

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение . . . . .	6
<b>Глава 1. Физические (релаксационные) состояния и переходы в полимерах . . . . .</b>	<b>12</b>
1.1. Особенности молекулярного строения полимеров . . . . .	12
1.2. Релаксационные состояния аморфных полимеров. Термомеханическая кривая . . . . .	15
1.3. Высокоэластическое и стеклообразное состояния полимеров и релаксационный переход (стеклование–размягчение). . . . .	18
1.4. Модели термомеханического поведения материалов в переходных процессах . . . . .	21
1.5. Экспериментальные методы определения остаточных напряжений в полимерных изделиях . . . . .	31
<b>Глава 2. Модели термомеханического поведения полимерных материалов в условиях стеклования (размягчения) . . . . .</b>	<b>33</b>
2.1. Определяющие соотношения термомеханического поведения стеклующегося полимера в одноосном случае. Выражение для удельной свободной энергии в «упругом» приближении . . . . .	34
2.2. Определяющие соотношения термомеханического поведения стеклующегося полимера в одноосном случае. Анализ эволюции жесткости в процессе релаксационного перехода . . . . .	36
2.3. «Кинетика» стеклования. Различные законы распределения . . . . .	38
2.4. Модельная задача. Аналитическое описание простейших режимов одноосного термосилового нагружения . . . . .	40
2.5. Экспериментальное обеспечение определяющих соотношений для полимерного материала и проверочные эксперименты . . . . .	44
2.5.1. Прибор для измерения переходных процессов в полимерах (45). 2.5.2. Методика изготовления образцов (46). 2.5.3. Проведение экспериментов (47). 2.5.4. Определение параметров физических уравнений по результатам термомеханических испытаний (51).	
2.6. Определяющие соотношения термомеханического поведения стеклующегося полимера с учетом вязкоупругих свойств стеклообразного состояния . . . . .	55
2.7. Сравнительный анализ различных моделей . . . . .	58
2.7.1. Гипоупругая модель В.В. Болотина (58). 2.7.2. Модель мгновенного стеклования И.И. Бугакова (60). 2.7.3. Реологическая модель Александрова–Лазуркина–Гуревича (64).	

2.8. Модельная задача. Анализ закономерностей формирования технологических и остаточных напряжений в пакете стержней . . .	65
<b>Глава 3. Определяющие соотношения термомеханического поведения стеклующегося полимера для сложного напряженного состояния . . . . .</b>	<b>74</b>
3.1. Определяющие соотношения термомеханического поведения стеклующегося полимера для сложного напряженного состояния. Вывод через свободную энергию в «упругом» приближении . . .	74
3.2. Определяющие соотношения термомеханического поведения стеклующегося полимера для сложного напряженного состояния. Вывод в приращениях с учетом вязкоупругих свойств стеклообразного состояния . . . . .	76
3.3. Термодинамическое обоснование определяющих соотношений. Термодинамические ограничения на материальные функции и константы . . . . .	79
<b>Глава 4. Численный анализ напряжений и деформаций в стеклующихся телах . . . . .</b>	<b>84</b>
4.1. Постановка краевой задачи термомеханики стеклующегося тела	84
4.2. Алгоритм численного пошагового решения задачи методом конечных элементов . . . . .	86
4.3. Особенности численного алгоритма при учете вязкоупругих свойств . . . . .	88
4.4. Численный анализ технологических и остаточных напряжений в коротком сплошном стеклующемся эпоксидном цилиндре. Учет вязкоупругих свойств . . . . .	91
4.5. Адаптация определяющих соотношений в пакет ANSYS. . . . .	95
<b>Глава 5. Экспериментально-теоретическое исследование остаточных напряжений в осесимметричных изделиях . . . . .</b>	<b>99</b>
5.1. Экспериментальное определение остаточных напряжений в крупногабаритных эпоксидных цилиндрах. Метод разрезки колец . .	99
5.2. Экспериментальное определение остаточных напряжений в крупногабаритных эпоксидных цилиндрах. Поляризационно-оптический метод . . . . .	105
<b>Глава 6. Определяющие соотношения для волокнистого композиционного материала в условиях стеклования и размягчения связующего . . . . .</b>	<b>108</b>
6.1. Определяющие соотношения для волокнистого композита . . . .	108
6.1.1. Представление удельной свободной энергии стеклующегося композиционного материала (108). 6.1.2. Изменение жесткостных свойств композиционного материала в процессе стеклования связующего (111). 6.1.3. Сравнение полученных типов определяющих соотношений (113).	

6.2. Прогнозирование эффективных характеристик волокнистого композита на основе численных экспериментов . . . . .	120
6.2.1. Постановка задачи (121). 6.2.2. Конечно-элементная реализация (127).	
<b>Глава 7. Прогнозирование и оптимизация технологических напряжений в конструкциях из полимерных и композиционных материалов . . . . .</b>	<b>136</b>
7.1. Напряженно-деформированное состояние полого цилиндра в условиях охлаждения с повторным подогревом. . . . .	136
7.2. Исследование остаточного напряженного состояния многослойного композиционного маховика . . . . .	141
7.3. Эволюция технологических напряжений в композиционной панели с сотовым наполнителем. . . . .	145
7.3.1. Постановка задачи (145). 7.3.2. Экспериментальное обеспечение модели (148). 7.3.3. Численный алгоритм и результаты (150).	
7.4. Регулирование остаточных напряжений в изделиях из стеклующихся полимеров дополнительным силовым и кинематическим воздействием . . . . .	154
7.4.1. Постановка задачи оптимизации (154). 7.4.2. Иллюстративный пример: минимизация остаточных напряжений в пакете стержней (159).	
Список литературы . . . . .	165