

УДК: 691:624.046.5

ГРАНИЦЫ РАБОТОСПОСОБНОСТИ КОМПОЗИТНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В.П. Ярцев, О.А. Киселева

Кафедра «Конструкции зданий и сооружений», ТГТУ

Представлена членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым

Ключевые слова и фразы: долговечность; композиты; прочность; работоспособность; температура.

Аннотация: Выявлены аналитические зависимости, описывающие границы работоспособности (прочностные, временные и температурные) композитных и конструкционных материалов. Исследовано влияние различных факторов на физические и эмпирические константы, определяющие работоспособность. Показаны пути регулирования работоспособности композитных строительных материалов.

К композитным строительным материалам относятся бетоны, полимербетоны, древесные плиты и пластики, стеклопластики и т.д. Для таких материалов характерна сложная неоднородная структура, что осложняет прогнозирование их работоспособности по двум группам предельных состояний. По первой группе предельных состояний, связанной с разрушением материала, можно рассчитать границы прочностной работоспособности, по второй группе предельных состояний, связанной с потерей конструктивной определенности, – границы деформационной работоспособности.

Для любого материала существуют три взаимосвязанные границы работоспособности:

силовая (прочность или текучесть σ)

$$\sigma = \frac{1}{\gamma} \left(U_0 - \frac{2,3RT}{1 - T/T_m} \lg \frac{\tau}{\tau_m} \right), \quad (1)$$

временная (долговечность τ)

$$\tau = \tau_m \exp \left[\frac{U_0 - \gamma\sigma}{RT} \left(1 - \frac{T}{T_m} \right) \right] \quad (2)$$

и температурная (термостойкость или теплостойкость T)

$$T = \left(\frac{1}{T_m} + \frac{2,3R}{U_0 - \gamma\sigma} \lg \frac{\tau}{\tau_m} \right)^{-1}, \quad (3)$$

где γ , U_0 , T_m и τ_m – физические константы материала: γ – структурно-механическая константа; U_0 – максимальная энергия активации размягчения или

разрушения; T_m – предельная температура существования твердого тела; τ_m – минимальная долговечность (период колебания кинетических единиц); R – универсальная газовая постоянная.

Поведение границ качественно одинаково. Повышение или понижение любой из них компенсируется изменением двух других. В комплексе они определяются небольшой группой одних и тех же физических констант (τ_m , U_m , γ и T_m), связанных с составом, строением и структурой материала (композита). Для одновременного повышения трех границ работоспособности необходимо направлено регулировать константы: повышать T_m , τ_m , U_0 и понижать γ [1, 2]. Концепция Журкова о механизме поведения твердых тел под нагрузкой и формулы (1) – (3) дают основу для регулирования физических констант [3].

Термофлуктуационная концепция разрушения и деформирования универсальна для любых твердых тел, однако вид описывающей ее зависимости связан со структурой материала. Для материалов со стабильной структурой зависимости в координатах $\lg \tau - \sigma$ имеют вид семейства прямых, сходящихся в пучок (рис. 1, а), описываемый уравнениями (1) – (3). При нестабильной структуре твердого тела зависимости меняются и принимают вид семейства параллельных прямых (рис. 1, б), сходящихся в «обратный» пучок (рис. 1, в), изогнутых линий (рис. 1, г). Эти зависимости описываются уравнениями:

$$\text{для параллельных прямых} \quad \tau = \tau_* \exp\left(\frac{U}{RT}\right) \exp(-\beta\sigma), \quad (4)$$

$$\text{для обратного пучка} \quad \tau = \tau_m^* \exp\left[\frac{U_0^* - \gamma^* \sigma}{RT} \left(\frac{T_m^*}{T} - 1\right)\right], \quad (5)$$

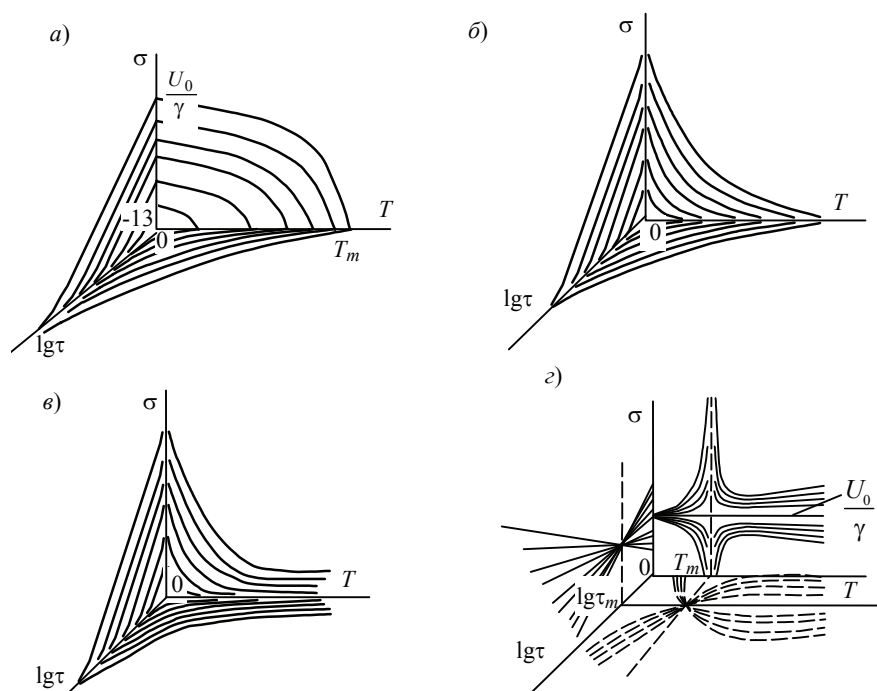


Рис. 1 Схемы границ работоспособности композитных материалов для:
 а – прямого пучка; б – параллельных прямых;
 в – параллельных кривых; г – обратного пучка

для кривых линий
$$\tau = B\sigma^{-m} \exp\left(\frac{U}{RT}\right), \quad (6)$$

где U – эффективная энергия активации разрушения; β – структурно-механический фактор; U_0^* , γ^* , T_m^* , τ_m^* , τ_* , B и m – эмпирические константы.

Пределные значения границ работоспособности (прочностной и деформационной) можно представить графически (рис. 1).

Из рисунка видно, что формально максимальная долговечность может быть бесконечной при абсолютном нуле, что нереально. При конечных температурах максимальная долговечность будет в отсутствии нагрузки; это отвечает времени, необходимому для термодеструкции [2, 4].

Проведены исследования по выявлению различных причин (факторов), приводящих к изменению констант. На физические и эмпирические константы композитов оказывают влияние различные факторы: структура материала, размеры наполнителя, его дисперсность и качество, вид нагрузки, а также направление ее действия, наличие концентратора напряжений, агрессивных и климатических факторов [3]. Полученные результаты обобщены в табл. 1.

Таблица 1

Зависимость физических и эмпирических констант от различных факторов при хрупком разрушении (Р) и деформировании (Д) [2]

Фактор	Вид зависимости	Физические и эмпирические константы								Параметры работоспособности					
		τ_m		T_m		U_0		γ		τ		σ		T	
		Р	Д	Р	Д	Р	Д	Р	Д	Р	Д	Р	Д	Р	Д
Наполнение	Пост.	=↑	≈↑	↑↓	↑	=↑	≈↑	↓↑	↓	↑	↑	↑	↑		
Дисперсность и качество наполнителя		↑↓	-	↓↑	-	↑↓	-	↑↓	-	↓↑	-	↓↑	-	↓↑	-
Размеры наполнителя	Изм.	↑↓	↑↓	↓↑	↓↑	↑↓	↓↑	↓↑	↓↑	↓↑	↓↑	↓↑	↓↑	↓↑	↓↑
Пластификация	Пост.	=	↑	↓	↓	=	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↓	-	-
Химическая стабилизация		=	≈	↑↓	≈	↑	=	≈	≈	↑	≈	↑	≈	-	-
Полярность		=	↓	↑	↑	=	↑	↓	↓	↑	↑	↑	↑	-	-
Кристалличность		=	-	↑	↑	=	↑	-	-	↑	↑	↑	↑	-	-
Структурирование		=	=	-	=	=	↑	-	↑	-	↑	-	↑	-	-
Предварительная вытяжка		=	=	↑	≈	=	↑	↓	↑	↑	↑	↑	↑	-	-
Введение концентратора напряжений:															
а) без ориентации материала	Изм.	=	=	↑	↓	↓	↑	↓	↑	↑		↑		-	-
б) с ориентацией материала		↑	-	≈↓	-	↓↑	-	↓↑	-	>>	-	>>	-	≈↑	-
Вид нагрузки	Пост.	=	=	=	=	=	=	↓↑	↓↑	↓↑	↓↑	↓↑	↓↑		
Направление силового воздействия		=	-	≈	-	↑↓	-	↑↓	-	↓↑	-	↓↑	-	↓↑	-
Агрессивная среда		↓	-	-	-	↓	-	↑	-	↓	-	↓	-	↓	-
Климатические факторы:															
а) суточные колебания температуры и влажности		=	-	=	-	=	-	=	-	↓	-	↓	-	-	-
б) годовые циклы замораживания-оттаивания		=	-	=	-	=	-	=	-	↓	-	↓	-	-	-

Примечание: ↑ – повышается; ↓ – снижается; >> – незначительно повышается; ≈ – почти неизменно; = – неизменно.

Из табл. 1 видно, что вид нагрузки и направление силового воздействия, а также кристалличность, структурирование и предварительная вытяжка существенно влияют только на структурно-механическую константу (γ). Размеры, дисперсность и качество наполнителя, а также наличие в древесных композитах концентратора напряжений оказывают влияние на все константы. При этом уменьшение размеров древесных частиц и их ориентация (технологическая или вокруг отверстия при его сверлении) приводят к изменению характера зависимостей при разрушении и деформировании [2, 3]. Следует также отметить, что при деформировании полимерных материалов введение в них пластификаторов приводит к изменению всех констант.

К увеличению параметров работоспособности приводит также наличие облицовки, полярность, кристалличность, структурирование и предварительная вытяжка. Концентратор напряжений по-разному действует на работоспособность древесных композитов. Для ДСП она незначительно повышается, а для ДВП существенно снижается. Это, по-видимому, связано с изменением плотности и ориентации древесных частиц при сверлении отверстий в древесностружечных плитах. Для пенополистирола при введении концентратора напряжений также наблюдается увеличение работоспособности [5]. Изменение плотности по-разному действует на работоспособность. Например, с увеличением плотности ДВП работоспособность значительно повышается, а ДСП практически не изменяется. Остальные факторы (уменьшение размеров стружки в древесностружечных плитах, снижение дисперсности наполнителя и его качество, введение пластификаторов, а также воздействие агрессивных сред и климатических факторов) приводят к снижению работоспособности композитных материалов.

Основываясь на результатах, подытоженных в табл. 1, можно направлено регулировать физические и эмпирические константы, а также работоспособность конструкционных (композитных) материалов в строительных изделиях и конструкциях.

Список литературы

1. Ратнер С.Б. Пути перехода от испытаний образца к прогнозу работоспособности деталей из пластмасс / С.Б. Ратнер, В.П. Ярцев // Обзор. инф. Сер. Пластические массы и синтетические смолы. – М.: НИИГЭХИМ, 1982. – 40 с.
2. Ратнер С.Б. Физическая механика пластмасс. Как прогнозируют работоспособность? / С.Б. Ратнер, В.П. Ярцев – М.: Химия, 1992. – 320 с.
3. Киселева О.А. Прогнозирование работоспособности древесностружечных и древесноволокнистых композитов в строительных изделиях / О.А. Киселева // Дис... канд. техн. наук: 05.23.05. – Воронеж, 2003. – 205 с.
4. Ярцев В.П. Физико-технические основы работоспособности органических материалов в деталях и конструкциях / В.П. Ярцев // Автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.23.05. – Воронеж, 1998. – 42 с.
5. Андрианов К.А. Прогнозирование долговечности (работоспособности) пенополистирола в ограждающих конструкциях зданий / К.А. Андрианов // Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.23.05. – Пенза, 2002. – 24 с.

Borders of Serviceability of Composite Construction Materials

V.P. Yartsev, O.A. Kiselyova

Department «Construction of Buildings and Structures», TSTU

Key words and phrases: composites; serviceability; durability; strength; temperature.

Abstract: Analytical dependences describing borders of serviceability (strength, time and temperature) of composite and constructional materials are revealed. Influence of various factors on the physical and empirical constants determining serviceability is studied. Ways of adjustment of serviceability of composite construction materials are shown.

Grenzen der Arbeitsfähigkeit der Kompositbaustoffe

Zusammenfassung: Es sind die analytischen Abhängigkeiten, die die Grenzen der Arbeitsfähigkeit (festigkeitliche, temporale und temperaturische) der Komposit- und Konstruktionsstoffe gezeigt. Es ist der Einfluß verschiedener Faktoren auf die physikalischen und empirischen Konstanten, die die Arbeitsfähigkeit bestimmen, untersucht. Es sind die Wege der Regelung der Arbeitsfähigkeit der Kompositbaustoffe aufgezeigt.

Limites de la capacité de travail des matériaux composites de construction

Résumé: Sont déduites les dépendances analytiques décrivant les limites de la capacité (de la rigidité, du temps, de la température) des matériaux composites de construction. Est étudiée l'influence de différents facteurs sur les constants physiques et empiriques déterminant la capacité de travail. Sont montrées les voies de la réglementation de la capacité de travail des matériaux composites de construction.
