

# НЕПРЕРЫВНОЕ ЛИТЬЁ ЗАГОТОВОК

## КРИСТАЛЛИЗАТОРЫ И ЗОНА ВТОРИЧНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

В. А. Ульянов  
В. Н. Гущин

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. Гущин. – 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 всплытия 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., Гущин 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 В КРИСТАЛЛИЗАТОРЫ.....	42
2.1. Масштабы моделирования и структура проведения модельного и промышленного экспериментов.....	42
2.2. Гидростабилизирующие способы подвода расплава в слябовые кристаллизаторы.....	42
2.3. Гидростабилизирующие способы подвода расплава в сортовых заготовках.....	48
2.4. Формирование оболочки и структуры заготовки.....	58
3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ НЕПРЕРЫВНОЙ 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 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 заготовок.....	149
4.5. Теплотехнические расчёты.....	157
4.6. Двухфазная зона и механизм её взаимодействия с внешними воздействиями.....	164
4.7. Развитие дефектов литого металла и модельных сред при применении внешних воздействий.....	170
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	174
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	176