



Министерство образования и науки, молодёжи и спорта Украины  
Донбасская государственная машиностроительная академия (ДГМА)

**В. М. Семенов, А. Ю. Деньщиков, С. В. Подлесный**

**РАСЧЕТ МОДЕЛЕЙ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ  
ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА СНИЖЕНИЯ  
ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ  
В ЭЛЕМЕНТАХ КОНСТРУКЦИЙ МЕТОДОМ  
ВИБРАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ**

**Монография**

Утверждено  
на заседании  
ученого совета  
Протокол № 3 от 25.10.2012

Краматорск  
ДГМА  
2012

УДК 539.4.014:621.7.019.5

ББК 34.58

С 30

#### Рецензенты:

*Кузьо И. В.*, д-р техн. наук, проф., зав. каф. механики и автоматизации машиностроения, Национальный университет «Львовская политехника»;

*Марченко И. К.*, д-р техн. наук, проф., гл. науч. сотр. Научно-исследовательского и проектно-технологического института машиностроения.

Викладено питання теорії й технології процесу віброоброблення, результати експериментальних досліджень. Розглянуто методи контролю залишкових напружень, контролю й управління процесом вібраційного оброблення. Вивчено досвід впровадження технології віброоброблення у виробництві.

Монографія призначена для наукових та інженерно-технічних працівників машинобудівної галузі, студентів і аспірантів машинобудівних спеціальностей ВНЗ.

#### Семенов, В. М.

С 30 Расчет моделей и экспериментальные исследования процесса снижения остаточных напряжений в элементах конструкций методом вибрационной обработки : монография / В. М. Семенов, А. Ю. Деньщиков, С. В. Подлесный. – Краматорск : ДГМА, 2012. – 136 с.

ISBN 978-966-379-601-7.

Изложены вопросы теории и технологии процесса виброобработки, результаты экспериментальных исследований. Рассмотрены методы контроля остаточных напряжений, контроля и управления процессом вибрационной обработки. Изучен опыт внедрения технологии виброобработки в производстве.

Монография предназначена для научных и инженерно-технических работников машиностроительной отрасли, студентов и аспирантов машиностроительных специальностей вузов.

УДК 539.4.014:621.7.019.5

ББК 34.58

© В. М. Семенов, А. Ю. Деньщиков,  
С. В. Подлесный, 2012

© ДГМА, 2012

ISBN 978-966-379-601-7

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
РАЗДЕЛ 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА О ВИБРАЦИОННОЙ ОБРАБОТКЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ .....	6
1.1 Анализ источников возникновения остаточных напряжений .....	6
1.2 Способы снижения остаточных напряжений.....	8
1.3 Теоретические методы определения остаточных напряжений ..	11
1.4 Экспериментальные исследования процесса вибрационной обработки с целью снижения остаточных напряжений .....	13
1.5 Методы контроля величины остаточных напряжений.....	15
1.6 Металлофизические представления о механизме вибрационного старения.....	20
1.6.1 Теоретические представления о механизме вибрационного старения.....	20
1.6.2 Реологические модели, описывающие механизм вибрационного старения.....	25
РАЗДЕЛ 2. МЕХАНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВИБРАЦИОННОЙ РЕЛАКСАЦИИ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В МЕТАЛЛАХ .....	28
2.1 Обоснование выбора математической модели .....	28
2.2 Условия возникновения скольжения и длительной релаксации .....	34
2.3 Влияние параметров механической модели на скорость релаксации .....	36
2.4 Анализ свойств механической модели .....	38
РАЗДЕЛ 3. ВИБРООБРАБОТКА СТЕРЖНЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ .....	40
3.1 Описание экспериментальной установки.....	40
3.2 Описание и проверка точности измерительных систем .....	41
3.3 Проведение экспериментальных исследований .....	44
РАЗДЕЛ 4. ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИБРАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ НА ДЕФОРМАЦИИ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ .....	47
4.1 Влияние вибрационной обработки на размерную стабильность балки коробчатого сечения .....	47
4.2 Сварочные деформации в корпусах редукторов .....	49
4.3 Замена термической обработки вибрационной при сварке клапанов горячего дутья.....	51
4.4 Снижение короблений после сварки методом вибрационного старения .....	55
4.4.1 Виброобработка конструкции в свободном состоянии.....	55
4.4.2 Виброобработка конструкций с использованием дополнительных приспособлений.....	57

<b>РАЗДЕЛ 5. ВЛИЯНИЕ ВИБРОБРАБОТКИ НА ВЕЛИЧИНЫ НАПРЯЖЕНИЙ В СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ</b> .....	61
5.1 Снижение напряжений в балках двутаврового поперечного сечения .....	61
5.2 Сравнительная оценка влияния вибро- и термообработки на остаточные напряжения в тавровой балке .....	69
5.3 Влияние виброобработки на остаточные напряжения в опоре свода доменной печи .....	72
5.4 Снижение напряжений в корпусах редукторов .....	75
5.5 Снижение напряжений в ригеле бурового оборудования .....	80
5.6 Обработка с целью снижения величины остаточных напряжений в барабанах грохотов .....	85
<b>РАЗДЕЛ 6. ПРОВЕДЕНИЕ ВИБРАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ КОНСТРУКЦИЙ С КОНТРОЛЕМ ПО КОСВЕННЫМ ПРИЗНАКАМ</b> ...	92
6.1 Конструкции типа «большой» и «малый» балансиры .....	92
6.2 Замена термической обработки узлов МВ-1500-00.02.00 «Балка моста» вибрационной обработкой .....	98
6.3 Замена термической обработки вибрационной обработкой литых изделий .....	105
<b>РАЗДЕЛ 7. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИБРАЦИОННОГО СТАРЕНИЯ НА КОМБИНИРОВАННЫЕ ЛИТЕЙНО-СВАРНЫЕ ДЕТАЛИ</b> .....	113
<b>РАЗДЕЛ 8. ПРОВЕДЕНИЕ ВИБРАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ИЗЛОЖНИЦ</b> .....	118
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ</b> .....	122