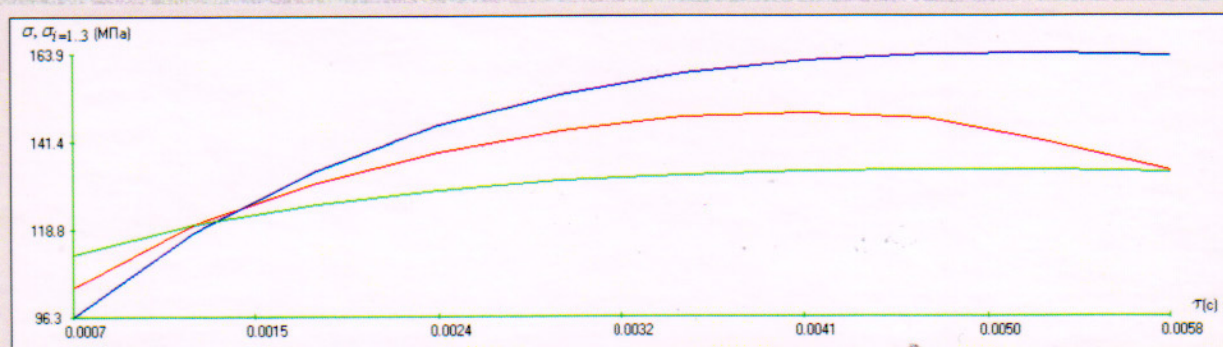


**А.В. Яковченко
С.А. Снитко
Н.И. Ивлева**

МЕТОДЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА В ПРОЦЕССАХ ГОРЯЧЕЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ



**Донецк
2018**

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

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

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

Учебное пособие
для обучающихся образовательных учреждений
высшего профессионального образования

Научно-технической
библиотеке

от авторов

Ч. 1. 29.05.2018.

Донецк
2018

УДК 621.771(075.8)

ББК 34.61я73

Я47

Рекомендовано Ученым советом
ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет»
в качестве учебного пособия для обучающихся образовательных учреждений
высшего профессионального образования
(Протокол № 5 от 22.06.2018)

Рецензенты:

Рябичева Людмила Александровна – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой материаловедения ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет им. В. Даля»;

Сотников Алексей Леонидович – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры механического оборудования заводов черной металлургии им. профессора В. Я. Седуша ГОУВПО «ДОННТУ».

Авторы:

Яковченко Александр Васильевич – доктор технических наук, профессор кафедры обработки металлов давлением ГОУВПО «ДОННТУ»;

Снитко Сергей Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры обработки металлов давлением ГОУВПО «ДОННТУ»;

Ивлева Наталья Ивановна – программист.

Яковченко, А. В.

Я47 Методы компьютерного моделирования напряжения течения металла в процессах горячей пластической деформации: учеб. пособие для обучающихся образоват. учреждений высш. проф. образования / А. В. Яковченко, С. А. Снитко, Н. И. Ивлева. – Донецк: ДОННТУ, 2018. – 197 с.

ISBN 978-966-8248-86-3

В учебном пособии нашли отражение 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. Приведена разработанная авторами методика автоматизированного расчета констант эмпирических формул (для расчета напряжения течения металла) на основе сплайн-интерполяции экспериментальной информации, теории планируемого эксперимента и метода наименьших квадратов. Для широкого сортамента марок сталей определены и приведены константы формул в виде, который предложил В. И. Зюзин, а также в виде полинома второй степени. Для конструкционных, инструментальных и нержавеющей марок сталей впервые разработана и представлена компьютерная база цифровой информации о кривых деформационного упрочнения. Для организации учебного процесса обучающихся создан комплекс специализированных компьютерных программ.

Для обучающихся 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(075.8)

ББК 34.61я73

© Яковченко А.В., Снитко С. А., Ивлева Н. И., 2018

© ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

ГЛАВА 1. МЕТОДЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА.....	6
1.1. Метод автоматизированного определения напряжения течения металла на основе экспериментальных кривых деформационного упрочнения.....	7
1.2. Методы моделирования напряжения течения металла с учетом истории процесса нагружения.....	14
1.2.1. Моделирование напряжения течения металла на основе уравнения А. Надаи.....	14
1.2.2. Моделирование напряжения течения металла на основе уравнений теории ползучести.....	23
1.3. Метод моделирования напряжения течения металла с учетом процессов динамического преобразования структуры В.С. Солода, Я.Е. Бейгельзимера, Р.Ю. Кулагина.....	26
ЛИТЕРАТУРА К ГЛАВЕ 1	29
ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ К ГЛАВЕ 1.....	30
 ГЛАВА 2. АНАЛИЗ ИЗВЕСТНЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА НАПРЯЖЕНИЯ ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА.....	 32
2.1. Метод расчета напряжения течения металла Л.В. Андреюка, Г.Г. Тюленева, Б.С. Прицкера.....	32
2.2. Метод расчета напряжения течения металла В.А. Николаева.....	39
2.3. Анализ точности методов расчета напряжения течения металла Л.В. Андреюка, Г.Г. Тюленева, Б.С. Прицкера и В.А. Николаева.....	43
2.4. Метод расчета напряжения течения металла В.И. Зюзина (метод термомеханических коэффициентов)	47
ЛИТЕРАТУРА К ГЛАВЕ 2	50
ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ К ГЛАВЕ 2.....	50
 ГЛАВА 3. МЕТОД РАСЧЕТА КОНСТАНТ ЭМПИРИЧЕСКИХ ФОРМУЛ	 52
3.1. Методики определения напряжения течения металла в ручном и автоматизированном режимах.....	52
3.1.1. Кривые деформационного упрочнения, построенные при фиксированных значениях скоростей деформаций или температур.....	52
3.1.2. Кривые степенного, скоростного и температурного термомеханических коэффициентов.....	61
3.2. Метод расчета констант эмпирических формул расчета напряжения течения металла	68

3.2.1. Планирование эксперимента.....	68
3.2.2. Расчет констант эмпирических формул на базе метода наименьших квадратов.....	71
ЛИТЕРАТУРА К ГЛАВЕ 3.....	76
ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ К ГЛАВЕ 3.....	77
ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА ФОРМУЛ ДЛЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ, ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ И НЕРЖАВЕЮЩИХ МАРОК СТАЛЕЙ....	78
4.1. Автоматизация расчета констант эмпирических формул.....	78
4.2. Анализ точности формул.....	90
4.3. Анализ точности экстраполяции.....	92
ЛИТЕРАТУРА К ГЛАВЕ 4.....	96
ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ К ГЛАВЕ 4.....	97
ГЛАВА 5. КОМПЬЮТЕРНАЯ БАЗА ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИИ О КРИВЫХ ДЕФОРМАЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ СТАЛЕЙ.....	98
5.1. Цифровая информация о кривых деформационного упрочнения, построенных при фиксированном значении скорости деформации.....	98
5.2. Цифровая информация о кривых деформационного упрочнения, построенных при фиксированном значении температуры.....	126
5.3. Цифровая информация о кривых деформационного упрочнения, полученная на основе степенного, скоростного и температурного термомеханических коэффициентов.....	129
ЛИТЕРАТУРА К ГЛАВЕ 5	193
ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ К ГЛАВЕ 5.....	194