

УДК 629.113.011

**А.А. Ветрогон, доцент, канд. техн. наук,****В.Н. Торлин, профессор, д-р техн. наук,****Л.И. Соустова, ассистент***Севастопольский национальный технический университет**ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Украина, 99053***ХОЛОДНАЯ ПОЛЗУЧЕСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ КУЗОВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ**

*Рассматривается методика оценки влияния деформации холодной ползучести элементов кузовных конструкций из алюминиевых сплавов при нагрузках, составляющих менее половины расчетных. Показано, что в течении ограниченного периода эксплуатации автомобиля деформации ползучести могут превзойти величину поля допуска на размеры координат базовых точек кузовной конструкции.*

**Ключевые слова:** *холодная ползучесть, деформация ползучести, кузовные конструкции*

**Постановка проблемы.** В настоящее время рынок автомобилей, кузовные конструкции которых изготавливаются из алюминиевых сплавов, непрерывно растет. Среди них известные модели ведущих производителей, таких как Audi, Mercedes, BMW, Peugeot, Renault, Citroen, Volvo и др. Тенденция дальнейшего увеличения количества этой категории транспортных средств обуславливается двумя преимуществами алюминия по сравнению со сталью:

- значительное снижение веса конструкции;
- высокая коррозионная стойкость алюминия.

Однако более низкие физико-механические свойства алюминиевых сплавов по сравнению со сталью требуют в процессе эксплуатации транспортных средств с кузовами из алюминия применять специальные методы диагностирования, обслуживания и ремонта [1]. Одно из свойств алюминиевых сплавов, снижающее их конкурентоспособность – это ползучесть при комнатной температуре и при нагрузках ниже предела прочности [2]. Ползучесть является причиной изменения геометрии конструкции и накопления повреждений в структуре материала, что необходимо учитывать при оценке эксплуатационных свойств автомобиля, содержащего элементы из алюминиевых сплавов.

**Анализ публикаций.** Алюминиевые сплавы давно применяются в авиации, в связи с чем их свойства и поведение под нагрузкой достаточно полно освещены в литературе [2, 3]. Особый интерес представляют собой задачи анализа деформаций ползучести алюминия при циклическом воздействии [4, 5]. В [3] рассмотрены задачи теории ползучести для различных элементов конструкций, таких как балки, фермы, стержни, рамы, пластины, оболочки и др., приводятся соответствующие дифференциальные уравнения и методы их интегрирования при различных зависимостях между напряжениями и деформациями. В [4] рассмотрены модели и методы анализа процессов релаксации и ползучести при неоднократном нагружении.

**Цель и постановка задачи.** Целью настоящей работы является разработка критериев оценки влияния свойств материала на эксплуатационные показатели элементов кузовных конструкций из алюминиевых сплавов, основанных на анализе процесса холодной ползучести при напряжениях, меньших предела прочности.

Для достижения этой цели необходимо рассмотреть ряд задач теории ползучести для элементов конструкции, нагружаемых до определенного уровня напряжений, что позволит составить критериальную основу оценки влияния свойств материала на эксплуатационные показатели элементов кузовных конструкций.

**Материалы и результаты исследования.** Для оценки величины деформации ползучести, возникающей в элементах кузовной конструкции, рассмотрим две типовые задачи теории ползучести для балки длиной  $L$ , опирающейся на две опоры и нагруженную в первой задаче сосредоточенной силой  $P_z$ , а во второй распределенной нагрузкой  $q(x)$ . Деформацию, возникающую за счет ползучести материала балки, представим следующим уравнением теории ползучести [3]

$$\frac{\partial^2 w_c}{\partial z^2} = \left( \frac{M_x}{J_x} \right)^n \Omega(t), \quad (1)$$

где  $w_c$  – деформация ползучести, в первом случае:  $M_x = -P_z[bx(L^2 - b^2)/6L - bx^3/6L]$ , во втором случае:  $M_x = q/2(Lx - x^2)$  – расчетный изгибающий момент;

$J_x$  – обобщенный момент инерции сечения балки;

$\Omega(t) = \alpha + \beta t$  – функция ползучести на стадии установившейся деформации;

$n, \alpha, \beta$  – эмпирические коэффициенты;

$t$  – время;

$a, b$  – расположение силы  $P_z$ ;

$x, z$  – прямоугольные координаты;

Связь между напряжениями и деформациями представим в виде

$$w_c(t) = \Omega(t)\sigma^n, \quad (2)$$

здесь  $\sigma$  – напряжение в балке.

Обычно известно уравнение изгиба балки второго порядка, которое моделирует упругую деформацию балки. В данном случае в модель (1)-(2) входит время, что позволяет рассматривать поведение объекта во времени независимо от величины приложенной нагрузки. Процесс рассматривается при комнатной температуре.

Решение задачи (1) – (2) для балки, нагруженной силой  $P_z$ , было получено в виде:

$$w_c(t) = P_z^n \frac{L^{n+2}}{(n+2)4^{n+2}D}, \quad (3)$$

для случая нагрузки  $q = \text{const}$  в виде:

$$w_c(t) = \left( \frac{n!2^n}{15(2n+1)} - \frac{1}{n+1} \right) \frac{L^2}{4D} \left( \frac{qL^2}{8} \right)^n, \quad (4)$$

где  $D = J_x^n \Omega(t)^{-1}$  – обобщенная жесткость балки.

Иследуем выражения (3)-(4), которые позволяют сравнивать деформации ползучести с обычными, имеющими место в момент приложения нагрузки. Сравнительный анализ проведем для балки, имеющей следующие размеры: длина  $L=520$  мм,  $b=60$  мм,  $h=40$  мм, материал D16, имеющий  $E=72000$  МПа,  $\nu=0.34$ ,  $\sigma_b=510$  МПа,  $n=6$ ,  $\alpha=0.12$ ,  $\beta=0.026$ ,  $a=b=260$  мм,  $P_z=2500$  Н,  $q=0.0008$  Н/м<sup>2</sup>. Результаты счета приведены в таблице.

Таблица 1 – Результаты расчета прогиба балки

Нагрузка	Максимальная деформация, $10^3$ , мм при $t=0$	$w_c, 10^3$ , мм при $t=20$ час	$w_c, 10^3$ , мм при $t=40$ час	$w_c, 10^3$ , мм при $t=70$ час
$P_z$	0.687	0.728	1.537	3.213
$q$	0.143	0.152	0.275	0.519

Как видно из таблицы прогиб балки с течением времени увеличивается. Для кузовных конструкций, имеющих допуск на расположение базовых точек  $\pm 0.5$  мм, деформация ползучести во время эксплуатации может выйти за пределы поля допуска.

Напряжения, возникающие при данной нагрузке в подобных элементах кузовных конструкций, определяются по известной формуле [6]:

$$\sigma = M_{max}/W, \quad (5)$$

и составляют 23.3% от  $\sigma_b$ . При действии динамических нагрузок, характерных для движения транспортных средств по дорогам с плохим покрытием, напряжения в элементах конструкции могут достигать предела прочности, при этом скорость ползучести возрастает в несколько раз [4].

#### Выводы

1. Приведенные результаты показали, что при комнатной температуре и при напряжениях менее 1/4 предела прочности деформация ползучести может достичь величины поля допуска на координаты базовых точек кузова автомобиля.

2. Разработанная модель процесса ползучести элемента конструкции – балки может быть использована в качестве критерия оценки эксплуатационных свойств конструкции кузова автомобиля.

3. При определении сроков технического обслуживания и ремонта кузова автомобиля необходимо учитывать зависимость координат базовых точек от времени, изменяемых в результате холодной ползучести, особенно при эксплуатации транспортных средств в сложных дорожных условиях.

#### **Направления дальнейших исследований**

Представленная в статье методика оценки деформации ползучести в элементах конструкции кузова автомобиля может быть распространена на кузовную конструкцию в целом, для чего необходимо применять исследовательские программы, основанные на применении численных методов, например, метода конечных элементов. Изменение геометрии кузова в результате ползучести может быть определено экспериментально.

#### **Библиографический список использованной литературы**

1. Дамшен К. Ремонт автомобильных кузовов / К. Дамшен. – М.: Изд-во «За рулем», 2007. – 240 с.
2. Щуров Е.И. Исследование ползучести алюминия при статическом и циклическом нагружении / Е.И. Щуров, А.М. Сцуридин // Пробл. прочн. – 1977. – JS II. – С. 52 – 56.
3. Работнов Ю.Н. Ползучесть элементов конструкций / Ю.Н. Работнов. – М.: Наука, 1966. – 752 с.
4. Гохфельд Д.А. Пластичность и ползучесть элементов конструкций при повторных нагружениях / Д.А. Гохфельд, О.С. Садаков. – М.: Машиностроение, 1984. – 256 с.
5. Штракельян Е. Прогнозирование долговечности элементов конструкций при циклической ползучести с учетом повреждаемости / Е. Штракельян, Н.И. Бобырь, А.П. Халимон // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія Машинобудування. – 2011. – № 61 – С. 66 – 75.
6. Фентон Дж. Несущий каркас кузова автомобиля и его расчет / Дж. Фентон. – М.: Машиностроение, 1984. – 199 с.

*Поступила в редакцию 11.05.2012 г.*

#### **Ветрогон О.А., Торлін В.М., Соустова Л.І. Холодна повзучість елементів кузовних конструкцій з алюмінієвих сплавів**

Розглядається методика оцінки впливу деформації холодної повзучості елементів кузовних конструкцій з алюмінієвих сплавів при навантаженнях, що складають менше половини розрахункових. Показано, що на протязі обмеженого періоду експлуатації автомобіля деформації повзучості можуть перевершити величину поля допуску на розміри координат базових крапок кузовних конструкцій.

**Ключові слова:** холодна повзучість, деформація повзучості, кузовні конструкції.

#### **Vetrogon A., Torlin V., Soustova L. Cold creep bodywork design elements of aluminum alloys**

The methods of assessing the impact of the cold creep deformation of body structural components made of aluminum alloy for loads of less than half of the calculation. It is shown that for a limited period of operation of the vehicle creep deformation may exceed the value of the tolerance on the size of the coordinate reference points bodywork design.

**Keywords:** cold creep, creep, body structure.