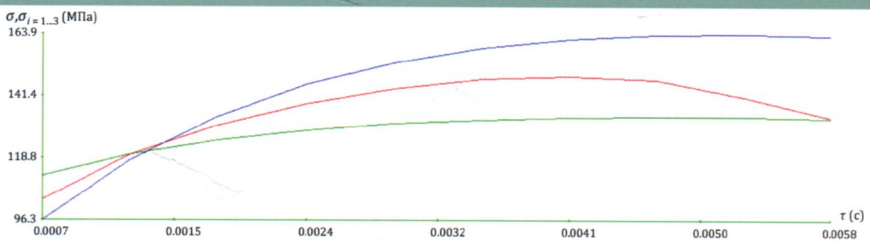


А. В. ЯКОВЧЕНКО,  
С. А. СНИТКО,  
Н. И. ИВЛЕВА

# МЕТОДЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА В ПРОЦЕССАХ ГОРЯЧЕЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ



**А. В. Яковченко, С. А. Снитко, Н. И. Ивлева**

**МЕТОДЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ  
НАПРЯЖЕНИЯ ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА В ПРОЦЕССАХ  
ГОРЯЧЕЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ**

Учебное пособие

Москва Вологда  
«Инфра-Инженерия»  
2023

УДК 621.771  
ББК 34.61  
Я47

*Рекомендовано ученым советом ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» в качестве учебного пособия для обучающихся образовательных учреждений высшего профессионального образования (протокол № 5 от 22.06.2018 г.)*

**Рецензенты:**

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой материаловедения  
ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет им. В. Даля»  
*Рябичева Людмила Александровна;*  
доктор технических наук, доцент, профессор кафедры механического  
оборудования заводов черной металлургии им. профессора В. Я. Седуша  
ГОУ ВПО «ДонНТУ» *Сотников Алексей Леонидович*

**Яковченко, А. В.**

**Я47** Методы компьютерного моделирования напряжения течения металла в процессах горячей пластической деформации : учебное пособие / А. В. Яковченко, С. А. Снитко, Н. И. Ивлева. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. – 276 с. : ил., табл.  
ISBN 978-5-9729-1479-1

Даны как фундаментальные положения о зависимости напряжения течения металла от температуры, степени и скорости деформации, так и современные представления, в соответствии с которыми эта зависимость является неоднозначной и определяется с учетом истории процесса нагружения, а также методы моделирования процесса динамического преобразования структуры при горячей деформации углеродистых сталей. Рассмотрены методы автоматизированного определения напряжения течения металла на основе экспериментальных кривых деформационного упрочнения.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 22.04.02 «Металлургия», магистерская программа «Обработка металлов давлением». Может быть полезно аспирантам по направлению подготовки 22.06.01 «Технологии материалов», специальность 05.16.05 «Обработка металлов давлением».

УДК 621.771  
ББК 34.61

ISBN 978-5-9729-1479-1

© Яковченко А. В., Снитко С. А., Ивлева Н. И., 2023  
© Издательство «Инфра-Инженерия», 2023  
© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2023

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	5
ГЛАВА 1. МЕТОДЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА.....	7
1.1. Метод автоматизированного определения напряжения течения металла на основе экспериментальных кривых деформационного упрочнения.....	8
1.2. Методы моделирования напряжения течения металла с учетом истории процесса нагружения .....	15
1.2.1. Моделирование напряжения течения металла на основе уравнения А. Надаи .....	15
1.2.2. Моделирование напряжения течения металла на основе уравнений теории ползучести.....	24
1.3. Метод моделирования напряжения течения металла с учетом процессов динамического преобразования структуры В. С. Солода, Я. Е. Бейгельмера, Р. Ю. Кулагина.....	27
ЛИТЕРАТУРА К ГЛАВЕ 1 .....	31
ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ К ГЛАВЕ 1 .....	32
ГЛАВА 2. АНАЛИЗ ИЗВЕСТНЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА НАПРЯЖЕНИЯ ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА.....	34
2.1. Метод расчета напряжения течения металла Л. В. Андреюка, Г. Г. Тюленева, Б. С. Прицкера.....	34
2.2. Метод расчета напряжения течения металла В. А. Николаева .....	41
2.3. Анализ точности методов расчета напряжения течения металла Л. В. Андреюка, Г. Г. Тюленева, Б. С. Прицкера и В. А. Николаева.....	45
2.4. Метод расчета напряжения течения металла В. И. Зюзина (метод термомеханических коэффициентов) .....	49
ЛИТЕРАТУРА К ГЛАВЕ 2 .....	52
ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ К ГЛАВЕ 2.....	53
ГЛАВА 3. МЕТОД РАСЧЕТА КОНСТАНТ ЭМПИРИЧЕСКИХ ФОРМУЛ.....	54
3.1. Методики определения напряжения течения металла в ручном и автоматизированном режимах .....	54
3.1.1. Кривые деформационного упрочнения, построенные при фиксированных значениях скоростей деформаций или температур.....	54
3.1.2. Кривые степенного, скоростного и температурного термомеханических коэффициентов.....	63

3.2. Метод расчета констант эмпирических формул расчета напряжения течения металла .....	70
3.2.1. Планирование эксперимента .....	70
3.2.2. Расчет констант эмпирических формул на базе метода наименьших квадратов .....	73
ЛИТЕРАТУРА К ГЛАВЕ 3 .....	79
ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ К ГЛАВЕ 3 .....	80
ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА ФОРМУЛ ДЛЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ, ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ И НЕРЖАВЕЮЩИХ МАРОК СТАЛЕЙ .....	81
4.1. Автоматизация расчета констант эмпирических формул .....	81
4.2. Анализ точности формул .....	93
4.3. Анализ точности экстраполяции .....	95
ЛИТЕРАТУРА К ГЛАВЕ 4 .....	100
ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ К ГЛАВЕ 4 .....	101
ГЛАВА 5. КОМПЬЮТЕРНАЯ БАЗА ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИИ О КРИВЫХ ДЕФОРМАЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ СТАЛЕЙ .....	102
5.1. Цифровая информация о кривых деформационного упрочнения, построенных при фиксированном значении скорости деформации .....	102
5.2. Цифровая информация о кривых деформационного упрочнения, построенных при фиксированном значении температуры .....	137
5.3. Цифровая информация о кривых деформационного упрочнения, полученная на основе степенного, скоростного и температурного термомеханических коэффициентов .....	141
ЛИТЕРАТУРА К ГЛАВЕ 5 .....	270
ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ К ГЛАВЕ 5 .....	271