, формирования макро- и микроструктуры литого металла.

Для студентов металлургических и машиностроительных направлений подготовки. Может быть полезно для инженеров, специализирующихся в области непрерывного литья.

УДК 621.746  
ББК 34.3

ISBN 978-5-9729-1135-6

© Ульянов В. А., Гуцин В. Н., 2023  
© Издательство «Инфра-Инженерия», 2023  
© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2023

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|   |     |
|---|-----|
| ВВЕДЕНИЕ.....   | 4   |
| 1. ПРОЦЕССЫ В КРИСТАЛЛИЗАТОРАХ.....   | 5   |
| 1.1. Кристаллизаторы для МНЛЗ.....  | 5   |
| 1.2. Способы подвода расплава в кристаллизаторы.....  | 20  |
| 1.3. Тепловые расчёты кристаллизаторов.....   | 28  |
| 1.4. Динамика потоков и интенсивность теплоотдачи от расплава.....                                  | 31  |
| 2. РАЦИОНАЛИЗАЦИЯ ПОДВОДА МЕТАЛЛА<br>В КРИСТАЛЛИЗАТОРЫ.....   | 42  |
| 2.1. Масштабы моделирования и структура проведения модельного<br>и промышленного экспериментов..... | 42  |
| 2.2. Гидростабилизирующие способы подвода расплава в слябовые<br>кристаллизаторы.....               | 42  |
| 2.3. Гидростабилизирующие способы подвода расплава в сортовых<br>заготовках.....                    | 48  |
| 2.4. Формирование оболочки и структуры заготовки.....   | 58  |
| 3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ НЕПРЕРЫВНОЙ<br>РАЗЛИВКИ СОРТОВЫХ И СЛЯБОВЫХ ЗАГОТОВОК.....           | 65  |
| 3.1. Ввод экзогенных центров кристаллизации.....  | 65  |
| 3.2. Механическое и электромагнитное перемешивание.....   | 76  |
| 3.3. Применение водоохлаждаемых волноводов.....   | 78  |
| 3.4. Экспериментальное исследование подвода расплава<br>в кристаллизаторы.....                      | 124 |
| 4. ПРОЦЕССЫ В ЗОНЕ ВТОРИЧНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ.....   | 130 |
| 4.1. Конструктивные элементы и режимные параметры ЗВО.....  | 130 |
| 4.2. Электромагнитное перемешивание в ЗВО.....  | 139 |
| 4.3. Электрогидроимпульсное воздействие в ЗВО.....  | 142 |
| 4.4. Теплофизические параметры формирования непрерывнолитых<br>заготовок.....                       | 149 |
| 4.5. Теплотехнические расчёты.....  | 157 |
| 4.6. Двухфазная зона и механизм её взаимодействия с внешними<br>воздействиями.....                  | 164 |
| 4.7. Развитие дефектов литого металла и модельных сред при<br>применении внешних воздействий.....   | 170 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....   | 174 |
| БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....   | 176 |