



«Инфра-Инженерия»

О. С. Лехов
А. В. Михалев



**УСТАНОВКА
НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ
И ДЕФОРМАЦИИ
ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА
СТАЛЬНЫХ ЛИСТОВ
И СОРТОВЫХ ЗАГОТОВОК**

**О. С. Лехов
А. В. Михалев**

**УСТАНОВКА НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ
И ДЕФОРМАЦИИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА
СТАЛЬНЫХ ЛИСТОВ
И СОРТОВЫХ ЗАГОТОВОК**

Монография

Москва Вологда
«Инфра-Инженерия»
2021

УДК 621.74+621.771
ББК 34.51
Л53

Рецензенты:

профессор кафедры металлургических и роторных машин УрФУ,
доктор технических наук *В. В. Каржавин*;
профессор кафедры обработки металлов давлением УрФУ,
доктор технических наук *Ю. Н. Логинов*

Лехов, О. С.

Л53 Установка непрерывного литья и деформации для производства стальных листов и сортовых заготовок : монография / О. С. Лехов, А. В. Михалев. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. – 304 с.
ISBN 978-5-9729-0593-5

Представлены результаты теоретического исследования напряженного состояния системы «бойки – полоса» при получении листов из стали на установке непрерывного литья и деформации. Определены напряжения в очаге циклической деформации и в бойках установки от усилия обжатия стальных полос. Дана сравнительная оценка напряженного состояния бойков различной конструкции от усилия обжатия и температурной нагрузки. Приведены результаты экспериментального исследования совмещенного процесса непрерывного литья и деформации на опытной установке.

Для инженерно-технических работников и студентов вузов.

УДК 621.74+621.771
ББК 34.51

ISBN 978-5-9729-0593-5

© Лехов О. С., Михалев А. В., 2021
© Издательство «Инфра-Инженерия», 2021
© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	7
1. Аналитический обзор	10
1.1. Технология и оборудование процессов непрерывного литья и деформации для производства стальных листов	10
1.2. Совмещенные процессы непрерывного литья и прокатки для производства листов из стали.....	13
1.3. Общая постановка задачи	18
2. Нагруженность и напряженное состояние системы бойки-полоса при получении стальной металлопродукции на установке совмещенного процесса непрерывного литья и деформации	20
2.1. Установка совмещенного процесса непрерывного литья и деформации	20
2.2. Исследование напряженно-деформированного состояния (НДС) металла в очаге циклической деформации при получении листов из стали для сварных труб	23
2.2.1. <i>Постановка задачи, исходные данные, расчетная схема и граничные условия</i>	23
2.2.2. <i>Результаты расчета напряжений и течения металла в очаге циклической деформации</i>	25
2.3. Исследование напряжений в бойках без каналов от усилия обжатия при получении листов из стали	29
2.3.1. <i>Постановка задачи, исходные данные и граничные условия</i>	29
2.3.2. <i>Теория решения краевых задач теории упругости методом конечных элементов в объемной постановке</i>	34
2.3.3. <i>Напряженное состояние бойков без каналов от усилия обжатия при получении листов из стали на установке непрерывного литья и деформации</i>	36
3. Расчет температурных полей и напряженного состояния бойков установки совмещенного процесса непрерывного литья и деформации	45
3.1. Методика расчета температурных полей и термоупругих напряжений в бойках установки в пакете ANSYS	45
3.2. Теория расчета температурных полей и термоупругих напряжений в бойках методом конечных элементов в объемной постановке.....	47
3.3. Определение системы коэффициентов для решения задач о тепловой нагруженности бойков	50

3.4. Численное определение плотности теплового потока по экспериментальным данным процесса деформации стальной полосы на опытной установке непрерывного литья и деформации.....	52
3.5. Расчет температурного поля бойков без каналов при получении стальных листов на установке непрерывного литья и деформации.....	59
4. Напряженное состояние бойков установки совмещенного процесса непрерывного литья и деформации при получении листов из стали	65
4.1. Расчет температурных полей и термоупругих напряжений в бойках с каналами установки при обжатии сляба и на холостом.....	65
4.1.1. Постановка задачи, исходные данные и граничные условия.....	65
4.1.2. Температурное поле бойков с каналами.....	69
4.1.3. Напряженное состояние бойков с каналами при обжатии сляба и охлаждении водой на холостом ходу	70
4.1.4. Распределение осевых термоупругих напряжений в приконтактном слое бойка с каналами при обжатии сляба и на холостом ходу	86
4.1.5. Распределение осевых термоупругих напряжений в приконтактном слое по длине бойка с каналами при обжатии сляба и на холостом ходу	93
4.1.6. Напряженное состояние бойков с каналами от усилия обжатия и температурной нагрузки при получении листов из стали на установке непрерывного литья и деформации	98
4.1.7. Распределение осевых суммарных напряжений по толщине и ширине приконтактного слоя бойков с каналами при обжатии сляба	106
4.2. Расчет температурных полей и напряжений в бойках без каналов установки при обжатии сляба и на холостом ходу.....	114
4.2.1. Постановка задачи, исходные данные и граничные условия.....	114
4.2.2. Результаты расчета температурного поля бойков без каналов.....	114
4.2.3. Напряженное состояние приконтактного слоя бойка без каналов от воздействия температурной нагрузки при обжатии сляба и при охлаждении водой на холостом ходу	117
4.2.4. Распределение осевых термоупругих напряжений по толщине и длине бойка без каналов при обжатии сляба и на холостом ходу	121

1.2.5. <i>Распределение осевых термоупругих напряжений в приконтактном слое по длине бойка без каналов при обжатии сляба и на холостом ходу</i>	124
4.2.6. <i>Напряженное состояние бойков без каналов от усилия обжатия и температурной нагрузки</i>	131
4.3. <i>Оценка напряженного состояния, выбор конструкции и материала бойков установки совмещенного процесса непрерывного литья и деформации при получении стальных листов</i>	138
5. Напряженно-деформированное состояние металла в очагах деформации при получении сортовых заготовок из стали на установке совмещенного процесса непрерывного литья и деформации	146
5.1. <i>Способ получения стальных сортовых заготовок на установке совмещенного процесса непрерывного литья и деформации</i>	146
5.2. <i>Постановка задачи, исходные данные, расчетная схема и граничные условия</i>	148
5.3. <i>Результаты расчета напряженно-деформированного состояния металла в очаге циклической деформации при получении трех сортовых заготовок</i>	153
5.3.1. <i>Напряженно-деформированное состояние металла в характерных точках сечения 1 очага деформации</i>	155
5.3.2. <i>Напряженно-деформированное состояние металла в характерных точках сечения 2 очага деформации</i>	157
5.3.3. <i>Напряженно-деформированное состояние металла в характерных точках сечения 3 очага деформации</i>	159
5.3.4. <i>Напряженно-деформированное состояние металла в характерных точках сечения 4 очага деформации</i>	163
5.3.5. <i>Распределение перемещений, напряжений и деформаций по характерным линиям поверхности очага деформации</i>	168
5.4. <i>Напряженно-деформированное состояние металла в зоне очага деформации при внедрении разделяющего бурта бойка в сляб</i>	177
5.4.1. <i>Постановка задачи, исходные данные и расчетная схема</i>	177
5.4.2. <i>Результаты расчета осевых перемещений и напряжений при внедрении разделяющего бурта бойка в сляб на величину 48 мм</i>	180
5.4.3. <i>Результаты расчета осевых перемещений и напряжений по линиям впадины очага деформации при внедрении бурта бойка в сляб</i>	185
5.4.4. <i>Результаты расчета осевых перемещений и напряжений по линиям ребра очага деформации при внедрении бурта бойка в сляб</i>	190

5.4.5. Результаты расчета осевых перемещений и напряжений в характерных точках при внедрении бурта бойка в сляб	194
6. Исследование напряжений в бойках с буртами при получении трех стальных сортовых заготовок на установке совмещенного процесса непрерывного литья и деформации.....	205
6.1. Постановка задачи, исходные данные и граничные условия	205
6.2. Напряженное состояние бойка с буртами от усилия обжатия.....	212
6.3. Расчет температурного поля калиброванного бойка с буртами установки непрерывного литья и деформации при получении сортовых заготовок.....	225
6.4. Исследование термоупругих напряжений в бойке с буртами при получении трех сортовых заготовок на установке совмещенного процесса непрерывного литья и деформации	238
6.4.1. Постановка задачи, исходные данные и граничные условия.....	238
6.4.2. Результаты расчета напряженного состояния бойков с буртами от температурной нагрузки	239
6.5. Напряженное состояние калиброванных бойков с буртами от усилия обжатия и температурной нагрузки при получении трех сортовых заготовок на установке непрерывного литья и деформации	259
7. Экспериментальное исследование совмещенного процесса непрерывного литья и деформации на опытно-промышленной установке ОАО «Уральский трубный завод»	276
7.1. Опытно-промышленная установка непрерывного литья и деформации ОАО «Уральский трубный завод».....	276
7.2. Оборудование участка непрерывного литья и деформации	279
7.3. Методика эксперимента, используемая аппаратура и датчики	280
7.4. Результаты экспериментального исследования	281
Заключение.....	286
Список литературы	291