

**МАШИНЫ  
НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ  
ЗАГОТОВОК**

**ТЕОРИЯ И РАСЧЕТ**

Л. В. Буланов, Л. Г. Корзунин, Е. П. Парфенов,  
Н. А. Юровский, В. Ю. Авдонин

**МАШИНЫ  
НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ЗАГОТОВОК  
ТЕОРИЯ И РАСЧЕТ**

Серия: *Металлургическое оборудование*  
Под общей редакцией *Г. А. Шалаева*

Уральский центр ПР и рекламы — «Марат»  
Екатеринбург  
2004

**Машины непрерывного литья заготовок. Теория и расчет.** Л. В. Буланов, Л. Г. Корзунин, Е. П. Парфенов, Н. А. Юровский, В. Ю. Авдонин. Под общей редакцией Г. А. Шалаева. Екатеринбург: Уральский центр ПР и рекламы, 2003, 320 с.

В книге обобщен опыт творческой деятельности специалистов фирмы «Уралмаш — Metallургическое оборудование» в области разработок расчетных методик и теоретических основ проектирования МНЛЗ. Внимание авторов сосредоточено на важнейших основополагающих современных технологических аспектах непрерывной разливки: разработке динамической системы охлаждения заготовок, моделировании процесса мягкого обжатия, разработке системы контроля качества слитка, а также принципах построения и расчета узловых элементов технологического канала МНЛЗ: вопросах выбора основных параметров и профилирования технологической линии МНЛЗ, тепловой и гидравлической работы кристаллизаторов, расчетов теплового и термонапряженного состояния и долговечности роликов, процессов кристаллизации непрерывнолитых заготовок, расчета и исследования их напряженно-деформированного состояния.

Книга предназначена для специалистов в области проектирования, расчетов и эксплуатации МНЛЗ.

## **СОДЕРЖАНИЕ**

ПРЕДИСЛОВИЕ (В. Ю. Авдонин) .....	7
ВВЕДЕНИЕ (В. Ю. Авдонин) .....	10
<b>ГЛАВА 1. КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ</b> (Е. П. Парфенов)	
1.1. Существующие модели кристаллизации непрерывнолитых заготовок .....	13
1.2. Математическая модель кристаллизации заготовки .....	19
<b>ГЛАВА 2. ТЕПЛОВАЯ РАБОТА КРИСТАЛЛИЗАТОРА</b> (Л. В. Буланов)	
2.1. Формирование корки слитка в кристаллизаторе .....	30
2.2. Гидравлический расчет кристаллизатора .....	38
2.3. Петлевая и прямоточная схемы охлаждения. Цилиндрические и щелевые каналы охлаждения .....	39
2.4. Тепловой расчет стенок кристаллизатора	
2.5. Рациональное конструирование стенок кристаллизаторов .....	42
<b>ГЛАВА 3. ПРОЦЕДУРА РАЗРАБОТКИ</b> <b>СИСТЕМЫ ВТОРИЧНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ СЛИТКА</b> (Е. П. Парфенов, Л. В. Буланов)	
3.1. Экспериментальное обеспечение системы вторичного охлаждения .....	57
3.2. Разработка схемы расстановки форсунок .....	65
3.3. Расчет расходов хладагентов в зоне вторичного охлаждения .....	66
3.4. Толщина корки кристаллизующейся заготовки .....	70
3.5. Особенности охлаждения в подбье и первой зоне ЗВО .....	72
<b>ГЛАВА 4. НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ</b> <b>НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ ЗАГОТОВОК</b> (Л. В. Буланов, Л. Г. Корзунин)	
4.1. Упругая модель деформированного состояния непрерывнолитых заготовок .....	76

4.2. Упруго-пластическая модель напряженно-деформированного состояния непрерывнолитых заготовок .....	77
4.3. Напряженно-деформированное состояние слябовых заготовок .....	84
4.4. Влияние ширины слябовой заготовки на деформации, прогибы корки слитка и нагрузки на ролики от ферростатического давления .....	88
4.5. Напряженно-деформированное состояние блюмовых заготовок при разливке на слябовых МНЛЗ .....	90
4.6. Напряженно-деформированное состояние круглой заготовки .....	94
4.7. Влияние прогибов и растворов роликов на напряженно-деформированное состояние корки слитка .....	97
4.8. Корреляция результатов расчетов по упругой и упруго-пластической моделям .....	110
4.9. Реологическая модель напряженно-деформированного состояния корки непрерывнолитых заготовок .....	112
<b>ГЛАВА 5. ПРОЦЕДУРА РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ МНЛЗ</b> (Л. В. Буланов, Л. Г. Корзунин)	
5.1. Допустимые деформации на фронте кристаллизации .....	150
5.2. Расчет параметров МНЛЗ с вертикальным кристаллизатором ..	160
5.3. Расчет параметров МНЛЗ с радиальным кристаллизатором ....	169
5.4. Профилирование технологического канала .....	170
<b>ГЛАВА 6. НАГРУЗКИ НА РОЛИКИ НА УЧАСТКАХ ПРАВКИ</b> (Л. В. Буланов, Л. Г. Корзунин)	
6.1. Математическая модель нагружения податливого роликового аппарата при высокотемпературной ползучести сляба .....	189
6.2. Результаты расчета нагрузок на ролики и влияние на них основных факторов непрерывной разливки .....	209
<b>ГЛАВА 7. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ЗАГОТОВОК</b> (Л. В. Буланов, Л. Г. Корзунин, Е. П. Парфенов, Н. А. Юровский, В. Ю. Авдонин)	
7.1. Динамическая модель системы вторичного охлаждения слитка на МНЛЗ .....	233
7.2. Система мягкого обжатия .....	246
7.3. Автоматизированная система «Прогнозирование качества слябов» .....	262
<b>ГЛАВА 8. ТЕРМОНАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ДОЛГОВЕЧНОСТЬ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ РОЛИКОВ МНЛЗ</b> (Л. В. Буланов)	
8.1. Термонапряженное состояние и циклическая долговечность роликов МНЛЗ .....	269
8.2. Пути повышения долговечности роликов МНЛЗ .....	284
8.3. Рациональное охлаждение роликов МНЛЗ .....	299