

**А. М. Ключников,  
Г. И. Мальцев**

**ТЕРМОДИНАМИКА И КИНЕТИКА  
ПИРОМЕТАЛЛУРГИИ  
НИКЕЛЕВЫХ И МЕДНЫХ РУД**



**А. М. Ключников, Г. И. Мальцев**

**ТЕРМОДИНАМИКА И КИНЕТИКА  
ПИРОМЕТАЛЛУРГИИ  
НИКЕЛЕВЫХ И МЕДНЫХ РУД**

Монография

Москва Вологда  
«Инфра-Инженерия»  
2023

УДК 536:544.42:669.24/.33

ББК 22.317+33.4

K52

**Рецензенты:**

кафедра металлургии негосударственного частного образовательного учреждения высшего образования «Технический университет УГМК»; профессор кафедры технической физики Физико-технологического института Уральского федерального университета им. первого Президента России Б. Н. Ельцина доктор технических наук, профессор *Г. Б. Смирнов*

**Клюшников, А. М.**

**K52** Термодинамика и кинетика пирометаллургии никелевых и медных руд : монография / А. М. Клюшников, Г. И. Мальцев. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. – 128 с. : ил., табл.  
ISBN 978-5-9729-1492-0

Рассматривается термодинамический анализ пирометаллургических переделов с прогнозированием выхода и состава образующихся продуктов. Расчёты равновесных составов фаз в оксидных и сульфидных системах, содержащих цветные металлы, выполнены с использованием программного комплекса HSC Chemistry (Outotec Research Oy). Получены термодинамические данные для смеси предварительно обожженных окисленных никелевых и сульфидных медных руд. Даны сведения о кинетике и механизме обжига для определения удельной производительности печи кипящего слоя, температуры и продолжительности ведения процесса.

Для технических специалистов в цветной металлургии и студентов, обучающихся по профильным специальностям.

УДК 536:544.42:669.24/.33

ББК 22.317+33.4

ISBN 978-5-9729-1492-0

© Клюшников А. М., Мальцев Г. И., 2023

© Издательство «Инфра-Инженерия», 2023

© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2023

## ОГЛАВЛЕНИЕ

---

Введение .....	4
Глава 1. Технологии переработки сульфидных руд .....	5
1.1. Физико-химические процессы пирометаллургии рудного сырья .....	14
1.2. Термодинамические основы пирометаллургии рудного сырья .....	18
1.3. Кинетические основы пирометаллургии рудного сырья .....	18
1.4. Характеристика медной колчеданной руды .....	22
1.5. Продукты окислительного обжига медной колчеданной руды .....	28
Глава 2. Термодинамический анализ пирометаллургии никелевых и медных руд .....	36
2.1. Методики моделирования .....	36
2.2. Термодинамическое моделирование плавки никелевой и медной руд .....	44
2.3. Термодинамическое моделирование плавки никелевой и огарка медной руд .....	53
2.4. Термодинамическое моделирование плавки никелевой руды и огарка пирротинового концентрата .....	62
2.5. Оптимизация конвертирования штейна плавки никелевой и медной руд .....	64
2.6. Выводы .....	69
Глава 3. Кинетический анализ пирометаллургии никелевых и медных руд .....	72
3.1. Методики экспериментов .....	72
3.2. Кинетика обжига медной руды .....	78
3.3. Кинетика и механизм обжига пирротинового концентрата .....	99
3.4. Выводы .....	104
Библиографический список .....	107
Приложение .....	122