

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
Институт технологии металлов

ТЕПЛОФИЗИКА

НЕПРЕРЫВНОГО СЛИТКА

*Под общей редакцией
академика НАН Беларуси Е. И. Маруковича*

Минск
«Беларуская навука»
2020

УДК 669.18:538.911

Теплофизика непрерывного слитка / В. И. Тимошпольский [и др.] ; под общ. ред. Е. И. Маруковича. – Минск : Беларуская навука, 2020. – 479 с. – ISBN 978-985-08-2608-4.

Представленные авторским коллективом материалы включает три основных раздела: методы математического моделирования режимов затвердевания и охлаждения и применение для решения задач широкой гаммы численных методов; тепловой анализ и обобщение аналитической тепловой теории литья, основанной на фундаментальных работах ученых; обобщение многочисленных исследований теории термических напряжений в твердой оболочке слитка. При этом многие задачи из теории термических напряжений впервые решены авторами.

Отличительной особенностью материалов, обобщенных в монографии, является демонстрация многочисленных примеров, что безусловно делает ее более доступной с точки зрения понимания многообразных задач современной теплофизики формирования слитков и отливок.

Предназначена для ученых и специалистов в области теории и технологии непрерывной разливки, а также аспирантов и магистрантов, совершенствующих свои знания в этом сложном и исключительно важном вопросе.

Табл. 46. Ил. 185. Библиогр.: 297 назв.

А в т о р ы:

В. И. Тимошпольский, Ю. А. Самойлович,
Е. И. Марукович, И. А. Трусова

Р е ц е н з е н т ы:

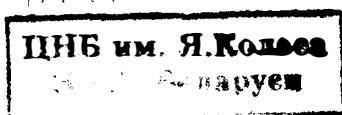
академик НАН Беларуси П. А. Витязь,
чл-корр. НАН Беларуси Ю. М. Плескачевский

ISBN 978-985-08-2608-4

© Институт технологии металлов
НАН Беларуси, 2020

© Оформление. РУП «Издательский
дом «Беларуская навука», 2020

11478918



ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава 1. Численные методы моделирования процессов затвердевания	9
1.1. Аналитическая теория численных методов моделирования и расчетов на основе применения конечно-разностных аппроксимаций.....	9
1.2. Метод конечных разностей – эффективный математический аппарат решения задач теории затвердевания и кристаллизации.....	29
1.3. Пример комплексного подхода выбора численного метода решения задачи Стефана.....	29
1.4. Математическое моделирование режимов затвердевания непрерывного слитка и теоретические предпосылки при использовании конечно-разностного метода.....	76
1.5. Метод конечных элементов (МКЭ) – эффективный математический аппарат в решении краевых задач металлургической теплофизики.....	122
Глава 2. Теплофизические основы непрерывной разливки стали (тепловая теория)	138
2.1. Общие сведения.....	138
2.2. Аналитическая теория затвердевания слитков (отливок).....	139
2.2.1. Теория затвердевания по А. И. Вейнику.....	146
2.2.2. Методы термического слоя в нелинейной теории затвердевания – кристаллизации слитков (отливок).....	199
2.2.3. Метод эквивалентных источников Ю. С. Постольника.....	216
2.2.4. Аналитический метод расчета затвердевания слитков (отливок), кристаллизующихся в интервале температур. Классическая квазиравновесная модель и теория метода Л. С. Лейбензона.....	253
Глава 3. Термические напряжения в твердой оболочке слитка, возникающие в ходе непрерывного литья	295
3.1. Аналитическая теория расчета термических напряжений в затвердевающих стальных слитках.....	301
3.2. Упрощенный метод расчета температур и напряжений в крупносортовой заготовке из высокоуглеродистой стали.....	312
3.3. Расчет термических напряжений в корке непрерывнолитого слитка, твердеющего в интервале температур (эффект релаксации в рамках модели Максвелла).....	318
3.4. Пример расчета температур, термовязкоупругих напряжений и деформаций в твердой оболочке слитка при непрерывном литье.....	334
3.5. Расчеты термических напряжений в начальном периоде формирования корки при контакте струи со стенкой кристаллизатора (эффект прилипания).....	342
3.6. Ромбичность и внутренние трещины при непрерывном литье.....	373

3.7. Пример расчетного анализа термических напряжений в твердой оболочке слитка с учетом влияния структурных превращений в остывающем аустените.....	383
3.8. Расчеты термических напряжений и деформаций в зоне вторичного охлаждения с учетом явления термоупругопластичности.....	396
3.9. Расчет температур и термических напряжений в сортовой непрерывнолитой заготовке из легированных марок стали по методу конечных элементов (МКЭ)	405
3.10. Расчет температур, напряжений и деформаций в непрерывнолитой сортовой заготовке с круговым поперечным сечением по МКЭ	415
3.11. Расчетный анализ термической прочности в опорных роликах МНЛЗ (математическое моделирование и примеры расчетов)	426
3.11.1. Математическое моделирование температурных полей и термических напряжений в опорных роликах МНЛЗ	432
3.11.2. Оценка долговечности опорных роликов МНЛЗ	436
3.11.3. Влияние неметаллических включений на долговечность опорных роликов...	441
3.11.4. Влияние ферростатического давления на термическую прочность опорных роликов МНЛЗ.....	451
Заключение	458
Список использованных источников	464